

Entzerrungsgerät erforderlich. Nach der Umformung der acht Seitenbilder ergibt sich ein zusammenhängendes Bild, das bei ungefähr horizontalem Mittelbild ein quadratisches Gebiet bedeckt, dessen Seite etwa fünfmal so groß ist als die Flughöhe. Da es trotz besonderer Vorrichtungen nicht möglich ist, die Platte im Augenblick der Aufnahme genau horizontal zu legen, so muß das nach Umformung der acht Seitenbilder entstehende Gesamtbild auf Grund der erforderlichen Festpunkte auch noch entsprechend umgeformt werden.

III. Die Grundlage und die Ausführung von topographischen Aufnahmen.

Für die Ausführung einer topographischen Aufnahme ist eine Grundlage sowohl in horizontalem als auch in vertikalem Sinne erforderlich. Es ist möglich, daß eine solche Grundlage schon vorhanden ist; in vielen Fällen muß die Grundlage durch entsprechende Messungen erst geschaffen werden.

A. Die Grundlage für eine topographische Aufnahme.

Muß die Grundlage für eine Aufnahme erst geschaffen werden, so hat man die Aufgabe, eine entsprechende Zahl von Punkten in horizontalem und vertikalem Sinne festzulegen; dabei ist es möglich, daß von einzelnen Punkten nur die Lage und von anderen nur die Höhe bestimmt wird. Für die Durchführung der topographischen Aufnahme ist es zweckmäßig, wenn von möglichst vielen Punkten die Lage und die Höhe bekannt ist. Die Zahl der für die topographische Aufnahme als Grundlage erforderlichen Punkte ist abhängig von dem Maßstab, in dem die Aufnahme ausgeführt bzw. ausgearbeitet werden soll, sowie von der Gestaltung und der Übersichtlichkeit des Geländes; je größer jener Maßstab, je weniger übersichtlich das Gelände ist, desto mehr Punkte sind als Grundlage für die Aufnahme erforderlich. Der Maßstab der Aufnahme oder ihrer Ausarbeitung muß demnach bei der Schaffung der Grundlage, bei der man besser einige Punkte zuviel als zuwenig bestimmt, festliegen.

1. Die Grundlage für die Aufnahme in horizontalem Sinn.

Als horizontale Grundlage für eine topographische Aufnahme kommen Katasterkarten oder Katasterpläne in Frage; stehen solche zur Verfügung, so benutzt man sie als Grundlage für die Aufnahme zweckmäßigerweise auch dann, wenn ihr Maßstab größer ist als derjenige, in dem die topographische Aufnahme auszuführen ist. Kann eine vorhandene zusammenhängende Katasterkarte als Grundlage für die Aufnahme verwendet werden, so ist der Grundriß in der Hauptsache gegeben; die Bestimmung von weiteren Punkten ist dann nur noch in weitparzelliertem Gelände und in größeren Waldungen notwendig. Stehen nicht zusammenhängende Katasterpläne oder solche in verschiedenen Maßstäben zur Verfügung, so muß man sie zuerst zusammen-

arbeiten, im letzteren Fall mit Verwendung des Pantographen oder auch auf photographischem Wege.

Kann keine Katasterkarte für die Aufnahme nutzbar gemacht werden, so hat man die Grundlage für diese in Gestalt eines Punktnetzes erst zu schaffen. Dabei kann man zwei Fälle unterscheiden; in dem einen Fall sind einige wenige Punkte bereits gegeben, im anderen Fall sind in dem aufzunehmenden Gebiet oder seiner Umgebung noch keine benutzbaren Punkte vorhanden. Im letzteren Fall muß man die erste Grundlage durch Ausführung einer Haupttriangulation oder selbständigen Triangulation schaffen. Sind schon einige, wenn auch wenige, Punkte von einer früheren, vielleicht für andere Zwecke ausgeführten Messung oder durch eine eigene selbständige Triangulation im Gelände gegeben und ihrer Lage nach, z. B. durch rechtwinklige Koordinaten, bekannt, so hat man auf Grund dieser Punkte die für die topographische Aufnahme erforderlichen weiteren Punkte zu bestimmen oder festzulegen; die gegebenen Punkte bzw. deren Koordinaten werden dabei als fehlerfrei angenommen.

Die in Frage kommenden Punkte müssen einerseits im Gelände bezeichnet und andererseits für die Zwecke der Messung sichtbar sein. Die Bezeichnung der Punkte — ein Punkt ist in der praktischen Geometrie bestimmt durch eine vertikale Gerade — kann eine natürliche oder eine künstliche sein. Ein Punkt ist in natürlicher Weise bezeichnet durch eine Gebäudespitze, einen Blitzableiter, eine Fahnenstange oder auch durch den gerade gewachsenen Stamm eines einzelstehenden Baumes. Die künstliche Bezeichnung eines Punktes richtet sich nach der Zeitdauer, für die sie halten soll; in Frage kommen behauene Steine mit Loch, eingehauene Zeichen oder eingelassene Metallstücke auf Felsen, Röhren aus Ton oder Metall und Holzpfähle mit eingebohrtem Loch. Die Sichtbarmachung der künstlich bezeichneten Punkte während der Messung geschieht durch entsprechend lange, bemalte oder zum Teil mit Papier umwickelte Holzstangen mit Flaggen oder durch Dreiböcke aus Holz (Abb. 88).

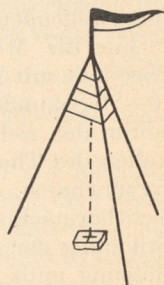


Abb. 88. Sichtbarmachung eines Punktes mit einem Dreibock.

2. Die Ausführung einer selbständigen Triangulation.

Bei einer die Grundlage der ganzen Vermessung bildenden selbständigen Triangulation überzieht man das betreffende Gebiet mit einem Netz von Dreiecken, in welchem man eine Seite — die Grundlinie — und möglichst alle Winkel mißt. Bei der Ausführung einer selbständigen Triangulation kann man die folgenden einzelnen Teile unterscheiden: Anlage des Dreiecksnetzes, Bezeichnung der Dreieckspunkte, Sichtbarmachung der Punkte, Messung der Winkel, Messung der Grundlinie und Berechnung des Netzes.

Bei der Anlage des Dreiecksnetzes, bestehend in der Auswahl der einzelnen Punkte, hat man möglichst gleichseitige Dreiecke anzustreben. Die Anlage des Netzes ist insbesondere abhängig von der Form

des durch das Netz zu bedeckenden Gebietes, von den Höhenverhältnissen und von der Bodenbedeckung; sie erfordert eine eingehende Begehung und sorgfältige Erkundung des Geländes. Die mittlere Größe einer Dreiecksseite richtet sich nach der Ausdehnung des aufzunehmenden Gebietes; bei kleineren Gebieten kann man die ungefähr gleichlangen Dreiecksseiten zwischen 300 und 2000 m wählen, bei größeren Gebieten ist die mittlere Dreiecksseite bis zu 20 und mehr Kilometer groß. Im allgemeinen wird man die Dreieckspunkte möglichst auf höchsten Stellen im Gelände wählen; auf Grund von dem dabei sich ergebenden Punktnetz werden dann die weiteren, für die Durchführung der topographischen Aufnahme erforderlichen Punkte festgelegt. Bei der Auswahl der Dreieckspunkte hat man schon Rücksicht zu nehmen auf die zu messende Grundlinie; dabei tritt häufig der Fall ein, daß man nicht unmittelbar eine Dreiecksseite messen kann.

Die Bezeichnung der Punkte im Gelände geschieht je nach der voraussichtlichen Dauer der ganzen Aufnahme in der oben angegebenen Weise.

Die Sichtbarmachung der Punkte für die Zwecke der Messung richtet sich nach der Länge der Dreiecksseiten und nach der angestrebten Genauigkeit, die selbst wieder insbesondere durch den Maßstab der herzustellenden Karte bestimmt ist.

Für die Messung der Dreieckswinkel verwendet man einen Theodolit mit Nonien, Skalamikroskopen oder Noniusmikroskopen mit 10—20 Sekunden Angabe. Die Messung erfolgt z. B. nach dem Verfahren der richtungsweisen Winkelmessung in drei Sätzen. Das Aufstellen des Theodolits in einem bezeichneten Punkt ist um so genauer vorzunehmen, je kürzer die Sichten sind; dasselbe gilt auch für die Sichtbarmachung der Zielpunkte mit Stangen und dergleichen. Zur Erhöhung der Genauigkeit und zur Aufdeckung von Versehen bei der Messung mißt man möglichst in jedem Dreieck alle drei Winkel.

Zur Messung der Grundlinie ist bereits bemerkt, daß vielfach nicht unmittelbar eine Dreiecksseite gemessen werden kann; man mißt dann (Abb. 89) eine durch Messung der erforderlichen Winkel mit einer

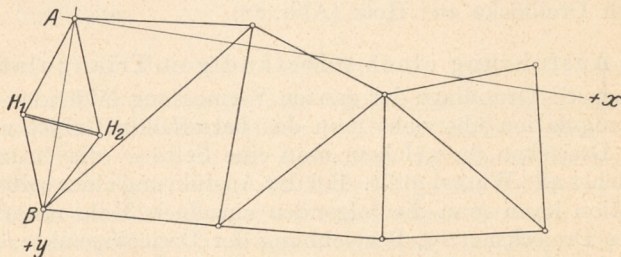


Abb. 89. Überblick über eine selbständige Triangulation.

Dreiecksseite AB in Zusammenhang zu bringende Hilfsstrecke H_1H_2 . Die Punkte H_1 und H_2 wählt man dabei so, daß die Strecke H_1H_2 in möglichst ebenem Gelände verläuft und dementsprechend bequem

und sicher gemessen werden kann. Für die Messung verwendet man ein Paar 5 m lange Meßlatten oder ein z. B. 20 m langes Stahlband; die tatsächliche Länge des benutzten Gerätes muß entweder bekannt sein oder besser vor und nach der Messung mit einer besonderen Vorrichtung¹ bestimmt werden. Die Messung ordnet man so an, daß man die auf $k \times 20$ m (k eine ganze Zahl) abgestimmte Grundlinie in Teilstrecken mit $(20,00 + \Delta a)$ m Länge zerlegt, wobei man Δa gleich 2—5 cm groß wählt. Die Endpunkte der Teilstrecken werden je mit einem Nagel auf einem Holzpfahl bezeichnet und mit dem in einem Endpunkt der Grundlinie aufgestellten Theodolit genau in die Gerade eingewiesen.

Verwendet man 5 m-Latten, so führt man die Messung von jeder Teilstrecke in der Weise aus, daß man die Meßlatten ganz auf den Boden legt und sie ohne Zwischenraum und ohne die vorhergehende Latte zurückzustößen aneinanderreihet; die kleine Strecke Δa wird dabei mit dem Taschenmaßstab auf Millimeter genau gemessen. Da man auch bei scheinbar horizontalem Gelände nie damit rechnen kann, daß jede Latte bei der Messung genau horizontal liegt und bei nicht horizontal liegender Latte etwas zuviel gemessen wird, so muß man für jede Lattenlage mit einem als Gradbogen bezeichneten Hilfsgerät die entsprechende Verbesserung v bestimmen. Ist φ der Neigungswinkel der Latte gegen die Horizontale, so ist — wie sich in einfacher Weise zeigen läßt — $v = 10,00 \sin^2 \frac{\varphi}{2}$ Meter. Am besten verwendet man einen

Gradbogen, an dem man nicht φ , sondern unmittelbar die stets negativ anzubringende Verbesserung v abliest.

Bei Verwendung eines 20 m-Stahlbandes mißt man Δa ebenfalls mit dem Taschenmeter auf Millimeter genau. Um die mit dem Band schief, also nicht horizontal gemessenen Längen der Teilstrecken auf die Horizontale umrechnen zu können, muß man die Höhenunterschiede zwischen den Pfählen mit Hilfe eines Nivellierinstruments bestimmen. Ist h der Höhenunterschied zwischen zwei Teilpunkten, so hat man die gemessene Länge zu verkleinern um $v \approx \frac{h^2}{40,00}$ Meter.

Zur Erhöhung der Genauigkeit mißt man die Grundlinie z. B. viermal, wobei man zweimal in der einen und zweimal in der anderen Richtung mißt.

Die Berechnung des Dreiecksnetzes² bezweckt die Ermittlung von rechtwinkligen Koordinaten für die einzelnen Dreieckspunkte; sie beginnt mit der Abstimmung der Winkel in jedem Dreieck auf 180° , bestehend in der gleichmäßigen Verteilung der Abweichungen auf die einzelnen Winkel. Sind so die Winkel widerspruchsfrei gemacht, so kann man, von der Grundlinie ausgehend, die Längen der einzelnen Dreiecksseiten mit Benutzung des Sinussatzes berechnen. Um für die

¹ Ein bequem zu befördernder „Feldkomparator“ zur Bestimmung der Längen von 5 m-Latten wird von C. Sickler in Karlsruhe hergestellt. Die Bestimmung der Länge eines Stahlbandes mit Hilfe von Normalmetern läßt sich nicht in einfacher Weise im Felde ausführen.

² Vgl. Hammer, E.: Lehr- und Handbuch der ebenen und sphärischen Trigonometrie.

Dreieckspunkte Koordinaten berechnen zu können, muß man ein rechtwinkliges Koordinatensystem annehmen; dies wird man im allgemeinen so wählen, daß der Ursprung mit einem Dreieckspunkt und eine Achse mit einer Dreiecksseite zusammenfällt (Abb. 89).

3. Die verschiedenen Verfahren zur Bestimmung von weiteren Punkten in einem Netz vorhandener Punkte.

Die durch eine neue oder eine alte selbständige Triangulation festgelegten Punkte reichen im allgemeinen als Grundlage für die Durchführung der topographischen Aufnahme nicht aus; man ist daher gezwungen, auf Grund der fehlerfrei anzunehmenden Hauptpunkte weitere Punkte zu bestimmen oder das Punktnetz zu verdichten. Die Bestimmung von solchen Zwischenpunkten kann auf drei Arten erfolgen, nämlich numerisch, graphisch und mechanisch. Bei der numerischen Festlegung werden die dazu erforderlichen Größen gemessen, also in Zahlen ermittelt; die graphische Festlegung erfolgt mit Benutzung des Meßtisches und der Kippregel; die mechanische Festlegung geschieht mit Hilfe einer Meßkammer, also auf photogrammetrischem Wege. Wird ein Punkt numerisch festgelegt, so müssen von den gegebenen Punkten Koordinaten bekannt sein; die Festlegung des Punktes besteht in der Ermittlung seiner Koordinaten. Bei der graphischen Bestimmung von Punkten müssen die gegebenen Punkte in einem bekannten Maßstab aufgezeichnet sein. Für die photogrammetrische Bestimmung von weiteren Punkten in einem vorhandenen trigonometrischen Punktnetz kommt zunächst die Luftphotogrammetrie in Frage; die Erdphotogrammetrie wird nur unter ganz besonderen Verhältnissen zur Anwendung kommen.

Die gegebenen, bereits festliegenden Punkte werden als *Festpunkte* bezeichnet; im Gegensatz dazu heißen die neu zu bestimmenden Punkte *Neupunkte*.

Die Festlegung von Neupunkten kann punktweise, zugweise oder netzweise erfolgen. Bei der punktweisen Bestimmung wird jeder Punkt für sich oder höchstens zwei Punkte gemeinsam festgelegt¹; bei der zugweisen Bestimmung werden mehrere Punkte gemeinsam mit Hilfe eines gebrochenen Linienzuges oder Polygonzuges festgelegt; bei der netzweisen Bestimmung erfolgt die gemeinsame Festlegung von zwei und mehr Punkten mit Hilfe eines Dreiecksnetzes. Die punktweise Bestimmung eines Punktes kann numerisch, graphisch oder photogrammetrisch erfolgen; die zugweise Bestimmung wird am besten numerisch ausgeführt; die netzweise Festlegung von Punkten kann man numerisch oder photogrammetrisch, gelegentlich auch graphisch vornehmen.

4. Punktweise Bestimmung von Neupunkten nach dem numerischen Verfahren.

Bei der numerischen Festlegung von einem Punkt können Strecken und Horizontalwinkel gemessen werden; dabei ist zu beachten, daß die

¹ Die gelegentlich vorkommende gemeinsame Festlegung von mehr als zwei Neupunkten kommt hier kaum in Frage.

Winkelmessung im allgemeinen bequemer auszuführen ist als die Streckenmessung, so daß man diese zunächst nur dann anwenden wird, wenn es sich um kleinere Strecken handelt. Bei Punktbestimmungen für die Zwecke einer topographischen Aufnahme kommen im allgemeinen nur solche Verfahren in Frage, bei denen ausschließlich Winkel gemessen werden; man bezeichnet diese Verfahren auch als trigonometrische Punktbestimmung oder Punkteinschneiden oder Kleintriangulation.

Mißt man zur Festlegung von Neupunkten so viele Winkel als zur eindeutigen Festlegung nötig sind, so heißt dies eine einfache Punktbestimmung; werden mehr Winkel gemessen als unbedingt notwendig sind, so hat man eine mehrfache Punktbestimmung oder eine Punktbestimmung mit überschüssigen Beobachtungen. Führt man überschüssige Beobachtungen aus, so kann man die infolge der unvermeidlichen Messungsfehler auftretenden Widersprüche einer Ausgleichung unterwerfen, oder man benutzt die überschüssigen Beobachtungen nur zum Schutz gegen grobe Fehler. Bei der Bestimmung von Punkten als Grundlage für eine topographische Aufnahme führt man, wie allgemein, wenn irgend möglich überschüssige Messungen aus; man benutzt sie aber im allgemeinen nur zur Aufdeckung von Versehen bei der Messung. Im folgenden ist deshalb nur von der einfachen Punktbestimmung die Rede.

Bei der trigonometrischen Punktbestimmung oder der Punktbestimmung durch Einschneiden kann man die erforderlichen Winkel entweder in Festpunkten oder im Neupunkt messen; im ersten Fall ist durch den gemessenen Winkel eine Gerade, im zweiten Fall ein Kreis bestimmt. Durch einen in einem Festpunkt gemessenen Winkel wird ein Neupunkt „vorwärts eingeschnitten“; durch einen im Neupunkt gemessenen Winkel wird dieser „rückwärts eingeschnitten“. Ein Punkt kann demnach durch zwei Vorwärtseinschnitte, durch zwei Rückwärtseinschnitte oder durch einen Vorwärts- und einen Rückwärtseinschnitt bestimmt sein.

a) In ihrer allgemeinsten Form lautet die Aufgabe der Punktbestimmung durch zwei Vorwärtseinschnitte folgendermaßen: Gegeben sind die Festpunkte A, A', B und B' (Abb. 90) durch ihre Koordinaten (x_a, y_a) , $(x_{a'}, y_{a'})$, (x_b, y_b) und $(x_{b'}, y_{b'})$; gemessen wurden in A und B die beiden Winkel $A'AP = \alpha$ und $B'BP = \beta$. Gesucht sind die Koordinaten (x, y) von P .

Die Ermittlung von x und y kann auf verschiedene Arten durchgeführt werden; löst man die Aufgabe graphisch-numerisch, so ergibt sich das folgende Verfahren¹:

$\alpha)$ Man zeichnet die Festpunkte A, A', B

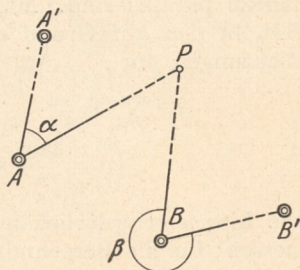


Abb. 90. Punktbestimmung durch zwei Vorwärtseinschnitte.

¹ Die rein rechnerischen Lösungen dieser und der folgenden Aufgaben findet man am besten bei Hammer, E.: Lehr- und Handbuch der ebenen und sphärischen Trigonometrie.

und B' auf Grund ihrer Koordinaten in passendem Maßstab auf und trägt die Winkel α und β z. B. mit Hilfe ihrer Sehnen in dem Kreis mit dem Halbmesser 1 dm ein.

Durch die so entstehende Zeichnung ist ein Näherungspunkt P_0 (Abb. 91) mit den Koordinaten (x_0, y_0) bestimmt, die man in der Zeichnung abmessen kann.

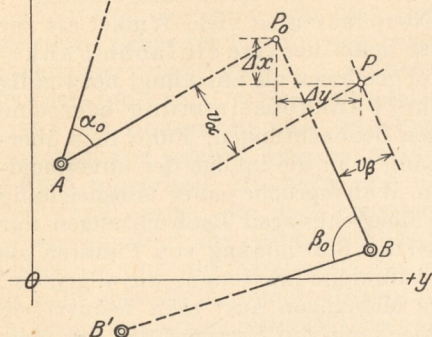


Abb. 91. Graphisch-numerische Lösung des zweifachen Vorwärtseinschnitts.

β) Dem Näherungspunkt P_0 entsprechen an Stelle der „gemessenen Winkel“ α und β die „genäherten Winkel“ α_0 und β_0 , die man auf Grund der Richtungswinkel (AA') , (AP_0) , (BB') und (BP_0) erhält aus:

$$\alpha_0 = (AP_0) - (AA')$$

und

$$\beta_0 = (BP_0) - (BB'),$$

wobei die Richtungswinkel zu berechnen sind aus

$$\operatorname{tg}(AA') = \frac{y_{a'} - y_a}{x_{a'} - x_a},$$

$$\operatorname{tg}(AP_0) = \frac{y_0 - y_a}{x_0 - x_a},$$

$$\operatorname{tg}(BB') = \frac{y_{b'} - y_b}{x_{b'} - x_b},$$

$$\operatorname{tg}(BP_0) = \frac{y_0 - y_b}{x_0 - x_b}.$$

γ) Die genäherten Winkel α_0 und β_0 weichen um die Beträge $\Delta\alpha$ und $\Delta\beta$ von den gemessenen Winkeln α und β ab, so daß

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0 \quad \text{und} \quad \Delta\beta = \beta - \beta_0.$$

Man hat nun in der Zeichnung die den Neupunkt bestimmenden Geraden AP_0 und BP_0 den im allgemeinen kleinen Winkeln $\Delta\alpha$ und $\Delta\beta$ entsprechend zu verändern; dabei hat man zu beachten, daß die Schenkel der beiden kleinen Winkel in der nächsten Umgebung von P_0 nahezu parallel sind. Man verschiebt deshalb die Geraden AP_0 und BP_0 in den auf Grund einer einfachen Überlegung sich ergebenden Richtungen um

$$v_\alpha = \frac{\Delta\alpha}{\varrho} \overline{AP_0} \quad \text{und} \quad v_\beta = \frac{\Delta\beta}{\varrho} \overline{BP_0}$$

$$\left(\varrho = \frac{180^\circ}{\pi} \approx 57,3^\circ \approx 3440' \approx 206\,000'' \right).$$

Die hierzu erforderlichen Strecken kann man in der Zeichnung abmessen; für die Berechnung von v_α und v_β genügt die Genauigkeit des Rechenschiebers.

