

II. Die topographischen Meßverfahren.

Bei topographischen Aufnahmen werden insbesondere die Meßverfahren der Tachymetrie benutzt. Zur Tachymetrie zählt man alle Verfahren, bei denen für jeden Punkt die Lage und die Höhe mit Hilfe von Polarkoordinaten gleichzeitig bestimmt werden. Den zu verwendenden Instrumenten entsprechend kann man die Tachymetrie einteilen in Theodolittachymetrie, Meßtischtachymetrie und Phototachymetrie. Bei der Theodolittachymetrie werden die Werte der zur Festlegung der Punkte erforderlichen Größen in Zahlen aufgeschrieben, man kann sie deshalb auch als numerische Tachymetrie bezeichnen; bei der Meßtischtachymetrie wird jeder Punkt zeichnerisch festgelegt, sie heißt deshalb auch graphische Tachymetrie; bei der Phototachymetrie geschieht die Festlegung von jedem Punkt mechanisch, so daß man sie als mechanische Tachymetrie bezeichnen kann.

Im Anschluß an die tachymetrischen Meßverfahren werden im folgenden die bei flüchtigen Aufnahmen in Frage kommenden Meßverfahren besprochen.

A. Theodolittachymetrie.

Das Instrument der Theodolittachymetrie ist der Tachymetertheodolit. Das Verfahren besteht im Grundgedanken darin, daß von den zur Festlegung der einzelnen Punkte gemessenen Größen die Zahlenwerte aufgeschrieben werden. Bei der Festlegung einer größeren Zahl von Punkten hat man zu unterscheiden, ob die Punkte in freiem, übersehbarem Gelände oder in bedecktem, nicht übersehbarem Gelände liegen.

1. Die Festlegung eines einzelnen Punktes.

Die Festlegung eines Punktes kann man entweder dadurch ausführen, daß man den Tachymetertheodolit in einem nach Lage und Höhe gegebenen Festpunkt aufstellt und in ihm die erforderlichen Größen mißt, oder dadurch, daß man das Instrument in dem festzulegenden Neupunkt aufstellt und in diesem die Messungen ausführt.

a) Wird ein Punkt P (Abb. 72) von einem Festpunkt A aus oder vorwärts festgelegt, so mißt man in A den Winkel φ zwischen der durch einen zweiten Festpunkt A' bestimmten festen Richtung AA' und der Richtung AP , die Strecke $AP = e$ und den Höhenunterschied h zwischen A und P . Der Horizontalwinkel φ wird mit dem Horizontalkreis gemessen; dabei genügt es, die Messung in nur einer Fernrohrlage auszuführen. Steht kein passender Festpunkt A' zur Verfügung, so kann man auch als feste Richtung AA' die magnetische Nordrichtung wählen; φ ist dann der magnetische Richtungswinkel von AP , der mit der Bussole gemessen wird.

Die Bestimmung von e mit dem entfernungsmessenden Fernrohr und von h geschieht in der früher angegebenen Weise. Sind H_a (Abb. 73)

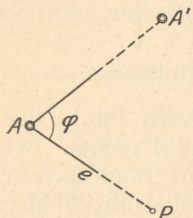


Abb. 72. Vorwärtsfestlegen eines Punktes.

die gegebene N. N.-Höhe von A , i die Instrumentenhöhe und z die Zielhöhe, so erhält man die N. N.-Höhe H von P aus

$$H = H_a + i + (h - z);$$

dabei hat h das Vorzeichen des Vertikalwinkels α . Mit Rücksicht auf die Rechnung wählt man für die Zielhöhe z eine runde Zahl. Den Höhenunterschied h erhält man aus

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

Der Messungsvorgang bei der Festlegung des Punktes P von A aus ist bei Verwendung eines Fernrohrs mit Fadenentfernungsmesser der folgende: Aufstellen des Tachymetertheodolits in A und Messen der Instrumentenhöhe i . Einstellen des Vertikalfadens auf die in P vertikal aufgehaltene Latte. Einstellen des im Gesichtsfeld oberen

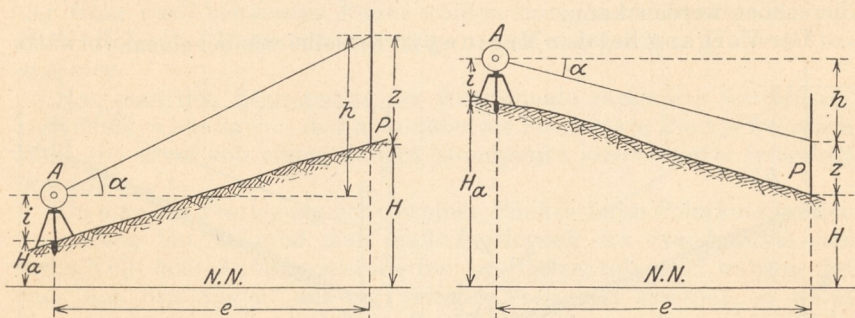


Abb. 73. Höhenbestimmung eines vorwärts festgelegten Punktes.

Horizontalfadens — Faden mit der kleinen Ablesung an der Latte — auf eine runde Zahl der Latte und Ablesen mit dem unteren Faden. Einstellen des Mittelfadens auf eine runde Zahl der Latte. Ablesen am Horizontalkreis oder an der Bussole. Ablesen am Vertikalkreis.

Es wurde bis jetzt angenommen, daß von den drei Horizontalfäden der mittlere Faden der „Nivellierfaden“ ist, d. h. daß bei einspielender Fernrohrlibelle die durch den mittleren Faden bestimmte Zielachse horizontal liegt. Man kann das Instrument in einfacher Weise auch so berichtigen, daß die Achsen der Fernrohrlibelle parallel zu derjenigen Zielachse sind, die durch den — z. B. für die Fernrohrlage mit Kreis links — oberen Horizontalfaden bestimmt ist¹. Bei der Messung entsteht dann insofern eine Vereinfachung, als nach der Bestimmung des Lattenabschnitts l sofort der Horizontalkreis abgelesen werden kann; die Zielhöhe z stimmt dann mit der Einstellung des oberen Fadens überein.

b) Wird ein Punkt P (Abb. 74) rückwärts festgelegt, wobei der Tachymetertheodolit im Neupunkt P aufgestellt wird, so mißt man

¹ Über die dadurch bedingten Näherungen vgl. Werkmeister, P.: Z. Vermessungswesen 1906, 513.

in P den magnetischen Richtungswinkel φ' der Geraden PA mit Hilfe der Bussole, die Strecke $PA = e$ und den Höhenunterschied h zwischen P und A . Der magnetische Richtungswinkel φ der Geraden AP ist dann gleich $\varphi' \pm 180^\circ$. Bedeuten wieder H_a die gegebene N.N.-Höhe von A (Abb. 75), i die Instrumentenhöhe und z die Einstellung des Nivellierfadens, so ergibt sich die N.N.-Höhe H des Punktes P aus

$$H = H_a - (h - z) - i,$$

wobei h das Vorzeichen des Vertikalwinkels α hat und aus

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

berechnet werden kann.

