

F. KÜPPERS, Münster

"Bau und Weiterentwicklung eines 3-Komponenten-  
variometers nach Gough und Reitzel"

Dienstag, den 14.9.1971

Die flächenhafte Überdeckung eines Meßgebietes mit Variometern zur magnetischen Tiefensondierung ermöglicht es, kompliziertere Leitfähigkeitsstrukturen besser zu erfassen. Die Ausführung solcher Messungen scheiterte zunächst am zu hohen Preis der erhältlichen Variometer. Deswegen versuchten GOUGH und REITZEL, nach dem Prinzip des Askania-Variogrphen, ein billiges Magnetometer zu bauen. Doch durfte der angestrebte niedrige Preis die guten Eigenschaften des Variogrphen nicht allzusehr beeinträchtigen, z.B. Auflösung ca. 1 $\gamma$ , Genauigkeit besser als 3% wurden verlangt.

Die Wirkungsweise des von GOUGH und REITZEL gebauten Gerätes ist aus Fig. 1 ersichtlich. Das Licht einer Einfadenlampe wird durch eine Linse parallel gemacht und über Spiegel auf die hochglanzpolierte Seite eines Magneten geworfen. Der Magnet ist an dünnen Torsionsfäden aus Stahl aufgehängt. Die Bewegungen des Magneten verursachen Winkeländerungen des auffallenden Strahles, der über den gleichen Spiegel wie zuvor zurückgeworfen und mit der Linse auf einem 0.1 mm breiten Kameraschlitz zum Bild des Fadens fokussiert wird. Lampenfaden und Kameraschlitz sind rechtwinklig angeordnet, so daß auf dem Film ein Punkt erscheint, der je nach Stellung des Magneten über die Filmbreite wandert. Da Lampe und Kamera zur Linse die gleiche Entfernung, nämlich  $f$  = Brennweite der Linse, haben, ist es möglich, alle drei Komponenten von einer Lampe aus zu beleuchten. Die Ausschläge der einzelnen Komponenten bleiben klein genug, so daß die Anordnung linear ist.

Die nötige Empfindlichkeit wird durch einen besonders geringen Durchmesser des Torsionsfadens (0.05) und eine große Brennweite der Linse ( $f$  = 500 mm) erreicht. Da die Magnete von den Torsions-

