

F. KÜPPERS, Münster

"Erste Erfahrungen mit dem GOUGH - REITZEL - Magnetometer
Typ Münster

Dienstag, den 12.03.1974

Das Instrument ist ein Magnetometer klassischer Bauart, mit kleinen Magneten als Sensoren, die an Torsionsfäden aufgehängt sind. Bauweise und Registrierprinzip sind bei GOUGH und REITZEL [1967] beschrieben, der nach diesem Vorbild in Münster entwickelte Prototyp bei KÜPPERS [1971]. Inzwischen sind 20 solche GOUGH - REITZEL - Magnetometer (GRM) mit einigen Veränderungen im Institut für Geophysik in Münster gebaut und im Gelände eingesetzt worden. Den jetzigen Entwicklungsstand zeigt Fig. 1.

Dieser Bericht soll die nötigen Vorarbeiten nach dem mechanischen Zusammenbau bis zum Einsatz der Instrumente erläutern und die Eigenschaften diskutieren.

Eine ganz neue Erfahrung bedeutet der Umgang mit 20 "gleichartigen" Meßgeräten. Diese große Zahl bringt nicht nur gehäufte Schwierigkeiten, größeren Zeitaufwand und unbedingten Zwang zur Rationalisierung, sondern auch mehr Information über Eigenschaften und deren Trends.

1. Meßtechnische Zurichtung der GRM

Wenn ein Magnetometer mechanisch zusammengebaut war, wurde es optisch justiert und mit Hilfsmagneten die Empfindlichkeit grob eingestellt. Diese Arbeiten wurden alle im Institut in Münster ausgeführt. Um die vom Meßprinzip mögliche Güte der Registrierungen zu erreichen, ist größerer Aufwand erforderlich. Deshalb wurden die Geräte zur meßtechnischen Einrichtung in das Erdmagnetische Observatorium Wingst des Deutschen Hydrographischen Instituts gebracht. Dort ist das erdmagnetische Feld nicht gestört, weder momentan von anderen Verbrauchern noch dauernd durch die Materialien des Gebäudes. Außerdem sind die nötigen Hilfsmittel für die Ausführung der Arbeiten vorhanden.

GOUGH - REITZEL - Magnetometer

	Originalausführung (1967)	Typ Münster (1973)
Magnete	Quader 18 x 3 x 3 mm	Zylinder 30 mm lang ø 3 mm, angeschliffen
Spiegel am Magnet	Magnetoberfläche poliert	Oberflächenspiegel aufgeklebt
Magnetaufhängung	Torsionsfaden ø 0,05 mm	Torsionsband b = 0,2 mm; Z u. H: h = b/7 D: h = b/10
Dämpfung	Cu - Platten in Magnetlängsrichtung, 3 mm stark, Abstand Magnet-Platte 2 mm; 3 dB - Punkt bei 1 sec	Cu - Blöcke um Magnetpole, 7,5 mm starke Wandung, Abstand Magnet - Block 0,6 mm; 3 dB-Punkt bei 6 sec
Eichung	mit externen Stabmagneten und seitlich angebrachten Einfach-Spulen	Helmholtzspulen für H. u. Z, seitliche Einfach-Spule für D; stabilisierter Eichstrom alle 6 h über 6 min
Lampe	Einfadenlampe 6 V, 0,8 A; Fadendurchmesser 0,1 mm	Soffitte mit Wendel 6 V, 20 mA; Wendeldurchmesser < 0,1 mm
Lampenanordnung	Lampenfaden und Kameraschlitz nebeneinander mit 30 mm Abstand in der Brennebene	Lampe seitlich unterhalb der Kamera; 8 mm von der optischen Achse entfernt, die durch den Kameraschlitz geht.
Optik	einfache Linse f = 483 mm, ø 89 mm; Grünfilter	Achromat (Oberfläche vergütet) f = 450 mm, ø 80 mm
Belichtungszeit	1 sec pro Zyklus	80 msec pro Zyklus
Filmvorschub	ruckweise mit Magnetzug, 0,2 mm pro Zyklus (PORATH 1969: Kontinuierlich 1,2 mm/min)	ruckweise mit selbstabschaltendem Motor 0,075 mm pro Zyklus
Filmmaterial	Kodak Estar AH Base, Träger 0,1 mm dick, 45 m lang; hart	Kodak Estar AH Base, Träger 0,1 mm dick, 45 m lang; weich (25 DIN)
Uhr und Steuerung	Bulova-Uhr mit Kontaktausgängen; ± 15 sec/Woche	Elektron. Quarzuhr (COS-MOS-Teiler); ± 1 sec/Woche
Energieversorgung	Auto-Bleiakku, 186 Ah, außerhalb des Rohres	Dryfit-Akku, 7,5 Ah, innerhalb des Rohres
Maximale Laufzeit	24 Tage	70 Tage

