

Ueber die Bestimmung der erdmagnetischen Inklination und ihrer Variationen.

Von

H. Wild.

(Im Auszug in der Section für physikalische Geographie der Versammlung der Schweizerisch. naturforschenden Gesellschaft in Bern, August 1898, mitgeteilt.)

Die Inklination der erdmagnetischen Kraft gilt unter den drei üblichen Bestimmungselementen derselben: „Deklination, Inklination und Horizontal-Intensität“ immer noch als dasjenige, dessen Ermittlung sowohl bezüglich seines absoluten Wertes als seiner Variationen die relativ geringste Sicherheit darbiere. Es scheint mir daher zeitgemäss, den verschiedenen Methoden zur Bestimmung beider und den neuern Bemühungen zu deren Verbesserung eine eingehendere Betrachtung zu widmen.

I. Bestimmung der absoluten Inklination.

Zur Ermittlung der absoluten Inklination sind im Laufe der Zeit eine Reihe verschiedener Methoden angegeben worden¹⁾, in dessen haben nur das Nadel-Inklinatorium und das Induktions-Inklinatorium eine solche Verbreitung und längere praktische Verwendung in magnetischen Observatorien gefunden, dass über ihre Leistungsfähigkeit ein bestimmteres Urteil möglich ist.

¹⁾ Eine Zusammenstellung derselben findet man z. B. in Hutt, die Bestimmung der magnetischen Neigung, Brandenburg a. d. H. bei Wiesike, 1874, und Hutt, die indirekten Methoden zur Bestimmung der magnetischen Neigung, ibid. 1884. Später haben auch C. L. Weber und J. Liznar neue Methoden zur Messung der magnetischen Inklination angegeben. Ann. der Physik, Neue Folge, Bd. XXXV, S. 810, 1888 und Sitzungsber. der Münchener Acad. Bd. XXI, S. 59, 1891; Exners Repertor. Bd. XXIII, S. 306, 1887.

1. Nadel-Inklinatorium. Die ältern Nadel-Inklinatorien litten hauptsächlich an drei Uebelständen, welche ihre Angaben unsicher machten und kaum eine höhere Genauigkeit als etwa $0^{\circ},1$ für die Inklinationsbestimmung gestatteten. Erstlich war die Ablesung der Kreisteilung gewöhnlich so eingerichtet, dass die scharfen Spitzen der Magnetnadel zur Ablesung ihrer Stellung ganz nahe an den, am innern Rand getheilten umgebenden Messingring herantreten, was zur Folge hatte, dass Staubeilchen und ein schwacher Eisengehalt des Messings leicht unrichtige Einstellungen der Nadel zur Folge haben konnten. Sodann liess die Politur und die geforderte kreisrunde Gestalt der Zapfen der Nadel-Achse, sowie die zweckmässige Beschaffenheit ihrer Unterlagen oft viel zu wünschen übrig, so dass aufeinanderfolgende Einstellungen der Nadel wegen der Reibung an den Achsen erheblich differierten. Endlich gab das Streichen der Nadel mit Magneten zur Ummagnetisierung derselben offenbar häufig dadurch zu Fehlern im Resultat Veranlassung, dass die vorausgesetzte Konstanz der Lage des Schwerpunkts in der Nadel gerade durch diese Operation gestört wurde.

Die erstern beiden Uebelstände können bei den vorzüglichen Dover'schen Nadel-Inklinationen durch die eingeführte Ablesung der Nadelstände mit Mikroskopen, die an der Alhidade des Vertikalkreises befestigt sind, sowie durch die gute Gestalt und Politur der Stahl-Zapfen und ihrer schneidenförmigen Achat-Unterlagen, soweit dies überhaupt möglich ist, als beseitigt betrachtet werden. Das störende Streichen aber der Nadel mit Magneten zur Ummagnetisierung haben wir im physikal. Central-Observatorium zu Petersburg dadurch vermieden, dass die in ihren Trog gelegte Magnet-Nadel zu dem Ende einfach zwischen die Pole eines kräftigen Elektromagnets eingeschaltet wurde, beziehungsweise später in die Höhlung einer Drahtspule gebracht wurde, durch welche eine halbe Minute lang ein Strom von 30 Ampère (2 Accumulatoren) cirkulierte. Die letztere Operation ist vorteilhafter, weil sie ohne Störung im magnetischen Observatorium selbst auszuführen ist. Diese Art des Ummagnetisierens hat sich auch noch dadurch als viel vorteilhafter erwiesen, weil die Nadel dabei viel kräftiger und konstanter magnetisiert wird, somit die Reibungshindernisse an der Achse leichter überwunden und eine Kontrolle des magnetischen Moments überflüssig wird. Zugleich wird durch die Raschheit der Operation erheblich an Zeit gewonnen.

Meine nachstehend mitzuteilenden Erfahrungen an Nadel-Inklinatorien beziehen sich demgemäss nur auf neuere Dover'sche oder ihnen gleichwertige Instrumente bester Qualität und eine Ummagnetisierung der Nadeln ohne Streichen derselben mit Magneten. Bei neuen Nadeln ergab sich dabei als mittlerer Fehler einer Bestimmung der Inklination $\pm 0',5$, der aber bei länger gebrauchten Nadeln auf $\pm 1',0$ oder auch wohl mehr anstieg. Diese Sicherheit der einzelnen Bestimmung erheischt aber behufs Vergleichbarkeit der aufeinanderfolgenden Messungen bereits eine Berücksichtigung der Inklinationsvariationen, da ja ganz abgesehen von kleinern oder grössern Störungen schon die tägliche Variation der Inklination $2'$ und mehr erreichen kann. Im Observatorium zu Pawlowsk, auf dessen Messungen meine Erfahrungen sich stützen, konnten die Inklinations-Variationen den Aufzeichnungen des Magnetographen (Bifilar-Magnetometer und Lloyd'sche Wage) mit einer Sicherheit von mindestens $\pm 0',1$ entnommen werden und sind denn auch zum Ausgleich stets in Rechnung gezogen worden.

Die Erfahrung, dass verschiedene Nadeln eines und desselben Inklinatoriums oft sehr erhebliche Unterschiede der damit bestimmten Inklinationen ergeben, hatte zur Folge, dass man jedem Inklinatorium stets mehrere Nadeln beizugeben pflegt.

Ein von Dover in London mit Nr. 22 bezeichnetes Inklinatorium, das von 1876 an zuerst im magnetischen Observatorium zu St. Petersburg und nachher bis 1892 in demjenigen zu Pawlowsk in Gebrauch war, hatte zuerst zwei mit 1 und 2 bezeichnete Nadeln, zu denen später zwei weitere mit 5 und 6 bezeichnete und 1884 noch zwei mit 3 und 4 markierte hinzukamen. Im Juni bis August 1876 wurde dieses Inklinatorium in Petersburg mit einem ältern von Pistor und Martins in Berlin verglichen, wobei sich bezogen auf dieses für die Korrekturen der Nadeln 1 und 2 die Werte ergaben:

für Nadel 1: $+ 4',73$, für Nadel 2: $+ 3',87$

somit zwischen den Angaben beider Nadeln eine Differenz von $0',86$. Nach Hinzukommen der Nadeln 5 und 6 erfolgten zu Pawlowsk an diesem Inklinatorium allwöchentlich vom November 1878 bis und mit September 1879 abwechselnd an allen 4 Nadeln absolute Messungen, welche im Durchschnitt für diesen Zeitraum bezogen

auf das Mittel aller Nadeln für die einzelnen folgende Korrekturen ergaben:

