

Werk

Jahr: 1953

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 Z NAT 2148:19

Werk Id: PPN101433392X_0019

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PID=PPN101433392X_0019 | LOG_0007

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain there Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Ein Universal-Torsions-Magnetometer zur Bestimmung von D , H und Z

Von Fritz Haalek, Berlin¹⁾

Mit 3 Abbildungen

Durch relativ einfache Überlegungen kommt man immer wieder zu dem Resultat, daß bei Magnetometern die Verwendung von Torsionsfäden als Meßnormale für magnetische Drehmomente erhebliche Vorteile bietet. Dieses Erkenntnis ist durchaus nicht neu, und es hat daher nicht an Versuchen gefehlt, Torsions-Magnetometer zu bauen. Als erfolgreiche instrumentelle Lösungen können aber bis heute nur die Horizontal-Torsions-Magnetometer angesehen werden, die unter der Bezeichnung QHM und HTM bekannt sind.

Im folgenden soll über ein Torsions-Magnetometer berichtet werden, welches D , H und Z zu messen gestattet und somit als Universal-Instrument bezeichnet werden kann (Abb. 1).

Zunächst die theoretischen Überlegungen:

Bezeichnungen:

- Z Vertikalintensität,
- H Horizontalintensität,
- M Moment des Magnetsystems,
- α Winkel zwischen der magnetischen Achse des Systems und der Horizontalebene,
- ε Winkel zwischen der Orientierung des Horizontalkreises und der Schwingungsebene des Systems,
- ε_0 Winkel zwischen der Orientierung des Horizontalkreises und der magnetischen Nord-Süd-Richtung,
- γ Winkel zwischen der Horizontalen und der Verbindungslinie zwischen dem Schwerpunkt und der Drehachse des Systems,
- l Abstand Schwerpunkt-Drehachse,
- $m \cdot g$ Gewicht des Systems,
- τ Torsionskonstante der Torsionsfäden,
- φ Torsionswinkel (φ_0 = torsionslose Lage).

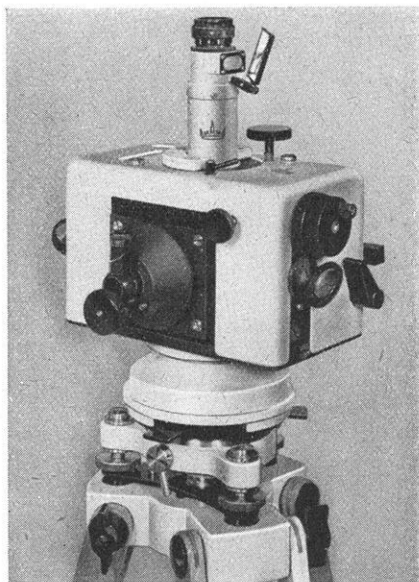


Abb. 1. Universal-Torsions-Magnetometer (Versuchsinstrument)

Die an einem Magnetsystem mit horizontaler Torsionsdrehachse wirkenden Drehmomente sind:

¹⁾ Dipl.-Ing. Fritz Haalek, Askania-Werke, Berlin-Friedenau, Bundesallee 86-88.

$$1. Z \cdot M \cos \alpha$$

$$2. H \cdot M \sin \alpha \cos (\varepsilon - \varepsilon_0)$$

$$3. m \cdot g \cdot l \cdot \cos \gamma$$

$$4. \tau (\varphi - \varphi_0)$$

Im Gleichgewichtsfall gilt dann die allgemeine Formel:

$$(1) \underline{Z \cdot M \cdot \cos \alpha + H \cdot M \cdot \cos (\varepsilon - \varepsilon_0) \cdot \sin \alpha + m \cdot g \cdot l \cdot \cos \gamma = \tau (\varphi - \varphi_0)}$$

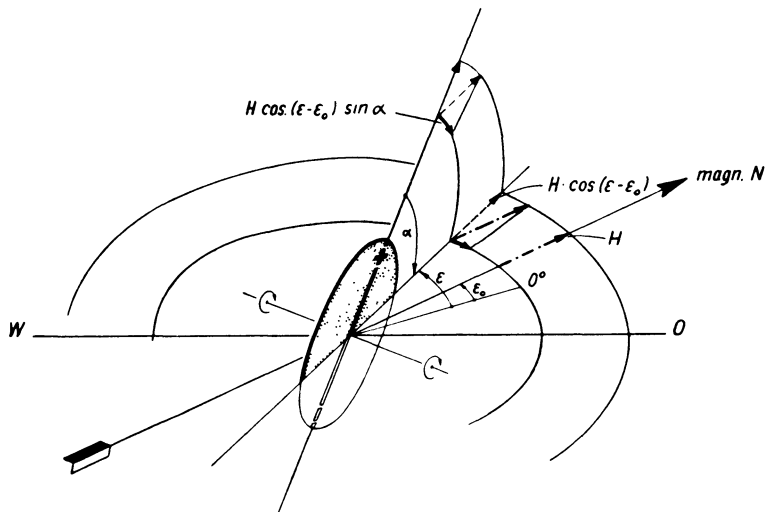


Abb. 2.