Fig. 1

a) Ausrichten der Magnete

Beim Zusammenbau des Instruments wird so gut wie möglich die vorgeschriebene Richtung der Sensormagnete eingehalten. Man nimmt dabei an, daß die Richtung des magnetischen Moments mit der längsten Körperachse identisch ist. Die Fehler für die Messung werden am kleinsten, wenn die magnetischen Momente in der Null- oder Ausgangsstellung senkrecht aufeinander stehen. Nach dem Vorbild der ASKANIA-Variographen richtet man deshalb die optischen Wege so aus, daß für eine bestimmte Verteilung der Lichtpunkte auf dem Kameraschlitz die gewünschte Bedingung erfüllt wird. Die Vorteile der Ausrichtung sind:

- i) die gegenseitige Beeinflussung aller Komponenten sinkt für Felder bis zu 300 γ unter 1 %,
- ii) zur Ausrichtung des Instruments bei der Aufstellung im Gelände dient D ¹⁾ als Kompaß. Das Gerät wird so lange gedreht, bis der Lichtpunkt von D an der vorgegebenen Stelle sitzt. H und Z werden dann mit der Torsion eingestellt.

Um diese Ausrichtung der Magnete beim GRM vornehmen zu können, wurde auf Vorschlag von Herrn Reg.-Dir. VOPPEL der 45° - Spiegel von D und der Bock für die Spiegelhalterung bei Z (Fig. 2 b) mit einem Gelenk versehen. Mit diesen zwei zusätzlichen Drehebene kann der Lichtpunkt von D und Z auf dem Kameraschlitz auch parallel zum Schlitz (E-W) bewegt werden, ohne die Torsion oder die Magnetometerstellung zu ändern.

1) Anstelle des Ausdruckes "D-Komponente" wird nur noch kurz D geschrieben. Das gilt auch für H und Z.

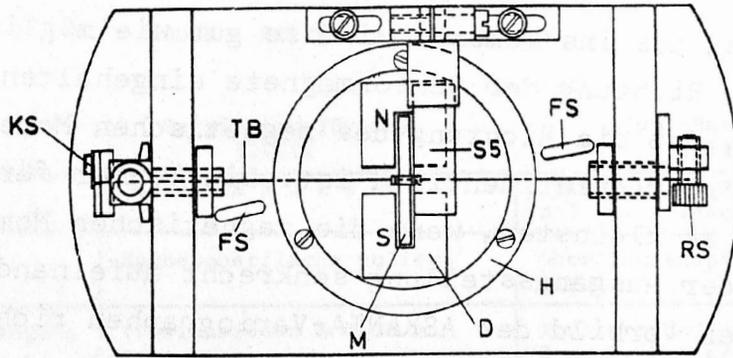


Fig. 2a: Draufsicht der Z-Komponente

D Dämpfung, FS Führungsschlitz für Hilfsmagnete, H Helmholtzspule, KS Klemmschraube, M Sensormagnet, N/S Pole des Magneten, RS Rändelschraube, S5 Gegen-
spiegel, TB Torsionsband.

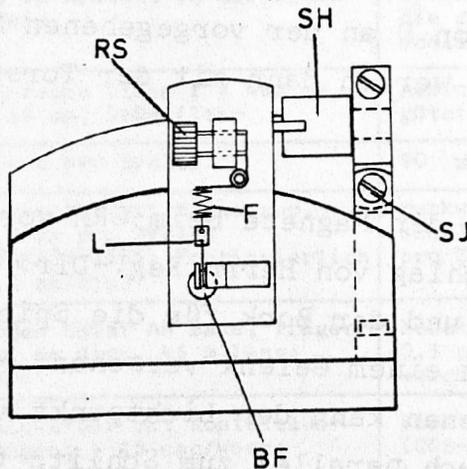


Fig. 2b: Seitenansicht der Z-Komponente:

SJ zusätzliche Drehmöglichkeit, BF Bandführung, F Zugfeder, L Lötplättchen, RS Rändelschraube, SH Spiegelhalterung, SJ Spiegeljustierung.

Zur Ausrichtung stellt man das GRM grob eingeordnet so in eine Helmholtzspule (\varnothing 164 cm), daß H und Z noch im homogenen Bereich des Feldes sind (Abweichungen $< 1\%$). Die Spule ist in magnetischer E - W Richtung aufgestellt (Fehler ca. $\pm 10'$) und senkrecht (besser $5'$) nivelliert. Nun beobachtet man das Bild von H auf einer Mattscheibe, während auf die Spule starke Ströme gegeben werden, die Felder bis zu 0,22 T erzeugen. Bewegt sich der Lichtpunkt beim Umpolen des Feldes nicht mehr, dann hat das magnetische Moment von H die Richtung des Feldes in der Spule. Um den Lichtpunkt von H in eine gewünschte Position zu bringen, dreht man das ganze Instrument und zur Feineinstellung die Torsion von H. Ist die Stellung von H gefunden und einwandfrei festgelegt, bleibt das GRM für die gesamte weitere Prozedur ortsfest.

