

muß man eine Gerade G und auf ihr einen Punkt O (Abb. 85 b) wählen. Die Lotfußpunkte bestimmt man mit dem Fünfseitprisma; die Längen der Abszissen kann man z. B. durch Abschreiten und die der Ordinaten

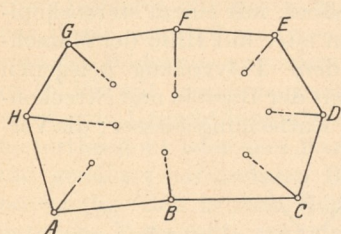


Abb. 86. Geschlossener Bussolenzug.

mit einem stereoskopischen Entfernungsmesser bestimmen. Kann man die Punkte nicht von einem Punkt aus oder von einer Geraden aus festlegen, so muß man um das betreffende Gebiet z. B. einen geschlossenen Polygonzug $ABC...H$ (Abb. 86) legen, von dem man — u. U. mit Überspringung von je einem Punkt — die magnetischen Richtungswinkel der Zugseiten mit einer Stockbussole und außerdem die Längen der Zugseiten z. B. durch Abschreiten bestimmt. Die Festlegung der einzelnen Punkte geschieht dann z. B. nach Polarkoordinaten von den betreffenden Zugecken und Zugseiten aus mit Bussole und Entfernungsmesser.

2. Barometrische Höhenmessung.

Die barometrische Höhenmessung beruht auf dem Umstand, daß der Luftdruck mit zunehmender Höhe abnimmt; man kann deshalb den Höhenunterschied zweier Punkte im Grundgedanken dadurch bestimmen, daß man in beiden Punkten — mit Rücksicht auf die zeitlichen Änderungen des Luftdrucks — gleichzeitig den Luftdruck mit Hilfe eines Barometers oder eines Siedethermometers mißt.

Werden in zwei, vertikal übereinander liegenden Punkten P_u und P_o mit den Meereshöhen H_u und H_o die Luftdrucke b_u und b_o und außerdem die Lufttemperaturen t_u und t_o je gleichzeitig gemessen, so kann man nach W. Jordan¹ den Höhenunterschied $h = H_o - H_u$ der beiden Punkte berechnen auf Grund der Gleichung

$$h = K \log \frac{b_u}{b_o} (1 + \alpha t_m) (1 + \beta \cos 2\varphi) \left(1 + \gamma \frac{e}{b_m}\right) \left(1 + \frac{2H_m}{r}\right),$$

in der

$K = 18\,400$ die „barometrische Konstante“,

$t_m = \frac{t_u + t_o}{2}$ die mittlere Lufttemperatur in Celsius-Graden,

$b_m = \frac{b_u + b_o}{2}$ der mittlere Luftdruck,

$H_m = \frac{H_u + H_o}{2}$ die mittlere Meereshöhe,

φ die geographische Breite der beiden Punkte,

e der Dunstdruck der Luft zwischen P_u und P_o ,

$r \approx 6\,370\,000$ m der Erdradius,

¹ Vgl. W. Jordan-O. Eggert: Handbuch der Vermessungskunde. 2. Band. Barometrische Höhenmessung.

$\alpha = \frac{1}{273}$ der Wärmeausdehnungskoeffizient der Luft für 1°C. ,

$\beta = 0,00265$ ein von der Abplattung der Erde abhängiger Koeffizient,

$\gamma = 0,377$ ein von der Dichte des Wasserdampfes abhängiger Koeffizient.

Da Veränderungen der geographischen Breite φ , des Dunstdrucks e der Luft, des mittleren Luftdrucks b_m und der mittleren Meereshöhe H_m einen nur geringen Einfluß auf den Höhenunterschied h ausüben, so kann man φ , e , b_m und H_m für größere Gebiete als unveränderlich annehmen und runde Mittelwerte dafür einführen. Setzt man nach W. Jordan für z. B. Mitteleuropa¹, also insbesondere Deutschland $\varphi = 50^\circ$, $\frac{e}{b_m} = \frac{1}{100}$ und $H_m = 500 \text{ m}$, so erhält man die einfachere Gleichung

$$h = 18464 (\log b_u - \log b_o) (1 + \alpha t_m).$$

Entwickelt man in dieser Gleichung die Logarithmen in Reihen, und vernachlässigt man bei diesen die Glieder höherer als erster Potenz, so findet man

$$h = 8019 \frac{b_u - b_o}{b_m} (1 + \alpha t_m).$$

Setzt man zur Abkürzung

$$8019 \frac{1}{b_m} (1 + \alpha t_m) = \Delta h, \quad \text{wobei } \alpha = \frac{1}{273} \text{ ist,}$$

