EINIGE GESICHTSPUNKTE FÜR DIE EINRICHTUNG ERDMAGNETISCHER SIMULTANBEOBACHTUNGEN ZUR ERFORSCHUNG DER URSACHEN DER ERD- MAGNETISCHEN STÖRUNGEN.

VON DR. AD. SCHMIDT IN GÖTTA.

Die bekannten charakteristischen Eigentümlichkeiten der erdmagnetischen Störungen oder Ungewitter weisen darauf hin, dass man in diesen vorwiegend lokale Vorgänge als nächste Ursache anzunehmen hat, die—in ihrem Verlaufe schnell wechselnd—zwar stets gleichzeitig auf der ganzen Erde magnetische Wirkungen hervorrufen, aber meistens nur auf einem beschränkten Gebiete einen starken Einfluss ausüben. Unter der zur Zeit wahrscheinlichsten Voraussetzung, dass diese ursächlichen Vorgänge ihrer physikalischen Natur nach electriche Strömungen in den oberen Schichten des festen Erdkörpers oder der Atmosphäre seien, führt jene zuvor erwähnte Schlussfolgerung dazu, diese Strömungen näher als *wandernde Stromwirbel* zu characterisieren, und die *synoptische Darstellung* der während einer Störung an verschiedenen Orten beobachteten ablenkenden Kräfte beweist, dass es sich in der That so verhält. Genauere Betrachtungen, welche neben den horizontalen auch die verticalen Störungskräfte in Betracht ziehen, führen weiter zu dem Schlusse, dass jene electriche Wirbelströme ihren Sitz vorzugsweise *in der Atmosphäre* haben, und dass die gleichzeitig im Erdkörper auftretenden Strömungen wahrscheinlich vollkommen durch Inductionerscheinungen zu erklären sind.

Eine nähere Begründung und weitere Ausführung der im Vorstehenden kurz geschilderten Folgerungen ist von mir vor einigen Monaten in der Meteorologischen Zeitschrift (September 1899) veröffentlicht worden. Meine Absicht bei dieser Veröffentlichung, die bei dem verhältnissmässig geringen Umfange des darin verwerteten Beobachtungsmaterials natürlich keinerlei abschliessende Resultate bieten konnte, war es hauptsächlich, darauf hinzuweisen, dass sich aus den mitgetheilten Ergebnissen bestimmte Gesichtspunkte für die weitere Erforschung der Ursache der magnetischen Störungen eröffnen. Vor allem tritt, wie mir scheint, danach die Notwendigkeit eines fortgesetzten, planmässigen Zusammenwirkens möglichst zahlreicher Observatorien so deutlich hervor, dass man wohl hoffen

darf, dieses schon wiederholt angeregte und vorübergehend auch erzielte Zusammenwirken werde in nicht zu ferner Zeit zu einer dauernden Einrichtung werden.

Allerdings liegt bereits ein umfangreiches Material von Beobachtungen aus früheren Zeiten vor, dessen Bearbeitung nunmehr mit besserer Aussicht auf bestimmte Ergebnisse in Angriff genommen werden kann, als dies bisher möglich war; aber mannigfache Umstände bewirken, dass eine volle Ausnützung desselben wohl erst möglich sein wird, wenn auf Grund neuerer Beobachtungen, bei deren Anstellung die nun vorliegenden Erfahrungen berücksichtigt werden können, bereits ein gewisser Einblick in die Gesetzmässigkeit der zu erforschenden Vorgänge gewonnen sein wird.

Im Folgenden soll nun versucht werden, die wichtigsten Punkte hervorzuheben, die bei der Organisation eines solchen Zusammenwirkens, wie es soeben als unerlässlich bezeichnet wurde, zu beachten wären.