δ) Trägt man v_α und v_β unter Verwendung eines entsprechend großen Maßstabes in die Figur ein, so erhält man den Punkt P . Die Koordinatenunterschiede Δx und Δy der Punkte P und P_0 stellen die an den Näherungskoodinaten x_0 und y_0 anzubringenden Ver-

besserungen Δx und Δy vor; mißt man diese in der Zeichnung ab, so erhält man die Koordinaten x und y von P aus

$$x = x_0 \pm \Delta x \quad \text{und} \quad y = y_0 \pm \Delta y.$$

Die Vorzeichen von Δx und Δy ergeben sich unmittelbar aus der Zeichnung.

ε) Sind die so ermittelten Koordinaten noch nicht genügend genau, was schon aus den Werten Δx und Δy beurteilt werden kann, so betrachtet man die ermittelten Werte selbst wieder als Näherungswerte und wiederholt mit ihnen das Verfahren.

Sind die beiden Festpunkte A und B (Abb. 90) gegenseitig sichtbar, so hat man einen besonderen Fall der Punktbestimmung durch zwei Vorwärtseinschnitte (Abb. 92).

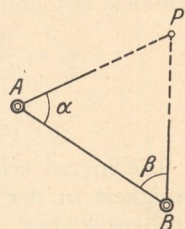


Abb. 92. Besonderer Fall der Punktbestimmung durch zwei Vorwärtseinschnitte.

b) Die Aufgabe der Punktbestimmung durch zwei Rückwärtseinschnitte lautet in der meist vorkommenden Form so:

Gegeben sind die Koordinaten (x_a, y_a) , (x_b, y_b) und (x_c, y_c) der Festpunkte A , B und C (Abb. 93); gemessen wurden die Winkel $APC = \alpha$ und $BPC = \beta$. Gesucht sind die Koordinaten (x, y) von P .

Die graphisch-numerische Lösung der Aufgabe besteht im Grundgedanken darin, daß man mit Hilfe einer maßstäblich ausgeführten Zeichnung für die gesuchten Koordinaten Näherungswerte x_0 und y_0 ermittelt und deren Verbesserungen Δx und Δy zum Teil durch Rechnung, zum Teil durch Zeichnung bestimmt. Der Gang der Lösung ist der folgende:

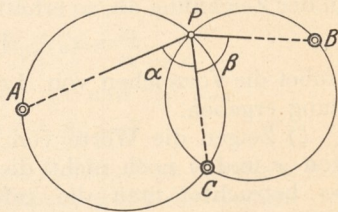


Abb. 93. Punktbestimmung durch zwei Rückwärtseinschnitte.

α) Zeichnerische Ermittlung der Koordinaten (x_0, y_0) eines Näherungspunktes P_0 (Abb. 94).

Man findet P_0 als Schnittpunkt der beiden, durch die Winkel α und β bestimmten Kreise.

β) Berechnung der dem Punkt P_0 entsprechenden „genäherten Winkel“ α_0 und β_0 aus

$$\alpha_0 = (P_0A) - (P_0C)$$

und

$$\beta_0 = (P_0C) - (P_0B),$$

wobei die Richtungswinkel (P_0A) , (P_0B) und (P_0C) zu berechnen aus

$$\operatorname{tg}(P_0A) = \frac{y_a - y_0}{x_a - x_0}, \quad \operatorname{tg}(P_0B) = \frac{y_b - y_0}{x_b - x_0}, \quad \operatorname{tg}(P_0C) = \frac{y_c - y_0}{x_c - x_0}.$$

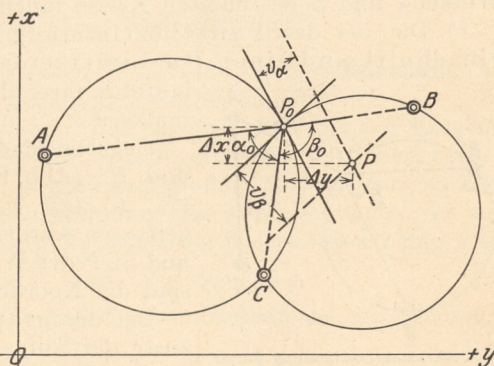


Abb. 94. Graphisch-numerische Lösung des zweifachen Rückwärtseinschnittens.

γ) Berechnung der Winkelunterschiede $\Delta\alpha$ und $\Delta\beta$ aus

$$\Delta\alpha = \alpha_0 - \alpha \quad \text{und} \quad \Delta\beta = \beta_0 - \beta.$$

δ) Läßt man in P_0 an die Stelle der beiden den Neupunkt bestimmten Kreise deren Tangenten treten, so muß man diese den kleinen Winkeln $\Delta\alpha$ und $\Delta\beta$ entsprechend parallel verschieben um

$$v_\alpha = \frac{\Delta\alpha}{\varrho} \frac{\overline{P_0 A} \times \overline{P_0 C}}{\overline{AC}} \quad \text{und} \quad v_\beta = \frac{\Delta\beta}{\varrho} \frac{\overline{P_0 B} \times \overline{P_0 C}}{\overline{BC}}$$

$$\left(\varrho = \frac{180^\circ}{\pi} \approx 57,3^\circ \approx 3440' \approx 206\,000'' \right).$$

Die hierzu erforderlichen Strecken kann man mit genügender Genauigkeit in der Zeichnung abmessen; für die Rechnung genügt der Rechenschieber. Die Richtung der Verschiebung — von dem Kreismittelpunkt weg oder auf ihn zu — ergibt sich aus einer einfachen Überlegung.

ε) Verschiebt man die beiden Tangenten in P_0 unter Benutzung eines entsprechend großen Maßstabes um v_α und v_β , so stellen die Koordinatenunterschiede zwischen ihrem Schnittpunkt P und dem Näherungspunkt P_0 die Verbesserungen Δx und Δy vor; mißt man diese in der Zeichnung ab, so erhält man die Koordinaten x und y von P aus

$$x = x_0 \pm \Delta x \quad \text{und} \quad y = y_0 \pm \Delta y,$$

wobei die Vorzeichen von Δx und Δy sich unmittelbar aus der Zeichnung ergeben.

ζ) Zeigen die Werte von Δx und Δy , daß die ermittelten Werte von x und y noch nicht die gewünschte Genauigkeit haben werden, so betrachtet man die gefundenen Koordinaten selbst wieder als Näherungswerte und wiederholt mit ihnen das ganze Verfahren.

Die Festlegung eines Punktes durch zwei Rückwärtseinschnitte versagt für den Fall, daß der Neupunkt P (Abb. 93) auf dem Kreis durch die drei Festpunkte A , B und C liegt; die beiden, durch die gemessenen Winkel α und β bestimmten Kreise fallen dann zusammen.

c) Die bei der Punktbestimmung durch einen Vorwärtseinschnitt und einen Rückwärtseinschnitt zu lösende Aufgabe lautet in ihrer allgemeinsten Form folgendermaßen:

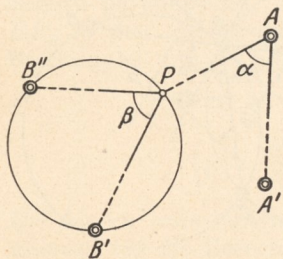


Abb. 95. Punktbestimmung durch einen Vorwärts- und einen Rückwärtseinschnitt.

Gegeben sind die Festpunkte A , A' , B' und B'' (Abb. 95) durch ihre Koordinaten (x_a, y_a) , $(x_{a'}, y_{a'})$, $(x_{b'}, y_{b'})$ und $(x_{b''}, y_{b''})$; gemessen wurden in A der Winkel $A'AP = \alpha$ und in P der Winkel $B'PB'' = \beta$. Gesucht sind die Koordinaten (x, y) von P .

Bei der graphisch-numerischen Lösung der Aufgabe ermittelt man graphisch die Koordinaten x_0 und y_0 eines Näherungspunktes P_0 und bestimmt die an diesen anzubringenden Verbesserungen Δx und Δy halb numerisch, halb graphisch; damit ergibt sich der folgende Rechnungsgang:

α) Ermittlung der Koordinaten (x_0, y_0) von P_0 (Abb. 96) mit Hilfe einer maßstäblich ausgeführten Zeichnung. Man findet P_0 als Schnittpunkt der durch den Winkel α bestimmten Geraden und des durch den Winkel β bestimmten Kreises.

β) Berechnung der durch P_0 bestimmten „genäherten Winkel“ α_0 und β_0 aus

$$\alpha_0 = (AP_0) - (AA')$$

und

$$\beta_0 = (P_0B') - (P_0B''),$$

wobei die Richtungswinkel (AP_0) , (AA') , (P_0B') und (P_0B'') sich ergeben aus

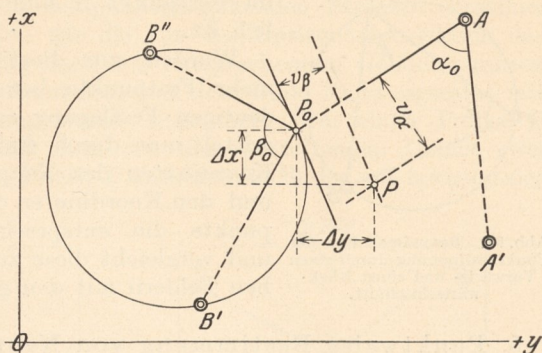


Abb. 96. Graphisch-numerische Lösung des Vorwärts- und Rückwärtseinschneidens.

$$\operatorname{tg}(AP_0) = \frac{y_0 - y_a}{x_0 - x_a}, \quad \operatorname{tg}(AA') = \frac{y_a' - y_a}{x_a' - x_a},$$

$$\operatorname{tg}(P_0B') = \frac{y_b' - y_0}{x_b' - x_0}, \quad \operatorname{tg}(P_0B'') = \frac{y_b'' - y_0}{x_b'' - x_0}.$$

γ) Berechnung der Winkelunterschiede $\Delta\alpha$ und $\Delta\beta$ aus

$$\Delta\alpha = \alpha_0 - \alpha \quad \text{und} \quad \Delta\beta = \beta_0 - \beta.$$

δ) Um von P_0 ausgehend den richtigen Punkt P zu erhalten, muß man den kleinen Winkeln $\Delta\alpha$ und $\Delta\beta$ entsprechend die Gerade AP_0 um v_α und die Tangente in P_0 an den Kreis um v_β parallel verschieben; dabei ist

$$v_\alpha = \frac{\Delta\alpha}{\varrho} \overline{AP_0} \quad \text{und} \quad v_\beta = \frac{\Delta\beta}{\varrho} \frac{\overline{P_0B'} \times \overline{P_0B''}}{\overline{B'B''}}$$

$$\left(\varrho = \frac{180^\circ}{\pi} \approx 57,3^\circ \approx 3440' \approx 206\,000'' \right).$$

Die hierbei gebrauchten Strecken kann man in der Zeichnung abmessen; für die Rechnung genügt der Rechenschieber.

ϵ) Führt man die Verschiebung der Geraden AP_0 und der Tangente in P_0 um v_α bzw. v_β in den auf Grund von einfachen Überlegungen sich ergebenden Richtungen in genügend großem Maßstab aus, so kann man in der sich ergebenden Zeichnung die Verbesserungen Δx und Δy abmessen; man erhält dann die gesuchten Koordinaten x und y aus

$$x = x_0 \pm \Delta x \quad \text{und} \quad y = y_0 \pm \Delta y,$$

wobei die Vorzeichen von Δx und Δy unmittelbar aus der Zeichnung hervorgehen.

ζ) Aus der Größe der Werte Δx und Δy ersieht man, ob die sich ergebenden Werte von x und y die erforderliche Genauigkeit haben; ist dies nicht der Fall, so behandelt man die ermittelten Koordinaten wieder als Näherungswerte und wiederholt mit ihnen das Verfahren.

Ein besonderer Fall der vorliegenden Aufgabe ist der, bei dem die Bestimmung des Neupunktes P (Abb. 97) mit Hilfe von nur zwei Festpunkten durch Messung der Winkel α und β im Festpunkt A und im Neupunkt P möglich ist.

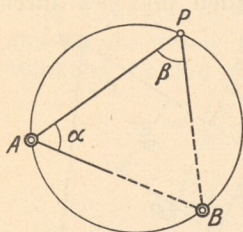


Abb. 97. Besonderer Fall der Punktbestimmung durch einen Vorwärts- und einen Rückwärtseinschnitt.

Wurden zur Bestimmung eines Punktes mehr Festpunkte benutzt als zu seiner eindeutigen Festlegung erforderlich sind, so ermittelt man durch einfaches Einschneiden die Koordinaten des Neupunktes und aus diesen und den Koordinaten der überschüssigen Festpunkte die entsprechenden Richtungswinkel und vergleicht diese zur Aufdeckung von groben Fehlern mit den gemessenen Winkeln.

5. Punktweise Bestimmung von Neupunkten nach dem graphischen Verfahren.

Die graphische Festlegung eines Punktes mit Hilfe des Meßtisches unterscheidet sich von der numerischen Festlegung insbesondere dadurch, daß die erforderlichen Winkel bzw. Richtungen im Gelände mit der Kippregel bestimmt werden. Da die Messung von Strecken für den vorliegenden Zweck noch weniger in Frage kommt als bei der numerischen Festlegung, so erfolgt die Bestimmung eines Punktes entweder durch zwei Vorwärtseinschnitte oder durch zwei Rückwärtseinschnitte oder durch einen Vorwärts- und einen Rückwärtseinschnitt. Mehr noch als beim numerischen Verfahren empfiehlt sich beim graphischen Verfahren die Ausführung von überschüssigen Beobachtungen.

Die Aufstellung des Meßtisches in den Festpunkten zur Bestimmung von Vorwärtseinschnitten geschieht in der früher angegebenen Weise; die Festlegung von Vorwärtseinschnitten ist eine selbstverständliche Sache. Die für Rückwärtseinschnitte in einem Neupunkt zur Bestimmung der erforderlichen Winkel zu zeichnenden Strahlen werden am einfachsten auf Pauspapier festgelegt, so daß sie durch entsprechendes Verschieben in die Zeichnung auf der Meßtischplatte eingepaßt werden können; dies gilt insbesondere für die Festlegung eines Punktes durch mehrere Rückwärtseinschnitte.

6. Punktweise Bestimmung von Neupunkten nach dem photogrammetrischen Verfahren.

Die mechanische oder photogrammetrische Festlegung eines Punktes mit Hilfe von Meßbildern aus einem Luftfahrzeug kann in einem nur geringe Höhenunterschiede aufweisenden Gelände ohne besondere Auswertungsinstrumente ausgeführt werden; in einem Gelände mit größeren Höhenunterschieden erfordert die Punktbestimmung die Benutzung eines Auswertungsinstruments. In beiden Fällen handelt es sich um eine photogrammetrische Punktbestimmung oder photogrammetrische Kleintriangulation mit Hilfe von Luftbildern.

Das bei nahezu ebenem Gelände anzuwendende Verfahren der luftphotogrammetrischen Punktbestimmung¹ beruht darauf, daß bei einem mit horizontaler Ebene aufgenommenen Bilde die vom Bildhauptpunkt nach anderen Bildpunkten gehenden Strahlen dieselben Winkel miteinander bilden wie die von der Horizontalprojektion des Hauptpunktes im Gelände nach den entsprechenden Geländepunkten gehenden Strahlen; man kann demnach dem Bilde Richtungssätze mit dem Scheitel im Bildhauptpunkt entnehmen. Um einen Punkt P (Abb. 98) festzulegen, muß man von dem betreffenden Gebiet zwei sich überdeckende, je den Punkt P enthaltende Bilder mit horizontaler

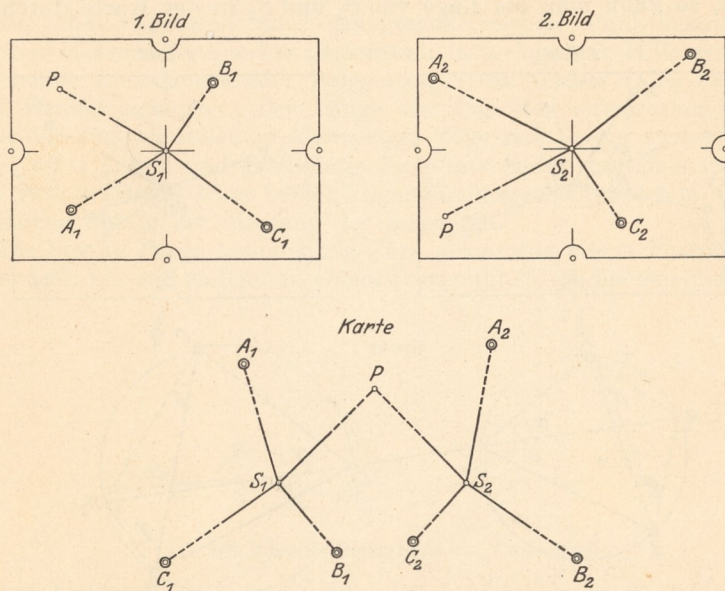


Abb. 98. Luftphotogrammetrische Bestimmung eines Punktes.

Bildebene aufnehmen. Enthält jedes Bild mindestens drei passend liegende Festpunkte A , B und C , so kann man die Horizontalprojektionen der beiden Bildhauptpunkte S_1 und S_2 durch je zwei Rückwärtseinschnitte über A , B und C in der Karte bestimmen; der Neupunkt P ist dann durch zwei Vorwärtseinschnitte von S_1 und S_2 aus bestimmt.

Da es bis jetzt nicht möglich ist, von einem Luftfahrzeug aus Bilder mit genau horizontalen Bildebenen aufzunehmen, so muß man sich mit bis zu 3° geneigten Bildern begnügen. Infolge der dadurch bedingten Ungenauigkeit bestimmt man die Lage der Punkte S_1 und S_2 sowie des Punktes P im allgemeinen graphisch; die hierzu erforderlichen, durch die Bilder bestimmten Strahlenbüschel S , $ABC \dots P$ überträgt man mit Hilfe von Pauspapier von den Bildern in die Karte. Die den nicht

¹ Nicht ganz glücklich wird das Verfahren vielfach als Nadirpunkttriangulation bezeichnet.

genau horizontal liegenden Bildern entnommenen Richtungssätze in S_1 und S_2 liefern dasselbe Ergebnis, wie wenn man in S_1 und S_2 die betreffenden Richtungssätze mit einem Theodolit messen würde, dessen Teilkreis nicht genau horizontal liegt, oder dessen Umdrehungsachse nicht genau vertikal steht während der Messung. Es läßt sich zeigen, daß durch einen Neigungswinkel der Bildebene von 3° bei einer Richtung ein Fehler von nicht mehr als rund 2 Minuten verursacht wird.

Ist es bei zwei sich genügend überdeckenden Bildern möglich, den Hauptpunkt S_1 des ersten Bildes (Abb. 99) im zweiten Bild und den Hauptpunkt S_2 des zweiten Bildes im ersten Bild anzugeben, so kann man die Lage von S_1 und S_2 in der Karte durch ge-

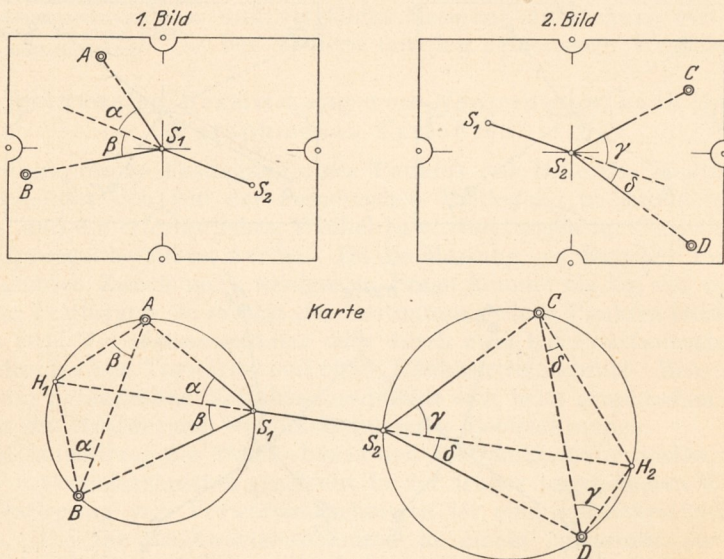


Abb 99. Gemeinsame Festlegung der Hauptpunkte von zwei Luftmeßbildern.

meinsames Rückwärtseinschneiden, im allgemeinsten Fall mit Hilfe von vier Festpunkten A , B , C und D bestimmen, von denen zwei in dem einen und zwei in dem anderen Bild erscheinen. Durch die beiden, den Bildern zu entnehmenden Winkelpaare α und β bzw. γ und δ sind in der Karte die beiden Hilfspunkte H_1 und H_2 bestimmt; man erhält dann S_1 und S_2 als Schnittpunkte der Geraden H_1H_2 mit den Umkreisen der Dreiecke ABH_1 und CDH_2 . Ist die gegenseitige Übertragung der Bildhauptpunkte auf Grund von Einzelheiten in den Bildern nicht ohne weiteres möglich, so wird die Übertragung vielfach dadurch ermöglicht, daß man die Bilder in S_1 und S_2 drehbar befestigt und zugleich die beiden Hauptpunkte durch eine z. B. auf gut durchsichtigem Pauspapier gezogene Gerade verbindet; durch entsprechendes Drehen der Bilder ist es dann möglich, die Bilder auf die Gerade S_1S_2 einzurichten und mit ihrer Hilfe die Hauptpunkte zu übertragen.

Soll in einem Gelände mit beliebigen Höhenunterschieden ein Neupunkt P auf Grund vorhandener Festpunkte bestimmt werden, so erfordert dies ebenfalls die Aufnahme von zwei den Punkt P enthaltenden Meßbildern, deren Ebenen aber beliebig liegen können. Die Bestimmung des Punktes P auf Grund der beiden Bilder geschieht am besten stereophotogrammetrisch mit Verwendung eines Auswertungs-instruments — Aerokartograph oder Stereoplanigraph — in der früher angegebenen Weise; die drei Koordinaten des Punktes P können dabei an dem Auswertungsinstrument abgelesen werden.

7. Zugweise Bestimmung von Neupunkten.

Bei der zugweisen oder polygonometrischen Punktbestimmung werden mehrere Neupunkte gemeinsam festgelegt mit Hilfe eines gebrochenen Linienzuges oder Polygonzuges; es werden dabei Strecken und Winkel gemessen. Der Länge der Zugseiten entsprechend kann man die Züge einteilen in kleinseitige Züge mit Seiten zwischen 100 und 200 m Länge und großseitige Züge mit Seiten zwischen 300 und 1000 m Länge. Diese beiden Zugarten unterscheiden sich im Grundgedanken nur in der Messung der Zugseiten.

