



Anfangsgründe der niederen Geodäsie

Loewe, Hans

Liebenwerda, 1892

Theil III. Vertical-Messungen.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-79893](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-79893)

Theil III.

Theil III.

Vertical-Messungen.

Vertical-Messungen.

I. Nivellements.

§ 1.

Trigonometrisches Höhenmessen.

Aufgabe des Nivellirens ist die Ermittlung des Höhenunterschiedes zwischen zwei oder mehreren Punkten, d. h., — die Erde als Kugel betrachtet —, der Differenz ihrer Entfernungen vom Meeresniveau.

Ist s die Horizontalentfernung zweier Punkte A und B, h der Höhenunterschied derselben, und α der in A gemessene Elevationswinkel, so ist, wenn die Entfernung s so gering ist, dass man den Erdbogen s als mit dem scheinbaren Horizonte zusammenfallend ansehen kann, —

$$h = s \tan \alpha. \quad (225)$$

Indessen darf die Krümmung der Erdoberfläche schon bei einer Entfernung von nur wenigen hundert Metern nicht mehr vernachlässigt werden. Ist in Fig. 119 A E der scheinbare Horizont des Punktes A, so kann $\triangle A E B$ selbst bei grossen Entfernungen noch ohne Einfluss auf das Resultat als rechtwinklig angesehen werden, auch kann man die Länge A E ohne Fehler $= s$ setzen, und erhält

$$h = D E + s \tan \alpha. ^*)$$

Hierin bedeutet D E die Korrektion wegen der Erdkrümmung. Bezeichnen wir dieselbe mit c , den Erdradius mit r , so ist $A E^2 = (2 r + c) c$, oder ohne merklichen Fehler $s^2 = 2 r c, ^{**})$ also:

$$c = \frac{s^2}{2 r}. \quad (226)$$

Ausser der Korrektion wegen der Erdkrümmung bedarf es noch einer zweiten Korrektion, der Korrektion wegen der Strahlenbrechung. Da nämlich der Lichtstrahl B A, Fig. 120, von B ausgehend, in immer dichtere Luftschichten gelangt, so wird derselbe infolge der Refraktion nicht eine grade Linie, sondern eine Kurve durchlaufen. Ist A F die in A an diese Kurve gezogene Tangente, so wird dem Beobachter in A der Punkt B in B' zu liegen scheinen. Der Elevationswinkel α wird daher durch die Messung zu gross gefunden werden, und ist um einen Betrag ϱ zu verbessern, worüber im folgenden § die Rede sein wird.

§ 2.

Refraktion.

Lassen wir die Bezeichnung der Fig. 120 gelten, so ist, unter der Voraussetzung, dass die Lichtkurve A B ein Kreisbogen sei,

$$\varrho = \frac{1}{2} M,$$

*) Oder auch $h = s \tan (\alpha + \frac{1}{2} C)$, worin $C' = \frac{s}{r} \varrho'$.

**) Vergl. Absatz 2 der Anmerkung auf Seite 129.

oder wenn wir als Winkelmaß das Verhältniss des Bogens zum Radius einführen

$$\varrho = \frac{A B}{R}.$$

Dagegen ist der Winkel C

$$C = \frac{s}{r}$$

oder ohne merklichen Fehler

$$C = \frac{A B}{r}$$

$$A B = r C$$

mithin

$$\varrho = \frac{r}{2 R} C.$$

oder wenn man $\frac{r}{2 R} = k$ setzt:

$$\varrho = k C.$$

Hierin ist C in Sekunden

$$C'' = \frac{s}{r} \varrho''.$$

(227)

Die Gleichung (225) wird nun, bei Berücksichtigung der Erdkrümmung und Refraktion lauten

$$h = s \tan(\alpha - \varrho) + c.$$

Wäre hierin h durch ein Nivellement bekannt, so liesse sich die Refraktion ϱ berechnen und demnach der Coefficient k in (227) aus der Gleichung $k = \frac{\varrho}{C}$ finden.

Messungen dieser Art sind von verschiedenen Forschern ausgeführt, haben aber für k schwankende Resultate ergeben. Danach bewegt sich k zwischen den Werthen 0,06 bis 0,10. Bei kleinen Entfernungen ist eine kleine Ungenauigkeit des Coefficienten k ohne Belang, und kann für k ein Mittelwerth, etwa $k = 0,08$ gesetzt werden.

Die Schwankungen von k erklären sich durch die Veränderlichkeit der Dichtigkeit der Luft, und hat man in neuerer Zeit sich bemüht, dieselbe gebührend in Rechnung zu ziehen. Wir können indessen in diesem Buche keine der neueren Formeln zur Darstellung bringen, und wollen uns damit begnügen, eine ältere Formel von Grunert, (Grunert, Mathematik und Physik), wiederzugeben, welche zwar keineswegs Alles hier in Betracht kommende erschöpft, immerhin aber doch schon einen Schritt weiter geht, als die in der Praxis auch heute meist noch benutzte Formel (227) mit constantem Coefficienten.

Die Krümmung der Lichtkurve ist, wie schon erwähnt, abhängig von der Dichtigkeit der Luft und ist dieser proportional. Demnach ist der Krümmungsradius R der Luftdichtigkeit **umgekehrt** — (Thl. I, § 44), der Bruch $\frac{r}{2 R} = k$ derselben also wieder **direkt** proportional. Nach dem mariotteschen Gesetze ist nun die Dichtigkeit der Luft proportional dem auf der betreffenden Luftschicht lastenden Drucke, d. i. dem beobachteten Barometerstande. Bezeichnet daher k den bei mittlerem Barometerstand 760 mm gültigen Coefficienten, k_1 den Coefficienten für den Barometerstand b, so ist $k : k_1 = 760 : b$, also

$$k_1 = k \frac{b}{760}.$$

Die Dichtigkeit der Luft ist nun weiter abhängig von ihrer Temperatur. Da sich die Luft bei steigender Temperatur ausdehnt, so wird ihre Dichtigkeit abnehmen. Die Ausdehnung der Luft beträgt für 1°C $\frac{1}{273}$ ihres Volumens. Ist demnach die Dichtigkeit für die Temperatur $0^\circ = 1$, so ist dieselbe, da sie dem Volumen umgekehrt proportional ist, für die Temperatur t° gleich $\frac{1}{1 + \frac{t}{273}} = \frac{1}{1 + 0,0037 t}$. Be-

zeichnet demnach k den Refraktionscoefficienten für die Temperatur 0° , k_1 für die Temperatur t , so ist $k:k_1 = 1:\frac{1}{(1 + 0,0037 t)}$, also

$$k_1 = \frac{k}{1 + 0,0037 t}.$$

Wir erhalten demnach die Refraktion für den Barometerstand b und die Temperatur t :

$$\varrho = k \frac{b}{760 (1 + 0,0037 t)} \cdot C^*) \quad (228)$$

Hierin ist $k = 0,08$ zu setzen. Dies die Formel nach Grunert. Für die Rechnung etwas bequemer kann man dieselbe gestalten, indem man mit 273 erweitert, nämlich $\frac{0,08 \times 273}{760} = 0,03$, und $(1 + 0,0037 t) 273 = 273 + t$, also:

$$\varrho = \frac{0,03 b}{273 + t} \cdot C. \quad (229)$$

Setzen wir, Fig. 118, die Correktion der Höhe h , d. i. $BB' = c'$, so ist, wenn ϱ und c durch das Verhältniss der Bögen zu den Radien ausgedrückt werden: $\varrho = \frac{c'}{s}$

und $C = \frac{s}{r}$, also nach (229)

$$\begin{aligned} \frac{c'}{s} &= \frac{0,03 b}{273 + t} \cdot \frac{s}{r} \\ c' &= \frac{0,03 b}{273 + t} \cdot \frac{s^2}{r}. \end{aligned} \quad (230)$$

Um den Betrag c' wird die beobachtete Höhe h zu gross gefunden, c' ist der Höhe h also in **negativem** Sinne hinzuzufügen.

Man kann die Gleichung (230), wenn wir $\frac{0,03 b}{273 + t} = k$ setzen, (wo nun also k keine Constante, sondern eine nach der Temperatur und Barometerstand schwankende Grösse darstellt), auch schreiben:

$$c' = 2k \frac{s^2}{2r}$$

und erhält so die Höhe h nach (225), (226) und (231)

$$h = s \tan \alpha + \frac{s^2}{2r} (1 - 2k). \quad (232)$$

*) Von noch grösserem Einfluss auf die Refraktion, als der Luftdruck und die Temperatur, ist die **Änderung** der Temperatur mit der Höhe, wie neuere Untersuchungen dargethan haben. Hieraus erklären sich die täglichen Schwankungen der Refraktion, ihre Abnahme des Vormittags und Zunahme des Nachmittags, da bei stark erwärmtem Erdboden die Abnahme der Temperatur nach der Höhe eine stärkere sein wird, als bei kaltem Boden. Bei starker Erhitzung des Bodens kann die Refraktion ganz aufhören, ja ins Negative übergehen, (Luftspiegelung!), denn hier ist die Luftdichtigkeit in den **unteren**, erheblich wärmeren Schichten die geringere.

Ist s in der Höhe des Meeresspiegels gemessen, so ist die Länge s auf die Höhe $\frac{H+H'}{2}$ zu reduciren, wenn H und H' die Meereshöhen der Punkte B und A bezeichnen. Bezeichnet a die reducirte Entfernung, so ist offenbar

$$s:r=a:\left(r+\frac{H+H'}{2}\right)$$

$$a=s\left(1+\frac{H+H'}{2r}\right)$$

also

$$a \tan \alpha = s \tan \alpha \left(1 + \frac{H+H'}{2r}\right)$$

oder genau genug

$$\begin{aligned} a \tan \alpha &= h \left(1 + \frac{H+H'}{2r}\right) \\ &= (H-H') \left(1 + \frac{H+H'}{2r}\right) \\ &= H-H' + \frac{H^2-H'^2}{2r} \\ &= s \tan \alpha + \frac{H^2-H'^2}{r^2} \end{aligned} \quad (233)$$

Setzen wir also in (232) a für s , und für $a \tan \alpha$ den Werth aus (233), so erhalten wir

$$h = s \tan \alpha + \frac{H^2-H'^2}{2r} + \frac{s^2}{2r} (1-2k). \quad (234)$$

Hierin brauchen die Meereshöhen H und H' nur ganz roh bekannt zu sein, etwa aus Barometerbeobachtungen. Bei nicht allzugrossen Höhendifferenzen kann der Bruch $\frac{H^2-H'^2}{2r}$ ganz vernachlässigt werden.