Nadel 1	Nadel 2	Nadel 5	Nadel 6
— 0',28 ± 0',34	1',53 ± 1',27	— 0',52 ± 0',56	— 0',72 ± 0',33

Hier zeigt sich zwischen den Angaben der Nadel 1 und 2 die gegen früher viel grössere Differenz: 1',81 und überdies im entgegengesetzten Sinne als 1876, so dass sich die Differenz in den drei Jahren um 2',67 verändert hatte. Die viel grössere Unsicherheit, welche die einzelnen Bestimmungen mit der Nadel 2 ergaben, wies allerdings auf eine Fehlerhaftigkeit derselben hin, so dass sie vom September 1879 an ausser Gebrauch gesetzt wurde. Sehen wir demzufolge auch von der für sie erhaltenen sehr abweichenden Korrektur ab, so zeigt sich zwischen denen der Nadel 1 und Nadel 6 nur eine Differenz von 0',44 und mit dem Mittel beider stimmt die Korrektur für Nadel 5 bis auf 0',02 überein. Es könnte also scheinen, dass das Mittel der drei Nadeln 1, 5 und 6 eine absolute Sicherheit der Inklination von ± 0',15 dargeboten hätte.

Im Jahre 1884 wurden, wie schon bemerkt, noch zwei mit Nr. 3 und 4 bezeichnete Nadeln von Dover für dieses Inklinatorium erworben und zugleich ein weiteres, für das Observatorium in Irkutsk bestimmtes mit Nr. 75 bezeichnetes und mit sechs Nadeln ausgerüstetes Inklinatorium von ihm angekauft, das ebenso wie ein älteres Inklinatorium Nr. 60 von Adie in London mit vier Nadeln sich zur Vergleichung im Observatorium zu Pawlowsk befand. Alle diese Instrumente mit ihren Nadeln hat Herr E. Leyst in der ersten Hälfte 1885 einer gründlichen Untersuchung und Verifikation unterworfen, deren Resultate im Repertorium für Meteorologie Bd. X, Nr. 5, 1886, von ihm mitgeteilt sind. Ich hebe daraus nur die auf das Mittel aller Nadeln dieser drei Instrumente bezogenen Schluss-Korrekturen heraus:

Inklinator	Nadel 1	2	3	4	5	6	Mittel
Dover Nr. 22	— 0',72	—	0',36	— 1',95	— 0',15	— 0',07	— 0',51 ± 0',66
Dover Nr. 75	0,90	0,70	1,06	1,06	0,58	0,46	0,79 ± 0,24
Adie Nr. 30	0,50	0,04	— 0,50	— 1,36	—	—	— 0,33 ± 0,60

Hieraus ist zunächst zu entnehmen, dass selbst das Mittel von 5—6 Nadeln bei zwei verschiedenen Inklinatorien um 1',3

verschiedene absolute Werte der Inklinationen liefern kann, auch wenn der mittlere Fehler einer Messung mit einer Nadel ein viel kleinerer ist. Die Annahme, dass das Mittel vieler Nadeln absolut richtige Inklinationswerte gebe, ist also jedenfalls bis auf $\pm 1'$ nicht stichhaltig.

Wir ersehen aus obigen Daten ferner, dass auch neue Nadeln, wie 3 und 4 bei Dover Nr. 22, bis auf $2',31$ verschiedene Werte liefern können, während allerdings bei dem ganz neuen Instrument Dover Nr. 75 die grösste Differenz zwischen zwei Nadeln nur $0',60$ beträgt.

Die absoluten Korrekturen der Nadeln von Dover Nr. 22 sind mit denen von 1879 zwar nicht zu vergleichen, wohl aber müssten die Differenzen derselben für die einzelnen Nadeln gleich gross ausfallen, wenn sich dieselben während der sechs Jahre nicht relativ verändert hätten. Diese Differenzen sind aber für:

Dover 22	Nadel 1	Nadel 5	Nadel 6
1885—1879	— $0',44$	+ $0',37$	+ $0',65$

Es sind also in dieser Zeit relative Veränderungen der Korrekturen von über $1'$ eingetreten.

Im Jahre 1886 wurden bei den allwöchentlichen normalen Beobachtungen nur die Nadeln 1 und 4 bei Dover 22 benutzt und Ende 1886 dann mit der Reserve-Nadel 3 verglichen. Angenommen die letztere habe in Folge ihrer Nichtbenutzung ihre Korrektur $0',36$ von 1885 unverändert beibehalten, so ergaben diese Vergleichen als neue Korrekturen für

Dover 22	Nadel 1	Nadel 4
1886	— $3',34$	— $0',85$

und es hätte sich sonach Nadel 1 um $2',62$ und Nadel 4 im entgegengesetzten Sinne um $1',10$ verändert.¹⁾

Infolge der starken Aenderung, welche Nadel 1 erfahren hatte, wurde sie von den Beobachtungen ausgeschlossen und in der Folge, d. h. von 1887 an wieder die reparierte Nadel 2 und daneben noch 4, 5 und 6 benutzt; erst vom September 1889 an

¹⁾ Diese und die folgenden Daten sind unmittelbar den Einleitungen zu den Beobachtungen in Pawlowsk des ersten Teils der Annalen des physikalischen Central-Observatoriums zu St. Petersburg für die betreffenden Jahrgänge entnommen.

trat dann auch Nadel 3 wieder hinzu. Unter der Annahme, dass die vier Nadeln 3—6 ihre gesante mittlere Korrektur, die im Jahre 1885 dem obigen zufolge $- 0,45$ war, seither nicht verändert haben, ergeben sich aus den Vergleichen Ende 1889 und im Jahre 1891 für die einzelnen Nadeln die Korrekturen:

Dover 22	Nadel 3	Nadel 4	Nadel 5	Nadel 6
1889	+ 0,42	- 4,07	+ 1,08	+ 0,77
1891	+ 0,30	- 3,25	+ 1,15	+ 0,00

Darnach hätte sich die Nadel 3, die am wenigsten gebraucht worden war, von 1885 bis 1891 innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler gar nicht verändert, während die negative Korrektur von Nadel 4 bis 1889 um $2,1$ angestiegen und dann bis 1891 wieder um $0,8$ zurückgegangen wäre, Nadel 5 hätte sich im ganzen um rund $1,2$ verändert und die Korrektur der Nadel 6 wäre von nahe 0 bis 1889 zu $0,8$ angewachsen und dann wieder bis 1891 auf 0 zurückgegangen.