Die hier in Frage kommenden Züge gehen von einem Festpunkt A (Abb. 100) aus und endigen in einem Festpunkt E ; die bei einem solchen

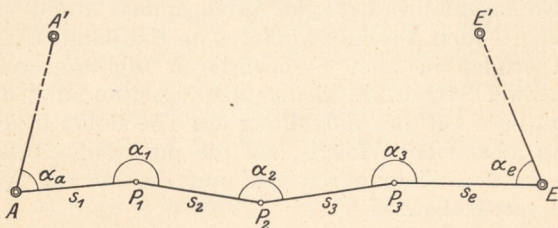


Abb. 100. Zugweise Bestimmung von Neupunkten.

„angeschlossenen Zug“ auszuführenden Arbeiten bestehen in der Auswahl und Bezeichnung der Zugpunkte, der Messung der Winkel und Seiten und der Berechnung des Zuges.

Die Auswahl der Zugpunkte richtet sich nach der beabsichtigten topographischen Aufnahme; sie ist insbesondere abhängig von der Übersichtlichkeit und Beschaffenheit des Geländes. Die Punkte sind so zu wählen, daß sie eine bei der Durchführung der topographischen Aufnahme bequem zu benutzende Grundlage abgeben. Ob man großseitige oder kleinseitige Züge wählt, ist zunächst abhängig von der Übersichtlichkeit des Geländes und von dem Maßstab, in dem die Aufnahme ausgeführt bzw. ausgearbeitet werden soll. In wenig übersichtlichem Gelände, also besonders im Walde, ist man zu kleinseitigen Zügen gezwungen; in übersichtlichem Gelände, also in freiem Felde, wird man möglichst großseitige Züge anstreben; die Länge der Zugseite richtet sich dabei insofern nach dem Maßstab der Aufnahme, als man sie um so größer wählen kann je kleiner der Maßstab ist.

Die zugweise Punktbestimmung mit großseitigen Zügen hat im Ver-

gleich zur punktweisen Punktbestimmung nach den früher angegebenen Verfahren des Einschneidens zwei Vorteile; erstens kann die Auswahl der Punkte ohne besondere — unter Umständen zeitraubende — Erkundungen im Gelände durchgeführt werden, und zweitens kann die Sichtbarmachung der Punkte für die Zwecke der Messung einfacher vorgenommen werden.

Mit Rücksicht auf die unvermeidlichen Fehler bei der Winkelmessung und die Verteilung der bei der Rechnung auftretenden Widersprüche wählt man die einzelnen Zugpunkte möglichst so, daß der Zug eine langgestreckte Form hat, und daß die verschiedenen Seiten eines Zuges ungefähr gleichlang sind.

Die Bezeichnung der Zugpunkte im Gelände geschieht im allgemeinen mit Holzpfählen mit eingebohrtem Loch, in das zur Sichtbarmachung der Punkte für die Messung ein Fluchtstab gesteckt werden kann. Im einzelnen sind die Zugpunkte örtlich so zu wählen, daß bei der Winkelmessung die vertikal gestellten Fluchtstäbe möglichst am Boden angezielt werden können.

Für die Winkelmessung verwendet man einen Theodolit mit Nonien oder Noniusmikroskopen oder auch Skalamikroskopen und einer Angabe von 20 oder 30 Sekunden. Zu messen hat man außer den eigentlichen Zugwinkeln α_1 , α_2 und α_3 in den Zugpunkten P_1 , P_2 und P_3 (Abb. 100) den Anschlußwinkel α_a im Anfangspunkt A und — zum Schutz gegen Versehen — den Abschlußwinkel α_e im Endpunkt E . Die Messung der Winkel erfolgt in zwei Fernrohrlagen richtungsweise, im allgemeinen in zwei Sätzen. Je kleiner die Zugseiten sind, desto größere Sorgfalt muß man auf die Aufstellung des Theodolits in dem Scheitelpunkt des zu messenden Winkels, auf die pünktliche Aufsteckung der Fluchtstäbe in den Zielpunkten und auf die genaue Anzielung der Fluchtstäbe verwenden.

Die Messung der Zugseiten s_1 , s_2 , s_3 und s_e geschieht bei kleinseitigen Zügen entweder unmittelbar mit Meßplatten oder einem Stahlband oder mittelbar mit einem Doppelbildentfernungsmesser mit der Grundstrecke im Zielpunkt, bei großseitigen Zügen mittelbar mit dem Schraubenentfernungsmesser. Verwendet man 5 m-Latten, so mißt man derart, daß man die Meßplatten ganz auf den Boden legt und sie ohne Zwischenraum und ohne die vorhergehende Latte zurückzustoßen aneinanderreihet; die dann an jeder Latte negativ anzubringende Verbesserung wegen nicht horizontaler Lage der Latte bestimmt man mit einem Gradbogen, der am besten so eingerichtet ist, daß man an ihm unmittelbar die Verbesserung und nicht den Neigungswinkel abliest. Benutzt man mit Rücksicht auf die Bequemlichkeit bei der Beförderung ein Stahlmeßband, so legt man dieses ebenfalls ganz auf den Boden und bestimmt die an jeder Bandlage anzubringende Verbesserung entweder unmittelbar mit einem der Bandlänge entsprechenden Gradbogen oder mittelbar mit Hilfe des mit einem Gefällmesser zu bestimmenden Neigungswinkels φ des Bandes; im letzteren Falle ist die Verbesserung $v = 2L \sin^2 \frac{\varphi}{2}$, wobei L die Länge des Bandes ist.

Die mittelbare Streckenmessung hat den Vorteil, daß man unabhängig von Messungshindernissen ist.

Die Berechnung eines Zuges besteht in der Ermittlung der rechtwinkligen Koordinaten (x_1, y_1) , (x_2, y_2) und (x_3, y_3) der Zugpunkte P_1, P_2 und P_3 (Abb. 100) auf Grund der gegebenen Koordinaten (x_a, y_a) , (x_a', y_a') , (x_e, y_e) und (x_e', y_e') der Anschlußpunkte A, A', E und E' .

Berechnet man die Richtungswinkel (AA') und (EE') von AA' und EE' auf Grund der Gleichungen

$$\operatorname{tg}(AA') = \frac{y_a' - y_a}{x_a' - x_a} \quad \text{und} \quad \operatorname{tg}(EE') = \frac{y_e' - y_e}{x_e' - x_e},$$

so erhält man die Richtungswinkel $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ und φ_e der Zugseiten aus

$$\varphi_1 = (AA') + \alpha_a$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \alpha_1 \pm 180^\circ$$

$$\varphi_3 = \varphi_2 + \alpha_2 \pm 180^\circ$$

$$\varphi_e = \varphi_3 + \alpha_3 \pm 180^\circ.$$

Berechnet man auch noch (EE') aus

$$(EE') = \varphi_e + \alpha_e \pm 180^\circ,$$

so erhält man eine Probe für die Richtigkeit der Messung und der Rechnung. Im allgemeinen zeigt sich bei der Berechnung von (EE') infolge der Ungenauigkeit der Koordinaten der Festpunkte und der unvermeidlichen Messungsfehler ein Widerspruch, den man gleichmäßig auf die gemessenen Winkel $\alpha_a, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ und α_e verteilt.

Nachdem man so die Richtungswinkel der einzelnen Zugseiten ermittelt hat, kann man die Koordinaten der Zugpunkte berechnen an Hand der Gleichungen

$$x_1 = x_a + s_1 \cos \varphi_1 \quad y_1 = y_a + s_1 \sin \varphi_1$$

$$x_2 = x_1 + s_2 \cos \varphi_2 \quad y_2 = y_1 + s_2 \sin \varphi_2$$

$$x_3 = x_2 + s_3 \cos \varphi_3 \quad y_3 = y_2 + s_3 \sin \varphi_3.$$

Eine Probe für die Messung und Rechnung erhält man dadurch, daß man auch die Koordinaten von E berechnet aus

$$x_e = x_3 + s_e \cos \varphi_e \quad \text{und} \quad y_e = y_3 + s_e \sin \varphi_e.$$

Die dabei sich zeigenden Widersprüche im Vergleich zu den gegebenen Koordinaten von E verteilt man proportional den Zugseiten auf die $s \cos \varphi$ - und $s \sin \varphi$ -Werte.

Für die Berechnung von Zügen empfiehlt sich die Verwendung eines entsprechend eingerichteten Vordrucks.

8. Netzweise Bestimmung von Neupunkten nach dem numerischen Verfahren.

Die netzweise Punktbestimmung besteht in der gemeinsamen Festlegung von zwei und mehr Punkten mit Hilfe eines Dreiecksnetzes; die dabei vorkommenden Dreiecksnetze kann man einteilen in einfach und mehrfach angeschlossene Netze. Ein einfach angeschlossenes Netz ist im Koordinatensystem nur eindeutig festgelegt, es enthält also nur

zwei Festpunkte; ein mehrfach angeschlossenes Netz ist im Koordinatensystem mehrdeutig festgelegt, es enthält also mehr wie zwei Festpunkte. In einem mehrfach angeschlossenen Netz treten infolge der fehlerfrei anzunehmenden, aber nicht ganz fehlerfreien Koordinaten der Festpunkte und der unvermeidlichen Messungsfehler Widersprüche auf, die entweder durch eine Ausgleichung zu tilgen sind oder — wenn, wie im vorliegenden Fall, nur eine geringere Genauigkeit angestrebt wird — vernachlässigt werden können. Mit Rücksicht auf den Schutz gegen Meß- und Rechenfehler verdient das mehrfach angeschlossene Netz den Vorzug; es gibt aber auch Fälle, bei denen man sich mit einem einfach angeschlossenen Netz begnügen muß. Aus demselben Grund mißt man bei jeder Netzform in jedem Dreieck möglichst alle drei Winkel, wobei man die Widersprüche bei der Summe von je drei Winkeln gleichmäßig auf die einzelnen Winkel verteilt.

Bei den Aufgaben der netzweisen Punktbestimmung kommt zunächst das numerische Verfahren, unter Umständen auch das photogrammetrische Verfahren zur Anwendung.

Bei den netzweisen Punktbestimmung nach dem numerischen Verfahren, bei dem die erforderlichen Winkel mit dem Theodolit gemessen werden, kann man für den Fall des einfach angeschlossenen Netzes zwei Netzformen unterscheiden; bei der einen Form ist die Verbindungsgerade der beiden Festpunkte eine Seite (Abb. 101), bei der anderen eine Diagonale (Abb. 102) des Netzes. Bei den mehrfach

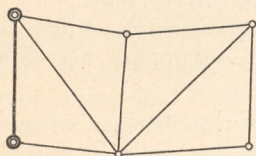


Abb. 101. Dreiecksnetz mit einfachem Seitenanschluß.

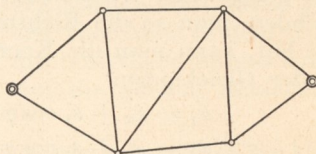


Abb. 102. Dreiecksnetz mit einfachem Punktanschluß.

angeschlossenen Netzen lassen sich vier Anschlußarten unterscheiden, nämlich Seitenanschluß, Punktanschluß, Seiten- und Punktanschluß sowie Richtungs- und Punktanschluß. Beim Seitenanschluß enthält

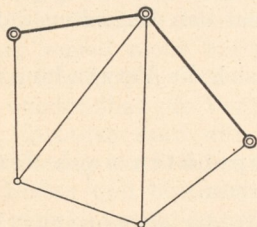


Abb. 103. Mehrfach angeschlossenes Dreiecksnetz mit Seitenanschluß.

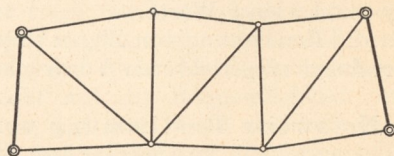


Abb. 104. Mehrfach angeschlossenes Dreiecksnetz mit Seitenanschluß.

das Netz mindestens zwei, von Festpunkten begrenzte Seiten, die entweder zusammenstoßen (Abb. 103) oder nicht (Abb. 104). Ist Punkt-

anschluß vorhanden, so enthält das Netz mindestens drei, durch Neupunkte getrennte Festpunkte (Abb. 105). Bei einem Netz mit Seiten- und Punktanschluß enthält das Netz mindestens eine durch zwei Festpunkte bestimmte Seite und noch mindestens einen weiteren, auf jene

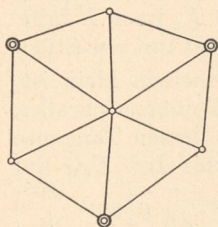


Abb. 105. Mehrfach angeschlossenes Dreiecksnetz mit Punktanschluß.

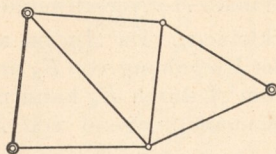


Abb. 106. Mehrfach angeschlossenes Dreiecksnetz mit Seiten- und Punktanschluß.

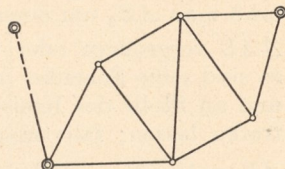


Abb. 107. Mehrfach angeschlossenes Dreiecksnetz mit Richtungs- und Punktanschluß.

Festpunkte nicht unmittelbar folgenden Festpunkt (Abb. 106). Ist Richtungs- und Punktanschluß vorhanden, so ist das Netz durch Messung eines Winkels an eine feste Richtung und außerdem an mindestens zwei, durch Neupunkte getrennte Festpunkte angeschlossen (Abb. 107).

Die Berechnung eines einfach oder mehrfach angeschlossenen Netzes, bestehend in der Ermittlung der Koordinaten der Neupunkte, ist besonders einfach für den Fall eines Seitenanschlusses; die Berechnung beginnt mit der Bestimmung der Netzseiten nach dem Sinussatz, die Ermittlung der Koordinaten der Neupunkte geschieht in derselben Weise wie bei der zugweisen Punktbestimmung.

Die Berechnung eines Netzes mit einfachem Punktanschluß (Abb. 102) kann man nach dem folgenden graphisch-numerischen Verfahren durchführen:

Gegeben sind die Koordinaten (x_a, y_a) und (x_e, y_e) von A und E (Abb. 108); zur Bestimmung der Koordinaten (x_1, y_1) bis (x_4, y_4) der vier Neupunkte P_1 bis P_4 sind alle zwölf Winkel der vier Dreiecke gemessen. Infolge der nicht vermeidbaren Messungsfehler zeigen die Winkelsummen in den Dreiecken Widersprüche; diese verteilt man gleichmäßig auf die einzelnen Winkel und erhält dann die der Berechnung des Netzes zugrunde zu legenden Winkel α_1 bis α_{12} . Löst man die Aufgabe graphisch mit Hilfe einer maßstäblichen Zeichnung, so kann man dieser z. B. der Seite AP_1 entsprechend für die Seitenlänge und

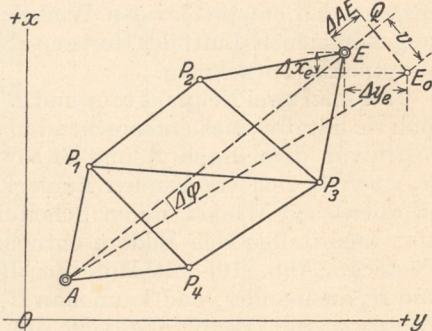


Abb. 108. Berechnung eines Dreiecksnetzes mit einfachem Punktanschluß.

den Richtungswinkel die Näherungswerte $\overline{AP_{0,1}}$ und $(AP_{0,1})$ entnehmen. Berechnet man mit $\overline{AP_{0,1}}$ mit Benutzung des Sinussatzes die übrigen

Dreiecksseiten und mit diesen und $(AP_{0,1})$ die Koordinaten des Punktes E , so erhält man nicht E , sondern einen Näherungspunkt E_0 . Sind Δx_e und Δy_e die Koordinatenunterschiede von E_0 und E , so kann man mit ihnen unter Verwendung eines großen Maßstabes und Berücksichtigung der Vorzeichen E_0 in die Zeichnung eintragen. Damit E_0 nach E fällt, muß man AE_0 um einen Winkel $\Delta\varphi$ verschwenken und um ein Stück $\Delta\overline{AE}$ vergrößern oder verkleinern. Da $\Delta\varphi$ im allgemeinen klein ist, so sind seine Schenkel in der Umgebung von E_0 und E nahezu parallel, und an Stelle des Kreises um A durch E_0 kann man dessen Tangente treten lassen; fällt man dementsprechend von E_0 das Lot E_0Q auf AE und mißt man $E_0Q = v$ und QE ab, so ist $\Delta\varphi = \frac{v}{\overline{AE}} \varrho \left(\varrho = \frac{180^\circ}{\pi} \right)$

und $\Delta\overline{AE} = QE$. Hieraus ergibt sich, daß man die Näherungswerte $\overline{AP}_{0,1}$ und $(AP_{0,1})$ verändern muß um $\Delta\overline{AP}_1 = \frac{\overline{AP}_1}{\overline{AE}} \Delta\overline{AE}$ bzw. $\Delta\varphi$.

Berechnet man mit den so sich ergebenden Werten erneut die Koordinaten von E und stimmen diese noch nicht mit der gewünschten Genauigkeit mit den gegebenen Werten überein, so muß man das Verfahren wiederholen.

9. Netzweise Bestimmung von Neupunkten nach dem photogrammetrischen Verfahren.

Mehrere Punkte kann man in nahezu ebenem Gelände gemeinsam festlegen mit Hilfe eines Dreiecksnetzes, in welchem man die erforderlichen Winkel mit Hilfe von horizontal aus einem Luftfahrzeug aufgenommenen Meßbildern bestimmt. Das Verfahren dieser „netzweisen photogrammetrischen Punktbestimmung mit Hilfe von horizontalen Luftbildern“ beruht darauf, daß bei einem Meßbild mit horizontaler Bildebene die vom Bildhauptpunkt ausgehenden Winkel dieselben sind wie die von der Projektion des Hauptpunktes auf die Erde ausgehenden entsprechenden Winkel; man kann also einem horizontal aufgenommenen Luftbild Horizontalwinkel mit dem Scheitel im Bildhauptpunkt entnehmen.

Hat man zwei Neupunkte A und B (Abb. 109) im Gelände, und erfaßt man sie mit drei, sich entsprechend überdeckenden horizontalen Bildern, so ist von dem durch A und B sowie die drei Bildhauptpunkte H_1 , H_2 und H_3 sich ergebenden Fünfeck die Gestalt bestimmt; die dazu erforderlichen Winkel, deren Scheitel in H_1 , H_2 und H_3 liegen, kann man unmittelbar den Bildern entnehmen. Reiht man mehrere solcher Fünfecke (Abb. 110) mit Hilfe der Bildhauptpunkte H_0 , H_1 , H_2 , H_3 und H_4 aneinander, und kann man H_0 und H_4 in der früher angegebenen Weise je mit Benutzung von drei Festpunkten durch Rückwärts-einschneiden festlegen, so kann man die entstehende Figur nach Gestalt, Größe und Lage im Koordinatensystem bestimmen und damit die Neupunkte A_1 , B_1 , A_2 , B_2 , A_3 und B_3 festlegen.

Die Aufnahme von genau horizontal liegenden Bildern ist bis jetzt nicht möglich; man muß deshalb mit um wenige Grade geneigten

Bildern vorliebnehmen. Mit Rücksicht auf die dadurch bedingten Ungenauigkeiten wird man sich im allgemeinen mit einer graphischen Bestimmung der Neupunkte begnügen; die dazu erforderlichen Winkel kann man unmittelbar den Bildern entnehmen.

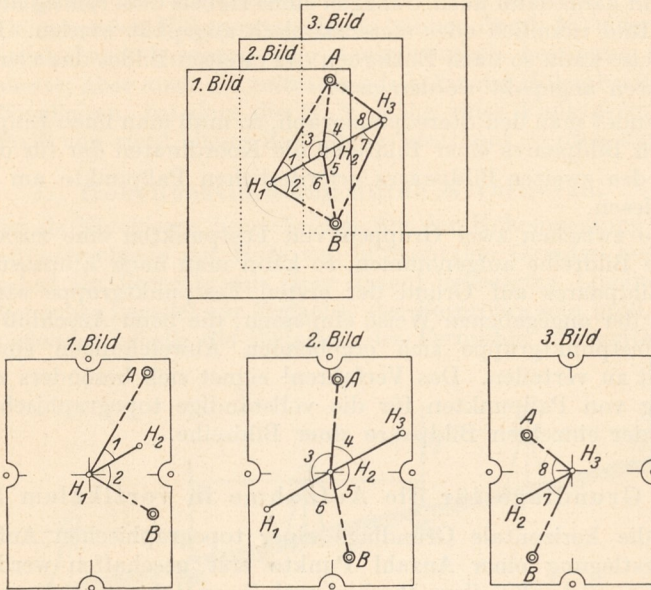


Abb. 109. Netzweise Punktbestimmung mit Hilfe von Luftbildern.

Das im vorstehenden angedeutete Verfahren¹ der photogrammetrischen Punktbestimmung eignet sich besonders zur Festlegung der zum Einpassen der Bilder in einem Einbildinstrument erforderlichen Paßpunkte. Die mit dem Verfahren erreichbare Genauigkeit entspricht der einer sehr guten Zeichnung.

In einem Gelände mit beliebigen Höhenunterschieden können auf Grund einer zusammenhängenden Bildreihe, bei der je zwei aufeinanderfolgende Bilder ein Bildpaar vorstellen, mit Hilfe eines Auswertungsinstruments mehrere Punkte gemeinsam festgelegt werden. Das infolge einer eigenartigen Einrichtung hierfür besonders geeignete Instrument ist der Aerotopograph G. m. b. H.

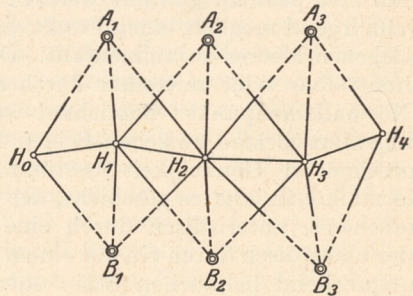


Abb. 110. Netzweise Punktbestimmung mit Hilfe von Luftbildern.

¹ Eine eingehende Behandlung des Verfahrens hat J. Koppmair gegeben in den Allg. Vermess. Nachr. 1929, 33; es werden dabei insbesondere auch die Fehlerinflüsse von Höhenunterschieden in dem Gelände behandelt, auf die hier nicht eingegangen werden kann.