Das Universal-Torsions-Magnetometer — UTM — ist so konstruiert, daß alle Werte von φ und ε direkt mit hinreichender Genauigkeit abgelesen werden können. α kann dagegen nur in den Grenzen von $\pm \frac{1}{2} 10^\circ$ bei 0° , 90° und 180° in einem Koinzidenzfernrohr beobachtet und bestimmt werden, d. h. das Instrument ist nur für Messungen geeignet, wenn die magnetische Achse des Systems in die horizontale oder vertikale Lage gebracht wird.

I. Bestimmung der magnetischen Nord-Süd-Richtung

Es sind zwei Messungen notwendig. Für die erste Messung (Index 1) wird das Instrument ungefähr Ost-West orientiert [d. h. $(\varepsilon_1 - \varepsilon_0) \approx 90^\circ$] und der Torsionswinkel so eingestellt, daß bei $\alpha_1 \approx 90^\circ$ Koinzidenz erreicht wird. Die zweite Messung (Index 2) erfolgt bei unveränderter Torsion $(\varphi_1 - \varphi_0) = (\varphi_2 - \varphi_0)$ und bei gleicher Koinzidenz $\alpha_2 = \alpha_1$, die sich bei $(\varepsilon_2 - \varepsilon_0)$, d. h. nach Umschlagen des Instruments in die West-Ost-Lage, einstellt.

$$a) Z \cdot M \cdot \cos \alpha_1 + H \cdot M \cdot \cos (\varepsilon_1 - \varepsilon_0) \cdot \sin \alpha_1 + m \cdot g \cdot l \cdot \cos \gamma = \tau \cdot (\varphi_1 - \varphi_0)$$

$$b) Z \cdot M \cdot \cos \alpha_2 + H \cdot M \cdot \cos (\varepsilon_2 - \varepsilon_0) \cdot \sin \alpha_2 + m \cdot g \cdot l \cdot \cos \gamma = \tau \cdot (\varphi_2 - \varphi_0)$$

$$H \cdot M \cdot \sin \alpha_1 \cdot [\cos (\varepsilon_1 - \varepsilon_0) - \cos (\varepsilon_2 - \varepsilon_0)] = 0$$

$$(\varepsilon_1 - \varepsilon_0) = (\varepsilon_2 - \varepsilon_0) \text{ oder } = - (\varepsilon_2 - \varepsilon_0)$$

$$\underline{\underline{\varepsilon_0 = \frac{1}{2} \cdot (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}}$$

Die Bestimmung von ε_0 erfolgt durch die Einstellung der Koinzidenz, d. h. die Genauigkeit der ε -Werte hängt von der Genauigkeit ab, mit der α eingestellt werden kann. α kann auf Grund der Konstruktionsdaten auf 3'' genau eingestellt werden. Da aber unter Vernachlässigung der mechanischen Drehmomente zwischen ε und α in den beiden Meßlagen folgende Beziehung besteht: $d\varepsilon \approx \frac{Z}{H} \cdot d\alpha$, ist z. B. für $Z = H$ die Ablesegenauigkeit von α gleich der Einstellgenauigkeit von ε .

II. Bestimmung von H

Wiederum sind zwei Messungen notwendig. Bei gleicher Koinzidenz $\alpha_1 = \alpha_2 = 90^\circ$ werden Messungen in der Nord-Süd- ($\varepsilon_1 - \varepsilon_0 = 0^\circ$) und in der Süd-Nord-Richtung ($\varepsilon_2 - \varepsilon_0 = 180^\circ$) durchgeführt.