Da der Magnet von Z in der senkrechten E-W Ebene schwingt, findet man dann bei gleicher Aufstellung der Helmholtzspule seine Stellung. Bei diesem Vorgang kommt es auf die genaue Horizontierung der Spule an. Mit dem bereits erwähnten Gelenk (Fig. 2) schwenkt man den gesamten Umlenkspiegel von Z, bis der Lichtpunkt annähernd die gewünschte Position hat. Die Torsion dient zur Feineinstellung. Zur Ausrichtung von D wird die Helmholtzspule in N - S Richtung gedreht und so gehoben, daß D in der Spulenmitte sitzt (Fehler ca. $\pm 10'$, Feldabweichung $< 1\%$). Dann verfährt man wie zuvor. Nur dreht man jetzt den 45° Spiegel und arretiert zum Schluß die Torsion von D, damit sie nicht mehr geändert werden kann. Das Band von D sollte nach der Ausrichtung torsionsfrei sein. Da zur Einstellung der Empfindlichkeit Zusatzmagnete angebracht wurden, deren Hilfsfelder nicht die gewünschte Homogenität besitzen, zeigt die Stellung der Bandbefestigung für die meisten Geräte eine geringe Torsion des D - Bandes an.

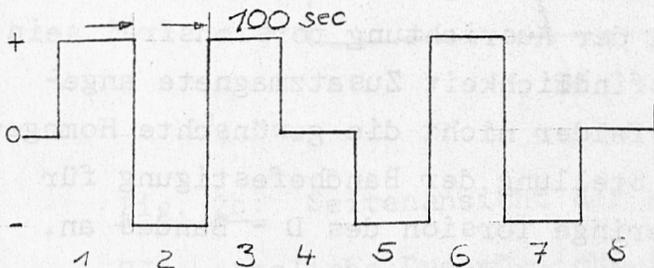
Bei der ersten Ausrichtung mußten an einigen Geräten die Gelenke um mehr als 3° (entsprechend 2 Registrierbreiten) verdreht werden. Eine Wiederholung der Ausrichtung nach einem Jahr zeigte Abweichungen in D bzw. H bis zu 1° , für Z kleiner $20'$.

b) Bestimmung der Eichwerte

Zur fortwährenden Eichung im Betrieb sitzen die Sensormagnete von H und Z in kleinen Helmholtzspulen. Wegen der vorgegebenen Abmessungen des Instruments ist bei D nur eine Ringspule ($r > 1$) angebracht. Alle 6 Stunden erzeugt in diesen Spulen für 6 min. ein konstanter Strom ein Zusatzfeld, das die Magnete auslenkt. Um diese Auslenkung auf 1 - 2 % genau für die Eichung auswerten zu können, werden nach der Ausrichtung Skalenwert und Spulenkonstante für jede Komponente bestimmt.

Die Skalenwertbestimmung erfolgt mit der Helmholtzspule des Observatoriums: Ausrichtung besser $\pm 10'$,
Homogenität des Feldes am Ort der Komponente um 1 ‰,
Genauigkeit des Feldes 2 - 3 ‰, bestimmt vom verwendeten Strommeßgerät.

Das GRM wird für jede Komponente erneut in dieser Spule aufgestellt, nach D mit einem Fehler $< 10'$ ausgenordet, H und Z in Position gebracht und eine Kamera aufgesetzt. Ungefähr 100 sec., d.h. 10 Punkte genügen, um die Stellungsänderung des Lichtpunktes für verschiedene Felder auf dem Film festzulegen. Ein Schaltkästchen erzeugt nun für jeweils 100 sec. die 8 angezeigten Zustände in beliebiger Wiederholung für



den Strom in der Spule und damit für das angelegte Feld. Die aufzuwendende Zeit für die Eichung bleibt mit dieser Maßnahme erträglich, ohne daß die Unters-

suchung bezüglich der Symetrie der Ausschläge oder die Statistik zu ihrer Festlegung vernachlässigt würden. Die doppelte Ausführung des Zyklus für 2 verschiedene Ströme erhöht die Sicherheit und gibt Hinweise auf die Linearität der Systeme. Die Skalenwerte wurden mit Feldern von ca. 60 γ bzw. 130 γ

bestimmt (für Z 40 γ und 80 γ).

Ohne die Stellung des GRM zu ändern, schließt sich die Bestimmung der Spulenkonstanten an. Mit demselben Zyklus werden die Spulen des GRM extern mit 2 verschiedenen Strömen gespeist und zusätzlich der systeminterne Eichstrom 3 mal an- und abgeschaltet. Der Strom wird jeweils auf 2 - 3 % genau mitgemessen. Die erzeugten Felder liegen zwischen 50 γ und 150 γ .