so hat man zur Berechnung des Höhenunterschiedes h die Gleichung

$$h = (b_u - b_o) \Delta h.$$

Da mit $b_u - b_o = 1 \text{ mm}$ der Höhenunterschied h gleich Δh ist, Δh also derjenige Höhenunterschied ist, um den man in die Höhe steigen muß, damit der Luftdruck um einen Millimeter abnimmt, so wird Δh als barometrische Höhenstufe bezeichnet. Wie die Gleichung für Δh zeigt, ist die barometrische Höhenstufe abhängig von dem mittleren Luftdruck $b_m = \frac{b_u + b_o}{2}$ und der mittleren Lufttemperatur $t_m = \frac{t_u + t_o}{2}$.

Den Höhenunterschied berechnet man entweder mit dem gewöhnlichen Rechenschieber, wobei man Δh einer graphischen Tafel (Abb. 87) entnimmt, oder mit Hilfe eines besonders eingerichteten Rechenschiebers².

Da bei der Bestimmung des Höhenunterschiedes h zweier Punkte P_u und P_o durch Messung der Luftdrucke b_u und b_o und der Lufttemperaturen t_u und t_o im allgemeinen die beiden Punkte nicht vertikal übereinander liegen und die Messungen in beiden Punkten nicht gleichzeitig ausgeführt werden können, so muß man einerseits die ganze Messung so anordnen, daß die in der Zeit zwischen den Einzelmessungen in beiden Punkten eingetretenen Veränderungen im Luftdruck und in

¹ Werden Messungen in einem anderen Gebiet ausgeführt, so müssen die diesem entsprechenden Werte eingeführt werden.

² Ein solcher „Barometerschieber“ wird nach Angabe von P. Werkmeister von der Firma A. Nestler in Lahr i. B. gefertigt; vgl. Z. Vermessungswesen 1911, 972.

der Lufttemperatur berücksichtigt werden können, und andererseits muß man die Annahmen machen, daß diese Veränderungen innerhalb des in Frage kommenden Gebietes dieselben sind, und daß sie in der Zeit zwischen den Messungen in beiden Punkten proportional der Zeit vor sich gegangen sind.

Die wichtigsten Messungsverfahren sind die folgenden:

a) Ist die N. N.-Höhe H_a eines Punktes A gegeben und soll die N. N.-Höhe H eines Punktes P bestimmt werden, so mißt man zur Bestimmung des Höhenunterschiedes $h = H - H_a$ in A den Luftdruck

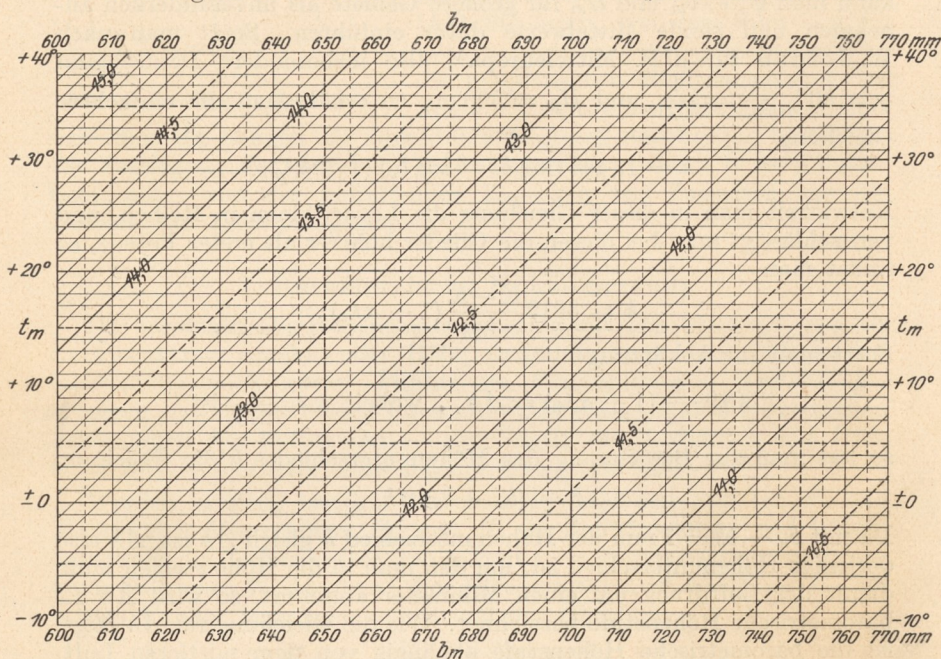


Abb. 87. Tafel für die barometrische Höhenstufe.