Aus den Vergleichen in der ersten Hälfte von 1892 ergaben sich unter derselben Voraussetzung, dass das Mittel der Korrekturen der vier Nadeln dasselbe wie 1885 geblieben sei, für die einzelnen Korrekturen und ihre Veränderungen seit 1891 die Werte:

Dover 22	Nadel 3	Nadel 4	Nadel 5	Nadel 6
1892	- 1,26	+ 0,02	- 0,21	- 0,36
1892—1891	- 1,56	+ 3,27	- 1,36	- 0,36

In den beiden Jahren 1891 und 1892 wurden aber bereits auch regelmässig, d. h. allwöchentlich, absolute Inklinationsbestimmungen mit dem neuen grossen Induktions-Inklinatorium ausgeführt, bei welchem die Fehler einer Messung durchschnittlich $4''$ nicht überschritten. Betrachten wir diese als absolut richtig, so ergeben sich folgende absolute Korrekturen der Nadeln von Dover in den beiden Jahren:

Dover 22	Nadel 3	Nadel 4	Nadel 5	Nadel 6	Mittel:
1891	0,30	- 3,24	+ 1,17	0,00	- 0,44
1892	- 0,70	+ 0,58	+ 0,35	+ 0,20	+ 0,11
1892—1891	- 1,00	+ 3,82	- 0,82	0,20	0,55

Obschon also die Vergleichung mit dem Induktions-Inklinatorium für das Mittel aller Nadeln und damit auch für die

einzelnen Nadel-Korrekturen im Jahr 1891 fast dieselben Werte wie die Hypothese, dass ihr Mittel seit 1885 konstant geblieben sei, ergeben haben ¹⁾, werden wir doch angesichts der Thatsache, dass einzelne Nadeln ihre Korrektur sowohl im Zeitraum 1885 bis 1891, als auch von 1891—1892 mehrfach um Beträge von 2 bis 3' verändert haben, die letztere Hypothese nicht aufrecht erhalten können, sondern die Annahme, dass das Induktions-Inklinatorium konstante Angaben mache, vorziehen und somit die Zahlenwerte der letzten Tabelle für richtig ansehen, nach welchen das Mittel der Korrekturen der vier Nadeln sich im Laufe von nicht ganz einem Jahre um 0,55 verändert hat.

In der Meinung, dass die nicht ganz sichere Einstellung der Faden in den Mikroskopen auf die Nadelspitzen, sowie das Anfasseln der Nadeln beim Einlegen, bei ihrer Umkehr auf den Lagern und bei der Ummagnetisierung, endlich die offenbar nicht ganz genügende Justierung einzelner Teile, die nachträglich nicht gut zu korrigieren war, die erwähnten Unsicherheiten und Veränderungen in den Angaben des Dover'schen Nadel-Inklinatoriums bedingt hätten, hatte ich in der Werkstätte des physikal. Central-Observatoriums zu St. Petersburg ein neues Nadel-Inklinatorium konstruieren lassen, das von diesen Fehlern frei war und nach meinen Prüfungen im August 1889 zu Pawlowsk ²⁾ für die drei bessern Nadeln als mittleren Fehler einer Messung bloss $\pm 0,12$ ergab. Dabei gaben aber doch diese drei Nadeln absolute Mittelwerte der Inklination, die um 0,79 im Maximum von einander abwichen und die vierte Nadel wich bei einem mittleren Fehler einer Messung von $\pm 0,64$ um volle 5' in ihrem Resultat von dem der ersteren ab, ohne dass man an ihrem Aeusseren irgend einen Fehler hätte entdecken können. In den Jahren 1892

¹⁾ Die Uebereinstimmung der Nadel-Mittel, die nach den beiderlei Hypothesen abgeleitet sind, bis auf 0,01 ist eine ganz zufällige; denn hätte Herr Leyst 1885, wie es eigentlich rätlicher gewesen wäre, das Mittel aller Nadeln bloss vom Inklinator Dover 75, der die beiden andern Inklinatorien an Genauigkeit weit übertraf, als absolut richtig angenommen, so wäre das als konstant angenommene Mittel der Korrekturen obiger 4 Nadeln: — 1,75 statt — 0,45 geworden.

²⁾ H. Wild, Nadel-Inklinatorium modifizierter Konstruktion. Mém. de l'Acad. Imp. des sciences de St. Pétersbourg. VII^{me} série. T. XXXVII. No. 6. 1890.

und 1893 wurden die Angaben dieses Inklinatoriums mit denen des erwähnten Induktions-Inklinatoriums verglichen, wobei sich für die allein beobachteten drei bessern Nadeln folgende absolute Korrekturen ergaben:

Inklinatorium Wild-Freiberg	Nadel II	Nadel III	Nadel IV
1892	2',52 \pm 1',60	2',30 \pm 0',52	1',04 \pm 0',96
1893	2',33 \pm 0',74	1',67 \pm 0',51	1',09 \pm 0',56
1893—1892	— 0',19	— 0',63	0',05

Obschon diese Nadeln weder beim Einlegen in das Inklinatorium noch beim Herausnehmen aus demselben, noch bei der Umkehr um 180°, noch bei der Ummagnetisierung, die in der Drahtspule stattfand, mit den Händen angefasst wurden, so ergab sich zwischen zweien derselben doch eine Differenz von 1',5 im Inklinations-Resultat und bei einer derselben von einem Jahr zum nächsten eine Korrekturen-Änderung von 0',6.

Nach allen diesen Erfahrungen meinerseits, denen ja auch analoge anderer Forscher zur Seite stehen, wird man es vollauf gerechtfertigt finden, wenn ich sage, dass man zur Zeit mit den besten Nadel-Inklinatorien innerhalb der Grenzen von $\pm 1'$ die Inklination nicht sicher absolut bestimmen kann und dass selbst relative Werte der Inklination von einem Jahr zum andern nicht über diese Grenze hinaus vergleichbar damit ermittelt werden können.

2. Induktions-Inklinatorium. Die geniale Idee von W. Weber, die Induktion des Erdmagnetismus in einer Drahtspule zur Bestimmung der Inklination zu verwerten, wobei nur die von Reibungs- und Schwerpunktsänderungen freie Bewegung einer, an einem Faden aufgehängten Magnet-Nadel um eine vertikale Achse in Betracht kommt, hat zum Induktions-Inklinatorium geführt, das in der ihm von Weber zuletzt (1853) gegebenen Form und Beobachtungsweise auch in einigen magnetischen Observatorien neben dem Nadel-Inklinatorium Eingang fand. Der Umstand, dass sich weit über die Fehlergrenze der letztern hinaus Unterschiede zwischen den Angaben der beiderlei Instrumente, nämlich bis zu 20', hiebei ergaben, und die Ursache dieser Verschiedenheit nicht erfindlich war, hat wohl die allgemeinere Verbreitung und Benutzung des Induktions-Inklinatoriums verhindert.

Erst im Jahr 1878 gelang es mir, bei Gelegenheit der Untersuchung von zwei verschiedenen Induktions-Inklinatorien mit den zugehörigen Galvanometern im Observatorium zu Pawlowsk¹⁾ die Hauptursache obiger Verschiedenheiten in der im allgemeinen in Wirklichkeit nicht erfüllten Voraussetzung der Weber'schen Theorie des Induktions-Inklinatoriums zu erkennen, dass nämlich die Multiplikatorfunktion der angewandten Galvanometer einen von der Grösse des Ausschlagswinkels des Magnets unabhängigen, konstanten Wert habe. Hiernach musste man zur Erlangung guter Resultate mit dem Induktions-Inklinatorium entweder die Theorie der Bewegung eines Magnets innerhalb eines dämpfenden Multiplikators für grössere Ablenkungswinkel unter Berücksichtigung der Abhängigkeit der Multiplikatorfunktion vom letztern mathematisch entwickeln oder dann eine Methode der Beobachtung finden, welche uns von der Inkonstanz der Multiplikatorfunktion unabhängig machen würde. In Veranlassung dessen haben Herr O. Chwolson in St. Petersburg²⁾ und wenig später auch Herr K. Schering in Göttingen³⁾ jene Theorie mit für die Praxis genügender Annäherung entwickelt, und Herr Chwolson hat dieselbe dann auch auf meine Messungen an den beiden Induktions-Inklinatorien nach Bestimmung ihrer Multiplikatorfunktionen angewendet. Während mir dieselben nach der Weber'schen Theorie gegen das Nadel-Inklinatorium Dover Nr. 22 um 15' resp. 5' grössere Werte der Inklinationen ergeben hatten, wurden diese Differenzen nach der Chwolson'schen Berechnung auf 0',3 resp. 0',7 reduziert, so dass die Unsicherheit $\pm 0',2$ des Mittelwertes: 0',5 nunmehr innerhalb die Genauigkeitsgrenze der Beobachtungen fiel. Andererseits habe ich im Jahr 1881 eine Beobachtungsmethode angegeben⁴⁾,

¹⁾ H. Wild, Ueber die Bestimmung der absol. Inklination mit dem Induktions-Inklinatorium. Mém. de l'Acad. Imp. des sciences de St. Pétersbourg. VII^{me} série. T. XXVI. No. 3. 1878.