Dadurch reduziert sich die Gleichung (1) auf

$$\begin{aligned} & \left. \begin{aligned} 1. \quad & H \cdot M + m \cdot g \cdot l \cdot \cos \gamma = \tau \cdot (\varphi_1 - \varphi_0) \\ 2. \quad & -H \cdot M + m \cdot g \cdot l \cdot \cos \gamma = \tau \cdot (\varphi_2 - \varphi_0) \end{aligned} \right\} - \\ & \underline{2 H \cdot M = \tau \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)} \\ & \underline{H = \frac{\tau}{2 M} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2).} \end{aligned}$$

$\frac{\tau}{2 M} = C_H$ ist eine Apparatkonstante, die durch eine Anschlußmessung bestimmt werden muß.

$$(2) \quad \underline{H = C_H (\varphi_1 - \varphi_2).}$$

III. Bestimmung von Z

Auch für die Bestimmung von Z sind Messungen in zwei Lagen notwendig. Bei unveränderter Ost-West-Orientierung des Instrumentes ($\varepsilon - \varepsilon_0 = 90^\circ$) werden Messungen bei $\alpha_1 = 0^\circ$ und $\alpha_2 = 180^\circ$ durchgeführt, d. h. das bei der ersten Messung Ost-West orientierte Magnetsystem wird für die zweite Messung durchgeschlagen, so daß es West-Ost orientiert ist.

Nach Gleichung (1) ergibt sich dann:

$$\begin{aligned} & \left. \begin{aligned} 3. \quad & Z \cdot M + m \cdot g \cdot l \cdot \sin \gamma = \tau \cdot (\varphi_3 - \varphi_0) \\ 4. \quad & -Z \cdot M - m \cdot g \cdot l \cdot \sin \gamma = \tau \cdot (\varphi_4 - \varphi_0) \end{aligned} \right\} - \\ & \underline{2 Z \cdot M + 2 m \cdot g \cdot l \cdot \sin \gamma = \tau \cdot (\varphi_3 - \varphi_4)} \\ & Z = - \frac{m \cdot g \cdot l \cdot \sin \gamma}{M} + \frac{\tau}{2 M} \cdot (\varphi_3 - \varphi_4) \\ (3) \quad & \underline{Z = C_Z + C_H (\varphi_3 - \varphi_4)} \\ & C_Z = - \frac{m \cdot l \cdot \sin \gamma}{M} \cdot g \end{aligned}$$

ist eine zweite Konstante, die jedoch von g abhängig ist. Die Erdbeschleunigung g muß also für jeden Meßpunkt hinreichend genau bekannt sein. Da sich praktisch etwa

$$C_Z = -5 \cdot 10^{-6} \cdot g$$

erreichen läßt, muß g auf 1000 mgal genau bekannt sein, wenn der Fehler von C_Z , also auch von Z , nicht größer als 1γ sein soll. Die größten Abweichungen von dem Normalwert der Schwere betragen aber nur selten mehr als 100 mgal, so daß sich der Schwerewert an den einzelnen Meßpunkten mit genügender Genauigkeit aus den Koordinaten errechnen läßt.

Zur Bestimmung von Z sind auch andere Orientierungen des Instrumentes als die oben beschriebenen anwendbar. Die Endformel (3) bleibt auch für diese gültig. In der Praxis haben sich dieselben Nord-Süd-Orientierungen wie bei den H -Messungen als besonders brauchbar erwiesen, da in diesen beiden Lagen die H -Komponente stabilisierend wirkt und die Neigungsempfindlichkeit wesentlich kleiner ist.

Bei der Bestimmung von Z muß ferner beachtet werden, daß in jeder der beiden Z -Lagen von dem an den Torsionskreisen abgelesenen Winkel 90° in Abzug gebracht werden muß, da für die Z -Messungen der Magnet um diesen Betrag in Richtung der Torsion aus der torsionslosen Lage gedreht wird.

Soweit die theoretischen Überlegungen.

Welche Möglichkeiten gibt es nun für eine brauchbare instrumentelle Lösung? Betrachten wir zunächst einmal, welche technischen Hilfsmittel zur Verfügung stehen, um die Ablesungen von α , φ und ε durchzuführen.

a) *Bestimmung von α .* Durch ein Autokollimationsfernrohr mit Teleobjektiv, wie es bei der Askania-Feldwaage Verwendung findet, erreicht man für α eine Ableseempfindlichkeit von $30''$ pro Skalenteil. Da $\frac{1}{10}$ Skalenteil noch abgelesen werden kann, ist eine Bestimmung von α auf $3''$ genau möglich.