Diese Einrichtung besteht darin, daß man bei der Auswertung einer Bildreihe nach Einpassung des aus dem ersten und zweiten Bild bestehenden Bildpaares auf Grund der erforderlichen Festpunkte das zweite Bild in seiner Lage läßt und nur das erste Bild durch das dritte ersetzt; das dritte Bild kann dann nach Umlegen eines Hebels dem richtig liegenden zweiten Bild räumlich oder stereoskopisch angepaßt werden. In ähnlicher Weise kann so nach Entfernen des zweiten Bildes das vierte Bild dem dritten angepaßt werden usw.

Verwendet man den Stereoplanigraph, so muß man nach Einpassung des ersten Bildpaares einer Bildreihe die Koordinaten der für die Einpassung des zweiten Bildpaares erforderlichen Paßpunkte am Instrument ablesen.

Wurde zwischen zwei Gruppen von Festpunkten eine zusammenhängende Bildreihe aufgenommen, so kann man nach Einpassung des ersten Bildpaares auf Grund der ersten Festpunktgruppe sämtliche Bilder in der angegebenen Weise einpassen; die beim Anschluß an die zweite Festpunktgruppe sich ergebenden Abweichungen sind entsprechend zu verteilen. Das Verfahren¹ eignet sich besonders zur Bestimmung von Paßpunkten für die vollständige topographische Auswertung der einzelnen Bildpaare einer Bildreihe.

10. Die Grundlage für die Aufnahme in vertikalem Sinne.

Muß die horizontale Grundlage einer topographischen Aufnahme durch Festlegung einer Anzahl Punkte erst geschaffen werden, so empfiehlt es sich, dieselben Punkte auch ihrer Höhe nach festzulegen.

Man mißt Höhenunterschiede oder relative Höhen und berechnet aus ihnen absolute Höhen oder Normalnullhöhen oder N. N.-Höhen. Um Normalnullhöhen berechnen zu können, braucht man einen „Normalnullpunkt“ oder Ausgangspunkt für die Höhen; ein solcher kann entweder schon vorhanden sein, wie in den meisten Kulturstaaen, oder er muß erst passend gewählt werden. Als Normalnullpunkt wählt man, wenn irgend möglich, einen Punkt, der mit dem Mittelwasser des nächstgelegenen Meeres zusammenfällt. Der Normalnullpunkt muß entweder unmittelbar oder mittelbar durch einen anderen, passend gewählten „Normalhöhenpunkt“ bezeichnet werden; im letzteren Fall muß der Höhenunterschied zwischen beiden Punkten mit einer dem Zweck entsprechenden Genauigkeit bestimmt werden. Die Bezeichnung des Normalhöhenpunktes geschieht, der Wichtigkeit der ganzen Arbeit entsprechend, unterirdisch durch eine einbetonierte Marke aus Rotguß oder oberirdisch durch ein auf einem Felsen eingehauenes Zeichen, einen entsprechend behauenen Stein oder einen Holzpfehl. Mit Rücksicht auf die Unsicherheit eines solchen Punktes wählt man unter Umständen in der nächsten Umgebung des Normalhöhenpunktes zwei oder drei

¹ Die photogrammetrische Gruppe des Reichsamtes für Landesaufnahme — vgl. dessen Mitteilungen, 2. Jg., Nr 2, S. 90 — hat die Genauigkeit des Verfahrens mit dem Aerokartograph untersucht; die Ergebnisse dieser Untersuchung lassen das Verfahren als aussichtsreich erscheinen.

weitere Hilfspunkte, die man ähnlich bezeichnet, und deren Höhenunterschiede in bezug auf den Hauptpunkt ebenfalls bestimmt werden.

Bei der Bestimmung der Höhen der die Grundlage einer topographischen Aufnahme bildenden Punkte hat man die gesamte Messung so anzuordnen, daß sie vom Großen ins Kleine vor sich geht; die dabei in Frage kommenden Höhenunterschiede können durch Nivellieren oder durch Vertikalwinkelmessung oder tachymetrisch bestimmt werden. Die genaueste, aber auch die zeitraubendste Art der Höhenbestimmung ist das Nivellieren, bei dem die N. N.-Höhe eines Punktes mit einer Unsicherheit von rund einem Zentimeter bestimmt werden kann.

11. Höhenbestimmung durch Nivellieren.

Bei der als Nivellieren bezeichneten Art der Höhenmessung werden die Höhenunterschiede mit Hilfe von horizontalen Geraden bestimmt; dies erfordert ein Fernrohr mit einer darauf befestigten Libelle, wobei die Libellenachse parallel zur Zielachse des Fernrohrs sein muß, so daß bei einspielender Libelle die Zielachse des Fernrohrs horizontal liegt.

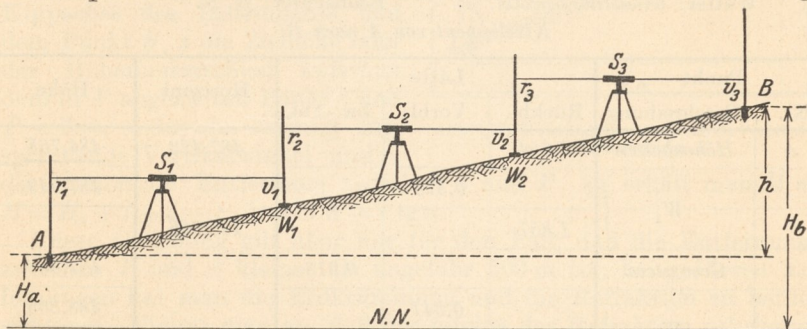


Abb. 111. Höhenbestimmung durch Nivellieren.

Ist die N. N.-Höhe H_a eines Punktes A (Abb. 111) gegeben, und soll die N. N.-Höhe H_b eines Punktes B bestimmt werden, so erhält man, wenn h der Höhenunterschied zwischen A und B ist, H_b aus $H_b = H_a \pm h$. Soll h durch Nivellieren bestimmt werden, so kann man dies im allgemeinen nicht mit nur einer horizontalen Geraden ausführen; man stellt dann das Instrument — Tachymetertheodolit mit Nivellierlibelle auf dem Fernrohr — in passender Entfernung von A in S_1 auf und macht bei einspielender Libelle mit dem Horizontalfaden — sind drei Fäden vorhanden, mit dem „Nivellierfaden“ — an einem in A vertikal auf gehaltenen Maßstab (Nivellierlatte) die als Rückblick bezeichnete Ablesung r_1 . Der Lattenträger wählt dann einen Hilfs- oder Wechselpunkt W_1 und hält auf ihm die Latte vertikal auf, so daß bei einspielender Libelle die als Vorblick bezeichnete Ablesung v_1 gemacht werden kann. Während die Latte in W_1 bleibt, wird das Instrument nach einem Standpunkt S_2 gebracht und dort aufgestellt; sodann werden je bei einspielender Libelle von S_2 aus der Rückblick r_2 und für einen Wechselpunkt W_2 der Vorblick v_2 abgelesen. In ähnlicher Weise werden von einem In-

strumentstandpunkt S_3 aus die Ablesungen r_3 und v_3 gemacht. Die N. N.-Höhe H_b ergibt sich an Hand der Abbildung aus

$$H_b = H_a + r_1 - v_1 + r_2 - v_2 + r_3 - v_3$$

oder

$$H_b = H_a + \Sigma r - \Sigma v.$$

Die Entfernung zwischen Latte und Instrument oder die Zielweite ist abhängig von den jeweiligen Steigungsverhältnissen und von der angestrebten Genauigkeit; soll diese groß sein, so wählt man als größte Zielweite 50 m und führt die Ablesungen an der Latte, die dann eine Zentimeterteilung haben muß, auf Millimeter genau aus. Kann man sich mit einer geringeren Genauigkeit begnügen, so liest man an der dann nur eine Halbdezimeterteilung tragenden Latte auf Zentimeter genau ab; bei der Zielweite geht man dann bis 100 und mehr Meter.

Höhenbestimmung durch Nivellieren.

Datum: 1929, Juli 25.

Instrument: 46.

Wetter: windstill, bewölkt.

Beobachter: N. N.

Nivellement von A nach B.

Punkt-		Latte			Horizont	Höhe
Nr.	Beschreibung	Rückbl.	Vorbl.	Zw.-Abl.		
A	Höhenbolzen	2,654			487,422	484,768
			0,373			487,049
	— W_1 — {	1,857			488,906	
1	Grenzstein			0,918		487,988
			0,541			488,365
	— W_2 — {	2,026			490,391	

Für die Aufschreibung der bei der Messung gemachten Ablesungen und für die Berechnung der aus ihnen sich ergebenden Höhen empfiehlt sich die Verwendung eines Vordruckes, in dem die einzelnen Ablesungen nach Rückblicken und Vorblicken geordnet eingeschrieben werden.

Sind die Punkte, deren Höhenunterschiede bestimmt werden sollen, weit auseinander, so daß die Messung mehr als z. B. fünf Instrumentaufstellungen erfordert, so bestimmt man mit Rücksicht auf Störungen bei der Messung nebenher die Höhen von natürlich bezeichneten, passend gewählten Hilfs- oder Zwischenpunkten. Führt man die Berechnung eines Nivellements in der Weise durch, daß man die N. N.-Höhen der Instrumenthorizonte durch Addieren der Rückblicke bestimmt, so erhält man die Höhe eines Zwischenpunktes durch Subtrahieren der betreffenden Lattenablesung vom Instrumenthorizont. Ein Vordruck mit einem Beispiel für die Aufschreibung und die Rechnung ist oben angegeben.

Zur Aufdeckung von groben Fehlern oder zur Verschärfung der Messung führt man die Nivellementszüge derart aus, daß sie in Punkten

mit bekannter N. N.-Höhe abschließen; unvermeidliche Anschlußfehler kann man vielfach der Zahl der Instrumentaufstellungen entsprechend verteilen. Größere Nivellementsnetze werden nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen¹.

12. Höhenbestimmung durch Vertikalwinkelmessung.

Hat man für die Aufnahme eines Gebietes die Höhen einer Anzahl Punkte durch Nivellieren bestimmt, so kann man von diesen Punkten ausgehend die Höhen weiterer Punkte durch Vertikalwinkelmessung bestimmen; die dabei zu lösende Aufgabe lautet so:

Gegeben ist die N. N.-Höhe H_s eines Punktes S (Abb. 112), in dem der Theodolit aufgestellt werden kann; gesucht ist die N. N.-Höhe H eines Punktes P .

Ist i die Instrumentenhöhe oder der Höhenunterschied zwischen der Kippachse des Instruments und dem Punkt S , z die Zielhöhe oder der Höhenunterschied zwischen dem in P angezielten Punkt² und P selbst, α der der Zielung entsprechende Vertikalwinkel und e

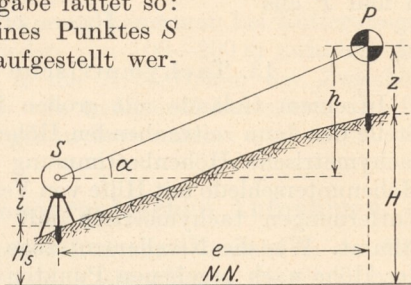


Abb. 112. Höhenbestimmung durch Vertikalwinkelmessung.

die horizontale Entfernung zwischen S und P , so erhält man H aus $H = H_s + i \pm h - z$, wobei $h = e \operatorname{tg} \alpha$.

Diese Gleichung gilt aber nur für den Fall, daß die Entfernung e zwischen P und S kleiner als ungefähr 500 m ist; bei größeren Entfernungen hat man die Erdkrümmung und die Refraktion zu berücksichtigen. Nimmt man an, daß der infolge der Refraktion gekrümmte Zielstrahl nahezu die Form eines Kreisbogens hat, so kann man H berechnen auf Grund der Gleichung

$$H = H_s + i \pm e \operatorname{tg} \alpha + \frac{e^2}{2r} (1 - k) - z,$$

in der r der Erddhalbmesser, also gleich 6370000 m, und k der „Refraktionskoeffizient“ ist.

Der Refraktionskoeffizient k ist abhängig von der Beschaffenheit der Luft; er ist mit dieser an verschiedenen Orten und an demselben Ort zu verschiedenen Zeiten verschieden. Man kann k dadurch bestimmen, daß man die N. N.-Höhe H eines Zielpunktes P durch Nivellieren bestimmt. Liegen für das in Frage kommende Gebiet keine besonderen Bestimmungen von k vor, so kann man $k = 0,13$ annehmen; dieser aus zahlreichen Messungen hervorgegangene Mittelwert gilt für mittlere Verhältnisse, bei nicht zu feuchter und nicht zu staubreicher Luft. Mit Rücksicht auf die Schwankungen, denen der Refraktionskoeffizient k unterworfen ist, muß man auch unter scheinbar mittleren

¹ Vgl. z. B. Werkmeister, P.: Einführung in die Ausgleichsrechnung. Stuttgart 1928.

² Für die Zwecke der Messung muß P entweder mit einer besonderen Zieltafel oder einer Querlatte an einer vertikalen Stange bezeichnet werden.

Verhältnissen bei $k = 0,13$ mit einer Unsicherheit von $\pm 0,1$ oder bei einer Entfernung von 3 km mit einem mittleren Höhenfehler von rund $\pm 0,1$ m rechnen; man vermeidet deshalb Zielungen auf Entfernungen von mehr als 3 km.

Die Messung des Vertikalwinkels α erfolgt in zwei Fernrohrlagen und möglichst mehrmals, wobei man zwischen je zwei Messungen den Nullmarkenfehler des Vertikalkreises verändert.

Die Entfernung e zwischen dem Standpunkt S und dem Zielpunkt P erhält man z. B. auf Grund der Koordinaten (x_s, y_s) und (x, y) von S und P aus

$$e = \sqrt{(x_s - x)^2 + (y_s - y)^2}.$$

13. Tachymetrische Höhenbestimmung.

In einem Gelände mit großen Höhenunterschieden kann man an Stelle der dann zeitraubenden Höhenbestimmung durch Nivellieren die tachymetrische Höhenbestimmung anwenden; bei dieser werden die Höhenunterschiede mit Hilfe von Vertikalwinkeln und die erforderlichen Entfernungen tachymetrisch mit dem Fadenentfernungsmesser bestimmt. Wie die Nivellementszüge gehen solche Tachymeterzüge von der Höhe nach gegebenen Punkten aus und sollen in solchen Punkten abschließen.

Sind H_a und H_e die gegebenen N. N.-Höhen zweier Punkte A und E (Abb. 113) und soll die N. N.-Höhe H eines Punktes P bestimmt werden, so stellt man den Tachymetertheodolit der Reihe nach in S_1, S_2 und

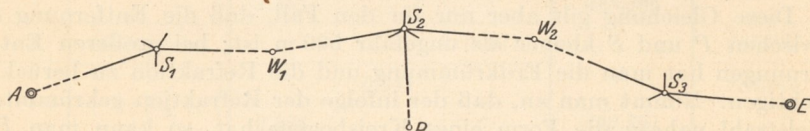


Abb. 113. Tachymetrische Höhenbestimmung.

S_3 und die mit einer Zentimeterteilung versehene Latte in A, W_1, P, W_2 und E auf. Bezeichnet man die N. N.-Höhen der Instrumentenhorizonte in S_1, S_2 und S_3 mit H_1, H_2 und H_3 , diejenigen der Hilfs- oder Wechsellpunkte W_1 und W_2 mit $H_{w'}$ und $H_{w''}$, die entsprechenden Höhenunterschiede mit $h_r', h_v', h_r'', h_v'', h_r''', h_v'''$ und die Einstellungen mit dem Nivellierfaden an der Latte mit $z_r', z_v', z_r'', z_v'', z_r''', z_v'''$, so ergeben sich die N. N.-Höhen nach früherem auf Grund der Gleichungen

$$\begin{aligned} H_1 &= H_a - (h_r' - z_r'), & H_{w'} &= H_1 + (h_v' - z_v'), \\ H_2 &= H_{w'} - (h_r'' - z_r''), & H &= H_2 + (h_v'' - z_v''), \\ & & H_{w''} &= H_2 + (h_v'' - z_v''), \\ H_3 &= H_{w''} - (h_r''' - z_r'''), & H_e &= H_3 + (h_v''' - z_v'''). \end{aligned}$$

Dabei haben die einzelnen Höhenunterschiede h das Vorzeichen der Vertikalwinkel α ; man erhält die Höhenunterschiede aus

$$h = \frac{1}{2} E \sin 2\alpha, \quad \text{wobei} \quad E = k_0 l + \Delta E.$$

Die Lattenabschnitte l zwischen den beiden äußeren Horizontalfäden bestimmt man auf Millimeter genau; dementsprechend wählt man die Entfernungen zwischen Instrument und Latte nicht größer als 50—60 m. Für die Vertikalwinkel genügt Messung in einer Fernrohrlage und Ablesung auf eine Minute genau. Die Höhenunterschiede und die N. N.-Höhen berechnet man auf Zentimeter genau. Den nicht zu vermeidenden Anschlußfehler in E verteilt man gleichmäßig auf die einzelnen Standpunkte.

Für die Aufschreibung und die Rechnung verwendet man den früher, für Bussolenzüge angegebenen Vordruck.

Bei tachymetrischer Höhenbestimmung kann man bei Entfernungen von 2—3 km und Höhenunterschieden von 100—200 m zwischen den beiden Anschlußpunkten A und E die N. N.-Höhen der Zwischenpunkte mit einem mittleren Fehler von wenigen Zentimetern, also für topographische Zwecke genügend genau bestimmen.

B. Die Ausführung von topographischen Aufnahmen.

Die Aufgabe einer topographischen Aufnahme besteht in der Herstellung einer topographischen Karte, d. h. einer Karte, die alle in bezug auf den Grundriß in Frage kommenden Einzelheiten enthält, und in der die Geländeformen dargestellt sind. Topographische Karten in den Maßstäben 1:2500, 1:5000, 1:10000 und 1:25000 mit einer Darstellung der Geländeformen in Höhenschichtlinien bilden die Grundlage für die Vorarbeiten bei Ingenieurbauten, für geologische Aufnahmen, für forstwirtschaftliche Arbeiten und für kartographische Arbeiten jeder Art.

Eine topographische Aufnahme zerfällt in die Aufnahme des Grundrisses und in die Aufnahme der Geländeformen. Da die Genauigkeit der Geländedarstellung von besonderer Wichtigkeit ist, so wird im folgenden im Anschluß an die Besprechung der Aufnahme auch von der Genauigkeit und der Prüfung der Geländedarstellung die Rede sein.

Im Zusammenhang mit der Aufnahme steht die Beschaffung von Unterlagen für die Beschriftung der zu fertigenden Karte; Feststellungen hierzu werden vielfach am besten an Ort und Stelle gemacht.

1. Die verschiedenen Aufnahmeverfahren.

Bei topographischen Aufnahmen werden die einzelnen Punkte tachymetrisch festgelegt; in Frage kommen also die drei als Theodolittachymetrie, Meßtischtachymetrie und Phototachymetrie oder Photogrammetrie bezeichneten Verfahren. Bei der Verwendung des Tachymetertheodolits oder des Meßtisches wird die Aufnahme des Grundrisses und der Geländeformen gemeinsam durchgeführt; bei der Photogrammetrie werden Grundriß und Geländeformen in einem Gelände mit geringen Höhenunterschieden nacheinander, sonst gemeinsam aufgenommen.

Die Photogrammetrie eignet sich nur für übersichtliches, nicht bedecktes Gelände; bei der Aufnahme bzw. Darstellung der Geländeformen versagt sie bei Gelände mit geringen Höhenunterschieden. Wertvolle Dienste leistet die Photogrammetrie bei der Aufnahme von schwer

oder überhaupt nicht zugänglichem Gelände. Die Photogrammetrie ergibt im allgemeinen keine lückenlose Aufnahme; insbesondere erfordern die mit Bäumen bedeckten Flächen Ergänzungsmessungen mit dem Tachymetertheodolit oder dem Meßtisch. Die Photogrammetrie liefert in bezug auf den Grundriß und die Geländeformen keine kartographisch ohne weiteres verwertbare Aufnahme; insbesondere erfordert die Einteilung der Bahnen, Straßen und Wege sowie die Aufnahme der vielen, im Grundriß darzustellenden topographischen Einzelheiten eine entsprechende Begehung des Geländes. Die Auswertung der aufgenommenen Meßbilder setzt photographisch gute Bilder voraus; die Photogrammetrie ist deshalb von der Beleuchtung und Witterung und damit auch unter Umständen von der Jahreszeit abhängig; sie bietet aber andererseits den Vorteil, daß die eigentliche Feldarbeit, bestehend in der Aufnahme der Meßbilder, nur wenig Zeit erfordert.

Nachdem Instrumente zur bequemen Auswertung von Luftaufnahmen hergestellt werden, und nachdem die verschiedenfach angestellten Untersuchungen gezeigt haben, daß die Ergebnisse von luftphotogrammetrischen Aufnahmen den zu stellenden Genauigkeitsanforderungen in bezug auf Grundriß und Geländedarstellung durchaus genügen, wird man heute aus naheliegenden Gründen der Luftphotogrammetrie im allgemeinen den Vorzug vor der Erdphotogrammetrie geben; trotzdem kann die letztere z. B. bei der Aufnahme von Talhängen gelegentlich gute Dienste leisten.

Wie eine Reihe von Versuchen gezeigt hat, kann die Luftphotogrammetrie zur Auswertung in allen topographisch in Frage kommenden Maßstäben benutzt werden. Die Flughöhe, d. h. der mittlere Höhenunterschied zwischen dem aufzunehmenden Gelände und den Punkten, in denen die Bilder aufgenommen werden, richtet sich nach dem Maßstab, in dem die Bilder ausgewertet werden sollen; im allgemeinen wird die Flughöhe derart gewählt, daß der Maßstab der Bilder etwas kleiner ist als der Auswertungsmaßstab.

Die Theodolittachymetrie kann sowohl bei der Aufnahme von freiem, übersichtlichem Gelände als auch bei der von bedecktem, unübersichtlichem Gelände Verwendung finden. Da bei der Theodolittachymetrie im Gegensatz zur Meßtischtachymetrie die Ausarbeitung der Aufnahme nicht im Gelände ausgeführt werden muß, die Feldarbeit also beschränkt werden kann, so eignet sich die Theodolittachymetrie besonders auch für solche Fälle, bei denen die eigentliche Aufnahme mit Rücksicht auf Witterungsverhältnisse oder aus sonst einem Grunde möglichst rasch durchgeführt werden soll. Der zahlenmäßige Aufschrieb aller zur Festlegung eines Punktes erforderlichen Größen bei der Theodolittachymetrie bietet im Vergleich zur Meßtischtachymetrie den Vorteil, daß die ganze Aufnahme oder ein Teil von ihr erforderlichenfalls später auch in einem größeren Maßstab als in dem der ursprünglichen Ausarbeitung aufgetragen werden kann.

