von der einen oder anderen Zeitsekunde für belanglos halten, da dem Uhrmacher ein festes, wenn auch mit einem konstanten Fehler behaftetes System für die Regulierung seiner Uhren, sowie für den Verkehr mit der Kundschaft wichtiger sein mag, als die strenge Übereinstimmung mit der vorgeschriebenen Zeit. Aber er würde dann gerade bei der Methode der korrespondierenden Sonnenhöhen, die eben im Winter versagt und ihn dann also zum Benutzen des öffentlichen Zeitdienstes zwingt, mit dem Anschluß in Verlegenheit kommen.

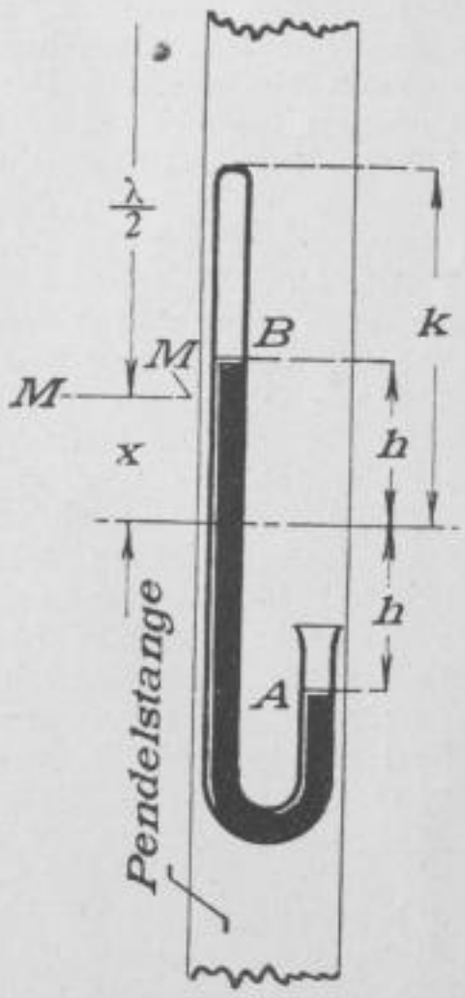
(Schluß folgt)

Der Luftdruckausgleich nach Rapf-Satori

Von Prof. Dr.-Ing. H. Bock

Bekannt ist das Zurückbleiben der genauen Pendeluhr bei steigendem Barometerstande, das einmal durch den größeren Gewichtsverlust hervorgerufen wird, den das Pendel durch den Auftrieb der Atmosphäre erleidet und weiter auch durch das größere Gewicht des mit dem Pendelkörper mitschwingenden Luftvolumens. Beide Einflüsse sollen nach Riefler zusammen 0,012 bis 0,015 Sekunden pro Tag und Millimeter Quecksilber ausmachen, eine Zahl, die aber neuerdings für zu groß gehalten wird. Leicht ist sie nämlich nicht zu bestimmen, weil sich verschiedene störende Wirkungen überlagern, die nur durch Wahrscheinlichkeitsrechnung voneinander getrennt werden können.

Das Radikalmittel gegen diese Luftdichtigkeitsstörung ist die luftdichte Einkapselung der ganzen Uhr samt Pendel, die aber nur in ganz besonderen Fällen praktisch angewandt wird. Eine andere Korrekturmethode besteht in der Anwendung des häufig zu findenden Rieflerschen Aneroids, bei dem oben an der Seite der Pendelstange ein Gewicht auf eine luftleer gemachte Wellblechdose gesetzt ist, das durch den zunehmenden Atmosphärendruck um ein geringes herabgedrückt wird. Nicht ganz so bekannt ist die von Rapf angegebene Quecksilberkompensation, die zum Beispiel bei seinen Pendeln mit Quarzstange angewandt wird. Diese Art der Luftdruckkorrektur ist physikalisch höchst interessant und außerdem bis in alle Einzelheiten von vornherein berechenbar. Sie soll im folgenden kurz beschrieben werden (vergl. die Abbildung).



MM sei die Mitte der Pendelstange, gemessen vom fiktiven Drehpunkt der Aufhängefeder (der um etwa ein Drittel ihrer Länge von der oberen Federfassung entfernt liegt) bis zum Schwingungspunkte, d. h. demjenigen Punkte, in dem die punktförmige Masse eines „mathematischen" Pendels angebracht sein müßte, wenn es dieselbe Schwingungsdauer besitzen sollte wie das wirkliche Pendel. Wir wollen diese Länge mit λ bezeichnen und uns daran erinnern, daß λ um ein kleines Stückchen größer ist, als die Entfernung l des Schwerpunktes von jenem Drehpunkte.

