

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).

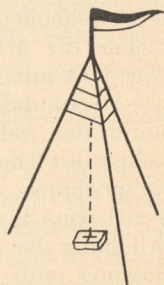


Abb. 88. Sichtbarmachung eines Punktes mit einem Dreibock.

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

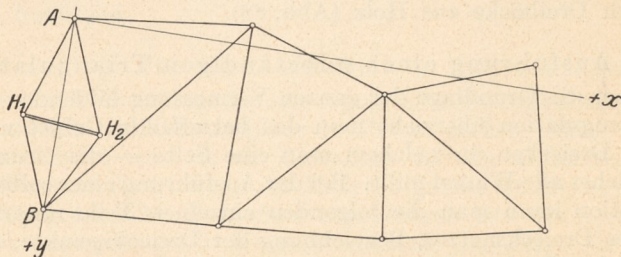


Abb. 89. Überblick über eine selbständige Triangulation.

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

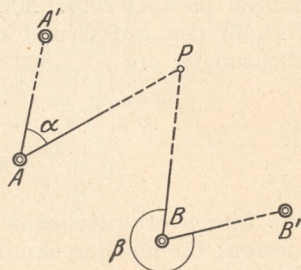


Abb. 90. Punktbestimmung durch zwei Vorwärtseinschnitte.

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.

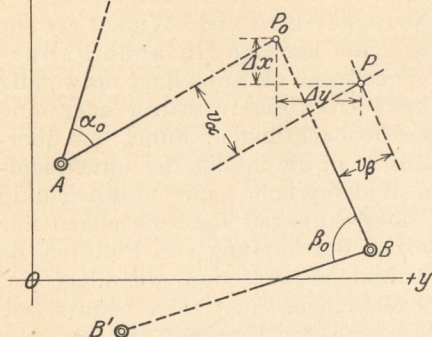


Abb. 91. Graphisch-numerische Lösung des zweifachen Vorwärtseinschnitts.

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:

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

$$\text{und} \quad \beta_0 = (BP_0) - (BB'),$$

wobei die Richtungswinkel zu berechnen sind aus

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

$$\operatorname{tg}(BB') = \frac{y_{b'} - y_b}{x_{b'} - x_b}, \quad \operatorname{tg}(BP_0) = \frac{y_0 - y_b}{x_0 - x_b}.$$

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).

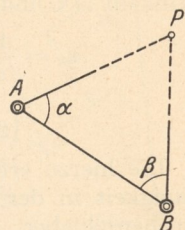


Abb. 92. Besonderer Fall der Punktbestimmung durch zwei Vorwärtseinschnitte.

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:

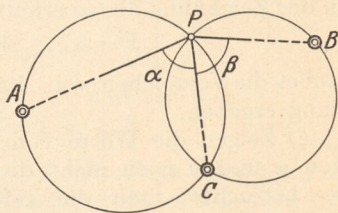


Abb. 93. Punktbestimmung durch zwei Rückwärtseinschnitte.

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

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

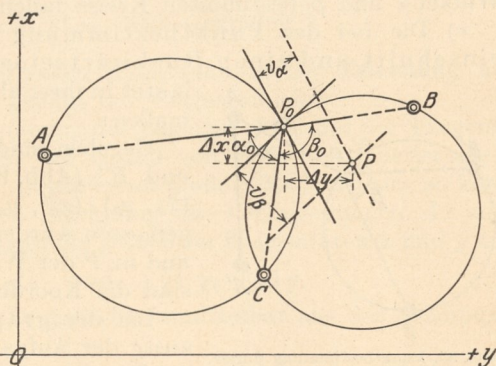


Abb. 94. Graphisch-numerische Lösung des zweifachen Rückwärtseinschnittens.

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:

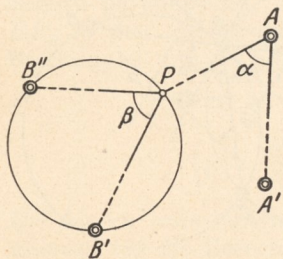


Abb. 95. Punktbestimmung durch einen Vorwärts- und einen Rückwärtseinschnitt.

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

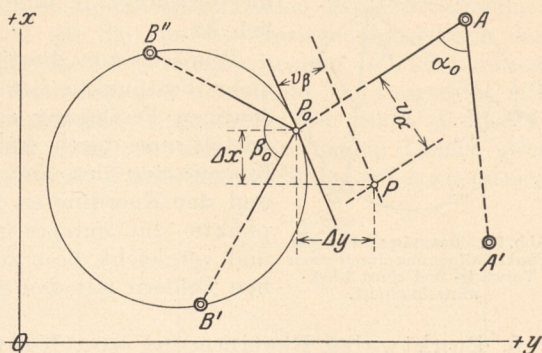


Abb. 96. Graphisch-numerische Lösung des Vorwärts- und Rückwärtseinschneidens.

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

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

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.

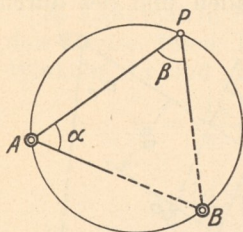


Abb. 97. Besonderer Fall der Punktbestimmung durch einen Vorwärts- und einen Rückwärtseinschnitt.