Die Meßtischtachymetrie kommt zunächst für die Aufnahme von sichtfreiem Gelände in Frage, bei dem man von jedem Instrumentstandpunkt aus eine größere Zahl von Punkten festlegen kann; für die

Aufnahme von nicht sichtfreiem Gelände, das öftere Aufstellungen des Instruments erfordert, ist sie nicht zu empfehlen. Da bei der Meßtischtachymetrie die Aufzeichnung der einzelnen Punkte einfach und rasch vor sich geht, eignet sich diese graphische Tachymetrie besonders für den Fall, daß die gesamte Aufnahme im Felde maßstäblich gezeichnet werden soll. Die Hauptnachteile des Meßtisches bestehen darin, daß der Meßtisch weniger bequem zu befördern und weniger bequem aufzustellen ist als der Tachymetertheodolit, daß die Meßtischplatte beim Begehen des Geländes zur Vornahme der erforderlichen Einzeichnungen unhandlich ist, daß die Aufnahme mit Rücksicht auf die Zeichnung stark von der Witterung abhängig ist, und daß die genaue Ausführung der Zeichnung im Feld eine große Übung und Sicherheit erfordert.

Ob man die Theodolittachymetrie oder die Meßtischtachymetrie anwendet, ist abhängig von der vorhandenen Übung und ist bis zu einem gewissen Grad eine Geschmackssache. Trotzdem kann man sagen, daß man die Meßtischtachymetrie möglichst nur dann verwendet, wenn jeder einzelne Instrumentstandpunkt weitgehend ausgenutzt werden kann und ein Begehen des Geländes nicht oder doch nur in geringem Umfang erforderlich ist. Steht als Grundlage für die Aufnahme eine Katasterkarte in großem Maßstab — 1:2500 oder 1:5000 — zur Verfügung, so verwendet man am besten den Tachymetertheodolit; der Meßtisch kommt dann nur zur Aufnahme von übersichtlichen und weitparzellierten Teilen in Frage.

Mit Rücksicht auf die Ausführung der Zeichnung ist die Wahl des Aufnahmeverfahrens auch vom Maßstab abhängig, in dem die Aufnahme ausgearbeitet werden soll; von diesem Gesichtspunkt aus ist die Meßtischtachymetrie besonders für Aufnahmen in kleinen Maßstäben zu empfehlen. Mit Rücksicht auf den Maßstab eignet sich die Meßtischtachymetrie besonders für Aufnahmen in 1:25000, 1:10000 und noch 1:5000; die Theodolittachymetrie kommt besonders für Aufnahmen in 1:2500, 1:5000 und noch 1:10000 in Frage.

Da man jede topographische Karte als Grundlage zur Herstellung einer Karte in kleinerem, aber nicht zu einer in größerem Maßstab verwenden kann, so empfiehlt es sich, den Aufnahmemaßstab von Anfang an möglichst groß zu wählen. Je größer der Maßstab einer Karte gewählt wird, desto größere Verwendungsmöglichkeit wird die Karte haben. Zu beachten ist auch, daß die Aufnahme in einem kleinen Maßstab — 1:25000 und 1:10000 — eine größere Übung erfordert als eine solche in größerem Maßstab — 1:2500 und 1:5000.

2. Die Aufnahme des Grundrisses.

Die Aufnahme des Grundrisses besteht in der Aufnahme der Bahnen, Straßen, Wege, Gewässer, Grenzen zwischen verschiedener Bodenbewachsung, Wohnplätze und sonstigen topographischen Einzelheiten.

Bei den Bahnen hat man zu unterscheiden zwischen Haupt-, Neben- und Kleinbahnen, Straßenbahn, Seil- oder Schwebebahn und Förder- oder Wirtschaftsbahn. Im Zusammenhang mit den Bahnen hat man

insbesondere Bahnhöfe, steinerne und eiserne Brücken und Tunnel-
eingänge aufzunehmen.

Die Straßen und Wege müssen bei der Aufnahme nach ihrer Benutzbarkeit eingeteilt werden in breite und gut gebaute Straßen, weniger breite und weniger gut gebaute Straßen, unterhaltene, für Personenkraftwagen jederzeit brauchbare Fahrwege, unterhaltene und weniger gute Fahrwege, Feld- und Waldwege, Fußwege und Knüppeldämme. Aufzunehmen sind Kunstbauten, wie Brücken und Stege; dabei ist zu unterscheiden, ob sie aus Stein, Eisen oder Holz sind.

Bei der Aufnahme der Gewässer hat man außer Quellen, Bächen, Flüssen, Kanälen, Seen und nassen Gräben besonders aufzunehmen Wasserfälle, Stromschnellen, Wehre, Schleusen, Pegel, Talsperren, Molen, Fährn, Brücken aus Stein, Eisen oder Holz, Durchlässe, Wasserbehälter, Brunnenstuben, Brunnen und dergleichen.

Bei den verschiedenen Bodenbewachungen hat man insbesondere zu unterscheiden zwischen Laubwald, Nadelwald, Mischwald, Heide, Acker, Wiese und Weingarten; regelmäßige oder unregelmäßige Baumpflanzungen und Gebüsche auf Heiden oder Wiesen sind besonders aufzunehmen.

Die Aufnahme von Wohnplätzen erfordert die Aufnahme von Straßen, Wegen, Gebäuden und Gärten. Bei geschlossenen Ortschaften ist besondere Sorgfalt auf die Aufnahme des Ortssaumes zu legen, wobei Einfriedigungen aus Stein, Holz, Eisen und Pflanzen zu unterscheiden sind; innerhalb von Ortschaften werden an Einfriedigungen nur hohe Park- und Kirchhofsmauern aufgenommen. Bei Kirchen und Kapellen wird die Lage des Turmes besonders angegeben. Außerhalb von Ortschaften liegende Gebäude, wie Schlösser, Forsthäuser, Fabriken, Mühlen und dergleichen sind besonders zu bezeichnen. Baumpflanzungen innerhalb von Ortschaften sind ihrer Lage und Dichte entsprechend aufzunehmen. Besonderer Wert ist auf die klare Hervorhebung der Hauptstraßen innerhalb der Ortschaften zu legen.

Das was an Einzelheiten aufzunehmen ist, richtet sich insofern nach dem Maßstab der herzustellenden Karte als man z. B. in 1:2500 mehr Einzelheiten zur Darstellung bringen kann als in 1:25000. An Einzelheiten kommen in Frage: Im Zusammenhang mit Bahnen, Straßen und Wegen stehende Baumpflanzungen, Gräben, Böschungen, Kunst- und Erdbauten; im Zusammenhang mit Gewässern Uferverkleidungen aus Stein, Holz oder Flechtwerk; außerdem Ruinen, Grabhügel, Schanzen, Ringwälle, Feldkreuze, größere freistehende Wegweiser, Denkmäler, Denksteine, Bildstöcke, Keller, Wart- und Aussichtstürme, einzelstehende und auf größere Entfernungen auffallende Bäume, Schächte, Stollen, Bohrlöcher, Eingänge zu Höhlen, Kalk- und Zementöfen, Köhlerplatten, Sand-, Lehm-, Mergel- und Kiesgruben, Gips- und Steinbrüche, Schutthalden, einzelne Felsblöcke, Steinriegel, Erdfälle, Felsen, Böschungen, Reihen und Gruppen von Bäumen und Gebüschen.

Die Aufnahme der im Grundriß darzustellenden Gegenstände geschieht durch Festlegung der erforderlichen Punkte und Linien mit dem Tachymetertheodolit, dem Meßtisch oder der Meßkammer; für ihre

zeichnerische Darstellung sind besondere Zeichen im Gebrauch, die aus den Musterblättern der in der Herstellung begriffenen Kartenwerke zu ersehen sind. Die Aufnahme des Grundrisses erfolgt bei Verwendung von Tachymetertheodolit oder Meßtisch zusammen mit der des Geländes; die Durchführung der Aufnahme wird deshalb mit der Geländeaufnahme besprochen.

Bildet eine zusammenhängende Katasterkarte — wie in Bayern und Württemberg — die Grundlage für die Aufnahme, oder kann die Grundlage durch entsprechende Zusammenarbeit von vorhandenen Katasterplänen geschaffen werden, so ist der Grundriß in der Hauptsache gegeben. Muß die Aufnahme auf Grund von einzelnen, punkt-, netz- oder zugweise bestimmten Punkten ausgeführt werden, und verwendet man dazu den Tachymetertheodolit oder den Meßtisch, so zeichnet man den Grundriß am besten sofort im Gelände maßstäblich auf; dies ist nicht erforderlich für den Fall, daß es sich um die Aufnahme eines nur kleinen Gebietes handelt.

3. Die Aufnahme und Darstellung der Geländeformen.

Die Aufnahme der Geländeformen ist vielfach der wichtigste und zeitraubendste Teil der ganzen Aufnahme; ihr Ziel besteht darin, die Geländeformen in Höhengichtlinien¹ zur Darstellung zu bringen.

Man kann die Höhengichtlinien entweder unmittelbar oder mittelbar bestimmen. Die unmittelbare Zeichnung der Schichtlinien ist nur möglich bei photogrammetrischer Aufnahme und Auswertung mit einem Zweibildinstrument; dabei wird die auf die betreffende N. N.-Höhe eingestellte „wandernde Marke“ in dem räumlich gesehenen Bild dem Gelände entlang geführt und die entsprechende Schichtlinie von dem Zeichenstift selbsttätig aufgezeichnet.

Bei der mittelbaren Bestimmung der Schichtlinien erhält man diese auf Grund einzelner, nach Lage und Höhe festzulegender Punkte; dabei können diese Punkte in der Höhe entweder beliebig oder auf den Schichtlinien selbst liegen. Die Bestimmung der Schichtlinien durch Aufsuchen und Festlegen von Schichtlinienpunkten im Gelände kommt für topographische Aufnahmen soviel wie nicht in Frage.

Werden, wie dies bei topographischen Aufnahmen üblich ist, die zur Ermittlung der Schichtlinien erforderlichen Punkte unabhängig von deren Höhe gewählt, so sind sie ihrer Lage nach im Gelände derart auszuwählen, daß durch sie allein die Geländeformen festgehalten werden; die Punkte müssen demnach dann so gewählt werden, daß durch sie alle für die Geländedarstellung wichtigen Punkte und Linien zum Ausdruck gebracht werden. Es müssen also insbesondere alle wichtigen Geländepunkte, wie Kuppen, Kessel und Sättel, und alle wichtigen Geländelinien, wie Rücken-, Mulden- und Gefällwechsellinien punktweise erfaßt und festgelegt werden. Sind diese die Hauptformen des Geländes zum Ausdruck bringenden Punkte und Linien bei flachen Formen nicht unmittelbar zu erkennen, so tritt an die Festlegung einzelner Punkte und Linien

¹ Eine Höhengichtlinie ist die Schnittlinie des Geländes mit einer Horizontalebene in bestimmter N. N.-Höhe.

die punktweise Festlegung eines Flächenstückes in der Umgebung einer Kuppe, eines Kessels oder eines Sattels bzw. eines Flächenstreifens entlang eines Rückens, einer Mulde oder einer Gefällwechsellinie.

Die Zeichnung der Höhengichtlinien auf Grund der den Geländeformen entsprechend gewählten Punkte erfordert die Bestimmung von Schichtlinienpunkten zwischen den aufgenommenen Punkten. Bei dieser Einschaltung eines Schichtlinienpunktes zwischen zwei aufgenommenen Geländepunkten muß man zunächst annehmen, daß das Gelände zwischen den zwei Punkten geradlinig verläuft; die lineare Einschaltung erfolgt dann mit Benutzung eines graphisch-mechanischen Hilfsmittels — in der Abb. 114 ist ein solches angedeutet

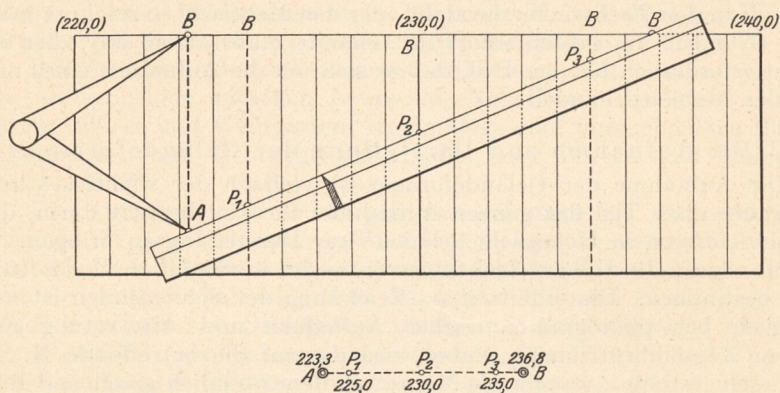


Abb. 114. Hilfsmittel zur linearen Einschaltung von Höhen.

— oder bei einiger Übung nach Augenmaß. Auf Grund der so bestimmten Schichtlinienpunkte erfolgt die Zeichnung der Schichtlinien selbst; dabei hat man aber zu beachten, daß bei der Aufnahme nicht so viele Punkte festgelegt werden können als zur genauen Bestimmung der einzelnen Schichtlinienpunkte notwendig wären, daß die aufgenommenen Punkte mit unvermeidlichen Fehlern behaftet sind und daß das Gelände zwischen den aufgenommenen Punkten in den seltensten Fällen vollständig geradlinig verläuft. Mit Rücksicht auf den letzteren Umstand liegen die Schichtlinien in den Mulden meist oberhalb und auf den Rücken meist unterhalb der durch lineare Einschaltung bestimmten Punkte.

Unterstützt wird die Zeichnung der Schichtlinien durch die im Gelände erkannten oder bei flachem Gelände aus den Schichtlinien sich ergebenden, als Geripplinien bezeichneten Rücken-, Mulden- und Gefällwechsellinien. Erleichtert wird die Schichtlinienzeichnung durch gelegentlich vorhandene „Leitlinien“; es sind dies Stücke von ihrer Höhe nach beliebig liegenden Hilfsschichtlinien, die durch mehrere aufgenommene, in der Höhe ganz oder nahezu übereinstimmende Punkte bestimmt sind (Abb. 115). Eine richtige Wiedergabe der Geländeformen erreicht man vielfach durch Verwendung von „Zwischen-

linien“; dies sind Stücke von in der Höhe beliebig¹ liegenden Hilfsschichtlinien (Abb. 116), die im einfachsten Fall durch einen aufgenommenen Punkt und zwei eingeschaltete Punkte bestimmt sind und eine ähnliche Rolle wie die Leitlinien spielen.

Bei einer topographischen Geländedarstellung soll das Gelände als Ganzes dargestellt werden; es handelt sich dabei um eine zusammenhängende, auch die Entstehung der Formen zum Ausdruck bringende Darstellung der Geländeformen. Die einzelne Höhenschichtlinie stellt nicht einfach die geometrische Schnittlinie der betreffenden Horizontalebene mit der Erdoberfläche vor, sondern muß als Teil des Ganzen sich diesem unterordnen; die einzelne Schichtlinie ist keine starre geometrische Linie, sondern muß sich den benachbarten Schichtlinien anpassen.

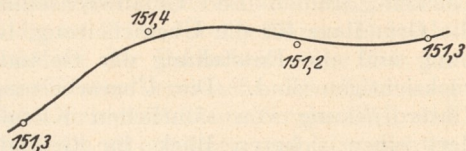


Abb. 115. Leitlinie für die Zeichnung von Höhenschichtlinien.

Welche Geländeformen man in Schichtlinien noch zur Darstellung bringen will, ist zunächst abhängig von dem Höhenabstand oder der Zahl der Schichtlinien und damit vom Maßstab der Karte; außerdem ist die Frage insofern abhängig von der Entstehung der Formen, als der morphologische Charakter des Geländes zum Ausdruck kommen muß. Eine allgemeine Vorschrift für das, was noch dargestellt werden soll, ist schwer zu geben; man kann aber immerhin sagen, daß nur solche Geländeformen noch wiedergegeben werden sollten, die durch mindestens zwei, besser drei Schichtlinien zum Ausdruck gebracht werden können; ist dies nicht möglich, so muß man weitere Schichtlinien einschalten oder — wenn dies der Maßstab bzw. die Lesbarkeit nicht erlaubt — muß man den betreffenden Geländeteil z. B. durch Anwendung von Schraffen darstellen, oder aber man muß auf seine Darstellung ganz verzichten.

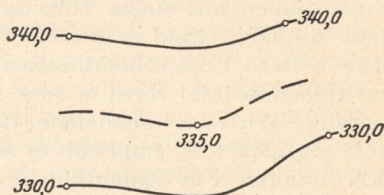


Abb. 116. Zwischenlinie für die Zeichnung von Höhenschichtlinien.

Die bei der gegenseitigen Anpassung der Schichtlinien, bestehend in einer Unterordnung der einzelnen Schichtlinie unter das Ganze, sich ergebenden Abweichungen der Schichtlinien von den geometrischen Schnittlinien mit dem Gelände müssen selbstverständlich im Einklang stehen mit dem Maßstab der Zeichnung, dem morphologischen Charakter des Geländes, den zufälligen Unregelmäßigkeiten des Geländes und den unvermeidlichen Fehlern der aufgenommenen Punkte.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich ohne weiteres, daß eine auf photographischem Wege mit Hilfe eines Zweibildinstruments gewonnene

¹ Um den Grundgedanken rasch erkennen zu lassen, wurde in der Abb. 116 eine Schichtlinie mit einer runden N. N.-Höhe gewählt.

Geländedarstellung in Schichtlinien, bei der jede Schichtlinie für die betreffende Höhe die Formen des Geländes mit allen Einzelheiten, Unregelmäßigkeiten und Zufälligkeiten zum Ausdruck bringt, eine Überarbeitung vom topographischen Standpunkt verlangt. Eine solche Überarbeitung von photogrammetrisch entstandenen Schichtlinien erfordert die Einzeichnung der aus den Schichtlinien sich ergebenden Rücken-, Mulden- und Gefällwechsellinien; diese Geripplinien bilden die Grundlage für die Überarbeitung, bei der der Maßstab der Zeichnung und die Entstehung der Geländeformen entsprechend zu berücksichtigen sind. Die Überarbeitung, die nicht einfach in einer Unterdrückung von sämtlichen Kleinformen bestehen darf, erfordert einen sicheren Blick für Geländeformen und morphologische Kenntnisse.

Die Wahl und damit die Zahl oder der Höhenabstand der zu zeichnenden Schichtlinien ist insbesondere abhängig vom Maßstab der Zeichnung, von den Neigungsverhältnissen des Geländes und von den morphologischen Verhältnissen; es müssen einerseits so viele Schichtlinien gezeichnet werden, als der Charakter der Geländeformen erfordert, es dürfen aber andererseits nicht mehr aufgenommen werden, als die Lesbarkeit der Karte zuläßt.

Bei den Maßstäben 1:2500, 1:5000, 1:10000 und 1:25000 sind Schichtlinien mit einem Höhenabstand von 20 m, 10 m und 5 m allgemein üblich. Sind in ebenem Gelände und bei entsprechendem Maßstab weitere Unterschichtlinien erforderlich, so wird hierfür entweder ein Höhenabstand von 1 m oder besser 2,5 m bzw. 1,25 m bzw. 0,625 m gewählt. Wird aus irgendeinem Grunde an einer Stelle eine 1 m-Schichtlinie gezeichnet, so empfiehlt es sich, in derselben Ausdehnung auch die drei anderen 1 m-Schichtlinien zwischen den beiden einschließenden 5 m-Schichtlinien zu zeichnen.

Die einzelnen Schichtlinien sind durch verschiedene Stricharten zu unterscheiden; z. B. in der Weise, daß man die 10 m-Linien durch eine volle, die 5 m-Linien durch eine langgerissene und die 2,5 m-Linien durch eine kurzgerissene Linie darstellt.

4. Die Ausführung von Geländeaufnahmen.

Bei der Aufnahme der Geländeformen mit Benutzung des Tachymetertheodolits oder des Meßtisches kann man zwei Arten der Aufnahme unterscheiden; bei der einen Art wird die Geländedarstellung auf Grund der aufgenommenen Punkte im Felde durchgeführt, bei der anderen Art werden die Schichtlinien erst später im Zimmer gezeichnet. Beide Arten haben ihre Vorteile und Nachteile.

Eine im Felde, also im unmittelbaren Anblick des Geländes ausgeführte Geländedarstellung liefert zweifellos eine der Wirklichkeit näher kommende, naturgetreuere Wiedergabe der Geländeformen als eine im Zimmer in der Hauptsache auf Grund der aufgenommenen Punkte ausgeführte. Eine im Felde durchgeführte Geländedarstellung erfordert im allgemeinen weniger festzulegende Punkte als eine im Zimmer durch-

zuführende¹; insbesondere werden Fehler bei der Aufnahme einzelner Punkte bei der Schichtlinienzeichnung im Felde bei entsprechender Aufmerksamkeit sofort erkannt; bei der Bearbeitung im Zimmer ist dies nicht immer der Fall. Erfolgt die Schichtlinienzeichnung im Zimmer, so kann man zeitraubende und kostspielige Nachmessungen nur dadurch umgehen, daß man so viele Punkte aufnimmt, daß ein gelegentlich als fehlerhaft erkannter Punkt ohne Schaden weggelassen werden kann. Der Hauptnachteil der im Felde durchgeführten Geländedarstellung besteht darin, daß sie bei der Feldarbeit mehr Zeit beansprucht und damit u. U. größere Kosten verursacht. Die Zeichnung der Schichtlinien im Felde empfiehlt sich deshalb nur für den Fall, daß die Geländeformen im Gelände wirklich zu erkennen sind. Im dichten Wald und in einem Gelände mit nur geringen Höhenunterschieden, wo die Formen des Geländes kaum oder gar nicht zu erkennen sind, überdeckt man das Gelände gleichmäßig mit Punkten und zeichnet auf Grund dieser Punkte die Schichtlinien zu Hause.

Bis zu einem gewissen Grad ist die Art der Aufnahme abhängig von dem Maßstab, in dem die Schichtlinienzeichnung auszuführen ist. Bei einem kleinen Maßstab muß man sich bei der Aufnahme der Geländeformen sowie des Grundrisses mit weniger festzulegenden Punkten begnügen als bei einem großen Maßstab; bei einem kleinen Maßstab — insbesondere 1:25 000, aber auch noch 1:10 000 — empfiehlt es sich, die ganze, auf den Grundriß und die Geländedarstellung sich beziehende Zeichnung im Felde so weit in Blei durchzuführen, daß im Zimmer nur noch eine Überzeichnung in Tusche notwendig ist. Im Zusammenhang hiermit ist nochmals darauf hinzuweisen, daß die mit dem Meßtisch durchzuführende Aufnahme in 1:25 000 oder 1:10 000 eine größere Geschicklichkeit und Übung erfordert als eine Aufnahme in großem Maßstab.

