

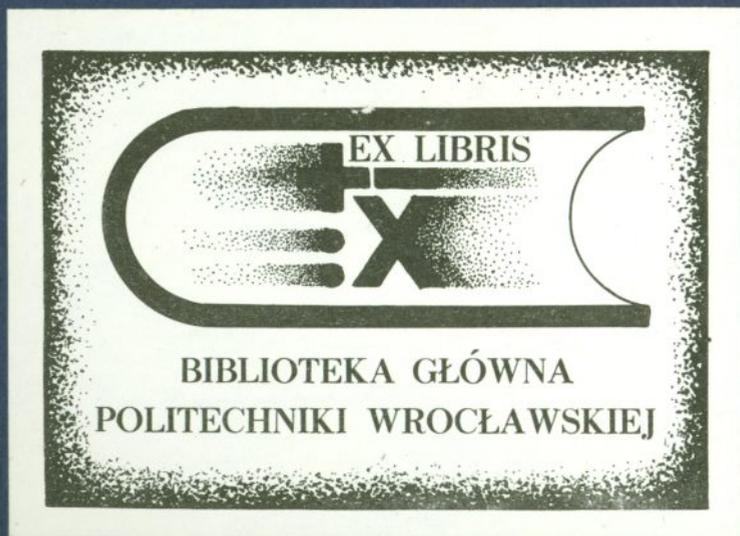
Sammlung Borntraeger Bd.14

H. Sarnetzky

Grundzüge
der
Luft- und Erdbildmessung

Gebrüder Borntraeger Berlin

91105
16
Archiwum



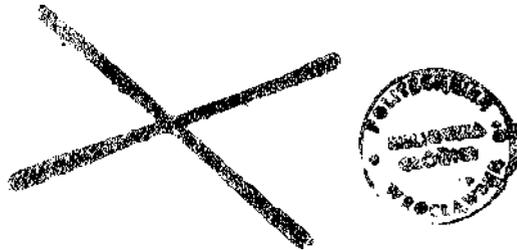
Sammlung Borntraeger Band 14

Grundzüge
der
Luft- und Erdbildmessung

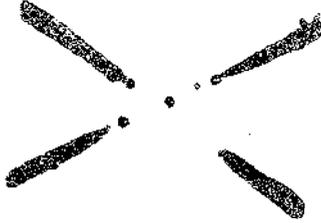
von

Dr. phil. Heinrich Sarnetzky
Landmesser in Essen

Mit 117 Abbildungen und 4 Zahlentafeln



Berlin
Verlag von Gebrüder Borntraeger
W 35 Schönberger Ufer 12 a
1928



Inv. 18398

Alle Rechte,
insbesondere das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.
Copyright 1928 by Gebrüder Borntraeger in Berlin

Meinem ehemaligen Lehrer

dem † Geh. Regierungsrat
Prof. Dr. phil., Dr.-Ing. e. h. et Dr. agr. h. c.

Christian August Vogler
Berlin

in Dankbarkeit gewidmet

Vorwort

Die lebhaft entwickelte Entwicklung der Photogrammetrie in den letzten Jahren, namentlich der Luftbildmessung, hat das Erscheinen einer großen Anzahl von Schriften auf diesem Gebiete zur Folge gehabt. Die Mehrzahl der Veröffentlichungen befaßt sich aber nur mit Einzelaufgaben, und es fehlt immer noch ein Buch, das dem praktischen Landmesser sowohl die Luftbildmessung wie auch Erdbildmessung als neuen Zweig des Vermessungswesens näherbringt. Mit dem vorliegenden Buch mache ich den Versuch, diesem Mangel abzuweichen. Dabei bin ich von der historischen Entwicklung abgewichen und habe die Luftbildmessung der Erdbildmessung vorangestellt, weil die Aufnahmen aus der Luft für die Planherstellung wirtschaftlicher sind. Es ringt sich die Erkenntnis durch, daß die Wahl zwischen Luft- oder Erdbildmessung von dem aufzunehmenden Objekt abhängig ist. Handelt es sich darum, von einem Teil der Erdoberfläche einen Plan herzustellen, so wählt man zweckmäßig die Luftaufnahmen. Dagegen ist die Anwendung der terrestrischen Photogrammetrie dann notwendig, wenn Gebilde in der Luft (Wolken) oder Gestirne in den Auswertungsbereich zu ziehen sind. Ebenso ist nur sie zu verwenden, wenn einzelne Objekte auf der Erde, wie bei der Kriminalistik oder Architektur, zeichnerisch dargestellt werden sollen.

Im übrigen bemerke ich, daß die Photogrammetrie zunächst nur soweit behandelt worden ist, als sie für den Landmesser in Frage kommt. Ihre Verwendung bei der Messung von Meereswellen, in der Medizin oder beim Brückenbau, kann bei der nächsten Auflage

behandelt werden, in der Annahme, daß sie auf diesen Gebieten bis dahin mehr geklärt ist. Grundsätzlich ist auch der Rechnungsgang des Rückwärtseinschnittes im Raume nicht behandelt worden, weil die Lösung der Photogrammetrie als graphische Methode nur auf mechanisch-automatischem Wege wirtschaftlich ist.

Hinweise der Fachgenossen auf Irrtümer, Lücken und Verbesserungen werde ich gern entgegennehmen. Herrn Oberlandmesser Hellwig von der Emschergenossenschaft in Essen, sowie den Herren Oberlandmesser Klein, Wattenscheid, und Markscheider Keinborst, Essen, danke ich für ihre aufmerksame Unterstützung bei den Genauigkeitsuntersuchungen, der Verlagsbuchhandlung für die Ausstattung der Schrift und die Drucklegung.

Essen, im Januar 1928.

H. Sarnetzky

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	5
Die Luftbildmessung	9
Die Aufnahmekammern	9
Das Luftbild	18
Die Stereoskopie	40
Die Verwendbarkeit des Luftbildes	58
Der Luftbildplan	74
Die Beziehungen zwischen Bild, ebenem Gelände und Karte	94
Die instrumentelle Auswertung des Luftbildes zu Karten	101
Der Inag-Doppelprojektor nach Gasser	107
Der Autokartograph von Hugershoff	113
Der Stereoplanigraph von Bauersfeld	120
Der Ärokartograph von Hugershoff	129
Die Erdbildmessung	134
Das Aufnahmegerät	134
Die Meßtischphotogrammetrie	143
Die Stereophotogrammetrie	161
Die Photogrammetrie in der Architektur	172
Die Photogrammetrie in der Kriminalistik	184
Die geographische Ortsbestimmung auf photogrammetrischem Wege	192
Die Photogrammetrie in der Meteorologie	200
Lebensbeschreibungen verdienter Männer um die Photogrammetrie	211
Literaturverzeichnis	218
Sachregister	231

Die Luftbildmessung

Die Aufnahmekammern

Wegen der dauernden Fortbewegung der Kammer während der Belichtung ist eine sukzessive Belichtung der Platte durch einen Schlitzverschluß unangebracht, vielmehr ist die gleichzeitige Belichtung der ganzen Platte notwendig, was nur durch den Zentralverschluß ermöglicht wird. Er ist als Vier-Lamellenverschluß ausgearbeitet und zwischen den Linsen eingebaut. Seine Geschwindigkeit ist in mehreren Zeitabstufungen von $\frac{1}{75}$ bis $\frac{1}{200}$ Sek. regulierbar, so daß eine Anpassung der Belichtungszeit an die jeweilig vorhandenen Beleuchtungsverhältnisse und das Aufnahmematerial möglich ist. Er nutzt 72% der Lichtstärke des Objektivs tatsächlich aus.

Bei luftphotogrammetrischen Aufnahmen ist die Entfernung a der einzelnen Gegenstandspunkte hunderte und tausende Meter vom Objektiv entfernt. Im optischen Sinne sind aber solche Entfernungen gleichwertig mit unendlich. In der Linsenformel

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

wird daher das erste Glied auf der linken Seite der Gleichung gleich Null, so daß die Linsenformel zusammenschrumpft auf

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Da nun die Brennweite f für die jeweilige Kammer konstant ist, ist auch die Bildweite konstant, d. h. die Kammer braucht nicht ausziehbar konstruiert, sondern kann fest sein.

Vor der Kassette befindet sich ein Rahmen, der sog. Meßrahmen. In den Mitten seiner vier Seiten befinden sich Marken, die den Namen Meßmarken führen. Bei der Belichtung bilden sich diese

Meßmarken auf der Platte ebenfalls ab. Verbindet man auf dem Bilde zwei gegenüberliegende Marken miteinander, so entsteht ein rechtwinkliges Koordinatenkreuz, so daß es möglich wird, die Bildkoordinaten für jeden beliebigen Punkt zu entnehmen. Unter Zuhilfenahme der Brennweite f , die durch den Schnittpunkt des Koordinatenkreuzes gehen und auf der Platte senkrecht stehen muß, können die Horizontal- und Vertikalwinkel (Tiefenwinkel) jedes einzelnen Lichtstrahles berechnet werden.

Auch für die mechanische Auswertung der Platten sind die Meßmarken notwendig. Sie dienen dazu, mit ihrer Hilfe die Platten in erster Annäherung richtig in die Auswerte-Instrumente zu legen oder, anders ausgedrückt, die Platten richtig zu orientieren.

Da sowohl die Genauigkeit der Winkelberechnung wie auch die Orientierung der Platten wesentlich von der richtigen Lage der Meßmarken auf dem Bilde abhängen, müssen sich während der Belichtung Meßrahmen und Kassette innig berühren. Dies wird dadurch erreicht, daß die Kassette vor jeder Belichtung entweder mit der Hand oder automatisch an den Meßrahmen angerückt wird.

Die Kassetten sind entweder Plattenwechsellkassetten oder Filmwechsellkassetten für Plattenformate 13×18 cm. Die Behauptung gewisser Photogrammeter, daß Filme in der Photogrammetrie unbrauchbar seien, ist zur Zeit für nicht ganz stichhaltig erklärt worden. Es hat sich nämlich gezeigt, daß Filme sehr wohl verwendet werden können, wenn beim Entwickeln, Trocknen und Auswerten gewisse Regeln beobachtet werden. Ein abschließendes Urteil wird aber erst nach einigen Jahren gefällt werden können, wenn es sich gezeigt hat, daß die Brauchbarkeit der Filme auch eine gewisse Dauerhaftigkeit aufweist und nicht zu schnell durch eine Umlagerung der Moleküle beeinträchtigt wird.