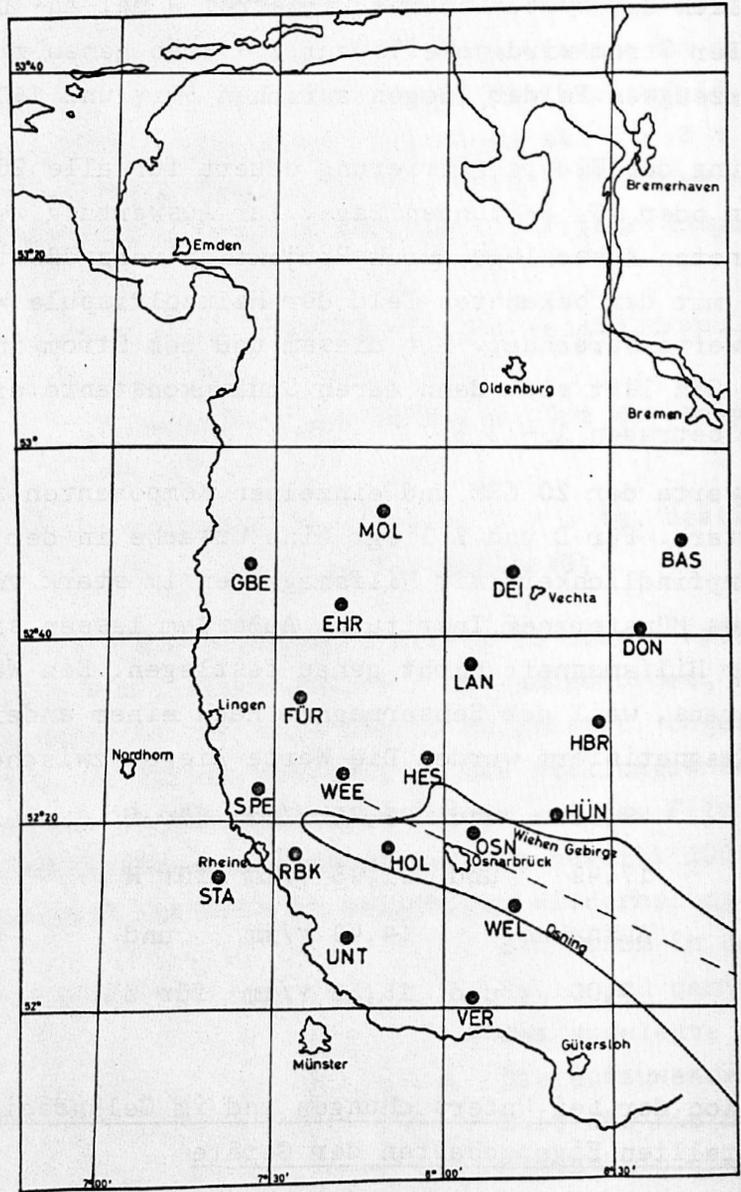
Die Gewinnung der Eichregistrierung dauert für alle 20 Geräte 120 Stunden oder 15 8-Stunden Tage. Zur Auswertung werden die aufgezeichneten Ausschläge durch Projektion vergrößert, ausgemessen und mit dem bekannten Feld der Helmholtzspule Wingst die Skalenwerte berechnet. Mit diesem und dem Strom in den Spulen des GRM läßt sich dann deren Spulenkonstante ermitteln. Die Fehler betragen 1 - 2 %.

Die Skalenwerte der 20 GRM und einzelnen Komponenten streuen ziemlich stark. Für D und Z liegt eine Ursache in der Einstellung der Empfindlichkeit mit Hilfsmagneten im stark verzerrten Feld des Münsteraner Instituts. Außerdem lassen sich die Momente der Hilfsmagnete nicht genau festlegen. Ein Wert von H fällt heraus, weil der Sensormagnet nach einem anderen Verfahren aufmagnetisiert wurde. Die Werte liegen zwischen

9,63	und	22,72 γ /mm	für D
17,49	und	21,95 γ /mm	für H
Ausnahme		14,49 γ /mm	und
7,00	und	15,58 γ /mm	für Z .

2. Diskussion der bei Untersuchungen und im Geländeeinsatz festgestellten Eigenschaften der Geräte

Nach Zusammenbau, optischem Justieren und meßtechnischem Einrichten sind die GRM auch eingesetzt worden. Jedes Gerät war bisher mehr als 50 Tage in Betrieb. Die Summe über alle GRM und alle Betriebstage ergibt mehr als 2000 Tage. Die Einsätze erfolgten zunächst als Probeläufe für 10 - 20 Tage mit 4 - 6 Geräten gleichzeitig auf dem Gelände des Observatoriums Wingst.



