

SITZUNGSBERICHTE
DER
KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE.

HUNDERTSECHZEHNTER BAND.

WIEN, 1907.
AUS DER KAISERLICH-KÖNIGLICHEN HOF- UND STAATSDRUCKEREI
IN KOMMISSION BEI ALFRED HÖLDER,
K. U. K. HOF- UND UNIVERSITÄTSBUCHHÄNDLER,
BUCHHANDLER DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

Die Herstellung von Karten und Plänen auf photographischem Wege

von

Theodor Scheimpflug,

k. u. k. Hauptmann d. R. und Kapitän i. F.

(Mit 6 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 7. März 1907.)

I. Überblick über die leitenden Gesichtspunkte der Methode.

Das hier zu erläuternde Verfahren beruht auf der Auswertung von Photogrammen des Terrains zu Karten oder Plänen, unterscheidet sich aber von den bekannten photogrammetrischen Methoden wesentlich dadurch, daß diese Auswertung nicht punktweise durch Messung, Rechnung und Zeichnung erfolgt, sondern daß bei derselben die Bilder in ihrer Gänze oder zum mindesten größere Teile derselben auf einmal systematisch verändert und durch rein optische, beziehungsweise photographische Prozesse in Teile von Karten oder Plänen übergeführt werden.

Der theoretische Grundgedanke, der dem Verfahren zu Grunde liegt, läßt sich kurz dahin formulieren, daß sowohl die Photographien als die Karten ebene und projektive Bilder des Terrains sind und sich nur dadurch voneinander unterscheiden, daß im allgemeinen jedes einzelne Element der Photographie einen anderen Maßstab hat als das ihm entsprechende Element der Karte. Es muß also möglich sein, durch Prozesse, welche diese Maßstabsverschiedenheiten beseitigen, die Photographien in Karten überzuführen.

Allerdings ist der Standpunkt, von dem aus die Photographie des Terrains aufgenommen wurde, im allgemeinen ein

niedriger; es wird bei selber in der Regel nicht nur der Vordergrund viel zu groß und detailreich, der Hintergrund viel zu klein und detailarm erscheinen, sondern es wird, und das ist prinzipiell viel bedenklicher, der Vordergrund große und wichtige Partien des Hintergrundes verdecken. Was in der Photographie fehlt, aber in der Karte nicht fehlen darf, kann nur aus anderen Bildern ergänzt werden. Solange die Standpunkte niedrig sind und das Terrain nahezu enfilieren, wäre aber eine Unzahl von Bildern dazu nötig und die zu ihrer Verarbeitung nötige Mühe stände in keinem Verhältnis zum Resultat.

Erst wenn und in dem Maße, als man hohe Standpunkte wählt, wird die Sache diskutabel.

Es kommen also im weiteren nur Aufnahmen von hohen terrestrischen Standpunkten, Hochgebirgsaufnahmen und Ballonaufnahmen in Betracht.

Einfache Überlegungen zeigen, daß die Maßstabsverschiedenheiten zwischen Photographie und Karte zweierlei Art sind; und zwar ist die erste Art bedingt durch die Lage der Projektionsebene und die zweite Art bedingt durch die Plastik des Terrains.

Die Maßstabsverschiedenheiten der ersten Art sind hierbei bedeutend größer und weitaus störender als jene der zweiten Art.

I. Ist die Projektionsebene der Photographie vertikal oder geneigt, wie das gewöhnlich der Fall ist, die Projektionsebene der Karte horizontal, so ist es klar, daß das zu bedeutenden Maßstabsverschiedenheiten führen muß. Man kann in erster Annäherung, d. h. wenn man von den Maßstabsverschiedenheiten der zweiten Art vorläufig absieht, sagen, Photographie und Karte entstehen dadurch, daß ein und dasselbe den Standpunkt mit dem Objekt verbindende Strahlenbüschel von zwei Ebenen verschiedener Lage geschnitten wird. Sobald man aber an dieser Annahme festhält, können die perspektivischen Verschiedenheiten zwischen Photographie und Karte ohne Schwierigkeit mit Hilfe des vom Verfasser konstruierten Photoperspektographen (siehe »Photographische Korrespondenz«, November 1906, Nr. 554 der ganzen Folge) beseitigt werden.

Nur ist hiebei noch folgendes zu beobachten:

Bei Ballonaufnahmen hat das in Betracht kommende Strahlenbüschel beinahe stets eine solche Lage im Raume, daß ein horizontaler Schnitt durch dasselbe ein reelles Bild ergibt. Anders bei Hochgebirgsaufnahmen. Bei diesen kommt es häufig vor, daß das photographierte Objekt mindestens teilweise höher ist als der Standpunkt. Dann gibt ein horizontaler Schnitt durch das primäre Strahlenbüschel kein brauchbares Bild mehr.

Das Verfahren wird scheinbar undurchführbar.

Erst durch die Verwertung der mathematischen Beziehungen zwischen räumlich kollinearen Gebilden läßt sich diese Schwierigkeit umgehen.

E. Deville, Surveyor General of Dominion Lands, gibt in seinem Werke: »Photographic Surveying including the Elements of Descriptive Geometry and Perspective 1895« höchst elegante Konstruktionen an, um aus den Perspektivbildern (Photographien) ebener Figuren deren Horizontalprojektionen abzuleiten.

Diese Konstruktionen sind im wesentlichen Transformationen des Standpunktes, der Bildebene und der Projektionsebene.

Da sich aber jedes räumliche Gebilde durch Führung paralleler Schnitte in eine Schar ebener Figuren auflösen läßt und für diese Schar ebener Figuren die Transformationen des Standpunktes und der Bildebene stets gemeinsam sind, die Transformationen der Projektionsebenen aber in ihrer Gesamtheit eine Umformung des Originalterrains in ein zu demselben räumlich kollineares Gebilde, »das transformierte Terrain«, darstellen, so ist es leicht, die Deville'schen Konstruktionen auch für räumliche Gebilde anzuwenden und dadurch die obangedeuteten Schwierigkeiten zu überwinden.

Rein mathematisch genommen, entspricht der Photographie $1', 2', 3'$ und ihrem Standpunkte S vor der Transformation das gegebene Terrain $1, 2, 3, 4, 5$, nach der Transformation entspricht dem verschobenen Standpunkte S_1 und der eventuell verschobenen Bildebene $1' 2' 3''$ ein transformiertes Terrain $1'' 2'' 3'' 4'' 5''$ (Fig. 1).

Das ursprünglich gegebene und das transformierte Terrain haben bei richtiger Durchführung der Deville'schen Konstruktionen die gleiche Horizontalprojektion. Denn sie sind zueinander räumlich affin und ihre Affinitätsrichtung ist die Vertikale.

Die Horizontalprojektion (Karte) der Hochgebirgslandschaft in erster Annäherung wird dadurch zum horizontalen Schnitt eines Strahlenbüschels, welches vom transformierten Standpunkte und der eventuell¹ verschobenen Photographie

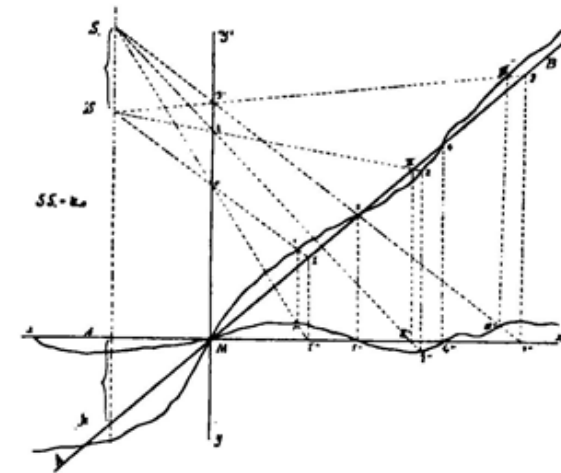


Fig. 1.

bestimmt ist. Es ist also wieder möglich, mit Hilfe des Photoperspektographen die Photographie der Hochgebirgslandschaft ohne weiteres in eine Horizontalprojektion derselben bei Vernachlässigung der Maßstabsdifferenzen zweiter Art zu transformieren.

Wurde bei der ursprünglich vollkommen freien Wahl der Ebenenschar, welche die Hochgebirgslandschaft in eine Schar

¹ In dem durch Fig. 1 dargestellten Spezialfalle bleibt die Bildebene unverrückt an ihrem Platze, was die Anschaulichkeit ungemein erhöht. Im allgemeinen muß jedoch auch die Bildebene verschoben werden.

ebener Figuren auflösen sollte, die Vorsicht gebraucht, diese Ebenen sich dem allgemeinen Verlauf des Terrains möglichst anschmiegen zu lassen (daher der Name Schmiegungebene), so ist die Terrainplastik auch bereits in ihren Hauptzügen berücksichtigt und spielen daher die Maßstabsdifferenzen zweiter Art keine große Rolle mehr.