²⁾ O. Chwolson, Ueber die Dämpfung von Schwingungen bei grössern Amplituden; ibid. T. XXVI, Nr. 14, April 1879, und Allgemeine Theorie der magnet. Dämpfer; ibid. T. XXVIII Nr. 3, April 1880.

³⁾ K. Schering, Allgem. Theorie der Dämpfung. Ann. der Phys. und Chemie. Neue Folge Bd. IX, S. 287 und 452, Juni 1879.

⁴⁾ H. Wild, Genaue Bestimmung der absoluten Inklination mit dem Induktions-Inklinatorium. Bulletin de l'Acad. Imp. des sc. de St. Pétersbourg. T. XXVII, p. 320, 1881.

welche die mit dem Induktions-Inklinatorium zu bestimmenden Inklinationen ganz unabhängig von der Variabilität der Multiplikator-Funktion mit dem Ablenkungswinkel macht. Sie besteht einfach darin, dass man die Rotationsachse des Induktors, statt sie nach Weber einmal vertikal und sodann horizontal einzustellen, bei der einen und andern Beobachtung um nahe gleich grosse Winkel beiderseits zur wahren Inklinationsrichtung neigt, so dass dann die Ausschlagswinkel am Galvanometermagnet auch nahe gleich gross werden. Das Mittel aus den im einen und andern Fall an einem Vertikalkreis abgelesenen Stellungen jener Rotationsachse wäre dann offenbar die wahre Inklination, wenn jene Ausschlagswinkel genau gleich gross ausgefallen wären; ist dies nicht der Fall, so bedingt ihre Differenz eine kleine, an jenem Mittel anzubringende Korrektion, die leicht zu berechnen ist. Eine andere Methode, unmittelbar und ganz ohne Rechnung die wahre Inklination zu finden, besteht nach Mascart¹⁾ darin, die Stellung der Rotationsachse des Induktors aufzusuchen, wo bei der Drehung desselben gar kein Strom erzeugt wird, also jene Achse parallel der Richtung der erdmagnetischen Kraft ist.

Die erstere Methode habe ich 1881 an dem, zu dem Zwecke etwas umgearbeiteten Induktions-Inklinatorium von Meyerstein erprobt und nach Gutbefinden derselben dann ein grosses, sehr stabiles Instrument dieser Art in der Werkstätte des phys. Central-Observatoriums ausführen lassen, welches im Frühjahr 1890 im Observatorium zu Pawlowsk aufgestellt und von Ende Juni an in regelmässigen Gebrauch nach meiner Methode treten konnte²⁾.

Der mittlere relative Fehler einer Inklinations-Bestimmung mit diesem Instrument ergab sich damals zu $\pm 4'',5 = \pm 0',08$ und wurde in den folgenden Jahren durch verfeinerte Ablesung am Galvanometer auf $\pm 3'',5 = \pm 0',06$ erniedrigt³⁾.

¹⁾ Compt. rend. T. XCVII, p. 1191. 1883.

²⁾ H. Wild, Induktions-Inklinatorium neuer Konstruktion und Bestimmung der absoluten Inklination mit demselben in Pawlowsk. Mém. de l'Acad. Imp. des sc. T. XXXVIII, Nr. 3, 1890.

³⁾ Die letztern Fehlerberechnungen findet man in meiner Schrift: Das Konstantinow'sche meteorol. und magnet. Observatorium in Pawlowsk (St. Petersburg 1895. Druckerei der Akademie der Wissenschaften) S. 112. Sie basieren auf den unmittelbar vorher mitgetheilten, aus den Fehlern der Variations-Apparate und der absoluten Messungen zusammengesetzten Unsicherheiten der

Die Null-Methode Mascarts habe ich bei meinem magnetischen Reisetheodolithen im Jahre 1892 zur Inklinations-Bestimmung verwendet, indem ich demselben zu dem Ende ein kleines, von Edelmann in München angefertigtes Induktions-Inklinatorium beigab, dessen zugehöriges Galvanometer auf den Theodolithen aufgesetzt wurde¹⁾. Dieses Inklinatorium liess im Observatorium die Inklination mit einem mittleren Fehler von $\pm 0',2$ bis $\pm 0',3$ und auf der Reise, wo kein Schutz gegen Wind für das Galvanometer angebracht war, mit einem solchen von $\pm 0',5$ bestimmen. Die Korrektion desselben, bezogen auf das grosse Induktions-Inklinatorium, wurde vor der Reise gleich $-0',10$ und nach derselben gleich $-0',12$ gefunden, hatte sich also, wie zu erwarten war, auf der Reise nicht verändert²⁾. Die letztern Daten zeigen zugleich, dass die beiden Induktions-Inklinatorien von ganz verschiedener Konstruktions- und Beobachtungsweise in ihren Angaben innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler des Reise-Inklinatoriums übereinstimmen, beziehungsweise ihre Differenz $0',1$ nicht übersteigt. Gegenüber den 10 mal grössern Differenzen, die man zwischen verschiedenen Nadel-Inklinatorien erhält, und den beträchtlichen Aenderungen, die man an diesen selbst nach kürzern Reisen häufig konstatiert hat, sind vorstehende Resultate für Induktions-Inklinatorien sehr bemerkenswert und berechtigen wohl zu dem Schlusse, den ich bereits anderwärts gezogen habe³⁾, dass nämlich die vollständige Ausschliessung von Nadel-Inklinatorien aus den erdmagnetischen Beobachtungen und ihr Ersatz durch Induktions-Inklinatorien nur noch eine Frage der Zeit sein könne. Je rascher dies erfolgt, desto

Normalstände der erstern für die Jahre 1892 und 1893. Nimmt man die entsprechenden Grössen für die Vertikal-Intensität von 1894 nach den Annalen für dieses Jahr noch hinzu, so wird im Mittel aller 3 Jahre der Fehler einer absoluten Inklinations-Messung mit dem Induktions-Inklinatorium noch etwas kleiner.

¹⁾ Repertorium für Meteorologie Bd. XVI, No. 2, 1892. — Eine besondere Beschreibung des Inklinatoriums als vom Theodolith unabhängiges Instrument siehe: Meteorol. Zeitschrift für 1895 S. 41.

²⁾ W. Dubinsky. Magnetische Messungen in den Ostseeprovinzen und im Weichselgebiet. Repert. für Meteorologie. Bd. XVII, Nr. 13, 1894.

³⁾ H. Wild, Ueber die Fehler bei erdmagnetischen Messungen. Terrestrial Magnetism, Vol. II. p. 85. September 1897.

eher wird die grosse Unsicherheit verschwinden, welche jetzt noch fast überall den absoluten Messungen der Inklination anhaftet, und für sie dann mindestens dieselbe Genauigkeit wie für die absolute Bestimmung der Deklination erzielt werden. Dass die Inklinationsbestimmung mit einem Induktions-Inklinatorium auch kaum halb so viel Zeit beansprucht, als die mit einem Nadel-Inklinatorium, bedarf ebenfalls der Erwähnung.

