МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКІЙ СБОРНИКЪ
ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.

REPERTORIUM FÜR METEOROLOGIE
HERAUSGEG. V. D. KAISERLICHEN AKADEMIE D. WISSENSCHAFTEN.

T. VII, № 1.

PRÜFUNG

EINES

VERBESSERTEN AZIMUTALCOMPASSES

UND DES

COMPENSIRTEN MAGNETOMETERS WEBER-KOHLRAUSCH.

VON

G. Hellmann.

METEOROLOG.
DOMAT
OBSERVAT.
N: 733.

(*Der Akademie vorgelegt am 13. März 1879.*)

САНКТПЕТЕРБУРГЪ, 1879.

ПРОДАЕТСЯ У КОМИСІОНЕРОВЪ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ:

И. Глазунова, въ С. П. Б.
Я. А. Исакова, въ С. П. Б.
Эггерса и Комп., въ С. П. Б.
Н. Киммеля, въ Ригѣ.
Леопольда Фосса, въ Лейпцигѣ.

Цѣна 30 коп. сер. = 1 Mrk.

Напечатано по распоряженію Императорской Академіи Наукъ.

С.-Петербургъ, Октябрь 1879 года. Непремѣнный Секретарь, Академикъ *К. Веселовскій.*

ТИПОГРАФІЯ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.

(Вас. Остр., 9 лин., № 12.)

Der unbequeme und oft unsichere Transport grösserer Instrumente auf Reisen, sowie die dabei häufig nothwendig werdende einfachere Behandlungsweise derselben, sei es in Folge von Zeitmangel oder geringer Befähigung zu feineren Messungen der Person selbst, haben die Physiker wie Mechaniker von jeher darauf sinnen lassen, möglichst compendiöse Apparate zu construiren, welche die Elemente des Erdmagnetismus auf Reisen rasch, einfach und genügend verlässlich zu bestimmen gestatten. Das einfachste und älteste Instrument dieser Art ist der Compass oder die Declinationsbussole, die, unter mancherlei Gestalt, von allen Nationen, namentlich aber von der Marine, zur Anstellung der weitaus grösseren Hälfte aller zur Zeit existirenden Declinationsmessungen benutzt worden ist. Eine vielfach verbesserte und verfeinerte Construction desselben, welches auch absolute Intensitätsbestimmungen ermöglicht, lernte ich auf dem meteorologisch-magnetischen Observatorium Pawlowsk kennen, wo ich auch das noch wenig bekannte und verbreitete Instrument Weber's, welches F. Kohlrausch unter dem Namen des compensirten Magnetometers beschrieben hat, zuerst sah und handhabte. Da über die Leistungsfähigkeit beider Apparate zur Zeit wenig oder nichts bekannt ist, schien es mir eine nicht unnützliche Aufgabe zu sein, anlässlich meines Aufenthaltes auf dem Observatorium zu Pawlowsk, welches zu erdmagnetischen Studien ganz besonders einladet, eine nähere Prüfung derselben vorzunehmen. Dieselbe beschränkte sich selbstverständlich nicht darauf, den Unterschied in den Angaben dieser und anderer, als normal geltender, Instrumente zu ermitteln, sondern ging vielmehr darauf aus, zu erfahren, welche Sicherheit den aus den Beobachtungen ermittelten Grössen an und für sich inne wohnt.

Alle dazu nöthigen Messungen wurden in einem unmagnetischen Expeditionszelte aus Leinwand vorgenommen, welches auf dem freien Rasenplatze des zum Observatorium gehörigen Parkes in durchaus freier und unbeeinflusster Lage aufgeschlagen worden war.

I. Der verbesserte Azimutalcompass.

Der nach den Angaben des Herrn Director Wild, vom Mechaniker Herrn Brauer in St. Petersburg construirte Azimutalcompass, welcher bereits auf den magnetischen Bergobservatorien in Katharinenburg, Barnaul und Nertschinsk eingeführt und von Herrn Director Fritsche in Peking seit längerer Zeit mit besonderer Vorliebe, auf Reisen wie im stabilen Observatorium, gebraucht worden ist, unterscheidet sich von der gewöhnlichen Form dieser Instrumente, wie sie namentlich von englischen Fabrikanten in den Handel gebracht werden, durch folgende Verbesserungen, die eine erhöhte Genauigkeit, namentlich der Declinationsmessungen, gestatten:

a) Die dosenförmige Messingbüchse (Durchmesser 111^{mm}, Höhe $27{,}7^{mm}$) mit Glasdeckel ruht, wie andere Praecisionsinstrumente, auf drei Füssen mit Nivellirschrauben, so dass sie durch Auflegen des Niveaus auf den Glasdeckel nivellirt werden kann.

b) Die Kreistheilung ist auf dem oberen Rande des Büchsendeckels (Durchmesser im Lichten 121^{mm}) angebracht und die beiden Diopter an der, um das Centrum derselben drehbaren, Alhidade derartig befestigt, dass die Stellung der Magnetnadel im Innern der Büchse vermittelst eines am Augendiopter angebrachten rechtwinkligen Prismas beobachtet wird.

c) Senkrecht zur Visirlinie der Diopter lässt sich auf der Alhidade eine Ablenkungsschiene befestigen und auf dieser, in bestimmten Entfernungen vom Centrum der Nadel, der Deflector so auflegen, dass seine magnetische Axe gegen das Centrum gerichtet ist und mit der Magnetnadel in derselben Horizontalebne liegt.

Zu diesem eigentlichen Compasse kommt, behufs absoluter Intensitätsmessungen, noch ein Schwingungskasten aus Holz und Glas hinzu, in welchem die Schwingungsdauer des an einem Faden aufgehängten und an seinen Endflächen zum Hochglanz polirten cylindrischen Ablenkungsmagneten mit blossem Auge an einer vorgesteckten Scale beobachtet wird. Der Kasten steht auf einem Stativ mit drei Schrauben-Füssen und ist auf ihm drehbar. Diese beiden Theile des Instrumentes finden in zwei Kästchen von den resp. Dimensionen $21 \times 12 \times 12^{cc}$ und $65 \times 20 \times 14^{cc}$ Platz, nehmen also zusammen nur 22224^{cc} Raum in Anspruch.

Die Theilung des Compasskreises geht direct bis auf $10'$, so dass einzelne Minuten mit der Lupe geschätzt werden können. Die Declinationsnadel ist 89^{mm} lang, 5^{mm} hoch, $1{,}5^{mm}$ breit und ruht mittelst eines umdrehbaren Achathütchens auf einer sehr sorgfältig gearbeiteten Spitze aus Platina-Iridium. Das gleichschenklig rechtwinklige Prisma mit 17^{mm} Seite ist am Augendiopter in der Höhe verschiebbar, und an dem diametral gegenüber stehenden Diopter mit vertical gespanntem Faden ist ein, um eine horizontale Axe drehbarer Spiegel, von 30^{mm} Länge, 9^{mm} Breite, für die Sonnenbeobachtungen angebracht.

1. Bestimmung der magnetischen Declination.

Da jede Bestimmung der Declination aus zwei durchaus selbstständigen Theilen besteht, einem *rein magnetischen*: der Ermittlung des Winkels, welchen die Richtungen der magnetischen Axe der Nadel und der sogenannten Mire mit einander einschliessen, und einem *rein astronomischen*: der Bestimmung des wahren Azimuts dieser Mire, so hat man bei der Prüfung der Leistungsfähigkeit eines zu Declinationsmessungen bestimmten Instrumentes diese beiden Gesichtspuncte streng auseinander zu halten. Ein auf Reisen gebrauchtes Instrument sollte beide Beobachtungen mit womöglich gleicher Sicherheit vorzunehmen gestatten, wenn andernfalls nicht vorzügliche bessere Hülfsmittel zur Lösung der zweiten Aufgabe da sind. Bei dem magnetischen Theodolithen ist dies angenähert der Fall, bei den gewöhnlichen Compassen jedoch, wie auch bei dem in Rede stehenden verbesserten Azimutalcompass, steht die astronomische Leistung der magnetischen bedeutend nach.

Zählen wir das astronomische Azimut der Mire (a) vom Nordpuncte aus positiv über Osten nach Süden u. s. w. und den Winkel (b) zwischen der Richtung der Mire und dem magnetischen Meridian von der Mire aus positiv nach links, so ist die magnetische Declination

$$D = b - a,$$

wo ein positiver Werth von D eine westliche Declination bedeutet. Die Bestimmung des Winkels b ist also die magnetische, die des Winkels a die astronomische Leistung des Instruments; kommen denselben die resp. Fehler db und da zu, so ist der Fehler der gesammten Declinationsbestimmung

$$dD = \sqrt{(db)^2 + (da)^2}.$$

Unsere Aufgabe besteht demnach darin, diese beiden Fehler db und da des verbesserten Azimutalcompasses kennen zu lernen.

Zur Erreichung des ersten Zieles dienen relative Declinationsmessungen, indem man entweder Miren von bekanntem Azimut benutzt oder bei allen Beobachtungen einer Serie dieselbe Mire und denselben Standpunct beibehält. Ich habe das Letztere gethan. Die Mire war ein Merkmal in der Rinde eines entfernten starken Baumstammes, der Standpunct das bereits erwähnte unmagnetische Zelt.

Die Messungen des Winkels Mire-Magnet geschahen, wie folgt.

Nach erfolgter Nivellirung des Compasses wurden die Diopter durch Drehen der Alhidade auf die Mire eingestellt und die Stellung der vier Alhidadennonien am getheilten

Kreise abgelesen. Darauf wurde die Alhidade gedreht, bis die Nordspitze der Magnetnadel, durch das Augendiopter gesehen, mit dem Verticalfaden des gegenüberstehenden Diopters zusammenfiel und die entsprechende Stellung der Nonien wieder abgelesen; dasselbe geschah behufs Elimination der Excentricität mit der Südspitze der Nadel. Nunmehr wurde die Nadel herausgenommen, das Achathütchen umgesetzt, die Nadel, um 180° gedreht, wieder eingelegt und dieselben Ablesungen der Pole gemacht. Schliesslich wurde auch noch die Mire einvisirt. Da nun jede dieser Ablesungen der Nadelspitzen nach erfolgter Arretirung und Lösung der Nadel, verbunden mit dem üblichen Klopfen auf den Glasdeckel behufs Ueberwindung der Reibung, wiederholt wurde, so waren im Ganzen bei jeder einzelnen Bestimmung 40 Kreisablesungen erforderlich. Anfang und Ende der Beobachtung wurden nach dem Boxchronometer Wirén 73 notirt und das Ergebniss der Messung dem Mittel des Zeitintervalls zugeschrieben. Im Durchschnitt brauchte ich zu jeder solchen Messung 12 Minuten, wesshalb ich auch die Correction der einzelnen Ablesungen wegen der gleichzeitig vorsichgehenden Declinationsänderungen unterlassen habe, zumal andere, nicht zu eliminirende, Fehlerquellen vom viel grösserem Betrage sind. Die Tage der Messungen waren frei von magnetischen Störungen. Ein Beispiel der Beobachtungen ist folgendes:

29. August 1878. $10^h 54^m$ *a.* bis $11^h 6^m$ *a.*

	Nonien			
	I	II	III	IV
Mire	19°46′	109°46′	199°45′	289°43′
Pol, Marke.				
S. unten	17 37	107 37	197 36	287 35
S. unten	17 40	107 40	197 40	287 39
N. unten	197 41	287 41	17 41	107 41
N. unten	197 41	287 41	17 41	107 41
N. oben	197 44	287 43	17 45	107 44
N. oben	197 44	287 43	17 45	107 44
S. oben	17 42	107 42	197 42	287 41
S. oben	17 47	107 47	197 46	287 45
Mire	19 45	109 46	199 45	289 43

Hieraus die folgt Richtung der Mire für $11^h 0^m$ *a.* gleich 19°44′,9, die Richtung der magnetischen Axe der Nadel gleich 17°41′,8, folglich der Winkel Mire-Magnet gleich 2°3′,1.

Diese vier Angaben für alle 20 Messungen vom 23. und 29. August compariren in den ersten Columnen der Tafel I.

Tafel I.