Betreffs der Maßstabsdifferenzen zweiter Art, welche durch die Terrainplastik bedingt sind, zeigt wieder eine einfache Überlegung, daß selbe, sobald man einmal die Photographien auf horizontale Projektionsebenen transformiert hat, d. h. die Maßstabsdifferenzen erster Art weggeschafft hat, nur mehr Funktionen des senkrechten Abstandes jedes einzelnen Terrainpunktes von der Vergleichsebene (bei Anwendung der Deville'schen Konstruktionen, von der mittleren Schmiegungebene) sind.

Alle Terrainteile gleicher Höhe, respektive gleichen Abstandes von der Schmiegungebene erscheinen also im gleichen Maßstabe, Terrainteile verschiedener Höhe, respektive verschiedenen Abstandes von der Schmiegungehöhe in verschiedenen Maßstabe. Was dem Standpunkte näher liegt, erscheint größer, was vom Standpunkte entfernt ist, erscheint kleiner.

Ist man also in der Lage, den Schichtenplan des Terrains (bei Anwendung der Deville'schen Konstruktionen, des transformierten Terrains) zu ermitteln, so kann man aus dem Schichtenplan auch den Maßstabfehler jeder einzelnen horizontalen Zone berechnen und durch eine photographische Reproduktion beseitigen.

Die Ermittlung dieses Schichtenplanes aus je zwei von verschiedenen Standpunkten aus aufgenommenen Bildern desselben Terrains läßt sich aber, sobald selbe einmal auf horizontale Projektionsebenen transformiert sind, ohne Schwierigkeit und mit großer Genauigkeit mit dem Stereokomparator von Dr. Pulfrich, Firma Zeiß (Jena), durchführen, worauf die Beseitigung der Maßstabsdifferenzen zweiter Art ohne weiteres mit einem beliebigen photographischen Reproduktionsapparat besorgt werden kann und nur aus Gründen der Bequemlichkeit und Genauigkeit mit einem eigens hiezu konstruierten Zwillingssapparat, dem Zonentransformator, geschieht.

II. Die geodätische Orientierung der Ballonbilder und ihre Transformation in horizontierte Vogelperspektiven mit Hilfe des Photoperspektographen.

Das ganze Verfahren bliebe aber ein bloßes Luftschloß, wenn es nicht möglich wäre, die geodätische Orientierung der Ballonaufnahmen, die stets das wichtigste Rohmaterial des Verfahrens bilden werden, auf genaue und einfache Weise zu ermitteln.

Die einschlägigen Methoden, welche wir den grundlegenden Arbeiten Prof. Dr. S. Finsterwalder's, München,

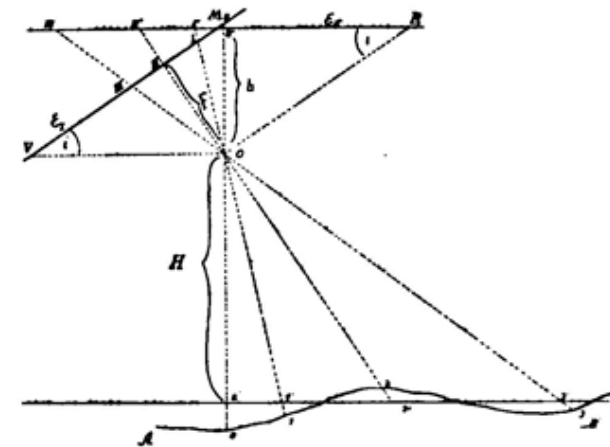


Fig. 2.

verdanken, sind, soweit sie einfach sind, wie sein graphisches Verfahren zur Ermittlung des Ballonortes nach Pothénor und seine Anwendung vom Ballonäquator herabhängender Notleinen zur Bestimmung des Nadirpunktes der Ballonphotographien, bloß Näherungsmethoden und, sobald sie die Methode der kleinsten Quadrate zu Hilfe nehmen, um die Genauigkeit der Resultate auf das unbedingt erforderliche Maß zu erhöhen, bei weitem zu mühsam und zeitraubend für die praktische Arbeit in großem Stile.

Es ist demnach von Wichtigkeit, daß der Photoperspektograph nicht bloß dazu benützt werden kann, einen ebenen

Schnitt eines Strahlenbüschels in einen anderen ebenen Schnitt desselben Strahlenbüschels überzuführen, sondern auch dazu dienen kann, die Ballonbilder genauestens zu orientieren.

Zur Erläuterung dieser beiden Funktionen des Photoperspektographen dienen die Figuren 2 und 3.

Fig. 2 zeigt die geometrischen Beziehungen des Objektes AB (des Terrains) des mit der Neigung i aufgenommenen Originalbildes E_I und der horizontalten Vogelperspektive E_{II} zur Brennweite F des bei der Aufnahme verwendeten Objektives, zur

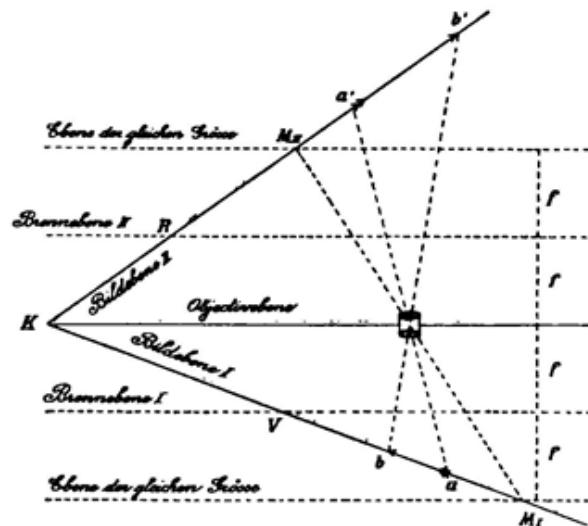


Fig. 3.

Höhe H des Standpunktes und zu der für den Maßstab der Transformation maßgebenden Fokaldistanz h der horizontalten Vogelperspektive.

Fig. 3 zeigt die geometrischen Beziehungen der Originalaufnahme ab (E_I) und der horizontalten Vogelperspektive $a'b'$ (E_{II}) zur Brennweite f des in dem Photoperspektographen eingebauten Reproduktionsobjektives.

Die Schnittgerade oder das gemeinsame Element M (M_I, M_{II}) beider Bilder sowie die Horizontlinie oder Fluchtgerade V der Originalaufnahme ab (E_I) und die Verschwindungsgerade der

Bildränder oder kurzweg Fluchtgerade R der horizontalten Vogelperspektive $a'b'$ (E_{II}) finden sich in beiden Figuren.

Macht man mit einem Objektiv beliebiger Brennweite F mit beliebiger Neigung i des Apparates eine Ballonaufnahme, so ist die Lage der Horizontlinie oder Fluchtgeraden V der Originalaufnahme, d. h. der Schnittgeraden der durch das Objektiv gelegten Horizontalebene mit der Bildebene, bereits durch F und i bestimmt.

Weiters bestimmen der optische Mittelpunkt O des Objektives und die Photographie zusammen ein Strahlenbüschel

$$O \begin{cases} s \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{cases}$$

Schneidet man dasselbe in beliebigem Abstand h von O durch eine Horizontalebene, so ist es klar, daß der Maßstab der dadurch entstehenden Schnittfigur, der horizontalten Vogelperspektive, von der Größe h abhängen wird. Aber nicht nur der Maßstab der horizontalten Vogelperspektive, sondern auch die Lage der Schnittgeraden M derselben mit der Originalaufnahme auf letzterer, d. h. der Abstand MV des gemeinsamen Elementes M von der Horizontlinie oder Fluchtgeraden V ist von h abhängig. Dagegen ist die analoge Größe MR auf der horizontalten Vogelperspektive von h völlig unabhängig. Man vergleiche die Formeln:

$$MR = OV = \frac{F}{\sin i} \quad \text{und} \quad MV = OR = \frac{h}{\sin i}.$$

Jedenfalls sind in einem gegebenen Falle durch die Größen F , i und h auch die Abstände MV und MR völlig eindeutig bestimmt.

Hat man mit Hilfe des Photoperspektographen die Überführung der Originalaufnahme in die horizontalte Vogelperspektive tatsächlich durchzuführen, so müssen die beiderseitigen Fluchtgeraden V und R in die Gegenachsen des Apparates zu liegen kommen, weil sie nur dann, wie es sein soll, in die Unendlichkeit projiziert werden, dagegen muß das

gemeinsame Element M (M_I, M_{II}) beider Bilder in die beiden Ebenen der doppelten Brennweite f zu liegen kommen, weil nur dort eine Abbildung in natürlicher Größe stattfindet. Da aber die Brennweite f des Reproduktionsobjektives des Photoperspektographen eine bestimmte unveränderliche Größe hat, so sagen uns die Gleichungen $MV \sin \alpha = f = MR \sin \beta$, daß die Neigungswinkel α und β , welche Original und Transformation mit der Objektivenebene einzuschließen haben, durch die Größen MV und MR bereits bestimmt sind. Da aber weiters im Sinne der Theorie der schiefen Abbildung (siehe »Photographische Korrespondenz«, November 1906, Nr. 554 der ganzen Folge) die beiden Bildebenen und die beiden Gegenebenen ein Parallelepiped bilden müssen, so ist die Lage der beiden Bilder im Apparat genauestens festgelegt.