I. Nach den jetzt gewonnenen Ergebnissen wie auch nach den Erfahrungen aus anderen, früheren Untersuchungen erscheint es durchaus nötig, gleichzeitige Beobachtungen aus einem grösseren Gebiete zu benutzen, dessen Ausdehnung nicht nach Hunderten, sondern nach Tausenden von Kilometern zu bemessen ist. Das einzige hiernach zunächst in Betracht kommende Gebiet, in dem ein einigermaßen dichtes Stationsnetz schon vorhanden ist, oder verhältnismässig leicht zu vervollständigen wäre, ist Europa. Es müsste deshalb versucht werden, zunächst die vorgeschlagene Organisation auf diesen Erdteil zu erstrecken, jedoch wenn irgend möglich unter Einführung einiger weiteren Stationen neben den jetzt schon bestehenden Observatorien. Ganz besonders wünschenswert wären einige solche Stationen im nördlichen Europa, da die magnetischen Actionscentren, wie es scheint, verhältnismässig oft gerade dort zu suchen sind. Für den unmittelbaren, ersten Zweck könnte die Mitwirkung aussereuropäischer Observatorien allenfalls entbehrt werden; als nützlich und wünschenswert ist sie aber trotzdem zu bezeichnen, da besonders im Falle stärkerer Störungen dadurch die Möglichkeit gewonnen werden könnte, einzelne Störungserscheinungen in ihrem Verlaufe auf einem grossen Teile der Erde zu verfolgen. Ueberdies ist es sehr wohl denkbar, dass im Laufe der Untersuchung, auch wenn diese zunächst auf ein begrenztes Gebiet bezogen wird, Fragen auftauchen, zu deren Beantwortung über die Grenzen dieses Gebiets hinausgegriffen werden muss. Werden auch die wenigen Observatorien ausserhalb Europas dann

nicht immer ausreichendes Material zu bieten vermögen, so wird dies doch gelegentlich wohl der Fall sein können.

II. Die Stationen brauchen nur mit hinreichend empfindlichen Variationsinstrumenten ausgerüstet zu sein, deren Constanz für die kurze Zeit der jedesmaligen Terminbeobachtung (also etwa eine Stunde, wenn an der bisherigen Uebereinkunft festgehalten wird) verbürgt werden kann. Absolute Messungen sind für den vorliegenden Zweck entbehrlich. Soweit die Mittelwerte der magnetischen Elemente für die Ermittlung der absoluten Beträge der Scalenteile bei den Variationsinstrumenten gebraucht werden, genügt ihre angenäherte Kenntniss, etwa auf Grund der vorhandenen magnetischen Karten. Mit Rücksicht hierauf dürfte die Errichtung einer Anzahl von neuen Stationen verhältnismässig geringen Schwierigkeiten begegnen. Die Kosten der instrumentellen Einrichtung sind bei der Beschränkung auf Variationsinstrumente (etwa in der von Prof. Eschenhagen gerade für den vorliegenden Zweck durchgebildeten Ausführung) nicht sehr hoch, und es wird auch die Gewinnung zuverlässiger Beobachtungen viel eher möglich sein als im Falle von absoluten Messungen. Eine weitere Erleichterung wird durch den Umstand ermöglicht, dass auch solche Stationen brauchbare Beiträge liefern, an denen nur die Variationen der horizontalen Intensität und der Declination oder nur diejenigen der verticalen Intensität beobachtet werden, wensschon natürlich die Berücksichtigung aller drei Elemente an jedem wünschenswert und als Regel hinzustellen ist. Wesentlich ist nur die Forderung, dass auf dem Gebiete im Ganzen genommen sowohl die Schwankungen der horizontalen Kraft (nach Intensität und Richtung) wie diejenigen der verticalen annähernd gleichmässig zu beobachten sind. So lange etwa die letzteren gar nicht berücksichtigt werden können, dürfte es besser sein, die Beobachtungen überhaupt noch aufzuschieben.

III. Einheitlichkeit der Apparate ist sicherlich von Nutzen; aber sie ist nicht als unerlässliche Bedingung zu bezeichnen. Wenn sich ihrer Durchführung Schwierigkeiten in den Weg stellen, so wird man sich mit der Herstellung einer einigermaßen gleichen Empfindlichkeit der an den verschiedenen Orten benutzten Apparate begnügen dürfen. Wünschenswert wäre es in diesem Falle, Vergleichsbeobachtungen mit den verschiedenen benützten Instrumenten an einem und demselben Observatorium durchzuführen. Was die zu wählende Empfindlichkeit betrifft, so empfiehlt es sich im Interesse des sicheren Functionierens der Instrumente (zumal