1878 August 23.

Zeit.	Mire.	Magnet.	Mire-Magnet.	Declination.	Differenz C.	Abweichung v. Mittel.
9h 7m a.	185°21′,5	177°44′,9	7°36′,6	1° 3′,5	6°33′,1	— 0′,9
9 47	185 21,5	177 43,4	7 38,1	1 5,0	6 33,1	— 0,9
10 30	185 21,3	177 41,9	7 39,4	1 7,0	6 32,4	— 0,2
11 3	185 21,3	177 41,6	7 39,7	1 9,1	6 30,6	+ 1,6
11 44	185 21,3	177 39,7	7 41,6	1 11,7	6 29,9	+ 2,3
1 44 p.	185 21,5	177 37,4	7 44,1	1 15,0	6 29,1	+ 3,1
2 15	185 21,3	177 35,7	7 45,6	1 14,1	6 31,5	+ 0,7
2 47	185 21,0	177 35,5	7 47,5	1 13,6	6 33,9	— 1,7
3 8	185 21,0	177 34,0	7 47,0	1 12,8	6 34,2	— 2,0
3 47	185 20,4	177 35,5	7 44,9	1 10,8	6 34,1	— 1,9
				Mittel:	6°32′,2	± 1,53

1878 August 29.

10h 5m a.	19°45′,0	17°42′,7	2° 2′,3	1° 7′,9	54′,4	— 1′,6
10 35	19 45,0	17 41,9	2 3,1	1 8,9	54,2	— 1,4
11 0	19 44,9	17 41,8	2 3,1	1 10,2	52,9	— 0,1
11 26	19 44,4	17 39,1	2 5,3	1 11,6	53,7	— 0,9
11 52	19 44,4	17 39,8	2 4,6	1 12,2	52,4	+ 0,4
1 22 p.	19 44,9	17 36,7	2 8,2	1 13,2	55,0	— 2,2
1 51	19 44,9	17 41,5	2 3,4	1 12,7	50,7	+ 2,1
2 27	19 44,4	17 44,5	1 59,9	1 11,0	48,9	+ 3,9
3 2	19 44,3	17 40,9	2 3,4	1 9,8	53,6	— 0,8
3 36	19 44,5	17 43,1	2 1,4	1 8,8	52,2	+ 0,6
				Mittel:	52,8	± 1,40

Die aus den Zahlen der vierten Spalte folgenden Veränderungen der Winkel Mire-Magnet im Laufe der Beobachtungsstunden eines jeden Tages müssen, wenn das Instrument den magnetischen Theil der Aufgabe richtig löst, den wirklich stattfindenden gleichzeitigen Aenderungen der Declination entsprechen. Als solche betrachte ich diejenigen, welche der Adie'sche Magnetograph, der im unterirdischen Pavillon desselben Observatorium-Parkes aufgestellt ist, für dieselben Zeiten angiebt. In der fünften Spalte der Tafel I folgen daher die wahren Declinationen, welche ich aus den photographischen Curven des Unifilarmagnetographen direct ausgemessen und nach den vom Observatorium bestimmten Constanten reducirt habe. Die in der sechsten Columne figurirende Differenz C der beiden vorhergehenden Winkelgrössen

hat also die Bedeutung, das astronomische Azimut der benützten Mire zu sein und sollte daher, da der Standpunkt des Instrumentes nicht geändert wurde, in jeder Serie dieselbe bleiben. Diese ideale Constanz ist aber wegen der Fehler des Instrumentes und der unvermeidlichen der Beobachtung nicht vorhanden, und daher werden uns die Schwankungen jener Differenz um ihren jedesmaligen Mittelwerth die nothwendigen Grundlagen zur Beurtheilung der ersten Frage liefern: mit welcher Sicherheit kann der Winckel Magnet-Mire beim verbesserten Azimutalcompass gemessen werden, oder wie gross ist der Fehler *db*?

Aus den in der siebenten Verticalspalte der Tafel I gegebenen Abweichungen folgen die Mittelwerthe

23. August 1878 $\pm 1'{,}53$

29. August 1878 $\pm 1'{,}40$,

im Durchschnitt also aller 20 Messungen

Mittlere Abweichung	*einer* Beobachtung	$\frac{(\Delta)}{n}$	$= \pm 1'{,}465$
Wahrscheinlicher Fehler	*einer* Beobachtung	$0{,}674 \cdot \sqrt{\frac{(\Delta\Delta)}{n-1}}$	$= \pm 1'{,}209$

d. h. *wäre das astronomische Azimut der benützten Mire bekannt gewesen, so würde der wahrscheinliche Fehler einer einzelnen Declinationsbestimmung* $\pm 1'{,}21$ *betragen haben.*

Wenn wir behufs richtiger Beurtheilung dieser Grösse die Thatsache nicht ausser Acht lassen, dass der Ablesungsfehler des Kreises selbst schon $\pm 1'$ beträgt, so werden wir diese magnetische Leistung des verbesserten Azimutalcompasses gewiss eine recht befriedigende nennen können.

Derselbe Fehler beträgt bei den gewöhnlichen Compassen, deren Kreise direct bis auf ganze oder halbe Grade getheilt sind, in runder Zahl 4 bis 6 Minuten, dagegen bei den besseren magnetischen Theodolithen, welche noch 10 Secunden zu schätzen gestatten, etwa 0,2 bis 0,3 Minuten.

Aus der Columne «Abweichungen» in Tafel I erkennt man, dass der Compass träge ist, d. h. dass er gegen die Veränderungen der Declination am Magnetographen etwas zurückbleibt. Diese zu geringe Empfindlichkeit des Instrumentes ist ohne Zweifel der Art der Bewegung der Nadel auf einer, wenn auch sehr gut geschärften, Spitze zuzuschreiben, wo die Reibung ein weit grösseres Hinderniss der Bewegung darbietet, als die Torsion der Filarsuspension beim magnetischen Theodolithen.

Um über den numerischen Betrag dieses Reibungshindernisses und die Sicherheit der Einstellung der Nadel einigen Aufschluss zu bekommen, habe ich mehrere kleine Versuche angestellt, von denen, nach Besprechung anderer Eigenschaften des Compasses als Declinatorium, alsbald die Rede sein soll.

Excentricität der geometrischen Axe der Declinationsnadel. Dieselbe wird durch die Beobachtung beider Nadelspitzen eliminirt und beträgt (im Mittel der 4 Nonien).

$$\left.\begin{array}{ll}\text{Marke oben} & 2'{,}8\\ \text{Marke unten} & 3'{,}0\end{array}\right\} \text{ 30 Beobachtungen,}$$

im Durchschnitt also

$$\tfrac{1}{2}\,\Delta\,(N - S) = 2'{,}9.$$

mit den Extremen 0′,0 und 7′,2.

Würde man also nur eine Nadelspitze einstellen, so beginge man einen mittleren Fehler von 2′,9 Minuten in der Bestimmung einer jeden gemessenen Richtung.

Collimation der magnetichen Axe der Declinationsnadel. Die Abweidung der magnetischen Axe der Nadel von ihrer geometrischen erheischt eine neue Beobachtnng der Polspitzen, nachdem sie um 180° um ihre eigene Axe gedreht worden ist. Die halbe Differenz beider Einstellungen, hier speciell, der Einstellungen mit Marke oben und Marke unten, ergiebt sich aus 30 Beobachtungen zu

$$\tfrac{1}{2}\,\Delta\,(o - u) = 2'{,}1 \pm 1'{,}2\,,$$

mit den absoluten Extremen 0′,1 und 10′,4.

Dieses Resultat verdient etwas nähere Beachtung, da auf Reisen vielfach die Nadel nur in einer Lage beobachtet und zur Correction der Messungen die vor und nach der Reise ermittelte Collimation benützt wird. In unserem Falle ist die gefundene Collimation, selbst bei 30 Bestimmungen, noch mit einer mittleren Abweichung von 1′,2 behaftet, so dass also die eben erwähnte Abkürzung des Beobachtungsverfahrens einen Fehler dieser Grösse mit sich bringen würde. Ist der Compass so construirt, dass die Nadel nicht umgelegt werden kann, so muss die Collimation sammt allen übrigen Fehlern summarisch durch Vergleichungen mit normalen Instrumenten eruirt werden. Bekanntlich leidet auch der vielverbreitete Lamont'sche Reisetheodolith an dieser Inconvenienz, die dann zu einer erheblichen Fehlerquelle werden kann, wenn der Betrag der Collimation auf der Reise starken Schwankungen unterworfen ist. Bei Magnetnadeln, welche mit einem Spiegel verbunden sind, wird dies offenbar von der Sicherheit der Vereinigung beider Theile wesentlich abhängen, während auch in Folge molecularer Vorgänge innere Verschiebungen der magnetischen Axe Statt finden können. Auf der, von Herrn Wild gemachten Reise nach Tifliss, auf welcher er den magnetischen Theodolithen Brauer 38 mit sich führte, war, den mir freundlichst geliehenen Tagebüchern zufolge, bis zum 2ten Beobachtungstage in Kasan Spiegel und Magnet so wenig fest miteinander verbunden, dass die Collimation der magnetischen

Axe von — 4′,3 zu + 14′,2 schwankte! Die Beobachtung des Magneten in nur einer Lage und entsprechende summarische Anbringung der Correction würden also die allergrössten Fehler bedingt haben. An jenem Tage wurde die lose Verbindung beider Theile bemerkt und beseitigt. Von nun an hält sich die Collimation des Magneten innerhalb der viel kleineren Extreme 13′,7 und 15′,0 und beträgt im Mittel

$$\tfrac{1}{2}\,\Delta\,(o - u) = 14',1 \pm 0',4.$$

Aus 20 Beobachtungsreihen, die ich an demselben Instrumente im August und September 1878 in Pawlowsk angestellt habe, folgt

$$\tfrac{1}{2}\,\Delta\,(o - u) = 1',8 \pm 0',15,$$

woraus ohne weiteres der Einfluss der auf Reisen erfolgenden Erschütterungen auf die Constanz der Collimation der Magnetnadel ersichtlich ist.

Das Material für das Studium solcher instrumentellen Fragen ist sehr karg bemessen, da leider nur höchst selten magnetische Beobachtungen in extenso publicirt werden. Mir stehen zur Zeit nur noch die Messungen des Herrn Harkness zu Gebote, welche er auf einer Reise von Philadelphia um Cap Horn nach San-Francisco und von da nach Washington mit grosser Sorgfalt angestellt hat. (Harkness, Observations on terrestrial magnetism. Smithonian Contributions to Knowledge, Vol. XVIII.) Der Apparat war ein Declinatorium mit Collimatormagnet. Aus den an 21 Küstenpuncten gemachten Beobachtungen folgt

$$\tfrac{1}{2}\,\Delta\,(o - u) = 0',25 \pm 0',38,$$

mit den absoluten Extremen 0′,0 und 2′,0, also ganz ähnliche Werthe wie oben.

Das über die Collimation Vorgebrachte ist zu wenig umfassend, um einen allgemeinen Schluss ziehen zu können, doch scheint es darnach nahegelegt, zu vermuthen, dass die Anbringung der Collimationscorrection an Declinationsmessungen, bei denen ein am Faden suspendirter Magnet in nur einer Lage beobachtet wird, die Grenzen anderer Fehlerquellen nicht überschreitet, wofern nur darauf geachtet wird, dass Spiegel und Magnet möglichst unveränderlich mit einander verbunden sind. Vor der Prüfung dieser Frage hatte ich, und wohl auch mancher Anderer, die vorgefasste Meinung, dass jenes Verfahren z. B. beim Lamont'schen Reisetheodolithen bedeutende Fehler involviren müsse.

Reibung der die Magnetnadel tragenden Spitze und des Achathütchens aneinander. Die durch die Art der Suspension der Declinationsnadel bedingte Reibung wird mit Recht als die grösste Fehlerquelle aller magnetischen Messungen mit so beschaffnen Instrumenten angesehen. Um sich von ihr möglichst zu befreien, pflegt man die Nadel mehrmals zu arretiren und loszulassen, sowie durch Klopfen auf den Deckel der Büchse ihre Trägheit über-

winden zu helfen. Umgekehrt können mehrere schnell aufeinanderfolgende Einstellungen der Nadel, wobei man annehmen kann, dass die Richtung des magnetischen Meridians sich unterdessen nicht geändert hat, einen numerischen Begriff von dem Betrage der Reibung von Achathütchen und Spitze an einander geben. In diesem Sinne bestimmte ich bei allen Messungen die Differenz zweier aufeinanderfolgenden Einstellungen der Nadel und fand aus 137 solchen Doppelbeobachtungen (im Mittel aller 4 Nonien)

$$\Delta = 3{,}4$$

mit den Extremen $\Delta = 0{,}0$ und $\Delta = 15{,}5$. Die Abweichungen vom Mittelwerthe betragen natürlich nur die Hälfte (1,7). Der Einfluss der Reibung oder die Trägheit der Nadel, wenn der Erdmagnetismus nur allein wirksam ist, kann also nicht sonderlich gross genannt werden; dagegen nimmt sie bedeutend zu, wenn noch andre Kräfte auf die Nadel einwirken, wie aus folgenden Versuchen hervorgeht.

Die Declinationsnadel wurde durch einen Magneten aus ihrer Gleichgewichtslage um verschieden grosse Winkel abgelenkt und alsdann durch möglichst ruhiges und langsames Entfernen desselben in jene so zurückgeführt, dass sie dabei nicht in Schwingungen gerieth. Da sie in Folge der Reibung zwischen dem Achathütchen und der Spitze die ursprüngliche Gleichgewichtslage nicht mehr erreichen, sondern vor dieser zu Ruhe kommen wird, giebt der Unterschied beider Lagen den doppelten Betrag der Reibung in Theilen des Kreises an. Die Ablenkung geschah abwechselnd links und rechts. Die erste Ablesung nach derselben erfolgte, ohne dass der Deckel der Büchse geklopft wurde; erst dann wurde die Nadel arretirt, gelöst und die Büchse geklopft, und dies schliesslich behufs einer dritten Ablesung wiederholt. Bezeichnen wir die Differenzen zwischen der jedesmaligen ursprünglichen Gleichgewichtslage und den drei nach der Ablenkung beobachteten mit a, b, c, so folgen aus den an verschiedenen Tagen angestellten Versuchen folgende Mittelwerthe für die Declinationsnadel

Ablenkungswinkel	a	b	c	Anzahl d. Beobachtungen.
$> 70°$	22,2	9,9	7,9	10
$70 - 20$	43,0	13,2	9,9	12
< 20	25,1	6,0	6,6	12
Mittel	29,8	9,3	7,7	34

Diese Zahlen illustriren in eclatanter Weise, einmal den bedeutenden Einfluss der Reibung bei Ablenkungen, sodann die grossen Erfolge des üblichen Klopfens auf den Büchsendeckel, sowie der Arretirung und Lösung der Magnetnadel. Der Betrag der Reibung ist den mitgetheilten Zahlen zufolge ebenfalls bestimmten Gesetzen unterworfen. Betrachten wir sie als das mittlere Drehungsmoment, welchem sie das Gleichgewicht halten kann, so

ergiebt sich sofort die Abhängigkeit von der Grösse des magnetischens Momentes und dem Ablenkungwinkel. Den experimentellen Nachweis liefern die Versuche, welche ich in derselben Weise mit der zur Bestimmung der Horizontalintensität dienenden kurzen Nadel des Azimutalcompasses anstellte. Dieselbe ist kleiner (31 Mm. lang, 4 Mm. dick, 7,8 Mm. breit) und hat auch ein auch bedeutend kleineres magnetisches Moment.