Die Größen MV und MR können an eigenen Teilungen des Photoperspektographen eingestellt, beziehungsweise abgelesen werden.

Sind in einem bestimmten Falle F , i und h gegeben, so können MV und MR , α und β berechnet und darnach die Einstellungen am Apparat bewerkstelligt werden.

Ist dagegen, wie es wohl die Regel sein wird, bloß die Brennweite F des Aufnahmeobjektives und das Maßstabsverhältnis $d:D$ der gewünschten Karte zur Natur bekannt, dagegen i und h unbekannt, so genügt es, die genaue Lage von drei Punkten 1, 2, 3 der Natur, die sich auf der Ballonphotographie gut identifizieren lassen, zu kennen und im Maßstabe $d:D$ in perspektivischer Projektion auf der Mattscheibe des Photoperspektographen aufzutragen und die Originalphotographie mit ihren drei identen Bildpunkten auf diese drei vorgezeichneten Fixpunkte zu projizieren. Eine größere Anzahl identer Bildpunkte, respektive bekannter Fixpunkte gewährt erwünschte Kontrollen, ohne die aufzuwendende Arbeit wesentlich zu steigern, im Gegensatz zu der in ähnlichen Fällen sonst angewendeten Methode der kleinsten Quadrate.

Nachdem die identen Bildpunkte I, II, III der Originalaufnahme hierbei mit den auf der Mattscheibe vorgezeichneten Fixpunkten I' II' III' optisch zur Deckung gebracht werden, ist das hier angedeutete Verfahren einer großen Genauigkeit

fähig. Es werde fernerhin als die Methode der »optischen Koinzidenz« bezeichnet.

Die Lesungen für die Größen MV und MR , die nach erfolgter optischer Koinzidenz der Apparat ergibt, gestatten nach den Formeln:

$$\sin i = \frac{F}{MR}$$

$$MV \sin i = \frac{MV}{MR} F = h$$

$$MV \cos i = S'R$$

$$h:H = d:D$$

die Ermittlung des Neigungswinkels i der Originalaufnahme, der Fokaldistanz h der horizontierten Vogelperspektive, der Höhe H des Ballonortes,

des Bildes S' des Ballonortes in der horizontierten Vogelperspektive im Fußpunkte des Lotes vom optischen Mittelpunkt O auf dieselbe.

Durch Identifikation dieses Bildpunktes S' in der Natur findet sich dann die Horizontalprojektion des Ballonortes s .

Sind solcherart die Originalaufnahmen sämtlich geodätisch orientiert und in horizontierte Vogelperspektiven transformiert, so ist zum Zwecke der Wegschaffung der Maßstabfehler zweiter Art, welche durch die Terrainplastik bedingt werden, ein genauer Schichtenplan des Terrains zu entwerfen.

III. Die Ermittlung des genauen Schichtenplanes des Terrains aus den horizontierten und geodätisch orientierten Vogelperspektiven. Über die Verwendung des Stereokomparators hiezu.

A. Ermittlung des Schichtenplanes ohne besondere instrumentelle Hilfsmittel.

Es wird angenommen, daß die Ballonaufnahmen gegen ein genau eingemessenes Netz identer und auf die Mattscheibe des Photoperspektographen im gewollten Maßstab der

Karte aufgetragener Terrainpunkte horizontalisiert und geodätisch orientiert wurden.

Die Bilder sind somit bereits sämtlich auf den gleichen Maßstab, d. h. auf den Maßstab des gegebenen Punktnetzes gebracht. Die Ballonörter sind durch optische Koinzidenz genau bestimmt. Die Bilder sind streng und nicht bloß genähert horizontal, was eventuell dadurch mit Hilfe der Hauck'schen Kernpunkte kontrolliert werden kann, daß man aus den bekannten Ballonörtern die Lage der Kernpunkte auf jedem Bilde berechnet, für eine Anzahl identer Punkte die Kernstrahlen zieht und nachsieht, ob die so entstehenden Strahlenbüschel zusammengehöriger Bilder sich decken. Da nämlich die Bilder sämtlich durch optische Koinzidenz nicht nur horizontalisiert, sondern auf denselben Maßstab reduziert wurden, so liegen sie alle in einer Ebene. Für zwei Bilder aber, die in derselben Ebene liegen, fallen die beiden Kernpunkte zusammen und decken sich die zusammengehörigen Kernstrahlen.

Diese Kontrolle wird am besten rechnerisch durchgeführt. Grobe Fehler sind zu beseitigen, kleine Fehler eventuell empirisch auszugleichen.

Um die Bilder weiter verarbeiten zu können, bezieht man jetzt jedes derselben auf ein dreiaxiges Koordinatensystem durch die Horizontalprojektion des Ballonortes als Ursprung.

Man kann hiezu entweder die Verbindungslinie der beiden Ballonörter (Basis) als Abszissenachse (x -Achse), die Senkrechte darauf als Ordinatenachse (y -Achse), das Lot auf die Bildebene im Ballonort als z -Achse wählen; oder man kann die Ost—West-Linie als Abszissenachse (x -Achse), die Nord—Süd-Linie als Ordinatenachse (y -Achse) und wieder das Lot im Ballonort als z -Achse benützen. Das erstere dürfte bei einer geringen Anzahl von Bildern, das letztere bei einem umfangreichen Bildermaterial das Vorteilhaftere sein.

Nachdem unter B bei der Verwendung des Stereokomparators vorwiegend der erstere Fall Besprechung finden wird, beide Arbeitsmethoden jedoch gleichwertig sind, sei hier dem zweiten Arbeitsvorgange die größere Aufmerksamkeit zugewendet.

Die Lage der Nord—Süd-Linie kann aus dem Triangulierungsnetz ermittelt und mit Hilfe der in jedem Bilde ent-

haltenen Triangulierungspunkte in die Bilder übertragen und an den Bildrändern durch Marken festgelegt werden. Die Nord—Süd- und Ost—West-Linie werden dabei am besten bei jedem Bilde durch den Fußpunkt des Lotes vom Ballonort gelegt.

Dann ist der senkrechte Abstand der Nord—Süd-Linien zweier Aufnahmen $\Delta X = \frac{a}{V}$, wobei $a = \Delta \lambda \cos \varphi$ die Längenabweichung der beiden Ballonörter ist.

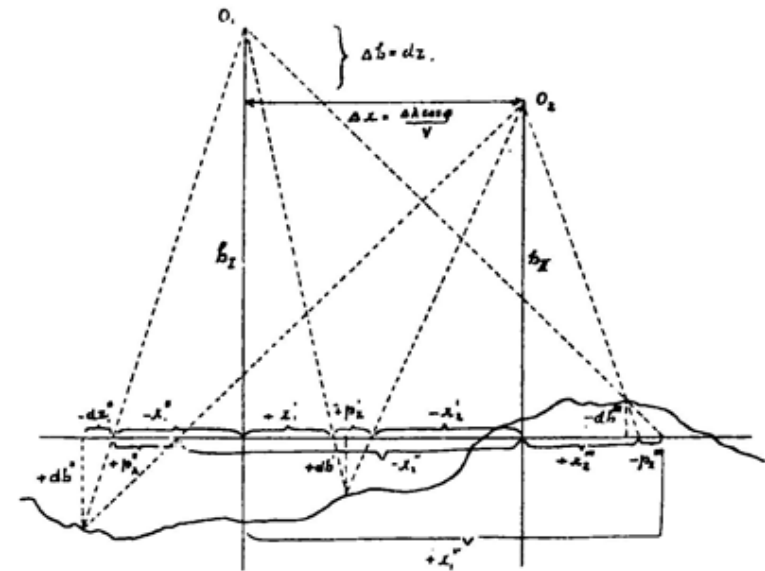


Fig. 4.

Weiters ist der senkrechte Abstand der Ost—West-Linien zweier Aufnahmen $\Delta y = \frac{\Delta \varphi}{V}$, wobei $\Delta \varphi$ der Breitenunterschied der beiden Ballonörter ist.

Endlich ist noch $\Delta z = \Delta h$ von Wichtigkeit. Aus der Proportion $H:h = D:d$ folgt, wenn $V = \frac{d}{D}$ und das Verjüngungsverhältnis V , wie vorausgesetzt, bekannt ist, $V = \frac{h}{H}$ und weiters auch $V = \frac{\Delta h}{\Delta H}$.