Der Vorgang bei der Messung ist derselbe wie bei einem vorwärts

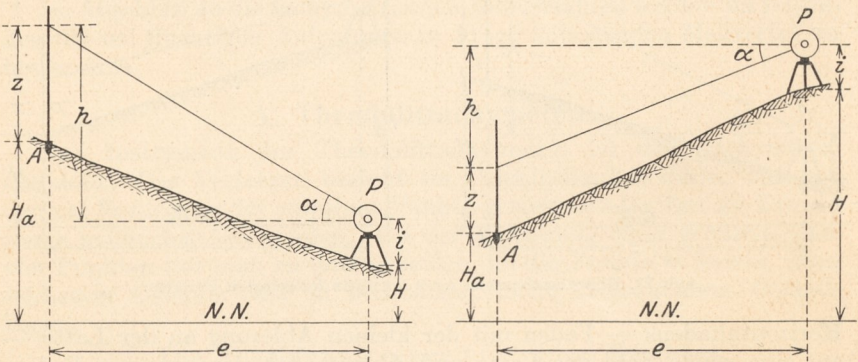


Abb. 75. Höhenbestimmung eines rückwärts festgelegten Punktes.

festgelegten Punkte. Die Bestimmung von e und h geschieht in der früher angegebenen Weise. Das oben in bezug auf den Nivellierfaden Gesagte gilt auch hier.

2. Die Festlegung von Punkten in freiem, übersehbarem Gelände.

In einem freien, überseharen Gelände kann man von jedem Instrumentstandpunkt aus eine größere Zahl von Punkten festlegen; die Überdeckung eines bestimmten Gebietes erfordert demnach nur wenige Instrumentstandpunkte.

Bei jedem Standpunkt hat man zuerst diesen selbst nach Lage und Höhe festzulegen. Dies geschieht am einfachsten dadurch, daß man als Standpunkt für das Instrument einen im Gelände — z. B. künstlich durch einen Pfahl oder einen Stein — bezeichneten und durch vorausgegangene grundlegende Messungen in der Karte horizontal und vertikal festgelegten Punkt wählt. Ist dies nicht möglich, so muß man Lage

und Höhe des Standpunkts rückwärts bestimmen. Um dabei frei von der nicht immer genügend genau bekannten magnetischen Nordrichtung zu sein, geht man bei der Festlegung des Standpunkts von mindestens zwei, besser drei Festpunkten aus; der Standpunkt ist dann horizontal — wenn nur die Entfernungen nach den Festpunkten benutzt werden — als Schnittpunkt von zwei bzw. drei Kreisen bestimmt, wobei die zwischen den Festpunkten gemessenen Horizontalwinkel wertvolle Proben ergeben. Sind H_1 , H_2 und H_3 die gegebenen N. N.-Höhen der Festpunkte, h_1 , h_2 und h_3 die entsprechenden Höhenunterschiede und z_1 , z_2 und z_3 die Einstellungen des Nivellierfadens an der Latte, so erhält man für die N. N. -Höhe H des Instrumenthorizonts die Werte

$$H' = H_1 - (h_1 - z_1) \quad H'' = H_2 - (h_2 - z_2) \quad H''' = H_3 - (h_3 - z_3)$$

und daraus einen sicheren Mittelwert. Häufig kommt es vor, daß man als Standpunkt für das Instrument einen nur der Lage, nicht aber der Höhe nach bekannten Punkt wählen kann; man hat dann nur die N. N.-Höhe des Instrumenthorizonts in der angegebenen Weise zu bestimmen.

Hat man den Standpunkt des Instruments rückwärts festzulegen, so kommt es häufig vor, daß man dabei als Festpunkte Punkte benutzen muß, die zuvor von einem andern Standpunkt aus vorwärts festgelegt wurden.

Da man zur Festlegung der einzelnen Punkte deren Polarkoordinaten zu messen hat, so muß man nach Festlegung des Standpunkts eine feste Null- oder Anfangsrichtung für die Horizontalwinkel wählen. Ist von dem Standpunkt aus ein weiterer Festpunkt sichtbar, so wählt man die Richtung nach diesem Punkt als Anfangsrichtung; die Richtungen nach den einzelnen Punkten werden dann mit dem Horizontalkreis gemessen, wozu man diesen u. U. so einstellen kann, daß der festen Anfangsrichtung die Ablesung 0° entspricht. Steht kein vom Standpunkt aus anzielbarer Festpunkt zur Verfügung, so wählt man als Anfangsrichtung die magnetische Nordrichtung, die dann aber in der Nähe des Standpunkts für das betreffende Gebiet festgelegt werden muß. Stellt man den Horizontalkreis derart ein, daß seine Nullstellung mit der magnetischen Nordrichtung zusammenfällt, so kann man alle weiteren Richtungsmessungen mit dem Horizontalkreis ausführen; es empfiehlt sich dies mit Rücksicht auf etwaige magnetische Störungen.

Die Bestimmung der magnetischen Nordrichtung für ein bestimmtes Gebiet erfordert außer einem der Lage nach bekannten Festpunkt S zum Aufstellen des Instruments mindestens einen weiteren, von dem ersteren aus anzielbaren Festpunkt Z . Stellt man den Tachymetertheodolit mit der Bussole in S auf und zielt man Z an, so liest man an der Bussole — unter der Voraussetzung, daß der Durchmesser $0-180^\circ$ der Bussole in der Zielebene des Fernrohrs liegt — den magnetischen Richtungswinkel φ der Geraden SZ ab; trägt man in der Karte von SZ aus φ an, so hat man damit die magnetische Nordrichtung. Bei der Wahl des Standpunkts S hat man zu beachten, daß die Bussole

Tachymetrische Punktbestimmung.

Datum: 1929 Aug. 4.

Instrument: 54.

(c = 0,35 m k = 101,46).

Wetter: klar, Wind.

Beobachter: N. N.

Bem.: Geländeaufnahme von A.

Standpunkt	Zielpunkt	Latte		Richtung °	Vertikalkreis		E e	h	h — t	Horizont	Höhe	Bemerkungen
		äußere Fäden	Niv.Faden den t		a ε = 0	α						
P.P. 91	G			0,0	—	—	—	—	—	769,0	—	H _s = 767,65
	1	1,00 2,23	1,6	353,2	358° 21'	— 1° 39'	125,1 125,0	— 3,6	— 5,2		763,8	i = 1,38
	2	1,00 2,46	1,7	1,9	2° 14'	+ 2° 14'	148,5 148,3	+ 5,8	+ 4,1		773,1	H = 769,03
	3	1,00 1,64	1,3	0,6	2° 35'	+ 2° 35'	65,3 65,2	+ 2,9	+ 1,6		770,6	
	4	1,00 2,01	1,5	359,0	2° 36'	+ 2° 36'	102,8 102,6	+ 4,7	+ 3,2		772,2	

nicht in der Nähe von Eisen und von Gleichstromleitungen verwendet werden darf. Da die magnetische Nordrichtung von der Deklination abhängig ist, so hat man bei der Aufnahme eines größeren Gebietes zu berücksichtigen, daß die Deklination an verschiedenen Orten verschieden ist; die Bestimmung der magnetischen Nordrichtung gilt deshalb nur für ein beschränktes Gebiet. In Gegenden mit größeren magnetischen Störungen ist dies besonders zu beachten.

Ist die Bussolenteilung zum Drehen eingerichtet, so stellt man sie derart ein, daß man an der Bussole z. B. geodätische Richtungswinkel abliest; dies hat den Vorteil, daß die Geraden, von denen aus die abgelesenen Bussolenwinkel anzutragen sind, über das ganze Aufnahmegebiet parallel sind.