Der so gefundene Höhenunterschied ist noch um die Höhe des anvisirten Signals und um die Instrumentenhöhe zu verbessern, wozu es keiner Anleitung bedarf.

Sind **gleichzeitig** in A die Elevation α und in B die Depression $-\alpha'$ beobachtet, so ist α um den Refraktionswinkel zu gross, α' um denselben Winkel zu klein gefunden*). Man hat dann, ohne sich um die Refraktion und Erdkrümmung weiter zu kümmern, den Werth $\frac{\alpha+\alpha'}{2}$ in Formel (125) für α einzuführen, wie leicht verständlich.

§ 3.

Trigonometrisch-nivellitisches Netz.

Vom trigonometrischen Nivelliren macht man vorzugsweise Gebrauch, um bei ausgedehnten Flächennivellements eine Anzahl von Punkten ihrer Höhe nach zu bestimmen, um daran später die Nivellementszüge zweiter Ordnung, — barometrische Nivellements, (vergl. § 6), — oder Tachymeteraufnahmen**) anschliessen zu können. Man legt über die aufzunehmende Fläche ein Dreiecksnetz, misst dessen Horizontal- und Elevations- bzw. Depressionswinkel, sowie eine Basis, von welcher ausgehend man die Längen s der Dreiecksseiten nach und nach berechnet. Die Berechnung der Höhen kann dann nach folgendem Beispiel erfolgen. Sei H_A die Höhe des Punktes A , Fig. 121, $\triangle h_A^d$, $\triangle h_d^E$ etc. die Höhenunterschiede der Punkte A und D , d und E , etc., so findet man die Höhe des Punktes E

$$H_{E_1} = H_A + \triangle h_A^d + \triangle h_d^E$$

oder auch

$$H_{E_2} = H_A + \triangle h_A^a + \triangle h_a^b + \triangle h_b^E$$

oder

$$H_{E_3} = H_A + \triangle h_A^e + \triangle h_e^f + \triangle h_f^E.$$

*) Streng genommen sind die Refraktionen auch bei gleichzeitiger Beobachtung auf beiden Stationen nicht gleich, da die Refraktion mit der Höhe abnimmt.

**) Vergl. § 8.

Die drei von einander etwas abweichenden Werthe werden gemittelt, wobei den Werthen H_{E_1} , H_{E_2} , H_{E_3} die Gewichte $\frac{1}{s_1}$, $\frac{1}{s_2}$, $\frac{1}{s_3}$ beizulegen, worin s_1 , s_2 , s_3 die Längen der Züge $A d E$, $A a b E$ und $A e f E$ bezeichnen. Hat man so die Höhe H_E gefunden, so findet man

$$H_{d_1} = H_A + \Delta h_A^d$$

$$H_{d_2} = H_E + \Delta h_E^d$$

$$H_{d_3} = H_A + \Delta h_A^a + \Delta h_a^d$$

etc.

woraus wiederum das Mittel zu bilden ist. In dieser Weise fährt man fort, bis das ganze Netz berechnet ist.

Wo es auf weniger genaue Bestimmung ankommt, kann man ganz wie bei Polygonberechnungen verfahren. Danach wird man beispielsweise die Höhen der in einem Zuge liegenden Punkte A , e , f wie folgt finden:

Es muss sein

$$\Delta h_A^e + \Delta h_e^f + \Delta h_f^e = H_E - H_A.$$

Den gegen diesen Sollbetrag sich ergebenden Widerspruch f wird man nach Verhältniss der Strecken $A e$, $e f$, $f E$ auf die einzelnen Höhenunterschiede Δh vertheilen, und schliesslich die so verbesserten Höhenunterschiede successive addiren, denn es ist

$$H_e = H_A + \Delta h_A^e$$

$$H_f = H_e + \Delta h_e^f = H_A + \Delta h_A^e + \Delta h_e^f$$

etc.

Bei grosser Ausdehnung des Netzes empfiehlt es sich, um dasselbe einen Nivellementszug zu legen, welcher mit dem Nivellirinstrumente zu nivelliren ist, z. B. den Zug $A a b E C i h g$, bezw. das Netz noch mit mehreren solchen Zügen quer zu durchschneiden. An die so mit grosser Genauigkeit bestimmten Punkte werden sodann die trigonometrischen Nivellementszüge in der oben erörterten Weise angeschlossen.

Die Längen der Dreiecksseiten des Netzes nimmt man nicht gern über 1000 m, denn es gilt bezüglich der Genauigkeit der einzelnen Züge Aehnliches, wie bezüglich der Genauigkeit von Bussolenzügen, vergl. § 45. Wie dort die Neigungen gegen den magnetischen Meridian, so werden hier die Neigungen gegen die Horizontale, d. i. die Elevationen und Depressionen **direkt** beobachtet, jede Elevation wird unabhängig von der Elevation der vorhergehenden Strecke gefunden.

§ 4.

Barometrisches Höhenmessen.

Denken wir uns eine Luftsäule von der Höhe h in h gleiche Theile zerlegt, Fig. 122, so ist die Dichtigkeit der einzelnen Luftschichten proportional dem auf denselben lastenden Druck, also proportional den in den einzelnen Schichten beobachteten Barometerständen. Das Gewicht der einzelnen Luftschichten ist der Dichtigkeit derselben proportional, mithin ist, wenn p_1 , p_2 etc. die Gewichte der einzelnen Schichten, b_1 , b_2 etc. die in denselben beobachteten Barometerhöhen bezeichnen:

$$p_1 : p_2 : p_3 \dots = b_1 : b_2 : b_3 \dots$$

Die Gewichte p werden gemessen durch die Differenz der an der Grundfläche und Oberfläche der einzelnen Schichten beobachteten Barometerhöhen. Es ergibt sich demnach

$$(b_0 - b_1) : b_1 = (b_1 - b_2) : b_2 = \dots = (b_{h-1} - b_h) : b_h$$

oder $b_0 : b_1 = b_1 : b_2 = b_2 : b_3 = \dots = b_{h-1} : b_h$

also $\log b_0 - \log b_1 = \log b_1 - \log b_2 = \dots = \log b_{h-1} - \log b_h$

d. h. die Logarithmen der beobachteten Barometerhöhen bilden eine arithmetische Reihe, wenn die Höhen, in welchen die Beobachtungen vorgenommen wurden, eine arithmetische Reihe bilden. Sind diese Höhen h_1, h_2, h_3, \dots und setzt man die Differenz der Reihe $h_2 - h_1 = h_3 - h_2$ etc. $= \Delta h$, die Differenz der Reihe $\log b_0, \log b_1, \log b_2, \dots = \Delta \log b$, das Verhältniss $\frac{\Delta h}{\Delta \log b} = k$, also $\Delta h = k \Delta \log b$, so ist, wenn h und h_n irgend zwei Glieder der Reihe h_1, h_2, h_3, \dots , $\log b$ und $\log b_n$ zwei entsprechende Glieder der Reihe $\log b_0, \log b_1, \dots$ bezeichnen:

$$h - h_n = k (\log b - \log b_n) \quad (235)$$

d. h. man findet den Höhenunterschied zweier Punkte, wenn man die Differenz der Logarithmen der in den beiden Punkten beobachteten Barometerhöhen mit dem noch näher zu bestimmenden Coefficienten k multiplicirt.

Dieser Coefficient ist, (abgesehen von der Basis des Logarithmensystems), abhängig von der Dichtigkeit der Luft, von ihrem Gewicht pr. Raumeinheit. Die Formel (235) erleidet daher, da die Dichtigkeit der Luft durch verschiedene Verhältnisse beeinflusst wird, noch einige, diesen Verhältnissen Rechnung tragende Korrekturen:

1) Temperaturkorrektur: Die Dichtigkeit der Luft, also auch ihr spezifisches Gewicht, ist abhängig von der Temperatur. Die Luft wird, da bei steigender Temperatur Ausdehnung eintritt, bei zunehmender Temperatur an spezifischem Gewicht verlieren, mithin wird auch die Differenz der in der oberen und unteren Station beobachteten Barometerhöhen abnehmen. — Beobachtet man bei einer Temperatur von 0°C. in zwei Punkten mit dem Höhenunterschiede Δh die Barometerhöhen b und b' , so ist die Differenz $b - b'$ ein Mass für das Gewicht der auf dem Quecksilber lastenden Luftsäule von der Höhe Δh . Diese Luftsäule wird, da der Ausdehnungscoefficient für $1^\circ \text{C.} = 0,0037$ ist, unter gleichbleibendem Druck bei einer Temperatur t die Höhe $\Delta h (1 + 0,0037 t)$ annehmen müssen, wenn ihr Gewicht ungeändert bleiben soll. Dieselbe Barometerdifferenz, welche bei der Temperatur 0° eine Höhendifferenz Δh anzeigt, wird also bei der Temperatur t eine Höhendifferenz $\Delta h (1 + 0,0037 t)$ anzeigen. Die Differenz Δh der arithmetischen Reihe h_1, h_2, h_3, \dots geht also, wenn die in den verschiedenen Höhen h abgelesenen Barometerstände b unverändert bleiben sollen, über in $\Delta h (1 + 0,0037 t)$. Ist also $k = \frac{\Delta h}{\Delta \log b}$ für die Temperatur 0° bekannt, so lautet dieser Coefficient für die Temperatur t

$$k_t = \frac{\Delta h (1 + 0,0037 t)}{\Delta \log b} = k (1 + 0,0037 t).$$

Der Coefficient wächst also proportional mit der Temperatur.

Da das spezifische Gewicht der Luft der Temperatur umgekehrt proportional ist, so folgt hieraus der Satz:

Der Coefficient k ist dem Gewichte der Luft umgekehrt proportional.

Die Temperatur der Luft nimmt mit zunehmender Höhe ab. Da man das Gesetz dieser Abnahme noch nicht kennt*), so ist man darauf angewiesen, das arithmetische Mittel der auf der oberen und unteren Station beobachteten Temperaturen als Durchschnittstemperatur der Luftsäule anzusehen. Bezeichnet t die Temperatur der unteren, t' die der oberen Station, so lautet also der Coefficient: $k \left(1 + 0,0037 \frac{t+t'}{2} \right)$.