ΔH ist der Höhenunterschied der Ballonörter in der Natur,

$\frac{\Delta H}{V} = \Delta h = \Delta z$ ist der verjüngte Höhenunterschied der

Projektionszentra der verwendeten Bilder,

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta y}{V} = \Delta y = y_1 - y_2 + p_y \\ \frac{a}{V} = \frac{\Delta \lambda \cos \rho}{V} = \Delta x = x_1 - x_2 + p_x \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{sind die Koordinaten-} \\ \text{unterschiede} \\ \text{der beiden Ballon-} \\ \text{örter.} \end{array}$$

(Die Zeichen von $x_1, x_2, y_1, y_2, dx, dy, p_x$ und p_y sind algebraisch zu nehmen.)

$$p_x = dx_1 - dx_2$$

$$p_y = dy_1 - dy_2$$

$$dh : h_1 = dx_1 : x_1 \quad dh = h_1 \frac{dx_1}{x_1}$$

$$dh : h_2 = dx_2 : x_2 \quad dh = h_2 \frac{dx_2}{x_2}$$

$$h_1 \frac{dx_1}{x_1} = h_2 \frac{dx_2}{x_2}$$

$$\frac{dx_1}{dx_2} = \frac{h_2 x_1}{h_1 x_2}$$

$$\underbrace{(dx_1 - dx_2)}_{p_x} : dx_1 : dx_2 = (h_2 x_1 - h_1 x_2) : h_2 x_1 : h_1 x_2$$

$$dx_1 = \frac{p_x h_2 x_1}{h_2 x_1 - h_1 x_2}$$

$$dx_2 = \frac{p_x h_1 x_2}{h_2 x_1 - h_1 x_2}$$

$$dh = \frac{p_x h_1 h_2}{h_2 x_1 - h_1 x_2} = \frac{p_y h_1 h_2}{h_2 y_1 - h_1 y_2}$$

$$\underbrace{(dy_1 - dy_2)}_{p_y} : dy_1 : dy_2 = (h_2 y_1 - h_1 y_2) : h_2 y_1 : h_1 y_2$$

$$dy_1 = \frac{p_y h_2 y_1}{h_2 y_1 - h_1 y_2}$$

$$dy_2 = \frac{p_y h_1 y_2}{h_2 y_1 - h_1 y_2}$$

Durch diese sechs Formeln sind die Raumkoordinaten jedes einzelnen Terrainpunktes aus den Bildern leicht bestimmbar. Das setzt stillschweigend voraus, daß die sieben Seitenbilder des Ballonapparates¹ mit dem Mittelbilde zu einem Gesamtbilde vereinigt wurden oder wenigstens sämtliche Seitenbilder jedes für sich je nach Anwendung von Arbeitsvorgang 1 oder 2 entweder gegen die Basis (Verbindungsline der beiden Ballonörter) oder gegen die Nord—Süd- und Ost—West-Linie orientiert und die Koordinatendifferenzen der Hauptpunkte der Seitenbilder gegen den Ballonort genauestens ermittelt wurden.

B. Ermittlung des Schichtenplanes mit Hilfe des Stereokomparators.

Der Stereokomparator von Dr. C. Pulfrich (siehe dessen Broschüre: »Neue stereoskopische Methoden und Apparate für die Zwecke der Astronomie, Topographie und Metronomie«) ist ein Instrument, welches eine logische Fortbildung und sinn-gemäße Ergänzung des stereoskopischen Entfernungsmessers der Firma Zeiß in Jena darstellt und dazu dient, das Prinzip der stereoskopischen Distanzmessung auf photographische Bilder anzuwenden.

In der Form, in der er heute von der Firma Zeiß hergestellt wird, ist er ein wissenschaftliches Präzisionsinstrument ersten Ranges. Fig. 5, zu welcher die Firma Zeiss das Klischeé gütigst zur Verfügung stellte, zeigt seinen Aufbau.

Die beiden Stereoskopbilder (Glasbilder, nach Belieben Negative oder Positive) werden in ihre Halter geklemmt und können gemeinsam mittels des Triebes H nach rechts und links bewegt werden, während das am Träger T befestigte Mikroskop mittels des Triebes V nach auf- und abwärts bewegt werden kann.

Beide Platten sind bei den neueren hier in Betracht kommenden Apparaten auf Drehscheiben und Kreuzschlitten

¹ Siehe Photographische Korrespondenz, 1903. Scheimpflug, Über österreichische Versuche, Ballonaufnahmen geodätisch zu verwerten, und deren bisherige Resultate.

montiert. Es liegt aber die Drehscheibe der rechten Platte P_2 auf dem Kreuzschlitten und macht alle Bewegungen desselben mit, während links die Platte P_1 im Kreuzschlitten liegt und mit diesem Kreuzschlitten auf der Drehscheibe montiert ist und daher der Kreuzschlitten alle Bewegungen der Drehscheibe mitmacht.

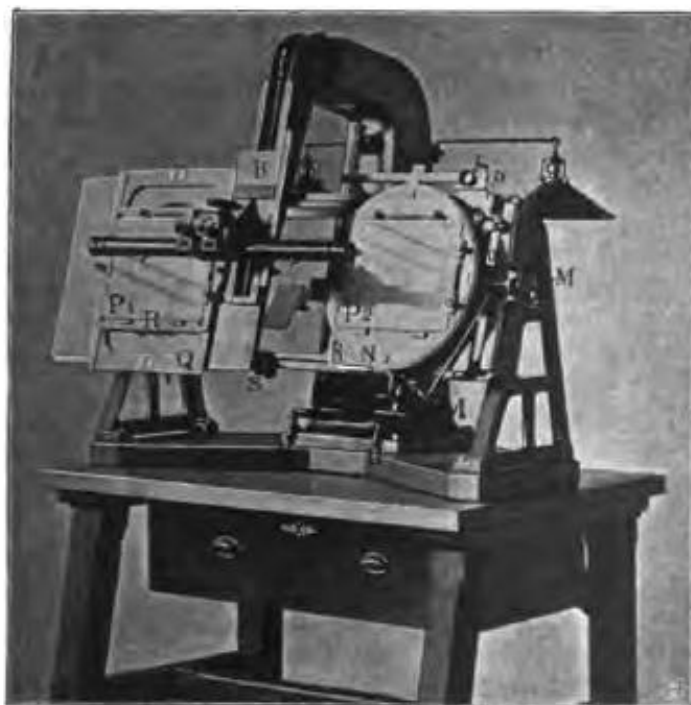


Fig. 5.

Durch die Schraube M , welche zum rechtsseitigen Kreuzschlitten gehört, können die Abstände der beiden Drehscheibenmittelpunkte voneinander verändert werden und dient die Teilung a , die sogenannte Parallaxenteilung, dazu, diese Veränderungen zu messen.

Dagegen lassen sich die Abszissen M und Ordinaten N der linken Platte P_1 am Abszissenmaßstab A und am Ord-

natenmaßstab B ablesen, welche dazu dienen, die durch die Triebe H und V bedingten Verschiebungen zu messen.

Den Strahlengang des Mikroskops, das 4—6—8fache Vergrößerungen hat, zeigt Fig. 6.

In der Fadenkreuzebene des linken Mikroskops ist eine fixe, in der Fadenkreuzebene des rechten Mikroskops ist eine bewegliche, mit Hilfe einer Mikrometerschraube verschiebbare Marke eingesetzt.

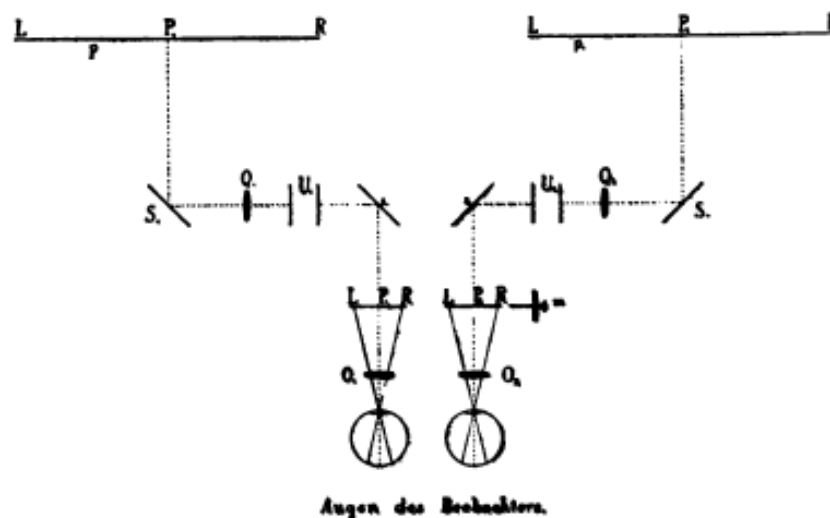


Fig. 6.

Strahlengang im Mikroskopstereoskop.