b) *Bestimmung von φ .* An einem Teilkreis mit Minuteneinteilung (Durchmesser 63 mm) und Mikrometerablesung, wie es bei dem Askania-Kleintheodolit Verwendung findet, kann φ auf $6''$ genau bestimmt werden. Wird also für H und Z eine Genauigkeit von etwa $0,3\gamma$ angestrebt, so muß die Dimensionierung so vorgenommen werden, daß ein magnetisches Drehmoment von $M \cdot 0,3$ gleich dem Torsionsdrehmoment $\tau \cdot [6'']$ wird. Für das Gleichgewicht bei $Z = 60\,000\gamma$ müßte z. B. ein Torsionswinkel von etwa 360° entstehen.

c) *Bestimmung von ε .* Zur Bestimmung der Deklination — also ε — kann der oben erwähnte Teilkreis ebenfalls verwendet werden. Die damit gegebene Ablesegenauigkeit von $6''$ am Horizontalkreis ist in jedem Falle ausreichend.

Die so gewählten Ablesemittel bestimmen die Größe des magnetischen Momentes M und der Torsionskonstanten τ . Über das Verhältnis $M : \tau$ ist aber bereits verfügt, da dem magnetischen Drehmoment von $M \cdot 0,60$ ein Torsionsdrehmoment von $\tau \cdot 2\pi$ entsprechen soll.

Die horizontale Torsionsdrehachse des Magnetsystems erfordert die Aufhängung an zwei horizontal oder vielmehr annähernd horizontalgespannten Torsionsfäden. Bei einer solchen Einspannung wird die Zugbelastung der Torsions-

fäden schon bei kleiner Masse des Magnetsystems relativ groß. Aus Gründen der Betriebssicherheit muß also auf jeden Fall versucht werden, die Masse des Magnetsystems so klein wie möglich zu halten. Die damit verbundene, an sich unerwünschte Verkleinerung des magnetischen Moments M zwingt allerdings ebenfalls zur Verkleinerung von τ . Da aber bei dünner werdenden Torsionsfäden die maximale Zugbelastung erheblich weniger abnimmt als die Torsionskonstante τ , gewinnt man bezüglich der Zugbelastung um so bessere Verhältnisse, je kleiner man die Masse und damit M und τ wählt.

Damit ist der Weg für die praktische instrumentelle Ausführung eindeutig klar:

Die technisch beste Lösung liegt in der Verwendung eines Magnetsystems mit kleiner Masse.

Es ist gelungen, ein Magnetsystem zu bauen, das zusammen mit dem Systemspiegel, den Justiereinrichtungen zum genauen Auswuchten und den Vorrichtungen zum Befestigen der Fäden weniger als 1 g wiegt. Die kleine Masse des Systems bringt aber nicht nur eine Verminderung der Zugbelastung und damit eine erhöhte Sicherheit gegen ein Zerreißen der Fäden, sondern gleichzeitig die ebenso wichtige Verminderung der Beanspruchung der an den Fadenklemmungen auftretenden Kräfte. Eine einwandfreie Klemmung wird bei dünnen Fäden zwar immer schwieriger, es konnten jedoch konstruktive und fertigungstechnische Maßnahmen durchgeführt werden, die eine vollkommen einwandfreie Klemmung von Fäden mit Durchmessern von weniger als 20 μ gestatten.

Selbstverständlich ist eine Arretierung des Magnetsystems während des Transportes notwendig. Die Messungen von D , H und Z können jedoch in einem Arbeitsgang durchgeführt werden, ohne daß eine Arretierung des Instrumentes erforderlich ist, d. h. das Eindrehen des Instrumentes in die verschiedenen Azimute kann bei entarretiertem System vorgenommen werden. Die Dämpfung ist so gut, daß schon nach wenigen Sekunden die Einstellung bzw. Ablesung der Koinzidenz erfolgen kann. Für die genaue Einstellung der Koinzidenz ist ein Feintrieb für die Torsionsköpfe vorgesehen, die übrigens auch für die Grobverstellung gleichzeitig durch die Bedienung nur eines Knopfes gedreht werden. Beide Torsionsköpfe sind direkt mit je einem Teilkreis versehen, damit die unvermeidlichen Fehler der Übertragungsmittel ausgeschaltet bleiben. Für die Ablesung der Azimute ist ein Horizontalkreis eingebaut, der — wie die Torsionsteilkreise — ein Glaskreis mit Minutenenteilung ist. Die Ablesung der drei Kreise erfolgt durch *ein* Okularmikrometer. Dabei sind die beiden Torsionskreise gleichzeitig im Okular sichtbar, während der Horizontalkreis zum Ablesen eingeblendet werden muß. Das zur Ablesung der Koinzidenz verwendete Autokollimationsfernrohr ist um eine waagerechte Achse kippbar und gestattet daher auch das Anvisieren von terrestrischen Zielen, deren Azimut an dem eingebauten Teilkreis abgelesen werden kann.