Außerdem sind die Aufnahmekammern noch mit Libellen ausgestattet, die auf gewünschte Neigungen der Kameraachse eingestellt werden können, und die man bei der Aufnahme möglichst genau einspielen läßt. Sie ermöglichen also eine angenäherte Innehaltung des beabsichtigten Neigungswinkels und eine leidliche Ausschaltung von Verkantungswinkeln.

Je nach der Handhabung der Kamern unterscheidet man sie in Handkamern und in Reihenbildmeßkamern. Die Flugzeughandkamera von Gustav Heyde-Dresden, Abb. 1, hat als Objektiv ein Geo-

dar 1 : 4,5 von Görz-Berlin-Zehlendorf, dann Gelbscheibe, Zentralobjektivverschluss, Meßrahmen, verstellbare Dosenlibelle, aufklappbaren Rahmensucher, Wechselkassetten für 6 Glasplatten und seitliche Handgriffe zum Festhalten der Kamera.

Die Flugzeughandkamera von Carl Zeiss-Jena, Abb. 2, besitzt als Objektiv ein Tessar 1 : 4,5, $f = 21$ cm. Außerdem werden ihr zwei Gelbglasfilter mit zweifacher und fünffacher Verlängerung der Belichtungszeit beigegeben. Die Gelbglasfilter werden auf das Verschlussgehäuse mit Bajonettverschluss und Sicherung gegen das Her-

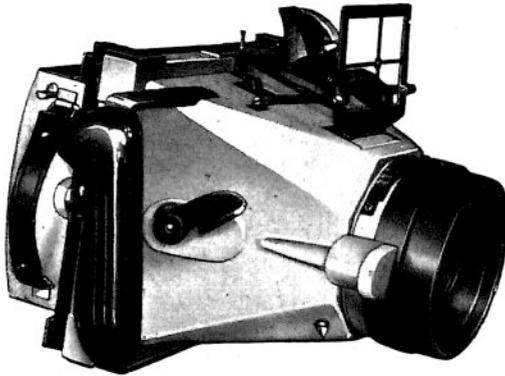


Abb. 1
Flugzeug-Meßkamera von Gustav Heyde,
Dresden-N. 23

abfallen aufgesetzt. Sie sind aus „Glas in der Masse“ gefärbt und auf 2—3" planparallel geschliffen. Das Spannen des Verschlusses erfolgt durch Rechtsdrehen des Aufzugknopfes *V*. Dabei erscheint an einem Fensterchen der Buchstabe „*F*“ (Fertig!). Zur Geschwindigkeitseinstellung dient der Knopf *G*. An einem links vom Knopfe liegenden Fenster erscheinen dabei die Geschwindigkeitszahlen. An der linken Kammerwand liegt der Auslösehebel. Der Rahmensucher *R* stimmt mit dem Kammerbildfeld überein, wenn der Augenort hinter der Kassette so gewählt wird, daß die seitlichen vorderen Zielstacheln sich mit den Kerben im Sucherrahmen decken. Der Sucher läßt sich umlegen und trägt zum Ausführen von Senkrechtaufnahmen eine Dosenlibelle *D*. Rechts vom Sucher ist eine Röhrenlibelle *RI*. Ihre Einstellung gestattet Schrägaufnahmen im Bereiche von 55° bis 90° Nadirdistanz. Objektiv und Meßrahmen liegen vollständig geschützt

im Innern des Kammerkörpers und sind durch die Knöpfe *V* und *G* des Verschlufaufzuges bzw. der Geschwindigkeitseinstellung und durch den Auslösehebel zwangsweise miteinander verbunden. Um an Gewicht zu sparen, ist die Kammer bis auf empfindliche und stark beanspruchte Teile aus Leichtmetall gebaut, das durch eine besondere Grundlackierung gegen Witterungseinflüsse nach Möglichkeit geschützt ist.

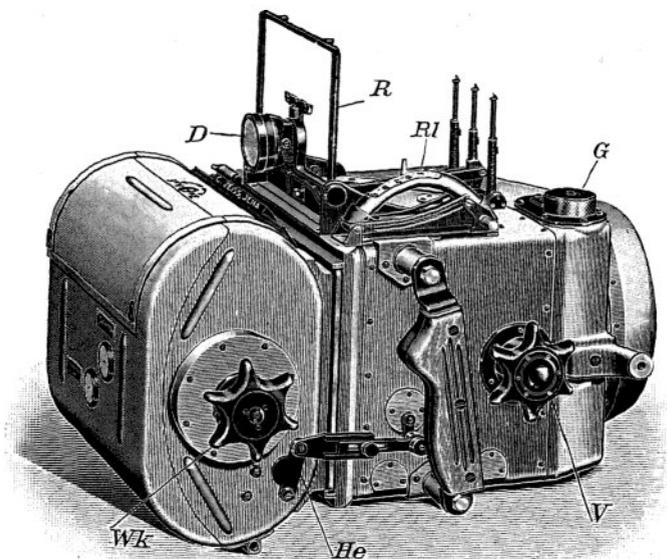


Abb. 2
Flugzeug-Meßkamera mit Filmkassette
von Karl Zeiss, Jena

Die Filmwechsellkassette gestattet bei einmaliger Beschickung in rascher Aufeinanderfolge 120 Aufnahmen auszuführen. Das Filmband hat also eine Länge von 15,6 m. Es wird beim Aufnahmewechsel in gleichbleibenden Abständen von der Vorratsrolle *Vr* (Abb. 3) auf die Aufwickelrolle *Ar* abgewickelt. Dabei läuft es von der Vorratsrolle über die Spannrolle *Sp* und die Gleitwalze *G*, legt sich über die Druckplatte *Dr* mit der Schichtseite nach außen, passiert dann die Gleitwalze *Gw* und läuft zwischen den Druckwalzen *Dw* und *Mw* nach der Aufwickelrolle. Hinter der Druckplatte liegt die An-

saugevorrichtung für den Film. In der Abbildung sind die Luftkanäle auf der Druckplatte sichtbar. *W* in Abbildung 3 (und *Wk* in Abb. 2) ist der Wechselknopf für den Filmtransport. Mit dem Schloß *S* wird der Deckel beim Aufsetzen auf den Kassettenkasten verriegelt. Durch das Ansaugen des Films an die Druckplatte ist eine vollständig ebene Lage des Films in der Bildfeldebene gewährleistet. Beim Wechseln des Films für die nächste Aufnahme durch Knopf *W* oder *Wk* hebt sich zunächst die Druckplatte vom Meßrahmen ab und

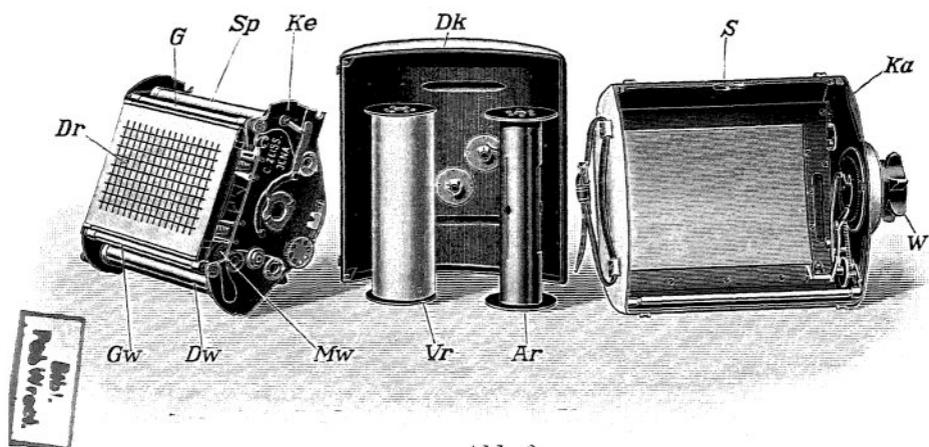


Abb. 3
Die Filmwechsellkassette in ihre Teile zerlegt

gibt den Film frei. Beim Weiterdrehen des Wechselknopfes bis zum Anschlag wird der Film für die neue Aufnahme transportiert. Jede einzelne Aufnahme wird durch das Zählwerk in der Kammer auf dem Film registriert. Da die Zahlen aber erst beim Entwickeln auf dem Film sichtbar werden, wird die Mitte der Bildzwischenräume auf dem Filmband durch eine fühlbare Narbe bei der Aufnahme gekennzeichnet, so daß zur leichteren Behandlung bei der Entwicklung das Filmband nach diesen Marken in der Dunkelkammer zerschnitten werden kann. An einer automatischen Zählvorrichtung *Az* auf dem Deckel der Kassette (Abb. 2) kann die Anzahl der in der Kassette noch verfügbaren Aufnahmen abgelesen werden. Solange der Kassettenschieber geöffnet ist, verhindert eine Schutzvorrichtung, daß

die Kassette versehentlich abgenommen wird. Ihre Abnahme ist erst dann möglich, wenn der Kassettenschieber geschlossen ist. Die Filmwechsellkassette hat im geladenen Zustande ein Gewicht von 5,5 kg, während bei einer Verwendung von Glasplatten für dieselbe Aufnahmezahl 20 geladene sechsplattige Wechsellkassetten mit einem Gesamtgewicht von 50 kg notwendig sind. Die Dicke des Films ist zwischen 0,13 bis 0,15 mm zulässig. Er ist auf die Vorratsrolle so aufzuwickeln, daß seine Schichtseite nach innen kommt.

Um das lästige Halten der Kammer in der Hand auszuschalten und eine gewünschte Neigung der Kammerachse (Aufnahmeachse) konstant zu erhalten, kann die Kammer auch in eine Aufhängevorrichtung gesetzt werden (Abb. 4). Die Aufhängevorrichtung besteht aus zwei Gabeln, von denen jede drei mit Gummiringen ausgekleidete Öffnungen besitzt. In diese sechs Öffnungen wird die Kamera mit ihren Zapfen gesetzt. Die Gummiringe haben den Zweck, etwaige Stöße des Flugzeuges zu mildern. Durch die unteren Enden der Gabel geht die horizontale Drehachse der Kammer, deren seitliche Zapfen mit dem inneren Stahlrohrring verbunden sind. Außerdem hat dieser innere Ring den Zweck, der Kammer auch eine horizontale Drehung von $\pm 15^\circ$ zu erteilen, um eine etwaige Abtrift des Flugzeuges zu lindern. Seine Bewegungen lassen sich zwischen drei Doppelrollen ausführen, die wieder an dem äußeren Stahlrohrring befestigt sind. Letzterer ruht in zwei Kipplagern, die bei Senkrechtaufnahmen auf dem Fußboden, bei Schrägaufnahmen aber auf der Bordwand des Flugzeuges befestigt werden.