Ablenkungswinkel	a	b	c	Anzahl d. Beobachtungen.
$> 70°$	47′,2	12′,5	11′,4	10
70 — 20	120,9	24,5	19,6	13
< 20	84,6	17,3	18,6	10
Mittel	91′,4	19′,4	17′,1	33

Diese Erkenntniss wird uns später zu Statten kommen, um die Unsicherheit, welche den absoluten Intensitätsbestimmungen mit dem Azimutalcompass anhängt, zu erklären.

Welche Extreme der Einfluss der Reibung annehmenen kann, zeigen in erschreckender Weise folgende Zahlen

		a	b	c
Declinations-Nadel		111′	33′	31′
Kurze		271	91	69.

Der zweite Theil der Prüfung des verbesserten Azimutalcompasses als Declinationsinstrument besteht in der Ermittelung des bei der Messung des Mirenazimutes (a) begangnen Fehlers (da).

Zur Bestimmung dieses astronomischen Azimutes hat man durch das Augendiopter mit vorgeschobenem Sonnenglase (in unserem Falle doppelt) den Antritt der beiden Sonnenränder an den verticalen Faden des gegenüberstehenden Diopters und die gleichzeitigen Chronometerzeiten, sowie darauf den Stand der Nonien am Theilkreise zu beobachten. Da jedoch bei der diffusen Beleuchtung des kleinen Sonnenbildchens und der zu starken Extinction des Lichtes an den Sonnenrändern eine einigermaassen genaue Beobachtung der Fadenantritte mit dem Instrumente nicht möglich war, suchte ich mir dadurch zu helfen, dass ich durch Drehen der Alhidade den Verticalfaden des Diopters auf die Mitte des Sonnenbildchens einstellte, den gleichzeitigen Chronometerstand notirte und gleich darauf den Stand der Nonien ablas. Da diese Operation kaum zwei Minuten in Anspruch nimmt, kann man in 10 bis 15 Minuten eine ganze Reihe von Messungen behufs Ermittelung des Azimutes machen. Indem ich so an vier Tagen, des Morgens bald nach Durchgang der Sonne durch den ersten Vertical, eine halbe Stunde oder länger nur Azimutalbestimmungen machte und sie nach der bekannten Formel

$$\operatorname{tg} a = \frac{\sin t}{\cos \varphi \operatorname{tg} \delta - \sin \varphi \cos t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

wo t den östlichen Stundenwinkel der Sonne, δ ihre Declination, φ die geographische Breite des Ortes bedeutet, berechnete und die so erhaltenen Werthe der Azimute der Linie 0—360 der Kreistheilung mit den jedesmal an den Nonien gemachten Ablesungen verglich, hätte ich jeweilen constante Azimute erhalten müssen, wenn die Messungen absolut richtig gewesen wären. Da dies nicht der Fall war, geben die Abweichungen der einzelnen Differenzen vom Mittelwerthe wieder Aufschluss über die Sicherheit absoluter Azimutbestimmungen mit dem Compasse. Aus 16 Messungen der ersten Art, d. h. wenn die Fadenantritte notirt wurden, folgt

$$da = \pm 5',2,$$

dagegen aus 24 der zweiten Art, wenn der Verticalfaden auf die Mitte des Sonnenbildchens eingestellt wurde

$$da = \pm 3',4,$$

so dass auf jeden Fall die astronomische Leistung des Instrumentes, so wie es jetzt construirt ist, der magnetischen erheblich nachsteht. Bei den Azimutbestimmungen im stabilen Observatorium Pawlowsk waren die in die Rechnung eingehenden Grössen t, φ, δ mit der gehörigen Genauigkeit bekannt, um keinen merklichen Fehler des Werthes a hervorzurufen; aber auf Reisen, namentlich solchen, wo keine genaueren astronomischen Bestimmungen gemacht werden, können Unsicherheiten in der Kenntniss jener Winkel andre Fehler bedingen, über deren Betrag wir uns noch einigen Aufschluss verschaffen müssen. Die Azimutbestimmung der Mire kann dann leicht doppelt so ungenau werden, als im obigen Falle.

Einfluss fehlerhafter Zeitbestimmung. Betrachten wir in Gleichung (1) zunächst den Stundenwinkel t als Veränderliche und differenziiren, so folgt nach einigen Transformationen

$$da = dt \{\tfrac{1}{2} \sin 2a \operatorname{cotg} t - \sin^2 a \sin \varphi\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

und somit für den speciellen Fall $t = 90°, 270°$

$$da = \sin \varphi \sin {}^2a \, dt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

und für den anderen $a = 90°, 270°$

$$da = \sin \varphi \, dt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

woraus u. A. die bekannte Regel folgt, dass es am besten ist, im ersten Verticale zu beobachten.

Versteht man unter U das Aggregat von Zeit, Zeitgleichung und Uhrcorrection, so ist $t = 360 - 15\,U$, also statt (4) und unabhängig vom Zeichen, gilt auch

$$da = 15 \sin \varphi \, dU \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

Es entsprechen einander folgende Werthe von φ und $15 \sin \varphi$

φ	$15 \sin \varphi$
0°	0,0
20	5,1
40	9,6
60	13,0
80	14,8

Auf Erforschungsreisen, wo die Hülfsmittel zu genauen Zeitbestimmungen oft gar mangelhaft sind, kann aber leicht der Fall vorkommen, dass der Zeitfehler $dU = \pm 2$ Secunden beträgt, was in Aequatorialgegenden einen verschwindenden, in der Breite von St. Petersburg aber schon den beträchtlichen Fehler von $\pm 0'{,}43$ im Azimute bewirkt.

Einfluss fehlerhafter Breitenbestimmung. Ist die Breite φ die Variable, so folgt aus (1) allgemein

$$da = d\varphi \frac{\sin^2 a}{\sin t} \{\operatorname{tg} \delta \sin \varphi + \cos t \cos \varphi\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

und somit im günstigen Falle

$$da = \operatorname{tg} \delta \sin^2 a \sin \varphi \, d\varphi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

Wenn wir der Einfachheit wegen annehmen, dass man nahe dem ersten Verticale beobachtet, so übersieht man leicht, wie da von der geographischen Breite φ und der Jahreszeit (δ) abhängt. Um die Uebersicht zu erleichtern, folgen im beistehenden Täfelchen die Werthe des Ausdruckes $\frac{1}{\operatorname{tg} \delta \sin \varphi}$; sie geben an, welchen Fehler man in der Annahme der Breite begehen müsste, damit der daraus resultirende des Azimutes $\pm 1'$ betrage

φ	$\delta = 2°$	$\delta = 10°$	$\delta = 23°$
20°	$83{,}3' = 154{,}5$ Kil.	$16{,}7 = 31{,}0$ Kil.	$6{,}9 = 12{,}7$ Kil.
40	$45{,}4 = 83{,}2$	$8{,}9 = 16{,}5$	$4{,}7 = 8{,}7$
60	$33{,}3 = 61{,}8$	$6{,}5 = 12{,}1$	$2{,}7 = 5{,}0$
80	$29{,}4 = 53{,}5$	$5{,}8 = 10{,}8$	$2{,}4 = 4{,}5$

Zur Zeit der Solstitien muss man also in der Breite von St. Petersburg die geographische Breite bis auf $2{,}7 = 5{,}0$ Kilom. genau haben, wenn der Fehler des berechneten Azimuts $< \pm 1'$ sein soll.

Einfluss fehlerhafter Annahme der Sonnendeclination. Aus (1) folgt allgemein

$$da = d\delta \frac{\cos \varphi}{\sin t} \cdot \frac{\sin^2 a}{\cos^2 \delta}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

also für den speciellen Fall $t = 90°, 270°$

$$da = d\delta \cos \varphi \frac{\sin {}^2a}{\cos {}^2\delta} \ldots \quad , \ldots \ldots \ldots \quad (9)$$

Macht man wieder die Annahme, dass nahe dem ersten Verticale beobachtet wird, so nimmt der Coefficient von $d\delta$ seinen Maximalwerth 1,18 an, wenn $\varphi = 0°$, $\delta = 23°$ ist; für $\varphi = 0 = \delta$, ist er gleich 1,0. Die in der Bestimmung der Länge und der Zeit gemachten Fehler influiren auf die Sonnendeclination, aber selbst zur Zeit der grössten Declinationsänderungen der Sonne, den Aequinoctien, entspräche einem Fehler $da = \pm 1'$ ein Zeitfehler von 1^h oder ein Längenfehler von 15°, was natürlich nie möglich ist. Der Fehler $d\delta$ ist also in jedem Falle bedeutungslos. Dagegen kann das Zusammenwirken der einzelnen Fehler $dU, d\varphi, d\delta$ einen nicht zu vernachlässigenden im Azimute a hervorbringen.

Kehren wir nach diesem Excurse zum Azimutalcompasse zurück, so können wir die Eingangs gestellte Aufgabe, die Fehler db und da desselben zu ermitteln, als gelöst betrachten. Wir fanden

$$db = 1',2 \qquad da = \pm 3',4,$$

folglich ist der *wahrscheinliche Fehler einer vollständigen*[1]) *Declinationsbestimmung mit dem Azimutalcompasse Brauer № 14*

$$dD = \sqrt{(1,2)^2 + (3,4)^2} = 3',6.$$

Ich glaube, dass es möglich sein dürfte, die astronomische Leistung des Instrumentes durch Anbringung besserer Sonnengläser zu heben. Am besten freilich bleibt es, sich von ihr ganz unabhängig zu machen nnd das Azimut durch astronomische Hülfsmittel zu bestimmen. Geschieht dies mit einer Sicherheit von $\pm 0',3$, so wäre der Gesammtfehler einer Declinationsmessung mit dem Azimutalcompass $\pm 1',53$: eine Leistung, mit der man auf Reisen oft zufriedengestellt sein kann.

2. Bestimmung der magnetischen Horizontalintensität.

Da die Beobachtungen der absoluten Horizontalintensität mit dem Azimutalcompass fast ganz nach derselben Methode gemacht wurden, welche von Herrn Wild für ein ähnliches Instrument angegeben[2]) worden ist, brauche ich sie hier erst nicht zu erläutern und erwähne

1) Die Angabe des Hrn. Fritsche (Repert. für Meteorologie II, 182) wonach der wahrscheinliche Fehler einer Declinationsbestimmung mittelst eines ähnlichen Instrumentes $\pm 0{,}95'$ beträgt, kann missverstanden werden, denn dieser Fehler bezieht sich nur auf die Bestimmung des Winkels Mire-Magnet, da das Azimut anderweitig bekannt war, nicht auf eine vollständige Declinationsbestimmung.

2) Anleitung zur Bestimmung der Elemente des Erdmagnetismus auf Reisen in: Neumayer, Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen. Berlin 1875.

nur, dass der Apparat zu den Schwingungsbeobachtungen insofern sehr verbessert war, als die einfache Kreistheilung sich nicht auf dem Boden des Kastens befand, was ein sehr unbequemes verticales Einvisiren erheischt, sondern dass an der Innenseite eines leichten rechteckigen Gestelles, welches an einer Seitenwand des Kastens befestigt werden kann, eine gradlinige Scale von 44 Theilstrichen angebracht ist, welche durch einen Spalt in derselben, an der polirten Endfläche des 126^{mm} entfernten Magneten gespiegelt, gesehen werden kann. Die Beobachtung der Durchgänge durch die Gleichgewichtslage erfolgt also ganz ebenso wie beim magnetischen Theodolithen, nur dass hier die optische Kraft des Fernrohrs zu Hülfe genommen wird. Der aus 200 Durchgängen berechneten Schwingungsdauer des Magneten kann daher eine fast ebenso grosse Genauigkeit beigelegt werden, wie der am Theodolithen beobachteten.

