Das Statoskop [Schluss]

Autor(en): **Schönholzer, A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières**

Band (Jahr): **36 (1938)**

Heft 6

PDF erstellt am: **10.07.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-197305

Das Statoskop.

Von A. Schönholzer, dipl. .Ing.

(Schluß.)

Hie und da macht man bei Versuchen mit dem Statoskop die Beobachtung, daß die Ausgangsablesungen bei der Rückkehr nicht mehr stimmen, oder daß sich die Ablesungen nachträglich noch verändern. Diese Fehler konnten aber stets auf unsachgemäße Behandlung zurückgeführt werden. Weitaus am gefährlichsten sind Temperaturschwankungen der Außenluft, wie sie zum Beispiel auftreten bei Versuchsmessungen zwischen kühlen Kellerlokalen und warmen Zimmern und Herumtragen des Statoskopes in der Hand. Hier wird sich die Ablesung nach der Ankunft oben, resp. unten, regelmäßig noch ändern. Läßt man aber dem offenen Statoskop nach dem Einfüllen des Eis-Wassergemisches eine halbe Stunde Zeit, bis sich der Inhalt tatsächlich auf 0° abgekühlt hat und noch eine weitere halbe Stunde zur Anpassung an die Temperatur des Meßortes (Liftschacht, Treppenhaus), und faßt man es auch nicht zu häufig an, so stimmen die Resultate ausgezeichnet. Bei Meßflügen werden diese Bedingungen im Anflug automatisch erreicht. Ein Versuch im Liftschacht der Eidg. Techn. Hochschule ergab bei 10 Fahrten in der gleichen Stunde stets die gleichen Ablesungen oben und unten. Dabei braucht man die Schachttüren nicht zu öffnen, da die Luftsäule im Schacht ein in sich geschlossenes Ganzes bildet und neben der Kabine genügend Platz zur Luftzirkulation vorhanden ist. Das Oeffnen oder Schließen einer Türe kann (auch in geschlossenen Treppenhäusern) sehr merkliche Störungen hervorrufen, ebenso Zugluft.

Wir erkennen aus den vorstehenden Untersuchungen, daß es keinen Sinn hat, bei den Berechnungen eine größere relative Genauigkeit als 1 % anzustreben. Wir wollen nun die Frage prüfen, wie genau der Wert von B_0 in die Berechnungen eingeführt werden muß, damit die gefundene Fehlergrenze nicht überschritten wird. Eine einfache Ueberlegung zeigt, daß auch B_0 höchstens um 0.5 bis 1 % falsch sein darf. Die Angaben des Barometerstandes für eine gewisse Höhe, wie wir sie von den meteorologischen Anstalten beziehen können, sind aber eher genauer. Natürlich müssen wir ihnen dazu auch die Flughöhe entsprechend genau geben; falls das Flugzeuganeroid dazu nicht ausreicht, wird man die Flughöhe am Autographen durch Einpassen des ersten Plattenpaares bestimmen. Man wird aber nicht immer in der Lage sein, den gewünschten Wert von B_0 einfach auf der Wetterwarte zu beziehen. In diesem Falle hat man den Barometerstand aus Bodenbeobachtungen selbst zu berechnen unter Verwendung der Formel (10) und der Flughöhe. Die Näherungsgleichung (8) gilt nach Jordan bis höchstens 1000 m Höhenunterschied, unsere Normalflughöhen sind dagegen stets 2000 bis 4000 m über Grund. Es ist aber nicht nur aus diesem Grund gegeben, die Formel (10) näher zu untersuchen, sondern auch um sich ein Bild über die Qualität der Näherungsgleichung (9) und über die Größe der in ihr vernachlässigten Korrekturen (Dunstdruck etc.) zu machen. Die Formel (10) lautet:

$$H = K \log \left(\frac{B_0}{B_1}\right) (1 + \alpha t) \left(1 + 0.377 \frac{e}{B_0}\right) \left(1 + \frac{2H}{r}\right) (1 + \beta \cos 2\varphi)$$

$$K = 18400$$

wir setzen

$$K' = K \left(1 + 0.377 \frac{e}{B_0}\right) \left(1 + \frac{2H}{r}\right) (1 + \beta \cos 2\varphi)$$