# Schematic View of Variometer Looking Eastward

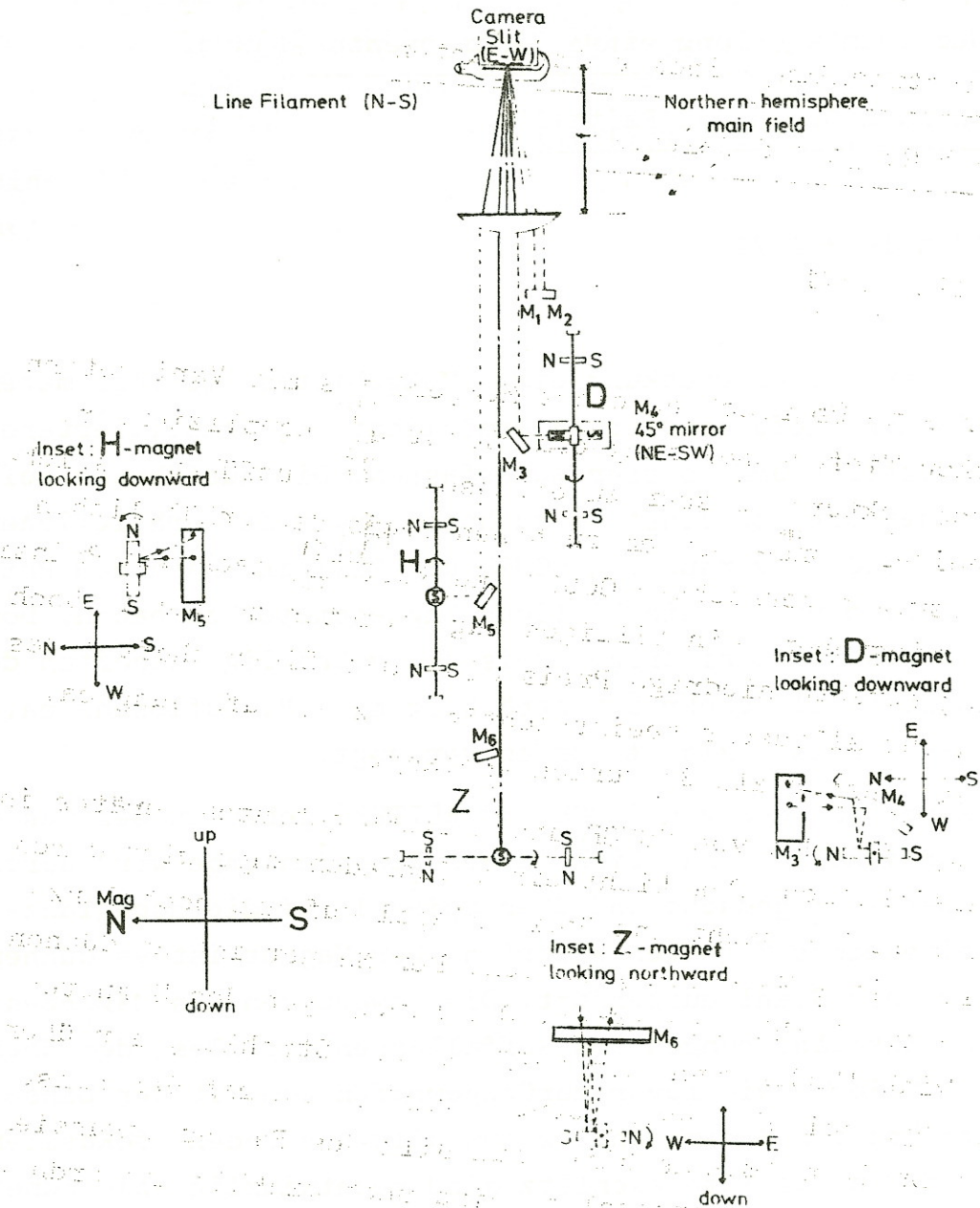


Fig. 1



fäden auch getragen werden, darf der Fadendurchmesser eine bestimmte Grenze nicht unterschreiten. Eine zu große Zugspannung hätte ein langsames Fließen des Fadens und damit eine dauernde Empfindlichkeitsänderung zur Folge. Vor allem die waagerechte Aufhängung der Z-Komponente begrenzt die Dünne des Fadens. Die Zugkraft erhöht sich ca. um den Faktor 30 des Magnetgewichtes, wenn der Faden  $2^\circ$  gegen die Waagerechte geneigt ist.

Zur Dämpfung ihrer Schwingungen befinden sich die Magnete zwischen Kupferplatten.

Der Temperaturkoeffizient des magn. Momentes der Sensoren beträgt ungefähr  $10^{-4}$  -  $10^{-3}/^\circ\text{C}$ . Um Fehler von Temperaturschwankungen auszuschließen, wird

- 1) das äußere statische Feld mit Hilfsmagneten verkleinert,
- 2) das Magnetometer in ein Bohrloch vergraben, so daß sich die Oberkante des Variometers noch 30 cm unter der Erdoberfläche befindet.

Wegen der 2. Maßnahme spricht man zuweilen auch von Bohrlochmagnetometern. Die erreichte Isolierung ist sehr gut, z.B. ergeben  $30^\circ$  Temperaturunterschied in einer Woche an der Erdoberfläche in 1.5 m Tiefe eine Schwankung von  $0.1^\circ\text{C}$  (gerechnet mit dem Diffusionskoeffizienten  $\kappa = 0.01 \text{ cm}^2/\text{sec}$ ).

Die Registrierung auf Film ist billig und wenig aufwendig. GOUGH und REITZEL erreichten schon mit einer einfachen Linse und einem Grünfilter ein scharfes Bild des Lapenfadens. Die Schärfe dieses Bildes bestimmt die Auflösung. Wegen der großen Brennweite der Linse dürfen die spiegelnden Flächen (Blenden) nicht zu klein sein. Man erhält sonst Beugungsbilder. Die Grenzen betragen für die kleinste Spaltbreite ca. 2mm, für die Ebenheit  $300 \mu$ .