Bei dem neuern magnetischen Reisetheodolith, den ich kürzlich beschrieben habe¹⁾, ist das Induktions-Inklinatorium in vollkommener Weise dem Instrument selbst eingefügt.

Kürzlich ist in der Werkstätte des Herrn Professor Dr. Edelmann in München nach gemeinsamen Ideen von ihm und mir ein neues Induktions-Inklinatorium konstruiert worden, welches unter Benutzung der Null-Methode die höchste Genauigkeit der Messungen darbieten soll. Zu dem Ende besitzt dasselbe statt der bisher üblichen kreisförmigen Induktor-Spulen einen trommelartigen Induktor mit entsprechendem Kommutator wie bei den Dynamo-Maschinen, so dass in jeder Stellung bei der Drehung der Trommel das Maximum der Induktion erfolgt. Dabei wird der Induktor durch ein beliebig vom Beobachter zu arretierendes Laufwerk mit fallendem Gewicht angetrieben, dessen Bewegung durch eine Drahtspirale auf die Induktor-Achse ohne Stösse übertragen wird. Die letztere ist mit ihrer Unterlage an einem abgechrägten Steinpfeiler so montiert, dass sie angenähert parallel zur Inklinationsrichtung des betreffenden Ortes orientiert ist. Die genaue Einstellung derselben auf den magnetischen Meridian erfolgt durch seitliche Schiebung des einen Lagers mittels Justierungsschrauben, und die genaue Einstellung auf die Inklination im Meridian resp. auf die Lage, wo im Galvanometer der Strom verschwindet, geschieht seitens des Beobachters mittelst eines Schlüssels, welcher eine Schraube zum Heben oder Senken des andern Lagers dreht. Zur Messung des Inklinations-Winkels dient ein Vertikalkreis, der auf demselben Steinpfeiler oben aufgestellt ist und dessen Fernrohr mit seiner optischen Achse zur Koincidenz mit der Normalen eines senkrecht zur Drehungsachse des

¹⁾ H. Wild, Theodolith für magnetische Landesaufnahmen. Vierteljahrsschrift der naturf. Gesellschaft in Zürich, Jahrgang XLI. 1896.

Induktors an deren einem Ende befestigten Spiegels gebracht wird. Ein kleines Prisma vor dem Objektiv des Fernrohrs gestattet, damit zugleich das Galvanometer abzulesen. Nach vorläufigen Versuchen dürfte eine Sicherheit von $\pm 1''$ mit diesem Instrument zu erreichen sein¹⁾.

Im Jahr 1856 hat F. E. Neumann in Königsberg in seiner Vorlesung „Theorie der induzierten elektrischen Ströme“ noch die Theorie einer anderen Benutzungsweise der Weber'schen Induktions-Methode zur Bestimmung der Inklination vorgetragen, die ebenfalls eine Null-Methode darstellt und später von Prof. L. Weber in Breslau²⁾ ausgeführt worden ist. Sie beruht darauf, dass zwei Drahtrollen, die eine um eine horizontale und die andere um eine vertikale Achse, zugleich mit derselben Geschwindigkeit gedreht und die dadurch erzeugten Induktions-Ströme verschiedener Stärke durch Variation der Widerstände in beiden Stromkreisen ausgeglichen werden, was durch Annulierung der Ablenkung der Magnetnadel in einem Differential-Galvanometer oder auch nach der Brückenmethode erkannt werden kann. Herr L. Weber schätzt am Schluss der erwähnten Abhandlung den Fehler in der Bestimmung der Inklination mit seinem Instrument auf rund $\pm 1'$. Nach S. XXVI der Einleitung zu den magnetischen Beobachtungen in Potsdam in den Jahren 1890 und 1891 ist ein solcher Erdinduktor nach L. Weber neben einem Nadel-Inklinatorium für dieses Observatorium beschafft worden, indessen während dieser Zeit nicht aus dem Stadium der Versuche herausgekommen. Auch seither ist hierüber, wie überhaupt über die absoluten magnetischen Messungen in Potsdam nichts weiteres bekannt geworden. Es kann also zur Zeit über die Leistungsfähigkeit dieser Methode nichts Sicheres angegeben werden.

II. Variations-Instrumente für die Inklination.

Die Variationen der Inklination können entweder direkt bestimmt oder dann aus den gleichzeitigen Angaben der Variations-

¹⁾ Dieses Instrument wurde in seinen wesentlichen Theilen der Sektion für physikal. Geographie bei der Eingangs erwähnten Naturforscher-Versammlung am 2. August 1898 vorgewiesen.

²⁾ Sitzungsberichte der k. preuss. Akademie der Wissensch. zu Berlin. 3. Dezember 1885.

Instrumente für die Horizontal-Intensität und die Vertikal-Intensität abgeleitet werden. Da die Konstruktion und Genauigkeit der Variations-Instrumente für die Horizontal-Intensität gegenwärtig nichts mehr zu wünschen übrig lässt, so haben wir hier von den beiden letztern Instrumenten nur die Variometer für die Vertikal-Intensität näher zu betrachten.

1. Variations-Inklinatorium. Im Jahr 1830 hat Akademiker Kupffer zuerst mit dem vom Gambey in Paris nach seinen Angaben konstruierten Variations-Inklinatorium die tägliche Variation der Inklination nachgewiesen. Dieses vollkommen gut erhaltene, in seiner Art vorzügliche Instrument, wurde während des Jahres 1878 im unterirdischen Pavillon für Variationsbeobachtungen in Pawlowsk regelmässig beobachtet, wobei sich aus seinem Vergleich mit andern bezüglichen Variationsinstrumenten als Fehler desselben für Bestimmung der Inklination der Wert $\pm 0',30$ ergab.¹⁾

2. Variometer für Vertikal-Intensität. Als Instrument zur Beobachtung der Variationen der vertikalen Komponente der erdmagnetischen Kraft hat Lloyd in Dublin 1838 die nach ihm benannte Wage angegeben²⁾, bei welcher die Bewegungen eines horizontalen, um eine Schneide als Horizontal-Achse sich drehenden Magnets anfänglich mit Mikrometer-Mikroskopen, später auch durch Spiegelablesung mit Fernrohr und Skale zur Feststellung jener Variationen gemessen wurden.

Zuerst orientierte Lloyd seinen Magnetwagebalken parallel zum magnetischen Meridian, zog dann aber später vor, ihn senkrecht zum Meridian zu stellen. Es ist dies offenbar deshalb geschehen, weil in der letztern Lage die Aenderungen der Horizontal-Intensität keinen Einfluss auf die Stellung der Wage haben. Wie ich indessen in meiner Abhandlung „Neue Form magnetischer Variationsinstrumente etc.“³⁾ gezeigt habe, üben dann die Aenderungen der Deklination eine quantitativ ganz entsprechende Wirkung auf die Wage aus, wie im erstern Falle, d. h. bei paralleler Lage

¹⁾ H. Wild, Das Konstantinow'sche meteorologische und magnetische Observatorium in Pawlowsk. St. Petersburg 1895. S. 105.

²⁾ Proceedings of the Royal Irish Academy 1838—39 p. 334.