da diese vielleicht nicht überall in den Händen speciell geübter Beobachter sind), sie nicht zu hoch anzusetzen. Es ist dies um so unbedenklicher, als es sich ja in erster Linie um die Beobachtung von stärkeren Schwankungen handelt. Vom theoretischen Standpunkte aus kann eine Empfindlichkeit, bei der ein Scalenteil bei allen drei Elementen ungefähr der Kraft von 5γ (0.00005 C. G. S.) (also bei D im mittleren Europa ungefähr der Ablenkung von $1'$) entspricht, vollkommen ausreichend genannt werden, ja selbst die Empfindlichkeit von 10γ auf ein Scalenteil kann genügend erscheinen. Zum Vergleich sei erwähnt, dass bei den Beobachtungen am 28. Februar 1896 der Wert eines Scalenteils an den verschiedenen Stationen bei D von 1.46 bis 14.6γ , bei H sogar von 0.725 bis 33.4γ schwankte.

IV. Im allgemeinen wird es sich empfehlen, die Nadeln der Instrumente ziemlich stark zu dämpfen, besonders in dem Falle, dass man ihre Stellung nicht photographisch registriert, sondern in bestimmten Intervallen beobachtet. Diese Intervalle müssen kurz sein; nach den Erfahrungen bei den letzten Simultanbeobachtungen dürfen 5 Secunden als eine durchaus zweckmässige Zwischenzeit gelten. Die Schwingungsdauer der Nadel ist dem Intervall der Ablesungen entsprechend zu wählen, so dass die Eigenschwingungen der Nadel im Mittel weniger Ablesungen genügend eliminiert werden. (In den Beobachtungen am 28. Febr. 1896 tritt der Einfluss dieser Eigenschwingungen an manchen Stationen sehr merklich hervor.) Bei starker Dämpfung der Instrumente könnte, wenn es aus irgend welchen Gründen erwünscht wäre, die Zeit zwischen den einzelnen Beobachtungen unbedenklich auf das Doppelte oder Dreifache vergrössert werden.

Werden die Stellungen der Nadeln registriert, so ist eine Zeitscala von 24 cm. auf die Stunde, wie sie Prof. Eschenhagen empfiehlt, bis auf weiteres durchaus hinreichend. So subtile Untersuchungen, bei denen sie nicht genügen würde, dürfen zunächst vollkommen ausser acht bleiben oder sind wenigstens einzelnen Observatorien, die sie zum speciellen Studium machen wollen, zu überlassen. Die gröberen Vorgänge bieten vorläufig so viel Material, dass ihre Untersuchung sicherlich auf längere Zeit hinaus eine vollkommen ausreichende Aufgabe darstellt.

Auf jeden Fall aber — das angewandte Beobachtungsverfahren möge sein, welches es wolle — ist es nötig, dass die Schwingungsdauer (T_0) der ohne Dämpfung schwingenden Nadel und das logarithmische Decrement (λ) für die bei den Beobachtungen benutzte

Dämpfung festgestellt und mit den Beobachtungen veröffentlicht werde, wenigstens wenn diese letzteren, was allerdings nicht zu wünschen ist, unreduciert publiciert werden. Die in irgend einem Augenblicke beobachtete Nadelrichtung (α) weicht (von einem constanten, hier gleichgültigen Indexfehler abgesehen) im allgemeinen von der gleichzeitigen wahren Krafrichtung (ϕ), deren Bestimmung hier gerade die Aufgabe ist, etwas ab, und die an α als Correctionen anzubringenden Abweichungen ($\phi - \alpha$) können im Falle schneller, lebhafter Aenderungen der Krafrichtung recht beträchtlich werden, so dass sie durchaus nicht zu vernachlässigen sind. Das gilt auch für gedämpfte Nadeln, bei denen zwar jene Abweichungen unter sonst gleichen Verhältnissen im allgemeinen kleiner als bei frei schwingenden Nadeln, aber trotzdem unter Umständen sogar noch störender als bei diesen sind. Dies deshalb, weil sie längere Zeit hindurch einseitige, nahezu constante Fehler hervorgerufen können, die durch Bildung von Durchschnittswerten oder ähnliche, einfache Ausgleichungsmethoden nicht wesentlich herabzumindern sind. Eine auf alle Fälle anwendbare, strenge Berechnung der nötigen Correctionen ergibt sich indessen aus der Differentialgleichung der Nadelbewegung. Diese liefert