Da es auch für den geübten Aufnehmer im allgemeinen leichter ist, in einem bestimmten Geländepunkt die senkrecht zu den Höhenschichtlinien verlaufende Richtung des größten Gefälles oder die „Abfallrichtung“ anzugeben als die Schichtlinie selbst, so kann man die Aufnahme des Geländes auch in der Weise durchführen, daß man im Gelände in jedem in der Zeichnung festgelegten Punkt die Abfallrichtung angibt. Die mehr Zeit in Anspruch nehmende Zeichnung der Schichtlinien kann dann im Zimmer auf Grund der aufgenommenen Punkte, Geripplinien und Abfallrichtungen ausgeführt werden; die Verwendung von Abfallrichtungen erleichtert die Schichtlinienzeichnung wesentlich.

Den vorstehenden Ausführungen entsprechend werden im folgenden drei Aufnahmearten unterschieden und besprochen.

a) **Die Höhenschichtlinien werden im Gelände gezeichnet.** Nach dem Gesagten kommt diese Art der Aufnahme nur für übersichtliches und nicht zu flaches Gelände in Frage, dessen Formen leicht zu erkennen sind. Die Durchführung der Aufnahme erfordert die sofortige genaue Ein-

¹ Dabei darf aber nicht vergessen werden, daß die richtige Lage der Schichtlinien in der Zeichnung nur durch eine genügende Zahl von festgelegten Punkten erreicht wird.

tragung der einzelnen festgelegten Punkte. Die Aufnahme wird am besten von einem Topograph mit einem oder zwei Gehilfen ausgeführt; jeder Gehilfe hat eine Tachymeterlatte, die er in den festzulegenden Punkten aufzuhalten hat.

Der Vorgang bei der Aufnahme ist für einen Instrumentstandpunkt nach dessen Festlegung nach Lage und Höhe bei Verwendung des Tachymetertheodolits der folgende: Den Gehilfen werden vom Standpunkt des Instruments aus unter gleichzeitiger Beschreibung und Erklärung der Gelände- und Grundrißformen diejenigen Punkte angegeben, in denen sie die Latte zwecks Festlegung der Punkte aufzuhalten haben. Die Gehilfen halten hierauf in jedem Punkt die Latte auf und bezeichnen nach Ausführung der erforderlichen Messungen durch den Topographen die Punkte derart, daß sie leicht wieder auffindbar sind. Der Topograph macht am Instrument die auf jeden Punkt sich beziehenden Ablesungen und Rechnungen und trägt jeden Punkt mit seiner N. N.-Höhe in die Zeichnung ein. Sind alle im Umkreis in Frage kommenden Punkte nach Lage und Höhe festgelegt, so begeht der Topograph über die aufgenommenen Punkte das Gelände und zeichnet dabei die Schichtlinien und den Grundriß. Die Größe des von einem Standpunkt aus aufzunehmenden Gebietsstückes richtet sich nach der Erkennbarkeit der Geländeformen vom Standpunkt aus; im allgemeinen wird man nicht mehr als etwa 200 m gehen können.

Verwendet man den Meßtisch, bei dem wegen der Schwerfälligkeit des Instruments jeder Standpunkt möglichst ausgenützt werden muß, so geht man bei einem Standpunkt in der Entfernung der aufzunehmenden Punkte bis zu 400 m. Da man auf eine so große Entfernung die Geländeformen vom Standpunkt des Instruments aus dem Gehilfen nicht mehr angeben kann, so ist vor der Aufnahme der Punkte eine Begehung des Geländes erforderlich, bei der dem Gehilfen die Punkte angegeben und erforderlichenfalls bezeichnet werden; bei einem eingearbeiteten und interessierten Gehilfen genügt eine teilweise Begehung. Im übrigen erfolgt die Aufnahme wie bei Verwendung des Tachymetertheodolits, bei dem die Richtungen nach den festzulegenden Punkten am Instrument abgelesen und dann mit einem Winkelmesser in die Zeichnung eingetragen werden, während beim Meßtisch die Richtungen unmittelbar der Linealkante der Kippregel entlang gezeichnet werden.

b) Die Höhenschichtlinien werden an Hand der im Gelände aufgenommenen Abfallrichtungen im Zimmer gezeichnet. Auch diese Art der Aufnahme kommt nur für ein Gelände in Frage, dessen Formen zu erkennen sind; sie unterscheidet sich von der Aufnahmeart, bei der die Schichtlinien im Gelände gezeichnet werden, nur darin, daß an Stelle der Schichtlinien die Abfallrichtungen im Gelände in die Zeichnung eingetragen werden. Voraussetzung für die Einzeichnung der Abfallrichtung in einem Punkt ist, daß der Punkt seiner Lage nach genau in der Karte festliegt. Da die N. N.-Höhe des Punktes zur Angabe der Abfallrichtung nicht erforderlich ist, so kann sie später im Zimmer berechnet werden. Die Aufnahme wird von einem Topograph am besten mit zwei Gehilfen durchgeführt.

Das Einzeichnen der Abfallrichtung in einem bestimmten Punkt erfordert die Einrichtung der Zeichnung zum Grundriß; dies ist unter Heranziehung eines Gehilfen mit Benutzung eines anderen im Grundriß festliegenden und im Gelände unzweideutig sichtbaren Punktes — z. B. des Instrumentstandpunkts — in einfacher Weise möglich.

Die Einzeichnung der Abfallrichtungen ist besonders dann zu empfehlen, wenn als Grundlage für die Aufnahme eine Katasterkarte zur Verfügung steht, die unter Umständen eine große Zahl ihrer Lage nach festliegenden Punkte enthält; man hat dann die Möglichkeit, die Abfallrichtungen auch in solchen Punkten anzugeben, deren Höhe nicht bestimmt worden ist oder nur durch besondere Instrumentaufstellungen zu bestimmen wäre.

c) Die Höhengichtlinien werden im Zimmer gezeichnet. Hier müssen die aufgenommenen Punkte im Gelände nicht genau in die Zeichnung eingetragen werden; es genügt ein ungefährer Eintrag in einen Feldriß oder eine Feldkarte, der aber überall — besonders in unübersichtlichem Gelände wie im Wald — so genau auszuführen ist, daß die Verteilung der Punkte über das aufzunehmende Gebiet einwandfrei zu erkennen ist, so daß insbesondere nicht der Fall eintritt, daß einzelne Geländeteile überhaupt nicht erfaßt worden sind von Punkten. Wichtig ist, daß die im Feldriß eingetragenen Punkte und die auf sie sich beziehenden, in einem Feldbuch eingeschriebenen Messungen übereinstimmend und einwandfrei numeriert sind, so daß bei der nachfolgenden Ausarbeitung der Aufnahme keine Verwechslungen auftreten.

Diese Art der Aufnahme empfiehlt sich insbesondere für den Fall, daß die Aufnahme auf Grund einer vorhandenen Grundrißaufnahme in Gestalt einer Katasterkarte ausgeführt werden kann; das Aufnahmeinstrument ist dann der Tachymetertheodolit.

Zur Erleichterung der später auszuführenden Schichtlinienzeichnung und zur Vermeidung von Versehen in der Messung, Rechnung und Zeichnung werden im Feldriß die erkennbaren Rücken-, Mulden- und Gefällwechsellinien eingezeichnet, sowie Kuppen-, Kessel- und Satteldbildungen in passender Form angedeutet. Werden die aufgenommenen Punkte im Feldriß ihrer Lage nach einigermaßen richtig eingetragen, so empfiehlt es sich, im Zusammenhang mit ihnen an möglichst vielen Stellen die Formen des Geländes durch „Formlinien“, das sind ihrer Höhe nach beliebig liegende Schichtlinien, anzudeuten.

Die Aufnahme kann insofern auf zwei verschiedene Arten durchgeführt werden, als entweder ein Topograph allein mit einem oder zwei Gehilfen arbeitet oder ein Topograph und ein Hilfstopograph zusammen, am besten dann mit zwei Gehilfen arbeiten.

Arbeitet ein Topograph allein, so ist der Vorgang bei der Aufnahme für jeden Instrumentstandpunkt der folgende: Nachdem der Standpunkt nach Lage und Höhe festgestellt ist, werden den Gehilfen die vom Standpunkt aus erkennbaren Geländeformen beschrieben und die festzulegenden Punkte angegeben. Nach Ausführung der zur Festlegung der Punkte erforderlichen Messungen begeht der Topograph das Gelände und trägt dabei die von den Gehilfen leicht auffindbar be-

zeichneten Punkte mit einer der Messung entsprechenden Numerierung in die Karte ein, in der er zugleich die erkennbaren Geripp- und Formlinien sowie das für den Grundriß Erforderliche angibt.

Arbeiten ein Topograph und ein Hilfstopograph zusammen, so bedient der letztere das Instrument und führt an ihm die erforderlichen Messungen, Ablesungen und Aufschreibungen aus¹; der Topograph begeht unter Ausnutzung der Reichweite des Instruments das Gelände, gibt den Gehilfen die aufzunehmenden Punkte an, trägt diese mit einer den Aufschreibungen am Instrument entsprechenden Numerierung in die Karte ein und macht die auf die Geländeformen und den Grundriß sich beziehenden Aufzeichnungen.

Die Entscheidung darüber, ob besser ein Topograph allein arbeitet, oder ob die Zusammenarbeit von einem Topograph mit einem Hilfstopograph zu empfehlen ist, richtet sich nach der Übersichtlichkeit des Geländes und nach dem Umfang der vorhandenen Grundrißgrundlage. Die gemeinsame Arbeit von einem Topograph und einem Hilfstopograph empfiehlt sich nur bei übersichtlichem, freiem Gelände, wo man von jedem Standpunkt aus ein möglichst großes Gebiet — bis zu 400 m im Umkreis — aufnehmen kann, und nur für den Fall, daß — wie in engparzelliertem Gelände — die vorhandene Grundlage so viel im Grundriß festliegende Punkte enthält, daß der Eintrag der aufzunehmenden Punkte und der auf die Geländeformen sich beziehenden Linien in einfacher Weise möglich ist. Die Ausführung der Aufnahme durch nur einen Topographen kommt insbesondere dann in Frage, wenn — wie im Wald, in Baumgütern und in einem Gelände mit tiefen Einschnitten — von jedem Instrumentstandpunkt aus nur wenige Punkte festgelegt werden können, und wenn — wie in weitparzelliertem Gelände — die vorhandene Kartengrundlage nur wenige Anhaltspunkte zum ungefähren Eintrag der Punkte und Linien enthält. Die Aufnahme erfolgt dann am besten mit Hilfe von Bussolenzügen, wobei die Bussolenteilung zweckmäßigerweise so gedreht bzw. eingestellt wird, daß die mit der Magnetnadel abgelesenen Richtungswinkel von Parallelen zum Kartenrand aus gemessen sind.

Die Zahl der aufzunehmenden Punkte ist abhängig von den Formen des Geländes, vom Maßstab der Schichtlinienzeichnung, von dem Aufnahmeverfahren und von der Geschicklichkeit und Erfahrung des Topographen. Je kleiner und vielgestaltiger die Formen des Geländes sind, desto mehr Punkte sind als Grundlage für die Schichtlinienzeichnung erforderlich. Je kleiner der Maßstab ist, desto weniger Kleinformen des Geländes kann man wiedergeben und desto weniger Punkte braucht man. Werden die Schichtlinien im Gelände gezeichnet, so kommt man mit weniger Punkten aus, als wenn die Schichtlinien im Zimmer gezeichnet werden. Ein erfahrener, mit der Geländedarstellung in Schichtlinien vertrauter und morphologisch geschulter Topograph braucht weniger Punkte für die Schichtlinienzeichnung als ein Anfänger

¹ Die mit dem Instrument auszuführenden Arbeiten erfordern keinen eigentlichen Topographen; sie werden deshalb von einer entsprechend ausgebildeten Hilfskraft ausgeführt.

oder ein solcher, der von der Entstehung der Geländeformen nichts weiß. Bei Aufnahmen in den Maßstäben 1:2500 und 1:5000 wählt man die Punkte im allgemeinen in Abständen von 40—60 m.

Hat man bei der topographischen Aufnahme eines Gebietes freies Feld und Wald aufzunehmen, so beginnt man, wenn möglich, mit der Aufnahme des Feldes; es hat dies den Vorteil, daß bei der Aufnahme des Waldes der Waldrand bereits festgelegt ist, und daß insbesondere bei der Feldaufnahme am Waldrand auf tachymetrischem Wege Festpunkte geschaffen werden, die bei den zur Waldaufnahme erforderlichen Bussolenzügen als Anschlußpunkte benutzt werden können. Bei der Aufnahme des freien Feldes wählt man die ersten Instrumentstandpunkte am besten so, daß man aus den Ecken des aufzunehmenden Gebietes heraus arbeitet; würde man in der Mitte des Gebietes beginnen, so entsteht leicht der Nachteil, daß man zum Aufnehmen der zuletzt noch fehlenden Ecken und Ränder sehr viel Instrumentaufstellungen nötig hat. Bei der Aufnahme des Waldes hat man insbesondere zu beachten, daß man vom Großen ins Kleine arbeiten soll, und daß die Bussolenzüge am besten langgestreckt verlaufen. Dabei können Punkte, die bei schon gemessenen Zügen festgelegt wurden, als Anschlußpunkte benutzt werden.

5. Die Genauigkeit und die Prüfung einer Geländedarstellung in Schichtlinien.

Von jeder Geländedarstellung in Schichtlinien muß man verlangen, daß die einzelnen Schichtlinien nicht nur Formlinien sind und als solche nur die Form des Geländes zum Ausdruck bringen, sondern daß sie ihrer Lage nach richtig liegen, so daß für jeden Punkt des Grundrisses die N. N.-Höhe zwischen den beiden nächstgelegenen Schichtlinien abgelesen werden kann. Die Schichtlinien müssen demnach einer bestimmten Genauigkeitsanforderung genügen.

Die Genauigkeit einer Geländedarstellung in Schichtlinien wird angegeben durch den mittleren Fehler μ der durch die Schichtlinien bestimmten Höhe irgendeines Punktes. Dieser mittlere Fehler ist abhängig vom Maßstab der Darstellung und insbesondere vom Neigungswinkel α des Geländes; er läßt sich angeben durch eine Gleichung von der Form

$$\mu = \pm (c + k \operatorname{tg} \alpha)$$

oder, wenn a den Abstand von zwei Schichtlinien mit dem Höhenunterschied h bedeutet, durch die Gleichung

$$\mu = \pm \left(c + k \frac{h}{a} \right).$$

Eingehende Untersuchungen¹ haben ergeben, daß man bei Aufnahmen im Maßstab 1:2500 als mittleren Fehler einhalten kann

im freien Feld $\mu = \pm (0,3 + 4 \operatorname{tg} \alpha)$ Meter,

im Wald $\mu = \pm (0,4 + 5 \operatorname{tg} \alpha)$ Meter.

¹ Vgl. Egerer, A.: Untersuchungen über die Genauigkeit der topographischen Landesaufnahme von Württemberg im Maßstab 1:2500. Stuttgart 1915.

Danach wurde für die topographische Aufnahme in Württemberg in 1:2500 als Fehlergrenze $\mu_{\max}$ festgesetzt

$$\text{für freies Feld } \mu_{\max} = \pm (0,8 + 12 \operatorname{tg} \alpha) \text{ Meter,}$$

$$\text{für Wald } \mu_{\max} = \pm (1,0 + 15 \operatorname{tg} \alpha) \text{ Meter.}$$

Vom deutschen Beirat für das Vermessungswesen wurde für die Topographische Grundkarte 1:5000 als mittlerer Fehler

$$\mu = \pm (0,4 + 5 \operatorname{tg} \alpha) \text{ Meter}$$

und als äußerste, noch zulässige Fehlergrenze

$$\mu_{\max} = \pm (1,0 + 15 \operatorname{tg} \alpha) \text{ Meter}$$

festgesetzt.

Nach Untersuchungen von C. Koppe, E. Hammer und H. Müller¹ beträgt bei Aufnahmen in 1:10000 und noch 1:25000 der zu erwartende mittlere Fehler

$$\mu = \pm (0,5 + 5 \operatorname{tg} \alpha) \text{ Meter,}$$

so daß man für diese Maßstäbe als Fehlergrenze

$$\mu_{\max} = \pm (1,5 + 15 \operatorname{tg} \alpha) \text{ Meter}$$

annehmen kann.

Um beurteilen zu können, ob eine Geländedarstellung in Schichtlinien der an sie gestellten Genauigkeitsanforderung genügt, muß man sie einer Prüfung unterwerfen. Eine solche Prüfung besteht im Grundgedanken darin, daß man für eine Anzahl, bei verschiedenen Neigungen des Geländes ausgewählter Punkte die N. N.-Höhen einerseits durch Ablesen zwischen den zu prüfenden Schichtlinien und andererseits durch besonders sorgfältig ausgeführte Messungen bestimmt, wobei die letzteren als fehlerfrei angenommen werden, so daß die Unterschiede von je zwei zusammengehörigen Höhen nahezu die tatsächlichen oder wahren Fehler der zu untersuchenden Geländedarstellung vorstellen. Ein Vergleich der so ermittelten Fehler mit den oben angegebenen mittleren Fehlern und Fehlergrenzen zeigt dann, wie weit diese eingehalten sind. Steht eine größere Zahl von Punkten in möglichst verschieden geneigtem Gelände zur Verfügung, so kann man die ihnen entsprechenden Fehler dem Geländeneigungswinkel α oder dem Schichtlinienabstand a entsprechend ordnen und in den Gleichungen

$$\mu = \pm (c + k \operatorname{tg} \alpha) \quad \text{bzw.} \quad \mu = \pm \left(c + k \frac{h}{a} \right)$$

die Größen c und k bestimmen.

Der Lage der zu einer Prüfung benutzten Punkte entsprechend kann man die Prüfung punktweise, linienweise oder flächenweise ausführen.

Bei der punktweisen Prüfung werden die für die Prüfung erforderlichen Punkte nach Lage und Höhe beliebig, aber so gewählt, daß sie bei der Prüfungsmessung nach Lage und Höhe einwandfrei und bequem mit der erforderlichen Genauigkeit zu bestimmen sind. Man wählt die Punkte deshalb im einfachsten Fall in der Nähe von horizontal

¹ Müller, H.: Über den zweckmäßigsten Maßstab topographischer Karten. Heidelberg 1913.

und vertikal bekannten Festpunkten, von denen aus sie leicht und sicher zu bestimmen sind. Man erhält die erforderlichen Punkte auch mit Hilfe eines Polygonzuges zwischen zwei Festpunkten mit bekannten Koordinaten; dabei werden für die Zugeckpunkte die Koordinaten berechnet, so daß sie sicher in die Karte eingetragen werden können, und die N. N.-Höhen durch Nivellieren bestimmt.

Die linienweise Prüfung kann man entweder mit Hilfe von Vertikalschnitten oder mit Hilfe von Horizontalschnitten vornehmen. Verwendet man Vertikalschnitte, so legt man diese so im Gelände, daß ihre Horizontalspur im Grundriß ungefähr senkrecht zu den Schichtlinien verläuft. Die einzelnen Punkte eines solchen Vertikalschnitts können horizontal als Eck- und Zwischenpunkte eines zwischen zwei Festpunkten verlaufenden Polygonzuges festgelegt werden; ihre N. N.-Höhen werden am besten durch Nivellieren bestimmt. Die Verwendung von Horizontalschnitten besteht darin, daß man einzelne Schichtlinien im Gelände aufsucht; man bestimmt dabei in einem dem Maßstab der Schichtlinienzeichnung angepaßten, ungefähr gleichen Abstand einzelne Punkte der betreffenden Schichtlinie und legt sie z. B. durch rechtwinklige Koordinaten auf einen gut gemessenen, zwischen zwei Festpunkten verlaufenden Polygonzug fest.

Die flächenweise Prüfung einer Geländedarstellung in Schichtlinien besteht darin, daß man für das zur Prüfung ausgewählte Gebiet die Aufnahme der Schichtlinien ein zweites Mal mit erhöhter Sorgfalt durchführt, und dabei insbesondere eine viel größere Zahl von Punkten im Gelände durch Messung festlegt¹. Die für die Prüfung erforderlichen Punkte erhält man dadurch, daß man die beiden Aufnahmen je mit einem genau übereinstimmend liegenden, dem Maßstab der Zeichnung entsprechenden Quadratnetz überzieht und für die Netzeckpunkte die N. N.-Höhe in beiden Aufnahmen zwischen den Schichtlinien abliest.

Die flächenweise Prüfung ist die durchgreifendste; sie ist aber weniger sicher als die punktweise und linienweise. Die einfachste und genaueste Prüfung ist die punktweise; sie bietet auch den Vorteil, daß man die Prüfpunkte bequem unter verschiedenen Neigungswinkeln wählen kann. Die punktweise Prüfung setzt aber voraus, daß genügend viele horizontal und vertikal festliegende Punkte vorhanden sind; das erstere ist bei Aufnahmen auf Grund von Katasterkarten im allgemeinen der Fall.

C. Die Entstehung der Geländeformen.

Bearbeitet von Ministerialrat Dr.-Ing. H. Müller, Direktor des Landesvermessungsamts, Darmstadt.

1. Allgemeines.

Für eine naturwahre Geländedarstellung in topographischen Karten ist die Kenntnis der auf der Erdoberfläche gestaltend wirkenden Kräfte

¹ Mit Rücksicht auf die größere Zahl der aufgenommenen Punkte kann man die neue Aufnahme in einem größeren Maßstab ausarbeiten als im Maßstab der zu prüfenden Karte; man verkleinert dann die Ausarbeitung auf photographischem Wege.

und der unter verschiedenen Bedingungen entstandenen charakteristischen Geländeformen von größtem Wert. Die Wissenschaft, die uns diese Kenntnis vermittelt, ist die Morphologie. Je größer das morphologische Verständnis des Topographen ist, um so leichter wird er die Geländeformen geistig zu erfassen und wiederzugeben vermögen. Die einzeln festzulegenden Punkte wird er nicht mehr mechanisch verteilen, sondern so auswählen, daß die Formen richtig erfaßt sind. Das ermöglicht neben einer lebensvollen Geländedarstellung vielfach auch eine Verminderung der Zahl der festzulegenden Punkte.

Uns kann hier nicht das Gesamtgebiet der Morphologie beschäftigen, sondern wir müssen uns mit einer kurzen Beschreibung der Gelände- oder Oberflächenformen begnügen und uns auch hierbei auf die Kleinformen beschränken, zu deren Darstellung oft nur wenige Punkte festzulegen sind. Die großen Formen werden durch unsere Messungen im allgemeinen genügend erfaßt, so daß sich ihre richtige Wiedergabe mehr von selbst ergibt. Die in ihnen vorkommenden Kleinformen aber, welche durch häufigeres Auftreten auch größeren Gebieten das Gepräge geben können, gilt es so zu erfassen, daß sie mit einem Mindestmaß von Messungen naturwahr wiedergegeben werden können. Dies wird der Topograph nur erreichen, wenn er sich über die Grundzüge der Entstehung der Formen und ihrer Eigentümlichkeiten unterrichtet hat. Die folgenden Ausführungen wollen hierzu anregen und gleichzeitig eine erste Einführung bieten.