³⁾ Mém. de l'Acad. Imp. des sc. de St. Pétersbourg. T. XXXVII. Nr. 4. 1889 p. 39.

zum Meridian, die Variationen der Horizontal-Intensität, welche Wirkung übrigens in beiden Fällen nur bei grossen Variationen ins Gewicht fällt. Man gewinnt also, entgegen der allgemein verbreiteten Ansicht, durchaus nichts durch die Wahl jener Lage, verfällt aber dafür dem Fehler, dass der Magnet, der mit seiner Schneide gewöhnlich auf ebenen Platten aufliegt, bei jeder Erschütterung des Pfeilers in Folge der Einwirkung des Erdmagnetismus aus seiner Lage senkrecht zum Meridian durch Gleiten der parallelen Lage mit demselben sich zu nähern sucht, was eine allmähliche Veränderung der Empfindlichkeit der Wage und, wenn der Magnet durch die Arretierung in die normale Lage zurückgebracht wird, jedesmal einen Sprung in den Angaben der Wage zur Folge hat.

Gewöhnlich wird auch bei den Justierungen der Lloyd'schen Wage darin gefehlt, dass man ihre Empfindlichkeit allzusehr steigern will. Es genügt, dieselbe ebenso gross wie die des Biflars für die Horizontal-Intensität zu machen, so nämlich, dass bei beiden einem Ausschlag von 1' Bogen eine Aenderung der Intensität von 0.00005 *C. G. S.* entspricht.¹⁾

Bei der empirischen Bestimmung der Empfindlichkeit der Wage durch Ablenkungsbeobachtungen an ihr und am Unifilar-magnetometer ist ferner sehr darauf zu achten, dass die Magnete beider den theoretischen Voraussetzungen gemäss gleiche Grösse und Form haben; es können sonst leicht Fehler bis zu 10 ja 20 % im Resultat entstehen.²⁾

Endlich ist zu bemerken, dass die Lloyd'sche Wage in ihrer einfachen Gestalt vielmehr ein Thermometer als ein Variometer für die Vertikal-Intensität darstellt, indem dann z. B. schon eine Aenderung der Temperatur derselben um $\frac{1}{6}^{\circ}$ C. einen Ausschlag von 1' bewirkt, während diese Grösse einer Variation der Vertikal-Intensität von bloss 0,0001 ihres Wertes entspricht. Die Einführung einer wenigstens annähernden Temperatur-Kompensation ist daher bei der Lloyd'schen Wage sehr geboten.

¹⁾ Siehe H. Wild, Zweckmässige Empfindlichkeit der erdmagnetischen Variationsapparate. Bulletin de l'Acad. Imp. des sc. de St. Pétersbourg. T. XXVIII p. 30 1881.

²⁾ Siehe Einleitung zu den Beobachtungen in Pawlowsk S. IV. und V. Annalen des phys. Central-Observatoriums für 1892. I. Teil.

Unter Berücksichtigung der vorstehenden Bemerkungen bei der Konstruktion und Behandlung der Lloyd'schen Wagen gelang es im Observatorium zu Pawlowsk, die Angaben derselben so zu verfeinern, dass die Sicherheit der aus ihren Ablesungen abzuleitenden Vertikal-Intensitäten ungefähr dem Wert von $\pm 0',3$ Ausschlag an der Lloyd'schen Wage des Magnetographs und $\pm 0',15$ bei derjenigen für direkte Beobachtung oder $\pm 0,0000152$ resp. $0,0000076$ C. G. S. oder auch: $\pm 0,000032$ resp. $0,000016$ der ganzen Vertikal-Intensität schliesslich entsprach. (Für die aus den Variationen der Vertikal- und Horizontal-Intensität abzuleitenden Variationen der Inklination ergaben sich hiernach Fehler von $\pm 3'',4$ resp. $\pm 1'',7$.)¹⁾

Diese Fehler sind aber noch drei mal grösser als die, welche der Genauigkeit der Skalen-Ablesung bei den beiden Instrumenten, nämlich $0',1$ resp. $0',05$ entsprechen würden, während bei den Variationsinstrumenten für Deklination und Horizontal-Intensität sehr nahe die ihren Ablesungsfehlern zukommende Sicherheit auch wirklich erreicht worden war. Es scheinen also trotz der Güte der betreffenden Wagen die Reibungshindernisse an den Schneiden doch noch einen grössern störenden Einfluss als die Torsions-Unsicherheiten bei den Aufhängedrähten der andern Instrumente ausgeübt zu haben. Überdies fiel wohl von jeher, insbesondere aber beim Magnetograph, auf, dass zu Zeiten, wo selbst mit fast aperiodisch gedämpften Magneten die beiden Filar-Instrumente heftig zuckende Bewegungen anzeigen, die Lloyd'sche Wage einen ruhigen, mehr kontinuierlichen Gang der Variation aufweist. Indem man auch dies Reibungshindernissen an der Schneide beimass, war man bemüht, hier ebenfalls eine Filar-Suspension des Magnets an die Stelle zu setzen.

Im Jahr 1872 habe ich eine Lloyd'sche Wage konstruieren lassen, bei welcher zwei horizontal ausgespannte, ungefähr 1 m lange, feine Neusilberdrähte an den Seiten des Magnets befestigt waren und so statt der Schneide als Drehungsachse desselben dienten.²⁾ Auch als die Neusilberdrähte später durch Platindrähte, ferner diese durch eine Aufhängung an Federn analog wie bei Uhrpendeln

¹⁾ Siehe: Das Konstantinow'sche Observatorium etc. S. 104 und 105.

²⁾ H. Wild, Ueber ein neues Variationsinstrument für die Vertikal-Intensität. Bulletin de l'Acad.-Imp. des sc. T. XVII, p. 456. 1872.

und endlich statt dieser durch eine solche an Coconfaden ersetzt wurden, liess sich keine derartige Stabilität des Instruments erzielen, dass sie erlaubt hätte, über die Leistungsfähigkeit desselben ein definitives Urteil zu gewinnen. Es wurden daher die Versuche abgebrochen und später nicht wieder aufgenommen.

Glücklicher scheint K. Schering gewesen zu sein, indem er 1882 statt an einem 1 m langen je an zwei 5 m langen Drähten beiderseits den Magnet aufhängte und so den störenden Einfluss der elastischen Nachwirkungen der Drähte verminderte.¹⁾ Herr Schering sagt nämlich, dass sich das neue Instrument zu Göttingen bei den Beobachtungen in den Jahren 1882 und 1883 zur Zeit der internationalen Polarexpeditionen gut bewährt habe. Indessen ist dies aus der Publikation dieser Beobachtungen²⁾ durchaus nicht bestimmter, d. h. ziffernmässig zu entnehmen, da die den absoluten Messungen entsprechenden Normalstände der Variationsapparate und ein Vergleich dieser untereinander dort nicht mitgeteilt sind, und demzufolge ein bestimmtes Urteil weder über die Genauigkeit der absoluten Beobachtungen, noch derjenigen der Variationsapparate möglich ist.

Lloyd selbst hat, um zur Filarsuspension des Magnets zu gelangen, das Prinzip seiner Wage ganz verlassen und 1842 das sogen. Eiseninduktions-Inklinometer³⁾ konstruiert, welches die Variationen der Vertikalintensität oder Inklination durch die Ablenkungen misst, die zwei von der Vertikalintensität induzierte Stäbe aus weichem Eisen an einer horizontalen unifilar aufgehängten Magnetnadel bewirken. Die Anwendbarkeit dieses Prinzips setzt voraus, dass die Variationen des induzierten Eisenmagnetismus den Variationen des Erdmagnetismus wirklich proportional seien. Obschon nun Wilh. Weber schon in den Resultaten aus den Beob. des magnet. Vereins im Jahr 1841 (Leipzig 1843) S. 85 u. folg. nach bezüglichen Versuchen Zweifel gegen die Richtigkeit dieser

1) Karl Schering, Das Quadrifilar-Magnetometer. Nachrichten der K. Gesellschaft der Wissenschaft zu Göttingen, 16. Juli 1884.