Selbstverständlich muß das Instrument horizontiert werden. Die Neigungsabhängigkeit ist aber etwas günstiger als bei der Feldwaage mit Schneidengalierung, so daß Niveaufehler ohne Schwierigkeiten vermieden werden können.

Eine vollständige Temperaturkompensation konnte bis jetzt noch nicht durchgeführt werden. Bei dem Versuchsinstrument wurde für die D - und H -Messungen eine Temperaturabhängigkeit von weniger als 1γ pro Grad und für die Z -Messungen ein Temperaturkoeffizient von etwa 6γ pro Grad festgestellt.

Die ersten Versuchsmessungen wurden mit der freundlichen Erlaubnis von Herrn Prof. *Errulat* und der hilfsbereiten Unterstützung von Herrn Dr. *Meyer* im Observatorium in Wingst durchgeführt. Da es nicht möglich ist, in Berlin Messungen dieser Art durchzuführen, waren diese ersten Messungen in Wingst eigentlich nur eine Funktionsprüfung des hergestellten Baumusters. Abgesehen von sonstigen, an sich bekannten Mängeln fehlte vor allen Dingen noch der Feintrieb für die genaue Einstellung der Koinzidenz. Da auch einige andere Teile für diese ersten Funktionsprüfungen nur labormäßig ausgeführt waren, konnten Ergebnisse höchster Genauigkeit nicht erwartet werden. Trotzdem haben diese ersten Messungen ein eindrucksvolles Ergebnis geliefert, das in den nachfolgenden Kurven graphisch dargestellt ist.

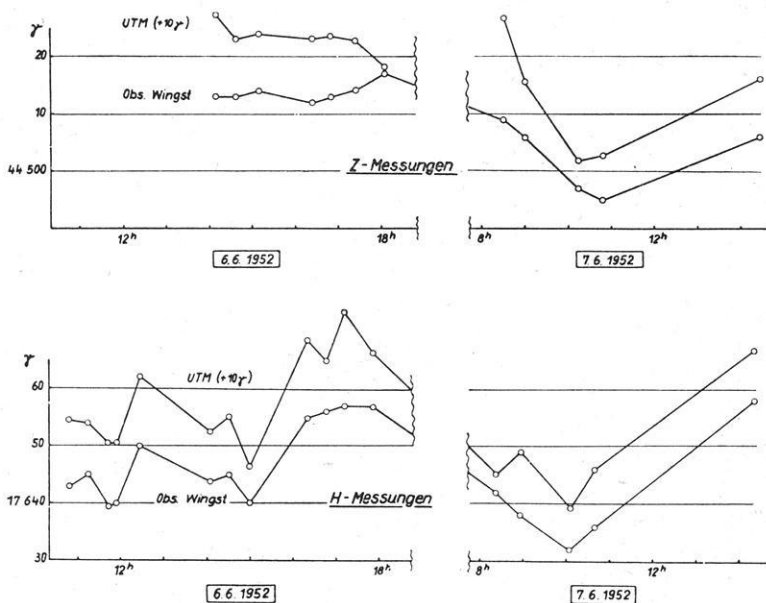


Abb. 3.

Gemessen wurde zunächst nur H und später jeweils H und Z in einem Arbeitsgang. Die vier dafür notwendigen Messungen — 2 für H und 2 für Z — nehmen etwa 10 Minuten in Anspruch. Es muß jeweils das Azimut und die zugehörige Koinzidenz eingestellt und die sich ergebenden Torsionswinkel an beiden Torsionskreisen abgelesen werden.

Beispiel

	Zeit	Koinzidenz	Torsionskreis			
			I		II	
<i>H</i>	17.55	32.2	424°	45.0'	424°	44.0'
	17.58	30.7	289°	24.4'	289°	29,5'
<i>Z</i>	18.03	27.8	527°	50.3'	527°	57.9'
	18.06	24.4	216°	13.2'	216°	06.6'

Die Torsionswinkel werden auf die gleiche Koinzidenz 30.0 umgerechnet. Der Umrechnungsfaktor wird experimentell bestimmt. Bei Verwendung eines Feintriebes für die Einstellung der Koinzidenz ist zu erwarten, daß die Abweichungen nicht mehr als 1 Skalenteil betragen werden.