Die Bilder der beiden Marken vereinigen sich für den Beobachter im binokularen Sehen zu einer einzigen, der sogenannten wandernden Marke, welche in das Gesichtsfeld des Instrumentes (Terrain) hinausprojiziert ist und welche je nach der Stellung, die die bewegliche Marke momentan im rechten Mikroskop einnimmt, ihre scheinbare Distanz vom Beschauer ändert.

Steht die rechte Marke, ebenso wie die linke, im Kreuzungspunkte der Fäden, so scheint die wandernde Marke in die Unendlichkeit zu rücken, d. h. sie entspricht der Lage von Punkten, die so weit sind, daß man ihre Distanz nicht

mehr messen kann. Verrückungen der beweglichen Marke aus dem Kreuzungspunkte der Fäden heraus nach links bewirken ein scheinbares 'Näherkommen' der wandernden Marke im Terrain und stehen die Verschiebungen der Marke im Mikroskop mit den Bewegungen der wandernden Marke im Terrain in einem gesetzmäßigen Zusammenhange.

Verschiebungen der beweglichen Marke nach rechts sieht der Beobachter als ein scheinbares Fernerrücken der wandernden Marke im Terrain. Überschreitet hierbei die bewegliche Marke den Vertikalfaden, indem sie auf die rechte Seite desselben tritt, so würde das rein geometrisch einer wandernden Marke entsprechen, die aus der Unendlichkeit dem Beobachter von rückwärts näher kommt. Nach rückwärts aber sieht man bekanntlich nicht. Offenbar aus rein physiologischen Gründen, die auch bei verschiedenen Beobachtern sehr verschieden sein dürften, bemerkt das Auge des Beobachters den Fehler nicht immer gleich. Blickt man aber auf und sieht dann mit ausgeruhtem Auge wieder ins Instrument, so sieht man die Marke doppelt, d. h. sowohl die fixe als die bewegliche Marke getrennt, und nicht mehr körperlich zur wandernden Marke vereint.

Wichtig ist noch die merkwürdige Erscheinung, daß es für den Effekt gleichgültig ist, ob die photographischen Bilder stehen und die Marke im Mikroskop bewegt wird oder ob die Marke im Mikroskop steht und die photographischen Bilder bewegt werden.

In der Praxis benützt man das dazu, sich von dem beschränkten Gesichtsfelde des Mikroskops unabhängig zu machen, indem man große Bewegungen mit der Platte P_2 durchführt und auf der Parallaxenteilung a des Instrumentes mißt und nur kleine Bewegungen (Differenzmessungen) mit der Mikrometerschraube der Marke durchführt und an der Mikrometerteilung abliest.

Die Erfahrung hat weiters gezeigt, daß bei plastischen Gebilden die Basis, d. h. der Abstand der beiden Aufnahmestandpunkte im Verhältnis zur Entfernung des Objektes (d. h. der sogenannte Winkel am Objekt oder die Parallaxe des Objektes oder mit noch anderen Worten der Winkel, unter

welchem die beiden Aufnahmestandpunkte vom Objekt aus gesehen werden), nicht zu groß gewählt werden darf. Das Objekt wird sonst von zu verschiedenen Seiten angesehen und lassen sich dann, weil das auf den beiden Bildern Enthaltene nicht mehr leicht identifiziert werden kann, die beiden ebenen Ansichten nicht mehr gut zu einem räumlichen Bild vereinigen.

Das ist bei Ballonaufnahmen wichtig, wo man versucht sein könnte, um Platten zu sparen, zu große Aufnahmedistanzen zu wählen.

Da aber andererseits das Terrain in der Regel eine relativ zur Ballonhöhe geringe Plastik zeigt, braucht man wieder, wenn man nicht gerade Hochgebirge unter sich hat, diesbezüglich nicht allzu ängstlich zu sein.

Eine mittlere Horizontaldistanz der einzelnen Ballonörter gleich der mittleren Ballonhöhe wird vielleicht das Richtige sein. Bleibt man aber mit der Horizontaldistanz innerhalb 60% der Ballonhöhe, so erleichtert das die gegenseitige Orientierung der Bilder im Stereokomparator ungemein, weil dann stets die Ballonörter der Nachbaraufnahmen noch auf das Mittelbild fallen. Die Parallaxe ist in diesem Falle zirka 30°.

Zweitens ist beim Stereokomparator aus praktisch-konstruktiven Gründen die Bedingung zu erfüllen, daß die beiden verwendeten Bilder bei der Aufnahme in einer Ebene liegen oder nachträglich auf eine Ebene reduziert werden, weil dieses Instrument nur für diesen einfachen Spezialfall, d. h. für die stereoskopische Ausmessung von Bilderpaaren, die in einer Ebene liegen, gebaut ist.

Dieser Bedingung ist durch die Orientierung der Ballonbilder in eine Horizontalebene und auf gleichen Maßstab durch optische Koinzidenz bereits Genüge geleistet. Jedoch empfiehlt es sich, die Richtigkeit und Genauigkeit der Durchführung dieser Orientierung dadurch zu kontrollieren, daß man, wie schon in diesem Kapitel sub A gezeigt wurde, nachsieht, ob die Kernstrahlenbüschel der beiden zu vergleichenden Bilder sich decken.

Allerdings verursacht die Erdkrümmung (Kugelgestalt der Erde) einen systematischen Fehler, welcher durch die Strahlen-

brechung bloß um ein Geringes vermindert wird. Der ungefähre Betrag der Summe beider Einflüsse ist

$$\delta \text{ (Bogenminuten)} = \frac{12}{13} B \text{ (Seemeilen)},$$

wenn B die Horizontalabstand der Ballonörter, in Seemeilen ausgedrückt, ist.

Nach Oberst v. Hübl beseitigt man diese Verschwenkung am besten durch eine Verschiebung der Ordinatenachse der rechten Platte p_2 um den Betrag $v^{mm} = h_2^{mm} \delta'$, wenn h_2 die Bildweite des rechten Bildes ist.

Die dritte Bedingung für die Verwendung des Stereokomparators, daß die beiden Bilder gleiche Bildweiten haben sollen, ist zwar ursprünglich, wenn die zu vergleichenden Aufnahmen nacheinander mit demselben Apparat ausgeführt wurden, streng erfüllt, jedoch wird die Reduktion der Ballonbilder in eine und dieselbe Horizontalebene und auf gleichen Maßstab in der Regel nicht möglich sein, ohne die Bildweiten ungleich zu machen, weil die Ballonhöhe in der Praxis nicht konstant erhalten werden kann. Infolgedessen ist diese Bedingung im vorliegenden Falle nicht erfüllbar.

Man könnte nun zwar das von Prof. Karl Fuchs, Preßburg (siehe Mitteilungen des k. u. k. militärgeographischen Instituts, XXIV. Bd., 1904), angegebene Verfahren anwenden, müßte aber dann die Bilder, die bereits in einer Ebene liegen, wieder auf gleiche Bildweiten umphotographieren. Das scheint nicht praktisch zu sein.

Oder aber man stützt sich auf dieselben geometrischen Grundlagen, die bereits sub A entwickelt wurden.

Da muß man sich aber vorher vergewissern, ob das überhaupt tunlich und in welcher Weise dann die Arbeit durchführbar ist.

Streng genommen, dient der Stereokomparator bloß dazu, bei zwei zusammengehörigen Bildern die Lagenverschiedenheiten (Koordinatendifferenzen) identer Bildpunkte auf das genaueste zu ermitteln.

Hat man zwei Bilder, welche sowohl die gleichen Bildweiten haben als auch bei ihrer Aufnahme in einer Ebene gelegen waren, so bestimmen die Koordinatendifferenzen a identer Bildpunkte im Verein mit der bekannten Bildweite f

stets ganz unzweideutig die Parallaxe, d. h. den Winkel, unter welchem die beiden Aufnahmestandpunkte von dem in Frage kommenden Terrainpunkte aus gesehen wurden.

Deshalb nennt Dr. Pulfrich auch die auf den Bildern gemessenen, in die Richtung der Verbindungslinie der Mikroskop-Okulare des Stereokomparators fallenden Koordinatendifferenzen identer Bildpunkte schlechtweg Parallaxen und

bestimmt aus ihnen mit der Formel $D = \frac{Bf}{a}$ die Distanzen der einzumessenden Punkte von der Basis B der Verbindungslinie der Aufnahmestandpunkte (Objektive).

Sobald aber die Bildweiten verschieden sind, bestimmen besagte Koordinatendifferenzen der identen Bildpunkte nicht mehr die oben definierte Parallaxe, ermöglichen aber noch immer eine sehr genaue Ermittlung der Distanzen der einzelnen Terrainpunkte.

Im Falle ungleicher Bildweiten, jedoch in eine Ebene fallender Bilder sind die geometrischen Orte aller identen Bildpunktpaare gleicher Koordinatendifferenzen Zylinderflächen, deren Erzeugende senkrecht auf der durch die optischen Achsen der beiden Objektive gelegten Ebene stehen und deren Leitlinien durch eine Schar äußerst schwach gekrümmter, Geraden ungemein nahekommender Hyperbelstücke dargestellt werden.