Das Eintragen der festgelegten Punkte in die Karte auf Grund ihrer Polarkoordinaten geschieht z. B. mit Hilfe eines guten Winkelmessers in Halbkreisform mit einem Maßstab an der Kante.

Der Genauigkeit des Kartenmaßstabs entsprechend genügt es im allgemeinen, die zum Eintragen der Punkte er-

forderlichen Richtungen auf $\pm 0,1^\circ$ genau und die Entfernungen auf ± 1 m genau zu bestimmen; da außerdem bei den Höhen die Genauigkeit von $\pm 0,1$ m genügt, so mißt man den Lattenabschnitt zwischen den beiden äußeren Horizontalfäden auf 1 cm genau und den Vertikalwinkel auf eine Minute genau.

Benutzt man eine 4 m lange Latte mit Halbdezimeterteilung zur Bestimmung des Lattenabschnitts, so kann man von einem Standpunkt aus Punkte bis zu 400 m Entfernung festlegen; bestimmt man den Lattenabschnitt unter Benutzung des mittleren Horizontalfadens aus zwei Stücken, so kann man gelegentlich auch bis zu 500 m Entfernung gehen.

Zum Aufschreiben der bei der Messung an der Latte und dem Instrument abgelesenen Werte und der aus diesen berechneten Größen benutzt man einen Vordruck der nebenstehenden Art.

Für den richtigen Eintrag der Punkte in die Karte ist es notwendig, daß während der Messung die festgelegten Punkte entweder sofort genau oder wenigstens ungefähr maßstäblich in einem Feldriß eingezeichnet werden, wobei die Punkte im Feldriß und Vordruck übereinstimmend fortlaufend numeriert werden. Die Führung eines ungefähr maßstäblichen Feldrisses erfordert, daß man beim Gehen im Gelände jeden Augenblick angeben kann, wo der Punkt, in dem man steht, in dem Feldriß bzw. der Karte ungefähr liegt. Man erreicht dies dadurch, daß man vom Standpunkt des Instruments aus in einer gegebenen Richtung geht und dabei die zurückgelegten Entfernungen durch Abschreiten bestimmt; seitlich von dieser Richtung gelegene Punkte kann man durch rechtwinklige Koordinaten mit Abschätzen des rechten Winkels und Abschreiten der Ordinate bestimmen, wobei man aber die zuerst eingeschlagene, durch irgendeinen Punkt im Gelände (Haus, Baum, Feldecke usw.) festgehaltene Richtung am besten nicht verläßt. Hat man so einen bestimmten, im Feldriß festliegenden Punkt erreicht, so kann man von ihm aus eine andere, durch einen im Gelände und im Feldriß festliegenden Punkt bestimmte Richtung einschlagen und bei ihr ebenso verfahren wie zuvor. Eine neu einzuschlagende Richtung kann man auch mit Hilfe einer kleinen Handbussole festlegen.

3. Die Festlegung von Punkten in bedecktem, nicht übersehbarem Gelände.

Können in einem bestimmten Gebiet — insbesondere im Wald — die festzulegenden Punkte nicht von einigen wenigen Instrumentstandpunkten aus bestimmt werden, so erfolgt die Festlegung der Punkte mit Hilfe von Polygonzügen, bei denen Richtungswinkel der einzelnen Zugseiten mit der Bussole gemessen werden, und die deshalb als Bussolenzüge bezeichnet werden.

Jeder Bussolenzug muß von einem nach Lage und Höhe gegebenen Punkt *A* (Abb. 76) ausgehen und in einem solchen Punkt *B* wieder endigen. Da man mit der Bussole unmittelbar Richtungswinkel — von der magnetischen Nordrichtung oder einer sonstigen festen Richtung aus — messen kann, so muß man den Tachymetertheodolit nicht in jedem Zugpunkt aufstellen, sondern kann je einen Zugpunkt über-

springen. Stellt man das Instrument in dem Ausgangspunkt A und in den „Wechselpunkten“ $W_1, W_2 \dots$ nicht auf, so wird der Standpunkt S_1 über A rückwärts, der Wechselpunkt W_1 von S_1 aus vorwärts, der Standpunkt S_2 über W_1 rückwärts, der Wechselpunkt W_2 von S_2 aus vorwärts usw. festgelegt. Die Messung und Berechnung der einzelnen Zugseiten und Höhenunterschiede erfolgt in der früher angegebenen Weise; dabei kann man zur Vermeidung von größeren Anschlußfehlern die den Zugseiten entsprechenden Lattenabschnitte zwischen den beiden äußeren Horizontalfäden auf halbe Zentimeter genau messen und die Höhenunterschiede auf Zentimeter genau berechnen.

Bedeutet H_a und H_b die gegebenen N. N.-Höhen von A und B (Abb. 76), H_1, H_2 und H_3 die N. N.-Höhen der Instrumenthorizonte in S_1, S_2 und S_3 , $H_{w'}$ und $H_{w''}$ die N. N.-Höhen von W_1 und W_2 , h_r' ,

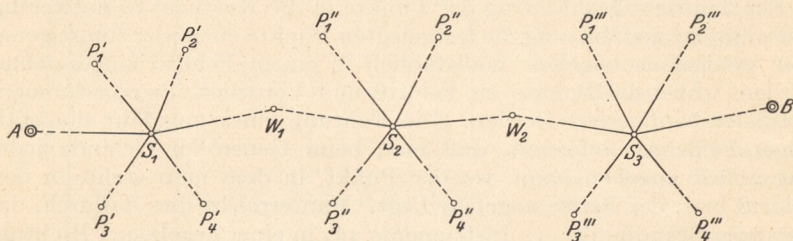


Abb. 76. Bussolenzug zwischen zwei Festpunkten.

h_v', h_r'', h_v'' sowie h_r''' und h_v''' die entsprechenden Höhenunterschiede und endlich z_r', z_v', z_r'', z_v'' sowie z_r''' und z_v''' die Einstellungen mit dem Nivellierfaden an der Latte, so kann man die N. N.-Höhen auf Grund der folgenden Gleichungen berechnen

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

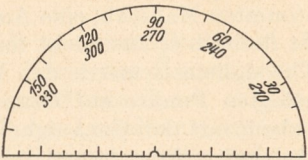
Die einzelnen Höhenunterschiede h haben dabei das Vorzeichen der Vertikalwinkel α ; man erhält sie aus

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

Der nicht zu vermeidende Anschlußfehler wird gleichmäßig auf die einzelnen Standpunkte verteilt. Die Größe des Anschlußfehlers ist insbesondere abhängig von der Größe der gemessenen Vertikalwinkel. Der Anschlußfehler wird in wenig geneigtem Gelände im allgemeinen $\pm 0,05 \sqrt{2n}$ Meter und in mittlerem Gelände $\pm 0,2 \sqrt{2n}$ Meter (n gleich Anzahl der Standpunkte) nicht übersteigen.

Meist muß man außer den eigentlichen Zugpunkten $S_1, W_1, S_2, W_2, S_3 \dots$ (Abb. 76) von den betreffenden Instrumentstandpunkten aus die zu beiden Seiten des Zuges gelegenen Seitenpunkte $P_1', P_2', P_3', P_4'; P_1'', P_2'', P_3'', P_4'' \dots$ mit festlegen; die Lattenabschnitte werden dabei auf ganze Zentimeter genau abgelesen und die Höhenunterschiede auf ganze Dezimeter genau berechnet.