Die Verwendung der Handmeßkammern ist keine unbeschränkte. Sie versagt dann, wenn es sich um Senkrechtaufnahmen größerer Gebiete handelt und das Bildmaterial in einem großen Maßstabe erscheinen sowie eine große stereoskopische Überdeckung aufweisen soll. Nach den Ausführungen auf Seite 36 ergeben sich für die Bildfolgen innerhalb des Essener Stadtgebiets im Mittel etwa 5 Sek. In diesen 5 Sek. müssen also der Plattenwechsel, das Andrücken der Platten an den Meßrahmen und das Auslösen des Verschlusses ausgeführt werden, eine Arbeitsleistung, deren Durchführung schon bei kleineren Aufnahmegebieten fraglich erscheint, dagegen unmöglich ist bei großen Aufnahmeflächen. Es ist ein Unding, selbst dem besonnensten Photographen zuzumuten, 120 mal hintereinander 5 Sek. genau einzuhalten, bis der nächste Kassetten-

wechsel wieder erfolgen kann. Bei größeren Arbeiten ist es also am zweckmäßigsten, automatisch arbeitende Reihenbildmeßkammern zu verwenden.

Die Zeitfolge der Bilder kann allerdings vergrößert werden, wenn die Flughöhe vergrößert wird (Gl. 27). Dann verkleinert sich aber der Maßstab des Bildes (Gl. 15) und der gewünschte Bildmaß-

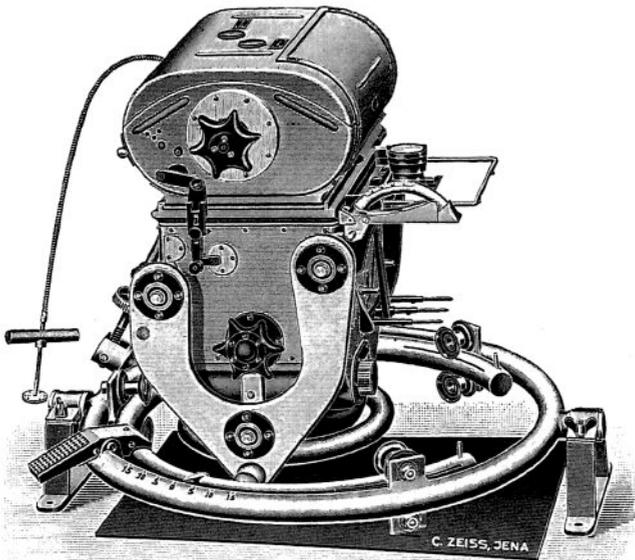


Abb. 4

Die Zeiss'sche Flugzeug-Meßkamera mit Aufhängevorrichtung

stab kann nur durch vergrößerte Reproduktionen der Originalaufnahmen wieder erreicht werden, eine Maßnahme, die umgangen wird, wenn eine Reihenbildmeßkammer Verwendung findet. Außerdem sei bemerkt, daß Vergrößerungen der Flughöhe häufig nicht nur die Güte der Bilder wegen der Verunreinigung der Luft negativ beeinflussen, sondern überhaupt die Aufnahmen unmöglich machen.

Diese Reihenbildmeßkammer (Abb. 5) hat außer dem Aufhängegestell als Ausrüstung einen Überdeckungsregler, einen Generator mit Propellerantrieb und eine Schalttafel. Der Überdeckungsregler

besteht wieder aus dem „Geschwindigkeitsregler über Grund“, dem Propellerantrieb und dem Stufengetriebe mit Motor.

Der Geschwindigkeitsmesser über Grund ist mit dem dazu gehörigen Propellerantrieb unabhängig von der Kamera am Flugzeugboden befestigt. Die Umdrehung des Propellers entspricht einer mittleren Flugzeuggeschwindigkeit und hat eine Tourenzahl von etwa 3000 Umdrehungen in der Minute. Der Geschwindigkeitsmesser be-

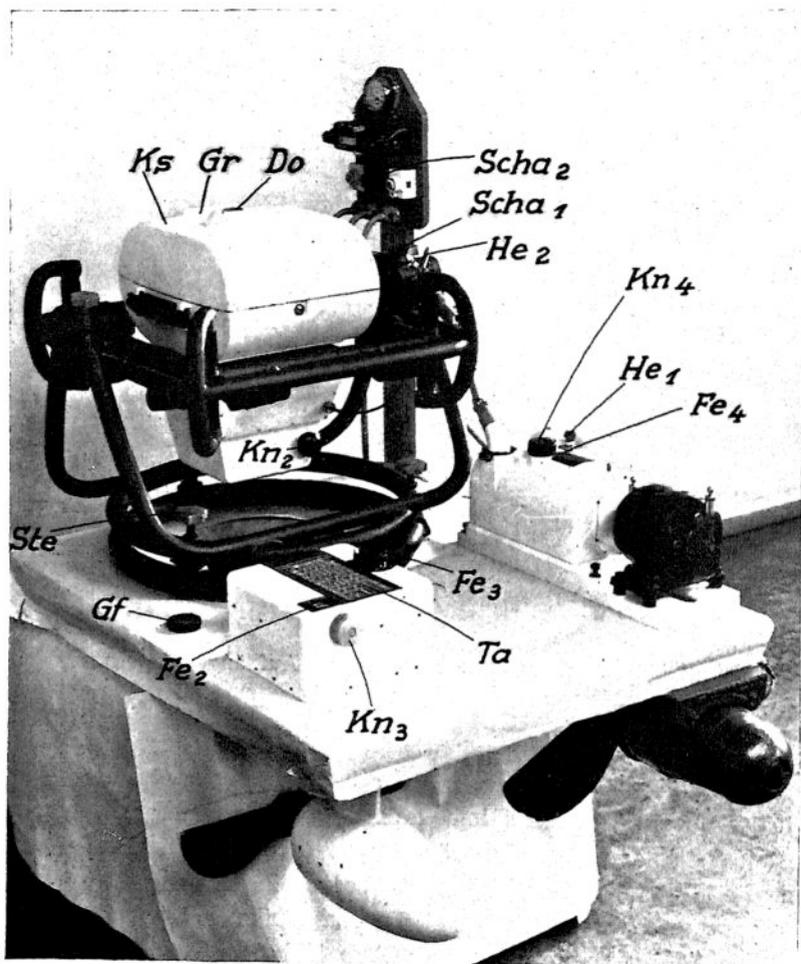


Abb. 5

Reihenbildmeßkammer von Karl Zeiss in Jena

steht aus einer wandernden Marke, die sich vor der Mattscheibe Fe_2 einer Kamera bewegt, und deren Geschwindigkeit durch den Knopf Kn_3 so reguliert wird, daß diese sich mit dem Gelände in gleicher Geschwindigkeit bewegt. An der Öffnung des Einstellknopfes Kn_3 erscheint dann die Geschwindigkeitszahl, die das Flugzeug unter Berücksichtigung der Windkomponente tatsächlich aufweist. Nach einer der Gl. 27 wird die Bildfolge in Sekunden ausgerechnet oder der Tabelle *Ta* entnommen und dann mittels des Einstellknopfes Kn_4 auf dem Stufengetriebe oder Räderkasten eingestellt.

Mit dem Geschwindigkeitsmesser ist noch die Einrichtung zur Bestimmung der Flugzeugabtrift verbunden. Das Fenster Fe_3 besitzt eine Strichmarke, die vor Beginn der Aufnahme durch Drehen so einzustellen ist, daß ihre Verlängerung das Ziel der Flugrichtung trifft. Eine etwaige Ablenkung der Strichmarke vom Flugziel während der Aufnahme ist ein Zeichen, daß das Flugzeug eine Abtrift hat und daher die Kamera mit dem Aufhängegestell so lange zu drehen ist, bis das ursprüngliche Ziel wieder erreicht ist.

Das Stufengetriebe ist ein Räderkasten, der mit einem Gleichstrommotor 45 Volt, 75 Watt gekuppelt ist. Die Schutzhaube des Kastens trägt den bereits erwähnten Knopf Kn_4 und das Fenster Fe_4 , an dem die Zahl der eingestellten Bildfolge in Sek. erscheint. Nach der Kamera zu liegt die aus dem Stufengetriebe hervorstehende Achse zum Antrieb der Kamera, der durch das Verbindungsgelenk vermittelt wird.

Der Generator ist ein F.-T.-Generator, wie er bisher zur Funkentelegraphie vom Flugzeug aus verwendet wurde. Er wird am Fahrgestell befestigt und von einem Propeller getrieben, der für eine mittlere Flugzeuggeschwindigkeit etwa 4500 Umdrehungen in der Minute hat. Vom Generator erfolgt die Stromzuführung nach der Schalttafel, die an der inneren Bordwand des Flugzeuges befestigt ist.

Die Schalttafel trägt ein Voltmeter und einen regulierbaren Widerstand, um die Spannung bei wechselnder Belastung auf 45 Volt halten zu können. Ferner besitzt sie zwei Sicherungen, einen Schalter Sch_2 und drei nebeneinander befindliche Steckdosen zur Schaltung von Generator, Motor und Kamera.

Das Aufhängegestell wird über der Öffnung im Flugzeugboden befestigt. Es ist in horizontalem Sinne bis zu $\pm 15^\circ$ zur Korrektur

der Abtritt drehbar. Die Stellschrauben *St*e gestatten, die Dosenlibelle *Do* innerhalb der Neigung von $\pm 6^\circ$ zum Einspielen zu bringen.

Das Objektiv der Kamera ist ein Tessar: 6,3 und mit Zentralverschluss ausgerüstet, der Belichtungszeiten von $\frac{1}{50}$ bis $\frac{1}{250}$ Sek. (in 6 Stufen einstellbar) zuläßt. Die Brennweite beträgt 18 cm. Die Geschwindigkeitseinstellung des Objektivverschlusses erfolgt durch den Knopf *Kn*₂ und ist rechts von diesem Knopfe an einem Fensterchen ablesbar. Zwei Meß-GelbfILTER sind mit Bajonett auf einem vom Objektiv unabhängigen Ring am Verschlusskasten aufsteckbar. (In der Abbildung liegen die GELBScheiben *Gf* seitlich vor dem Aufhängegestell.) Die Kamera selbst ist mit einem Anlegerahmen ausgerüstet, der nicht nur die vier Meßmarken, sondern auch die Aufnahmezählvorrichtung trägt.