Nur in der Nähe des gemeinsamen Kernstrahles treten starke Krümmungen auf. Auch wird dort wegen der spitzen Winkel am Objekt (schiefen Schnitte) die Punktbestimmung sehr ungenau. Die Umgebung des Kernpunktes ist daher aus anderen Bildern zu bearbeiten, was bei dachziegelartigem Übergreifen der Bilder stets möglich sein wird.

Hiebei zerfallen im Sinne der in A entwickelten Formeln die Koordinatendifferenzen in zwei Teile, einen größeren konstanten Teil $\frac{B}{V}$, welcher der gewählten Vergleichsebene entspricht, und einen bei weitem kleineren variablen Teil p , welcher eine Funktion der senkrechten Abstände der einzelnen Terrainpunkte von der Vergleichsebene ist, für die Vergleichsebene selbst Null wird und für jede der in der Figur angedeuteten Zylinderflächen einen konstanten Wert annimmt.

Man kann also den großen konstanten Wert $\frac{B}{V}$ ein- für allemal durch die Einstellung der Parallaxenteilung am Instrumente berücksichtigen und den kleinen variablen Wert p mikrometrisch mit Hilfe der wandernden Marke ausmessen und nach den bereits in *A* gegebenen Formeln die Lage der einzelnen Terrainpunkte bestimmen.

Praktisch gestaltet sich dabei die Arbeit wie folgt:

Das Vorrichten und Justieren der Platten.

Man beginnt mit den Mittelplatten der beiden Aufnahmen und identifiziert gegenseitig die Ballonörter, welche, wenn die zwischen den beiden Aufnahmen durchfahrene Distanz (Basis B) nicht zu groß ist, $B \geq 0.6 H$ auf beiden Mittelbildern aufzufinden sein müssen. Bekanntlich ist der Stereokomparator zu derartigen Identifikationen zusammengehöriger Bildpunkte auf zwei Bildern ganz besonders geeignet.

Man dreht jetzt jede der beiden Platten so, daß die beiden Ballonörter beim Hin- und Herbewegen der Bilder mit dem Trieb H die Meßmarke passieren, und reißt endlich mit einer zu diesem Zwecke am Instrument angebrachten, in der Ebene der beiden optischen Achsen der Mikroskope liegenden Nadel an den Plattenrändern deutlich sichtbare Marken in die Schicht der beiden Platten.

Um die Richtung der Basis jetzt auch auf den Seitenbildern zu markieren, beläßt man das Mittelbild der einen Aufnahme als rechte Platte P_2 am Stereokomparator und kombiniert es mit einem der Seitenbilder derselben Aufnahme als linke Platte P_1 .

Man macht jetzt einen markanten Bildpunkt, den das Mittel- und Seitenbild gemeinsam haben, also einen Punkt ihrer bei der Konstruktion des Ballonapparates vorgesehenen Überdeckung, zum Gegenstande der Aufmerksamkeit.

Man stellt die Meßmarke auf Unendlich, bringt das Seitenbild P_1 mit dem ausgewählten Bildpunkt über den Mittelpunkt der Drehscheibe (das geschieht mit dem links über der Drehscheibe angeordneten Kreuzschlitten und wird durch Drehungen

der Drehscheibe, bei welchen besagter Objektpunkt stehen bleiben muß, geprüft). Sodann bringt man diesen Bildpunkt mit Hilfe der Triebe V und H mit der Meßmarke des linken Mikroskops zur Deckung.

Jetzt bringt man den identen Bildpunkt der rechten Platte P_2 (des Mittelbildes) mit Hilfe des rechten Kreuzschlittens mit der Meßmarke des rechten Mikroskops zur Deckung.

Sodann wählt man einen zweiten markanten Punkt der Überdeckung, welcher möglichst weit vom ersten entfernt ist, und bringt lediglich mit Hilfe der Triebe H und V , jedoch ohne einen der beiden Kreuzschlitten oder die rechte Drehscheibe zu berühren, das Bild dieses Punktes auf der rechten Platte P_2 mit der Meßmarke des rechten Mikroskops zur Deckung.

Sonach bringt man lediglich mit Benützung der linken Drehscheibe, jedoch ohne einen Kreuzschlitten, die rechte Drehscheibe oder die Triebe H und V anzurühren, das Bild des besagten Punktes auf der linken Platte P_1 mit der Meßmarke des linken Mikroskops zur Deckung. Ist das geschehen, so sollen sämtliche Punkte der Überdeckung beider Bilder mit der auf Unendlich eingestellten »wandernden Marke« in gleicher Entfernung erscheinen und bei Benützung der Triebe H und V stets idente Punkte an die Meßmarken der Mikroskope kommen.

Sobald das zutrifft, hat das Seitenbild den gleichen Positionswinkel wie das Mittelbild. Nachdem aber laut Voraussetzung das Mittelbild mit seiner Basisrichtung parallel zur Verbindungslinie der beiden Mikroskopokulare gestellt war (die Meßmarke passierte bei der Bewegung des Triebes H die beiden Ballonörter und die in die Schicht eingerissenen Basismarken), so ist jetzt auch das Seitenbild so eingestellt, daß seine Basisrichtung parallel zur Verbindungslinie der Okulare steht. Man hebt oder senkt jetzt das Mikroskop so weit, bis seine Meßmarke beim Hin- und Herbewegen der Bilder mit dem Trieb H den durch die einkopierten Rahmenmarken definierten Hauptpunkt der Seitenbilder ungefähr passiert, und reißt jetzt mit der schon erwähnten Nadel entsprechende Marken in die Schichtseite der Ränder der Seitenbilder.

Damit ist auf diesem Bilde die Basisrichtung festgelegt.

Dasselbe macht man mit allen übrigen Seitenbildern dieser Aufnahme.

Dann wechselt man die Mittelbilder, stellt das neue Mittelbild wieder so ein, daß die Meßmarke beim Bewegen der Platten mittels des Triebes H die beiden Ballonörter passiert, und orientiert in der soeben beschriebenen Weise alle zu diesem Mittelbilde gehörigen Seitenbilder; u. s. f. für alle Aufnahmen.

Sobald dies mit den Bildern geschehen ist, und zwar mit jeder Aufnahme bezüglich aller Nachbaraufnahmen, mit denen sie verglichen werden soll, so beginnt die Justierung zweier zu vergleichender Bilder stets damit, daß man sie mittels der Drehscheiben derart im Apparat orientiert, daß beim Hin- und Herbewegen der Platten mit dem Trieb H die Meßmarken des Mikroskops die Basismarken an den Bildrändern passieren. Sodann stellt man die rechte Platte P_2 stets gleich auf den Teilstrich $\frac{B}{V}$ des Parallaxenmaßstabes.

Hierauf sucht man einen der eingemessenen Kontrollpunkte heraus, mittels deren die Bilder durch optische Koinzidenz horizontalisiert worden waren, berechnet den senkrechten Abstand dh desselben von der Vergleichsebene, mißt am linken Bilde die Abszisse M , am rechten Bilde die Abszisse N des Bildpunktes, berechnet p mit der Formel $p = \frac{dh(h_2 M - h_1 N)}{h_1 h_2}$ und stellt p auf der Mikrometerteilung ein.

Jetzt bringt man mittels der Triebe H und V , also durch Verschieben beider Platten, das Bild des Kontrollpunktes auf der rechten Platte an die Meßmarke des rechten Mikroskops und verschiebt mittels des linken Kreuzschlittens die linke Platte P_1 so lange, bis das stereoskopische Bild mit der bereits eingestellten Meßmarke gleich weit zu sein scheint.

Die so gewonnene Einstellung kontrolliert man noch mit Hilfe der anderen auf beiden Platten etwa vorhandenen Kontrollpunkte und beseitigt eventuell übriggebliebene Fehler.

Stimmt endlich die Probe, so sind die Platten richtig justiert und kann die Ausmessung beginnen.

Das Ausmessen der Platten.

Das Ziel der Arbeit ist die Herstellung eines möglichst genauen Schichtenplanes sowohl in perspektivischer als in orthogonaler Projektion für die Ausdehnung der linken Platte P_1 . Wie die Formeln

$$dh = \frac{p h_1 h_2}{h_2 M - h_1 N}$$

$$dM = \frac{p h_2 M}{h_2 M - h_1 N}$$

$$dR = R \frac{dh}{h_1}$$

zeigen, sind die senkrechten Abstände dh der einzelnen Terrainpunkte von der Vergleichsebene ebenso wie die Abszissendifferenzen dM und die Ordinatendifferenzen dR der einzelnen Bildpunkte des linken Bildes zwischen der perspektivischen und orthogonaler Projektion von den drei Veränderlichen M , N und p abhängig.