Zur Energieeinsparung wird die Aufzeichnung der Lichtpunkte in Abständen von 10 sec vorgenommen. Den Vorgang steuert eine Stimmgabeluhr von Bulova. Sie hat 3 Kontaktausgänge. Der erste gibt alle 10 sec einen Impuls, der einen elektronisch gesteuerten Zyklus auslöst. Zunächst wird die Lampe eingeschaltet. Ihre Leuchtdauer ist veränderlich, damit man die Belichtungszeit einstellen kann (im Mittel 1.2sec). Nach der Belichtung tritt eine Ruhepause von 1 sec ein. Dann erfolgt der Filmtransport um 0.2 mm durch eine Anzugsvorrichtung mit Magneten. Diesen sog. "Ratchet-Mechanismus"



ersetzte PORATH durch einen kontinuierlich laufenden Gleichstrommotor. Die zwei anderen Kontaktausgänge der Uhr geben die Stunden- bzw. 24-Stunden-Marke.

Das Gerät ist für den wartungsfreien Betrieb von ungefähr 3 Wochen ausgelegt. Es hatte sich bereits bei einigen Einsätzen bewährt und genügte den Anforderungen der magnetischen Tiefensondierung. Als wir begannen, es nachzubauen, versuchten wir, die schwächsten Konstruktionsmerkmale abzuändern. Das Gesamtkonzept sollte beibehalten werden. Ein Hauptanliegen war es, den Energieverbrauch einzuschränken.

Auf alle Fälle mußte die Bulova-Uhr ersetzt werden. Sie kostete allein die Hälfte des Preises aller Materialien für das Variometer. Außerdem hielt sie die angegebene Genauigkeit nicht ein. PORATH hatte bis zu 50 sec Abweichung in 14 Tagen.

Zunächst versuchten wir es mit einfachen elektromechanischen Küchenuhren, deren Genauigkeit mit  $\pm 2$  sec pro Tag angegeben ist. Die Uhren hielten wohl die Ganggenauigkeit ein, waren jedoch gegen äußere Einwirkungen mechanischer und elektrischer Art hochempfindlich. Zum Glück gab uns der Markt eine Chance. Mit den neu herausgebrachten Impulsteilern, stromsparend und störungssicher, konnten wir die Impulse eines Quarzoszillators auf 1 sec teilen und damit ein mechanisches Küchenuhrwerk (Fa. Staiger) treiben. Diese Uhr läuft faktisch mit der Genauigkeit des Quarzoszillators und ist für den mobilen Einsatz robust genug.

Die Abnahme der Impulse von der Uhr geschieht mit Lichtschranken. Auf die Zeigerachsen werden Lochscheiben gesetzt: Sekundenachse mit 6 Löchern, Minutenachse mit 1 Loch, Stundenachse ein dicker Zeiger. Mittels Leuchtdioden werden Fototransistoren zu den entsprechenden Zeiten angesteuert, die dann die gewünschten Impulse liefern. Für die Stundenmarke wird eine Lampe eingeschaltet, die den ganzen Kameraschlitz belichtet. Der Zeiger auf der Stundenachse verhindert alle 12 h, daß der Transistor durchgesteuert wird. Die Marke fällt dann aus.

Mit dem Impuls jede 10 Sekunde wird ein elektronischer Schaltkreis angestoßen. Dieser bestimmt die Leuchtdauer der Lampe und setzt nach deren Verlöschen den Motor zum Kameratransport in Betrieb



(Fig. 2). Der Motor schaltet sich nach einer Umdrehung selbsttätig ab. Das nachfolgende Getriebe ist so ausgelegt, daß der Film um 0.2 mm transportiert wird. Beim kontinuierlichen Transport ist der Vorschub der Versorgungsspannung proportional und deswegen über 3 Wochen sehr unterschiedlich. Eine Zuordnung der einzelnen Stationen wird deswegen schwierig und eine Phasenauswertung kaum möglich. Deswegen entschieden wir uns für den ruckweisen Vorschub. Außerdem wird bei diesem Verfahren auch noch Energie gespart.