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

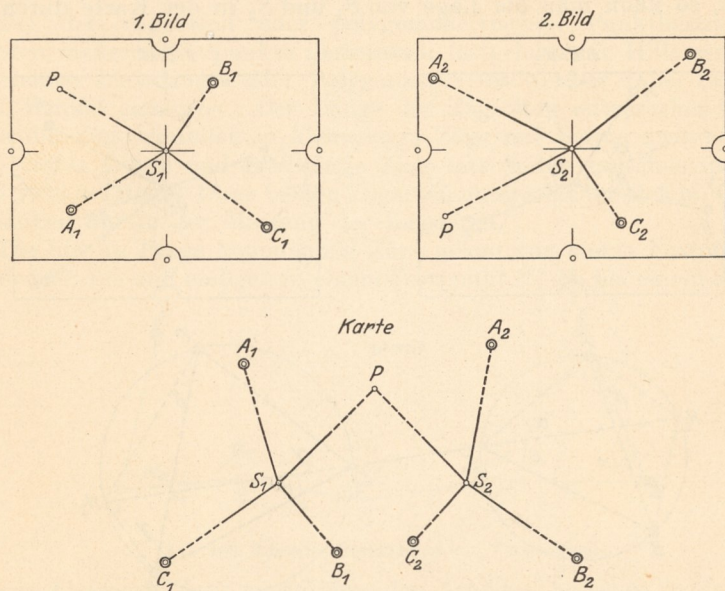


Abb. 98. Luftphotogrammetrische Bestimmung eines Punktes.

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-

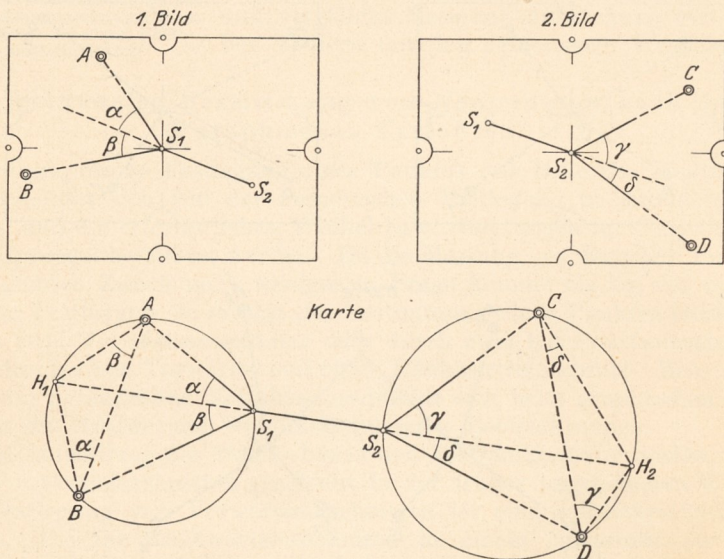


Abb 99. Gemeinsame Festlegung der Hauptpunkte von zwei Luftmeßbildern.

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 $H_1 H_2$ 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 $S_1 S_2$ 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 Auswertungsinstrumentes — 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

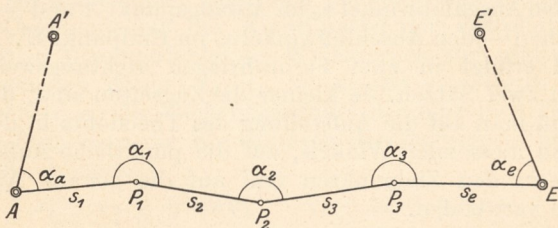


Abb. 100. Zugweise Bestimmung von Neupunkten.

„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 zurückzustößen 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

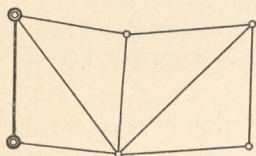


Abb. 101. Dreiecksnetz mit einfachem Seitenanschluß.

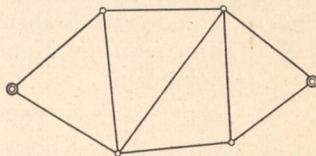


Abb. 102. Dreiecksnetz mit einfachem Punktanschluß.

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

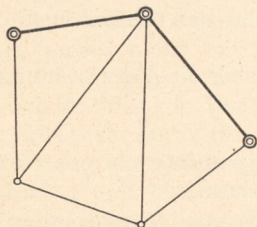


Abb. 103. Mehrfach angeschlossenes Dreiecksnetz mit Seitenanschluß.

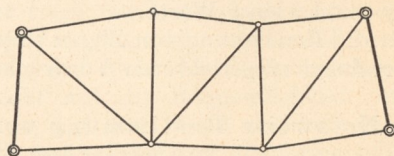


Abb. 104. Mehrfach angeschlossenes Dreiecksnetz mit Seitenanschluß.

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

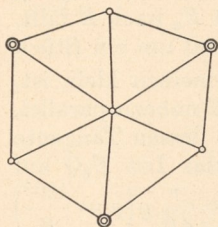


Abb. 105. Mehrfach angeschlossenes Dreiecksnetz mit Punktanschluß.