Eine weit geringere Ungenauigkeit besitzen die Ablenkungsbeobachtungen, ganz abgesehen davon, dass sie recht umständlich sind, wenn man einigermaassen verlässliche Werthe erlangen will. Die Ablenkungsnadel ist, wie bereits erwähnt, bedeutend kleiner als die Declinationsnadel und behufs ihrer Beobachtung mit dem Prisma durch angesetzte Messingspitzen verlängert. Sie wird durch den cylindrischen Schwingungsmagneten (60^{mm} lang, 10^{mm} Durchmesser) aus den resp. Entfernungen von 200 und 265 Mm. abgelenkt, indem der ablenkende Magnet bald auf der West-, bald auf der Ostseite, bald jeweilen N.-Pol in West, bald in Ost etc. gelegen ist. Da nun beim Compasse das Einstellen beider Nadelspitzen, die Wiederholung der Messung und das Ablesen von 4 Nonien erforderlich sind, werden die Ablenkungsbeobachtungen, zumal im Anfange, wo aus beiden Entfernungen behufs Ermittelung eines gewissen Factors abgelenkt werden muss, sehr umständlich. Man muss dann $8 \times 2 \times 4 \times 2 = 128$ Kreisablesungen machen! Dieselben würden weniger Zeit beanspruchen, als in der That der Fall ist, wenn die Ablenkungsnadel sich mit grösserer Energie einstellen würde; allein bei ihrem kleinen magnetischen Momente und der folgerechten grossen Reibung an der Spitze, schwankt sie so unruhig hin und her, dass es immer etwa anderhalb Minuten dauert, ehe man die Spitze der Ablenkungsnadel in der Büchse, bei der Beobachtung durch das Prisma, mit der Visirlinie zur Coincidenz gebracht hat.

Formel zur Berechnung der Horizontalintensität aus den Ablenkungs- und Schwingungsbeobachtungen.

Es bedeute:

H die Horizontalcomponente der Intensität des Erdmagnetismus,

N_0 das Trägheitsmoment des Schwingungs- und Ablenkungsmagneten bei 0^0 C.

$N = N_0 (1 + 2\,e\,t)$, wo $e = 0{,}0000124$, dasselbe bei t^0 C,

E_1, E_2 die in Millimetern ausgedrückten Entfernungen des bei 0° Ablenkungsmagneten vom Centrum der freien Nadel,

m den linearen Ausdehnungscoefficienten des Messings (0,0000188)
υ_1 und υ_2 die den Entfernungen E_1 und E_2 entsprechenden Ablenkungswinkel,
μ den Temperaturcoefficienten des Schwingungsmagneten,
τ die mittlere Temperatur in °C während der Ablenkungsbeobachtungen,
T_0 die auf wahre Secunden, unendlich kleine Amplituden, eine Bewegung ohne Torsion des Fadens und auf ein magnetisches Moment des Magneten, wie es bei 0 °C ist, reducirte Schwingungszeit.

Alsdann hat man

$$H = \sqrt{\frac{2\pi^2 N_0 (1 + 2\,et),}{a_0 T_0^2}}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A)}$$

wo noch

$$a_0 = \frac{E_1^5 \sin \upsilon_1 - E_2^5 \sin \upsilon_2}{E_1^2 - E_2^2} (1 + \mu\tau)(1 + 3\,m\tau)$$

zur Abkürzung gesetzt wurde.

Bestimmung des Trägheitsmomentes des Ablenkungs- und Schwingungsmagneten. Da der Schwingungsmagnet die regelmässige mathematische Gestalt eines Cylinders, dessen polirte Endflächen eben sind und auf der Längsrichtung senkrecht stehen, hat, lässt sich sein Trägheitsmoment N aus den Dimensionen und dem Gewichte ableiten. Für einen Cylinder von Länge l und dem Halbmesser r gilt bekanntlich

$$N = \tfrac{1}{4}\left(\tfrac{1}{3} l^2 + r^2\right). G, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A, 1)}$$

wo das G das Gewicht desselben in Grammen bedeutet.

Die Ausmessung der Dimensionen l und r des Cylinders erfolgte mit einem Dickenmesser von Girgensohn in St. Petersburg, der Dicke allein auch mit dem Sphaerometer und der Länge allein auch mit einem kleinen Kathetometer von Brauer. Im Mittel aller der Messungen fand ich

$$\left.\begin{aligned} l &= 60{,}1594 \text{ Mm.} \\ r &= 5{,}0856 \text{ Mm.} \end{aligned}\right\} \text{ für } 17{,}2° \text{ C.}$$

und aus mehreren Wägungen auf einer Krause'schen Kilogrammwaage mit dem verificirten Gewichtssatze Herrmann & Pfister № 2.

$$G = 38705 \text{ Mgrm.},$$

woraus

$$\log N_0 = 7{,}07419$$

folgt.

Gewöhnlich bestimmt man das Trägheitsmonument, auch bei regelmässigen Magneten,

auf experimentellem Wege und meint, dadurch eine grössere Genauigkeit erlangt zu haben. Das ist aber im Allgemeinen nicht der Fall, denn man hat bei der Ausmessung des unmagnetischen Hülfskörpers eine oft grössere Schärfe nothwendig, als bei der des regelmässig gestalteten Magneten selbst. So ist es z. B. in unserem Falle. Aus der Gleichung (A) folgt, abgesehen von den kleinen Reductionsgrössen

$$d\,N = d\,H.\,\frac{a\,.\,H\,.\,T^2}{\pi^2},$$

also im vorliegenden Falle

$$d\,N = 13960000 \times d\,H,$$

und, wenn H mit einer Sicherheit von $dH = \pm 0{,}0005$ absoluten Einheiten bestimmt werden soll

$$dN = 6980.$$

Ferner leiten wir aus (A. 1) folgende Relationen ab

$$dl = \frac{6}{l\,.\,G}\,.\,dN$$

$$dr = \frac{2}{r\,.\,G}\,.\,dN \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A, 2)}$$

$$dG = \frac{1}{1\frac{1}{2}\,l^2 + \frac{1}{4}\,r^2}\,.\,dN,$$

die für alle die cylindrischen Magnete, bei denen $l = 12r$ ist, die specielle Form annehmen

$$dr = \frac{2}{r\,.\,G}\,.\,dN$$

$$dl = \tfrac{1}{4}\,.\,dr \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A, 3)}$$

$$dG = \frac{4}{37\,r^2}\,.\,dN$$

Hieraus finden wir nach Substitution der oben gegebenen Zahlenwerthe von r, G, und dN

$$d\,r = \pm\ 0{,}072 \text{ Mm.}$$

$$dl = \pm\ 0{,}018 \text{ Mm.}$$

$$dG = \pm\ 30 \text{ Mgr.}$$

Bei den zur Messung der Grössen r, l, G gebrauchten Hülfsmitteln ist es möglich gewesen,

diese Genauigkeitsgrenzen einzuhalten. Herr Wild hat a. a. O.[1]) die Genauigkeitsgrenzen angegeben, die unter gleichen Bedingungen bei der Ausmessung des ringförmigen Hülfskörpers bestehen müssen und giebt an (D_0 äusserer, d_0 innerer Durchmesser des 89373 Mgr. schweren Ringes)

$$d\,D_0 = \pm\ 0{,}018 \text{ Mm.}$$

$$d\,d_0 = \pm\ 0{,}032 \text{ Mm.}$$

$$G\,d = \pm\ 54 \text{ Mgr.}$$

Wie man sieht, werden in beiden Fällen gleich weit gehende Forderungen gestellt darum erscheint mir die Ausrechnung des Trägheitsmomentes bei regelmässig geformten Magneten einfacher und mindestens ebenso so sicher, als die experimentelle Methode, welche eines gut gearbeiteten Hülfskörpers bedarf und zudem viel umständlicher ist. Freilich besitzt nur in den wenigsten Fällen der Magnet eine einfache mathematische Gestalt.

Bestimmung der Entfernung des Ablenkungsmagneten vom Centrum der freien Nadel.

Die Ablenkungsschiene, welche senkrecht zur Visirlinie der Diopter auf die Alhidade so aufgeschraubt wird, dass ihre Mitte über dem Centrum der freien Nadel sich befindet, hat auf jeder Seite ein Paar kleine Löcher, in die der Ablenkungsmagnet mittelst eines Stiftchens gesteckt wird und die vom Centrum um 200 Mm. resp. 265 Mm. entfernt sein sollen, weil alsdann das günstigste Verhältniss der Entfernungen $\frac{E_1}{E_2} = 1{,}32$ nahezu hergestellt ist. Die Distanzen der zugehörigen Löcher ($2E_1$ und $2E_2$) wurden in der Weise verificirt, dass, nachdem die Ablenkungsschiene in dem kleinen Comparator von Brauer parallel und in gleicher Höhe mit dem Normalmeter des Physikalichen Centralobservatoriums gelegt worden war, die Micrometermicroscope auf die Mitten der betreffenden Löcher eingestellt und sodann durch transversale Verschiebung des Kastens der Meterstab unter die unverändert gebliebenen Microscope gebracht wurde. Die Längendifferenz gegen die benachbarten Theilstriche gab die kleinen Abweichungen der Distanzen $2E_2$ und $2E_1$ von den beabsichtigten Werthen 400 Mm. und 530 Mm. Im Mittel aus 5 Messungen fand ich, dass bei 0° C.

$$E_1 = 265{,}100 \text{ Mm.}$$

$$E_2 = 200{,}089 \text{ Mm.}$$

Die Sicherheit dieser Messungen beträgt $\pm$ 0,01 Mm.; und es ist nun die Frage, ob dieselbe genügt, um in der Ermittelung von H keinen grösseren Fehler als $\pm$ 0,0005 oder höchstens $\pm$ 0,001 absolute Einheiten zu veranlassen. Zu dem Ende differenziren wir die

1) Repertorium für Meteorologie. Bd. I, 281.

Gleichung (A) nach H und a als Veränderlichen und erhalten, von den kleinen Correctionsgrössen und vom Zeichen abgesehen

$$da = \frac{2\,a}{H} \,.\, dH \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A, 4)}$$

oder in Procenten der Grösse a selbst ausgedrückt

$$100\,\frac{da}{a} = \frac{200}{H} \,.\, dH \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A, 5)}$$

d. h. in unserem Falle darf a nicht um 0,1227% oder um 7226 falsch sein, wenn $dH = \pm 0{,}001$ angenommen wird.

Zwischen dieser Grösse a uud den Distanzen E_1 und E_2 bestehen aber folgende Relationen, die ebenfalls aus (A) abgeleitet sind:

$$dE_1 = da \,.\, \frac{E_2^2 - E_1^2}{5\,E_1^4 \sin \upsilon_1 - 2\,a\,E_1}$$

und (A, 6)

$$dE_2 = da \,.\, \frac{E_2^2 - E_1^2}{5\,E_2^4 \sin \upsilon_2 - 2\,a\,E_2},$$

die für den günstigen Fall, dass $E_2 = 200$ Mm. und $\frac{E_1}{E_2} = 1{,}32$ ist, auch geschrieben werden können

$$dE_1 = \frac{da}{[5{,}91161] \sin \upsilon_1 - [8{,}24392]\,a}$$

und (A, 7)

$$dE_2 = \frac{da}{[5{,}42273] \sin \upsilon_2 - [8{,}12170] \,.\, a}\,.$$

Mit Benutzung der obigen Zahlenwerthe findet man also die nothwendigen Genauigkeitsgrenzen

$$dE_1 = 0{,}0424 \text{ Mm.}$$
$$dE_2 = 0{,}0597 \text{ Mm.},$$

welche innerhalb der wirklich eingehaltenen liegen.

Bestimmung des Temperaturcoefficienten des Schwingungs- und Ablenkungsmagneten. Dieselbe erfolgte nach der von Lamont (Handbuch des Erdmagnetismus. Berlin, 1849, S. 125 ff.) angegebenen Methode, zu welcher ein älteres Gambey'sches Declinatorium besonders eingerichtet worden war; die kleinen Aenderungen des Ablenkungswinkels wurden jedoch nicht direct am Horizontalkreise des Theodolithen, sondern an einer gegenüberstehenden Scale mit Fernrohr abgelesen. Die gleichzeitigen Aenderungen der Declination wurden an einer Tangentenbussole, welche im nämlichen Pavillon für absolute magnetische

Bestimmungen aufgestellt ist, beobachtet. Aus zwei solchen Bestimmungen fand ich den Temperaturcoefficienten im Mittel

$$\mu = 0{,}00070658 \pm 0{,}0000167.$$

Wollen wir auch hier untersuchen, ob die erreichte Genauigkeit in der Bestimmung des Temperaturcoefficienten genügend ist, um H bis auf $\pm$ 0,001 absolute Einheiten sicher zu erhalten, so müssen wir wieder zur Gleichung (A) zurückkehren, die wir nun, da in a_0 und T_0^2 je ein Glied mit dem Factor μ enthalten ist, so schreiben:

$$H = \sqrt{\frac{2\pi^2 N}{a_1 T_1^2 (1-\mu\delta)}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A, 8)}$$

wo δ die Differenz der Temperaturen bei den Schwingungs- und bei den Ablenkungsbeobachtungen bedeutet. Es folgt sodann

$$H^2 (1 - \mu\delta) = \text{Constans}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A, 9)}$$

und somit genau genug

$$d\mu = \frac{2}{\delta} \cdot \frac{dH}{H} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A, 10)}$$

Nehmen im Maximum $\delta = 5°$ an, was bei unseren Beobachtungen nie der Fall war, so folgt für $H = 1{,}63$

$$d\mu = \pm 0{,}0002454,$$

woraus hervorgeht, dass bei der Berechnung der Horizontalintensität die Correction wegen der Temperatur des Magneten ganz unterbleiben kann, wofern man sich mit der Genauigkeit $dH = \pm$ 0,001 absolute Einheiten zufriedenstellt.