Das Aufzeichnen der einzelnen Punkte eines Bussolenzuges auf Grund der gemessenen bzw. berechneten Polarkoordinaten geschieht mit Hilfe eines halbkreisförmigen Winkelmessers mit Kantenmaßstab (Abb. 77) auf einem mit Parallelen im beliebigen Abstand von 5—10 mm versehenen Pauspapier; kleine, sich zeigende Anschlußfehler in horizontalem Sinn kann man in einfacher Weise durch entsprechendes Verschieben des Pauspapiers auf die einzelnen Standpunkte verteilen.



Für die Aufschreibung der Messungsergebnisse und deren Berechnung verwendet man einen Vordruck wie den folgenden.

Abb. 77. Winkelmesser zum Aufzeichnen von Bussolenzügen.

Die einzelnen Zugpunkte müssen während der Messung wenigstens ungefähr maßstäblich in einen Feldriß eingetragen werden, wobei sie mit den Aufschreibungen im Vordruck übereinstimmend zu numerieren

Tachymetrische Punktbestimmung.

Datum: 1929, Aug. 5. Instrument: 58. ($c = 0,17, k = 99,33$).
Wetter: ruhig, Sonne. Beobachter: N. N. Bem.: Bussolenzug von A nach B.

Standpunkt	Zielpunkt	Latte		Rich- tung °	Vertikalkreis		E e	h	$h - t$	Hori- zont	Höhe	Bemer- kungen
		äußere Fäden	Niv.- Fäden t		a	α						
					$\varepsilon = 0$							
1	A	1,00 1,33	1,2	191,7	353°51'	— 6°09'	32,9 32,5	— 3,5	— 4,7	711,1	<u>706,4</u>	
	2	1,00 1,37	1,2	20,3	4°51'	+ 4°51'	36,9 36,6	+ 3,1	+ 1,9		713,0	
3	2	1,00 1,36	1,2	223,5	348°57'	—11°03'	35,9 34,6	— 6,8	— 8,0	721,0	713,0	
	B	1,00 1,57	1,3	59,0	5°04'	+ 5°04'	56,8 56,4	+ 5,0	+ 3,7		724,7	soll 724,7

sind. Für diese Aufzeichnung der Punkte im Zusammenhang mit der Messung ist es bequem, wenn die Bussole in ihrem Halter durch Drehung so eingestellt ist, daß die an ihr abgelesenen Richtungswinkel sich auf Parallelen zur $+x$ -Richtung eines Koordinatensystems oder zu einem Kartenrand beziehen.

B. Meßtischtachymetrie.

Das Instrument der Meßtischtachymetrie ist der Meßtisch mit der Kippregel. Der Unterschied des Verfahrens im Vergleich zur Theodolit-

tachymetrie besteht darin, daß die zur Lagebestimmung der aufzunehmenden Punkte erforderlichen Richtungen unmittelbar im Gelände zeichnerisch festgelegt werden; die Aufzeichnung der festzulegenden Punkte geschieht zusammen mit der Aufnahme in einem vorher bestimmten Maßstab, eine Aufzeichnung der Punkte in anderem Maßstab ist deshalb später nicht mehr möglich. Im Vergleich hierzu bietet die Theodolittachymetrie den Vorteil, daß man die durch die Messung festgelegten Punkte auf Grund der dabei gemachten Aufschreibungen in jedem, mit der Genauigkeit der Messung im Einklang stehenden Maßstab aufzeichnen kann. In bezug auf die Bestimmung der Entfernungen und Höhen besteht kein Unterschied zwischen der Theodolittachymetrie und der Meßtischtachymetrie.

Auch hier hat man zu unterscheiden, ob die festzulegenden Punkte in einem freien, übersehbaren Gelände liegen oder nicht.

1. Die Festlegung eines einzelnen Punktes.

Ein Neupunkt P kann in ähnlicher Weise wie bei der Theodolittachymetrie entweder vorwärts von einem Festpunkt A aus oder rückwärts über A festgelegt werden; im ersten Fall wird der Meßtisch in A , im anderen Fall in P aufgestellt.

Der Meßtisch ist richtig aufgestellt, wenn ein Punkt der Zeichnung auf der horizontal liegenden Platte vertikal über dem ihm entsprechenden Punkt in der Natur liegt, und wenn alle von diesem Punkt ausgehenden Geraden in der Zeichnung und in der Natur parallel oder um denselben Winkel verschwenkt sind.

Soll der Meßtisch in einem in der Zeichnung und in der Natur gegebenen Festpunkt aufgestellt werden, so muß man die horizontal zu legende Tischplatte über dem Punkt einstellen und in eine bestimmte Richtung einrichten; dies erfordert eine in der Natur und in der Zeichnung gegebene feste Richtung. Sind U und U' (Abb. 78) die

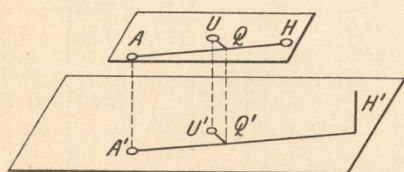


Abb. 78. Einstellen des Meßtisches über einem Punkt.

Schnittpunkte der vertikalen Umdrehungsachse des Meßtisches mit der Zeichenebene und mit dem Boden, A und A' der in der Zeichnung und auf dem Boden gegebene Festpunkt und H bzw. H' ein zweiter Festpunkt (z. B. Kirchturmspitze), durch den die feste Richtung AH bzw. $A'H'$ bestimmt

ist, so mißt man in der Zeichnung die rechtwinkligen Koordinaten $x = AQ$ und $y = QU$ von U in bezug auf AH in natürlicher Größe ab und kann dann mit ihnen von $A'H'$ aus den Punkt U' auf dem Boden angeben; die Aufstellung von U über U' erfolgt mit Hilfe des angehängten Schnurlotes. Legt man dann die Linealkante der Kippregel an AH an und dreht man — zum Teil von freier Hand, zum Teil, nach Anziehen der Klemmschraube, mit der Feinbewegungsschraube — die Platte so lange, bis der Punkt H' angezielt ist, so liegt A über A' ; ob dies der Fall ist, kann man mit einer Lotgabel prüfen.

Als feste Gerade AH bzw. $A'H'$ kann man auch die magnetische Nordrichtung oder eine von dieser um einen bekannten Winkel abweichende Gerade benutzen, wobei aber die magnetische Nordrichtung bzw. dieser Winkel bekannt sein müssen.

Die Festlegung eines Neupunktes P von dem Festpunkt A aus vorwärts geschieht dadurch, daß man P mit der Kippregel anzielt und diese zugleich so legt, daß ihre Linealkante durch A geht; zieht man mit dem Bleistift die Gerade AP der Linealkante entlang, so kann man $AP = e$ daran antragen. Die Bestimmung von e und von dem Höhenunterschied erfolgt in der früher angegebenen Weise; der Vorgang bei der Messung ist genau derselbe wie bei Benutzung des Tachymetertheodolits; auch die Bestimmung der N. N.-Höhe von A geschieht in derselben Weise wie dort.