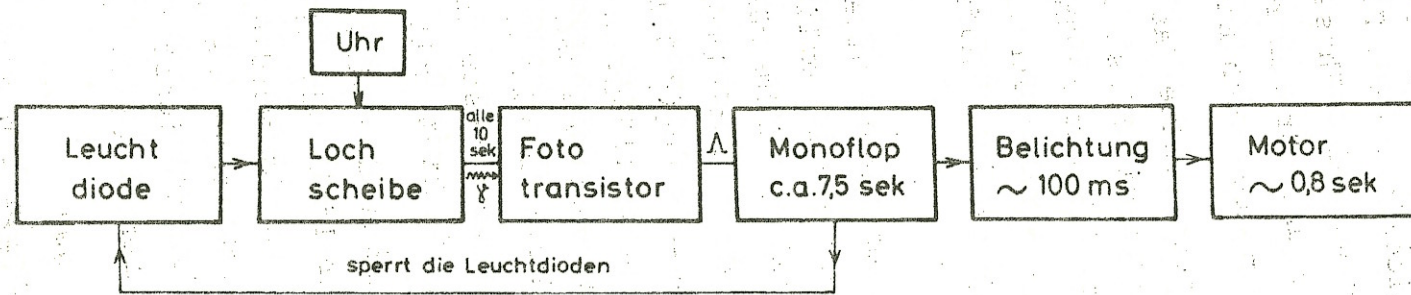
Ebenso zum Energiesparen sollte das Licht der Lampe besser genutzt werden. Wir ersetzten die Linse und das Grünfilter durch einen Achromaten. Er hat sich gut bewährt. Versuche, die drei Komponenten anders als im parallelen Strahlengang einer Beleuchtungsquelle anzuordnen, sind wegen ihres Aufwandes und ihrer Kompliziertheit gescheitert.

Den größten Gewinn in der Energiebilanz brachte die Verkleinerung der Lampe. Einfadenlampen herkömmlicher Bauweise haben eine Mindestgröße, da die Fadenlänge nicht kürzer als 20 mm sein kann. So versuchten wir es mit einer Subminiaturlampe. Der Wendeldurchmesser dieser Lampe war klein genug ( $\leq 0.1$  mm), um ein nicht zu breites Bild zu geben. Die Wendellänge betrug nur noch 5 - 6 mm. Zusätzlich kam uns die Verwendung von weicherem Film zugute. Die Zeichnung der Punkte litt darunter nicht. GOUGH und REITZEL gaben für ihre Punkte 0.25 mm als Durchmesser an. In der neuen Anordnung sind die Bilder auf dem Film Quadrate mit 0.1 mm Kantenlänge.

Wegen der kleinen Abmessungen der Birne konnte diese unterhalb der Kamera angebracht und ihr Licht mit einem um  $45^\circ$  geneigten Spiegel in den Strahlengang gelenkt werden. Diese Anordnung gestattet es, mit kleinerem Durchmesser des Achromaten auszukommen und bringt Lichtquelle und Bild möglichst nah an die optische Achse. Lampenwendel und Filmebene haben dabei den Abstand der Brennweite zum Achromaten.

Den großen Vorteil, den die kurze Wendel bringt, muß man mit einer höheren Empfindlichkeit gegen Dejustierungen bezahlen. Bei den geringsten Änderungen im Strahlengang rutscht das Bild der Wendel neben den Kameraschlitz und die Aufnahmen zeigen nichts mehr.