Bestimmung des Inductionscoefficienten des Schwingungs- und Ablenkungsmagneten. Nicht, als ob die Messungen der Horizontalintensität mit dem Azimutalcompass eine so hohe Genauigkeit gewährten, dass der besondere Werth des Inductionscoefficienten des Magneten genau bekannt sein müsste, um nicht in diesem Puncte zu fehlen, sondern vielmehr der Vollständigkeit wegen, habe ich denselben durch Versuche nach der Lamont'schen Methode (Handbuch des Erdmagnetismus, p. 153) ermittelt. Es war

$$\tfrac{1}{2}(\varphi - \varphi') = 8' 15''$$

$$\tfrac{1}{2}(\varphi + \varphi') = 29° 7' 30''$$

$$V = 4{,}6685,$$

woraus der Inductionscoefficient

$$k = 0{,}0009163$$

folgt. Also Temperatur- wie Inductionscoefficient haben bei dem in Rede stehenden Magneten mittelgrosse Werthe.

Ablenkungsbeobachtungen. Es wurden im Ganzen fünf absolute Messungen der Horizontalintensität mit dem Azimutalcompass ausgeführt. Die Ablenkungsbeobachtungen aus den Distanzen E_1 und E_2 gaben die mittleren Ablenkungswinkel (aus je 64 Kreisablenkungen) υ_1 und υ_2, bei der mittleren Temperatur τ.

υ_1	υ_2	τ
18°45′,0	48°50′,0	16°,3
18 51,6	48 49,2	22,6
18 52,4	48 55,6	23,0
18 41,7	48 52,3	24,3
18 42,0	48 53,1	23,5.

Schon oben zeigte ich, dass die Einstellung der abgelenkte Nadel eine sehr unsichere ist, da ihr magnetisches Moment nur gering, dagegen die Reibung zwischen Achathütchen und Spitze sehr bedeutend ist. Die Folge davon ist die Ungenauigkeit in der Messung der Ablenkungswinkel, wie eben vorstehende Zahlen beweisen, da man auf den ersten Blick übersieht, dass so grosse Winkelverschiedenheiten nicht durch wirkliche Aenderungen der Horizontalintensität hervorgerufen sein können. Untersuchen wir den Zusammenhang zwischen υ_1 und υ_2 einerseits und der Grösse a, die in H enthalten ist, andererseits, so finden wir aus Gleichung (A) die Relationen

$$d\upsilon_1 = da \cdot \frac{E_1^2 - E_2^2}{E_1^5 \cos \upsilon_1}$$
$$d\upsilon_2 = da \cdot \frac{E_1^2 - E_2^2}{E_2^5 \cos \upsilon_2} \cdot \qquad \text{(A, 11)}$$

Für den Fall, dass $E_2 = 200$ Mm. und $\frac{E_1}{E_2} = 1{,}32$ ist, wird somit der zu tolerirende Fehler, in Theilen des Bogens ausgedrückt:

$$d\upsilon_1 = \frac{da}{[2{,}32146] \cos \upsilon_1}$$
$$d\upsilon_2 = \frac{da}{[1{,}71036] \cos \upsilon_2}, \qquad \text{(A, 12)}$$

woraus speciell für die vorliegenden Beobachtungen, wo υ_1 und υ_2 die obigen Werthe besitzen, da aber den aus Gleichung (A, 5) folgenden, sich ergiebt

$$d\upsilon_1 = 0',6$$
$$d\upsilon_2 = 2',5$$

Diese Bedingungen sind, wie leicht ersichtlich, beim Azimutalcompass Brauer № 14 nicht erfüllt; die Folge davon wird sein, dass die mit diesem Instrumente vorgenommenen absoluten Messungen der Horizontalintensität die Genauigkeit $\pm$ 0,001 nicht vollkommen erreichen.

Schwingungsbeobachtungen. Es wurde jedesmal vor und nach den Ablenkungsbeobachtungen die Schwingungsdauer des Ablenkungsmagneten in dem oben beschriebenen Kasten beobachtet. Dieselben waren im Mittel, entsprechend den obigen Ablenkungsbeobachtungen

$$\begin{aligned} &3{,}8054^s \pm 0{,}0016^s \\ &3{,}8089^s \pm 0{,}0019^s \\ &3{,}8071^s \pm 0{,}0012^s \\ &3{,}8073^s \pm 0{,}0018^s \\ &3{,}8062^s \pm 0{,}0012^s, \end{aligned}$$

so dass zwei einzelne Schwingungsdauern vom jeweiligen Mittelwerthe im Durchschnitt um $\pm$ 0,0017^s abweichen. Diese Genauigkeit ist ausreichend, wenn H nur bis auf einen Fehler von $\pm$ 0,001 sicher bestimmt werden soll, denn man erhält aus Gleichung (A) die Bedingungsgleichung

$$dT = dH \cdot \frac{T}{H} \cdot \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A, 13)}$$

oder in Procenten ausgedrückt,

$$100\,\frac{dT}{T} = 100 \cdot \frac{dH}{H}, \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A, 14)}$$

d. h. im vorliegenden Falle darf T nicht um $\pm$ 0,0613% oder um $\pm$ 0,0023^s fehlerhaft sein.

Berechnung der absoluten Horizontalintensität. Wir haben in dem Vorhergehenden alle in die Rechnung eingehenden Factoren besprochen und sind zu dem Resultate gelangt, dass, wegen der Ungenauigkeit der Ablenkungsbeobachtungen, die Horizontalintensität des Erdmagnetismus mit dem Azimutalcompass Brauer № 14 nicht vollkommen mit einer Sicherheit von $\pm$ 0,001 absoluten Einheiten bestimmt werden kann.

Um nun den wirklichen wahrscheinlichen Fehler einer Intensitätsbestimmung mit dem Azimutalcompass zu bestimmen, hat man die Horizontalintensität nach Gleichung (A) zu berechnen und mit den gleichzeitigen Werthen des Magnetographen, welche als normale betrachtet werden, zu vergleichen. Die Differenz der correspondirenden Werthe sollte dieselbe bleiben, falls Azimutalcompass und Magnetograph in ihrem Gange übereinstimmen. Da dies nicht der Fall ist, geben die Abweichungen der einzelnen Differenzen vom Mittelwerthe über die Genauigkeit einer Intensitätsbestimmung Aufschluss.

Ich fand folgende Abweichungen und Quadrate derselben:

Δ	Δ^2
— 0,0053	0,00002809
+ 0,0090	0,00008100
— 0,0038	0,00001444
— 0,0068	0,00004624
+ 0,0069	0,00004761,

woraus sich im Mittel

$$\left.\begin{aligned} \frac{(\Delta)}{n} &= \pm\, 0{,}006 \\ 0{,}6745 \,.\, \sqrt{\frac{(\Delta\Delta)}{n-1}} &= \pm\, 0{,}005 \end{aligned}\right\} \text{absolute Einheiten}$$

ergiebt.

Vielleicht wird man die Genauigkeit der Messungen der Horizontalintensität mit dem Azimutalcompass dadurch erhöhen können, dass man die jetzige Ablenkungsnadel durch eine andere, von grösserem magnetischen Momente, etwa durch die Declinationsnadel selbst, ersetzt. Die Einstellung derselben bei den Ablenkungen wird alsdann eine sicherere sein, und damit die Fehlerquelle der Bestimmungen etwas reducirt werden. Freilich bleibt dann noch zu bedenken übrig, dass die Grundbedingungen, welche die Ableitung der obigen Formel (A) ermöglicht haben, unter solchen Umständen nicht mehr streng erfüllt sind.

Da unser Hauptziel war, die Genauigkeit zu ermitteln, mit der aus Beobachtungen mittelst des Azimutalcompasses die Declination und die Horizontalintensität bestimmt werden können, kam es uns nicht auf die absoluten Grössen, sondern eher auf relative an. Die absoluten Angaben müssen aber ebenfalls bekannt sein, damit es möglich wird, die mit dem Instrumente angestellten Beobachtungen mit andern, welche als *normale* gelten, vergleichbar zu machen. Fünf Messungen der Declination, mit Benutzung der beiden Miren von bekannten Azimut im Pavillon für absolute Messungen, ergaben die Correction des Azimutalcompasses, in Declination gleich

— 15′,6

und die oben erwähnten Messungen der Intensität, in Horizontalintensität gleich

— 0,0217 (Mm. Mgr.).

Die erstere Differenz wird zum grössten Theile von der schiefen Stellung der Prismas

am Augendiopter herrühren; die Differenz für die Intensität ist wohl hauptsächlich geringem Eisengehalt des Messings beizumessen.

Die Resultate der Prüfuug des Azimutalcompasses (Brauer № 14) lassen sich schliesslich dahin resumiren:

1. Der wahrscheinliche Fehler einer *vollständigen* Declinationsbestimmung mit dem verbesserten Azimutalcompass beträgt ± 3,6 Minuten; dagegen ~~um~~ nur ± 1,2 Minuten, wenn das *Azimut* der Mire anderweitig bekannt ist.

2. Der wahrscheinliche Fehler einer absoluten Bestimmung der Horizontalintensität mit demselben Instrumente ist ± 0,005 absolute Einheiten.

3. Die Sicherheit der Intensitätsbestimmungen könnte dadurch erhöht werden, dass durch Aenderung der kleinen Nadel die Ablenkungswinkel mit grösserer Genauigkeit bestimmt würden.

II. Das compensirte Magnetometer Weber-Kohlrausch.

Unter dem Namen «Weber'sches compensirtes Magnetometer» hat zuerst Herr F. Kohlrausch[1]) ein Instrument beschrieben, welches «zunächst zur bequemen und genauen Vergleichung der Horizontalintensität an verschiedenen Orten» dienen soll, und welches auch absolute Messungen «mit nicht grösserer Mühe, als andre transportable Instrumente. und mit der Genauigkeit, welche man von solchen verlangen kann», anzustellen gestattet, Im Wesentlichen wird an besagter Stelle jedoch nur das Princip des Instrumentes erläutert, ohne weitere Angaben über die Leistungsfähigkeit desselben, die allerdings a priori als nicht unbedeutend veranschlagt werden, zu machen. Das Einzige, was Herr Kohlrausch in dieser Beziehung beibringt, ist, dass das mit dem compensirten Magnetometer bestimmte Verhältniss der Horizontalintensität in Zürich und Göttingen fast genau mit dem aus Lamont's Karten (Ende der fünfziger Jahre) folgendem übereinstimmt! Da eine solche Prüfung des Instrumentes nicht beweist, «dass die für die genannten Zwecke (relative Messungen) erforderliche Genauigkeit, dass nämlich die Beobachtungsfehler kleiner seien, als die Variation des Erdmagnetismus, der Apparat vollständig leistet», schien mir eine nähere Untersuchung der Leistungsfähigkeit desselben nicht überflüssig zu sein, zumal diese Methode der relativen Intensitätsmessungen aus Ablenkungen das Gegenstück zu der aus Schwingungen bietet, mit welcher ich mich zur selben Zeit beschäftigte. Dabei beschränkte ich mich nur auf relative Bestimmungen der Horizontalintensität, denn es ist von vornherein klar, dass absolute Messungen im Verhältniss zu ihrer Umständlichkeit bei diesem Instrumente eine sehr geringe Genauigkeit besitzen.

1) Poggendorff's Annalen 5. Reihe, 22 Bd. 1871.

Das dem meteorologischen Observatorium in Pawlowsk gehörige compensirte Magnetometer stammt aus der mechanischen Werkstätte des Hrn. Meyerstein in *Göttingen* und scheint eine Copie des von Hrn. Kohlrausch beschriebenen zu sein. Die rhomboidisch gestaltete Bussolennadel (λ) ist $16{,}20^{mm}$ lang, $4{,}75^{mm}$ breit; die ähnlich geformten Ablenkungsmagnete haben die Dimensionen

	Länge.	Breite.	
grosse (L)	48,15	11,85	Mm.,
	48,00	11,85	
kleine (l)	32,05	9,25	
	32,45	9,10	

weichen also je um nicht zu vernachlässigende Grössen von einander ab.

Der Theorie nach soll ferner sein

$$L : l : \lambda = 3 : 2 : 1$$

also, λ als Einheit angenommen

$$L : l : \lambda = 48{,}60 : 32{,}40 : 16{,}20;$$

es ist aber in Wirklichkeit bei dem gebrauchten Instrumente

$$L : l : \lambda = 48{,}07 : 32{,}25 : 16{,}20.$$

Die Entfernung der Centren der grossen Ablenkungsmagnete (L) von einander beträgt $R = 252{,}85$ Mm., die der kleinen (l) $r = 209{,}70$ Mm., so dass

$$\frac{R}{r} = 1{,}2058$$

ist, während die Theorie

$$\frac{R}{r} = 1{,}2041$$

fordert. Wird also z. B. der Werth von r als richtig angenommen, so müsste am Instrumente $R = 251{,}92$ Mm. statt 252,85 Mm. sein.

Diese Angaben mögen zeigen, dass das Instrument nicht grade mit der äussersten Sorgfalt in der genannten Werkstätte gearbeitet worden ist.