Damit ergibt sich unsere Formel in vereinfachter Gestalt zu

$$\underline{H = K' \log \left(\frac{B_0}{B_1}\right) (1 + \alpha t)} \tag{11}$$

Das Temperaturglied $(1 + \alpha t)$ ist dasselbe wie bei der Gleichung (9). Dazu ist noch zu bemerken, daß die Logarithmen seines Wertes in der Literatur (Jordan) von 0,1 zu 0,1 Grad tabelliert sind. Der Wert von K' setzt sich aus der Konstanten K und den drei weniger wichtigen Korrekturgliedern zusammen. Weitaus den kleinsten Einfluß hat die Breitenkorrektur (1). Ihr Logarithmus beträgt für 47° (Schweiz) nur 9.99992 und ändert sich so wenig, daß sie ein für allemal in die Konstante K hineingenommen werden darf. Nicht sehr viel größer ist der Einfluß der Höhe über Meer (2), den wir in Stufen von 1000 zu 1000 m berechnen und ebenfalls mit K zusammen nehmen, so daß wir für jede Höhenlage in Stufen von 1000 m ein anderes K haben. Nicht so einfach sind die Verhältnisse bei der letzten und größten der 3 Korrekturen, dem Dunstdruck (3). In dem ersten Klammerausdruck von K' bedeutete e den Dunstdruck in Millimeter Hg und B den Barometerstand. Während eines Fluges ist es natürlich nicht möglich, auch noch Dunstdruckbestimmungen zu machen. Wir können aber annehmen, daß Aufnahmeflüge nur bei schöner und stabiler Wetterlage durchgeführt werden, was unsere Aufgabe sehr vereinfacht. Der Dunstdruck e in mm Hg berechnet sich nach der Formel $e = \frac{F}{100} \cdot E$, wobei F in % die relative Feuchtigkeit, also die Angabe unserer Hygrometer bedeutet. E ist der maximal mögliche Dunstdruck; er ist nur von der Temperatur abhängig, also mit dem Thermometer feststellbar. Nun besteht ferner bei stabiler Wetterlage (keine verschiedenen Luftschichten übereinander) ein Gesetz über die Abnahme des e mit zunehmender Höhe über Grund. Es lautet:

$$\log e_h = \log e_0 - \frac{h}{6} \left(1 + \frac{h}{20}\right)$$

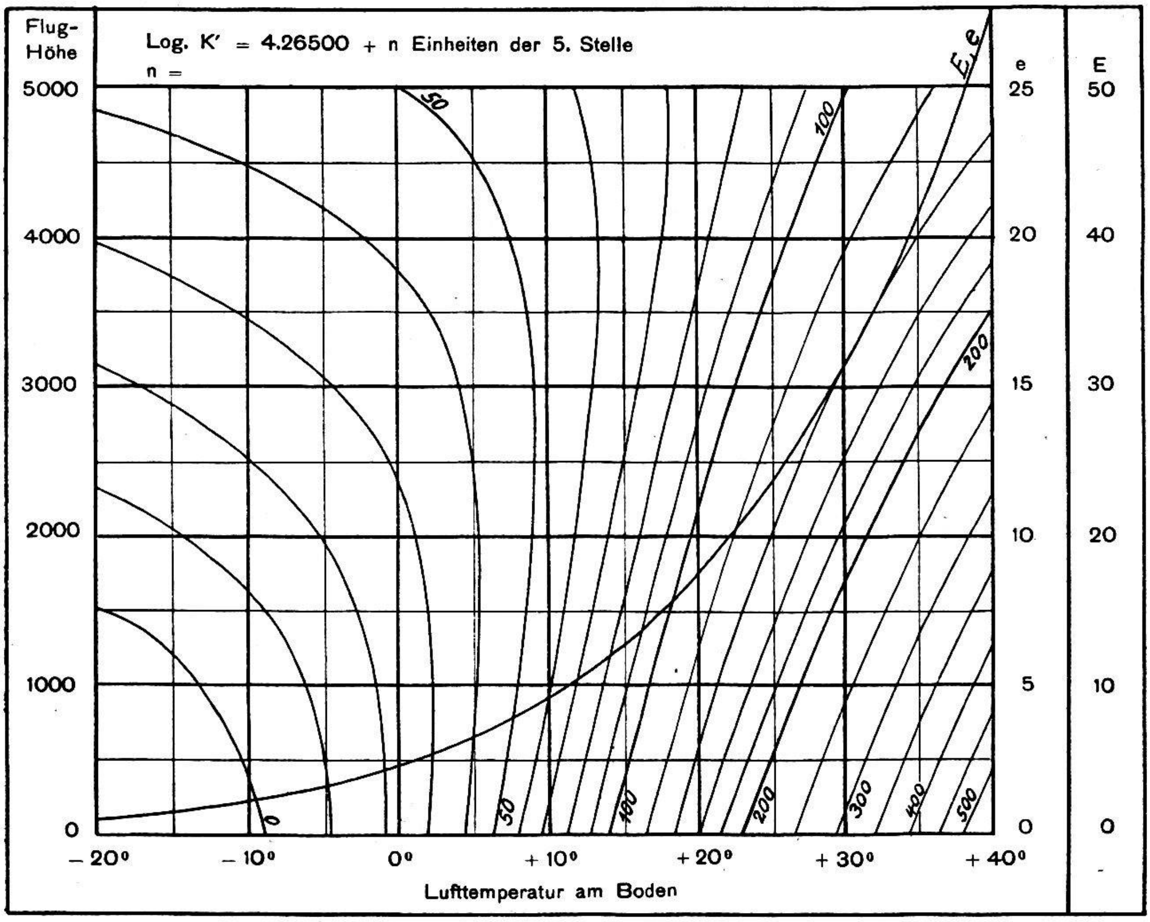
h Flughöhe in km

Dieses Gesetz gestattet uns angenähert, aus dem e_0 am Boden das e in beliebiger Höhe zu berechnen. Es soll nun versucht werden, auch die Messung des F zu vermeiden. Nach Angabe der schweizerischen meteorologischen Zentralanstalt schwankt der Wert von F im Laufe eines schönen Sommertages um rund 50% herum (Morgens 70, Mittags 35 und Abends 60%). Wir werden also mit e = 50% von E keine allzu großen Fehler begehen, umsomehr als die e mit der Höhe rasch abnehmen und nur grobe Vernachlässigung des Dunstdruckes merkliche Fehler erzeugt. (Siehe Tabelle 1, e in Funktion der Höhe und Temperatur.)

H	$F = 50\,\%$								B_0	$\log K(1).(2)$
5000	0	0	0.1	0.2	0.4	0.8	1.4	2.5	407	4.26542
4000	0	0	0.2	0.4	0.7	1.4	2.5	4.4	464	4.26528
3000	0	0.1	0.3	0.6	1.2	2.3	4.2	7.4	527	4.26515
2000	0	0.2	0.5	1.0	2.0	3.7	6.8	11.9	598	4.26501
1000	0.1	0.3	0.7	1.5	3.0	5.8	10.6	18.5	676	4.26487
0	0.2	0.5	1.1	2.3	4.6	8.7	15.9	27.6	763	4.26474
E	0.4	1.0	2.2	4.6	9.2	17.5	31.8	55.3	mm Hg	
T	−30	−20	−10	0	+10	+20	+30	+40	am Boden	

Tabelle 1

Aus dieser Tabelle der e werden die Werte der Dunstdruckkorrektur berechnet mit Hilfe der ebenfalls angegebenen B_0 (Normalbarometerstände der betreffenden Höhe). Um die Logarithmen der Werte von K' zu erhalten, zieht man die Logarithmen der Dunstdruckkorrekturen mit den am Rande der Tabelle angegebenen Logarithmen der Werte von $K\left(1+\frac{2H}{r}\right)(1+\beta\cos 2\varphi)$ zusammen und zeichnet für die nun entstehende K'–Tabelle ein Nomogramm.