Die Kassette ist eine Filmwechselkassette (13 × 18) für ein 19 cm breites und 60 m langes Filmband. Wenn die Kassette geladen ist, lassen sich dann 460 Aufnahmen ausführen. Um Fehlaufnahmen oder unberufenes Öffnen der Kassette zu verhindern, ist der Kassettenschieber so gesichert, daß er sich erst öffnen läßt, wenn die Kassette mit der Kamera verriegelt ist; umgekehrt läßt sie sich von der Kamera erst abnehmen, wenn der Schieber geschlossen ist.

Der Film wird durch eine Druckplatte gegen den Anlegerahmen gepreßt und kurz vor der Belichtung an die Druckplatte angesaugt, so daß der Film bei der Aufnahme vollständig eben liegt. Der Kassettenantrieb selbst wird beim Ansetzen derselben automatisch mit dem Antrieb der Kamera gekuppelt.

Das Luftbild¹⁾

Die Luftbildarten

Die Grundart des Luftbildes ist die Schrägaufnahme, bei der die optische Achse — in der Photogrammetrie Aufnahmeachse genannt — gegen den Horizont unter irgendeinem Winkel ν geneigt ist. Nimmt dieser Neigungswinkel den bestimmten Wert 0° an, so erhält

¹⁾ Bei der photogrammetrischen Aufnahme befindet sich das Objektiv zwischen Gelände und Platte, deren lichtempfindliche Schicht dem Objektiv zugekehrt ist. Auf diese Weise erhält man das umgekehrte Bild der Landschaft. Bei der betrachtenden Photogrammetrie pflegt man die Platte vor dem Objektiv zu zeichnen, so daß man sich gewissermaßen ein aufrechtes Bild der Landschaft erhalten denkt.



Abb. 6. Ungefähre Horizontalaufnahme von Müllheim (Ruhr)-Heissen. Aufgenommen von der Hansa Luftbildgesellschaft, Berlin



Abb. 8. Schrägaufnahme vom Hauptbahnhof Essen. Flughöhe 500 m, Neigung 45° , Brennweite 18 cm.
Aufgenommen von der Hansa Luftbildgesellschaft, Berlin

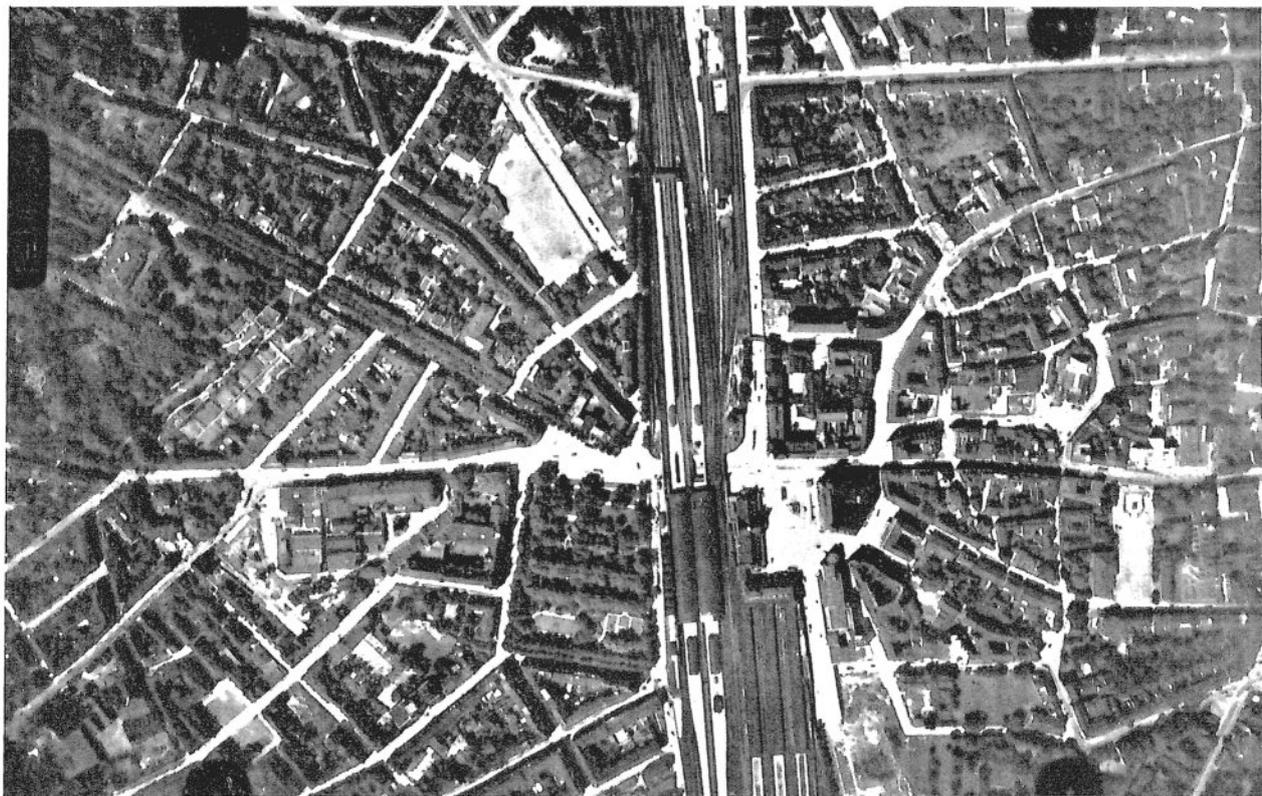


Abb. 9. Senkrechtaufnahme vom Hauptbahnhof Essen, Flughöhe 900 m, Brennweite 18 cm.
Aufgenommen von der Hansa Luftbildgesellschaft, Berlin

Die Abb. 8 ist eine ideale Schrägaufnahme. Die ganze Platte ist mit Bildmasse überzogen. Das ist aber immer dann der Fall, wenn der Neigungswinkel der Aufnahmeachse mindestens gleich ist dem halben Plattenwinkel. Bei aufrechten Objekten ist die dritte Dimension besonders betont.

Die Abb. 9 ist eine Senkrechtaufnahme. Äußerlich erkennt man sie daran, daß zunächst die ganze Platte mit Bildmasse überdeckt ist, dann aber auch an dem kartenmäßigen Aussehen der Abbildung. Überall ist der gleiche Maßstab zu erkennen. Aufrechte Objekte erscheinen in ihrer Vertikalprojektion, und nach den Plattenrändern zu zeigt sich nur eine äußerst schwache Betonung der dritten Dimension.

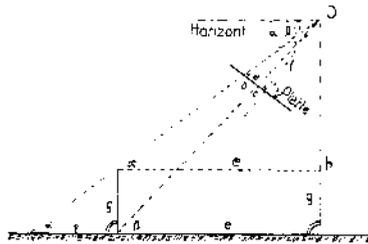


Abb. 10

Darstellung der Abbildung eines lotrecht stehenden Gegenstandes

Bildgröße aufrechtstehender Objekte in der Vertikalebene durch die Plattenmitte

Die Bildgröße aufrechtstehender Objekte im Gelände ist abhängig von der Objektgröße g , von seiner horizontalen Entfernung e von der idellen Flughöhe h , von der Brennweite f , dem Neigungswinkel ν und der Flughöhe. Es ist nach der Abb. 10

$$\operatorname{tg}(\nu - \alpha) = \frac{g}{f}$$

$$\operatorname{tg}(\nu - \beta) = \frac{e}{f}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h - g}{e}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h}{e}$$

mithin ist die Bildgröße b

$$\begin{aligned} b &= a - c = f \{ \operatorname{tg}(\nu - \alpha) - \operatorname{tg}(\nu - \beta) \} \\ &= f \left(\frac{\operatorname{tg} \nu - \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \nu \cdot \operatorname{tg} \alpha + 1} - \frac{\operatorname{tg} \nu - \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \nu \cdot \operatorname{tg} \beta + 1} \right) \\ &= f \left(\frac{e \operatorname{tg} \nu - h + g}{(h - g) \operatorname{tg} \nu + e} - \frac{e \operatorname{tg} \nu - h}{h \operatorname{tg} \nu + e} \right) \\ &= f \frac{eg(1 + \operatorname{tg}^2 \nu)}{h(h - g) \operatorname{tg}^2 \nu + e(eh - g) \operatorname{tg} \nu + e^2} \end{aligned}$$

$$1) \quad b = \frac{fg}{\frac{h}{e}(h - g) \sin^2 \nu + \frac{1}{2}(2h - g) \sin 2\nu + e \cos^2 \nu}$$

Ist die Aufnahmeachse wagerecht, also $\nu = 0$, so ist die Bildgröße

$$2) \quad b_0 = \frac{fg}{e}$$

Läßt man hierin e immer größer werden, so wird die Bildgröße immer kleiner.

Ist der Neigungswinkel

$$\nu = 30^\circ, \text{ also } \sin \nu = \frac{1}{2}, \sin 2\nu = \sin 60 = \frac{1}{2}\sqrt{3} \text{ und } \cos \nu = \frac{1}{2}\sqrt{3},$$

so wird

$$b_{30} = \frac{fg}{\frac{h}{e}(h - g) + (2h - g)\sqrt{3} + 3e}$$

Ist insbesondere $e = 5000$, $h = 900$ m, $f = 0,18$ und $g = 30$ m, so wird

$$b_{30} = \frac{4 \cdot 0,18 \cdot 30}{\frac{900}{5000} \cdot 870 + 1770\sqrt{3} + 15000} = 1,2 \text{ mm.}$$

Die Entfernung $e = 5000$ m entspricht dem äußersten Hintergrunde, sofern die Kurzseite der Platte 0,13 m beträgt.