Die Festlegung eines Punktes P rückwärts über einen gegebenen Festpunkt A geschieht mit Benutzung der Bussole; die magnetische Nordrichtung muß dabei in der Zeichnung bekannt sein. Man stellt den Meßtisch in P so auf, daß die Tischplatte horizontal liegt. Legt man dann die Bussole mit ihrer Anlegekante an die gegebene magnetische Nordrichtung, und dreht man die Platte — von freier Hand und mit der Feinbewegungsschraube — derart, daß die Magnetnadel auf die Nullmarke der Bussole zeigt, so ist die Meßtischplatte eingerichtet. Man zielt nun mit der Kippregel den Festpunkt A an und sorgt dabei dafür, daß die Linealkante durch den Punkt A der Zeichnung geht; zieht man die durch die Linealkante bestimmte Gerade, so liegt auf ihr der festzulegende Punkt P . Die Bestimmung der Entfernung, des Höhenunterschieds und der N. N.-Höhe erfolgt in derselben Weise wie beim Tachymetertheodolit.

Das beim Tachymetertheodolit über den Nivellierfaden Gesagte gilt auch für die Kippregel.

2. Die Festlegung von Punkten in freiem, übersehbarem Gelände.

Die Festlegung einer größeren Zahl von Punkten in einem freien, übersehbaren Gelände von einigen wenigen Instrumentstandpunkten aus geschieht mit dem Meßtisch in derselben Weise wie mit dem Tachymetertheodolit; der einzige Unterschied besteht bei der Lagebestimmung darin, daß beim Meßtisch die Richtungen unmittelbar, der Linealkante entlang gezeichnet werden. Das bei der Theodolittachymetrie in bezug auf die Bestimmung der Entfernungen und der N. N.-Höhen Gesagte gilt auch für den Meßtisch.

3. Die Festlegung von Punkten in bedecktem, nicht übersehbarem Gelände.

Wie bei der Theodolittachymetrie besteht auch bei der Meßtischtachymetrie das Verfahren bei der Festlegung von Punkten in nicht übersehbarem Gelände im Grundgedanken darin, daß man die einzelnen Punkte mit Hilfe von Polygonzügen festlegt, bei denen mit Hilfe der

Büßole die magnetischen Richtungswinkel der einzelnen Zugseiten bestimmt werden. Die Bestimmung der Instrumentstandpunkte, der Wechsellpunkte und der Seitenpunkte nach Lage und Höhe erfolgt wie bei der Theodolittachymetrie. Ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Verfahren besteht darin, daß die Aufstellung des Meßtisches unbequemer ist und mehr Zeit erfordert als die des Tachymetertheodolits.

C. Phototachymetrie.

Das eigentliche Instrument der Phototachymetrie ist die Meßkammer¹. Das Verfahren der Phototachymetrie oder Photogrammetrie besteht darin, daß man die gesuchten Punkte mit Hilfe von Meßbildern festlegt.

1. Übersicht über die verschiedenen photogrammetrischen Verfahren.

Bei der Festlegung von Punkten mit Hilfe von Meßbildern hat man zweierlei zu beachten, die Aufnahme der Bilder und die Auswertung der Bilder.

Da die Aufnahme der Bilder entweder von festen Standpunkten auf der Erde oder von einem Luftfahrzeug aus erfolgen kann, so teilt man die Photogrammetrie dem Aufnahmeort entsprechend ein in Erdphotogrammetrie oder Photogrammetrie von der Erde aus und Luftphotogrammetrie oder Photogrammetrie vom Luftfahrzeug aus.

Im allgemeinsten Fall besteht die photogrammetrische Punktbestimmung im Grundgedanken darin, daß man von dem in Frage kommenden Gebiet von zwei, nach Lage und Höhe bekannten oder bestimmbarren Punkten aus je ein Meßbild aufnimmt. Bei der Auswertung der Bilder entnimmt man den Bildern diejenigen Größen, die zur Festlegung der gesuchten Punkte erforderlich sind; dabei kann man die beiden Bilder entweder getrennt oder gemeinsam auswerten. Man kann deshalb zwei Auswertungsverfahren unterscheiden, die man als Einbildverfahren und Zweibildverfahren bezeichnen kann.

Beim Einbildverfahren wird jeder Punkt unter einäugiger Betrachtung von jedem Bild durch Vorwärtseinschneiden bestimmt; das Verfahren heißt deshalb auch Einschneideverfahren oder Einschneidephotogrammetrie². Die für das Vorwärtseinschneiden erforderlichen Winkel erhält man am einfachsten mit Benutzung des Bildtheodolits, mit dessen Hilfe man auf Grund des Bildes Horizontal- und Vertikalwinkel nach den festzulegenden Punkten messen kann wie mit einem in dem Aufnahmeort des Bildes aufgestellten gewöhnlichen Theodolit.

Beim Zweibildverfahren werden die beiden Bilder gemeinsam oder zweiäugig betrachtet; jeder Punkt wird dabei auf Grund des entstehenden räumlichen oder stereoskopischen Bildes bestimmt. Das Ver-

¹ Daß man auch mit einer gewöhnlichen Kammer Punkte photogrammetrisch festlegen kann, spielt heute keine Rolle mehr.

² Das Verfahren wurde früher auch als Meßtischphotogrammetrie bezeichnet.

man bei der Aufnahme der Bilder die Horizontalwinkel α_1 und α_2 zwischen der Standlinie S_1S_2 und der horizontalen Kammerachse und bestimmt man die Winkel β_1 und β_2 auf Grund der Bilder, so erhält man die Winkel φ_1 und φ_2 aus $\varphi_1 = 180^\circ - (\alpha_1 + \beta_1)$ und $\varphi_2 = 180^\circ - (\alpha_2 + \beta_2)$. Mit φ_1 und φ_2 kann man die Lage von P nach dem Einschneideverfahren ermitteln. Die Winkel β_1 und β_2 erhält man nach Abmessen der horizontalen Abstände a_1 und a_2 in den Bildern¹ auf Grund der bekannten Bildweite f aus $\text{tg } \beta_1 = \frac{a_1}{f}$ und $\text{tg } \beta_2 = \frac{a_2}{f}$. Mißt man in den Bildern auch die vertikalen Abstände b_1 und b_2 der Bildpunkte P_1 und P_2 von den Bildhorizontalen, so kann man die Höhenunterschiede h_1 und h_2 zwischen P und S_1 bzw. S_2 berechnen aus

$$h_1 = b_1 \frac{S_1 P}{f \cos \beta_1} \quad \text{und} \quad h_2 = b_2 \frac{S_2 P}{f \cos \beta_2};$$

dabei erhält man S_1P und S_2P mit Hilfe von $S_1S_2 = s$ aus

$$S_1P = s \frac{\sin \varphi_2}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)} \quad \text{und} \quad S_2P = s \frac{\sin \varphi_1}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)}.$$

Sind demnach die N. N.-Höhen des Objektivhauptpunktes in S_1 und S_2 bei der Aufnahme der Bilder bekannt, so kann man die N. N.-Höhe von P doppelt berechnen.