b_a und die Lufttemperatur t_a zur Zeit z_a , sodann in P zur Zeit z den Luftdruck b und die Lufttemperatur t , und zuletzt in A zur Feststellung der Veränderungen im Luftdruck und in der Lufttemperatur zur Zeit z_a' den Luftdruck b_a' und die Lufttemperatur t_a' . Unterschiede zwischen b_a und b_a' bzw. t_a und t_a' werden proportional der Zeit berücksichtigt. Als Instrument verwendet man einen Federbarometer, an dessen Ablesungen man die Wärmeverbesserung und die Teilungsverbesserung anbringen muß. Für die Messung der Lufttemperaturen benutzt man einen Schleuderthermometer.

Die Genauigkeit des zu messenden Höhenunterschiedes h kann man entweder dadurch erhöhen, daß man die Messung mit demselben Instrument mehrmals wiederholt, zwischen den beiden Punkten also mehrmals hin und her geht, oder dadurch, daß man mehrere Federbarometer zugleich verwendet.

Für die Aufschreibung der bei der Messung und der Rechnung sich ergebenden Werte benutzt man einen Vordruck der nebenstehenden Art.

Nach dem im vorstehenden geschilderten Verfahren kann man natürlich auch die N. N.-Höhen von mehreren Punkten $P_1, P_2 \dots$ bestimmen; man hat dabei nur zu beachten, daß die Zeit zwischen der ersten und der zweiten Messung von Luftdruck und Lufttemperatur in dem gegebenen Punkt A nicht zu groß sein darf bzw. der angestrebten Genauigkeit angepaßt ist.

b) Hat man von einem Punkt A mit gegebener N. N.-Höhe H_a ausgehend die N. N.-Höhen $H_1, H_2 \dots H_n$ einer größeren Zahl von Punkten $P_1, P_2 \dots P_n$ zu bestimmen, die unregelmäßig in einem zusammenhängenden Gebiet zerstreut liegen, so sind zwei Instrumente erforderlich; das eine, als „Feldbarometer“ benutzte Instrument dient zur Messung der Luftdrucke in den einzelnen Punkten, mit dem anderen, als „Standbarometer“ benutzten Instrument werden an einem passenden Ort die Veränderungen des Luftdrucks gemessen.

Als Feldinstrument verwendet man einen Federbarometer, bei dem man — wenn es sich um ein kleineres, z. B. an einem Tag aufnehmbares Gebiet handelt — nur die Wärmekorrektion und die Teilungsverbesserung zu berücksichtigen hat; erstreckt sich die Messung bei der Aufnahme eines ausgedehnten Gebietes über mehrere Wochen oder Monate, so muß man auch die Standverbesserung berücksichtigen, die man dann von Zeit zu Zeit durch Vergleichen mit den Ergebnissen eines Siedethermometers neu bestimmen muß. Als Standinstrument verwendet man einen Quecksilberbarometer oder einen Federbarometer; da die Ablesungen an einem solchen einen zweiten Beobachter erfordern, so verwendet man als Standinstrument u. U. auch einen Barographen, an dessen Aufzeichnungen man für jede Zeit die entsprechende Luftdruckveränderung ablesen kann.

Benutzt man bei einer in einem Tag durchzuführenden Aufnahme als Standinstrument einen Quecksilberbarometer oder einen Feder-

Bestimmung des Höhenunterschiedes zweier Punkte mit Hilfe eines Federbarometers.

Punkt	Zeit		Ablesungen am Barometer	Luft- Temp.	Luft- Druck	Luft- Temp.	Luft- Temp.		$b_a + \frac{b_0}{2}$ mm	$\frac{t_a + t_0}{2}$ °	$b_a - b_0$ mm	Δh m	h m	N. N. Höhe m
	h	m	Luftdruck	Temp.	Temp.	Temp.	Temp.	Temp.						
A	10	09	753,1	19,0	753,2	18,0	753,2	18,0						137,4
P	10	20	750,6	19,0	750,7	18,5	750,9	18,7	752	18	2,3	11,38	26,2	163,6
A	10	30	752,7	19,2	752,8	17,6								

barometer, so hat der betreffende Beobachter in Abständen von z. B. 10 Minuten den Luftdruck und die Lufttemperatur zu messen. Wird ein Quecksilberbarometer benutzt, so muß an diesem jeweils auch die Temperatur abgelesen werden; da nur die Veränderungen des Luftdrucks bestimmt werden müssen, so braucht man die sich gleichbleibenden Schwereverbesserungen und die Standverbesserung nicht anzubringen. Ist das Standinstrument ein Federbarometer, und wird dieses gegen Wärmebeeinflussung gut geschützt, so daß seine Innentemperatur sich nicht ändert, so braucht man an den Ablesungen nur die Teilungsverbesserung anzubringen.