2) E. Schering und K. Schering, Beobachtungen in Gauss' erdmagnet. Observatorium zu Göttingen während der Polarexpeditionen 1882 und 1883. — Beobachtungsergebnisse der deutschen Stationen für die internat. Polarforschung Bd. I, S. 627.

3) H. Lloyd, A new magnetical instrument etc. Proceed. of the R. Irish Academy 1842.

Voraussetzung erhoben hat, so fand doch das Eiseninduktions-Inklinometer, wohl wegen seiner Einfachheit, namentlich in der ihm von Lamont gegebenen Form eine grosse Verbreitung und wurde auch bei den internationalen Polarexpeditionen 1882 und 1883 vielfach gebraucht. Zu dieser Zeit fand deshalb auch in Pawlowsk ein sehr eingehender Vergleich dieses Instruments mit zwei Lloyd'schen Wagen statt,¹⁾ woraus sich ergab, dass selbst in den Monaten, wo das Eiseninduktions-Inklinometer am besten funktionierte, die mittlere Differenz seiner Angaben gegen die der Lloyd'schen eine doppelt so grosse Unsicherheit zeigte, als die Differenzen der beiden Lloyd'schen Wagen unter sich, von denen die eine damals sogar noch nicht für die Temperatur kompensiert war. Die absolute Unsicherheit der aus den Ablesungen am Induktions-Inklinometer abzuleitenden Vertikal-Intensität betrug im Durchschnitt für jene Monate: $\pm 0,00021$ *C. G. S.*, während sie bei der kompensierten Lloyd'schen Wage des Magnetographs im Jahr 1893 nach S. 16: $\pm 0,000015$ *C. G. S.* war, also über 10 mal kleiner.

Wenn man aber in dem citierten Werk die Werte obiger Differenzen S. XC — XCVII im Detail durchgeht, so wird man, gegenüber der durchweg guten Uebereinstimmung der Angaben der beiden Lloyd'schen Wagen mit einer Maximumsdifferenz von 0,00040 *C. G. S.* in den 12 Monaten, zwischen der einen von ihnen und dem Eiseninduktions-Inklinometer ein beständiges Hin- und Herschwanken der Differenzen mit grossen Sprüngen bemerken, wobei Maximumsdifferenzen bis zu 0,00573 *C. G. S.* in obigem Zeitintervall auftreten.

Der Uebelstand, dass die Variationen der Deklination und Horizontal-Intensität beim Induktions-Inklinometer mit in die Gesamt-Veränderungen der Magnetstellung hineingehen und von diesen erst zu subtrahieren sind, wenn man die allein der Vertikal-Intensität zukommenden erhalten will, erschwert überdies bedeutend den Gebrauch dieses Instruments und macht ihn nach W. Giese in Polargegenden fast zur Unmöglichkeit. In dem Artikel: „Kritisches über die auf arktischen Stationen für magnet. Messungen, insbesondere für Variationsbeobachtungen zu benutzenden Apparate“²⁾

¹⁾ H. Wild, Terminsbeobachtungen im Observatorium zu Pawlowsk 1882 und 1883. *Mém. de l'Acad. Imp. des sc. T. XXXIII Nr. 5, 1885, S. 35 und 39.*

²⁾ Exner's Repertorium der Physik Bd. XXII S. 203.

sagt Herr Giese (S. 224), dass die Misstände der Lamont'schen Vertikalvariometer (Eisen-Induktion) nur durch gänzliche Entfernung derselben aus den magnetischen Observatorien, zum mindesten den arktischen, gelöst werden können. Und an anderer Stelle¹⁾ teilt derselbe Forscher mit, dass die Angaben der beiden Eiseninduktions-Inklinometer der Station im Kingua-Fjord in keiner Weise mit denen der Lloyd'schen Wage übereinstimmten, während die letztern sich sehr genau den in der geschlossenen horizontalen Kabelleitung induzierten Strömen anschlossen. Zu ganz entsprechenden Resultaten betreffend die Unsicherheit der Eiseninduktions-Inklinometer gegenüber der Lloyd'schen Wage gelangte auch die österreichische Polarstation in Jan Mayen.²⁾

Unsere Erfahrungen in Pawlowsk rechtfertigen auch für diese Breite vollkommen das verwerfende Urteil des Herrn Giese über das Eiseninduktions-Inklinometer.

Ob die Modifikationen dieses Variometers für Vertikal-Intensität, welche K. Schering als Deflektoren-Bifilar-Magnetometer³⁾ und E. Biese als Vertikalvariometer mit vertikalen Magneten⁴⁾ angegeben haben und die hauptsächlich die gleichzeitige Einwirkung der Variationen der Deklination und der Horizontal-Intensität auf das Instrument zu beseitigen suchten, bessere Resultate liefern als das einfache Lloyd'sche oder Lamont'sche Variometer dieser Art, kann leider, da vergleichende, länger fortgesetzte Beobachtungen an denselben fehlen, zur Zeit nicht entschieden werden. Von dem, aus unsern Beobachtungen in Pawlowsk, wie auch aus denen im Kingua Fjord unzweifelhaft hervorgehenden Fehler, dass die Induktion in den Eisenstäben nicht strenge proportional den Variationen der Vertikal-Intensität ist oder wenigstens denselben nicht rasch genug folgt, sind die neuen Instrumente jedenfalls auch nicht frei.

Von diesem Fehler würde dagegen ein Induktions-Variometer für die Vertikal-Intensität jedenfalls nicht affiziert sein, welches

¹⁾ Beobachtungsergebnisse der deutschen Stationen für internat. Polarforschung Bd. I. S. 426. Art. 23.

²⁾ Beobachtungsergebnisse der österreichischen Polarstation in Jan Mayen. II. Bd. 2. Abt. S. 32, 35 und 36.

³⁾ Nachrichten der k. Gesell. der Wiss. zu Göttingen, 24. April 1886.

⁴⁾ Das Vertikalvariometer mit vertikalen Magneten. Akadem. Abhandlung von Ernst Biese, cand. philos. — Helsingfors 1890.