Bedeuten H und H_0 die den beiden Ablenkungswinkeln φ und φ_0 und den beiden Temperaturen t und t_0 entsprechenden Werthe der Horizontalintensität, μ den Temperaturcoefficienten der Ablenkungsmagnete, so ist, unter der Voraussetzung, dass ihr magnetisches Moment dasselbe geblieben

$$\frac{H}{H_0} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_0}{\operatorname{tg} \varphi} \left\{ 1 + \mu (t_0 - t) \right\} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(B, 1)}$$

Ist also der Werth (H_0) des Ausgangspunctes der relativen Messungen in absolutem Maasse bekannt, so genügt zur Ermittelung der Horizontalintensität zu einer anderen Zeit oder an einem anderen Orte die Messung des Ablenkungswinkels und der gleichzeitig stattfindenden Temperatur, wofern der Temperaturcoefficient durch anderweitige Versuche ermittelt ist. Die 20, mit dem compensirten Magnetometer angestellten relativen Bestimmungen der erdmagnetischen Horizontalintensität vom 28. August bis 8. September 1878 geschahen auf folgende Weise.

Nach erfolgter Nivellirung der Bussole wurde sie mittelst des drehbaren Tischchens ihres zugehörigen Dreifusses in den magnetischen Meridian gestellt, so dass die Richtung R des aufgelegten Rahmens mit den 4 Ablenkungsmagneten in denselben fiel, und hierauf der Ablenkungswinkel sowie die Temperatur eines auf den Rahmen gebundenen leichten Thermometers abgelesen. Demnächst wurde der Rahmen um 180° in der Horizontalebene gedreht, wieder auf die Bussole aufgelegt und dieselben Ablesungen, wie vorher, gemacht. Das Mittel der beiden Ablenkungswinkel ist der Winkel φ. Da jedesmal Nord- und Südende der Nadel abgelesen und die Beobachtung viermal hintereinander wiederholt wurde, um verlässliche Mittelwerthe zu erhalten, so war das vollständige Schema einer jeden Messung folgendes:

7 September 1878. $8^h\ 38^m\ a$ bis $8^h\ 46^m\ a$.

	Nordspitze.	Südspitze.	Temperatur.
S.	335°0	154°9	13°0 C.
N.	237,3	58,0	13,0
S.	335,0	154,9	13,1
N.	237,3	58,1	13,1
S.	335,1	154,9	13,2
N.	237,4	58,1	13,2
S.	335,1	155,0	13,4
N.	237,4	58,0	13,5

Die auf der spiegelnden Bodenplatte der Bussole befindliche Kreistheilung geht direct bis auf ganze Grade, so dass Zehntel Grade oder 6′ geschätzt werden müssen. Zur bequemen und sicheren Ablesung der Ablenkungswinkel bediente ich mich eines auf den Deckel gesetzten Glaswürfels mit sphaerischer oberer Fläche, welcher sehr stark vergrösserte und bei, von oben einfallendem, Himmelslichte die Beleuchtung verbesserte.

Bestimmung des Temperaturcoefficienten der Ablenkungsmagnete. Derselbe wurde für einen der grossen Magnete in derselben Weise, wie beim Azimutalcompasse, ermittelt und im Durchschnitt aus drei Beobachtungen gleich

$$\mu = 0{,}0020075 \pm 0{,}00002976$$

gefunden.

Herr Wild[1]) hat schon bei anderer Gelegenheit darauf aufmerksam gemacht, dass bei relativen Messungen der Horizontalintensität der Temperaturcoefficient gerade doppelt so genau bekannt sein muss, als bei absoluten. In der That findet man aus Gleichung (B, 1) mit genügender Annäherung

$$d\mu = dH \cdot \frac{1}{(t_0 - t) \cdot H}$$

und

$$d(t_0 - t) = dH \cdot \frac{1}{\mu H} \qquad \text{(B, 2)}$$

wogegen $d\mu$ in Gleichung (A, 5) den doppelten Werth hat.

Da bei unseren, im Freien gemachten, Messungen die Temperaturdifferenz $t_0 - t$ im Maximum 8,2° C. betrug, so ergiebt sich, wofern auch hier eine Genauigkeit $dH = \pm 0{,}001$ absolute Einheiten gefordert wird, als zu tolerirende Fehlergrenze im Werthe von μ

$$d\mu = \pm 0{,}0000748,$$

so dass der obige Werth des Temperaturcoefficienten genügend sicher ist.

Schreiben wir die zweite der Gleichungen (B, 2) in der Form

$$d(t_0 - t) = \frac{1}{H} \cdot \frac{dH}{\mu}$$

und bedenken, dass im Allgemeinen μ zwischen 0,0015 und 0,0005 schwankt, so können wir sagen: Will man die Horizontalintensität (H) bis auf den Betrag des Temperaturcoefficienten (μ), d. h. bis auf $\pm 0{,}0015$ bis $\pm 0{,}0005$, genau erhalten, so muss man bei relativen Messungen Temperaturdifferenzen, welche grösser als der reciproke Werth der Horizontalintensität sind $\left(t_0 - t > \frac{1}{H}\right)$, berücksichtigen.

Es ist aber

H	$\frac{1}{H}$
0,0	∞
0,5	2,00
1,0	1,00
1,5	0,67
2,0	0,50
2,5	0,40
3,0	0,33
(Maximum) 3,7	0,27

1) Wild, Ueber die Bestimmung des Temperatur-Coefficienten von Stahlmagneten, Bull. de l'Ac. d. St.-Pétersbourg, T. XIX, p. 1—30.

woraus hervorgeht, dass in dieser Hinsicht relative Intensitätsbestimmungen in den Polargegenden weniger Schwierigkeiten, als solche in den Aequatorialgegenden, bieten.

Resultate der Ablenkungsbeobachtungen. Die ersten Resultate der 20 relativen Intensitätsmessungen mit dem compensirten Magnetometer sind in der folgenden Tafel II enthalten.

Tafel II.

Datum.	Zeit.	$t_0 - t$	φ	H (Magnetograph).	$C = H : \frac{1 + \mu (t_0 - t)}{\text{tg } \varphi}$	ΔC Abweichung v. Mittel.
1878 August 28	$2^h 58^m$ *p.*	0°,0 C.	48°,78	1,6375	1,8649	— 0,0158
» 29	8 49 *a.*	0,2	49,04	1,6348	1,8825	— 0,0334
» 29	3 20 *p.*	— 1,4	48,99	1,6368	1,8874	— 0,0383
» 30	9 35 *a.*	0,5	48,28	1,6351	1,8320	+ 0,0171
» 30	4 32 *p.*	1,4	48,67	1,6383	1,8575	— 0,0084
» 31	8 41 *a.*	0,3	48,61	1,6374	1,8567	— 0,0076
September 1	8 51 *a.*	2,9	48,53	1,6346	1,8389	+ 0,0102
» 1	4 15 *p.*	0,6	48,44	1,6370	1,8443	+ 0,0048
» 2	8 59 *a.*	3,7	48,70	1,6355	1,8477	+ 0,0014
» 2	4 27 *p.*	0,3	48,54	1,6367	1,8514	— 0,0023
» 3	9 45 *a.*	2,1	48,63	1,6342	1,8477	+ 0,0014
» 4	10 32 *a.*	1,5	48,44	1,6352	1,8390	+ 0,0101
» 4	2 15 *p.*	2,2	48,33	1,6350	1,8282	+ 0,0209
» 5	8 36 *a.*	0,0	48,51	1,6346	1,8482	+ 0,0009
» 6	12 42 *p.*	1,7	48,46	1,6362	1,8406	+ 0,0085
» 6	4 32 *p.*	2,3	48,35	1,6373	1,8322	+ 0,0169
» 7	8 42 *a.*	6,1	48,54	1,6356	1,8285	+ 0,0206
» 7	11 34 *a.*	3,7	48,53	1,6352	1,8365	+ 0,0126
» 7	5 13 *p.*	6,2	48,63	1,6371	1,8787	— 0,0296
» 8	8 00 *a.*	8,2	48,75	1,6355	1,8384	+ 0,0107
				Mittel	1,8491	± 0,01357

Die ersten vier Verticalspalten bedürfen keiner Erklärung, in der fünften compariren die Werthe von H, welche ich aus den photographischen Curven des Adie'schen Magnetographen im unterirdischen Pavillon für dieselben Zeiten entnommen habe. Die Angaben der Horizontalintensität nach diesem Magnetographen sind bis auf ± 0,0001 (Mm. Mgr.), die der Declination bis auf ± 0',12 genau[1]). Die sechste und siebente Columne enthalten die Rechnungsgrössen, welche dazu dienen sollen, die Genauigkeit relativer Intensitätsmessungen

1) Siehe Annalen des physikal. Central. Observatoriums für 1878. I. Beobachtungen im meteorol.-magnet. Observatorium im Pawlowsk. Einleitung S. LXXX.

mittelst des compensirten Magnetometers zu ermitteln. Schreibt man nämlich die Gleichung (B, 1) in der Form

$$H = \frac{H_0 \operatorname{tg} \varphi_0}{\operatorname{tg} \varphi} \left\{ 1 + \mu \, (t_0 - t) \right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \textbf{(B, 3}$$

oder, da H_0, und φ_0 als Ausgangswerthe constant sind,

$$H = C \, . \, \frac{1 + \mu \, (t_0 - t)}{\operatorname{tg} \varphi}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \textbf{(B, 4)}$$

so findet man aus jeder einzelnen Messung einen Werth für die Constante

$$C = H \, . \, \frac{\operatorname{tg} \varphi}{1 + \mu \, (t_0 - t)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \textbf{(B, 5)}$$

Diese Werthe stehen in der sechsten Columne; sie sind nicht constant, eben weil jede einzelne Messung mit Ungenauigkeiten behaftet ist, und geben daher in der mittleren Abweichung der einzelnen Werthe vom Gesammtdurchschnitt einen Maassstab für die Beurtheilung der Leistungsfähigkeit des Apparates ab.

Aus der siebenten Columne ergiebt sich nämlich

$$\left.\begin{array}{l} \text{mittlere Abweichung } \Delta C \\ \text{mittlerer Fehler } dC \end{array}\right\} \textit{einer} \text{ Beobachtung} \left\{\begin{array}{l} \frac{(\Delta)}{n} = \pm 0{,}01357 \\ \sqrt{\frac{(\Delta\Delta)}{n-1}} = \pm 0{,}01756. \end{array}\right.$$

Nun ist aber nach Gleichung (B, 4), immer unabhängig vom Zeichen,

$$dH = dC \, . \, \frac{1 + \mu \, (t_0 - t)}{\operatorname{tg} \varphi},$$

also, für $t_0 - t$ und φ mittlere Werthe aus Tabelle II vorausgesetzt,

$$dH = \pm 0{,}0155 \text{ absolute Einheiten.}$$

Auch ohne experimentelle Prüfung gelangt man zu einem sehr ähnlichen Schlusse, wenn man in Gleichung (B, 4) untersucht, mit welcher Genauigkeit φ bekannt sein muss, damit in der Bestimmung von H kein grösserer Fehler als $\pm$ 0,001 begangen werde. Es folgt nämlich, unabhängig vom Vorzeichen,

$$d\varphi = dH \, . \, \frac{\sin 2\varphi}{2H}$$

und **(B, 6)**

$$d\,H = d\varphi \, . \, \frac{2\,H}{\sin 2\varphi},$$

also in unserem Falle, wo φ in runder Zahl $= 48{,}6°$, $H = 1{,}63$ absol. Einheiten ist,

$$d\varphi = 1'{,}04.$$

Diese Genauigkeit der Ablesung ist aber beim compensirten Magneten, so wie es von Hrn. Kohlrausch beschrieben und von Hrn. Meyerstein construirt worden ist, unerreichbar, einmal weil die Theilung des Kreises nur bis auf ganze Grade geht, sodann, weil der Reibungsfehler im Mittel mindestens auf $^1/_{15}$ Grad zu veranschlagen ist. Nehmen wir also an, der Fehler $d\varphi$ betrage beim compensirten Magnetometer $6'$, so würde das einen Fehler in der Bestimmung der Horizontalintensität von

$$dH = \pm 0{,}019$$

bewirken, was mit dem auf experimentellen Wege erzielten Resultate nahezu übereinstimmt.

Aus der Gleichung (B, 6) geht die wichtige Regel hervor, dass Ablenkungswinkel von ungefähr 45° für die Messung der Horizontalintensität am günstigsten sind, wenn der Reibungsfehler gleich Null wäre, wie z. B. bei der Filarsuspension (Weber, Tangentenbussole). Da aber ein solcher vorhanden, ist der günstigste Winkel grösser, etwa 50°, wie auch Hr. Kohlrausch auf anderem Wege gezeigt hat. Nehmen wir an, dass stets dieser günstigste Ablenkungswinkel beobachtet wird, so sind die Anforderungen an die Genauigkeit der Messungen mit wechselnder Breite doch sehr verschieden. In den Polargegenden ($H =$ 0,5 bis 0,8) braucht die Sicherheit der Winkelbestimmung nur bis $2'{,}1$, $3'{,}4$, in den Aequatorialgegenden hingegen ($H = 3{,}0$ bis 3,7) muss sie bis $0'{,}5$, $0'{,}6$ sein.