Stationenverteilung Gough-Reitzel-Magnetometer Sept./Okt.1973
● Magnetometerstation — — Piesberg-Pyrmonter Achse

Fig. 3

Danach wurden die GRM zum Vermessen der Leitfähigkeitsanomalie im Raum Osning, Wiehengebirge und nördliches Vorland eingesetzt (Fig. 3). Ebenfalls zur Probe laufen seit Dezember 1973 3 Geräte am Geophysikalischen Institut in Kiruna (Nordskandinavien). Einen Überblick der gewonnenen Erfahrungen und bisher ermittelten Eigenschaften soll die nun folgende Aufstellung geben.

a) Der mechanische Teil des Meßsystems

Schwierigkeiten bereitet immer noch die Arretierung der Systeme, da die Magnete in der Mitte des zweifach eingespannten Torsionsfadens sitzen. Diese Aufhängung hat keine Richtung für die Entlastung frei. Die zur Befestigung verwendete Feder (Fig. 2b) gleicht den Mangel teilweise aus. Das Torsionsband und eine hohe Dämpfung machen die Systeme zusätzlich so robust, daß eine Komponente einen 3-tägigen Transport im Gelände, ohne arretiert zu sein, unbeschadet überstand. Eine Befestigung der Magnete mit Band (Fig. 4) hat bei gleichem Torsionsmodul eine größere Belastbarkeit als ein Draht. Außerdem ist die Montage einfacher.

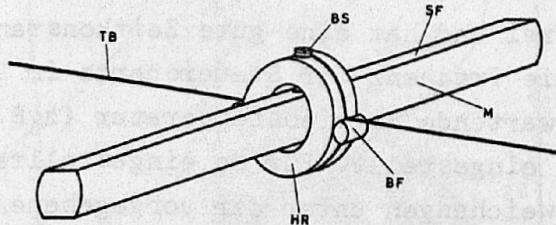


Fig. 4: Bandführung und Befestigung des Magneten am Ring

BF Bandführung, BS Befestigungsschraube, HR Haltering, M Magnet, SF Schliff-Fläche, TB Torsionsband.

Die starke Dämpfung wurde erreicht mit einer längeren Eigenperiode sehr schlanker Magnete (30 mm lang, 3 mm ϕ) und durch deren enge Umschließung mit einem dickwandigen Kupferblock (7 mm Wanddicke, ca. 6/10 mm lichte Weite Magnet - Kupfer) (Fig. 2a).

Die Optik

Da es nicht gelang, die an den zylinderförmigen Magneten angeschliffenen Flächen zufriedenstellend zu polieren, wurden Spiegel $2 \times 2 \text{ mm}^2$ aufgeklebt. Damit gab es bisher noch keine Schwierigkeiten, und die Abbildungen sind gut. Dagegen treten wegen der kurzen Wendel der Lampe und der langen Lichtwege öfter Verschiebungen des Wendelbildes auf, so daß das Bild nicht mehr auf den Kameraschlitz fällt. Ursachen sind geringe mechanische Veränderungen am Gerät und Temperaturunterschiede. Doch konnten die Fehler meist auch im Gelände korrigiert werden und führten kaum zum Ausfall der Registrierung, auf keinen Fall zu ihrer Verfälschung.

b) Die Elektronik

Die vollelektronische Uhr ohne jede Mechanik macht das System sehr wartungsfrei und hat eine gute Zeitkonstanz. Vor dem Einsatz wird die Frequenz der Steuerquarze im Labor auf eine mittlere zu erwartende Betriebstemperatur (z.B. 10°C für N-Deutschland) eingestellt. Für so eingestellte Uhren lagen bisher alle Abweichungen unter der vorgegebenen Grenze von 10 sec. in 30 Tagen.

Extrema der gemessenen Gangabweichungen:

14 sec in 44 Tagen

< 1/2 sec in 44 Tagen

Durchschnitt 1 sec pro Woche

Für positive oder negative Abweichungen gab es keinen Trend.

Die Konstanz der eingebauten Eichstromquelle war in allen Fällen besser 1 % für Temperaturdifferenzen bis zu 4°C und