Die Stereophotogrammetrie unterscheidet sich von der Einschneidephotogrammetrie nicht allein in der Art der Auswertung der Bilder, sondern auch bei der Aufnahme der Bilder. Mit Rücksicht auf die Bequemlichkeit bei der Auswertung nimmt man bei der Stereophotogrammetrie die Bilder derart auf, daß sie in beliebigen Höhen, aber in derselben Vertikalebene oder wenigstens in parallelen Vertikal Ebenen liegen (Abb. 80). Im einfachsten Fall, bei dem die beiden Bilder

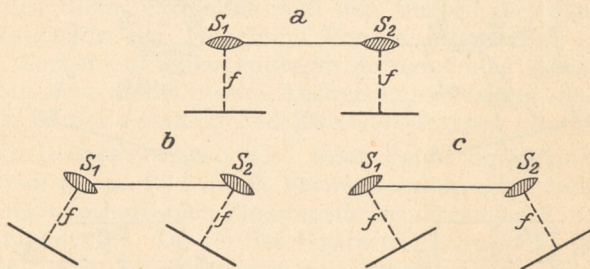


Abb. 80. Plattenstellungen bei der Stereophotogrammetrie von der Erde aus.

bei der Aufnahme in derselben Vertikalebene liegen (Abb. 80a), erhält man die Lage eines Punktes P (Abb. 81) mit Hilfe des als Parallaxe bezeichneten Unterschiedes p der beiden Abstände a_1 und a_2 von den Bildvertikalen. Ist s die Länge der Standlinie S_1S_2 , f die Bildweite und b_1 der Abstand des Bildes P_1 von P von der Bildhorizontalen im linken Bilde, so erhält man die Koordinaten x , y und z von P in bezug auf

¹ Alle Abmessungen in den Bildern werden am besten an Hand der bei der Aufnahme hergestellten Negativplatten ausgeführt.

die Standlinie S_1S_2 und den Punkt S_1 aus den einfach abzulesenden Gleichungen

$$x = \frac{sa_1}{p}, \quad y = \frac{sf}{p}, \quad z = \frac{sb_1}{p}.$$

Ist demnach vom linken Standpunkt S_1 die Lage und die N. N.-Höhe und vom rechten Standpunkt S_2 die Lage des Objektivhauptpunktes während der Aufnahme bekannt, so kann man einen Punkt P nach Lage und Höhe festlegen.

Die Auswertung oder Ausmessung des Bildpaares, bestehend in der Messung von a_1 , b_1 und p , geschieht mit Hilfe des Stereokomparators; a_1 und b_1 kann man dabei unmittelbar bestimmen auf Grund des im linken Standpunkt S_1 aufgenommenen Bildes. Die Parallaxe p erhält man mit Hilfe des bei zweiäugiger Betrachtung beider Bilder entstehenden stereoskopischen Bildes, in dem

man eine räumlich gesehene und räumlich bewegbare Marke durch entsprechendes Drehen einer Schraube räumlich auf den festzulegenden Punkt P einstellt; an einem mit der „Parallaxenschraube“ verbundenen Maßstab kann dann p unmittelbar abgelesen werden. Die Bestimmung der Koordinaten von

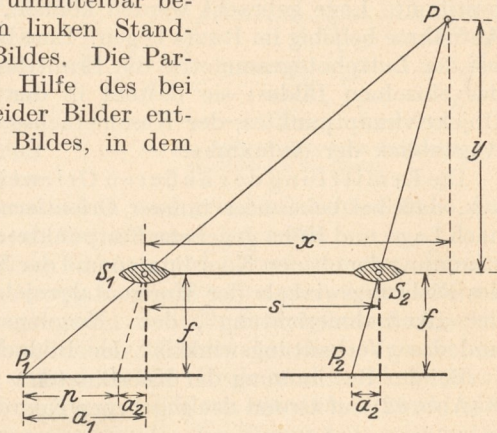


Abb. 81. Einfachster Fall der Stereophotogrammetrie von der Erde aus.

x , y und z auf Grund der oben angegebenen Gleichungen kann man rechnerisch, zeichnerisch oder mechanisch vornehmen.

Diese punktweise Auswertung eines Bildpaares mit Benutzung des Stereokomparators kommt mit Rücksicht darauf, daß es verschiedene erprobte Instrumente zur linienweisen Auswertung gibt, nur noch gelegentlich in Frage.

Das zunächst zur linienweisen Auswertung von stereophotogrammetrischen Aufnahmen von der Erde aus in Frage kommende Instrument ist der Stereoautograph von C. Zeiß; es ist dies ein durch ein Hebelsystem mit einem Zeichenstift verbundener Stereokomparator, bei dem jede Einstellung der räumlich bewegbaren Marke im stereoskopisch gesehenen Meßbildpaar selbsttätig auf den Zeichenstift und damit in die Zeichnung übertragen wird. Die Einrichtung des Stereoautographen ist derart, daß man mit der bewegbaren Marke jede Linie in dem räumlich gesehenen Bild verfolgen kann; der Zeichenstift zeichnet dann die Horizontalprojektion der betreffenden Linie selbsttätig auf. Insbesondere kann man bei dem Instrument die bewegbare Marke auf eine bestimmte N. N.-Höhe ein- und feststellen und die dieser entsprechende Höhenschichtlinie mit der Marke in dem räumlich gesehenen

Bild verfolgen; die Schichtlinie wird dabei von dem Zeichenstift aufgezeichnet¹.

Die von verschiedenen Seiten ausgeführten Genauigkeitsuntersuchungen haben einwandfrei ergeben, daß insbesondere bei der Geländedarstellung in Höhenschichtlinien das Ergebnis einer stereophotogrammetrisch durchgeführten Aufnahme ebenso genau ist wie dasjenige einer Aufnahme mit dem Tachymetertheodolit oder mit dem Meßtisch.

3. Luftphotogrammetrie.

Die Luftphotogrammetrie unterscheidet sich von der Erdphotogrammetrie bei der Aufnahme darin, daß die Bildebenen nicht in eine bestimmte Lage gebracht werden können, sondern im Augenblick der Aufnahme beliebig im Raum liegen. Eine besondere Rolle spielt deshalb bei der Luftphotogrammetrie die Ermittlung der äußeren Orientierung des einzelnen Bildes; sie besteht in der Bestimmung der Lage des Objektivhauptpunktes, der Kammerachse und der Bildachsen für den Augenblick der Aufnahme.

Die Ermittlung der äußeren Orientierung eines Bildes setzt voraus, daß bei bekannter innerer Orientierung das Bild mindestens drei, nach Lage und Höhe gegebene Festpunkte enthält; sie zerfällt in die Bestimmung der ebenen Koordinaten und der N.N.-Höhe des Aufnahmeorts, des Richtungswinkels der Horizontalprojektion der Kammerachse oder der „Aufnahmerichtung“, des „Neigungswinkels“ der Kammerachse und des „Verkantungswinkels“ der Bildachsen gegen die Horizontale.