2) Höhengcorrection: Die Schwere nimmt bekanntlich im Quadrat der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde ab. Ist die Schwere in der Meereshöhe gleich 1, so ist dieselbe also in der Höhe $H = \frac{r^2}{(r+H)^2} = \frac{1}{\left(1 + \frac{H}{r}\right)^2} = \frac{1}{1 + \frac{2H}{r} + \frac{H^2}{r^2}}$, worin r den Erdradius bezeichnet. Vernachlässigt man den sehr kleinen Bruch $\frac{H^2}{r^2}$, so erhält man die Schwere in der Höhe $H = \frac{1}{1 + \frac{2H}{r}}$. Die Aenderung des Ge-

wichts der Luft ist der Aenderung der Schwere proportional, die Aenderung des Coefficienten k also derselben umgekehrt proportional. Der für die Höhe des Meeresspiegels gültige Coefficient k ist daher für die Meereshöhe H zu multipliciren mit $\left(1 + \frac{2H}{r}\right)$. Hierin ist für H das arithmetische Mittel der Meereshöhen der oberen und unteren Station zu setzen. Man findet die Meereshöhe eines Ortes genau genug nach Gl. (235), wenn man für b den mittleren Barometerstand für den Meeresspiegel, d. i. 760 mm, für b_n den mittleren Barometerstand der Beobachtungsstation einsetzt.

3) Breiten correction. Wird die Schwere in der Breite $45^\circ = 1$ gesetzt, so ist dieselbe in der Breite $\varphi = 1 - 0,0027 \cos \varphi^{**})$. Der Barometercoefficient ist also zu multipliciren mit $(1 + 0,0027 \cos \varphi)$.

*) Beiläufig beträgt die Abnahme der Temperatur 1° C pr. 200 m Höhe.

**) Der Schwere wirkt infolge der Axendrehung der Erde die Schwerkraft entgegen. Ist diese am Aequator $= s$, so ist dieselbe in der Breite $\varphi = s \cos \varphi$, (da nämlich der Radius des Parallels in der Breite $\varphi = r \cos \varphi$). Die Kraft $s \cos \varphi$ wirkt aber in der Ebene des Parallels, arbeitet also nicht in vollem Umfange der nach dem Mittelpunkte der Erde gerichteten Schwerkraft entgegen. Zerlegt man die Kraft $a b$, Fig. 117, nach dem Gesetze des Kräfteparallelogramms in zwei Componenten, deren eine, $a c$, der Schwere direkt entgegenarbeitet, so ist $a c = a b \cos \varphi = s \cos^2 \varphi$. Es ist nun

$$\begin{aligned} \cos 2 \varphi &= \cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi \\ &= \cos^2 \varphi - (1 - \cos^2 \varphi) \\ \cos 2 \varphi &= 2 \cos^2 \varphi - 1 \\ \cos^2 \varphi &= \frac{\cos 2 \varphi + 1}{2} \end{aligned}$$

mithin die in der Breite φ der Schwerkraft entgegenwirkende Schwerkraft

$$a c = s \frac{\cos 2 \varphi + 1}{2}. \quad \text{a)}$$

Bezeichnet nun G die Schwere, wie sich dieselbe äussern würde, wenn die Schwerkraft nicht vorhanden wäre, so ist die um die Schwerkraft **verminderte** Schwere in der Breite φ

$$\begin{aligned} g_\varphi &= G - s \frac{\cos 2 \varphi + 1}{2} \\ &= G - \frac{s}{2} \cos 2 \varphi - \frac{s}{2}. \quad \text{b)}$$

Setzen wir die Schwere in Breite $45^\circ = 1$, also, (da $\cos 2 \times 45^\circ = 0$)

$$g_{45} = G - \frac{s}{2} = 1$$

4) **Correktio n der Quecksilbersäule.** Wegen Abnahme der Schwere mit der Höhe wird der Barometerstand der oberen Station, in Vergleich zu dem der unteren Station, zu gross gefunden, weil das Gewicht des Quecksilbers in der oberen Station leichter ist, so dass eine höhere Quecksilbersäule durch die Atmosphäre getragen wird. Man hat daher die Barometerhöhe der unteren Station zu multipliciren mit $\frac{(r + \Delta h)^2}{r^2} = \left(1 + \frac{\Delta h}{r}\right)^2$, wo Δh den Höhenunterschied beider Stationen bezeichnet, d. h. man hat statt $\log b$ zu setzen $\log b + 2 \log \left(1 + \frac{\Delta h}{r}\right)$.

Für Metallbarometer kommt diese Correktio n natürlich in Fortfall.

Nach Theil I, Gl. (38), ist nun $d \log x = \frac{M dx}{x}$, d. i. $\log(x + dx) - \log x = \frac{M dx}{x}$. Setzt man hierin $x = 1$, $dx = \frac{\Delta h}{r}$, so ergibt sich

$$\log \left(1 + \frac{\Delta h}{r}\right) = \frac{M \Delta h}{r}.$$

Man hat also statt $\log b$ zu setzen: $\log b + \frac{2 M \Delta h}{r}$.

Den noch unbekannten Höhenunterschied Δh erhält man hierin genau genug nach Formel (235).

5) **Feuchtigkeitscorrektio n.** Die Spannung des Wasserdampfes wird, wie die der Luft, ausgedrückt durch die Höhe der Quecksilbersäule, welche der Dampf zu tragen vermag. Das Gewicht des Wasserdampfes ist $= \frac{5}{8}$ eines gleichen Volumens Luft von gleicher Spannung. Ist dagegen die Spannung des Wasserdampfes nur $\frac{1}{n}$ der Luftspannung, so ist auch sein Gewicht nur $\frac{5}{8n}$ des Gewichts eines gleichen Luftvolumens. Setzt man das Gewicht eines gewissen Luftvolumens von der Spannung b gleich P , so ist also das Gewicht eines gleichen Dampf- volumens von der Spannung β , wenn $\beta = \frac{1}{n} b$, also $n = \frac{b}{\beta}$:

$$p = \frac{5 \beta}{8 b} P.$$

so geht Gl. b) über in

$$g_q = 1 - \frac{s}{2} \cos 2 q. \quad d)$$

Die Schwingkraft s ist am Aequator, (vergl. die Bemerkung auf Seite 141, Absatz 2) $= \frac{v^2}{2r}$, wenn v den Weg bezeichnet, den ein Punkt des Aequators infolge der Erdaxendrehung pr. Sekunde zurücklegt. In derselben Zeit legt ein fallender Körper am Aequator den Weg $\frac{1}{2} g$ zurück, wo g die Beschleunigung der Schwere, also 9,8 m bezeichnet. Die Schwingkraft am Aequator ist also, da eine leichte Rechnung $\frac{v^2}{2r} = 0,017$ m ergibt, gleich $\frac{1}{289}$ der Schwerkraft, also wenn man diese $= 1$ setzt, $s = 0,0034$, mithin $\frac{1}{2} s = 0,0017$, daher nach d)

$$g_q = 1 - 0,0017 \cos 2 q. \quad e)$$

Da aber ein Körper mit zunehmender Breite dem Mittelpunkte der Erde sich nähert, so nimmt die Schwere auch aus diesem Grunde mit der Breite zu, und ist daher der Coefficient 0,0017 in der Formel e) noch entsprechend zu vergrössern. Durch Pendelversuche hat sich derselbe $= 0,0027$ ergeben, so dass wir die Schwere in der Breite q erhalten

$$g_q = 1 - 0,0027 \cos 2 q.$$

Hat man nun einen Raumtheil Wasserdampf von der Spannung β und einen gleichen Raumtheil Luft von der Spannung b , so ergeben beide Gase im Gemisch, in denselben Raum eingengt, die Spannung $\beta + b$, welche wir gleich B setzen wollen. Ist das Gewicht desselben Raumtheils **trockener** Luft von der Spannung B gleich 1, so ist das Gewicht der Luft von der Spannung b , — da sich die Gewichte gleicher Luftvolumina wie ihre Spannungen verhalten, — gleich $\frac{b}{B}$, das Gewicht des Volumens Wasserdampf von der Spannung $\beta = \frac{5}{8} \frac{\beta}{B}$.

Das Gewicht des Gemenges ist also $P = \frac{5}{8} \frac{\beta}{B} + \frac{b}{B}$, oder, da $b + \beta = B$, also

$$b = B - \beta: P = \frac{5}{8} \frac{\beta}{B} + \frac{B - \beta}{B} = \frac{5}{8} \frac{\beta}{B} + 1 - \frac{\beta}{B} = 1 + \frac{\beta}{B} \left(\frac{5}{8} - 1 \right) = 1 - \frac{3}{8} \frac{\beta}{B}.$$

Der Barometercoefficient k ist also zu multipliciren mit $\left(1 + \frac{3}{8} \frac{\beta}{B} \right)^{*}$.

Die vollständige Barometerformel wird nun also lauten, wenn wir in (235) Δh für $h - h_n$, B und b für b und b_n schreiben:

$$\Delta h = k \left(1 + 0,0037 \frac{t + t'}{2} \right) \left(1 + \frac{2H}{r} \right) (1 + 0,0027 \cos \varphi) \left(1 + \frac{3}{8} \frac{\beta}{B} \right) \times \left(\log B - \log b + \frac{2M \Delta h}{r} \right). \quad (236)$$

Ist Δh durch ein Nivellement bekannt, so lässt sich hieraus k berechnen, und ist auf diesem Wege für Metermass = 18400 gefunden.

6) Reduktion der Barometerhöhe auf 0°. Die abgelesenen Barometerhöhen sind, bevor sie in obige Gleichung (236) eingeführt werden dürfen, auf 0° zu reduciren, um die Ausdehnung der Scala und des Quecksilbers durch die Wärme unschädlich zu machen. Für Barometer mit Holzscala beträgt die Correktion — 0,00018 B t, für Messingscala — 0,000162 B t.

Bei Barometern mit ungleich weiten Schenkeln kommt hierzu noch die Correktion wegen Capillardepression. Hierüber wird jedem derartigen Instrumente eine Tabelle beigegeben.

*) Die Ermittlung der Dunstspannung ist Aufgabe der Hygrometrie.