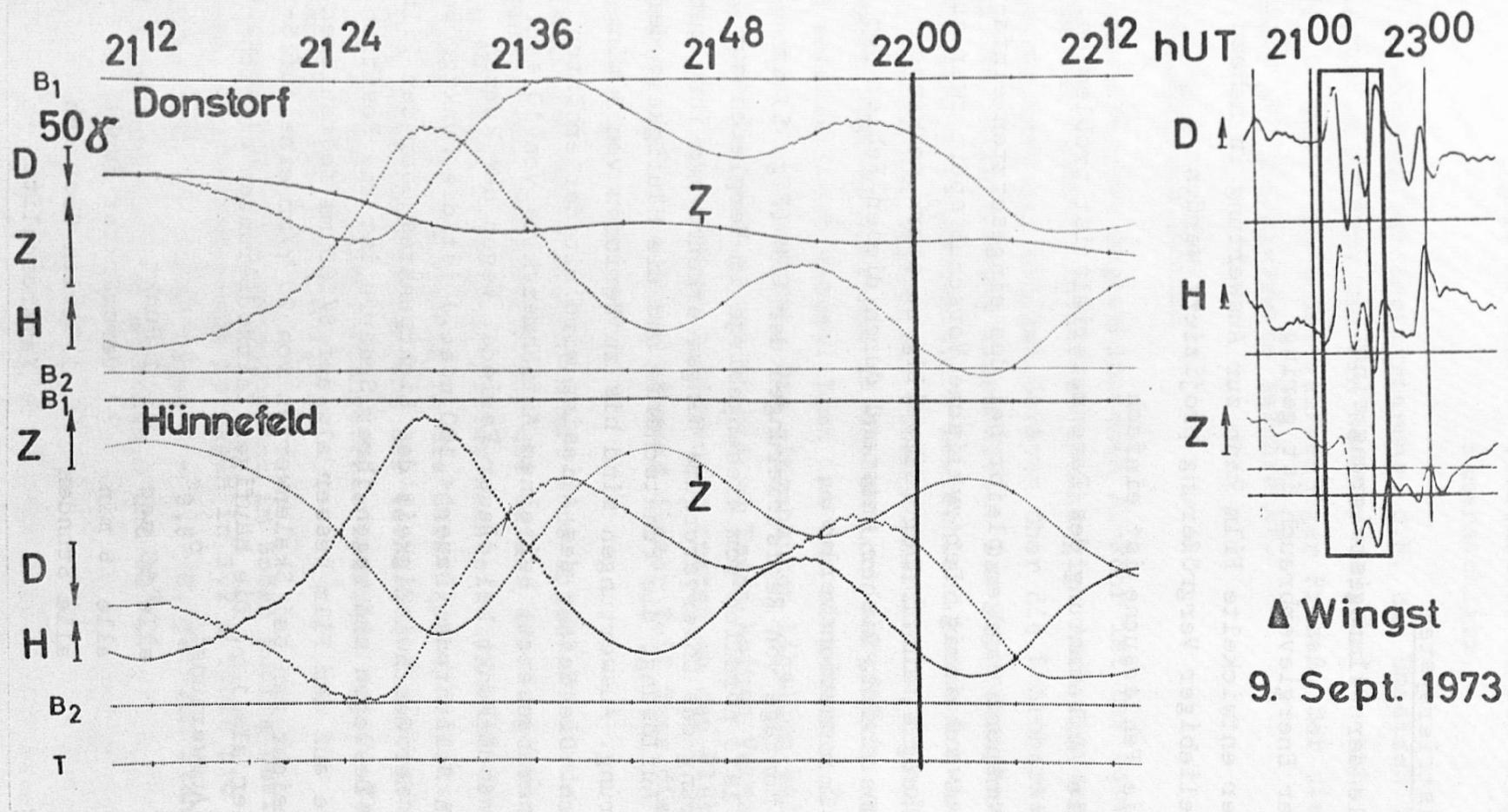


Fig. 5: Registrierung mit GOUGH-REITZEL-Magnetometern für 2 Stationen nördlich vom Wiehengebirge in 40 km Abstand im Vergleich zum Observatorium Wingst

Spannungsabfälle größer $1/2$ Volt. Teilweise hoben sich diese Effekte auf.

c) Das Registriersystem

Die Vorteile der Filmregistrierung sind:

- i) Der Energieverbrauch ist gering
- ii) Der entwickelte Film kann zur Auswertung in nahezu beliebiger Vergrößerung projiziert werden
- iii) Die Fehlersuche ist einfach
- iiii) Die Aufbewahrung des Datenmaterials ist problemlos.

Der Filmtransport dagegen bleibt bei den eingesetzten einfachen Kameras schwierig. Der zyklische Vorschub spart zwar zusätzlich Energie, führt aber zeitweilig zu stark schwankenden Punktabständen. Bisher entstand durch diesen Fehler jedoch kein Informationsverlust.

Aus einer Montage von Registrierungen der GRM (Fig. 5) im September 1973 nördlich vom Wiehengebirge im Vergleich zur Registrierung des Observatoriums Wingst erkennt man ihre gute zeitliche Auflösung, die Punktschärfe und die Häufigkeit der Zeitkodierung. Auswertungen sind bis zu Perioden von 1 min. gut möglich. Die Gefahr des Aliasing wird mit der erhöhten Dämpfung herabgesetzt. Bei einem Aufnahmezyklus von 10 sec. liegt der 3 dB-Punkt bei dieser Periode. Wegen der kurzen momentanen Belichtung (Dauer < 100 msec.) ist die Punktgröße nicht von der Geschwindigkeit des Lichtpunktes über den Film abhängig. Deswegen und wegen ihrer Schärfe ist die Position der Punkte auf dem Film besser als auf $5/100$ mm festzulegen. Somit erreicht man bei Skalenwerten von $20 \gamma/\text{mm}$ eine Auflösung besser als 1γ . Die häufigen Zeitkodierungen erleichtern die Auswertung:

alle 10 sec	1 Punkt
alle 6 min	verstärkter Punkt
alle Stunden	1 Strich über den Kameraschlitz

alle 6 Std.	automatische Eichung
alle 24 Std.	verstärkter Strich über den Kameraschlitz.