Bei der Bestimmung der Koordinaten x , y und z des Aufnahmeorts S (Abb. 82) auf Grund der gegebenen Koordinaten (x_a, y_a, z_a) , (x_b, y_b, z_b)

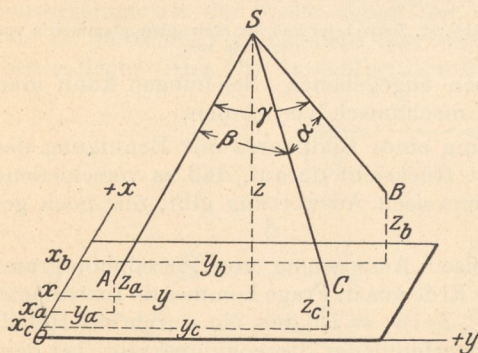


Abb. 82. Grundgedanke des Rückwärtseinschnittens im Raum mit Hilfe von Positionswinkeln.

und (x_c, y_c, z_c) der Festpunkte A , B und C handelt es sich um ein Rückwärtseinschneiden im Raum mit Hilfe der drei Positionswinkel α , β und γ , die bei bekannter innerer Orientierung des Bildes — Hauptpunkt H und Bildweite $OH = f$ (Abb. 83) — durch die Bildpyramide $O, A'B'C'$ bestimmt sind und in dieser z. B. mit Benutzung eines Bildtheodolits unmittelbar gemessen werden können.

Die Lösung der Aufgabe kann man graphisch, graphisch-numerisch, numerisch oder mechanisch vornehmen. Die mechanische Lösung geschieht mit Hilfe eines Auswertungsinstruments — Aerokartograph oder Stereoplanigraph —; sie besteht darin, daß man durch systematische Versuche oder durch allmähliche Annäherung der Bildplatte im Instrument

¹ Der Stereoaograph wurde deshalb auch schon als Schichtlinienzeichner bezeichnet.

eine solche Lage gibt, die derjenigen entspricht, die sie im Augenblick der Aufnahme im Raum hatte. Die mechanische Lösung mit Hilfe des Aerokartographen oder des Stereoplanigraphen bietet den Vorteil, daß man zwei zusammengehörige Bildplatten gemeinsam im Instrument einpassen, also zwei Aufnahmeorte zugleich bestimmen kann, und daß dann für beide Bilder die gesamte äußere, am Auswertungsinstrument im einzelnen ablesbare Orientierung bestimmt ist. Die Aufgabe des gemeinsamen Rückwärtseinschneidens von zwei Punkten im Raum kann mechanisch mit einem Auswertungsinstrument bedeutend rascher gelöst werden als nach einem anderen Verfahren; die numerischen und graphisch-numerischen Lösungen haben deshalb nur noch theoretisches Interesse.

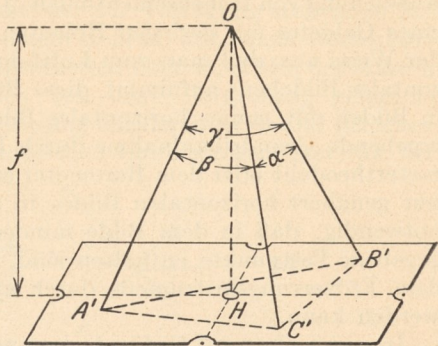


Abb. 83. Die Bildpyramide beim Rückwärtseinschneiden im Raum.

Die Festlegung von Neupunkten auf Grund von zwei Bildern mit bekannter äußerer Orientierung kann entweder nach dem Verfahren der Einschnidephotogrammetrie oder dem der Stereophotogrammetrie ausgeführt werden. Das Einschnideverfahren, bei dem man die zur Festlegung der Neupunkte erforderlichen Horizontal- und Vertikalwinkel mit Hilfe des Bildtheodolits den Bildern entnehmen kann, wird nur noch ganz ausnahmsweise angewandt; die Stereophotogrammetrie bietet den Vorteil, daß man bei Benutzung des Aerokartographen oder des Stereoplanigraphen die Bilder nicht nur punktweise, sondern auch linienweise auswerten kann.

Bei den beiden wichtigsten Instrumenten zur stereophotogrammetrischen Auswertung von Bildpaaren, dem Aerokartograph von Aerotopograph G. m. b. H. und dem Stereoplanigraph von C. Zeiß, ist eine räumlich gesehene und räumlich bewegbare Marke vorhanden, deren Einstellungen auf einen mit ihr verbundenen Zeichenstift selbsttätig übertragen werden. Die Einrichtung ist ähnlich wie beim Stereautograph derart, daß mit der im Gesichtsfeld bewegbaren Marke jede Linie in dem stereoskopisch gesehenen Bild verfolgt werden kann; der Zeichenstift zeichnet dabei die Horizontalprojektion der betreffenden Linie selbsttätig auf. Insbesondere kann man auch hier die bewegbare Marke auf eine bestimmte N. N.-Höhe ein- und feststellen; verfolgt man dann die entsprechende Höhenschichtlinie mit der Marke in dem räumlich gesehenen Bild, so wird von dem Zeichenstift die Schichtlinie aufgezeichnet.

Auch für stereophotogrammetrische Aufnahmen aus der Luft haben eingehende, von verschiedenen Seiten ausgeführte Untersuchungen gezeigt, daß die Ergebnisse in bezug auf die Genauigkeit von Grundriß und Geländedarstellung den mit dem Tachymetertheodolit und dem Meßtisch ausgeführten Aufnahmen mindestens gleichkommen.

In einem Gelände mit geringen Höhenunterschieden versagt das stereophotogrammetrische Auswertungsverfahren bei der Bestimmung der N. N. -Höhen einzelner Punkte und insbesondere bei der Aufsuchung von Höhenschichtlinien. Die photogrammetrische Aufnahme eines Gebietes mit geringen Höhenunterschieden führt man deshalb in der Weise aus, daß man vom Luftfahrzeug aus Bilder mit nahezu horizontaler Bildebene aufnimmt, diese Bilder mit einem Einbildinstrument in Bilder mit genau horizontaler Bildebene umformt, und die so sich ergebende Grundrißaufnahme durch Höhenmessungen mit dem Tachymetertheodolit oder dem Barometer ergänzt. Für die Umformung eines nur genähert horizontalen Bildes in ein genau horizontales Bild ist es notwendig, daß in dem Bilde mindestens drei, nach Lage und Höhe gegebene Festpunkte enthalten sind, mit deren Hilfe die Bildplatte in dem Entzerrungsinstrument durch systematische Versuche eingepaßt werden kann.

In ganz ebenem Gelände legt man Punkte und Linien ihrer Lage nach mit nahezu horizontal aufgenommenen Bildern fest, die man mit Hilfe eines Entzerrungsinstruments zu genau horizontalen Bildern umformt.

Die zum Einpassen der Meßbilder im Auswertungsinstrument oder zur Bestimmung ihrer äußeren Orientierung erforderlichen Paßpunkte können entweder nach der Herstellung der Bilder durch entsprechende Messungen im Gelände oder auch photogrammetrisch mit Hilfe der Bilder selbst horizontal und vertikal festgelegt werden¹.

D. Meßverfahren für flüchtige Aufnahmen.

Bei der Ausführung von flüchtigen Aufnahmen, also von Aufnahmen mit geringerer Genauigkeit oder von Aufnahmen zu Ausarbeitungen in kleineren Maßstäben², bei denen die Anwendung der Theodolittachymetrie und der Meßtischtachymetrie zuviel Zeit in Anspruch nehmen würde und die oben angegebenen photogrammetrischen Verfahren nicht in Frage kommen, hat man ebenfalls Punkte sowohl in horizontalem als auch in vertikalem Sinne festzulegen. Das wichtigste Verfahren zur Höhenbestimmung bei flüchtigen Aufnahmen ist die barometrische Höhenmessung.

Zur Ausführung von Aufnahmen in kleinen Maßstäben können auch photogrammetrische Verfahren verwendet werden.