Wir unterscheiden bei der Erdkruste zwischen Grund- und Deckgebirge und verstehen unter ersterem die in den verschiedensten Zusammensetzungen erstarrten, aus dem Erdinnern emporgequollenen, ehemals glutflüssigen Massen. Auf diesen hat sich das Deckgebirge schichtweise abgelagert, an vielen Stellen wieder von Vulkanen durchbrochen, deren Ergußmassen sich mehr oder weniger ausgebreitet haben. Sowohl durch den Vulkanismus als auch die tektonische Gebirgsbildung, die sich beide als Erdbeben äußern, ist der Gesteinsmantel vom Erdinnern heraus in andere Lage gebracht, gebrochen, verbogen, gefaltet u. dgl. und so die Aus- und Umbildung der Berge und Täler gefördert worden. Die durch diese „erdgeborenen“ Kräfte geschaffenen Oberflächenformen werden durch klimatisch bedingte Kräfte, die sich in erster Linie durch Wasser, Schnee, Eis und Wind auswirken, mannigfach umgestaltet¹.

Je nach der chemischen und physikalischen Beschaffenheit der einzelnen Gesteine sind sie der Verwitterung und nachfolgenden Abtragung ganz verschieden zugänglich. Ganz harte Gesteine werden der Verwitterung am längsten Widerstand leisten und sich deshalb nach Abtragung der weicheren Umgebung noch als steilwandige Berge, Rücken, Kuppen, Kanten u. dgl. halten, während weiche Gesteine zu flach geböschten Flächen abgetragen werden. Im Schichtgebirge kann der Kartenbenutzer aus den verschiedenen Böschungsverhältnissen im allgemeinen Schlüsse auf den geologischen Aufbau ziehen (Abb. 117).

¹ Die durch die Tätigkeit des Meeres entstehenden Küstenformen können im folgenden übergangen werden.

Der Topograph muß deshalb alle Gefällwechsel sorgfältig verfolgen und zur Darstellung bringen. An der Oberkante der harten Schichten werden vielfach Felsen zutage treten und die Gesteins- und damit Gefällwechsel oft mit einem Wechsel der Bodenbewachsung verbunden sein.

2. Die Tätigkeit des Wassers.

Einen ganz besonderen Anteil an der Ausgestaltung der Oberflächenformen nimmt das Wasser. Ein Teil des als Regen, Schnee oder Tau auf die Erde fallenden Wassers dringt in die Oberfläche ein und sammelt sich in den Poren und Spalten der Gesteine auf undurchlässigen Schichten als Grundwasser. Tritt es zutage, so reden wir von Quellen. Im Grundgebirge mit seinen verästelten Tälern und der meist welligen Geländeoberfläche treten die Quellen bunt zerstreut auf (Abb. 118). Im Schichtgebirge dagegen sind sie meist an undurchlässige Schichten gebunden und treten mit diesen in einem Linienzug, dem Quellhorizont, als Schichtquellen zutage (Abb. 119). In der Fallrichtung der Schichten fließen die Quellen stärker als in der entgegengesetzten Richtung, in der sie bei Trockenheit aussetzen. Wir bezeichnen sie deshalb als periodische Quellen und machen sie auch als solche durch den besonderen Schriftzusatz „*Q*“ kenntlich, während wir den dauernd fließenden Quellen ein „*Qu*“ zusetzen (Abb. 120). Der periodische Wasserlauf wird gestrichelt wiedergegeben. Sind Quellen durch Schutt verdeckt, so treten sie erst an einer tieferen Stelle zutage. Wir nennen sie Schuttquellen. Alle Quellen bis herab zu den feuchten Stellen sind nicht nur vollzählig, sondern auch nach Lage und Höhe genau anzugeben. Der Topograph wird also der Quellzone seine besondere Aufmerksamkeit zuwenden, zumal die Geländeformen durch sie beeinflusst werden. Lehmiger Boden kann durch das Wasser so aufgeweicht werden, daß an Hängen Rutschungen

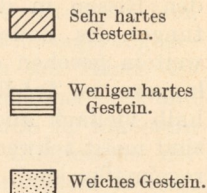
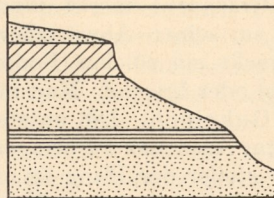


Abb. 117. Querschnitt durch einen aus verschiedenen harten Gesteinsschichten aufgebauten Berghang.

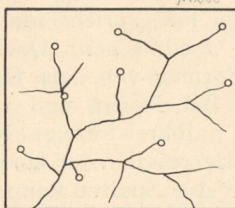


Abb. 118.
Quellen im Grundgebirge.
Bunt zerstreut liegend.

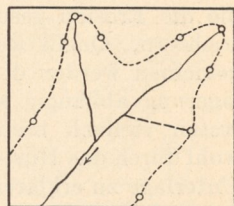


Abb. 119.
Quellen im Schichtgebirge. An
einen Quellhorizont gebunden.

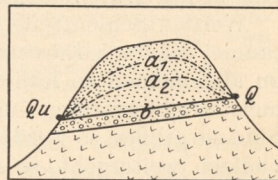


Abb. 120. Entstehung der Quellen.
Qu dauernd fließende Quellen.
Q periodisch fließende Quellen.
*a*₁ mittlerer Grundwasserstand.
*a*₂ niedriger Grundwasserstand.
b wasserundurchlässige Schicht.

und Sackungen entstehen, die eine sehr unruhige Geländeoberfläche bilden. Oberhalb der bauchig vorgeschobenen Erdmassen entstehen kleine Hohlformen, die sich aber immer wieder verändern. An den Rissen in der Grasnarbe merkt man, daß starke Durchfeuchtungen des Bodens zu seiner Abwärtsbewegung Anlaß geben. Von weitem gesehen erweckt ein solcher Boden den Eindruck, als ob er langsam zu Tal fließe oder krieche. Man nennt diese Erscheinung deshalb vielfach auch Gekrieche. Die entstehenden unruhigen Formen sind meist schwer zum Ausdruck zu bringen, da sie sehr klein und unregelmäßig sind. Je steiler der Hang ist, um so geringer werden die Wellen der Höhenschichtlinien. An steilen Hängen können bei starker Durchtränkung des Bodens ganze Erd- und Gesteinsmassen nischenförmig ausbrechen. Wir reden dann von Erdschlipfen, die man auch bei einer Geländedarstellung in Schichtlinien am besten durch einige Bergstriche darstellt. Dabei ist auch der Wiedergabe der herabgestürzten, sich meist stauenden Erdmassen einige Sorgfalt zu schenken.

Neben dieser mehr flächenhaften Wirkung des Grundwassers gestalten auch die Quellen ihre Austrittsstelle um. Je nach der Form, die die Erosion geschaffen hat, spricht man von Quelltöpfen, Quelltrichtern, Quellkesseln, Quellnischen, Quellmulden u. dgl. Im allgemeinen werden diese Formen von dem Gestein und der Schichtlagerung abhängig sein. Bei ebenen und wenig geneigten Schichten treten vielfach breitere, halbkreisförmige Nischen auf, deren Größe wohl durch das Hin- und Herpendeln der Quelle auf nahezu horizontaler Unterlage zu erklären ist. Aus Spalten kommende Quellen werden sich dagegen stark V-förmig nach rückwärts einschneiden. Die Verschiedenartigkeit der vorkommenden Formen erfordert auch hier scharfe Beobachtung des Topographen.

Der Erwähnung bedürfen hier noch die Dellen, das sind muldenförmige Hohlformen an den Abhängen, die sowohl durch Grund- als auch abfließendes Regenwasser entstanden und in ihrer Form von der Härte und Durchlässigkeit des Bodens abhängig sind.

Werden Schichtteile von Grundwasser aufgelöst, so entstehen Hohlräume, die nach Einsturz der Decken als Erdfälle auftreten. Sie sind im allgemeinen an lösliche Gesteine wie Kalk und Gips gebunden und meist trichterförmige, unregelmäßige Einsenkungen der Erdoberfläche. Sind sie größer, so werden sie Dolinen genannt. Da der Bildungsprozeß vielfach weitergeht, so findet man auf dem Boden nicht selten neue, kleine Löcher. Die Wände sind oft verschieden steil. Eine schon festgestellte Regelmäßigkeit dieser Erscheinung rührt vielleicht von den atmosphärischen Einflüssen her und bedarf der besonderen Beachtung. Erdfälle und Dolinen treten wegen des Gebundenseins an bestimmte geologische Schichten strichweise auf.

Das aus den Quellen und als Regen- oder Schmelzwasser abfließende Wasser sammelt sich in Rinnen, die sich zu Bächen und Flüssen entwickeln. Der Oberlauf der Bäche ist meist steil. Das Wasser erodiert deshalb kräftig in die Tiefe und sucht die Hindernisse zu beseitigen. Weichere Schichten werden dabei rascher durchsägt als härtere, an

denen sich Wasserfälle bilden. Bei stärker ausgeglichenem Längsprofil kann sich eine harte Bank noch durch Stromschnellen bemerkbar machen. Sie sind wie die Wasserfälle anzugeben, da im Schichtgebirge aus ihnen im Zusammenhang mit anstehenden Felsen, Steinbrüchen, Bewachungsgrenzen u. dgl. Folgerungen auf die Gesteinslagerung gezogen werden können. Selbst kleine Unterschiede in der Härte des Gesteins können schon im obersten Teil eines Bachlaufes das Bett und seinen Querschnitt umgestalten. Ein in flacher Mulde in härterem Gestein dahinfließender Wasserfaden vertieft beim Durchsägen der Schicht sofort sein Bett und liegt dann in einem mit einem kleinen Wasserfall ansetzenden Graben, der auch bei geringer Böschungshöhe unter sorgfältiger Beobachtung jeder Änderung des Talquerschnitts topographisch wiederzugeben ist. Das Auftreten solcher eingeschnittenen Wasserläufe läßt Schlüsse auf den geologischen Aufbau zu.

In Abb. 121 ist neben den zuletzt besprochenen Erscheinungen noch das Verschwinden des Wassers beachtlich. Sobald es auf das durch Erdfälle charakterisierte Gestein kommt, versickert es in Klüften und unterirdischen Hohlräumen. Wie die eingetragenen Höhenzahlen zeigen, herrscht große Gesetzmäßigkeit im Aufbau, die in der topographischen Darstellung nur durch vollständige und genaue Angabe nach Lage und Höhe auch der Böschungen, Versickerungsstellen und Erdfälle erkannt werden kann.

Das fließende Wasser trennt durch die Reibung auf dem Untergrunde nicht nur Gesteinsteile los, sondern es verfrachtet sie auch, und zwar um so größere Massen, je steiler das Gefälle und je größer die Wassermenge. Läßt bei einem Bach, wie dies bei der Eimmündung eines Seitenbaches in den

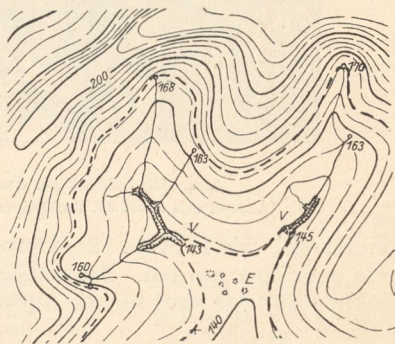


Abb. 121. Darstellung eines Schichtgebirges (Kreideformation). Die Geländeneigung und die Lage der Quellen, der eingeschnittenen Bachläufe, der Versickerungsstellen und der Erdfälle lassen Schlüsse auf den geologischen Aufbau zu. Die vermuteten Schichtgrenzen sind gestrichelt.
V Wasserversickerungsstellen. E Erdfälle.

Hauptbach im allgemeinen der Fall ist, das Gefälle plötzlich nach, so wird das mitgeführte Material fächerförmig abgesetzt und bildet einen sogenannten Schuttkegel, der sowohl kurz und stark gewölbt als auch lang gestreckt und sehr flach sein kann. Das vielfach nur zeitweise fließende und öfter seinen Weg verlegende Wasser erreicht auf solchen Schuttkegeln nicht immer den Hauptbach, sondern wird zum Wässern durch Gräben verteilt und versickert, um dann oft am Rande des Schuttkegels als Quelle wieder zutage zu treten. Da die Schuttkegel stets am Ausgang der Seitentäler auftreten, muß dort der Aufnehmer sich ihrer erinnern; dann wird er, wie das früher leider vielfach der Fall war, auch die kleinsten und flachsten nicht übersehen. Wo die Schuttkegel sich in ein Wiesental ergießen, fallen sie vielfach

schon dadurch auf, daß sie als Acker benutzt werden. Der morphologisch Unkundige stößt sich bei der Zeichnung der Schichtlinien meist daran, daß auf das Tal unmittelbar ein Rücken folgt. Durch große

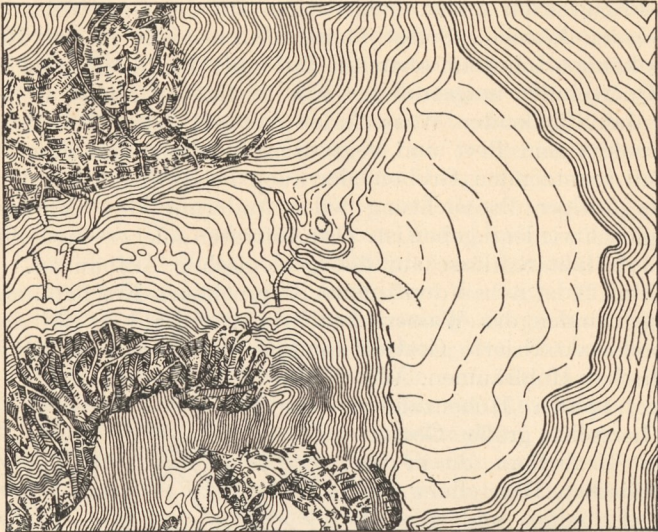


Abb. 122. Schuttkegel des Eisgrabens am Königssee.
(Auszug aus Blatt St. Bartholomä der bayr. top. Karte 1:25 000.)

Schuttkegel, wie in Abb. 122, können Seen abgeschnürt und Bäche zur Seite gedrängt werden. Schuttkegel in schwächerer Ausbildung zeigt die Abb. 123. Sie sind für die Aufnehmer besonders deshalb so wichtig,

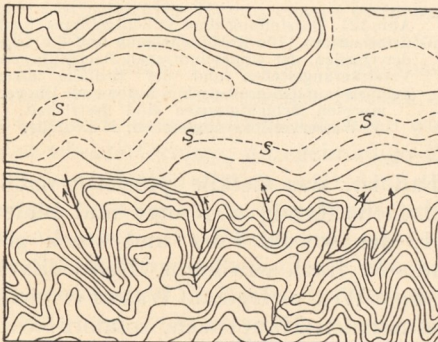


Abb. 123. Kleine Schuttkegel S. Die Seitenbäche ergießen sich in den Talboden.
(Auszug aus Bl. Stockach der bad. top. Karte 1:25 000.)

weil es außerordentlich häufig auftretende Kleinformen sind. Bei leichter abspülbarem Boden sind sie fast an jeder Ackermulde zu erkennen, und es steht der Verlauf der Höhenschichtlinien dann dort mit dem der Kulturgrenze nicht in Einklang. Wege an Waldrändern steigen bzw. fallen aus dem gleichen Grunde auf kurzer Strecke. Ist dem Topographen diese Beobachtung im Felde entgangen, so wird er bei nachträglicher Zeichnung der Schichtlinien unter Umständen die Ergebnisse seiner Messung anzweifeln.

Durch die Abtragung des fließenden Wassers einerseits und die Aufschüttungen andererseits wird der Querschnitt eines Tales umgestaltet.

S. Passarge hat die in Abb. 124 wiedergegebene Entwicklung der Talformen vom Kerbtal bis zum Muldental aufgestellt und jeder Tal-

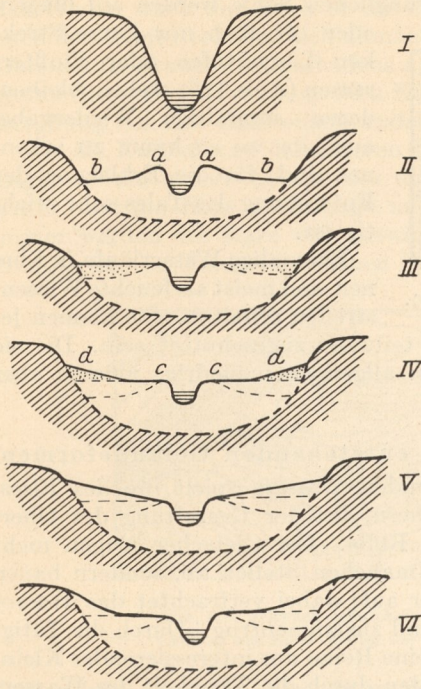


Abb. 124. Talformen. I. Kerbtal. II. Flutsohlental mit Uferwällen *a* und Überschwemmungssohle *b*. III. Horizontalsohle (punktirt), die aus einem Flutsohlental entstanden ist. IV. Sohlental mit Horizontalsohle *c* und Böschungssohle *d*. V. Böschungssohlental. VI. Muldental (nach S. Passarge).

form einen besonderen Namen gegeben, den anzuwenden auch für die Topographen sich empfehlen dürfte. Zu beachten bleibt noch, daß die Lagerung des Gesteins, geologische Schichtwechsel und atmosphärische Einflüsse zu einer ungleichmäßigen Ausbildung nicht nur des Bachbettes, sondern auch des ganzen Talquerschnittes führen können.

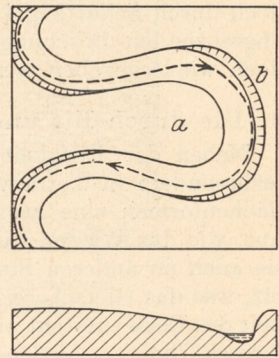


Abb. 125. Lageplan und Querschnitt eines Mäanders. Die Stromlinie ist durch Pfeile bezeichnet. *a* Gleithang, *b* Prallhang.

Sobald das Gefälle eines Baches unter eine gewisse Grenze sinkt, hört die Tiefenerosion auf, und die Seitenerosion beginnt. Der Bach oder Fluß verlegt sein Bett seitlich und fließt in um so größeren, als Mäander bezeichneten Bogen hin und her, je geringer das Gefälle ist. Die Talsohle wird dabei nach und nach erweitert und die Unebenheiten immer mehr ausgeglichen. Die Wirkung der Seitenerosion veranschaulicht Abb. 125. Während der steile Prallhang auffällt, ist der Ausbildung des oft sehr flachen Gleithanges besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Die Talmäander stehen im allgemeinen mit den Bachmäandern nicht in Einklang. Je mehr das Tal eingeebnet ist, um so geringer werden Prall- und Gleithang in Erscheinung treten. Das Wasser fließt dann in einem Bett, dessen Ufer durch die bei Überschwemmung abgesetzten Sinkstoffe leicht erhöht sind. Deshalb sind in solchen Tälern die Ufer meist trocken, seitlich nach dem Gebirge zu dagegen sumpfige Stellen vorhanden. Seitenbäche sind durch die Überschwemmungskegel oft gezwungen, lange Strecken parallel neben dem Fluß herzufließen, bis sie münden können. Ihre Mündung ist dann „verschleppt“.

Durch erneut einsetzende Tiefenerosion kann sich ein Flußlauf in der Talsohle abermals einschneiden und dann durch Mäandrieren die Sohle wieder verbreitern. Von der ursprünglichen Sohle werden auf längere oder oft auch nur kurze Strecken Längsstufen oder Flußterrassen (Abb. 126) stehen bleiben, deren sorgfältige Wiedergabe, auch da wo sie kaum zu erkennen sind, für die Erklärung der Entstehung des Tales sehr wichtig ist.

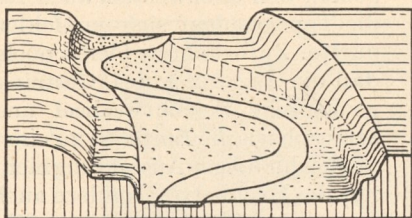


Abb. 126. Flußtal mit Längsstufen (Flußterrassen).

Edemalige Wasserläufe in Ebenen sind meist als feuchte Wiesenstreifen erhalten. Sie können jedoch durch Schuttkegel ganz oder teilweise zugeschüttet sein. Die sie abgrenzenden Böschungen sind im allgemeinen niedrig, müssen aber doch wiedergegeben werden.

3. Die durch Eis und Schnee entstehenden Geländeformen.

Neben der Tätigkeit des fließenden Wassers spielt die des Eises, insbesondere in Form von Gletschern, bei der Gestaltung der Oberflächenformen eine hervorragende Rolle. Die Gletscher tragen nicht nur, wie das Wasser, die Erde an manchen Stellen ab, sondern bauen sie auch an anderen Stellen wieder auf; dabei verfrachtet das Wasser oft, was das Gletschereis loslöste und zusammentrug. Durch die Tätigkeit des Eises entsteht nun wieder eine Reihe uns interessierender Kleinformen, die verschieden sind von den durch die Tätigkeit des Wassers entstandenen.

Wir vergegenwärtigen uns zunächst die Entstehung des Gletschers und behandeln dann die durch ihn geschaffenen Glazialformen. Der in den höheren Gebirgslagen niederfallende Schnee kann im Sommer nicht vollständig abgeschmolzen werden. Er häuft sich deshalb, besonders an der Schattenseite und in Nischen immer mehr an.

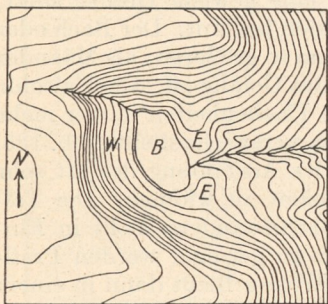


Abb. 127. Kar im Buntsandstein des Schwarzwaldes. *W* Karwand. *B* ebener Karboden. *E* Endmoräne, die das Wasser zu einem See staut.

Unter dem Druck und dem wiederholten Schmelzen und Frieren verwandelt er sich in körniges, plastisches Gletschereis, das sich durch den Druck der Schneemassen auf den meist steilen Gehängen langsam abwärts bewegt. Ist die Masse des Eises nicht groß genug, um trotz des Abschmelzens ins Tal vorrücken zu können, so bleibt sie in Mulden liegen und erweitert hier auf noch nicht völlig geklärte Weise ihr Bett kesselförmig, so daß zuletzt ein runder Bergkessel mit ebenem

Boden und steil aufragenden Wänden entsteht, der nur nach der Tal-seite offen ist. Durch einen Felsriegel oder eine Moräne ist er vielfach

so abgeriegelt, daß sich ein See gebildet hat. Eine solche Hohlform bezeichnet man als Kar (Abb. 127). An der Abflußstelle wird sich das Wasser nach und nach so tief einsägen, daß der See ausläuft und auch der ebene Seeboden sich allmählich in einen Hang verwandelt. Der Darstellung sowohl des Karbodens als auch des Karriegels ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Von Kartreppen reden wir, wenn an einem Berghang ein Kar über einem anderen liegt.