Wird der Neigungswinkel gleich 90° , ist also die Aufnahmeachse vertikal nach unten gerichtet, so wird

$$3) \quad b_{90} = \frac{fge}{h(h - g)}$$

wird hier $e = 0$, so ist die Bildgröße ebenfalls gleich 0, d. h. ein Punkt; beim Wachsen der Entfernung e wächst aber auch die Bildgröße, d. h. die Bilder scheinen auf der Platte nach dem Rande zu umgelegt zu sein. Am Rande der Kurzseite (0,18 m) der Platte ist $e = 325$ m, daher

$$b_{90} = \frac{0,18 \times 30 \times 325}{900 \times 870} = 2,2 \text{ mm.}$$

Die Bildgröße horizontal gelegener Längen in der Vertikalebene durch die Plattenmitte

Aus der Abb. 10 geht gleichzeitig hervor, daß horizontal gelegene Längen sich ebenfalls in der Richtung nach dem oberen Plattenrande abbilden. Der mathematische Ausdruck für die Bildgröße b' einer Länge γ ergibt sich aus der Gleichung 1), wenn für

$$g = \gamma \frac{h}{e + \gamma}$$

gesetzt wird. Man erhält dann

$$b' = \frac{f \gamma h}{(e + \gamma) \left\{ e \left(\left(h - \frac{\gamma h}{e + \gamma} \right) \sin^2 \nu + \frac{1}{2} \left(2h - \frac{\gamma h}{e + \gamma} \right) \sin 2\nu + e \cos^2 \nu \right) \right\}}$$

und nach einiger Vereinfachung

$$4) \quad b' = \frac{f \gamma h}{h^2 \sin^2 \nu + \frac{1}{2} h (2e + \gamma) \sin 2\nu + e \cos^2 \nu}$$

Da die Entfernung e nur im Nenner vorkommt, so wird b' immer kleiner je mehr sich die Länge γ nach dem Rande des Bildes entfernt, d. h. der Schrägaufnahme liegt kein bestimmter Maßstab zugrunde.

Bei Senkrechtaufnahmen wird die Bildgröße

$$5) \quad b'' = \frac{f}{h} \gamma,$$

d. h. die Länge γ erscheint im verjüngten Maßstabe f/h .

Außerdem ersieht man, daß b'' vollständig unabhängig von der Entfernung e ist, d. h. gleich große Längen bilden sich gleich groß ab, einerlei ob sie in der Bildmitte oder am Bildrande gelegen sind, die Senkrechtaufnahme ist also ein maßstabhaltiger Plan.

Die Unschärfe des Bildes bei bewegter Platte

Bei der äronautischen Photogrammetrie befindet sich die Platte während der ganzen Belichtungszeit in fortschreitender Bewegung. Die Abbildung der einzelnen Objektpunkte erfolgt also nicht in Punkten, sondern in Linien und die von Linien in Flächen. Diese Unschärfen u hängen von der Geschwindigkeit v des Flugzeuges, der Belichtungszeit z , der Brennweite f , dem Neigungswinkel ν und der Entfernung e des Objektivs von der Erdoberfläche ab. Beginnt nach Abb. 11 die Belichtung der Platte in A und bildet sich der Punkt C im Mittelpunkt D der Platte ab, so legt die Platte, wenn das Flugzeug die Geschwindigkeit v hat, in der Belichtungszeit z einen Weg vz zurück, d. h. sie ist im Punkte D' angelangt. Während der Flugzeit hat der Punkt C sein Bild auf der Platte in der Linie $D'L' = u$ gezeichnet. Der mathematische Ausdruck für u ist daher

$$6) \quad u = f \frac{vz \sin \nu}{e - vz \cos \nu} = f \frac{\sin \nu}{e - vz \cos \nu} vz$$

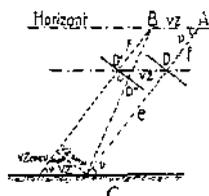


Abb. 11

Unschärfe des Bildes bei fortschreitender Bewegung der Platte

Hieraus kann man entnehmen, daß die Unschärfe wächst mit der Zunahme der Brennweite, der Geschwindigkeit, der Belichtungszeit und des Neigungswinkels, dagegen nimmt sie ab mit der Zunahme der Entfernung e .

Bei Senkrechtaufnahmen ist $\nu = 90^\circ$ und e gleich der Flughöhe, daher

$$7) \quad u_{90} = f \frac{vz}{e} = \frac{f vz}{h}$$

Sind

$f = 0,18$ m, $v = 33$ m, $z = \frac{1}{200}$ Sek. $= 0,005$ Sek. und $h = 900$ m, so wird

$$u_{90} = 0,03 \text{ mm.}$$

Die konvergente Abbildung aufrechter Gegenstände

Eine andere auffallende Erscheinung bei Schrägaufnahmen ist die, daß vertikale Objekte, wie Schornsteine, Türme, Häuserkanten, Bäume usw. um so mehr konvergent abgebildet erscheinen, je mehr sie von der vertikalen Plattenmitte entfernt sind. Die vertikalen Dreiecksflächen, die die aufrechten Gegenstände mit dem Objektivmittelpunkt verbinden, durchdringen die schräggestellte Platte und konvergieren nach dem Objektivmittelpunkt. Die Schnittgeraden dieser Vertikalebenen mit der Platte weisen daher nach dem Durchstoßungspunkt der ideellen Linie der Flughöhe mit der Verlängerung der Platten-ebene. Dieser Durchstoßungspunkt ist also der Konvergenzpunkt und heißt Bildnadir.

Der Flächeninhalt der mit einer einzelnen Platte aufgenommenen Fläche

Der Flächeninhalt J des Paralleltrapezes ist nach Abb. 7

$$J = \frac{L_v + L_h}{2} \cdot T.$$

Nun ist

$$\operatorname{tg}(\nu + \alpha) = \frac{h}{a}$$

oder

$$8) \quad a = h \operatorname{cotg}(\nu + \alpha) = h \frac{2f \operatorname{cotg} \nu - b}{b \operatorname{cotg} \nu + 2f}$$

$$a + T = h \operatorname{cotg}(\nu - \alpha),$$

daher

$$T = h \operatorname{cotg}(\nu - \alpha) - h \operatorname{cotg}(\nu + \alpha)$$

oder nach einiger Umformung

$$T = \frac{2h \operatorname{ctg} \alpha}{\sin^2 \nu (\operatorname{cotg}^2 \alpha - \operatorname{cotg}^2 \nu)}.$$

Da

$$\operatorname{cotg} \alpha = \frac{2f}{b}$$

ist, so wird

$$9) \quad T = \frac{4hf b}{4f^2 \sin^2 \nu - b^2 \cos^2 \nu}$$

Für die Länge L_v des Vordergrundes hat man zunächst

$$L_v = l \frac{x}{f'}$$

Da

$$x = \frac{h}{\sin(\nu + \alpha)} \quad \text{und} \quad f' = \frac{f}{\cos \alpha}$$

sind, so ist

$$L_v = l \frac{h \cos \alpha}{f \sin(\nu + \alpha)} = \frac{lh}{f(\sin \nu + \cos \nu \operatorname{tg} \alpha)}$$

oder, wenn für

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{2f}$$

gesetzt wird,

$$10) \quad L_v = \frac{2lh}{2f \sin \nu + b \cos \nu}$$

Auf demselben Wege erhält man

$$11) \quad L_h = \frac{2lh}{2f \sin \nu - b \cos \nu}$$

Der Flächeninhalt ergibt sich daher zu

$$12) \quad J = \frac{16 b l h^2 f^2 \sin \nu}{(4 f^2 \sin^2 \nu - b^2 \cos^2 \nu)^2}$$

Diese Gleichung ist der allgemeine Ausdruck für den Flächeninhalt des aufgenommenen Gebietes mittels einer Platte. Ist der Neigungswinkel insbesondere 30° , so wird, da

$$\sin 30 = \frac{1}{2} \quad \text{und} \quad \cos 30 = \frac{1}{2} \sqrt{3}$$

sind,

$$13) \quad J_{30} = \frac{128 b l h^2 f^2}{(4 f^2 - 3 b^2)^2}$$

Für den Fall, daß die Plattenauswahl 18×18 cm, die Flughöhe 900 m, die Brennweite 0,18 m und der Neigungswinkel 30° betragen, wird $J_{30} = 12,627$ qkm.

Setzt man dagegen in Gleichung 12 für $\nu = 90^\circ$, so wird, da $\sin 90 = 1$ und $\cos 90 = 0$ sind,

$$14) \quad J_{90} = \frac{b l h^2}{f^2}$$

Setzt man hier für die Buchstaben dieselben Werte wie im vorigen Beispiel, so wird $J_{90} = 0,6$ qkm. Aus diesen beiden Beispielen ersieht man, welche ungleich größere Fläche bei geneigter Aufnahmeerchse aufgenommen wird. Der Plattenverbrauch ist also bei Senkrechtaufnahmen ein ungleich größerer und insofern auch der Zeitverbrauch bei der Auswertung zu Karten ein erhöhter. Außerdem sind die Schrägaufnahmen für die Betrachtung und den Städtebauer wertvoll, weil sie die dritte Dimension stark hervortreten lassen, so daß z. B. bei Häusern ihr Alter und ihre Architektur beurteilt werden können. Bei der etwaigen Berechnung der Raumpyramiden läuft man wieder nicht Gefahr, den sogenannten Fall des gefährlichen Zylinders beachten zu müssen. Trotzdem hat die Verarbeitung der Luftbilder zu Plänen und Karten erwiesen, daß es das Wirtschaftlichste ist, wenn hierzu Senkrechtaufnahmen verwendet werden. Sie liefern an und für sich ein genaues Lagebild des aufgenommenen Gebietes und dringen in alle Einzelheiten des Geländes, in Wälder, Ortschaften, in scharf eingeschnittene und gewundene Täler, in zerklüftete Gebirge usw. ein. Mittels Grundrißaufnahmen kann man durch die Einhaltung gleicher Flughöhen sämtliche Gegenstände der Natur sozusagen aus gleicher Entfernung und dadurch mit gleicher Schärfe aufnehmen, während bei Schrägaufnahmen die Entfernungen und damit die Deutlichkeit zu rasch wechseln, so daß nicht nur der Vordergrund, sondern auch der Hintergrund für die Auswertung überhaupt ausfallen. Ein anderer Vorteil der Senkrechtaufnahmen liegt darin, daß bei einer etwaigen Berechnung der Raumpyramiden die Winkel an der Spitze der Pyramiden unter sonst gleichen Verhältnissen größer sind als bei Schrägaufnahmen. Die Rechnung liefert daher schärfere Ergebnisse.

Wägt man die Vor- und Nachteile beider Aufnahmearten unparteiisch ab, so ergibt sich als das Vorteilhafteste, wenn beide ausgeführt werden.

Festsetzung der Flughöhe

Hat man sich für den Maßstab $1:m$ der künftigen Karte oder des Luftbildplanes entschieden, so strebt man in der photogrammetrischen Praxis danach, auch beim aufgenommenen Senkrechtbilde denselben Maßstab zu erreichen, d. h. jede natürliche Länge a soll auf

der Platte die Länge $\frac{h}{m}$ haben. Bezeichnet man die Flughöhe mit h und die Brennweite des Objektivs mit f , so ist nach der Abb. 12

$$15) \quad h = fm$$

Beispiel: Ist die Brennweite $f = 18$ cm, und soll der Bildplan im Maßstabe $1 : 5000$ erscheinen, so muß eine Flughöhe von

$$h = 0,18 \times 5000 = 900 \text{ m}$$

gewählt werden.