Bringt man Wasser in luftleeren Raum, so beginnt dasselbe alsbald zu siedend, bis die sich entwickelnden Dämpfe eine bestimmte, von der Temperatur des siedenden Wassers, bezw. der sich bildenden Dämpfe, abhängige Spannung erreicht haben. Diese Dampfspannungen sind für die verschiedenen Temperaturgrade folgende:

Temperatur	Spannung	Temperatur	Spannung	Temperatur	Spannung
— 10° C	2,09 mm	+ 0 C	+ 4,60 mm	+ 10 C	9,17
— 9	2,27	1	4,95	11	9,32
— 8	2,45	2	5,30	12	10,46
— 7	2,67	3	5,70	13	11,08
— 6	2,88	4	6,10	14	11,91
— 5	3,10	5	6,55	15	12,70
— 4	3,37	6	7,00	16	13,54
— 3	3,43	7	7,50	17	14,44
— 2	3,49	8	8,02	18	15,36
— 1	3,55	9	8,60	19	16,37
0	4,60	10	9,17	20	17,39

Höhere Spannungen, als die hier angegebenen, sind bei unveränderter Temperatur nicht zu erzielen, sie erfolgt erst bei erhöhter Erwärmung. Umgekehrt geht bei erfolgender Abkühlung ein Theil der entwickelten Dämpfe wieder in flüssigen Zustand zurück. Es erfolgt also ein Niederschlag, bis die Spannung des zurückbleibenden Dampfes wieder die der erniedrigten Temperatur entsprechende ist. Im Luft erfüllten Raume bleibt das Verhältniss ein ähnliches, da die Dampfmoleküle zwischen den Luftmolekülen reichlich

Aneroidbarometer.

Zu barometrischen Nivellements bedient man sich heute vorzugsweise der Aneroidbarometer. Das Naudet'sche Aneroid hat folgende Einrichtung:

Die luftleere Büchse B, Fig. 123, trägt auf ihrem elastischen, wellenförmig gebogenen Deckel das Sälchen s, welches eine breite Stahlfeder F durchdringt und dieselbe mittelst einer Schneide niederdrückt. Die Bewegungen des Deckels der Büchse B werden somit auf diese Feder, und von dieser durch den Arm A auf den um eine horizontale Axe drehbaren Winkelhebel ww übertragen. Am Ende des verticalen Schenkels des letzteren ist eine feine Kette befestigt, welche, um die Axe des Zeigers Z geschlungen, auf diesen die Bewegung überträgt. Die Kette wird durch eine um die Axe des Zeigers gewundene Spiralfeder in Spannung erhalten. Aus der Figur ist leicht erkenntlich, wie durch die Correktionsschraube C auf die Feder F, also auch auf den Stand des Zeigers Z eingewirkt werden kann, welche Vorrichtung zur Justirung des Instruments dient. Die Theilung des Kreises, über welcher der Zeiger schwebt, ist derart ausgeführt, dass die Theilungseinheit demjenigen Ausschlag des Zeigers entspricht, welcher dieser bei einer Luftdruckänderung von 1 mm des Quecksilberbarometers erleidet.

Die Angaben des Instruments stimmen nicht ohne Weiteres mit den auf 0° reducirten Angaben des Quecksilberbarometers überein, es sind vielmehr folgende Correktionen anzubringen:

1) Temperaturcorrection. (Reduktion auf 0°.) Infolge der Dehnung der Metalltheile des Instruments durch die Wärme wird jede Temperaturänderung einen

Raum haben, um den luftgefüllten Raum ungehindert ebenso zu occupiren, wie den luftleeren (Dalton'sches Gesetz), nur findet hier kein Sieden des Wassers statt, sondern die Dampfbildung erfolgt nur an der Oberfläche des Wassers, wo der sofortige Eintritt zwischen die Luftmoleküle möglich ist. Jedes sonst sich bildende Dunstbläschen ist dem überwiegenden Drucke der Atmosphäre nicht gewachsen. Es wird sofort im Entstehen wieder condensirt. Erst wenn die Dampfspannung dem Drucke der Atmosphäre gleich ist, d. i. bei 760 mm Luftspannung bei einer Temperatur von 100 C., kann das Sieden des Wassers beginnen.

Nach vorstehender Tabelle kann man nun beispielsweise bei einer Temperatur von +10° eine Dunstspannung von 9,17 mm erzielen. Hat der Dampf in der Luft diese Spannung thatsächlich erreicht, so ist eine weitere Verdunstung nicht mehr möglich. Die Luft ist mit Dampf gesättigt. Die weitere Dampfbildung beginnt erst wieder bei steigender Temperatur. Dagegen bewirkt die geringste Abkühlung Niederschläge. Ist aber bei einer Temperatur von 10° etwa nur eine Dunstspannung von 7,00 mm vorhanden, so vermag die Luft noch weitere Dampfmengen aufzunehmen. Die relative Feuchtigkeit der Luft ist $\frac{7}{9,17} = 77,4\%$. Sollen Niederschläge stattfinden, so bedarf es nach obiger Tabelle einer Abkühlung bis auf 6°. Dieser Temperaturgrad heisst der Thaupunkt. Kennt man den Thaupunkt, (hier 6°), so lässt sich aus der Tabelle die vorhandene Dunstspannung (hier 7,00 mm) entnehmen. Alsdann findet man die relative Feuchtigkeit der Luft durch Division der bei der vorhandenen Temperatur möglichen Maximaldunstspannung in die vorhandene Dunstspannung. Hierauf beruht das Daniell'sche Hygrometer. Da bei jeder Verdunstung ein Verbrauch von Wärme, also eine Abkühlung stattfindet, so wird man durch rasch verdunstende Flüssigkeiten, (Aether), eine Glasröhre soweit abkühlen können, bis dieselbe beschlägt. In dem Moment, wo der Niederschlag erfolgt, wird ein in der Glasröhre befindliches Thermometer abgelesen, und der Thaupunkt ist gefunden.

Allgemeiner gebräuchlich, als das Daniell'sche Hygrometer, ist das August'sche Psychrometer. Wasser verdunstet um so schneller, je trockner die Luft. Da mit der Verdunstung eine Temperaturerniedrigung verbunden ist, so wird man somit von dem Grade der Temperaturerniedrigung auf die Feuchtigkeit der Luft schliessen können. Beim August'schen Psychrometer findet die Verdunstung auf der Kugel eines Thermometers statt, welches mit einem trockenen Thermometer verglichen, die Temperaturerniedrigung anzeigt. Multiplicirt man Letztere mit dem zeitigen Barometerstande $\times 0,00063$, zieht das Produkt von der zum feuchten Thermometerstande gehörigen Dunstspannung der obigen Tabelle ab, so wird die zeitige Dunstspannung erhalten.

Ausschlag des Zeigers verursachen. Bringt man das Instrument aus der Temperatur t bei **unverändertem** Luftdruck in die Temperatur t' , und ist der dabei erfolgende Ausschlag des Zeigers gleich a , so ist die Korrektion für jeden Temperaturgrad

$$c = \frac{a}{t - t'}. \quad (237)$$

Ist nun das Instrument bei einer Temperatur t_0 justirt, ist also t_0 die Temperatur, bei welcher die Angaben des Instruments mit denen des Quecksilberbarometers übereinstimmen, so ist die bei der Temperatur t anzubringende Korrektion, wie sofort klar sein wird,

$$k_1 = c(t - t_0).$$

2) Standkorrektion. Infolge Aenderung der Elasticität der Metalltheile zeigt der Zeiger Schwankungen, so dass die Uebereinstimmung mit dem Quecksilberbarometer, (auch nach Anbringung der Temperaturkorrektion), nicht bestehen bleibt.

Das Barometer ist daher während des Gebrauchs bei jeder Gelegenheit mit dem Quecksilberbarometer zu vergleichen und die gefundene Differenz bei jeder folgenden Ablesung zu berücksichtigen. Die Standkorrektion wird gemeinschaftlich mit einer dritten Korrektion ermittelt, nämlich

3) der Theilungskorrektion. Es entspricht nämlich die Theilungseinheit nicht immer genau einer Druckdifferenz von 1 mm. Ist a der Fehler der Theilungseinheit, und ist 760 mm der Barometerstand, bei welchem, nach Anbringung der Temperaturkorrektion, Uebereinstimmung des Quecksilber- und Aneroidbarometers stattfindet, so ist beim Barometerstand b die anzubringende Korrektion

$$k_2 = a(760 - b). \quad (238)$$

Bezeichnet nun k_2 die Standkorrektion, so bestimmt man diese und die Theilungskorrektion gleichzeitig wie folgt: Quecksilber- und Aneroidbarometer werden mindestens zweimal, nachdem beide auf 0° reducirt worden, mit einander verglichen, und zwar müssen diese beiden Beobachtungen bei möglichst verschiedenem Luftdruck ausgeführt werden. Die Angaben des Quecksilberbarometers seien B und B' , die des Aneroids b und b' , so findet man die beiden Korrekturen aus den Gleichungen

$$\begin{aligned} B &= b + k_2 + a(760 - b) \\ B' &= b' + k_2 + a(760 - b') \end{aligned}$$

woraus k_2 und a sich ergeben. — Hat man mehrere derartige Beobachtungen bei verschiedenem Luftdruck ausgeführt, so kann k_2 und a nach der Methode der kl. Quadrate, (Ausgleichung vermittelnder Beobachtungen), gefunden werden.

Der Theilungsfehler a ist ein für allemal zu ermitteln, während die Ermittlung der Korrektion k_2 , wie oben erwähnt, häufig zu wiederholen ist. Bei diesen späteren Bestimmungen der Standkorrektion k_2 bedarf es natürlich, da a bekannt ist, nur einer Vergleichung mit dem Quecksilberbarometer, denn es ist

$$k_2 = B - (b + k_1 + k_3), \quad (239)$$

nämlich die Differenz des Quecksilberbarometers gegen das um Temperatur- und Theilungskorrektion berichtigte Aneroidbarometer.

§ 6.

Messungen mit dem Aneroidbarometer.

1) Bei Aneroidmessungen bedient man sich zumeist der abgekürzten Formel

$$\Delta h = k \left(1 + 0,0037 \frac{t + t'}{2} \right) (\log B - \log b) \quad (240)$$

worin $k = 18400$ m.

Um mit dem Aneroid ein Flächennivellement auszuführen, geht man mit demselben von Station zu Station, liest in jeder Station Barometer, Thermometer und die Zeit der Beobachtung ab, während ein zweiter Beobachter auf einem festen Punkte unausgesetzt die Barometerschwankungen an einem Quecksilberbarometer, (Standbarometer), beobachtet und ebenfalls die Zeiten seiner Beobachtungen notirt, damit die stattgehabten Schwankungen in Rechnung gestellt werden können. Vor und nach den Beobachtungen werden beide Barometer, behufs Ermittlung der Standcorrection, mit einander verglichen und eine etwa vorgefundene Standveränderung proportional den Zwischenzeiten zwischen den Beobachtungen auf die letzteren vertheilt und in Rechnung gestellt, und nach Anbringung aller dieser Correctionen die Höhen der einzelnen Stationen über dem Standort des Standbarometers berechnet. Die Entfernung des Standbarometers vom Wanderbarometer darf nicht über 2 Meilen betragen.

