

Foucault's Pendelversuch mit photographischer Aufzeichnung und seine Beziehungen zur Schachtlotung.

Von Professor K. Fuhrmann in Berlin.

Mit Tafel I.

Als im Jahre 1901 der 50 Jahre früher zum ersten Male angestellte Pendelversuch Foucault's an verschiedenen Orten wiederholt wurde, faßte ich den Entschluß, diesen Versuch auf photographischem Wege mit meinem Schachtlot auszuführen. Im Winter 1902 fand sich im Treppen Hause meiner neuen Wohnung ein sehr geeigneter Raum zur ungestörten Ausführung des Versuches an einem Lotdraht von ca. 9 m Länge.

Um getrennte Schwingungslinien in bestimmten gleichmäßigen Zeitabschnitten zu bekommen und die Trockenbatterie für die Dauer von wenigstens 2 Stunden in Kraft zu erhalten, durfte das Licht nach jenen Zeitabschnitten nur für kurze Zeit aufleuchten. Eine Unterbrechung des Lichtes von außen war nicht möglich, wegen der Zuleitungsdrähte, es mußte also der Unterbrecher in das Lot eingebaut werden.

Ich benutzte dazu in einfachster Weise eine Taschenuhr.

Diese wurde nach Entfernung des Glases und des Stundenzeigers horizontal im Lot (alter Konstruktion) zwischen den Polen der Batterie verlagert, so daß sie sich nicht verschieben konnte. Eine kleine Kartonscheibe wurde mit einem 6strahligen Stanniolstern belegt und an dem Minutenzeiger mit sehr feinem Kupferdraht befestigt. Die an den Enden flach gehämmerten und federnd gemachten Poldrähte schleiften nun so auf dem Karton, daß der eine Pol mit der Zentralscheibe des Stanniolsternes in dauernder Verbindung blieb, während der andere Pol alle 10 Minuten mit einem Strahl des Sternes in Berührung kam. Die Breite der Strahlen war so bemessen, daß die Berührung eine halbe Minute währte. Auf diese Weise zeichnete das Lot alle 10 Minuten für eine halbe Minute seine Schwingungen auf.

Besonders empfindlich ist der Pendelversuch bezüglich der Aufhängung des Lotdrahtes. Wollte man ihn einfach über einen

Haken oder eine Laufrolle legen, so würde das Lot beim Schwingen in der Richtung der Rollenachse infolge der Federkraft des Drahtes bei a (Fig. 6) nach der Pfeilrichtung abgelenkt werden, also in drehende Bewegung geraten; beim Schwingen quer zur Rollenachse würde die Bewegung in der Pfeilrichtung gefördert, entgegengesetzt aber gehemmt werden. In allen Schwingungsrichtungen würden also bestimmte Richtungen bevorzugt werden, es würden statt der ebenen Schwingungen sehr bald sphärische erfolgen. In der Tat zeigte sich denn auch, daß bei solcher Aufhängung schon die erste Schwingungslinie, die das Lot nach Abbrennen des Fadens bei völlig ruhigem Lot verzeichnete, keine gerade Linie, sondern eine, wenn auch schlanke, Ellipse wurde. Nach ganz kurzer Zeit waren aber die Ellipsen bzw. Spiralen so breit, daß von einer „Erhaltung der Schwingungsebene“ auch nicht entfernt die Rede sein konnte, und der Versuch daher fehlschlug. Erst nachdem der weiche Messingdraht vertikal eingeklemmt wurde, so daß er nach allen Richtungen die gleiche Bewegungsmöglichkeit hatte, gelang der Versuch.

Die Abbildung Fig. 8 zeigt den Versuch vom 3. März 1905 zu Hörde i. Westf. während einer Dauer von 2 Stunden, in einer photographischen Verkleinerung von etwa 1:2,5.

Die Anfangsrichtung war Nord-Süd, und da sich die Erde auf der nördlichen Hälfte entgegengesetzt der Uhrzeigerbewegung dreht, so muß das Lot scheinbar im Sinne des Uhrzeigers aus seiner ursprünglichen Schwingungsebene abweichen.

Der Umdrehungswinkel α beträgt in der geographischen Breite φ für 2 Stunden $\alpha = 30 \cdot \sin \varphi$ und hiernach wurde der Winkel α für die geographische Breite $51^{\circ} 29' 20''$ berechnet zu rund $23^{\circ} 28' 29''$.

Dieser Winkel ist mit dem Transporteur aufgetragen und entsprechend den Zeitabschnitten von 10 Minuten in 12 Teile geteilt, wie aus den punktierten Linien ersichtlich. Die Schwingungslinien des Lotes zeigen mit diesen berechneten Linien eine bei dem komplizierten Vorgang der Pendelbewegung sehr gute Uebereinstimmung, so daß aus der Aufzeichnung des Lotes die geographische Breite des Ortes mit einer für manche Zwecke ausreichenden Schärfe hätte bestimmt werden können, und der Versuch als vollkommen gelungen betrachtet werden kann.

Uebrigens sieht man deutlich, daß bei den letzten Aufzeichnungen keine geraden Linien, sondern schon schmale Ellipsen erfolgen, die Bewegungen also anfangen auszuarten; natürlich, denn neben verschiedenen verwickelten Vorgängen dreht sich ja der Aufhängepunkt mit der Erde. Nach den mir bis jetzt bekannt gewordenen Versuchen hat man denn auch die Beobachtung nur bis höchstens 1 Stunde fortsetzen können. Es mag noch bemerkt werden, daß ich den Pendelfaden aus weichem

Messingdraht monatelang mit dem Lot beschwert ruhig hängen ließ, bevor ich den hier dargestellten Versuch machte. Nach Abnehmen des Lotes hing der Draht völlig gerade und vertikal.