Abb. 12

Darstellung der Flughöhe bei Senkrechtaufnahmen
als Funktion von Kartenmaßstab und Brennweite

Der Flächeninhalt der mit einer einzelnen Platte aufgenommenen Fläche bei Senkrechtaufnahmen

Der Flächeninhalt J des auf einer einzelnen Platte abgebildeten Geländes ist bereits in Gleichung 14) zum Ausdruck gebracht, kann aber auch aus der Abb. 12 hergeleitet werden. Die Breite und Länge des aufgenommenen Geländes ergeben sich aus derselben Abbildung zu

$$16) \quad B = b \frac{h}{f} = bm$$

und

$$17) \quad L = l \frac{h}{f} = lm.$$

Beispiel: Bei einer Flughöhe von 900 m sind die Breite B und Länge L bei den Plattendimensionen 13×18 qcm und der Brennweite 0,18 m

$$B = 0,13 \frac{900}{0,18} = 650 \text{ m}$$

$$L = 0,18 \frac{900}{0,18} = 900 \text{ m.}$$

Aus der Gleichung für den Flächeninhalt

$$I = lb \frac{h^2}{f^2}$$

ersieht man, daß er bei denselben Plattendimensionen um so größer wird, je größer die Flughöhe oder je kleiner die Brennweite sind.

Berechnung der Plattenanzahl bei Senkrechtaufnahmen

Die Plattenanzahl richtet sich nach der Verwendung des Bildes. Sollen die Bilder nur zur Betrachtung dienen, oder sollen sie entzerrt und zu einem Bildplan zusammengefügt werden, so genügt es, wenn die Bildmasse an den Rändern eine 33 $\frac{1}{3}$ %ige Überdeckung aufweist, damit der Anschluß gewährleistet ist. Sollen aber die Bildabzüge stereoskopisch betrachtet werden können, um das Studium des Geländemodells im Zimmer zu ermöglichen, oder sollen später die Platten für die Kartenauswertung verwendet werden, so muß die Überdeckung eine weit größere sein, damit der Bild- und Plattenwechsel auf ein Minimum beschränkt bleiben. Man nimmt dann eine 50- bis 75%ige Überlappung in der Flugrichtung an. Die einzelnen Aufnahmestreifen, mit denen das aufzunehmende Gebiet überdeckt wird, pflegt man dagegen in einem solchen Abstände einzurichten, daß die Platten nur eine gegenseitige Überdeckung von 33 $\frac{1}{3}$ % aufweisen. Die Größe der Bildmasse einer Platte nach Abzug beider Überdeckungen nennt man den „Fortschritt oder den Wirkungsgrad einer Aufnahme“. Hat man Platten mit $\frac{3}{4}$ Längs- und $\frac{1}{3}$ Querüberdeckung, so wird von der Platte nur $\frac{1}{4} \times \frac{2}{3} = \frac{1}{6}$ ausgenutzt, d. h. man arbeitet mit dem geringen Wirkungsgrad 0,17.

Bei Senkrechtaufnahmen ist die Flugbahn über der Mitte des Aufnahmestreifens, wobei im allgemeinen die Kurzseite b der Platte in der Flugrichtung und die Langseite l senkrecht hierzu gelegen sind. Wegen der Anschlußüberdeckung (Abb. 13) im Betrage von $0,01 pL$ müssen sich die Flugbahnen nicht in der Entfernung L , sondern in der Entfernung

$$18) \quad s = L - 0,01 p L = L (1 - 0,01 p)$$

folgen. Ist dann die Länge des aufzunehmenden Gebietes gleich z , so ist die Anzahl der Aufnahmestreifen

$$19) \quad A_1 = \frac{\lambda}{L(1 - 0,01 p)} + 1.$$

Auf jedem Aufnahmestreifen folgen sich die Mitten der Bilder nicht in der Entfernung B , sondern wegen der stereoskopischen Überdeckung in der Entfernung $B - 0,01 pB = B(1 - 0,01 p)$. Ist die Breite des aufzunehmenden Geländes gleich β , so ist die Anzahl der Platten in einem Aufnahmestreifen

$$20) \quad A_2 = \frac{\beta}{B(1 - 0,01 p)} + 1$$

Mithin ist die Anzahl der Platten eines aufgenommenen Gebietes

$$21) \quad A = A_1 \cdot A_2 = \left(\frac{\lambda}{L(1 - 0,01 p)} + 1 \right) \left(\frac{\beta}{B(1 - 0,01 p)} + 1 \right).$$

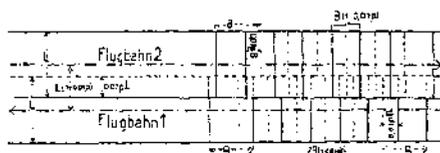


Abb. 13

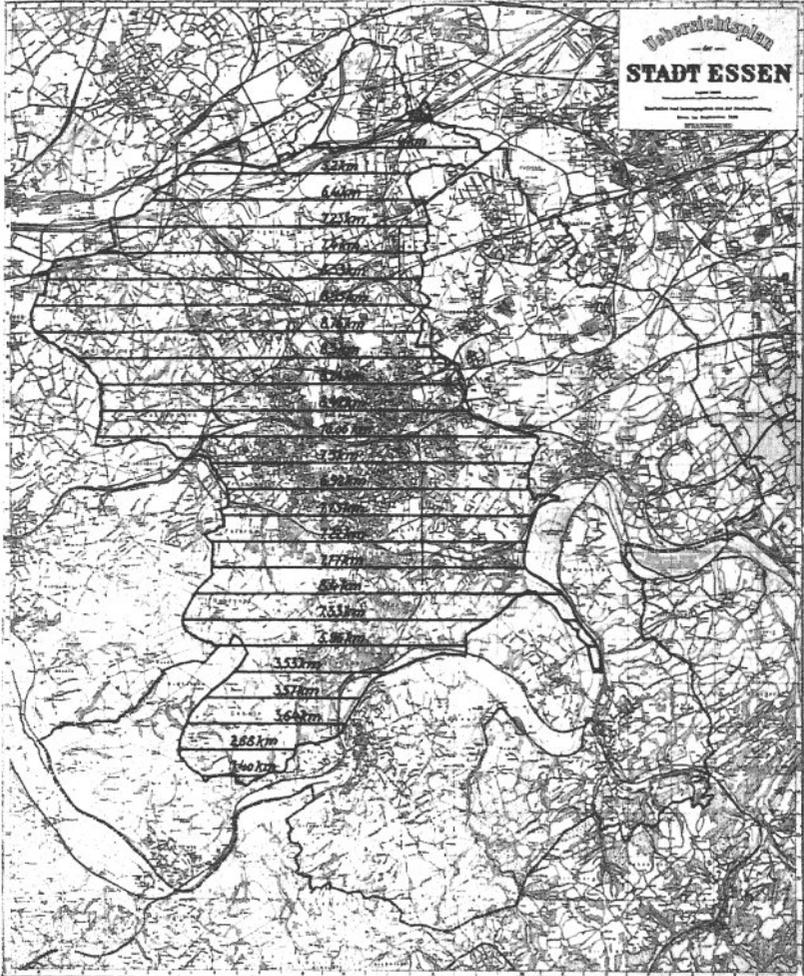
Die Aneinanderreihung der Teilflächen bei p -prozentiger Überdeckung der Aufnahmestreifen selbst und innerhalb der Aufnahmestreifen

Beispiel: Die Stadt Essen hat einen Flächeninhalt von 9817 ha. Ihre Länge und Breite betragen daher $\lambda = \beta = 9908$ m. Entschließt man sich bei den Aufnahmestreifen für eine Anschlußüberdeckung von $p = 33\frac{1}{3}\%$ und innerhalb der Aufnahmestreifen für eine stereoskopische Überdeckung von 75%, so ergibt sich eine Plattenanzahl von

$$A = \left(\frac{9908}{900(1 - 0,01 \cdot 33,3)} + 1 \right) \left(\frac{9908}{650(1 - 0,01 \cdot 75)} + 1 \right) = 1085 \text{ Stück.}$$

Gegen diese Berechnung kann man einwenden; daß sie kaum jemals mit der Praxis übereinstimmen wird, weil die aufzunehmenden Gebiete niemals Quadrate sind und auch deswegen nicht, weil ihre Längen und Breiten keine vollen Vielfachen der mit jeder Platte aufgenommenen Rechtecke sind. Diesen Einwand kann man teilweise dadurch beheben, daß man das aufzunehmende Gebiet mit den pro-

jizierten Flugbahnen in Abständen S nach Gleichung 18) versieht, die Summe ihrer Längen mit Zirkel und Maßstab bestimmt und diese dann durch B ($1 - 0,01 p$) dividiert. Nach dieser Methode ist, wie Abb. 14 zeigt, das Essener Stadtgebiet ebenfalls behandelt worden. Die projizierten parallelen Flugbahnen in ostwestlicher Richtung haben Abstände von 600 m. Die Gesamtsumme ihrer Länge beträgt



164 740 m. Wird sie durch B ($i - 0,01 p$) dividiert, so ergibt sich eine Plattenanzahl von rund 1014 Stück. Der Unterschied zwischen beiden Rechenmethoden beträgt nur 7%. Außerdem besteht die Vermutung, daß zwischen den theoretischen Berechnungen und dem praktischen Plattenverbrauch Differenzen bis zu $\pm 15\%$ bestehen werden. Der Grund liegt in den dauernder Änderung unterworfenen Wind- und Luftverhältnissen, so daß die vorgezeichneten Flugbahnen nicht eingehalten, die Fluggeschwindigkeiten durch Wind vergrößert und verkleinert werden, in fehlerhaftem Plattenmaterial und in dem Umstände, daß die aufgenommene Fläche immer größer ist als die in Auftrag gegebene. Das Verhältnis der Auftragsfläche zur notwendig aufgenommenen Fläche führt den Namen „Wirkungsgrad des Auftrages“.