Die Auswertung der Registrierung, d.h. das Umsetzen der Analogwerte in Größen, die ein Rechner verarbeiten kann, ist noch ein zeit- und arbeitsaufwendiger Prozeß, der die Datenanalyse auf Einzeleffekte beschränkt.

d) Das Gerät im Gelände

In dem luftdicht abgeschlossenen Al-Rohr ist das Gerät im Gelände von äußeren Einflüssen unabhängig. Auch als der Grundwasserspiegel bei einigen Geräten über die Rohroberkante stieg, lief die Registrierung einwandfrei. Das Vergraben bereitete vor allem im Sandboden von N-Deutschland keine Schwierigkeiten. Die Löcher wurden mit einem kommerziellen Erdbohrgerät gebohrt. Das Al-Rohr muß in diesem Loch sorgfältig verdämmt und vornivelliert werden. Dann ist das eingesetzte Instrument leicht zu horizontieren. Die eingebauten Libellen zeigten auch nach Laufzeiten von 30 bis 40 Tagen keinen Versatz größer 5'. Die größten Differenzen traten an den Plätzen auf, an denen das Grundwasser während dieser Zeit über die Geräteoberkante gestiegen war.

Solange das Gerät lediglich mit Erde abgedeckt wurde, war der Zugang etwas umständlich und die Gefahr der Verschmutzung beim Bedienen sehr groß. Dieser Nachteil ist seit dem Einsetzen einer Holzverschalung in die Gerätegrube beseitigt. Der geringe Energieverbrauch und der verkürzte Filmvorschub pro Zyklus erlauben eine wartungsfreie Laufzeit von 70 Tagen mit einem Akku von 6 V und 7,5 Ah.

Die erwartete Temperaturkonstanz im Boden konnte bestätigt werden. Die Unterschiede betragen in 1,2 m Tiefe pro Tag weniger $1/10^{\circ}$ C, in 40 Tagen 2 - $3,5^{\circ}$ C, je nach Standort, bei Außentemperaturen zwischen 0 und 30° C.

e) Die Ausfälle

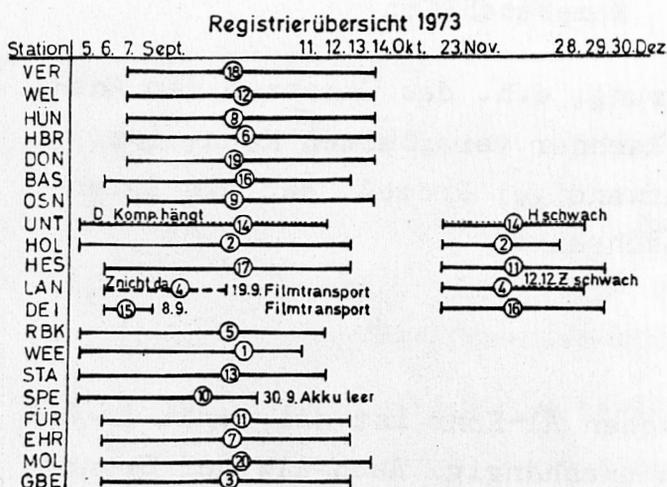


Fig. 6

Der erste Probelauf der Geräte am Observatorium Wingst brachte noch viele Ausfälle, die z.T. auf mangelnde Erfahrung zurückzuführen waren. Fig. 6 gibt eine Übersicht über den Einsatz in Norddeutschland. Die zwei Ausfälle im Filmtransport hängen mit dem "Stottern" der Kameras zusammen. Der Ausfall des Akkus

scheint durch einen Herstellungsfehler bedingt. Ein Bedienungsfehler beim Einsetzen beeinträchtigte den Lauf von D bei GRM 14 an der Station UNT. Die übrigen Mängel beziehen sich auf die optische Justierung, deren Ursachen unter "Optik" bereits erwähnt sind.

f) Das Langzeitverhalten

Die Registrierungen der Probelläufe am Observatorium wurden zur Bestimmung des Langzeitverhaltens der GRM mit denen des Observatoriums verglichen. Die wenig gealterten Geräte und die vorläufig zu ungenaue Auswertemethode geben jedoch nur obere Grenzen an.

Verglichen wurden die Werte von GRM Nr. 10, 12 und Wingst (W_n) an einem magnetisch ruhigen Tag mit halbstündiger Ablesung und die Werte 2^{00} UT für die Zeit von ungefähr 3 Wochen.