Akademiker Kupffer nach einer Idee W. Webers¹⁾ im Jahr 1841 für das physikal. Central-Observatorium zu St. Petersburg von Mechaniker Meyerstein in Göttingen ausführen liess. Ein mit seiner Achse auf doppelten Friktionsrollen ruhender Messingcylinder von 20 Kilogramm Gewicht wird durch ein Laufwerk mit einer Geschwindigkeit von 3 Umdrehungen in der Sekunde um seine horizontale, parallel zum magnetischen Meridian orientierte Achse gedreht, was man daran erkennt, dass die Sekunden-, Minuten- und Stundenzeiger des beigegebenen regulierenden Uhrwerks dem Gang einer gewöhnlichen, nach mittlerer Sonnenzeit gehenden Uhr folgen müssen. Die Achse des Cylinders ist auf eine Weite von 30 mm durchbohrt und in diese Höhlung ragt vom offenen Ende aus der eine Pol eines bifilar aufgehängten cylindrischen Magnetstabs hinein. Dieses Instrument, das offenbar, ich weiss nicht weshalb, nie gebraucht worden war und das ich in defektem Zustand in einem Schranke des magnetischen Observatoriums vorfand, habe ich nach erfolgter Reinigung und Reparatur im Jahr 1891 im grossen Saale des physikal. Central-Observatoriums aufstellen lassen. Um die geforderte Umdrehungsgeschwindigkeit zu erzielen, musste ein Gewicht von 52 Kilogramm am Laufwerk angebracht werden; alsdann wurde der Magnet durch die, im Cylinder von der vertikalen Komponente der erdmagnetischen Kraft induzierten Ströme so stark aus dem Meridian abgelenkt, dass es bei der gewählten Suspension einer Torsion des obern Verbindungsstückes der Faden um $53^{\circ} 33'$ bedurfte, um denselben wieder in den magnetischen Meridian zurückzuführen, was durch Beobachtung des an der Magnetsuspension angebrachten Spiegels mit Fernrohr und Skale erkannt werden konnte. Aus den Veränderungen dieses Spiegelstandes resp. des obigen Torsionswinkels z_0 um ζ waren dann die entsprechenden Aenderungen $Z - Z_0$ der Vertikal-Intensität angenähert nach der Formel:

$$Z - Z_0 = Z_0 \cotg z_0 \tan \zeta$$

zu berechnen, wo Z_0 die für $\zeta = 0$ geltende Vertikal-Intensität darstellt. Diese war damals in Petersburg: $Z_0 = 0,470 \text{ C. G. S.}$, so dass für eine Ablenkung: $\zeta = 1'$ aus vorstehender Gleichung folgt:

¹⁾ Resultate aus den Beob. des magn. Vereins 1841. S. 98 und 99 Anm.

$$Z - Z_0 = 0,0001 \text{ C. G. S.},$$

was eine genügende Empfindlichkeit des Instrumentes repräsentiert. Nun zeigte sich aber durch den Versuch, dass eine Beschleunigung in der Umdrehung des Cylinders durch das Laufwerk, welche einem Vorgehen der Uhr um 1 Sekunde in einer Minute entsprach, am Magnet eine Ablenkung um 4' bewirkte. Damit also die Variationen der Vertikal-Intensität in den Ablenkungen des Magnets rein zum Ausdruck gelangen, resp. Unregelmässigkeiten im Gang des Laufwerks auf denselben keinen 0,1 Ablenkung übersteigenden, störenden Einfluss gewinnen können, müssten dieselben pro Minute nicht mehr als $\pm 0,025$ Sekunden oder pro Stunde nicht mehr als $\pm 1,5$ Sekunden betragen. Eine solche Gleichförmigkeit der Bewegung konnte indessen bei meinen Versuchen weder unter Benutzung des von Meyerstein dem Triebwerk beigegebenen Uhrwerks (statt des ursprünglich vorausgesehenen Regulators von Professor Hansen), noch nach Ausschaltung desselben nicht einmal während einer Stunde, geschweige denn auf längere Zeit erzielt werden. Ich teile dies alles hier mit, weil die bezügliche Notiz in meinem Jahresbericht des physikalischen Central-Observatoriums für 1891, S. 19 und 20, kaum allgemeine Beachtung gefunden haben dürfte und sonst über diesen interessanten Apparat nichts bekannt geworden ist. Vielleicht wird es der neuern Technik gelingen, das Problem der genügend gleichförmigen Bewegung einer so grossen Masse auf längere Zeit zu lösen und damit diese Idee fruchtbringend zu machen.

Wenn es aber schon möglich sein wird, eine solch gleichförmige Bewegung zu erzielen, dass die Geschwindigkeit bis auf nahe 0,00001 ihres Betrags längere Zeit konstant bleibt, so dürfte es wohl vorteilhafter sein, als Variometer für die Vertikal-Intensität das oben erwähnte neue Induktions-Inklinatorium mit Trommel-Induktor zu benutzen, dessen Rotations-Achse in diesem Falle horizontal zu legen wäre, da die in Drehung zu versetzende Masse hier viel kleiner sein kann und das Galvanometer mit seinem Magnet vom Induktor beliebig zu entfernen ist. Als Variations-Inklinatorium für direkte Beobachtung kann jenes Instrument wegen seiner Empfindlichkeit jetzt schon benutzt werden.

Die Veränderungen in der Stärke der Vertikal-Komponente des Erdmagnetismus müssen aber auch in einem ruhenden, geschlossenen Leiter Ströme induzieren, welche der Grösse jener Veränderungen bei horizontaler Lage des Leiters proportional sein werden. Dieser Ueberlegung gemäss hat Hr. W. Giese das für die Beobachtung von Erdströmen bestimmte Kabel von 12 km Länge der Polar-Expedition nach dem Kingua-Fjord anfänglich (Winter 1882 auf 1883), als noch keine Erdverbindungen zu machen waren, auf dem Eise des Fjords zu einer geschlossenen Kreis- oder vielmehr Polygon-Leitung von 8 km^2 ausgelegt, die Intensität der darin auftretenden Ströme mit einem passenden Galvanometer gemessen und mit den Angaben der Lloyd'schen Wage verglichen, wobei er, wie schon oben erwähnt, eine sehr gute Uebereinstimmung fand. Da die Empfindlichkeit beim erstern Apparat über hundert Male grösser war als bei der Lloyd'schen Wage, so ist die Erwartung nicht ungerechtfertigt, dass man auch in unsern Breiten und mit kleinern Stromflächen die Variationen der Vertikal-Intensität so bestimmen könnte; indessen liegen noch keine Versuche in dieser Richtung vor. Allerdings kann man von dieser Einrichtung keinen vollen Ersatz der Lloyd'schen Wage oder der andern, oben nach ihr erwähnten Apparate erwarten, indem die Variationen der Vertikal-Intensität in dem Kabel nur vorübergehende Ströme induzieren, welche also auch beim eingeschalteten Galvanometer nur Zuckungen der Magnetnadel, aber keine ständigen Ablenkungen bewirken werden. Mit andern Worten, nur bei den mehr oder minder rasch vorübergehenden Variationen wird sich ein Parallelismus in den Angaben der Lloyd'schen Wage und der in der Kreisleitung induzierten Ströme am Galvanometer ergeben; andauernde Vergrösserungen oder Verminderungen dagegen der Vertikal-Intensität wird nur die Lloyd'sche Wage durch dauernde Standänderungen anzeigen, während die Galvanometer-Nadel bloss ihren Anfang und ihr Ende durch Ausschläge markieren und zwischen hinein in ihrem Ruhestand verharren wird.

Fassen wir das über die Variometer für Inklination und Vertikal-Intensität Gesagte zusammen, so kann also zur Zeit nur die **Lloyd'sche Wage** als befriedigendes und bewährtes Instrument zur Bestimmung der Variationen der Vertikal-

Intensität bezeichnet werden, was aber nicht ausschliesst, dass es wünschenswert erscheint, noch empfindlichere Instrumente mit Benützung der induzierten Ströme, indessen unter Ausschluss der Eisen-Induktion, zu gewinnen. Sollte dies gelingen, so würde also die Induktion, wie sie bereits das einzig gute Instrument für die absolute Messung der Inklination geliefert hat, auch für die Beobachtung ihrer Variationen, resp. derjenigen der Vertikal-Intensität, den sichersten Weg eröffnet haben.

Zürich, 28. Juli 1898.