Berechnung der Plattenanzahl bei Schrägaufnahmen

Bei Schrägaufnahmen befindet sich die Langseite der Platte parallel zur Flugrichtung, während die Kurzseite senkrecht zu ihr steht. Ihre wesentlichsten Merkmale sind darin zu erblicken, daß die Flugbahn weitab vom aufgenommenen Gebiet gelegen und die Gestalt des aufgenommenen Gebietes kein Rechteck, sondern ein Paralleltapez ist. Die Entfernung a der Flugbahn von der vordersten Parallelseite des Trapezes ist nach Abb. 7 und Gleichung 8)

$$a = h \cotg (\nu + \alpha)$$

und die Entfernung A der Flugbahn von der hintersten Parallelseite des Trapezes

$$22) \quad A = h \cotg (\nu - \alpha).$$

Die Tiefe f des aufgenommenen Geländes ist durch Gleichung 9) ausgedrückt, die Vorderseite L_v des Trapezes durch Gleichung 10) und die Hinterseite L_h durch Gleichung 11). Bei der Aufnahme eines größeren Gebietes muß man sich darüber klar sein, daß auch hier Anschlußüberdeckungen der einzelnen Aufnahmestreifen notwendig werden, und zwar in Größe von einem Drittel der Aufnahmetiefe T . Innerhalb der einzelnen Aufnahmestreifen ist ebenfalls eine $p\%$ ige Überdeckung erforderlich. Da aber Vorder- und Hintergrund ungleichmäßig lang sind, muß die Länge L_v des Vordergrundes der

Überdeckung zugrunde gelegt werden. Die einzelnen Flugbahnen müssen sich daher in Abständen

$$23) \quad S = 0,667 T$$

folgen. Die Anzahl der Flugstreifen ist nach Gleichung 19)

$$24) \quad A_1 = \frac{\lambda}{0,667 T} + 1.$$

Bei einer $p\%$ igen Überdeckung innerhalb jedes Aufnahme-streifens ist nach Gleichung 20) die Anzahl der Platten in jedem Auf-nahmestreifen

$$25) \quad A_2 = \frac{\beta}{L_v (1 - 0,01 p)} + 1.$$

Mithin ist die Gesamtzahl der Platten

$$26) \quad A = \left(\frac{\lambda}{0,667 T} + 1 \right) \left(\frac{\beta}{L_v (1 - 0,01 p)} + 1 \right).$$

Beispiel: Das 9817 ha umfassende Stadtgebiet sollte durch Schrägaufnahmen aus 500 m Höhe und einem Neigungswinkel von 30° gegen die Horizontale bei $p = 33,3\%$ iger Überdeckung innerhalb der Aufnahmestreifen aufgenommen werden. Es fragt sich, welche Plattenanzahl ist hierzu erforderlich?

Nach Gleichung 9) wird, da

$$\sin 30 = \frac{1}{2} \quad \text{und} \quad \cos 30 = \frac{1}{2} \sqrt{3}$$

sind

$$T = \frac{16 h f b}{4 f^2 - 3 b^2} = 2373 \text{ m}$$

und nach Gleichung 10)

$$L_v = \frac{4 l h}{2 f + b \sqrt{3}} = 621 \text{ m,}$$

mithin ist die Plattenanzahl

$$A = \left(\frac{9908}{0,667 \cdot 2373} + 1 \right) \left(\frac{9908}{621 (1 - 0,01 \cdot 33,3)} + 1 \right) = 175 \text{ Stück.}$$

Sehr wichtig ist auch die Ermittlung der Bildfolge t nach der

Zeit innerhalb eines Aufnahmestreifens. Sie ergibt sich nach der physikalischen Formel

$$t = \frac{s}{v},$$

wenn s die Bildfolge in Metern und v die Geschwindigkeit des Flugzeuges über Grund bedeuten. Bei Senkrechtaufnahmen erhält man die Größe s aus Gleichung 18) unter Berücksichtigung von Gleichung 16) oder 17) zu

$$s_1 = \frac{bh(1-0,01p)}{f},$$

wenn die Kurzseite der Platte in der Flugrichtung liegt oder

$$s_2 = \frac{lh(1-0,01p)}{f},$$

wenn die Langseite der Platte in der Flugrichtung liegt.

Infolgedessen hat man:

$$27) \left\{ \begin{array}{l} t_1 = \frac{b}{f}(1-0,01p) \frac{h}{v} \text{ oder} \\ t_2 = \frac{l}{f}(1-0,01p) \frac{h}{v}. \end{array} \right.$$

Bei einer Brennweite $f = 0,18$ m, den Plattendimensionen $b = 0,13$ m und $l = 0,18$ m, einer stereoskopischen Überdeckung $p = 75\%$, einer Flughöhe $h = 900$ m und einer Flugzeuggeschwindigkeit über Grund $v = 33,3$ m, wird

$$t_1 = \frac{0,13 \cdot 0,25 \cdot 900}{0,18 \cdot 33,3} = 4,8 \text{ Sek.}$$

$$t_2 = \frac{0,18}{0,18} \cdot 0,25 \cdot \frac{900}{33,3} = 6,8 \text{ Sek.}$$

Die Zeitdauer einer photogrammetrischen Aufnahme

Die gesamte Zeitdauer der Aufnahme hängt im wesentlichen von ökonomischen und bildtechnischen Gründen ab. Die letzteren liegen in der Witterung und Fluggeschwindigkeit über Grund. Der Winter scheidet für die Aufnahme vollständig aus, weil er im allgemeinen verregnet oder bedeckten Himmel aufweist, wobei die Wolkenhöhe

etwa 300 m beträgt, während die Aufnahmen aus 500 bis 1000 m Höhe erfolgen. Aber selbst bei heiterer Witterung können Aufnahmen nicht ausgeführt werden, weil der tiefe Sonnenstand lange Schatten bei Gebäuden, Türmen, Bäumen und sonstigen Erhebungen hervorruft, die sich auf den Bildern als recht störende schwarze Flecken kennzeichnen. Somit bleiben für die Aufnahme nur die Sommermonate Mai bis einschließlich September übrig. In dieser Zeit ist aber wirklich günstiges Aufnahmewetter auch nur wenig vorhanden. Nach Angabe des Meteorologischen Observatoriums zu Essen sind im rheinisch-westfälischen Industriegebiet in den Sommermonaten des Jahres 1926 durchschnittlich nur 28 heitere Tage vorhanden gewesen, d. h. im allgemeinen muß man rechnen, daß nur jeder 5.4. Tag geeignet ist, aus größeren Lufthöhen photographische Aufnahmen auszuführen. Hat man aber einen günstigen Tag, dann können täglich recht große Gebiete aufgenommen werden. Beträgt die Fluggeschwindigkeit der Flugzeuge 120 km in der Stunde oder 33,3 m in der Sekunde, so braucht man nur die Gesamtlänge der Aufnahmestreifen und der Wendungswege, durch die das Flugzeug von einer Flugbahn in die andere gelangt, durch 120 zu dividieren, um die Zeitdauer der Aufnahme zu erhalten.

Beispiel: Das Essener Stadtgebiet hat für die Senkrechtaufnahmen nach Gleichung 19) 17 Aufnahmestreifen von je 9908 m Länge notwendig. Dabei ist die Anzahl der Wendungen des Flugzeuges, damit es in die nächstfolgende Flugbahn gelangt, gleich 16. Rechnet man für jeden Wendungsweg 1 km, so betragen die Gesamtfluglängen $17 \times 9908 + 16\ 000 \approx 184,4$ km. Infolgedessen beläuft sich die reine Aufnahmezeit auf

$$\frac{184,4}{120} = 1,54 \text{ Stunden.}$$

Rechnet man für den Anflug zum Erreichen der Aufnahmehöhe und für den Rückflug je 0,5 Stunden (Essen besitzt einen eigenen Flughafen), so beträgt die Gesamtflugzeit

$$(1,54 + 1,00) 60 \times 60 \text{ Sek.} = 9144 \text{ Sek.}$$

Auf eine belichtete Platte kommen also $9144 : 1085 = 8,4$ Sek. Flugzeit. Das Verhältnis der Anzahl belichteter Platten zur Gesamtflugzeit nennt man „den Wirkungsgrad des Fluges“. Es ist bei Einzelaufnahmen, wie den Architekturaufnahmen, am kleinsten. Solche Aufnahmen sind also am unwirtschaftlichsten.

Die Bestimmung des Maßstabes eines Bildes und der Flughöhe aus Bild- und Kartendaten

Bei Senkrechtaufnahmen läßt sich der Maßstab entweder durch Schätzung oder Rechnung bestimmen. Die Schätzungsmethode beschränkt sich allerdings nur auf bebaute Gebiete. Die Bildlänge l der Gebäude wird nach Millimetern geschätzt und durch ihre mittlere, bekannte natürliche Länge l' dividiert, dann ist der Maßstab des Bildes

$$\frac{1}{m} = \frac{l}{l'} = \frac{1}{\bar{l}}$$

Die Rechenmethode unterscheidet sich nur darin, daß bei ihr beliebige Bildlängen l mit entsprechenden Kartenlängen oder sonst bekannten Längen l' verglichen werden.

Ist der Maßstab des Bildes bekannt, so berechnet sich die Flughöhe nach Gleichung 15) aus

$$h = fm,$$

wie folgende Zahlentafel der Essener Aufnahme zeigt.

Zahlentafel 1

Abgegriffene Kartenlänge		Länge im Bilde	Maßstab	Brennweite f	Flughöhe $h = fm$	Bemerkungen
m	mm	mm	1 : m	in m	in m	
630,00	630 000	125,4	1 : 5024	0,18	904	—
262,40	262 400	46,0	1 : 5704	0,18	1026	—
93,55	93 550	16,5	1 : 5670	0,18	1021	—
415,00	415 000	72,7	1 : 5708	0,18	1027	—

Bei der Auftragserteilung wurde festgesetzt, daß der Luftbildplan im Maßstabe 1 : 5000 hergestellt werden sollte. Aus technischen Gründen war es für den Entzerrungsvorgang notwendig, daß die Originalluftbilder vorteilhafterweise einen etwas kleineren Maßstab aufwiesen. Zu diesem Zwecke mußte aber die Flughöhe etwas größer als 900 m festgesetzt werden. Wie die bearbeitende Gesell-

schaft mitgeteilt hat, hat sie den Photographen angewiesen, eine Höhe von 1000 m einzuhalten. Wenn nun die Flughöhe stellenweise etwas mehr als 1000 m beträgt, so liegt der Grund in den vertikalen Luftströmungen, die das Flugzeug in größere Höhen führen.