Fig. 7 zeigt als Beispiel für einen Tagesgang die D-Komponente mit Abweichungen bis zu 4γ . H und Z zeigen gleich große Abweichungen, die wie an Fig. 8 am Beispiel Z in anderer Auftragsweise zu sehen, teilweise auf Drift, teilweise auf ungenaue Skalenwerte zurückzuführen sind. Die Darstellung

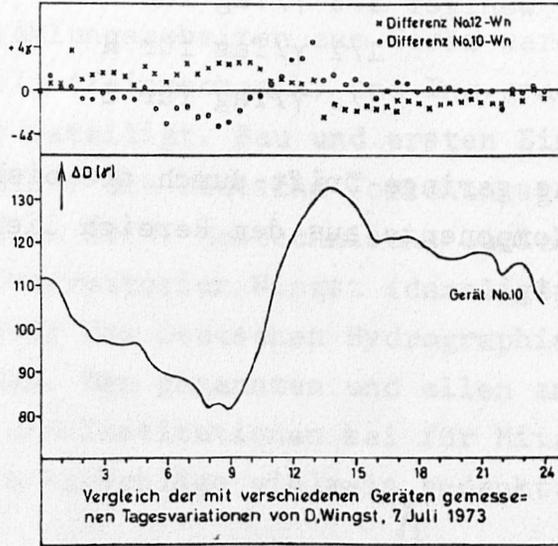
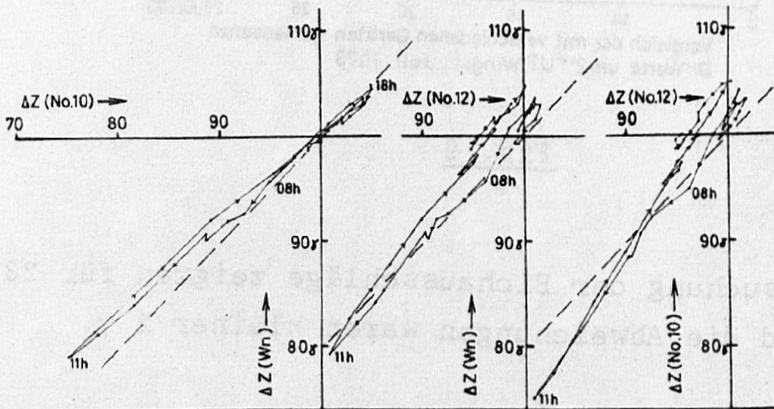


Fig. 7



Vergleich der mit verschiedenen Geräten gemessenen Tagesvariationen von Z, Wingst, 7. Juli 1973

Fig. 8

Von Fig. 8 macht Registrierfehler sehr anschaulich deutlich und eignet sich gut als Kriterium für die Güte eines Gerätes.

Die Drift über lange Zeiten wird aus Darstellungen wie Fig. 9 abgelesen. Für den untersuchten Zeitraum betrug sie ungerechnet:

weniger $1/3 \gamma/\text{Tag}$ für D
" $1/2 \gamma/\text{Tag}$ für H
" $1/3 \gamma/\text{Tag}$ für Z

Bestätigt wird die geringe Drift durch die bisherigen Einsätze, bei denen keine Komponente aus dem Bereich lief, auch nach 5 Monaten Laufzeit.

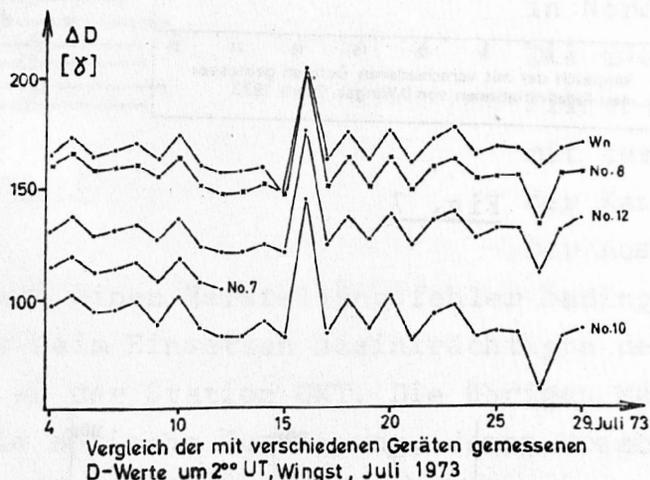


Fig. 9

Die Untersuchung der Eichausschläge zeigten für 23 Tage keinen Trend, und die Abweichungen waren kleiner 1γ .

Literatur

GOUGH, D.I., und J.S. REITZEL, A portable threecomponent magnetic variometer, J. of Geomagn. and Geoelectr., 19, 203-215, 1967.

KÜPPERS, F., Bau und Weiterentwicklung eines 3-Komponenten-variometers nach GOUGH und REITZEL, Protokoll Koll. Erdmagn. Tiefensondierung. Rothenberge 1971, 125-132.

Dank

An den Entwicklungsarbeiten zum Gerät waren vor allem die Herren R. Helm (Feinmechanik) und Ing.grad. W. Wilting (Elektronik) beteiligt. Bau und ersten Einsatz der Magnetometer unterstützte die Deutsche Forschungsgemeinschaft mit der Sachbeihilfe Un 29/4. Meßtechnische Zurichtung und Probeläufe konnten im Observatorium Wingst (damaliger Leiter Herr Reg.-Dir. D. Voppel) des Deutschen Hydrographischen Institutes ausgeführt werden. Den genannten und allen anderen nichtgenannten Helfern und Institutionen sei für Mitarbeit, Unterstützung und wertvolle Ratschläge vielmals gedankt.