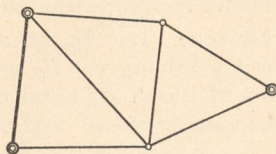


Abb. 106. Mehrfach angeschlossenes Dreiecksnetz mit Seiten- und Punktanschluß.

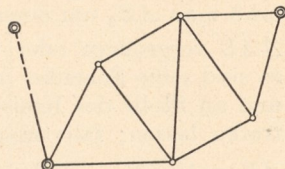


Abb. 107. Mehrfach angeschlossenes Dreiecksnetz mit Richtungs- und Punktanschluß.

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

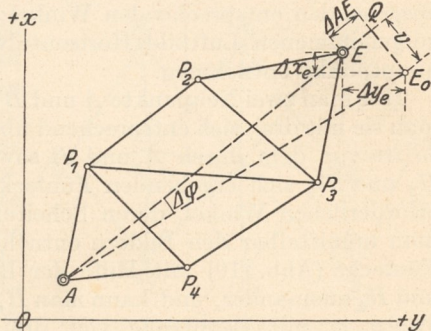


Abb. 108. Berechnung eines Dreiecksnetzes mit einfachem Punktanschluß.

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.

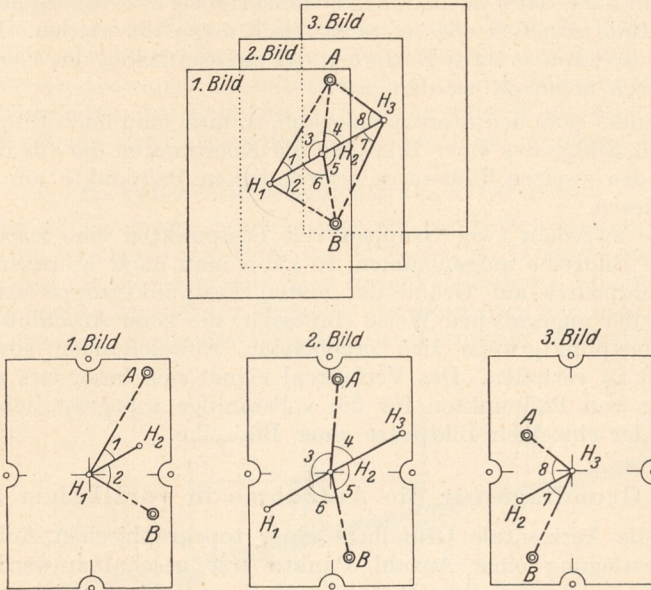


Abb. 109. Netzweise Punktbestimmung mit Hilfe von Luftbildern.

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.

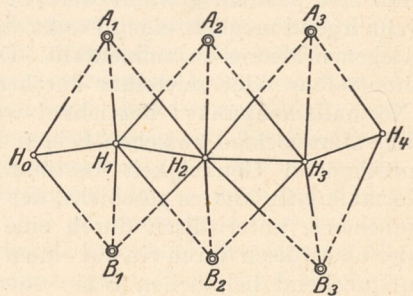


Abb. 110. Netzweise Punktbestimmung mit Hilfe von Luftbildern.

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.

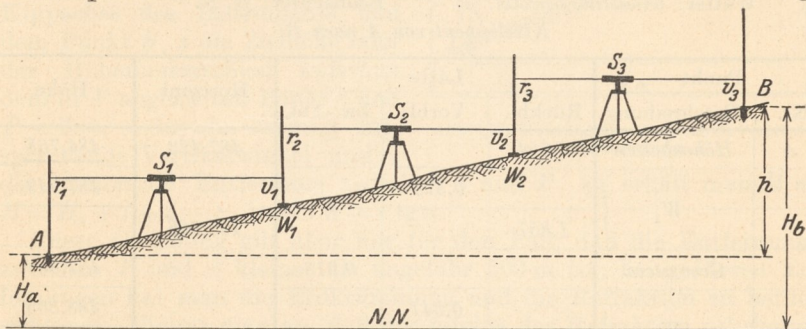


Abb. 111. Höhenbestimmung durch Nivellieren.

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

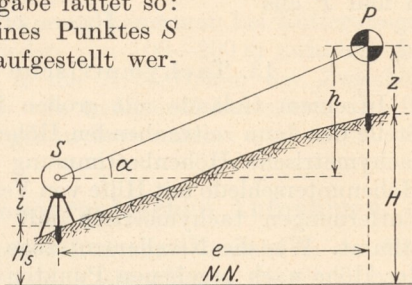


Abb. 112. Höhenbestimmung durch Vertikalwinkelmessung.

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

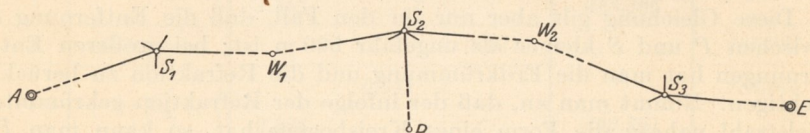


Abb. 113. Tachymetrische Höhenbestimmung.

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