2) Sind einzelne Punkte der aufzunehmenden Fläche ihrer Höhe nach, — etwa durch trigonometrisches Nivellement, — bereits bekannt, so kann man das Standbarometer entbehren und folgendes Verfahren, — (Interpolation), — anwenden:

Man beginnt die Beobachtungen bei einem der Punkte von gegebener Höhe, nimmt in möglichst kurzer Zeit eine Reihe von anderen Punkten auf, (d. h. beobachtet in denselben das Barometer), welche man so zu wählen hat, dass man sich, indem man dieselben der Reihe nach durchläuft, irgend einem anderen **gegebenen** Punkte nähert, auf welchem man schliesslich die Reihe der Beobachtungen abschliesst. Seien nun H und H' die Höhen der bekannten Punkte, B und B' die auf denselben beobachteten Barometerstände in mm ausgedrückt, so ist $\frac{H - H'}{B - B'}$

die Höhendifferenz, welche einer Barometerdifferenz von 1 mm entspricht. Multiplicirt man mit diesem Quotienten die Differenzen der auf den Zwischenstationen beobachteten Barometerhöhen, $B - b_1$, $b_1 - b_2$ etc., so erhält man die Höhenunterschiede Δh_1 , Δh_2 . . . etc., deren Summe die Differenz $H - H'$ ergeben muss.

Natürlich darf man zwischen den Beobachtungen auf den gegebenen Punkten nicht zu lange Zeit verstreichen lassen, damit nicht inzwischen eintretende Barometer- und Temperaturschwankungen die Güte der Arbeit beeinträchtigen. Auch dürfen die Höhendifferenzen nicht allzugrosse sein, da dieselben sonst nicht mehr als den Barometerdifferenzen proportional angesehen werden dürfen.

Durch Differentiation der Gleichung

$$\Delta h = k (\log B - \log b) \left(1 + 0,0037 \frac{t + t'}{2} \right)$$

nach der Veränderlichen b erhält man nämlich:

$$\delta h = - \frac{M \delta b}{b} k \left(1 + 0,0037 \frac{t + t'}{2} \right) \quad (241)$$

Hierin bedeutet δh die Höhendifferenz, welche der Barometerdifferenz δb entspricht. Die Aenderung der Höhe für eine bestimmte Aenderung der Barometerhöhe, z. B. 1 mm, ist also dem Barometerstande umgekehrt proportional, daher in verschiedenen Höhen verschieden. Kennt man δh für die Barometerdifferenz 1 mm, so hat man nur noch mit der in mm ausgedrückten Barometerdifferenz $B - b$ zu multipliciren, um den Höhenunterschied der Beobachtungsstationen zu erhalten.

Nach Gl. (241) ist die Barometertafel, Tafel IV Anhang, berechnet, worin $\delta b = 1$ mm angenommen ist.

Bei Anwendung dieser Tafel kann man auch, wenn keine gegebenen Punkte vorhanden sind, das Standbarometer entbehren, wenn man nur möglichst oft auf den Ausgangspunkt zurückkehrt, bezw. auf einen Punkt, auf welchem man schon einmal beobachtet hat, um die Schwankungen des Luftdrucks zu controlliren. Etwa gefundene kleine Druckdifferenzen werden nach Verhältniss der Zwischenzeiten zwischen den Beobachtungen vertheilt und in Rechnung gestellt.

§ 7.

Nivellement mit Niveau.

Wir setzen den Gebrauch des Nivellirinstrumentes als bekannt voraus und erwähnen nur Folgendes:

Um die Correktionen wegen Erdkrümmung und Strahlenbrechung zu erübrigen und gleichzeitig einen etwaigen Zielfehler des Instruments unschädlich zu machen, ist jede Station aus der Mitte zu nivelliren. Die Correktionen der Lattenablesungen werden unter dieser Bedingung für die Vor- und Rückvisur gleich, fallen also bei Bildung der Lattendifferenzen fort, brauchen daher überhaupt nicht berücksichtigt zu werden, $([H + c_1 + c_2 + c_3] - [H' + c_1 + c_2 + c_3] = H - H')$.

Jedes Nivellement ist doppelt, entweder mit 2 Latten mit verschiedenen Wechsellpunkten, oder vor- und rückwärts auszuführen.

Schliesst ein Nivellement beiderseits an bereits bekannte Punkte an, so kann eine Ausgleichung desselben vorgenommen werden, indem man die gegen den bekannten Höhenunterschied der gegebenen Punkte gefundene Differenz auf die einzelnen Stationen, nach Verhältniss der Stationslängen, vertheilt. Treffen mehrere Züge in einem Punkte zusammen, so kann dieser nach Analogie der Knotenpunkte bei Polygonmessungen behandelt werden, (cfr. Thl. II, § 43 1) u. 3)). Die dabei in Rechnung zu stellenden Gewichte sind, wenn S die Länge eines Nivellements-zuges bezeichnet, $p = \frac{1}{S}$. Denn ist m der mittlere Fehler der Längeneinheit, so ist der mittlere Fehler des ganzen Nivellements-zuges $= m\sqrt{S}$. Die Gewichte sind aber den Quadraten der mittleren Fehler umgekehrt proportional.

Eine ähnliche Betrachtung wie die in Thl. II, § 45, über Bussolenzüge angestellte, führt zu der Regel, dass man die Stationslängen nicht zu gross nehmen darf, — in der Regel $= 50$ m. —

Die Nivellements-zahlen werden in eine Tabelle etwa von der beistehenden Einrichtung eingetragen. Spalte 3 und 5 sind für die Visuren nach den Wechsel-punkten bestimmt, Spalte 4 für Zwischenvisuren. In Spalte 6 werden die Differenzen der Lattenablesungen gebildet, und zwar werden die negativen Unterschiede in Form dekadischer Ergänzungen eingetragen, wenn man es nicht vorzieht, Spalte 6 in zwei Unterabtheilungen zu theilen, eine für positive, (Steigungen), die andere für negative, (Fallen), Differenzen. Als Probe für die richtige Bildung der Unterschiede Δh hat man: Summe der Spalte 3 weniger Summe der Spalte 5 $=$ Summe Spalte 6. Als Probe für die richtige Summirung der Differenzen in Spalte 7 bildet man den Unterschied zwischen der letzten und ersten Höhe, welche mit der Summe der Spalte 6 übereinstimmen muss. Für doppeltes Nivellement sind die Spalten 3—6 zu wiederholen, und zwischen Spalte 6 und 7 eine weitere Spalte, — „Mittel der Höhenunterschiede aus Nivellement I und II“, — einzu-

schalten. Ist das Nivellement beiderseits an bekannte Punkte angeschlossen, so kommt dazu noch eine fernere Spalte: „Verbesserte Höhenunterschiede.“

No. der Station	Länge der Station	Visur			Unterschiede Δh	Höhe h	Bemerkungen
		Rück- wärts	zwischen	Vor- wärts			
1	2	3	4	5	6	7	8
0		0,953				22,550	
1	50			1,762	$\times 9,191$	21,741	
1	50	2,426					
2	50		2,012		0,414	22,155	
3	50			1,202	0,810	22,965	
3	50	0,448					
4	50		2,131		$\times 8,317$	21,282	
5	50			2,026	0,105	21,387	
		3,827		4,990	$\times 8,837$	$\times 8,837$	
				3,827			
				$\times 8,837$			

Die Nivellementsline ist gelegentlich der Eintheilung in Stationen durch Ordinatenmessungen nach festen Punkten, — Grenzsteinen, Häuserecken —, oder nach eigens zu dem Zwecke vermarkten Punkten derart festzulegen, dass sie mit Sicherheit jederzeit wieder hergestellt werden kann. In Abständen von 500 bis 1000 m sind derartige Punkte mit einzunivelliren und zu dem Ende durch Einlassen von sogen. Nivellementsbolzen in einer für diesen Zweck geeigneten Weise herzurichten.

§ 8.

Terraindarstellung.

Denkt man sich einen Berg durch äquidistante Horizontalebenen durchschnitten, Fig. 124, und die Schnittlinien dieser Ebenen mit der Terrainoberfläche, (Horizontalkurven), auf eine horizontale Ebene projicirt, so werden die so erhaltenen Kurven um so näher bei einander liegen, je steiler der Berg ist, wie aus der Fig. einleuchten wird. Man kann also von der Entfernung der projicirten Kurven auf den Böschungsgang des Terrains schliessen. Die Kurven stellen das Terrain für den im Lesen derselben Geübten in übersichtlicher Weise dar, und es sind daher Karten, welche mit Horizontalkurven versehen sind, nicht nur für topographische Zwecke, sondern auch als Unterlagen für Projekte, bei welchen die Terraingestaltung in Frage kommt, von hohem Werthe.

Zur Anfertigung solcher Karten kann man die Kurven entweder im Felde mit Hilfe des Nivellirinstrumentes abstecken und sodann aufmessen und in die Karten eintragen, — natürlich eine sehr zeitraubende Arbeit, welche nur da zur Ausführung kommen wird, wo es sich um wenige Kurven, die sich möglichst genau dem Terrain anschmiegen sollen, handelt —, oder man verfährt wie folgt:

Man bezeichnet zunächst alle für die Terraingestaltung charakteristischen Punkte, d. h. alle Punkte, in denen ein in die Augen fallender Gefällswechsel stattfindet, mit Pfählen, so dass also das von drei benachbarten Pfählen eingeschlossene Terrain eine Ebene darstellt, misst diese Pfähle auf, nivellirt sie, und trägt sie nebst ihren Höhenzahlen in die Karte. Alsdann kann man die Horizontalkurven auf der

Karte construiren. Seien beispielsweise in Fig. 125 die Höhen der Punkte a und b = 8,4 und 4,4 m, so ist es nicht schwierig, diejenigen Punkte der von a bis b stetig aufsteigenden Linie a b zu finden, welchen die Höhen 5, 6, 7, 8 m zukommen. Man hat diese Linie nur in dem Verhältniss 0,6 : 1 : 1 : 1 : 0,4 zu theilen. In analoger Weise werden die Linien c d, e f, etc. getheilt, und sodann alle Punkte, für welche man eine gleiche Höhe gefunden hat, durch eine aus freier Hand zu ziehende Kurve verbunden. Die angedeutete Theilung erfolgt am schnellsten mit Hilfe eines Diagramms, Fig. 126. Man trägt die Linie a b auf der Zeigerlinie 8,4 derselben von der Abscissenlinie aus ab, verbindet den Punkt b mit dem Punkte 4,4 der Abscissenlinie, (durch blosses Anlegen der Kante eines Zeichendreiecks), und trägt die zwischen der Linie b c und der Abscissenlinie liegenden Abschnitte der Zeigerlinien 5, 6, 7, 8 auf der Linie a b in der Karte, Fig. 123, von b aus ab, wodurch diese, wie sofort verständlich, in der angedeuteten Weise getheilt ist.