Es zeigt sich, daß alle Werte von log K' größer als 4.26500 sind und daher ist im Nomogramm nur der Restbetrag in Einheiten der 5. Logarithmenstelle angegeben. Dieses Nomogramm gestattet uns also, den Wert von K' aus der Flughöhe und der am Boden gemessenen Temperatur zu bestimmen unter Annahme von $F = 50\%$. Um die Verwendung auch bei gänzlich andern Feuchtigkeitsverhältnissen zu gestatten, ist noch die E-Kurve beigefügt. Sie zeigt den Verlauf von E in Funktion der Temperatur und ebenso den von e im Nomogramm im Meeresniveau. Haben wir zum Beispiel in einem tropischen Land $F = 10\%$ und eine Bodentemperatur von 30°, so entnehmen wir an der E-Kurve in der Ordinate von 30° für E den Wert von 32 mm, 10% davon sind 3.2 mm. Dieser Wert e tritt bei + 4.5° Temperatur auf, also ist diese Ordinate für uns zutreffend. Korrekturen, die durch wesentliche Aenderungen der geographischen Breite oder der Bodenhöhe (nicht mehr annähernd identisch mit dem Meeresniveau) nötig werden, bringt man vorteilhaft an der Grundzahl 4.26500 des Nomogramms an.

Wir haben damit eine einfache und genaue Formel zur Berechnung der Statoskophöhenstufe gewonnen. Diese Berechnung wird am besten mit 5-stelligen Logarithmen durchgeführt, da sonst log $\left(\frac{B_0}{B_1}\right)$ zu ungenau wird (Der Unterschied zwischen B_0 und B_1 ist sehr gering). Für die weitere Berechnung und das Nomogramm ergibt allerdings eine 4-stellige Tafel genügend genaue Resultate. Haben wir aus der gegebenen Flughöhe den Barometerstand zu rechnen, so ist in der Formel (11) anstelle von K' das Mittel von K' oben und K' unten einzuführen, ebenso für die Temperaturkorrektur das Mittel von t oben und t unten.

Es ist interessant festzustellen, um wieviel die Resultate nach der genauen und nach der genäherten Methode voneinander abweichen. Zu diesem Zweck wurden 4 Beispiele gerechnet, und zwar 2 für B_0 von 440 mm (4500 m über Meer) und 2 für ein B_0 von 730 mm (Zürich, 450 m über Meer.) Die Resultate sind in der Tabelle 2 zusammengestellt. Die obere

Bodentemperatur	$B_0 = 440$	Meßtemp.	$B_0 = 730$	Meßtemp.
+ 30°	$\Delta H = 23.15$ $\Delta H = 23.07$	0°	$\Delta H = 15.94$ $\Delta H = 15.97$	+ 25°
± 0°	$\Delta H = 22.27$ $\Delta H = 22.19$.	—10°	$\Delta H = 14.60$ $\Delta H = 14.55$	± 0°

Tabelle 2

Zahl ist genähert, die untere genau gerechnet. Die Meßtemperatur ist eigentlich bedeutungslos für diese Untersuchung, da sie in beide Zahlen mit dem gleichen Faktor $(1 + at)$ eingeht. Man erkennt, daß trotz der gewählten Extremfälle die Abweichung nirgends mehr als 8 cm beträgt, für uns also praktisch bedeutungslos. Solange es uns nicht gelingt, die Statoskopablesungen durch Instrumentenverbesserungen wesentlich genauer zu erhalten, werden wir die genaue Formel (11) nur zur Bestimmung des Barometerstandes in der Flughöhe brauchen. Nun ist es aber auch sehr fraglich, ob solche Instrumentenverbesserungen einen großen Sinn haben, da die Photogrammetrie diese Höhendifferenzen kaum genauer als 1 bis 2 dm benötigt. Anders wäre es natürlich, wenn man das Statoskop für terrestrische Nivellements in ganz schwierigem Gelände gebrauchen wollte. In einem solchen Fall dürften aber die Höhenunterschiede nicht zu groß werden, da sonst zu viele „Umstellpunkte“ (Ausgleichen des innern und äußern Luftdruckes und der Flüssigkeitssäulen durch kurzes Oeffnen des Hahns) eingeschaltet werden müßten. Zum Schluß sei noch darauf hingewiesen, daß es sehr interessant wäre, einmal den Zusammenhang zwischen den systematischen Höhenfehlern eines langen Statoskopstreifens und dem Gefälle der barometrischen Niveauflächen in jener Richtung zu untersuchen. Vielleicht lassen sich hier im Hinblick auf Lufttriangulationsflüge in unerschlossenen Gebieten wichtige Beziehungen ableiten.