$$\phi - \alpha = \frac{T_o^2}{4\pi^2} \cdot \frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{\lambda T_o}{\pi \sqrt{\pi^2 + \lambda^2}} \frac{d\alpha}{dt} = \frac{T_o^2}{4\pi^2} \frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{\lambda T_o^2}{\pi T} \frac{d\alpha}{dt},$$

worin T die Schwingungsdauer der Nadel in dem benutzten Dämpfungszustande bezeichnet. Die Werte der in diesem Ausdrucke auftretenden Differentialquotienten lassen sich in verschiedener Weise, etwa durch Interpolationsformeln, hinreichend genau und bequem ermitteln. (Es darf hier wohl nebenbei darauf hingewiesen werden, dass eine ähnliche Reduction der unmittelbaren Beobachtungsergebnisse auch in andern Fällen, z. B. bei der Verarbeitung der Aufzeichnungen von Horizontalpendeln und sonstige Seismographen nötig werden kann.)

V. Die Zahl und Länge der Termine sollte nicht zu gross genommen werden, um jede Ueberlastung der Beobachter zu vermeiden und um zu verhüten, dass mehr Material an Beobachtungen aufgehäuft werde, als in absehbarer Zeit verarbeitet werden kann. Die Termine sind natürlich fest im voraus anzusetzen und sind durchzuführen, gleichgültig, ob Störungen bemerkt werden oder nicht. Vielleicht liesse sich aber eine Verabredung treffen, nach der im Falle lebhafter Nadelbewegung die Termindauer etwas zu verlängern wäre. Als wünschenswert ist es auch zu bezeichnen,

dass nicht immer dieselbe Tageszeit gewählt werden möchte, weil die festgestellte tägliche Periodicität der Störungen wohl erwarten lässt, dass die Gestaltung der electrischen Strömungen und insbesondere die Bahnen der Wirbelströme zu den verschiedenen Stunden charakteristische Unterschiede zeigen werden.

VI. Die Beobachtungen sollten von jeder Station fertig reduciert, also nicht in Scalenteilen, sondern in der Einheit γ mitgeteilt werden, und zwar als Differenzen der einzelnen Ablesungen gegen das Mittel der ganzen Reihe. Ehe auf diese Reduction verzichtet wird, sollte lieber die Zahl der Termine vermindert werden. Die Umrechnung der auf den magnetischen Meridian bezogenen Variationskräfte ΔH und ΔD in die astronomisch orientierten Componenten ΔX , ΔY kann dagegen, wenn die dazu nötige Arbeit Bedenken erregen sollte, ohne wesentlichen Schaden unterbleiben, weil die kartographische Eintragung der störenden Kräfte ebenso bequem durch Benutzung von ΔH und ΔD wie durch Verwendung von ΔX und ΔY erfolgen kann. Immerhin bleibt auch die Ableitung und Veröffentlichung dieser letzteren wünschenswert, weil dadurch die anderweitige Verwendung des gewonnenen Materials erleichtert wird.

VII. Als letzter, aber nicht unwichtigster Punkt ist anzuführen, dass von vornherein für eine zweckmässige Publication der in angegebener Weise reducierten Beobachtungen, die damit erst der allgemeinen, unmittelbar möglichen Verarbeitung dargeboten werden, zu sorgen ist. Von grösster Bedeutung würde es allerdings sein, wenn darüber hinaus bereits für eine derartige Bearbeitung, sei es zunächst auch nur für die regelmässige Darstellung der Ergebnisse in kartographischer Form, Vorsorge getroffen werden könnte. Indessen ist wohl kaum zu hoffen, dass die Erfüllung dieses Wunsches ohne Schwierigkeit möglich sein würde, und es wäre nicht gerechtfertigt, davon die Ausführung der Messungen selbst abhängig zu machen. Ebenso empfiehlt es sich wohl, um die praktischen Schwierigkeiten des Unternehmens nicht unnötig zu steigern, zunächst von Verabredungen über Beobachtungen der Luftpolarität und der Erdströme abzusehen, so sehr man auch bestrebt sein muss, diese Beobachtungen, die jedenfalls wichtige Ergänzungen der magnetischen Messungen versprechen, so bald als möglich in das Programm aufzunehmen. Es ist dies um so eher zu rechtfertigen, als man hoffen darf, aus den Ergebnissen der magnetischen Messungen Gesichtspunkte für eine möglichst zweckmässige Gestaltung jener weiteren Beobachtungen zu gewinnen.