Kommt es auf möglichst genaue kartographische Terraindarstellung an, so wird man die zu nivellirenden Punkte auf dem Felde in grosser Anzahl wählen müssen. Man kommt in solchen Fällen am schnellsten zum Ziele, wenn man das Terrain mit einem Quadratnetze überspannt, und die Quadratecken nivellirt. Je kleiner man die Quadratseiten wählt, um so genauer, um so mehr wird sich die Terrainoberfläche in jedem Quadrate der Ebene nähern. Wo dieselbe in einem oder dem anderen Quadrate noch erheblich von der Ebene abweicht, sind innerhalb des Quadrats noch weitere Punkte besonders zu bestimmen. Derartige Quadratnetzaufnahmen gewähren auch sonst mancherlei Vortheile, wie wir später sehen werden.

In neuerer Zeit bedient man sich zu Terrainaufnahmen mit grosser Zeitersparniss des Tachymeters, eines Theodolits mit Horizontal- und Verticalkreis und distanzmessendem Fernrohr. Durch ein solches Instrument wird gleichzeitig die Lage und Höhe der Punkte, erstere durch Distanz- und Horizontalwinkelmessung, (Polarcoordinaten!), letztere durch Verticalwinkelmessung bestimmt. Wird der Träger der Distanzlatte durch einen zweiten Geometer geführt, so ist das Abpfählen der Punkte erübrigt.

1) **Aufgabe:** In einem Schichtenplane, Fig. 129, ist eine Linie a b gegeben. Es soll das Profil derselben gezeichnet werden.

Die Auflösung geht aus der Figur hervor.

2) **Aufgabe:** In einem Schichtenplan, Fig. 127, eine bei a beginnende Linie mit einer stetigen Steigung von 1% zu zeichnen.

Auch diese Auflösung wird aus der Figur verständlich werden, aus welcher auch erkenntlich ist, dass man die verschiedensten Linien von der vorgeschriebenen Eigenschaft, z. B. a b c d e, a b c' d' e', a b c' d' e'' und ähnliche construiren kann.

3) **Aufgabe:** Zwei Punkte A und B, Fig. 128, durch eine stetig aufsteigende Linie von 1% Steigung zu verbinden.

Man trägt nach voriger Aufgabe von A aus die Linie A C A', von B aus die Linie B C B' von 1% Steigung ein. Beide schneiden sich im Punkte C. Die Linie A C B ist eine Linie von der verlangten Eigenschaft.

4) **Aufgabe:** Die Höhe eines auf einem Schichtenplane gegebenen Punktes, welcher zwischen zwei Höhengurven liegt, zu bestimmen.

Man ziehe durch den gegebenen Punkt senkrecht zu den benachbarten Kurven eine Linie, ermittle das Verhältniss, nach welchem der zwischen den beiden benachbarten Kurven liegende Abschnitt derselben durch den gegebenen Punkt ge-

theilt wird, und theile den bekannten Höhenunterschied der benachbarten Kurven nach demselben Verhältniss.

Soll durch den gegebenen Punkt eine neue Horizontalkurve construirt werden, so ziehe man in angemessenen Abständen zwischen den benachbarten Horizontalcurven mehrere zu diesen senkrechte Linien, theile dieselben nach demselben Verhältniss, und verbinde die Theilungspunkte.

5) **Aufgabe:** Eine Wasserleitung A B, Fig. 130, liegt bei A 1 m tief und besitzt ein Gefälle von 1‰. Wie tief durchschneidet dieselbe den Berg bei C?

Die Aufgabe ist durch Rechnung leicht zu lösen. Ist aber auf der Linie A B eine grössere Anzahl von Punkten gegeben, deren Tiefe unter der Terrainoberfläche ermittelt werden soll, so zeichne man für die Linie A B das Profil nach Aufgabe 1), trage in dieselbe auch die Leitung A B nach den dieselbe bestimmenden Daten ein, so kann man dieser Zeichnung die Tiefe für jeden beliebigen Punkt der Linie A B direkt durch Abgreifen mit dem Zirkel entnehmen.

6) **Aufgabe:** In einen Schichtenplan die Durchschnittslinie der Böschungen eines Grabens mit der Terrainoberfläche einzuzeichnen, wenn die Mittellinie, (Trace), des Grabens, sein Profil, Gefälle, und seine Tiefe in A, Fig. 130, gegeben sind.

Man ermittelt nach Aufgabe 5) die Grabentiefen an verschiedenen Punkten der Grabenlinie, trägt diese Tiefen in das in grossem Massstabe gezeichnete Grabenprofil ein, in Fig. 131 also die Tiefen $A a_1$, $A a_2$, $A a_3$ etc., zieht die Horizontalen*) $a_1 b_1$, $a_2 b_2$, $a_3 b_3$ etc., ermittelt die Längen dieser horizontalen Linien und trägt sie im Massstabe der Karte von der gegebenen Grabenlinie aus zu beiden Seiten derselben ab, und zwar natürlich in denjenigen Punkten der letzteren, für welche die betreffenden Grabentiefen ermittelt sind.

Nach dem hier Gesagten wird es an Mitteln zur Lösung ähnlicher Aufgaben nicht fehlen.

II. Erdbau.

§ 9.

Massenberechnung und Terrainumformung.

1) **Massenberechnung:** Der Schichtenplan eines Grundstücks, Fig. 132, ist gegeben. Durch den niedrigsten Punkt A des Grundstücks wird eine horizontale Ebene gedacht. Es soll der cubische Inhalt der über dieser Ebene in dem Grundstück lagernden Erdmasse berechnet werden.

Man bestimmt zunächst die Höhe des niedrigsten Punktes A nach § 8, Aufgabe 4), berechnet die Fläche G des Grundstücks, und die Flächen g_1 , g_2 , g_3 etc., welche die Horizontalkurven 1, 2, 3 etc. mit den Grenzen des Grundstücks einschliessen. Ist h_1 der Vertikalabstand der durch A gedachten Kurve von der nächst höheren Kurve 1, so ist der cubische Inhalt der Erdschicht zwischen beiden Kurven $J_0 = \frac{G_1 + g_1}{2} \cdot h_1$. Bezeichnet weiter h die Aequidistanz der übrigen Kurven, so sind die in den einzelnen

*) Ist das Terrain rechtwinklig zur Grabenrichtung stark geneigt, wie dies z. B. der Fall wäre, wenn in Fig. 128 B C B' die gegebene Grabentrace vorstellte, so sind statt der Horizontalen die entsprechenden Terrain-Querprofile in das Normalprofil des Grabens zu zeichnen. Dieselben werden nach Aufgabe 1 gewonnen.

Schichten, d. h. zwischen den Ebenen der einzelnen Horizontalkurven lagernden Erdmassen: $J_1 = \frac{g_1 + g_2}{2} h$, $J_2 = \frac{g_2 + g_3}{2} h$ etc. Ist endlich h_2 die Höhe des Punktes B über der **letzten** Kurve, so ist die Erdmasse der obersten Schicht, welche sich hier der Gestalt einer Pyramide nähert: $J_3 = \frac{g_3}{3} h_2$. Die Summe der einzelnen Schichten liefert den gesuchten Erdmasseninhalt.*)

2) **Planirung.** Soll die Oberfläche eines Grundstücks durch Umbau in eine horizontale Ebene planirt werden, so berechne man den cubischen Inhalt der Erdmasse nach 1), dividire denselben durch die Fläche des Grundstücks, so erhält man die Höhe H der durch den Umbau herzustellenden Terrainoberfläche. Construiert man in dieser Höhe nach Aufgabe 4) des vorigen § eine Horizontalkurve, so stellt diese die Grenze zwischen Auf- und Abtrag dar. Berechnet man die über dieser Horizontalkurve lagernde Erdmasse, so erhält man die Abtragsmasse, welche durch Erdtransport fort zu bewegen ist. Auf dem Felde steckt man die horizontale Ebene in der Höhe H mittelst des Nivellirinstrumentes ab, indem man eine genügende Anzahl von Pfählen so tief in die Erde treiben lässt, dass die Köpfe derselben sämtlich in der gleichen Höhe H liegen. Im Abtrage müssen dieselben natürlich unter die Erde versenkt werden. Die Pfähle müssen zweckmässig in graden Linien stehen. Es werden sodann im Abtrage von Pfahl zu Pfahl Gräben bis zur Tiefe der Pfahlköpfe ausgehoben und im Auftrage in entsprechender Höhe Dämme aufgeschüttet, (sogen. Lehrpfade), wodurch den Erdarbeitern die von ihnen auszuführende Arbeit genau vorgezeichnet ist.

Soll nicht eine **horizontale**, sondern irgend eine andere Oberfläche, z. B. ein gleichzeitig ansteigender Hang von bestimmtem Gefälle geschaffen werden, so stelle man die zu bildende Oberfläche durch Horizontalkurven dar, berechne die über dem Horizont, auf welchen sich die Höhen der Kurven beziehen, lagernden Erdmassen nach 1), und zwar einmal unter Zugrundelegung der **projektirten** Kurven, und sodann unter Zugrundelegung der **natürlichen** Terrainkurven. Das Resultat der ersteren Berechnung sei K_1 , das der zweiten K_2 . Je nachdem der Unterschied $K_1 - K_2$ positiv oder negativ ausfällt, wird man bei der Planirung Erde übrig behalten, oder es wird Erde fehlen. Um dies zu vermeiden, wird man im ersteren Falle die **projektirte** Terrainhöhe um den Betrag $\frac{K_1 - K_2}{G}$ **vergrössern**, im an-

deren Falle **vermindern** müssen. — Wäre z. B. das Grundstück Fig. 133 in einen Hang von 1% Gefälle umzubauen, so wird man die Horizontalen a b, $a_1 b_1$, $a_2 b_2$ etc., bei einer Aequidistanz von 1 m**), in Entfernungen von 100 m in die Karte einzzeichnen haben. Die Höhe der untersten Horizontale a b werde zu 1 m über dem Horizont angenommen. Ergiebt nun die Massenberechnung einen Ueberschuss von Erde, so ist der ganze Hang zu tief projektirt. Hat man auf dem oben ange-deuteten Wege gefunden, dass der projektirte Hang um 0,2 m zu heben ist, damit ein Ausgleich der Auf- und Abtragsmassen stattfindet, so ist also der Horizontalen a b die Höhe 1,2 m statt 1 m beizuschreiben. Die Horizontale von der Höhe 1 m liegt

*) Die zwischen dem Horizont der Aufnahme und der durch A gelegten Horizontalebene ist, wenn H die Höhe des Punktes A bezeichnet, = G H.