Um eine bestimmte Strecke x unterhalb MM befindet sich die Mitte eines gläsernen, unten offenen Barometerrohres, über dessen oberem Quecksilber-Spiegel aber nicht etwa Luftleere herrscht wie bei einem richtigen Barometer, sondern vielmehr voller atmosphärischer Luftdruck; sonst würde die Quecksilbersäule nämlich bei der geringen Länge des Rohres (k beträgt etwa 30 und h 20 cm) sofort bis oben hin gedrückt werden. Steigt nun der äußere Luftdruck b, der in Gramm pro Quadratzentimeter gemessen werden möge, so steigt das obere Quecksilberniveau, während das untere um ein gleich großes Stück fällt. Die Größe dieser Quecksilbersäulenverschiebung läßt sich mittels einfacher Betrachtungen aus der Wärmetheorie und der Hydrostatik leicht genau berechnen; sie beträgt bei einer Luftdruckzunahme von 1 mm Quecksilber:

$$\frac{1000}{760} \cdot \frac{k-h}{27{,}2\,(k-2h)+b}\ cm, \qquad (1)$$

worin die Längen k und h in Zentimeter einzusetzen sind und b den Luftdruck in Gramm pro cm² bedeutet.

Mit dieser Verschiebung der Flüssigkeitssäule ist, wie man sieht, die Umlagerung einer gewissen Quecksilbermasse von A nach B verbunden, wobei diese Masse offenbar näher an die Mitte MM herankommt.

Nun läßt sich weiter mit Hilfe der Dynamik leicht zeigen, daß die Zufügung einer Masse vom Gewicht g zu dem Pendel vom Gesamtgewicht G Gramm in der Entfernung y vom Drehpunkte eine Verkürzung der Schwingungsdauer hervorbringt und damit ein tägliches Voreilen; dasselbe beträgt

$$86400 \cdot \frac{g}{G} \cdot y \cdot \frac{\lambda - y}{2 \cdot l \cdot \lambda}\ \text{Sek. pro Tag.} \qquad (2)$$

l und λ haben die schon angegebene Bedeutung. Aus dieser Formel erkennt der Kundige leicht, daß die beschleunigende Wirkung des Zulagegewichtes g um so stärker wird, je näher an der Pendelstangenmitte es angebracht wird. Da nun nach obigem eine kleine Masse Quecksilber bei steigendem Luftdruck von A fortgenommen und bei B zugefügt wird, somit also näher an die Mitte MM herankommt, so muß im ganzen eine Beschleunigung des Ganges eintreten. Auch diese läßt sich dynamisch leicht berechnen; sie beträgt für 1 mm Barometeranstieg:

$$\frac{1000}{760} \cdot 86400 \cdot \frac{k-h}{27{,}2\,(k-2h)+b} \cdot \frac{27{,}2 \cdot f \cdot h}{G \cdot l \cdot \lambda} \cdot x \qquad (3)$$

Sek. pro Tag. f bedeutet in dieser Formel den Querschnitt des Quecksilberfadens in cm². Soll nun die Kompensation richtig funktionieren, so muß die durch Formel (3) charakterisierte Gangbeschleunigung genau so groß sein, wie das zu Beginn erwähnte tägliche Zurückbleiben, nämlich rund 0,01 Sekunden pro Tag und Millimeter Barometerstand.

Setzt man $k = 30$ cm, $h = 20$ cm, den mittleren Barometerstand $b = 1000$ gr/cm², das Pendelgewicht $G = 7000$ gr, l und λ genähert $= 100$ cm und den Quecksilberfadenquerschnitt $f = 0{,}07$ cm², so ergeben sich für x rund 12 cm.

Sind diese Größen richtig gewählt und ausgeführt, so ist die Schwankung des Luftdruckes fast ohne Einfluß auf die Schwingungsdauer des Pendels, und die gewünschte Luftdichtigkeits-Kompensation ist zufriedenstellend erreicht.

Die Sache hat aber auch ihre Kehrseite. Ändert sich nämlich die Temperatur, z. B. in steigendem Sinne, so tritt verschiedenes Unerwünschte ein: Einmal steigt der Druck der im oberen Rohrende eingeschlossenen Luft in bekannter Weise und der Quecksilberspiegel des oberen Schenkels wird herabgedrückt, was eine Störung im Sinne einer Verlangsamung des Ganges bedeutet. Weiter dehnt sich auch die Queck-

SLUB Wir führen Wissen. http://digital.slub-dresden.de/id318541912-19240000/38