Es ist aber $M - N + p = \frac{B}{V}$. Man kann also eine von ihnen, am besten N , weil am Apparat nicht direkt ablesbar, eliminieren (N ist die Abszisse des Bildpunktes am rechten Bilde P_2).

Arbeitet man weiter nach M -Profilen, d. h. stellt man die linke Platte P_1 auf eine bestimmte Abszisse M ein und mißt nacheinander alle Terrainpunkte aus, welche das gleiche M haben oder, was dasselbe ist, die auf der gleichen M -Ordinate liegen, so nehmen die Formeln für ein derartiges Profil die Form an:

$$\frac{dh}{h_1} = \frac{dM}{M} = \frac{dR}{R} = \frac{p h_2}{h_2 M - h_1 N} = pU.$$

Man findet also für jeden einzelnen Punkt die Verbesserungen.

$dh = pU h_1$ als senkrechten Abstand des Terrainpunktes von der Vergleichsebene;

$dM = pUM$ als Abszissendifferenz ein und desselben Bildpunktes in der perspektivischen und orthogonalen Projektion;

$dR = pUR$ als Ordinatendifferenz ein und desselben Bildpunktes in der perspektivischen und orthogonalen Projektion.

Man hätte also dann die Ausmessung derart vorzunehmen, daß man erstens die Platte P_2 auf den Teilstrich $\frac{B}{V}$ der Parallaxenteilung stellt, beide Platten gemeinsam so einstellt, daß die Platte P_1 auf den Teilstrich M des Abszissenmaßstabes so lange stehen bleibt, bis die ganze Ordinate ausgemessen ist, und jetzt mit dem Trieb V das Mikroskop längs des Bildes vertikal nach auf- oder abwärts bewegt und sukzessive für verschiedene Werte der Abszissen R die Größe p mit Hilfe der wandernden Marke und der Mikrometerteilung am Mikroskop ausmißt.

Diese Messungsergebnisse lassen sich dann leicht in eine Tabelle folgender Form bringen:

	M_1	M_2	M_3	M_4	
R_1	p				
	N				
	U				
	dh				
	dM				
	dR				
R_2					
R_3					

Die Werte p werden laut Messung in die vorbereitete Tabelle eingesetzt. Die anderen fünf Werte N , U , dh , dM , dR werden nachträglich auf Grund der Formeln

$$N = M + p - \frac{B}{V}$$

$$U = \frac{h_2}{h_2 M - h_1 N}$$

$$dh = pU h_1$$

$$dM = pUM$$

$$dR = pUR$$

gerechnet.

Auf Grund dieser Tabelle unterliegt es dann keiner Schwierigkeit, sowohl den perspektivischen als den orthogonalen Schichtenplan für das Bild P_1 in beliebigem Maßstabe zu zeichnen.

$$\left. \begin{array}{l} M_1 \\ R_1 \\ h_1 + dh + r \end{array} \right\} P_p \text{ sind die Koordinaten eines Punktes des perspektivischen Schichtenplanes.}$$

$$\left. \begin{array}{l} M_1 + dM \\ R_1 + dR \\ h_1 + dh + r \end{array} \right\} P_o \text{ sind die entsprechenden Koordinaten desselben Punktes im orthogonalen Schichtenplane.}$$

r ist eine Korrektur, welche dem Umstande Rechnung trägt, daß die Höhen bisher tatsächlich auf eine Tangentialebene an die Niveauläche (die Vergleichsebene) bezogen wurden, während sie richtigerweise auf die kugelig gekrümmte Nullniveauläche hätten bezogen werden sollen. Selbstverständlich wächst r mit dem radialen Abstände von der Horizontalprojektion des Ballonortes der Platte P_1 , für welche der Schichtenplan gilt, und kann ein- für allemal berechnet und in eine Tabelle gebracht werden.

Sind diese Schichtenpläne gezeichnet, so unterliegt es wieder keiner Schwierigkeit, sie photographisch zu reproduzieren, und zwar reduziert man den perspektivischen Schichtenplan genauestens auf die Größe der Platte P_1 (der horizontalen Vogelperspektive), den orthogonalen Schichtenplan auf den Maßstab der gewünschten Karte.

Ist das geschehen, so sind mit den erhaltenen Negativen die Grundlagen für die Zonentransformation, siehe Kapitel IV, gegeben.

Es ist klar, daß ebenso wie hier die Bilder nach der Basisrichtung orientiert wurden, sie ebenso wie in *A* auch nach Ost—West und Nord—Süd orientiert werden können.

Die Orientierung der Bilder nach den Weltgegenden müßte aus dem Triangulierungsnetz, d. h. den Kontrollpunkten, ermittelt werden und hätte man bei genügender Netzdichte die Möglichkeit, jedes einzelne Bild unabhängig von anderen zu orientieren und nur das gerade zu vergleichende Bilderpaar betreffs der Übereinstimmung dieser Orientierung zu prüfen und eventuelle Differenzen auszugleichen.

Man hätte dann bei der Orientierung nach der Ost—West-Richtung nach Nord—Süd-Profilen, bei der Orientierung nach der Nord—Süd-Richtung nach Ost—West-Profilen zu arbeiten, hätte an der Parallaxenteilung im einen Falle die Größe $\Delta x = \frac{\Delta \lambda \cos \varphi}{V}$, im anderen Falle die Größe $\Delta y = \frac{\Delta \varphi}{V}$ einzustellen und würde an der Mikrometerteilung in einem Falle die Größe p_x , im anderen Falle die Größe p_y ablesen. Hieraus würde sich dann ergeben:

$$dh = \frac{p_x h_1 h_2}{h_2 x_1 - h_1 x_2} = \frac{p_y h_1 h_2}{h_2 y_1 - h_1 y_2}$$

$$dx_1 = \frac{p_x h_2 x_1}{h_2 x_1 - h_1 x_2}$$

$$dy_1 = \frac{p_y h_2 y_1}{h_2 y_1 - h_1 y_2}$$

IV. Die zonenweise Überführung der horizontalen Vogelperspektiven in Orthogonalprojektionen.

Wie schon im Kapitel I gezeigt wurde, erscheinen in der horizontalen Vogelperspektive, respektive in einem nach E. Deville erhaltenen perspektivischen Grundriß einer Hochgebirgslandschaft bei vollster Aufrechterhaltung der Ähnlichkeit jene Terrainteile, welche bei der Aufnahme dem Objektiv

näher waren als der Vergleichshorizont (die mittlere Schmiegungebene), zu groß, dagegen jene Terrainteile, welche entfernter waren, zu klein. Denkt man sich das Terrain durch eine Schar zum Vergleichshorizont (zur Schmiegungebene) paralleler Ebenen in dünne Zonen zerschnitten, so kann man den mittleren Maßstabfehler für jede dieser Zonen bestimmen und durch photographische Vergrößerung oder Verkleinerung beseitigen.

Das geschieht unter Zugrundelegung des nach Kapitel III gewonnenen Schichtenplanes mit Hilfe des Zonentransformators.

Selber ist nichts anderes als ein gut gearbeiteter Zwillings-Reproduktionsapparat, in welchem vorne links die zu transformierende horizontale Vogelperspektive mit Schicht auf Schicht aufgepaßtem perspektivischen Schichtenplan, vorne rechts der perspektivische Schichtenplan allein eingelegt wird, während rückwärts auf der Seite der Ballonaufnahme die Kassette mit der empfindlichen Platte, auf der anderen Seite der orthogonale Schichtenplan eingesetzt wird.

Bei der Arbeit wird nun rechts eine Zone des perspektivischen Schichtenplanes nach der anderen mit der entsprechenden Zone des orthogonalen Schichtenplanes zur Deckung gebracht.

Gleichzeitig wird links der ganze Schichtenplan auf der Rückseite mit leicht wegwischarer, aber gut deckender Farbe undurchsichtig gemacht und nur jedesmal die gerade rechts in Deckung gebrachte Zone freigelassen und exponiert.

Wenn diese allerdings etwas zeitraubende Geduldarbeit vollendet ist, wird die empfindliche Platte entwickelt und gibt die vollkommen korrekte Orthogonalprojektion, wobei die Schichtenlinien als zarte, hellere oder dunklere Linien erscheinen, je nachdem die betreffenden Terrainteile konvex oder konkav waren, also ihre Bilder verkleinert oder vergrößert werden mußten, daher benachbarte Zonen entweder nicht ganz aneinander anschließen oder aber sich gegenseitig etwas übergreifen.

V. Die Herstellung der Karte auf photographischem Wege.

Nachdem in den ersten vier Kapiteln die Bausteine des neuen Verfahrens zusammengetragen wurden, sei hier gestattet, dieselben zu einem Ganzen zu vereinigen.