Da die Kare alle an der unteren Firngrenze liegen, so kann aus ihrer Lage auf die untere Grenze des ewigen Schnees geschlossen werden. Dafür sind die Kare nach Lage und Höhe genau einzutragen. Nicht immer werden die Kare voll entwickelt, sondern ihre Ansätze in den Hängen nur in Form von ebenen Stellen zu erkennen sein (Abb. 128).

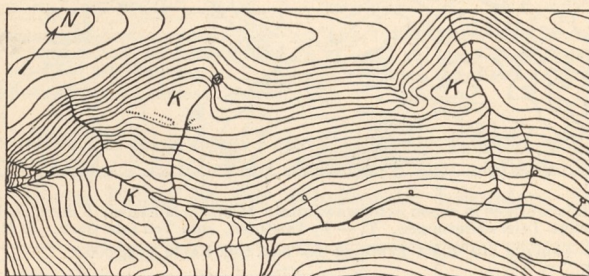


Abb. 128. Schwach entwickelte Kare (K) im Schwarzwald.
(Auszug aus Blatt Obertal der württ. top. Karte 1:25 000.)

Daß solche karartige Nischen auch durch Quellhorizonte veranlaßte Gesteinsausbrüche aus dem Berghang sein können, ist für den Topographen ohne Bedeutung. Er hat die Form so wiederzugeben, wie er sie in der Natur sieht.

Ist das Firnfeld so mächtig, daß es zur Bildung von Talgletschern kommt, so vereinigt sich das aus Seitenbecken kommende Eis zu einem Eisstrom, der sich im Tal zungenförmig vorschiebt, bis das Abschmelzen das weitere Vordringen verhindert. Durch die unter hohem Druck vor sich gehende langsame Vorwärtsbewegung des Gletschereises wird der Untergrund kräftig ausmodelliert. Auch an den Seiten wird das Gestein durch das wechselnde Frieren und Tauen gelockert und vom Eis abgetragen, so daß sich zuletzt ein U-förmiger Talquerschnitt bildet (Abb. 129). Wir sprechen von Trogtälern. Bei steilen Trogwänden kommt es vor, daß Gesteinsmassen abbrechen und sich in die Talsohle ergießen. In der Wand entsteht so eine Nische, der ein meist steiler Schuttkegel vorgelagert ist.

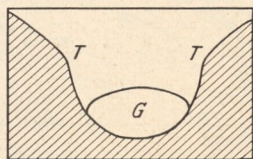


Abb. 129. Trogtal mit Gletscherzunge. T Trogrand, G Gletscherzunge.

Das Längsprofil eines Glazialtales hat im allgemeinen kein regelmäßiges Gefälle, sondern es kommen Talstufen vor, die wohl durch härteres Gestein bedingt sind. Sie können sehr steil und hoch, aber

auch klein, flach und unbedeutend sein, so daß ihre Erkennung in einst vereisten Gebirgen schon sorgfältiger Beobachtung und Messung bedarf (Abb. 130).

Eine Vertiefung und Verbreiterung des Tales tritt vielfach auch da auf, wo durch Zusammenfluß von Seitengletschern das Eis mächtiger wird. Von den kleineren Seitentälern führt meistens eine Stufe zum Haupttal, da die Erosion des kleineren Seitengletschers mit der im Haupttal nicht Schritt halten konnte; das Seitental „hängt“ über dem

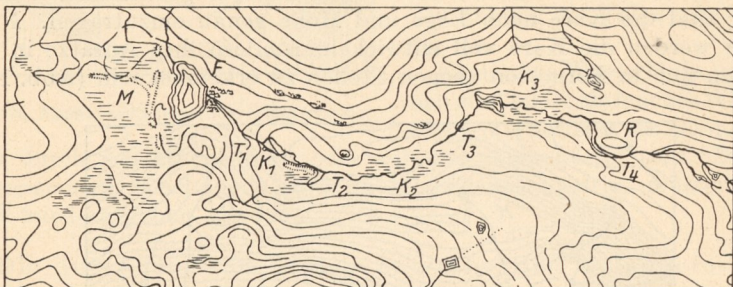


Abb. 130. Glazialkleinformen in einem Schwarzwaldtal. *M* kleine Moränen. *F* durchsägter Felsriegel. *K*₁—*K*₃ karatige Talerweiterungen. *T*₁—*T*₄ Talstufen, zum Teil sehr flach. *R* Rundhöcker. (Auszug aus Blatt Feldberg der bad. top. Karte 1:25 000.)

Haupttal. Eine weitere Eigentümlichkeit von Glazialtälern ist das Vorkommen von Rundhöckern. Sie haben einen ungleichförmigen Querschnitt. An der Stoßseite sind sie glatt geschliffen und steigen langsam an, während die entgegengesetzte Seite steiler abfällt und mehr Unebenheiten aufweist.



Abb. 131. Zwei Endmoränenzüge und ein Sander. Die Aach hat sich in die Sanderfläche eingeschnitten. (Auszug aus Blatt Eigeltingen der bad. top. Karte 1:25 000.)

zunge vor sich herschiebt, die sogenannte „Stirn- oder Endmoräne“. Sie kann je nach den Vorwärts- und Rückzugsbewegungen mehrfach auf-

Einen besonderen Formschatz bildet auch das von Gletschern zerstörte und verfrachtete Gesteinsmaterial, das nicht nur fein zerrieben sein, sondern auch große Felsblöcke enthalten kann. Ein Teil desselben liegt flächenförmig ausgebreitet oder auch in Längswällen als „Grundmoräne“ im Gletscherbett, anderes wird an den Seiten in ebenfalls parallel zum Gletscher ziehenden Wällen als „Seitenmoräne“ abgelagert, und endlich bildet der Schutt, den die Gletscher-

treten und ist an dem halbkreisförmigen Bogen quer zum Tal leicht erkennbar (Abb. 131). Vielfach hat sie auch das Wasser oberhalb zu einem See gestaut. Wo die Endmoränen ausgeprägt auftreten, können sie nicht

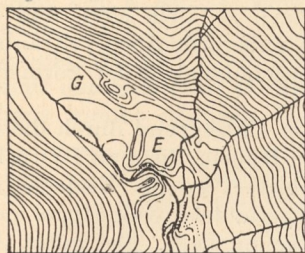


Abb. 132. Moränen in der Menzenschwander Kluse. *G* Grundmoräne, *E* Endmoränen. Die letzteren sind durch den Bach zerschnitten.

(Ausz. aus Bl. Feldberg der bad. top. Karte 1:25 000.)

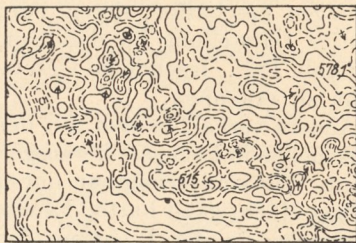


Abb. 133. Kleinformatiges Moränengebiet. (Auszug aus Blatt Fürstenfeldbruck der bayer. top. Karte 1:25 000.)

übersehen werden, in kleineren Tälern sind sie jedoch, wie Abb. 132 zeigt, oft nur schwach entwickelt und durch das abfließende Wasser zersägt. In diesen Fällen ist der Wiedergabe besondere Sorgfalt zu



Abb. 134. Drumlinlandschaft der Bodenseegegend. Der Pfeil deutet die Richtung der Eisbewegung an. (Auszug aus Blatt Überlingen der bad. top. Karte 1:25 000.)

widmen, damit die quer verlaufenden Moränen nicht durch unverständliche Generalisierung in der Karte als richtungslose maulwurfsartige Hügel erscheinen. Auch die oft mehrfach wellenförmig hintereinander liegenden Reihen sind zu beachten.

In der Eiszeit sind die Gletscher aus den Gebirgstälern herausgetreten und haben sich fächerförmig im Vorland als Eisfläche ausgebreitet. Dabei hat sich das Material der Grundmoräne oft eben ausgebreitet, oft aber auch eine unruhige Oberfläche, voller Hügel und Vertiefungen geschaffen, deren Formen vielfach so klein sind, daß ihre richtige Darstellung für den Topographen außerordentlich zeitraubend ist (Abb. 133). Irgendeine Gesetz- oder Regelmäßigkeit der Formen ist nicht zu erkennen.

Anders verhält es sich mit den aus dem Untergrund durch die sich vorschiebende Eismasse herausgearbeiteten Hügeln, die man Drumlins nennt. Sie sind scheinbar nur da ausgebildet, wo die Eisdecke eine gewisse Mächtigkeit hatte. Es sind allseits gerundete ovale Hügel, deren Längsachse in der Richtung der Eisbewegung liegt. Bei guter Ausbildung sind sie so angeordnet, daß die benachbarten auf die Lücken der vorhergehenden folgen (Abb. 134).

Tritt in einem benachbarten Tale ein stärkeres Abschmelzen des Gletschers ein, so werden die von den Schmelzwässern mitgeführten Kies- und Sandmassen meist unterhalb der Endmoräne flach geböscht abgelagert. Die so entstandenen ebneren Flächen werden Sander genannt. In Abb. 131 ist eine solche Sanderfläche dargestellt. Sie liegt hier jedoch oberhalb des Endmoränenzuges, da das Beispiel einem Alpenvorlandtal entnommen ist.

4. Die Tätigkeit des Windes.

Wie Wasser und Eis vermag auch der Wind Geländeformen um- und neuzugestalten. Voraussetzung dafür ist ein lockerer feinkörniger Boden. Je nach der Stärke des Windes werden mehr oder weniger kleine Teilchen von ihm fortbewegt oder hoch in der Luft fortgetragen, um dann an geeigneten Stellen wieder abgelagert zu werden. Die Ablagerungsformen sind dabei

verschieden. Die von Sand bezeichnen wir als Dünen, und die von Staub bilden den Löß.

a) Die Entstehung der Dünen und ihre Formen. Der Wind rollt oder trägt nahe über dem Erdboden die Sandkörnchen fort und häuft sie bei Hindernissen zu langgestreckten Hügeln (Dünen) an, die je nach der herrschenden Windstärke und -richtung umgeformt werden, solange die Oberfläche nicht durch

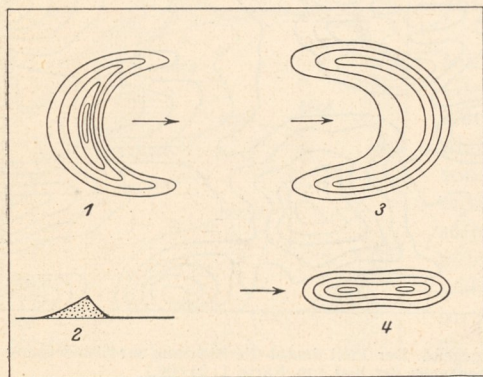


Abb. 135. Dünenformen. 1. Sichel- oder Bogendüne, auch Barchan genannt. 2. Querschnitt zu 1. 3. Parabeldüne. 4. Strichdüne. (Die Pfeile bezeichnen die Windrichtung.)

eine Vegetationsdecke oder dergleichen gefestigt ist; die Düne „wandert“. Als Ergebnis der Sandumlagerungen entstehen die in der Abb. 135

angegebenen Geländeformen. Charakteristisch ist für die Dünenquerschnitte, daß sie eine flache Luv- und eine steilere Leeseite haben. Nur bei den Strichdünen ist der Querschnitt gleichmäßig. Nach den Studien von F. Solger wird der Luftstrom durch die flache Anfangsböschung nach oben abgelenkt, und es entsteht so an der Luvseite eine Böschung von $5-12^\circ$. Sobald der Wind den Kamm überschritten hat, kommt das Sandkorn in den Windschatten und fällt nieder. Der Leeabhang nimmt dadurch einen geradlinigen Querschnitt von solcher



Abb. 136. Binnenlanddünen. (Rheinebene südlich Schwetzingen). Sowohl aus der Lage der Luv- und Leeseiten und der Richtung der Dünen der oberen Hälfte als auch der Richtung der Strichdünen der unteren Hälfte muß auf eine westliche Windrichtung geschlossen werden.

(Auszug aus Blatt Schwetzingen der bad. top. Karte 1:25 000.)

Steilheit an, daß die Sandkörner gerade an der Grenze des Hinabrollens stehen, was bei etwa 30° der Fall ist. Eine ausgesprochene Kantenlinie trennt im allgemeinen Luv- und Leeseite.

Die Einzeldüne ist in der Mitte höher als an den Seiten. Die geringeren Sandmassen, die dem Wind hier entgegenstehen, werden von ihm schneller bewegt als das trägere Mittelstück. So eilen die Seitenflügel in der Windrichtung vor, und die Kammlinie nimmt die Form eines Bogens an. Solche Dünen werden als Sicheldünen oder Barchane bezeichnet. Bei ihnen pflegt, wenn die Düne ohne Sandzufuhr weiterwandert, die Tiefe in der Windrichtung die Länge quer dazu

etwas zu überwiegen. Bei weiterer Entwicklung der Düne bilden sich links und rechts Seitenwände und schließlich die sogenannte Parabeldüne, deren Hohlseite dem Winde zugekehrt ist. Verschwindet das Mittelstück einer solchen Düne ganz, so entstehen zu beiden Seiten sogenannte Strichdünen. Die halbkahlen Wanderdünen haben nach F. Solger eine Luvseite von etwa 8° Böschung und statt des Kammes einen breit gerundeten Rücken. Je nach dem Ort der Ablagerung unterscheidet man Wüsten-, Strand- und Binnenlanddünen. Die letzteren stehen im allgemeinen im Zusammenhang mit Flußläufen. Die Abb. 136 gibt Dünen der Rheinebene südlich Schwetzingen wieder.

b) Die Geländeformen des Löß. Der Löß wird als feinstes Staub flächenförmig abgelagert und durch Regen leicht abgespült und umgelagert. Als Schwemmlöß liegt er im allgemeinen am Fuße der Hügel und gleicht die Sohle der Täler im Lößgebiet eben aus. Löß ist ziemlich standfest und blättert in dünnen Platten senkrecht ab. Die auffälligste Erscheinung der Lößgebiete ist die nie fehlende Terrassierung. Die Hügelflächen sind in Stufen aufgelöst, da sonst die Bewirtschaftung wegen der Bodenabspülung nicht möglich wäre. Durch Menschen oder Tiere gelockerter Löß wird an geneigten Stellen so stark abgespült, daß sich Hohlwege mit 10—15 m hohen Seitenwänden bilden.

5. Der Aufbau der Geländeformen und ihre Abhängigkeit vom Gestein.

Die im vorstehenden beschriebenen Formen treten nicht immer als Einzelformen oder voll entwickelt auf, sondern sind vielfach durch andere Kräfte wieder umgestaltet und eine Form oft in die andere hineingebaut oder von ihr überlagert. Auf Flußterrassen können z. B. alte Schuttkegel liegen, die durch einen Bach stark zerschnitten sind, die Erdmassen aber unmittelbar unter der Terrasse zu einem neuen Schuttkegel aufgeschüttet sein, dessen Ausläufer durch einen mäandrierenden Bach wieder angeschnitten sind. In einem anderen Fall ergießt sich, wie in Abb. 130 bei K_3 schwach angedeutet, ein Schuttkegel in einen ebenen Karboden, oder fließendes Wasser gleicht an der einen Stelle Formen aus und sägt sich an einer anderen Stelle immer tiefer ein. Die umgestaltenden Kräfte wirken dauernd weiter und schaffen immer neue Formen. Dabei sind die physikalischen und chemischen Eigenschaften mitbestimmend für die entstehenden Geländeformen, so daß wir, was H. Bach vor mehr als 80 Jahren bei seinen topographischen Aufnahmen in Württemberg bereits richtig erkannte und in Wort und Bild meisterhaft wiedergab, sagen dürfen, jedes Gestein oder jede geologische Formation bedingt besondere ihr eigentümliche Geländeformen. Sind diese richtig wiedergegeben, so lassen sich umgekehrt aus der Höhendarstellung Schlüsse auf den geologischen Aufbau des betreffenden Gebietes ziehen. Da eine Zusammenstellung von gut ausgewählten und genügend großen Beispielen der einzelnen geologischen Formationen entsprechenden Geländeformen den Rahmen dieses Buches überschreiten würde, müssen wir uns hier, als

Anregung für weitere Studien, damit begnügen, die wichtigsten Formen für einige Gesteine anzuführen und übersehen dabei nicht, daß die Formen von der Höhenlage über dem Meer und der Mächtigkeit des Gesteins (der Schicht) und seiner Lagerung abhängig sind.

So zeichnet sich das Grundgebirge in Hochgebirgslagen durch steile scharfkantige Felsengräte und -wände aus, während diese in den Mittelgebirgen nur selten auftreten. Dort herrschen durch zahllose Bäche und Vergrusungszonen reich gegliederte steilwandige, runde Buckel mit zuweilen kammartigen Vorsprüngen vor.

Im Rotliegenden neigen die härteren Schichten zu Felsbildungen, während die weicheren dagegen abgerundet und durch Wasserrinnen sehr zerrissen sind. Die verschiedene Härte der einzelnen Schichten verursacht die Bildung kleiner Stufen.

Ein nicht zu verkennendes charakteristisches Gepräge tragen die Formen des Buntsandsteins, der sowohl in den Karten als auch in der Natur an den geradlinigen, langgestreckten und wenig gegliederten Rücken leicht zu erkennen ist. Die Gleichförmigkeit tritt besonders dann in Erscheinung, wenn das darunter lagernde Grundgebirge mit seinen zahlreichen gerundeten Kuppen gleichzeitig sichtbar ist. Eine ebenere Zone mit zahlreichen Quellen bezeichnet im allgemeinen die Grenze der beiden Formationen. Die Abhänge des Buntsandsteins steigen besonders bei den mittleren harten Schichten gleichmäßig steil an. Die Täler sind verhältnismäßig eng, die Talschlüsse gewöhnlich gerundet. Mit dem Nachlassen der harten Schichten verflachen sich auch im oberen Buntsandstein die Abhänge, und nur ausnahmsweise bilden sich dann noch selbständige Kuppen.

Im Muschelkalk fallen besonders in den härteren Schichten die starken Schlangenwindungen der Bäche auf, die sich steilwandig einsägen und deren kantige und schroffe Talhänge oben meist mit Felsen geziert sind. Stehen jedoch weichere Schichten an, so sind die Bergformen etwas abgerundeter. Infolge der Wasserarmut durchziehen den Muschelkalk im allgemeinen wenig Bachläufe. Charakteristisch für die harten Schichten sind noch die von den zusammengelesenen Steinen gebildeten Steinriegel. Auch die infolge der Auslaugung von Gipslinsen entstandenen Erdfälle bedürfen hier der Erwähnung.

Die meist weichen Gesteine des Keupers bilden wohlgerundete Kuppen; härtere Schichten bedingen Terrassen. Die Abhänge sind durch zahlreiche Rinnen und Schluchten tief zernagt. Auftretende Sandsteine heben sich durch eine gleichmäßig verlaufende Stufe ab.

Die Geländeformen der Juraformation sind entsprechend den wechselnden weichen und harten Schichten durch den stufenförmigen Aufbau gekennzeichnet. Die weichen tonigen Lagen bilden Stufen, deren Oberfläche an Abhängen durch gestautes Wasser bauchig ausgestaltet sein kann. Darüber lagernde härtere Bänke steigen steiler an und bedingen durch Inselberge und vorspringende Bergnasen ein bewegtes Formenbild. Im weißen Jura sind die unteren Schichten häufig von Bergsturm Massen bedeckt, die infolge ihres größeren Widerstandes die unter ihr lagernden Schichten vor der Abtragung schützen und so

eine schmale unruhige Geländezone bedingen. In den mittleren und oberen Schichten des weißen Juras herrschen harte Kalkbänke vor. Sie treten im schwäbischen Jura an tief eingeschnittenen, gewundenen Tälern als plumpe mannigfach gestaltete Felsenwände zutage. Wo diese Schichten flächenförmig entblößt sind, reihen sich zahlreiche leicht gewölbte Hügel mit unbedeutender Neigung aneinander, die durch trockene Rinnen getrennt sind. Dieser wasserarmen Landschaft sind die Dolinen und Erdfälle eigen. Der Charakter der Karstlandschaft ist durch die jüngere Bodendecke gemildert.

In der Kreideformation, der die Formen in Abb. 121 angehören, ist der Härtegrad der Schichten weniger wechselnd, deshalb auch die Formen nicht so scharf geschnitten wie im Jura. Am eigenartigsten sind die Quadersandsteinbildungen der Sächsischen Schweiz.

IV. Die kartographische Bearbeitung und Verwertung von topographischen Aufnahmen.

Um eine topographische Aufnahme als Karte vervielfältigen oder sie zur Herstellung von Drucken verwerten zu können, braucht man eine Druckplatte. Die Herstellung einer Druckplatte erfordert eine entsprechende Bearbeitung der Aufnahme, bestehend in der Herstellung einer für die Vervielfältigung geeigneten Vorlage. Bei der Bearbeitung einer topographischen Aufnahme für ihre Vervielfältigung kommt es darauf an, nach welchem Verfahren die Vervielfältigung stattfinden soll; es werden deshalb im folgenden zuerst die für die Kartographie wichtigsten Vervielfältigungsverfahren und dann die Herstellung der Vorlagen für die Vervielfältigung besprochen.

A. Die wichtigsten Verfahren zur Vervielfältigung von Karten.

Es gibt zahlreiche Vervielfältigungsverfahren¹; die meisten von ihnen kommen nur zur Vervielfältigung von Kunstblättern und dergleichen in Frage; im folgenden ist nur von den für die Vervielfältigung von Karten geeigneten Verfahren die Rede.

1. Allgemeines.

Die Vervielfältigung einer Karte erfordert die Herstellung einer Druckplatte, von der gedruckt werden kann. Als Material für Druckplatten werden Kupfer, Aluminium, Zink und Stein verwendet; die Metallplatten in der Stärke von wenigen Millimetern, die Steine (aus Solnhofen in Bayern) einige Zentimeter stark. Die Wahl des Materials für eine Druckplatte ist insbesondere abhängig von dem Grad der Schärfe oder Feinheit, den man von den fertigen Drucken verlangt, von den Anforderungen in bezug auf die eine große Rolle spielende

¹ Vgl. Albert, A.: Technischer Führer durch die Reproduktionsverfahren und deren Bezeichnungen. Halle a. S.