Die Länge des Pendels betrug ca. 8,6 m, Gewicht des Lotkörpers 12 kg und der Messingdraht hatte 0,6 mm Durchmesser.

Was nun die Aufzeichnung der Pendelbewegung betrifft, so kann ein in gerader Linie, also in einer Vertikalebene schwingendes Lot diese Bewegung streng genommen nicht geradlinig verzeichnen, denn das Lot behält die Schwingungsebene bei, und die Erde dreht sich unter dem Lot. Dieses kehrt also nicht in den Anfangspunkt zurück, sondern trifft auf einem anderen Punkt ein.

Wenn das Lot in gerader Linie von A (Fig. 7) durch M nach W und zurück nach A schwingt, so hat sich inzwischen die Erde um ein Stück AB in der Richtung des Pfeiles fortbewegt, so daß der Punkt B die Stelle von A eingenommen hat. Das Lot macht scheinbar die entgegengesetzte Bewegung, geht also von A durch M im Bogen nach W und zurück durch M nach B, so daß also das Lot von A nach B im Sinne des Uhrzeigers fortschreitet. Die gerade Verbindungslinie der Wendepunkte geht also nicht durch den Gleichgewichtspunkt, wohl aber die gerade Linie von W bis zur Mitte zwischen A und B.

Schwingt das Lot nicht in einer Vertikalebene, sondern sphärisch, so wird die Aufzeichnung etwa in der Lage der punktierten Linie erfolgen, die vom Gleichgewichtspunkte M nach beiden Seiten gleiche Entfernung hält.

Die Größe des Bogens AB hängt von der Dauer der Schwingung, also von der Länge des Lotfadens ab. In 1 Zeitminute würde für die geographische Breite von $51\frac{1}{2}$ Grad das Winkelmaß für den Bogen AB ca. 11,7 Minuten betragen. Bei einer Elongation $AM = 150$ mm, wie sie auf dem photographischen Papiere des Lotapparates möglich ist, beträgt dann die Länge des Bogens AB = 0,5 mm. Bei einer Länge des Pendelfadens von 900 Meter braucht aber das Lot bis zur Rückkehr in seinen Ausgangspunkt gerade 1 Minute Zeit. Es wird sich also in sehr tiefen Schächten die Achsendrehung der Erde schon nach einer einzigen Doppelschwingung bemerkbar machen können. In den meisten Fällen jedoch werden die Schwingungen sich als nahezu geschlossene Ellipsen darstellen; immer aber wird der Gleichgewichtspunkt M so bestimmt, daß er von den beiden Aesten jedes Kurvenpaares gleichen Abstand hat, was bei schlanken Kurven nach Augenmaß ohne weiteres gelingt (vergleiche Fig. 3 und 4).

Bei Beobachtung der Lotausschläge an Skalen, welche hinter den schwingenden Loten angebracht sind, besteht die

Voraussetzung, daß die Schwingungen parallel zur Skala erfolgen. Schon infolge der Achsendrehung der Erde ändert das Lot aber fortwährend die Schwingungsebene, bei uns in einer Stunde um rund 12 Grad, was theoretisch einen Projektionsfehler zur Folge hat. Also auch in trockenen Schächten ohne Wetterzug, bei völlig ruhig schwingenden Loten, müßte die Schwingungsrichtung bei länger dauernder Beobachtung nach einiger Zeit berichtigt werden durch Anhalten des Lotes.

Ein Lot, welches anfangs in der Richtung der Ziellinie schwingt, d. h. scheinbar ruhig hängt, wird nach etwa $7\frac{1}{2}$ Stunden — abgesehen von allen anderen Einflüssen — infolge der Achsendrehung der Erde quer zur Ziellinie schwingen, die Ausschläge werden also bald im Fernrohr sichtbar und immer größer werden bis zum Maximum nach $7\frac{1}{2}$ Stunden.

Die bei dem Pendelversuch nach sehr kurzer Zeit beobachteten großen Ausweichungen aus der vertikalen Schwingungsebene des über eine Rolle oder einen Haken geführten Lotdrahtes haben mich veranlaßt, für die Schachtlotung Laufrollen zu benutzen, bei denen der Draht in eine feine Rille eingeklemmt wird, so daß das Lot nur um einen Punkt schwingen kann, wobei darauf zu achten ist, daß diese Rille möglichst vertikal steht.

Solche Laufrollen möchte ich auch denjenigen Kollegen empfehlen, die nach schwingenden Loten an Skalen beobachten.

Zur Ausgleichung von Liniennetzen.

Von Professor Dr. R. Schumann in Aachen.

Mit 7 Figuren.

Die Ausgleichung von Liniennetzen wird erforderlich, falls geometrische Figuren ausschließlich durch Streckenmessung mit Versicherung bestimmt sind; sie gewinnt neuerdings an Interesse, seit sich nach Jäderin's Methode auch lange Linien schnell und genau genug messen lassen.

Im Anschluß an das im vorigen Hefte dieser „Mitteilungen“ enthaltene Referat über eine Arbeit des Herrn Krüger über Liniennetze*) sollen im folgenden die Ausgleichungen zweier der

*) Bedingungsgleichungen für Liniennetze und Rückwärtseinschnitte. Veröffentlichung des Königl. Preußischen Geodätischen Institutes; Neue Folge, No. 34. Potsdam 1908.