Im „Bildmessung und Luftbildwesen“ 3, 1936, wurde in einem Artikel von Ing.-Major Löfström eine andere Formel gegeben zur Berechnung der Höhenunterschiede aus Statoskopangaben. Sie lautet (mit unsern Bezeichnungen):

$$H = \frac{\gamma}{1000 \cdot \rho} h,$$

wobei h in mm gemessen wird und ρ die Dichte der Luft in der betreffenden Höhe ist, die mit der folgenden Formel berechnet wird:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{B}{B_0} \cdot \frac{T_0}{T}$$

Hiebei bedeutet T die Lufttemperatur $+ 273^\circ$, T_0 ist 273°, B_0 und ρ_0 sind Barometerstand und Luftdichte bei 0° und Meeresniveau und B ist unser B_0. Die mit dieser Formel erreichten Resultate stimmten nicht gut; man sah sich gezwungen, einen konstanten Faktor einzuführen, dessen Größe durch Eichung im Lift der Eidg. Techn. Hochschule bestimmt wurde. Da man aber nicht überall einen „Eichlift“ zur Verfügung hat, und eine Abklärung der Verhältnisse wünschbar erschien, wurden die vorliegenden Untersuchungen durchgeführt. Daß obige Formel ungenau ist geht daraus hervor, daß in ihr keinerlei Angaben über das verwendete Statoskop enthalten sind, die doch, wie gezeigt worden ist, einen großen Einfluß ausüben können.

Damit sind diese Untersuchungen abgeschlossen. Mit der Formel (9) wurde eine einfache Methode gegeben, um aus den Statoskopangaben rasch und sicher die entsprechenden Höhendifferenzen zu rechnen. Nur für ganz spezielle Fälle wird man sich der korrekten Formel (11) bedienen müssen, so zu Barometerstandsberechnungen für beliebige Höhen.

Zum Schluß seien noch 2 Beispiele angeführt:

1. *Liftversuch* vom 9. Febr. 1938 in der Eidg. Techn. Hochschule.

			links	rechts
$t = +17.6^\circ$	Ablesungen	unten	$+1.0$	$+1.0$
$B_0 =$ 733 mm		oben	-6.0	$+8.0$

$h = 14.0$, Reduktion infolge Ableseparallaxe (Seite 115) 0.2; h ist also 13.8

Statoskophöhenstufe $\Delta H = 1.065\ (1.60 + 12.94) = 15.5$ m (nach Formel 9)

$H = 1.38 \cdot 15.5 = 21.4$ m

Sollhöhe 21.35 m

2. *Flugstreifen Thun—Belp*, 2. Sept. 1937

t Boden $+24^\circ$ $H = 4600$ m nach Formel 9:

t Luft 0° $B_0 = 441$ mm $\underline{\Delta H} = 1.0\,(1.60 + 21.52) = \underline{23.12\ \text{m}}$

Genaue Berechnung (7):

$$\underline{B_1} = \frac{B_0}{1.0002} - 1.184 = \underline{439.728\ \text{mm}}$$

log B_0 : 2.64444

log B_1 : 2.64319

log 0.00125 : 7.09691 — 10

log K' : 4.26584

log $(1 + \alpha t)$: 0.00000

1.36275

$\Delta H = 23.055$ m

$\Delta H = 23.12$ m genähert

0.07 Abweichung

Nr.	links	rechts	h	H	
1	$+4.5$	-0.9	-5.4	-12.4	± 0.0 m
2	$+3.4$	$+0.1$	-3.3	-7.6	$+4.8$ m
3	$+3.9$	-0.2	-4.1	-9.4	$+3.0$ m

und so weiter. Infolge der Kleinheit der h werden die Ablesereduktionen vernachlässigt.

Le calcul de l'adaptation des réseaux trigonométriques.

Par *A. Ansermet.*

Lors du calcul d'un réseau topographique ou géodésique le cas se présente fréquemment où plusieurs sommets nouveaux coincident avec des points déjà connus; la comparaison des résultats révèle alors des discordances entre les anciennes coordonnées et les nouvelles. Il s'agit de procéder à une adaptation des résultats de façon à assigner si possible à chaque point des coordonnées bien déterminées. Ce problème dit de «l'adaptation des réseaux» présente des aspects forts divers; il est actuellement encore contreversé parce que sa nature est complexe. Le calcul s'effectuera très différemment s'il s'agit d'une triangulation géo-