Für die Messung der Lufttemperaturen in den festzulegenden Punkten benutzt man einen Schleuderthermometer; die Schwankungen der Lufttemperatur werden an dem Ort des Standbarometers mit einem Schleuderthermometer oder einem Thermograph gemessen.

Standbarometer

Zeit		Ablesungen am Barometer			Luft-Temp. °	Änderungen	
		Luftdruck mm	Temp. °	Verbessert mm		Druck mm	Temp. °
8	00	739,1	12,5	742,7	13,0	± 0	± 0
8	10	739,2	13,0	742,8	14,0	$-0,1$	$-1,0$
8	20	739,4	13,1	743,0	14,5	$-0,3$	$-1,5$

Für die Aufstellung der Standinstrumente wählt man einen in der Mitte des aufzunehmenden Gebietes in beliebiger Höhe gelegenen Ort, an dem man sie im Schatten aufstellt. Dauert die Messung bei der Aufnahme eines größeren Gebietes mehrere Wochen oder Monate, so erhält man die erforderlichen Änderungen im Luftdruck und in der Lufttemperatur aus den fortlaufenden Messungen der nächstgelegenen meteorologischen Station.

Die an dem Ort der Standinstrumente zu machenden Aufschreibungen zeigt der obenstehende Vordruck.

Der das Gelände begehende Beobachter liest zuerst in dem gegebenen Punkt A , dann in den Punkten $P_1, P_2 \dots P_n$ und zuletzt zur Probe nochmals in A den Stand des Federbarometers und dessen Innentemperatur ab¹, mißt mit dem Schleuderthermometer die Lufttemperatur und bestimmt die Zeit², zu der die Beobachtungen ausgeführt wurden. Für die Aufschreibungen und die Berechnungen, bei denen die Änderungen des Luftdrucks und der Lufttemperatur proportional der Zeit berücksichtigt werden, benutzt man einen Vordruck der nebenstehenden Art.

¹ Durch die nochmalige Messung des Luftdrucks in A werden insbesondere größere, durch starke Erschütterungen des Federbarometers verursachte Veränderungen der Standverbesserung während der Messung aufgedeckt.

² Die beim Standbarometer und beim Feldbarometer benutzten Uhren müssen in ihren Angaben übereinstimmen.

Bestimmung der Höhen eines Vertikalschnitts mit zwei Federbarometern.

Beobachter A				Beobachter B				Berechnung					
Punkt	Ablesungen am Barometer		Luft-Temp. °	Punkt	Ablesungen am Barometer		Luft-Temp. °	$b_u + \frac{b_o}{2}$	$t_u + \frac{t_o}{2}$	$b_u - b_o$	Δh	h	N. N. Höhe m
	mm	°			mm	°		mm	mm	m	m		
A	716,2	14,0	16,0	A	717,1	13,8	16,0	—	—	—	—	—	248,5
A	716,6	14,0	16,0	1	716,0	13,9	16,6	718	16	1,5	11,83	+ 17,8	266,3
1	715,3	14,1	16,5	2	714,2	13,9	16,8	716	17	2,1	11,85	+ 24,9	291,2
2	713,5	14,2	16,8	3	713,2	14,0	17,0	715	17	1,3	11,87	+ 15,4	306,6

A und E liegenden Punkten $P_1, P_2 \dots P_n$ durch Einschalten bestimmen. Man liest hierzu der Reihe nach in $A, P_1, P_2 \dots P_n$ und E an einem Federbarometer den Luftdruck und die jeweilige Innentemperatur ab; sind $b_a, b_1, b_2 \dots b_n$ und b_e die verbesserten Ablesungen, so findet man die barometrische Höhenstufe Δh aus $\Delta h = \frac{H_e - H_a}{b_a - b_e}$ und kann mit ihrer Hilfe mit Benutzung des gewöhnlichen Rechenschiebers die Höhenunterschiede zwischen den einzelnen Punkten berechnen.