1. Horizontale Festlegung von Punkten.

Hat man eine Reihe einer Linie AB entlang liegender Punkte festzulegen, so geschieht dies mit Hilfe eines Polygonzuges, bei dem man mit der Bussole Richtungswinkel der Seiten mißt. Bei der Messung eines solchen Bussolenzuges zwischen zwei Punkten A und B (Abb. 84) kann man bei der Messung der magnetischen Richtungswinkel je einen

¹ Vgl. III A 6 und 9.

² Vgl. auch z. B. Neumayer, G. v.: Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen.

Punkt überspringen. Zur Messung der Winkel benutzt man eine Stockbussole oder auch nur eine Handbussole. Die Strecken bestimmt man je nach der verlangten Genauigkeit, der zur Verfügung stehenden Zeit und der Bodenbeschaffenheit mit einem Meßrad, mit einem stereoskopischen Entfernungsmesser, durch Abschreiten oder mit Hilfe der Marschzeit. Die Festlegung von seitlich von dem Polygonzug gelegenen Punkten erfolgt durch Richtungsmessung mit der Bussole und Streckenmessung, z. B. mit einem stereoskopischen Entfernungsmesser; die Ver-

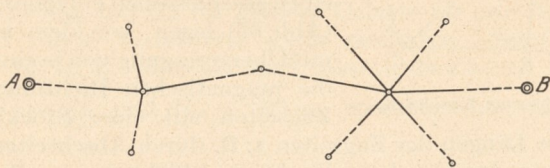


Abb. 84. Bussolenzug zwischen zwei Festpunkten.

wendung eines solchen Entfernungsmessers bietet den Vorteil, daß man die Punkte — ihre natürliche Bezeichnung vorausgesetzt — nicht zu begehen hat. Wenn möglich, kann man die Seitenpunkte auch mit Benutzung eines Fünfseitprismas nach rechtwinkligen Koordinaten festlegen; die Messung der erforderlichen Strecken kann dabei ebenfalls mit einem stereoskopischen Entfernungsmesser ausgeführt werden.

Die Aufzeichnung von solchen, zweckmäßigerweise in zwei gegebenen Festpunkten A und B angeschlossenen Bussolenzügen wird mit einem halbkreisförmigen Winkelmesser in der bei der Theodolittachymetrie angegebenen Weise ausgeführt.

Sind mehrere, ungefähr gleichmäßig über ein Gebiet verteilte Punkte $P_1, P_2, P_3 \dots$ (Abb. 85) festzulegen, so kann man hierzu entweder

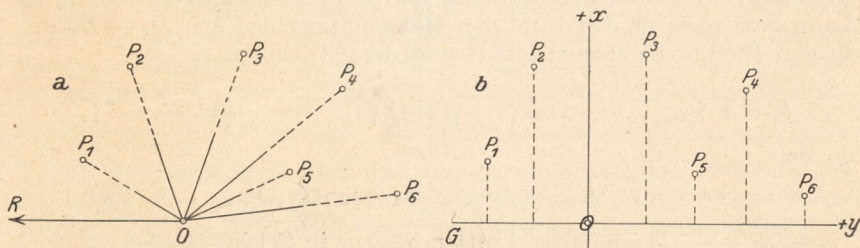


Abb. 85. Festlegung von Punkten: a) mit Polarkoordinaten, b) mit rechtwinkligen Koordinaten.

Polarkoordinaten oder rechtwinklige Koordinaten benutzen. Legt man die Punkte mit Hilfe von Polarkoordinaten (Abb. 85a) fest, so wählt man einen Punkt O und von ihm aus eine feste Nullrichtung R und mißt von dieser aus die Winkel nach den einzelnen Punkten; wählt man als Anfangsrichtung die magnetische Nordrichtung, so mißt man die magnetischen Richtungswinkel z. B. mit einer Stockbussole. Die Entfernungen zwischen O und den Punkten $P_1, P_2, P_3 \dots$ mißt man z. B. mit einem stereoskopischen Entfernungsmesser. Legt man die Punkte mit Hilfe von rechtwinkligen Koordinaten fest, so

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

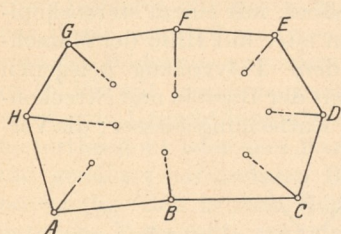


Abb. 86. Geschlossener Bussolenzug.

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

2. Barometrische Höhenmessung.

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

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

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

in der

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

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

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

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

φ die geographische Breite der beiden Punkte,

e der Dunstdruck der Luft zwischen P_u und P_o ,

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Setzt man zur Abkürzung

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

so hat man zur Berechnung des Höhenunterschiedes h die Gleichung

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

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

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

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

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

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

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

Die wichtigsten Messungsverfahren sind die folgenden:

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

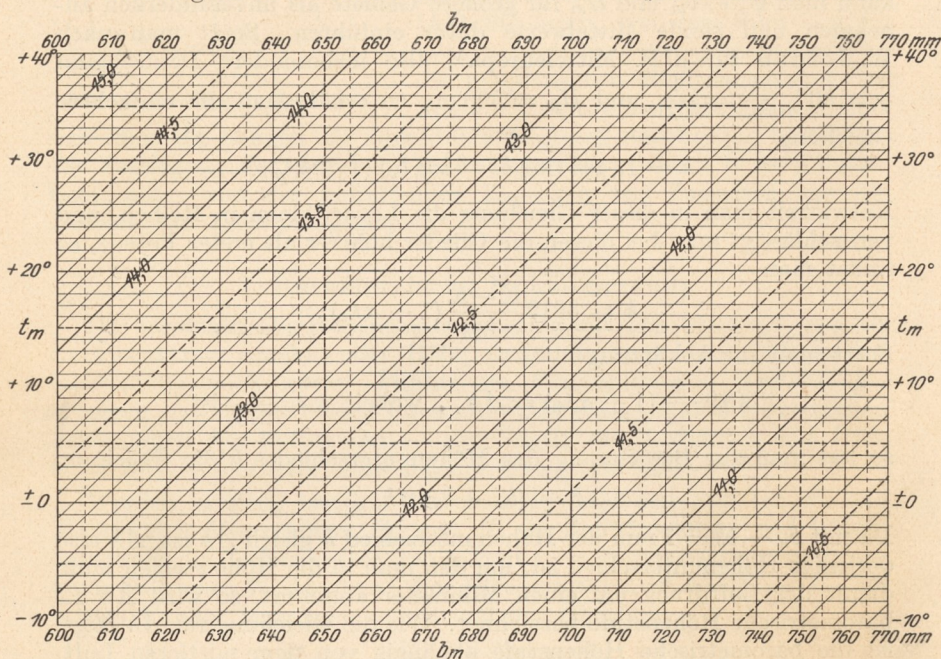


Abb. 87. Tafel für die barometrische Höhenstufe.

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

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

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

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

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

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

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

Bestimmung des Höhenunterschiedes zweier Punkte mit Hilfe eines Federbarometers.

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

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

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

Standbarometer

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

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

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

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

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

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

Bestimmung der Höhen eines Vertikalschnitts mit zwei Federbarometern.

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

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

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

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

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

3. Photogrammetrische Verfahren.

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

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

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

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-