Es folgt nämlich aus (B, 6):

H	$0{,}001 \times \frac{\sin 100°}{2H}$
0,0	∞ (Minuten)
0,5	3,4
1,0	1,6
1,5	1,1
2,0	0,8
2,5	0,7
3,0	0,6
(Maximum) 3,7	0,5

Da die in Tafel II enthaltenen Messungen innerhalb eines Zeitraumes von 12 Tagen gemacht wurden, konnten wir die Voraussetzung machen, dass das magnetische Moment der Magnete nahezu dasselbe geblieben sei, zumal das Instrument keinen Erschütterungen noch sonstigen Unbilden, welche auf dem Transport einer Reise unvermeidlich sind, ausge-

setzt war. Wir werden weiterhin untersuchen, welchen Einfluss Aenderungen des Stabmagnetismus auf die Genauigkeit relativer Intensitätsmessungen haben und resumiren, unter jenen Annahmen, das Resultat der Prüfung fürs Erste dahin, dass der mittlere Fehler einer relativen Bestimmung der Horizontalintensität mit dem compensirten Magnetometer anderthalb Einheiten der zweiten Decimalstelle im absoluten Maasse beträgt.

Beurtheilen wir nach diesem Ergebnisse unserer Beobachtungen die oben citirten Aussprüche des Herrn Kohlrausch über die Leistungsfähigkeit des Apparates, so müssen wir sie als zu weit gehend bezeichnen. Die Beobachtungsfehler sind nicht kleiner als die Variationen des Erdmagnetismus, wie Hr. Kohlrausch gehofft hatte. Im mittleren Europa entspricht nämlich einer Breitendifferenz von 4 Bogenminuten, gleich einer gr. Meile, eine Aenderung im Werthe der Horizontalintensisät von 0,0032 Einheiten im absoluten metrischen Maasse, und andereits beträgt die Amplitude der täglichen Variationen der Horizontalintensität durchschnittlich 0,003 Einheiten desselben Maasses; der Apparat ist somit für die mittleren täglichen Aenderungen der Horizontalintensität *unempfindlich* und seine *räumliche Empfindlichkeit* (venia sit verbo!) beträgt etwa 5 gr. Meilen. Verlangt man also von Reisebeobachtungen eine Genauigkeit $dH = \pm 0{,}001$ absoluten Einheiten, so wird das compensirte Magnetometer als Reiseapparat nicht zu wählen sein; ist man jedoch mit 2 Einheiten der zweiten Decimalstelle zufrieden, so ist es als expeditestes Hülfsmittel allen andern vorzuziehen. Desshalb wird der Apparat z. B. im physikalischen Cabinet anzuwenden sein, wo man behufs absoluter Widerstandsmessungen den durch Localeinflüsse modificirten Werth der Horizontalintensität annähernd kennen muss, oder in den erfolgreichen practischen Verwendungen erdmagnetischer Messuugen, welche in letzter Zeit namentlich von Herrn R. Thalén in Upsala zur Auffindung von Eisenmassen in der Erdkruste angegeben worden sind.

Das compensirte Magnetometer von Weber-Kohlrausch ist der Repraesentant der Methode relativer Intensitätsmessungen aus Ablenkungen, welcher die andere, die Horizontalintensität des Erdmagnetismus aus der Schwingungsdauer eines magnetischen Stabes zu bestimmen, gegenübersteht. Die letztere ist vor der Einführung der absoluten Messungsmethode von Gauss, welche jene beiden Theile combinirt (Intensitas vis magneticae terrestiis ad mensuram absolutam revocata, Gottingae 1833.), fasst ausschliesslich gebraucht

worden, so dass der grösste Theil aller Intensitätsmessungen, welche zur Construction isodynamischer Linien verwendet worden sind, auf jener Methode basirt. Es ist daher nicht unwichtig, zu entscheiden, welcher der beiden relativen Intensitätsbestimmungen der Vorzug gebührt.

Wenn wir, wie oben beim Azimutalcompass, überlegen, mit welcher Sicherheit die einzelnen Daten einer absoluten Intensitätsbestimmung bekannt sein müssen, damit das Resultat eine gewisse Genauigkeit beanspruchen kann, werden wir schon im Voraus darüber nicht zweifelhaft sein können, dass die zweite Methode, aus der Schwingungsdauer eines Magneten die relative Horizontalintensität zu ermitteln, die bei weitem zuverlässigere ist. Denn in der That, es ist viel leichter, die Schwingungsdauer bis auf $\pm$ 0,001^s oder allgemeiner, bis auf $\pm$ 0,0306% ihres Werthes genau zu bestimmen, als einen Ablenkungswinkel bis auf mindestens $\pm$ 1′ genau zu beobachten.

Um die Richtigkeit dieser Ueberlegung auch durch Beobachtungen zu bestätigen, machte ich an denselben Tagen, auf welche sich die Messungen mit dem compensirten Magnetometer beziehen, auch relative Bestimmungen der Horizontalintensität durch Beobachtung der Schwingungsdauer des zum bereits beschriebenen Azimutalcompasse gehörigen Ablenkungsmagneten und zwar ganz in derselben Weise, wie oben kurz angegeben wurde.

Nennen wir

T die Schwingungsdauer des Magneten in Secunden des Chronometers,
s den täglichen Gang des Chronometers in Secunden,
d den Torsionswinkel der Filarsuspension in Graden pro 360° Drehung,
α die mittlere Schwingungsamplitude in Graden,
μ den Temperaturcoefficienten des Magneten,
e den Ausdehnungscoefficienten des Stahles,
t die mittlere Temperatur des Magneten in Centesimalgraden,
k den Inductionscoefficienten des Magneten,

so gilt bekanntlich die Formel

$$\frac{H}{H_0} = \frac{T_0^2}{T^2}\Big[1 + 0{,}00002315\,(s_0 - s) + 0{,}002778\,(d_0 - d) - 0{,}00003808\,(\alpha_0^2 - \alpha^2) + (\mu + 2e)\,(t_0 - t) + k\,(H_0 - H)\Big]. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (\mathbf{C, 1})$$

Der tägliche Gang des gebrauchten Boxchronometers Wirén 73 war so klein (1,2^s), dass er vernachlässigt werden konnte, ebenso wie der vom Inductionscoefficienten abhängige Factor. Die übrigen in die Formel eingehenden Grössen sind in der Tafel III enthalten.

Tafel III.

Datum	Zeit.	T	Δd	$\Delta\alpha^2$	Δt	H (Magnetograph	$H = C \cdot \frac{T^2}{1 + Z}$	ΔC Abweichung v. Mittel.
1878								
August 29	$9^h 30^m$ *a.*	3,81765^s	0,0	0,0	0°,00 C.	1,6342	23,8178	+ 0,0256
» 29	4 44 *p.*	3,81725	0,0	6,7	—1,60	1,6368	23,8278	+ 0,0156
» 30	10 3 *a.*	3,81750	4,5	— 2,4	—0,15	1,6354	23,8033	+ 0,0401
» 30	5 6 *p.*	3,81345	4,5	18,1	—0,45	1,6388	23,8367	+ 0,0067
» 31	9 27 *p.*	3,81425	4,5	6,7	3,00	1,6349	23,8389	+ 0,0045
Septbr. 1	9 22 *a.*	3,81730	9,0	19,3	2,30	1,6343	23,8628	— 0,0194
» 1	4 47 *p.*	3,81654	9,0	— 4,6	0,80	1,6372	23,8472	— 0,0038
» 2	9 27 *a.*	3,81685	12,0	6,7	2,55	1,6349	23,8544	— 0,0110
» 2	5 0 *p.*	3,81570	12,0	6,7	—0,10	1,6374	23,8331	+ 0,0101
» 3	10 15 *a.*	3,82025	10,5	6,7	1,10	1,6341	23,8622	— 0,0188
» 4	11 0 *a.*	3,82790	15,0	4,5	1,50	1,6354	23,8522	— 0,0088
» 4	2 56 *p.*	3,83790	15,0	10,6	0,90	1,6356	23,8509	— 0,0075
» 5	9 3 *a.*	3,82104	9,0	— 7,0	0,45	1,6346	23,8466	— 0,0034
» 6	1 14 *p.*	3,81830	6,0	8,9	— 0,95	1,6369	23,8494	— 0,0060
» 6	4 51 *p.*	3,81610	1,5	4,0	—0,05	1,6374	23,8455	— 0,0021
» 7	9 2 *a.*	3,81700	4,5	4,5	3,90	1,6355	23,8956	— 0,0522
» 7	11 48 *a,*	3,81745	4,5	13,1	—1,35	1,6352	23,8133	+ 0,0301
» 8	9 56 *a.*	3,81825	4,5	— 9,5	3,35	1,6322	23,8409	+ 0,0025
» 8	11 40 *a.*	3,81500	4,5	— 2,4	2,65	1,6348	23,8132	+ 0,0302
» 9	10 4 *a.*	3,82130	4,5	— 2,4	1,65	1,6348	23,8767	— 0,0333
						Mittel:	23,8424	± 0,016585

In der siebenten Spalte vorstehender Tafel folgen die denselben Zeiten entsprechenden Werthe der Horizontalintensität, wie sie die directe Ausmessung der photographischen Curven des Bifilarmagnetographen ergab. Die Zahlen der übrigen Columnen sind in ähnlicher Weise, wie die entsprechenden in Tafel II, berechnet. Bezeichnen wir nämlich das Correctionsglied des Factors $\frac{T_0^2}{T^2}$ mit $1 + Z$, so ist

$$H = H_0 T_0^2 \cdot \frac{1 + Z}{T^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(C, 2)}$$

und, da das Product der Ausgangswerthe H_0 und T_0 einer Constanten C gleich gesetzt werden kann, diese Constunte selbst

$$C = H \cdot \frac{T^2}{1 + Z} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(C, 3)}$$

Jede einzelne Beobachtung liefert einen Werth für dieselbe, welcher aber, wie man sieht, nicht constant ist. Seine Schwankungen geben daher ein Mittel, die Sicherheit der Methode zu prüfen. Aus der letzten Spalte entnehmen wir

$$\left.\begin{array}{l}\text{mittlere Abweichung}\\ \text{mittlerer Fehler}\end{array}\right\}\ \text{einer Beobachtung}\ \left\{\begin{array}{l}\frac{(\Delta)}{n} = \pm\ 0{,}016535\\ \sqrt{\frac{(\Delta\Delta)}{n-1}} = \pm\ 0{,}02222\end{array}\right.,$$

und da nach (C, 3)

$$dH = dC\ \frac{1 + Z}{T^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(C, 4)}$$

gilt, so erhalten wir, unter Voraussetzung mittlerer Werthe von Z und T aus Tabelle III,

$$dH = \pm\ 0{,}001478,$$

oder in runder Zahl anderthalb Einheiten der dritten Decimalstelle in absolutem Maasse. Die Genauigkeit dieser Methode ist also gerade zehnmal so gross als die des compensirten Magnetometers.

Es rührt dies, wie schon erwähnt, daher, dass die Bestimmung der Schwingungsdauer mit verhältnissmässig geringen Mitteln einer grösseren Praecision fähig ist, als die des Ablenkungswinkel der Bussolennadel durch einen Magneten. Differenziiren wir nämlich die Gleichung (C, 2) nach H und T als Veränderlichen, so folgt, abgesehen vom Zeichen

$$dT = dH \cdot \frac{T}{2H} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(C, 5)}$$

oder, in Procenten ausgedrückt,

$$P = 100\ \frac{dT}{T} = dH \cdot \frac{100}{2H} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(C, 6)}$$

Aus dem Vergleich dieser Bedingungen mit denen in Gleichung (A, 14) erkennt man, dass bei relativen Bestimmungen die Schwingungsdauer gerade doppelt so sicher bekannt sein muss als bei absoluten, wenn man H in beiden Fällen gleich genau erhalten will. In unserem Falle ist also T bis auf $\pm$ 0,0306% oder bis auf $\pm$ 0,00125^s verlässlich zu bestimmen. Diese Bedingung ist aber nach dem oben Vorgebrachten nicht ganz erfüllt, denn wir fanden, dass die einzelnen Schwingungsdauern von ihrem jedesmaligen Mittelwerthe um $\pm$ 0,0017^s abweichen. Die Theorie führt uns demnach zu demselben Resultate, welches die Beobachtungen ergeben haben.

Auch diese relative Methode der Intensitätsmessung ist in höheren Breiten mit grösserem Vortheile als in niederen anzuwenden. Die Genauigkeit in Procenten der Schwingungsdauer, mit der dieselbe bekannt sein muss, um keinen grösseren Fehler als $dH = \pm 0{,}001$ zu bewirken, ist für

H	P
0,0	∞ %
0,5	0,100
1,0	0,050
1,5	0,033
2,0	0,025
2,5	0,020
3,0	0,017
(Maximum) 3,7	0,014

Ist also z. B. die Schwingungsdauer eines Magneten in den Tropen, wo H etwa 3,0 abs. Einheiten beträgt, gleich 3^s, so muss dieselbe bis auf $0{,}0005^s$ genau bestimmt werden, um aus der relativen Messung H bis auf $\pm$ 0,001 sicher berechnen zu können. Da aber gerade in den Tropen die grössere Anzahl der vorhandenen Intensitätsmessungen nach dieser relativen Methode gemacht worden ist, sieht man ein, wie wenig verlässlich noch unsere Kenntnisse über die Vertheilung der erdmagnetischen Kraft auf der Erdoberfläche sind.