## Registrierzyklus



## Motorsteuerung

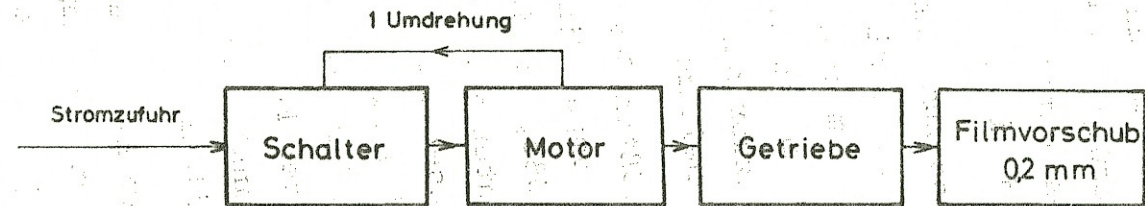


Fig. 2



	Gough + Reitzel - Variometer	Prototyp Münster
<b>Magnete</b>	Quader 3x3x19mm	Zylinder 20x4mm angeschliffen
<b>Aufhängung</b>	Torsionsfaden : 0,05 mm Durchmesser	Torsionsband : h:b=1:7 b=0,2
<b>Filmvorschub</b>	rückweise mit Magnetanzug (Porath : kontinuierlich laufender Motor)	mit selbstabschaltendem Motor pro Zyklus
<b>Belichtung</b>	Einfadenlampe 6 V, 0,8 A Fadendurchmesser 0,1mm	Soffite mit Wendel 6 V, 20mA Wendeldurchmesser < 0,1mm
<b>Optik</b>	einfache Linse f = 483 Ø : 89mm Grünfilter	Achromat f = 400mm Ø : 60mm
<b>Filmmaterial</b>	Kodak Estar H Base, Träger 0,1mm dick, hart, 45m lang	Kodak Estar H Base, Träger 0,1mm dick, ca. 20 DIN, 45m lang
<b>Belichtungszeit</b>	ca. 1,0-1,5 sek.	ca. 0,1 sek.
<b>Uhr und Elektronische Steuerung</b>	Bulova-Uhr mit Kontaktausgängen	Selbstgebaute Quarzuhr mit Lichtschranken
<b>Lampen anordnung</b>	symmetrisch zur Kamera, Lampenfaden und Kamera- schlitz liegen in der gleichen Ebene, Abstand ca. 30 mm	seitlich zur Kamera, ca. 10 mm entfernt, Symmetrieachse der Anordnung geht durch den Kameraschlitz, Lampe wird über einen Spiegel in den Strahlengang projiziert
<b>Energie- versorgung</b>	normaler Bleiakku mit 186 Ah, außerhalb des Rohres; ausreichend für 3-4 Wochen	Dryfit Akku 7,5 Ah, innerhalb des Rohres; ausreichend für 3-4 Wochen

Fig. 3

Nur mit großem Aufwand und viel Mühe gelang es, die Magneten so zu polieren, daß wir gute Bilder bekamen. Die geforderte Ebenheit von ca.  $\lambda/2$  entspricht optischem Feinschliff. Billige Schaltmagnete für Reedrelais wiesen zu viele Lunker und Fehlstellen auf. So verwendeten wir Zylindermagnete aus der Serienherstellung der Magnetfabrik Bonn. Auf dem Zylinder wurde die Spiegelfläche zuerst angeschliffen. Dann wurden mehrere Magnete in Kunstharz eingegossen und poliert. Da die Spiegelflächen nicht Kante an Kante lagen, rundeten sich die Flächen zu den Kanten hin ab. Erst nachdem diese Kanten auch noch abgeschliffen waren, bekamen wir Bilder, die akzeptabel waren. Die Ausbeute an brauchbaren Magneten bei diesem Vorbereitungsverfahren ist sehr gering. Die meisten Magnete zerbrechen während des Schleifens. Der Preis für einen fertigen Magnet erhöht sich fast um das Zehnfache des Einkaufspreises.

Der Energieverbrauch konnte soweit gedrückt werden, daß der Versorgungsakku mit im Gehäuse des Variometers untergebracht werden kann. Dadurch ist das Gerät gegen Feuchtigkeit und Nässe vollständig isoliert. Außerdem wird die gesamte Wartung sauberer und leichter.

Verwendet man zur Magnetaufhängung statt der Torsionsfäden Bänder, ergeben sich einige Vorteile, die wir auch noch nutzen wollen. Versuche zur Umstellung laufen zur Zeit.

Alle Veränderungen, die von uns am Variometer vorgenommen wurden, sind noch einmal in Fig. 3 zusammengestellt. Ein kurzer Einsatz des Gerätes für die Dauer von einer Woche zeigte einige Fehler, ergab jedoch, daß der Prototyp zum Serienbau weiterentwickelt werden kann.

#### Literatur

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