**) Diese Aequidistanz nehmen wir der Einfachheit wegen an. In Wirklichkeit muss natürlich Schichtenplänen, welche derartigen Zwecken dienen sollen, eine viel geringere Aequidistanz zu Grunde liegen, um so geringer, je weniger geneigt das Terrain ist. (0,1 — 0,5 m.)

also 0,2 m tiefer als a b. Da nun das Terrain 1% Steigung erhalten soll, so wird also die Horizontale von 1 m Höhe in einer Entfernung von 20 m, (nämlich $1:100 = 0,2:20$), parallel zu a b, d. i. in A B zu zeichnen sein. Entsprechend sind die Horizontalen $a_1 b_1$, $a_2 b_2$ etc. um je 20 m zu verschieben.

Will man die Grenze zwischen Auf- und Abtrag in die Karte eintragen, so hat man die Schnittpunkte der Horizontalen des natürlichen Terrains mit den gleichnamigen Horizontalen des projektirten Terrains zu verbinden.

Um den Hang auf dem Felde abzustecken, überträgt man die Linien A B, $A_1 B_1$ etc. ins Feld und treibt die Absteckpfähle so tief in die Erde, dass die Köpfe derselben die den einzelnen Linien A B, $A_1 B_1$ etc. entsprechenden Höhen über dem Horizont der Aufnahme erhalten. (Mit Hülfe des Nivellirinstrumentes.)

3) **Quadratnetzaufnahme.** Fig. 134. Hat man über die umzubauende Fläche ein Quadratnetz gelegt und die Höhen der Quadratecken ermittelt, so erhält man die in jedem Quadrate über dem Horizonte lagernde Erdmasse, wenn man die Höhen der vier Ecken addirt, durch 4 dividirt und mit der Grundfläche des Quadrats multiplicirt. An der Umgrenzung des Grundstücks hat man nur Theile von Quadraten, deren Grundflächen man durch Schätzung als Bruchtheile des ganzen Quadrats ermitteln wird. Bei Berechnung der in den vollen Quadraten lagernden Erdmassen wird die Höhe jeder Ecke so oft in Ansatz kommen, wie die Anzahl der Quadrate, denen sie gemeinschaftlich gehört, angiebt, also die Höhen der Quadratecken m, (in der Mitte des Netzes), je viermal, die Höhen der Ecken r, (am Rande), je zweimal, die Höhen der Ecken a, (ausspringende Ecken), je einmal, und die Höhen der Ecken e, (einspringende Ecken), je dreimal. Man wird also die Summe der Erdmassen der vollen Quadrate erhalten, wenn man die Summe der Höhen der Ecken a durch 4, die der Ecken e durch 3, die der Ecken r durch 2, die der Ecken m durch 1 dividirt, (d. h. letztere wie sie sind, in Rechnung stellt), die Quotienten addirt, und die Summe mit der Fläche des vollen Quadrats multiplicirt.

Soll die Terrainoberfläche in eine horizontale Ebene umgebaut werden, so erhält man die Höhe dieser Ebene, wenn man die berechnete Erdmasse mit der Fläche des Grundstücks dividirt. Zieht man diese Höhe von den Höhen der Quadratecken ab, so erhält man die Höhen der Abträge (+) und der Aufträge (—) an den einzelnen Netzknoten. Fertigt man nun einen Plan, in welchen man die so ermittelten Auf- und Abtragshöhen für jeden Netzknoten einträgt, so wird jeder Schachtmeister, nach gehöriger Instruktion, leicht danach arbeiten können.

Um die zu transportirenden Erdmassen, (Abtragsmassen), zu berechnen, hat man die Abtragshöhen an den einzelnen Ecken zu addiren, wobei jedoch die Höhen an den Ecken a, r und e wieder nur mit $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ und $\frac{3}{4}$ ihres Werthes in Rechnung zu stellen sind, und die Summe mit der Quadratfläche zu multipliciren. Die in den nicht vollen Quadraten vorhandenen Abtragsmassen sind wieder für sich zu berechnen.

Zur Controlle wird man in derselben Weise die Aufträge berechnen, welche den ermittelten Abträgen gleich sein müssen.

Soll durch den Umbau nicht eine Horizontale, sondern irgend eine andere Terrainform geschaffen werden, so ist es nicht schwer, diese durch Höhenzahlen auszudrücken. In Fig. 135 stellen z. B. die fetten Zahlen die Höhen der Netzknoten, wie diese durch Nivellement ermittelt sind, dar. Soll das Terrain in einen

Hang mit 2% Gefälle in der Richtung a b, und auch mit 2% Gefälle in der Richtung a c umgeformt werden, so wird man die Höhen des projektirten Hanges etwa so anzusetzen haben, wie die kleinen Zahlen, 9,5, 9,3 etc., angeben, wobei die Quadratseite zu 10 m Länge angenommen ist, denn der Hang soll auf 100 m 2 m Gefälle, also auf 10 m 0,2 m Gefälle haben, die projektirten Höhen müssen also von Station zu Station um je 0,2 m kleiner werden. Zieht man diese projektirten Höhen von den Terrainhöhen ab, so erhält man die Abtragstiefen bezw. Auftragshöhen für die einzelnen Netzkpunkte. Ermittelt man weiter den cubischen Inhalt der Auf- und Abtragsmassen auf dem oben angedeuteten Wege, vergleicht beide mit einander, so ergibt sich der Bodenüberschuss, bezw. das Bodenmanko, welches man durch die Fläche des Grundstücks zu dividiren hat, um diejenige Höhe zu erhalten, um welche die projektirte Terrainoberfläche noch höher oder tiefer zu legen ist, wenn die Abträge in den Aufträgen aufgehen sollen. Um diesen Betrag sind sämtliche Höhen des Projekts zu vergrößern, bezw. zu vermindern, worauf Auf- und Abtragshöhen noch einmal zu ermitteln und sodann in den Arbeitsplan des Schachtmeisters einzutragen sind. *)

4) **Auflockerung des Bodens.** Hat man die Auf- und Abträge zum Ausgleich gebracht, so wird sich wegen der Auflockerung der abgetragenen Erdmassen bei der praktischen Ausführung des Baues ein Bodenüberschuss ergeben. Derselbe beträgt

- | | | |
|------------------|------|--------------------------|
| 1) im Sandboden | 1% | des abzutragenden Bodens |
| 2) im Lehm Boden | 3—5% | „ „ „ |
| 3) im Thonboden | 4—6% | „ „ „ |

Um diesen Bodenüberschuss zu vermeiden, wird man von vorn herein die **projektirte** Terrainfläche etwas höher anlegen, als die oben angedeuteten Bodenberechnungen ergeben. Hat man z. B. im Sandboden einen Abtrag von 10000 cbm, so werden diese wegen der Auflockerung einen Bodenüberschuss von 100 cbm liefern. Dividirt man diese Kubikmeterzahl durch die Fläche des Grundstücks, so erhält man die Höhe, um welche die projektirte Terrainoberfläche noch höher anzulegen ist, als die bisherigen Bodenausgleichungsrechnungen ergaben.

5) **Lang gestreckte Erdbauten.** Bei langgestreckten Erdbauten schlägt man zur Berechnung der Bodenmassen einen anderen Weg ein. Soll z. B. ein Graben mit bestimmtem Profil und einem gegebenen Gefälle angelegt werden, so nimmt man durch Nivellement das Längenprofil der Grabenlinie, (in Stationslängen von 50 m), auf, und desgleichen an jedem Stationspunkte ein Querprofil des Terrains, von etwas grösserer Ausdehnung, als die durchschnittliche Grabenbreite, (in der Regel mit Hilfe von Setzwage und Richtscheit). Längenprofil und Querprofile werden aufgetragen, in ersteres die projektirte Grabensohle eingezeichnet, Fig. 136a, die Ordinaten derselben für die einzelnen Stationspunkte ermittelt, und unter Zugrundelegung der letzteren das projektirte Normalprofil des Grabens in die einzelnen Terrainquerprofile eingetragen, nach Anleitung der Fig. 136b. Damit sind nun die Querschnitte des auszuhebenden Erdkörpers dargestellt, deren Flächen nun zunächst zu berechnen sind. Um nun die in einer Station auszuhebenden Erdmassen zu berechnen, bildet man aus den Flächen der Querschnitte im Anfangs- und Endpunkte

*) In Fig. 135 ergibt die Rechnung ein Bodenmanko von 870 cbm. Die Fläche des Grundstücks ist = 3000 qm, mithin sind sämtliche Ordinaten des Projekts um $\frac{870}{3000} = 0,29$ m zu kürzen.

der Station das arithmetische Mittel und multiplicirt dasselbe mit der Länge der Station, (in der Regel also mit 50 m).*)

Fig. 137 stellt ein Wegeprojekt durch seine Profile dar. Hier wird man in der eben angedeuteten Weise die Auf- und Abtragsmassen in den einzelnen Stationen berechnen, dieselben vergleichen und durch Heben oder Senken der ursprünglich projektirten Wegehöhe zu erwirken suchen, dass Auf- und Abträge sich innerhalb nicht allzulanger Strecken ausgleichen, damit allzuweite Bodentransporte vermieden werden (vergl. die Massenberechnung zu Fig. 137).

§ 10.

Kostenveranschlagung.**)

Je nach der Schwierigkeit der Bodenbearbeitung unterscheiden wir folgende Bodenklassen:

I. Mit Schaufeln und Spaten leicht zu bearbeitender Boden, (Sand, lockerer Ackerboden).

II. Böden, die sich mit Spaten noch stechen lassen, (leichter Lehm, feiner Kies, Torf).

III. Böden, welche, ehe sie geladen werden können, gelockert werden müssen, (Thon, mit Steinen durchsetzter Boden).

IV. Böden, die mit Spitzhacke gelockert werden müssen, (Gerölle).

V. Felsarten, die mit Brechstange und Keilen zu bearbeiten sind.

VI. Felsarten, die gesprengt werden müssen.

VII. Schwierig zu sprengende Felsarten, (Gneis, Granit, Porphy).

Die Kosten zerfallen in: 1) Kosten für Lösen und Laden des Bodens, 2) Transportkosten. Letztere sind gleich dem Produkt aus der Anzahl der Kubikmeter \times Transportweite, \times einem Transportfaktor, welcher die Kosten des Transports pr. Kubikmeter 1 m weit angiebt.