Bei einer solchen Einschaltung der gesuchten Höhen zwischen zwei gegebenen Höhen braucht man die Lufttemperaturen nicht zu messen. An den Barometerablesungen hat man nur die Temperaturverbesserung anzubringen; die Teilungsverbesserung wird ohne weiteres bei der Einschaltung mit berücksichtigt, und von der Standverbesserung muß man annehmen, daß sie sich nicht verändert. Hat man einen kompensierten Federbarometer, bei dem also der Temperaturkoeffizient gleich Null ist, so hat man in jedem Punkt als einzige Ablesung diejenige am Barometer auszuführen.

Die Genauigkeit der barometrischen Höhenmessung ist insbesondere abhängig von der Güte der Instrumente und von den auftretenden Änderungen des Luftdrucks und der Lufttemperatur. Das für die barometrische Höhenmessung wichtigste Instrument, der Federbarometer, verlangt sorgfältige Behandlung; da starke Erschütterungen des Instruments während der Messung Veränderungen in der Standverbesserung hervorrufen können, so ist das Instrument vor Erschütterungen besonders zu schützen. Von den Änderungen des Luftdrucks und der Lufttemperatur muß man annehmen können, daß sie gleichmäßig oder proportional der Zeit vor sich gehen; dies ist besonders der Fall an ruhigen Sommertagen ohne Gewitterstörungen.

Der mittlere Fehler eines barometrisch gemessenen Höhenunterschiedes bis zu etwa 100 m beträgt ± 1 bis ± 2 m; bei größeren Höhenunterschieden bis zu etwa 1000 m muß man mit Fehlern von mindestens ± 5 m rechnen.

3. Photogrammetrische Verfahren.

Die Photogrammetrie kann insbesondere Verwendung finden bei der raschen Festlegung einzelner Punkte in horizontalem Sinne und bei der Aufnahme des Grundrisses eines größeren Gebietes in kleinem Maßstab.

Sind in einem größeren Gebiet einige Punkte ihrer Lage nach gegenseitig festgelegt, so kann man weitere Punkte — wie z. B. Berggipfel — photogrammetrisch mit Hilfe von Rundbildern festlegen, die man entweder in gegebenen oder gesuchten Punkten aufnimmt. Man verwendet hierzu einen Phototheodolit und verschwenkt zwischen je zwei anstoßenden Aufnahmen die Meßkammer mit Hilfe des Horizontalkreises um einen runden, von der Brennweite und der Plattengröße der Meßkammer abhängigen Winkel, den man so wählt, daß die aufeinanderfolgenden Bilder sich um wenig überdecken. Führt man die Aufnahmen mit vertikalen Bildebenen aus, so kann man den einzelnen, zu einem zusammenhängenden Rundbild zusammenstellbaren Bildern die erforderlichen Winkel zwischen den im Rundbild erscheinenden Punkten mittelbar mit Hilfe der Punktabstände von den vertikalen Bildachsen und der bekannten Brennweite in der früher angegebenen Weise entnehmen. Die Festlegung der gesuchten Punkte geschieht entweder durch Vorwärtseinschneiden von gegebenen Punkten aus, wobei man jeden neuen Punkt zur Vermeidung von Verwechslungen von mindestens drei festen Punkten aus bestimmt, oder durch Rückwärtseinschneiden.

Kann die Aufnahme eines größeren, nur geringe Höhenunterschiede aufweisenden Gebietes mit Hilfe von Aufnahmen aus einem Luftfahrzeug ausgeführt werden, und soll die Kartierung in einem kleinen Maßstab — 1:75 000 oder 1:100 000 — vorgenommen werden, so verwendet man als Aufnahmeinstrument eine Mehrfachkammer. Eine von der Photogrammetrie G. m. b. H. in München in den Handel gebrachte, in ihren Grundgedanken auf Th. Schleimpflug zurückgehende Mehrfachkammer besteht aus neun Einzelkammern, die derart miteinander verbunden sind, daß gleichzeitig neun, einander leicht überdeckende Bilder aufgenommen werden können. Von den neun Objektiven sind acht in gleichen Abständen um das mittlere Objektiv angeordnet. Die Bildebenen von allen neun Kammern liegen in derselben Ebene, so daß die Aufnahme von je neun Bildern auf derselben Platte erfolgt; dies wurde dadurch erreicht, daß den Objektiven der acht seitlich angeordneten Kammern je ein entsprechendes Prisma vorgeschaltet ist. Die Prismen sind so eingerichtet, daß bei genau horizontal liegender Platte die Achsen der acht Seitenkammern je eine Nadirdistanz von 54° haben. Der Hauptpunkt des Gesamtbildes ist durch vier Meßmarken bestimmt. Für die Umformung der acht Seitenbilder auf den Maßstab und die Bildebene des Mittelbildes ist ein besonderes