Das Urtheil, welches wir über die Leistungsfähigkeit beider relativen Methoden der Intensitätsbestimmung gewonnen haben, hat zunächst nur Gültigkeit für die besonderen Umstände, unter denen beidemal beobachtet wurde. Diese sind im Wesentlichen die kurze Dauer der Messungen von etwa 14 Tagen und das Vermeiden jeder Erschütterung der Magnete, wie sie auf Reisen, wo dieselben gewöhnlich in Kisten transportirt werden, unvermeidlich sind. Beide Bedingungen hatten zur Folge, dass das magnetische Moment der Stäbe bis auf eine sehr kleine Grösse dasselbe geblieben sein wird. Bei Messungen, die sich auf längere Zeiträume erstrecken oder die auf Reisen gemacht werden, sind aber diese Bedingungen nicht erfüllt, und daher wird alsdann die Genauigkeit relativer Messungen beidemal geringer sein, als oben constatirt wurde. Wir wollen dieser nicht unwichtigen Frage noch einige Beachtung schenken.

Es gelten bekanntlich die beiden Gleichungen

$$H_0 M_0 = \frac{\pi^2 N}{T_0^2 (1 + Z_0)}$$
$$H M = \frac{\pi^2 N}{T^2 (1 + Z)}, \qquad \text{(C, 7)}$$

aus denen die andere folgt

$$H = H_0 \frac{M_0}{M} \cdot \frac{T_0^2}{T^2} \{1 + (Z_0 - Z)\} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(C, 8)}$$

Kann man nun die Voraussetzung machen, dass $M = M_0$ geblieben ist, dann hat man den durch Gleichung (C, 1) repräsentirten einfachen Fall, mit dem wir uns oben beschäf-

tigt haben, vor. Im Allgemeinen ist aber M eine Function des Ausgangswerth M_0 und der seitdem verflossenen Zeit τ, etwa

$$M = M_0 f(\tau).$$

Es wäre für die Erfolge relativer Messungen der Horizontalintensität offenbar von der grössten Wichtigkeit, wenn der analytische Ausdruck dieser Function bekannt wäre. Hansteen und Lamont haben zwar den allmählichen Kraftverlust der Magnete in nähere Untersuchung gezogen, aber keines ihrer Resultate kann als genug sicher und definitiv betrachtet werden, zumal bei Hansteen (De mutationibus virgae magneticae), der fast gar keine absoluten Messungen gemacht hat. Auf den Fall, dass ein Magnet in möglichster Ruhe auf einem stabilen Observatorium aufbewahrt wird, scheint das von ihm aufgestellte Gesetz «dass für aufeinanderfolgende gleiche Zeitabschnitte der Kraftverlust in geometrischer Reihe zunehme» noch am ehesten anwendbar zu sein; es ist aber durchaus unzuverlässig, wenn der Magnet auf dem Transporte einer Reise mancherlei Erschütterungen uud sonstigen Unbillen ausgesetzt gewesen ist.

Als Beispiel hierfür können die Beobachtungen des Herrn Wild auf der Reise nach Tifliss im Jahre 1869 dienen, auf welcher das magnetische Moment des Schwingungs- und Ablenkungsmagneten ziemlich bedeutenden Schwankungen, namentlich von Rostow (vor Pjatigorsk) aus, wo der Transport per Tarantass (federloser Wagen) erfolgte, unterworfen war. Nach den mir freundlichst zur Verfügung gestellten Tagebüchern der Reise sind die Daten der Tafel III in derselben Weise wie die in Tafel II zusammengestellt.

Tafel III.

№	Ort.	Datum.	Zeit.	Temptr.	log. T^2	H	$C = H \frac{T^2}{1+Z}$	Abweichungen vom Mittel (1 — 18) (19,4391)	Abweichungen vom Mittel (1 — 12) (19,5098)
		1869.							
1	St. Petersburg	Juli 12	$2^h 47^m$ *p.*	21°0 C.	1,07995	1,6266	19,5536	— 0,1145	— 0,0438
2	»	» 13	11 8 *a.*	22,0	1,08057	1,6268	19,5623	— 0,1232	— 0,0525
3	Moskau . . .	Juli 19	0 15 *p.*	22,2	1,03570	1,7948	19,4595	— 0,0204	+ 0,0503
4	»	» 20	5 11 *p.*	21,0	1,03468	1,8043	19,5430	— 0,1039	— 0,0332
5	Kasan . . .	» 24	0 9 *p.*	34,2	1,03022	1,8394	19,4300	+ 0,0091	+ 0,0798
6	»	» 25	10 3 *a.*	33,1	1,02969	1,8481	19,5214	— 0,0823	— 0,0116
7	»	» 26	10 30 *a.*	34,9	1,03166	1·8485	19,5760	— 0,1369	— 0,0662
8	Ssamara . .	» 31	9 45 *a.*	30,3	0,98789	2,0254	19,4973	— 0,0582	+ 0,0125
9	» . . .	August 1	7 52 *a.*	28,4	0,98703	2,0255	19,4964	— 0,0573	+ 0,0134
10	Zarizyn . .	» 6	5 48 *a.*	25,1	0,94767	2,2146	19,5413	— 0,1022	— 0,0315
11	» . . .	» 6	3 45 *p.*	33,2	0,95133	2,2071	19,4656	— 0,0265	+ 0,0442
12	» . . .	» 7	5 38 *a.*	25,7	0,94885	2,2011	19,4709	— 0,0318	+ 0,0389
13	Pjatigorsk .	» 20	6 48 *a.*	20,6	0,88944	2,4669	19,1335	+ 0,3056	
14	» . . .	» 20	6 5 *p.*	26,3	0,89214	2,4743	19,1868	+ 0,2523	
15	» . . .	» 21	6 15 *a.*	19,8	0,89045	2,4646	19,1730	+ 0,2661	
16	Tifliss. . . .	Septbr. 2	10 42 *a.*	29,0	0,88491	2,5131	19,1074	+ 0,3317	
17	»	» 2	1 12 *p.*	29,7	0,88591	2,5512	19,4268	+ 0,0123	
18	St. Petersburg	Octbr. 26	3 14 *p.*	4,6	1,07649	1,6261	19,7591	— 0,3200	
						Mittel:	19,4391	± 0,1308	± 0,0398

Aus vorstehenden Angaben folgt, wenn man alle 18 Beobachtungen zusammennimmt,

$$\text{mittlere Abweichung } \Delta C = \pm 0{,}1308$$
$$\text{mittlerer Fehler } \quad dC = \pm 0{,}1751,$$

woraus nach (C, 4), wenn $\log. \frac{1+Z}{T^2}$ im Mittel gleich $\bar{9}{,}0000$ angenommen wird,

$$dH = \pm 0{,}0175$$

folgen würde.

Beschränkt man sich jedoch auf die ersten 12 Beobachtungen bis incl. Zarizyn, bis wohin bei guten Transportmitteln die Erschütterungen geringe waren, so gilt

$$\text{mittlere Abweichung } \Delta C = \pm 0{,}0398$$
$$\text{mittlere Fehler } \quad dC = \pm 0{,}0447,$$

und somit

$$dH = \pm 0{,}0045 \text{ (Mm. Mgr.)}.$$

Hätte man also nur am Ausgangspuncte St. Petersburg und an dem um ca. 1650 Kilometer davon entfernten Zarizyn (Zeitintervall 25 Tage) absolute Bestimmungen, an den zwischen liegenden Orten aber relative Messungen aus Schwingungsbeobachtungen angestellt, so würde der mittlere Fehler der letzteren in runder Zahl fünf Einheiten der dritten Decimale in absolutem Maasse betragen.

Die Schwankungen im Betrage des Stabmagnetismus waren auf dieser Reise ungewöhnlich gross und müssen ausser den schwierigen Transportverhältnissen auch wohl noch anderen Umständen, wie etwa schlechter Beschaffenheit des Stahles etc., zugeschrieben werden. Vergleichen wir damit die Veränderungen des magnetischen Momentes auf anderen, weit grösseren Reisen, wie denen von Lamont, Harkness, Perry und A., so sehen wir dieselben im Ganzen viel regelmässiger vor sich gehen. Hauptbedingung dafür scheint ausser guten Transportmitteln auch die Vorsicht zu sein, dass der Magnet nicht eben erst aus der Werkstätte des Mechanikers hervorgeht, sondern schon Jahre lang fertig dagelegen hat und dem Zustande der Permanenz ziemlich nahe ist. Das war bei dem auf der Reise nach Tifliss gebrauchten Theodolith № 38 nicht der Fall. Wenn sich mit relativen Bestimmungen der Horizontalintensität auf Reisen eine Genauigkeit von etwa 0,002 Einheiten erreichen liesse, so dürfte es, der Oeconomie an Zeit und Geld wegen, gerathen sein, zwischen zwei Hauptstationen, an denen mehrere vollständige absolute Messungen gemacht worden sind, andere relative einzuschalten, wie namentlich Lamont schon gethan hat. Die Möglichkeit des Erfolges möge noch kurz erörtert werden.

Aus Gleichung (C, 8) leiten wir, wenn $H_0 M_0 T_0^2 = C$ gesetzt und die Schwingungsdauer schon reducirt gedacht wird, die andere ab.

$$H = \frac{C}{MT^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (C, 9)$$

Hierbei ist C ein für alle Mal bekannt, T durch die Beobachtung der Schwiugungsdauer bis auf einen Fehler dT ermittelt und M bis auf einen Fehler dM aus den absoluten Messungen interpolirt. Zwischen diesen Grössen besteht aber nach (C, 9) der Zusammenhang

$$\frac{dH}{H} = -\frac{dM}{M} - 2\frac{dT}{T}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (C, 10)$$

oder in Procenten ausgedrückt

$$100 \cdot \frac{dH}{H} = -100\frac{dM}{M} - 200\frac{dT}{T}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (C, 11)$$

d. h. bei relativen Messungen der Horizontalintensität aus Schwingungsbeobachtungen wird dieselbe *ungünstigsten Falles* bis auf soviele Procente ihres Betrages ungenau bestimmt, als die einfache procentische Sicherheit des magnetischen Moments und die doppelte der Schwingungsdauer zusammen betragen.

In mittleren Breiten, wo $H = 2{,}0$ ist, könnte also jener ungünstigste Fall so erfüllt werden, dass die Gleichung

$$0{,}10\% = 0{,}05\% + 0{,}05\%,$$

besteht. Bei 4^s Schwingungsdauer müsste dieselbe alsdann bis auf $\pm 0{,}001^s$ sicher sein, und, wenn $M = 10000000$, dürfte seine Unsicherheit nicht mehr als ± 5000 betragen.

Der wahrscheinliche Fehler aber ist

$$dH = H\sqrt{\left(\frac{dM}{M}\right)^2 + 4\left(\frac{dT}{T}\right)^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (C, 12)$$

und somit bei Annahme derselben Zahlen

$$dH = \pm 0{,}00141 \text{ (Mm. Mgr.)}.$$

Die Bedingungen für diese Sicherheit relativer Intensitätsmessungen aus Schwingungsbeobachtungen in mittleren Breiten sind also die: dass das magnetische Moment des Stabes jedesmal bis auf $\pm 0{,}050$ Procent, dagegen die Schwingungsdauer bis auf $\pm 0{,}025$ Procent ihrer resp. Beträge richtig interpolirt bezw. beobachtet seien.

Es muss einer besonderen Untersuchung vorbehalten bleiben, die Frage des allmählichen Kraftverlustes der Magnete auf Grund des neuern Beobachtungsmateriales näher zu erörtern, um womöglich zu entscheiden, ob solche Forderungen, wie die eben gemachten, erfüllbar sind, und unter welchen Bedingungen. Jedenfalls sind für den Erfolg relativer Messungen der Horizontalintensität in dieser Hinsicht folgende Puncte beachtenswerth:

1) Der Magnet muss dem Zustande der Permanenz möglichst nahe sein.

2) Derselbe soll auf Reisen keinen Erschütterungen, scharfen Temperaturwechseln, noch sonstigen Unbillen ausgesetzt sein, wesshalb er am besten vom Beobachter, etwa in einem kleinen Etui oder in einer besonderen Brusttasche, getragen, nicht in der Kiste transportirt wird.

3) Die Beobachtung der Schwingungsdauer des Magneten ist möglichst zu verschärfen.

4) Das absolute magnetische Moment des Magneten soll etwa alle 15 Tage oder womöglich öfters durch *mehrere* Messungen genau bestimmt werden.

Ich glaube, dass solche combinirte absolute und relative Bestimmungen der Horizontalintensität, wegen der Ersparniss an Zeit nnd Geld, sich namentlich für magnetische Landesaufnahmen eignen würden. Gleich wie bei der geodätischen Aufnahme des Landes, müssten zwischen die Hauptpuncte absoluter Messungen solche relative eingeschaltet werden.

Einigen Anhalt zur Entscheidung jener Frage wird man aus dem Studium des Problems ziehen können, in welcher Weise der Kraftverlust der Magnete im stabilen Observatorium [1]) und auf Reisen erfolgt und in wieweit die angewendeten Transportmittel darauf von Einfluss sind. Es scheint mehr als wahrscheinlich, dass die Vorsicht, auf Reisen die Magnete in besonderem Etui oder in Brusttaschen mit sich zu führen, in diesem Falle besonders gute Resultate erzielen liesse.

---

1) Es ist hier der Ort den Wunsch auszusprechen, dass von den Resultaten absoluter Messungen der Horizontalintensität Allgemein nicht bloss der Werth dieser selbst, sondern auch das magnetische Moment des angewendeten Magneten publicirt werde, wie dies in England und seinen Colonien schon lange geschieht.