Für Schiebkarrentransport***) gilt nach Gieseler folgende Tabelle:

Boden-Klasse	Lösen, Laden und Leeren erfordert Stunden pr. cbm	Transportfaktor 1 cbm 1 m weit
I	0,85 — 1,4	0,0082
II	1,4 — 2,0	0,0085
III	2,0 — 2,8	0,0094
IV	2,8 — 3,6	0,0100
V	3,6 — 4,4	0,0102
VI	4,0 — 6,5	0,0105
VII	6,4 — 10,5	0,0108

Für Unterhaltung der Geräthe wird ein Pauschsatz von 10% der übrigen Kosten angesetzt.

*) Ist h die Länge der Station, G und g ihre Endprofile, V das Erdvolumen, so lautet also die Formel $V = \frac{G+g}{2}h$. Diese Näherungsformel hat sich weniger durch ihre Güte, als durch ihre Bequemlichkeit Eingang verschafft. Der der Stereometrie kundige Leser kennt die Formel für den Inhalt des Prismatoids $V = \frac{h}{6}(G + 4m + g)$, worin m die Fläche des in der halben Höhe h gemessenen Querschnitts bezeichnet.

**) Giesler, Erdbau.

***) Wegen der Kosten bei Handkarrentransport vergl. die Formel am Schluss dieses Paragraphen.

Bei Steigungen sind pr. 1 m Steigung der wirklichen Transportweite 20—25 m hinzu zu setzen.

Nebendarbeiten erfordern Arbeitsstunden:

1) Auftrag zu stampfen pr. cbm	0,5,
2) Planiren und Umgraben pr. qm	0,05—0,11,
3) Rasen schälen pr. qm	0,05—0,15,
4) Rasen eindecken und klatschen pr. qm	0,08—0,20,
5) Böschungen planiren, mit Ackererde bekleiden und ansäen pr. qm	0,50—0,75,
6) Boden von Sträuchern reinigen pr. qm	0,50,
7) Baumstämme ausroden, pr. m Stamm-Stärke	30,0.

Ermittelung der Transportweite: Man erwägt, in welche Theile der Auftragsfläche eine zum Abtrag kommende Erdmasse zweckmässig zu vertheilen ist, und ermittelt durch Schätzung die Schwerpunkte der Abtragsmassen und der Auftragsräume, welche durch die betreffenden Abtragsmassen ausgefüllt werden sollen. Die Entfernung dieser Schwerpunkte wird als Transportweite in Rechnung gestellt. Bei langgestreckten Erdbauten, bei welchen die Bodentransporte alle nach einer Richtung hin erfolgen, hat dies keine Schwierigkeiten. Bei Flächenumbauten begnügt man sich mit einem mehr summarischen Verfahren, welches im Folgenden erläutert werden soll:

Massennivellement. Wir verstehen unter Transportgrösse das Produkt aus Erdmasse und Transportweite, welches als Rechteck leicht graphisch dargestellt werden kann. Es sei, Fig. 138, eine Abtragsmasse dazu bestimmt, eine Vertiefung auszufüllen. Wir denken uns die Abtragsmasse in verschiedene Theile, m_1 , m_2 , m_3 . . . zerlegt, und nehmen an, dass dieselben in die gleichbezeichneten Theile der Vertiefung transportirt werden sollen. Alsdann ergibt sich die Transportgrösse

$$T = m_1 w_1 + m_2 w_2 + m_3 w_3 + \dots$$

wenn w_1 , w_2 , w_3 etc. die Transportweiten bezeichnen. Graphisch wird diese Transportgrösse durch die Summe der Rechtecke, Fig. 138a, dargestellt. Setzen wir statt der gebrochenen Grenzlinie der durch diese Rechtecke gebildeten Fläche eine Kurve, (Massennivellements-kurve), wie solche entstehen würde, wenn wir die Massen m_1 , m_2 etc. uns unendlich klein dächten, so ist jede Ordinate dieser Kurve gleich der Summe aller rückwärts liegenden Ab- und Aufträge, wenn letztere mit negativem Vorzeichen gedacht werden. Man erhält also Punkte der Kurve, wenn man die Entfernungen 0—1, 0—2, 0—3 etc. auf einer Abscissenlinie 0 x, Fig. 137a, von 0 aus abträgt und die senkrechten Ordinaten 0, m_1 , $m_1 + m_2$, $m_1 + m_2 + m_3$ etc. errichtet.

Stellen wir in dieser Weise die in Fig. 139 dargestellten Erdtransporte durch eine Massennivellements-kurve dar, so erkennen wir sofort folgende Eigenschaften derselben:

- 1) Die Kurve ist absteigend im Abtrag, aufsteigend im Auftrag, horizontal, wo kein Umbau stattfindet.
- 2) Die Kurve ist um so steiler, je grösser die Auf- bzw. Abtragsmassen.
- 3) Wo die Kurve die Abscissenaxe schneidet, gleichen sich die rückwärts liegenden Auf- und Abträge aus.
- 4) Die Summe der von der Abscissenaxe und der Kurve begrenzten Flächenabschnitte ist gleich der Transportgrösse aller vorkommenden Erdtransporte.

Stellt nun in Fig. 142 der schraffierte Theil den Erdabtrag eines Flächenumbaus dar, der nicht schraffierte die Auftragsfläche, so kann man sich vorstellen, dass alle Erdtransporte nur in der Richtung $a b$ und in der Richtung $a c$ vorgenommen werden, so dass man z. B., anstatt von a direkt nach d zu transportieren, den Weg $a b d$ zurücklegt. Um die Transportgrösse für die in der Richtung $a c$ vorzunehmenden Erdtransporte zu finden, zerlegt man das Grundstück rechtwinklig zu $a c$ in parallele Streifen $a a$ und ermittelt in jedem Streifen den cubischen Inhalt der Auf- und Abträge. Es wird nun in jedem Streifen so lange in der Richtung $a b$ transportirt, bis der Auftragsraum ausgefüllt ist. Der Ueberschuss der Abtragsmassen kommt für die Transportrichtung $a c$ in Betracht. Die Ueberschüsse in den einzelnen Streifen, — welche auch negativ sein können, wenn nämlich der Auftragsraum grösser als die Abtragsmasse, — liefern uns die Ordinaten der Massennivellementscurve für die Transportrichtung $a c$. Ebenso findet man die Massennivellementscurve für die Transportrichtung $a b$, indem man die Fläche in Streifen $b b$ senkrecht zu $a b$ zerlegt. Die Flächen F_1 und F_2 beider Kurven stellen die Transportgrössen für beide Transportrichtungen dar. Ist nun T die Transportgrösse für die gesammten Erdbewegungen, so ist, da man in Wirklichkeit auf direktem Wege transportiren wird, jedenfalls

$$T < F_1 + F_2. \quad a)$$

Dagegen ist, da F_1 und F_2 nur Theile des gesammten Erdtransports darstellen

$$T > F_1 \quad b)$$

und

$$T > F_2. \quad c)$$

Man wird also annähernd T gleichsetzen können entweder dem Mittel aus $a)$ und $b)$, oder dem Mittel aus $a)$ und $c)$, oder dem Mittel aus beiden Mitteln. Es ist also entweder

$$T = F_1 + \frac{F_2}{2} \quad d)$$

oder

$$T = F_2 + \frac{F_1}{2} \quad e)$$

oder endlich

$$T = \frac{3}{4} (F_1 + F_2). \quad f)$$

Ist F_1 gegen F_2 sehr gross, so wird F_1 schon der gesammten Transportgrösse nahe kommen. Man wird daher der Grösse F_1 ein grösseres Gewicht einräumen müssen und daher T nach Gleichung $d)$ berechnen. Im umgekehrten Falle wird man T nach Gl. $e)$, und, wenn F_1 und F_2 annähernd gleich sind, nach $f)$ zu bestimmen haben.

Notizen für Erdarbeiten. Die Wahl der Transportart richtet sich nach Entfernung und Menge der zu transportirenden Erde. Bis 5 m transportirt man durch Schaufelwurf, bis 120 m mittelst Schiebkarren, bis 400 m mit Handkarren, (zweirädrige, von 2 Arbeitern gezogene Kippkarren), bis 1500 m mit Pferdekippkarren. Die Anwendung von Feldeisenbahnen setzt voraus, dass grössere Abtragsmassen auf einer Stelle liegen.

Hohe Aufträge, (Dämme), sind, weil sich der Boden setzt, von vorn herein höher zu schütten, als das Projekt angiebt. Die Ueberhöhung beträgt in Sandboden $\frac{1}{25}$, in Dammerde $\frac{1}{15}$, in Lehm und Thon $\frac{1}{12}$ der beabsichtigten Höhe.

Böschungen sind anzulegen:

In losem Humus oder Sand	2fach
" " Lehm	$1\frac{1}{2}$ fach
Thon	$1-1\frac{1}{4}$ fach
Torf	$\frac{1}{2}-2$ fach.

In quelligen Stellen ist Thon sehr flach (3fach) zu böschen oder besser zu drainiren.

Transportkosten. Für Schiebkarrentransport vergl. die Tabelle auf Seite 154. Handkarrentransport erfordert pr. Kubikmeter an Zeit: a) für Entleeren und Umwenden pr. Karrenladung (3 Ladungen auf 1 cbm) 8 Min., b) pr. Meter Transportweite, incl. Rückweg, 2 Sekunden. Mit Rücksicht darauf, dass zu einem Handkarren 2 Arbeiter gehören, findet man also den Zeitaufwand pr. cbm Erde, bei einer Transportentfernung von w Meter in Arbeitsstunden:

$$\text{Zeit pr. cbm} = \left(0,8 + \frac{1}{300} w\right) \text{ Arbeitsstunden.}$$

Bei schwerem und nassem Boden ist die Arbeitszeit etwas höher zu nehmen. Bei Steigungen rechnet man der wirklichen Transportweite 20—25 m pr. Meter Steigung, bei Gefälle 10—15 m pr. Meter Fall hinzu.

Teil IV.

Hydrometrische Arbeiten