Man kennt heute verschiedene Mittel, um photographische Apparate in große Höhen zu heben, und zwar

1. den bemannten Freiballon,
2. den Sondierballon,
3. die Drachen,
4. den lenkbaren Luftballon (Graf Zeppelin, Santos-Dumont, Deutsch, La Patrie, Conte da Schio etc.),
5. den Fesselballon,
6. Raketen.

Von diesen Hilfsmitteln ist entschieden der Freiballon am leistungsfähigsten. Man kann bis in ungeheure Höhen (nahezu 10.000 m) steigen, man kann große Fahrten bei nahezu jedem Wetter machen. Der einzige Übelstand ist, daß der Ballon nicht lenkbar ist.

Da der bereits vor Jahren vom Verfasser konstruierte siebenfache Ballonapparat (siehe »Photographische Korrespondenz«, 1903) eine Kreisfläche, deren Durchmesser ungefähr der fünffachen Ballonhöhe gleichkommt, mit einem Male aufzunehmen gestattet, kann schon mit einer einzigen Fahrt, wenn man schönes, klares Wetter hat, mit Leichtigkeit ein Geländestreifen von 10 bis 15 km Breite und 50 bis 100 km Länge aufgenommen werden, also 500 bis 1500 km² mit einem Schläge.

Bei der großen Ruhe des Freiballons hat man auch die größten Chancen, gute Bilder zu erzielen, viel größere als bei allen anderen Behelfen. Da sich die Aufnahmen zu langen Ketten aneinander reihen, die sich mit Hilfe der Hauck'schen Kernpunkte leicht verknüpfen lassen, so dürften die aus diesen Bildern gewonnenen Resultate auch sehr genau werden.

Wegen seiner großen Leistungsfähigkeit und relativen Betriebssicherheit ist der bemannte Freiballon auch bis jetzt entschieden das billigste Mittel zur Hochnahme von photographischen Apparaten.

Nur muß man, da er nicht lenkbar ist, um ein Land planmäßig zu vermessen, Wind und Wetter studieren und klug benützen. Man wird prinzipiell nur bei schönstem, klarstem Wetter fahren und darauf achthaben, was für ein Wind bei solchen Wetterlagen in verschiedenen Höhen vorherrscht. Dann wird man, auf die Kenntnis der bei schönem, klarem Wetter vorherrschenden Windverhältnisse gestützt, die Aufstiegsorte des Ballons derart verändern, daß nach und nach das ganze zu vermessende Land sozusagen abschraffiert wird. Selbstverständlich wird das nicht vollkommen gelingen. Es werden Lücken bleiben und andererseits vieles mehrfach aufgenommen werden. Durch Verwendung und Beobachtung der Flugbahnen von Pilotballons vor jedem Aufstiege nach der Methode Dr. de Quervain kann diese Arbeit ungemein erleichtert und verbilligt werden.

Zur Ausfüllung der unvermeidlichen Lücken verwendet man dann am besten, wenn Wind ist, Drachen, wenn kein Wind ist, Sondierballons.

Insbesondere Sondierballons sind durch die neuen, von Prof. Dr. Hergesell erdachten Einrichtungen und Verbesserungen für die hier ins Auge gefaßten Zwecke besonders geeignet. Nur ist ihr Betrieb etwas teuer, weil jede einzelne Aufnahme einen Gummiballon (zirka 200 bis 300 Kronen) kostet. Obendrein werden die Apparate durch den Wind getragen und hat man stets mit der Wahrscheinlichkeit zu rechnen, daß Unberufene den Apparat in die Hände bekommen und die kostbaren Aufnahmen aus Unverstand belichten oder sonst Schaden machen.

Bei Drachen ist das letztere nicht zu befürchten. Dagegen ist ihr Betrieb ohne fahrbare, maschinell betriebene Winde (vier bis sechs Pferdekkräfte) nicht rationell und ist eine solche Winde ein sehr teures Stück. Auch sind sie nur bei stetigem Winde verwendbar, der häufig gerade dann nicht vorhanden ist, wenn man klares Wetter und eine gute Beleuchtung hat.

Das lenkbare Luftschiff kommt vorläufig noch nicht in Betracht, weil es erstens noch nicht sicher genug funktioniert, zweitens zu kostspielig ist und drittens in den bisher ausgeführten Formen nicht im Stande ist, größere Höhen zu

erreichen, während doch gerade in dem Erreichen großer Höhen die eventuelle Rentabilität der hier besprochenen Methode begründet ist.

Auch der Fesselballon ist minder empfehlenswert, erstens, weil er in der Regel zu unruhig ist, um gute Bilder zu ermöglichen, und zweitens, weil auch er nicht dazu taugt, größere Höhen zu erreichen.

Die Rakete endlich ist ein ganz neues Hilfsmittel, photographische Apparate bis in größere Höhen, angeblich bis zu 1000 m, hinaufzutreiben. Wegen ihrer Billigkeit hätte sie entschieden sehr große Zukunftschancen, insbesondere als Ersatz des Sondierballons; sie ist aber noch nicht genügend erprobt, um vorläufig hier in Betracht zu kommen.

Obiges vorausgeschickt, sei jetzt der normale Arbeitsvorgang bei einer ballonphotogrammetrischen Neuvermessung eines großen Gebietes in seinen großen Zügen entwickelt.

Man trachtet, durch eine Reihe von Ballonfahrten möglichst lückenlos womöglich das ganze aufzunehmende Land mit dachziegelartig sich übergreifenden Ballonaufnahmen zu überdecken. Die unvermeidlichen übrig bleibenden Lücken werden entweder mittels Sondierballons oder durch Drachenaufnahmen ausgefüllt.

Mit jeder Aufnahme wird eine möglichst genaue Neigungsmessung verbunden.

Die Bilder werden vorerst mit konstanter Brennweite nach Maßgabe der beobachteten Neigungen in die Horizontalebene transformiert und dienen vor allem als Rekognoszierungsbehelf für die Auswahl der einzumessenden Triangulierungspunkte.

Dieselben werden so gewählt, daß je drei auf einer Aufnahme sichtbar sind und der Ballonort weitab von der Peripherie des durch sie bestimmten Kreises liegt, weiters daß sie leicht in der Natur aufgefunden werden können und daß sie sich gegenseitig sehen (wo brauchbare ältere Karten oder Triangulierungsnetze vorliegen, können dieselben eventuell benutzt werden). Die gewählten Punkte sind in der Natur aufzusuchen, zu bezeichnen und einzumessen.

Nach Maßgabe, als das geschehen ist, werden die Bilder durch optische Koinzidenz mit Hilfe des Photoperspektos-

graphen genau horizontalisiert und auf den gewünschten Maßstab gebracht.

Sodann wird die Güte der Arbeit mit Hilfe der Hauckschen Kernpunkte dadurch kontrolliert, daß man die Lage der Kernpunkte, die jedes Bild mit seinen Nachbarbildern gemeinsam haben soll, aus den bereits bekannten Ballonörtern rechnet und nachsieht, ob die von ihnen zu einer Anzahl identer Bildpunkte gezogenen Strahlenbüschel sich in den in Betracht kommenden Bildern auch tatsächlich decken.

Eventuell dadurch aufgedeckte Fehler sind zu beseitigen.

Nachdem so ein homogenes, horizontales, richtig orientiertes und maßstabrichtiges Bildermaterial geschaffen ist, welches das ganze zu vermessende Land überdeckt, werden die Bilder in passender Weise gepaart, um zur Ermittlung des Schichtenplanes mit oder ohne Hilfe des Stereokomparators zu dienen.

Diese Ermittlung des Schichtenplanes erfolgt nach Kapitel III. Sodann hat nach Kapitel IV die Zonentransformation zu erfolgen, d. h. die Überführung der Perspektivbilder in Orthogonalprojektionen.

Endlich schließt die Kartierung die Rechnung ab. Selbe kann entweder dadurch erfolgen, daß man die orthogonalen Kopien der Einzelaufnahmen bezüglich ihrer Begrenzungen den gegebenen Vorschriften entsprechend zusammenfügt und beschreibt oder, wenn der Charakter der Photographie nicht gewünscht und die bisherige symbolistische Terraindarstellung vorgezogen wird, an der Hand obiger Teilbilder die eigentliche Karte zeichnet.

Inhaltsübersicht.

- I. Überblick über die leitenden Gesichtspunkte der Methode.
- II. Die geodätische Orientierung der Ballonbilder und ihre Transformation in horizontalisierte Vogelperspektiven mit Hilfe des Photoperspektographen.
- III. Die Ermittlung des genauen Schichtenplanes des Terrains aus den horizontalisierten und geodätisch orientierten Ballonaufnahmen.
 - A. Ermittlung des Schichtenplanes ohne besondere instrumentelle Hilfsmittel.
 - B. Ermittlung des Schichtenplanes mit Hilfe des Stereokomparators.
- IV. Die zonenweise Überführung der horizontalen Vogelperspektiven in Orthogonalprojektionen.
- V. Die Herstellung der Karte auf photographischem Wege.