Wenn das Bildmaterial eines Aufnahmegebietes umfangreich wird, ist es notwendig, seiner Aufbewahrung eine besondere Sorgfalt

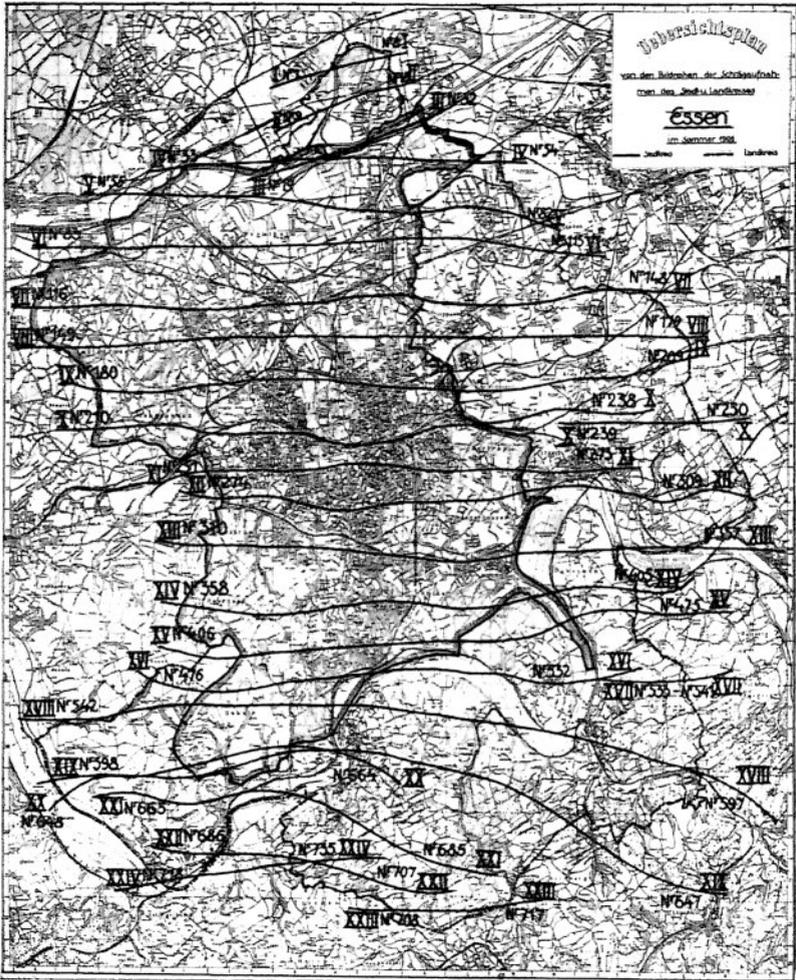


Abb. 15
Übersichtsplan für eine Bilderkartothek

zuzuwenden. Die Stadtverwaltung Essen befolgt folgenden Weg: Die Bilder werden zunächst nach Aufnahmestreifen gesondert und innerhalb jedes Aufnahmestreifens nach ihrer Aufeinanderfolge. Auf der Rückseite jedes Bildes wird die Nummer des Aufnahmestreifens in römischer Zahl und seine fortlaufende Nummer in arabischer Zahl vermerkt. Die fortlaufende Numerierung beginnt mit eins beim ersten Aufnahmestreifen und setzt sich über alle Streifen fort bis zur letzten Nummer beim letzten Aufnahmestreifen. Dann werden streifenweise die Mitten der einzelnen Bilder in einen Stadtplan eingetragen und durch eine ununterbrochene Linie miteinander verbunden. An den Enden dieser Linien werden die Streifen- und Bildnummern vermerkt. Aufbewahrt werden die Bilder in einem Kasten, der für jeden Streifen ein Fach besitzt, das mit der Streifennumerierung gekennzeichnet ist. Es ist also eine Bilderkartothek geschaffen worden, aus der jedes Bild mit Hilfe des Planes leicht entnommen und wieder eingereiht werden kann. Das Bild 15 veranschaulicht den Übersichtsplan für die Bilderkartothek der Schrägaufnahmen des Stadt- und Landkreises Essen. Für die Senkrechtaufnahmen besteht ein ähnlicher Übersichtsplan, der sich nur durch eine engere Aufeinanderfolge der Aufnahmestreifen und eine weit größere Bilderzahl unterscheidet.

Die Stereoskopie

Daß man mit Hilfe von zwei auf verschiedenen Standorten aufgenommenen Bildern eines Körpers den gleichen körperlichen Eindruck wie bei der direkten Betrachtung des Körpers hervorrufen kann, hat zuerst Ch. Wheatstone (1838) gezeigt. Das den Eindruck erleichternde Instrument hat er Stereoskop genannt.

Sowie die Zeichnung eines Körpers ungleich ausfällt, wenn man denselben von verschiedenen Standpunkten aus aufnimmt, so muß auch die Zeichnung eines Gegenstandes verschieden ausfallen, je nachdem man denselben bloß mit dem einen oder mit dem andern Auge betrachtet. Ebenso müssen auch die auf der Netzhaut in beiden Augen entstehenden Bilder etwas von einander verschieden sein. Betrachtet man z. B. einen geraden Kegel zuerst mit dem rechten und dann mit dem linken Auge, so erscheint im ersten Falle die Spitze links, im andern rechts von der Mitte der Grundfläche.

Sind überhaupt A, B, C , (Abb. 16), drei Punkte irgend eines auf der Vertikalfäche durch fg abzuzeichnenden Dreiecks, so sind a, b, c die in der Fläche fg fallenden Bilder der drei Punkte A, B, C , wenn der Gegenstand mit dem linken Auge O_l gesehen wird, während $a' b' c'$ die Bilder dieser Punkte für das rechte Auge O_r sind. Wenn man zwischen diesen beiderlei Bildern und den Augen einen Schirm so aufstellt, daß jedes Auge nur die für dasselbe entworfene Zeichnung sehen kann und dann gleichzeitig mit dem linken Auge O_l die Zeichnung abc , mit dem rechten Auge O_r , die Zeichnung $a' b' c'$ betrachtet, so nimmt man nicht mehr sechs in einer geraden Linie liegende Punkte a, b, c , und a', b', c' , sondern drei in der Lage A, B, C befindlichen Punkte wahr.

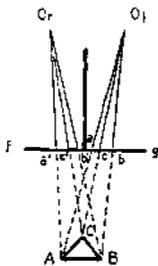


Abb. 16
Der orthoskopische
Effekt

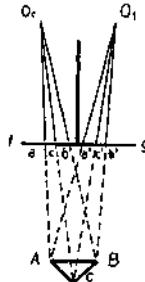


Abb. 17
Der pseudoskopische
Effekt

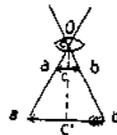


Abb. 18
Das aufrechte und
vergrößerte Bild durch
eine Lupe

Die Erklärung für diese Erscheinung ist folgende. Der Lichtstrahl aO_l wird vom Auge O_l in gerader Linie über fg hinaus verlängert, desgleichen der Lichtstrahl $a'O_r$. Der Schnittpunkt beider Verlängerungen ist der Raumpunkt A . Er konstruiert sich also durch die Konvergenz beider Lichtstrahlen. Die Raumpunkte B und C kommen durch denselben Vorgang zustande.

Vertauscht man die beiden Zeichnungen mit einander (Abb. 17), so scheint der Punkt C nicht vor, sondern hinter den beiden Punkten A und B zu liegen, und die Entfernungen aller drei Punkte von der Bildebene fg sind größer als in Abb. 16. Diese Erscheinung ist auf die Verkleinerung der Konvergenzwinkel in A, B und C zurückzuführen, wobei die Verkleinerung in C in erhöhtem Maße stattgefunden

den hat, so daß Punkt C sogar hinter die Punkte A und B zu liegen kommt.

Aus diesen Darlegungen geht hervor, daß zur Erzielung eines stereoskopischen Effektes zwei nicht kongruente Bilder notwendig sind, die immer dann erhalten werden, wenn sie von verschiedenen Standpunkten aufgenommen sind. Zwei Bilder desselben Gegenstandes, derselben Landschaft und von demselben Standpunkt aufgenommen, erzeugen, wenn sie nach derselben Anordnung wie in Abb. 16 betrachtet werden, nur parallele Bildstrahlen, die sich erst in der Unendlichkeit schneiden und daher die Landschaft nicht rekonstruieren können. Außerdem muß die Bildfolge bei der Betrachtung dieselbe sein, wie sie bei der Abbildung des Gegenstandes erhalten worden ist.

Anstatt die Bilder mit den freien Augen zu betrachten, kann man letztere mit je einer Lupe bewaffnen, um den virtuellen Gegenstand noch vergrößert zu sehen. Die Brennweiten jeder dieser Linsen müssen, unter sich gleich groß, andererseits aber größer sein als die Gegenstandsweite, damit das Modell des Gegenstandes auf derselben Linsenseite entsteht. Ist c (Abb. 18) eine Sammellinse, ab der Bildgegenstand innerhalb der Brennweite der Linse, aber nahe am Brennpunkt, so erblickt das an der anderen Seite der Linse in O befindliche Auge ein vergrößertes Bild $a'b'$ des Gegenstandes. Da sich die Durchmesser des Bildes $a'b'$ und des Gegenstandes ab offenbar wie ihre Entfernungen vom optischen Zentrum der Linse verhalten, da ferner der Abstand des Bildes $a'b'$ von der Linse der deutlichen Sehweite gleich ist, und der Gegenstand ab bei einer Linse von kurzer Brennweite sich sehr nahe am Brennpunkte derselben befinden muß, wenn das Bild in einer Entfernung von 20—25 cm erscheinen soll, so verhält sich $a'b'$ zu ab (nahezu) wie die deutliche Sehweite zur Brennweite der Linse.

Aus der Linsenformel

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

in der $a = cc$, und da das Bild an die nämliche Seite mit dem Gegenstande fällt, b negativ gleich $-cc'$ zu setzen ist, ergibt sich

$$28) \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{cc} - \frac{1}{cc'}, \text{ mithin } \frac{cc'}{cc} = \frac{cc'}{f} + 1 = g.$$

Die Vergrößerungszahl $cc' : cc$ ist also um 1 größer als der Quotient aus der deutlichen Sehweite und der Brennweite, wobei freilich der Abstand des Auges vom optischen Zentrum als verschwindend klein angenommen ist. Da ferner Kurzsichtige eine kleinere und Weit-sichtige eine größere deutliche Sehweite als 20–25 cm haben, so müßten, damit solche Personen das Bild immer in ihrer eigenen deutlichen Sehweite erblicken, entweder die Gegenstände ab oder aber die Linsen c verschiebbar eingerichtet sein; das ist jedoch bei den in der Photogrammetrie verwendeten Stereoskopen nicht möglich, so

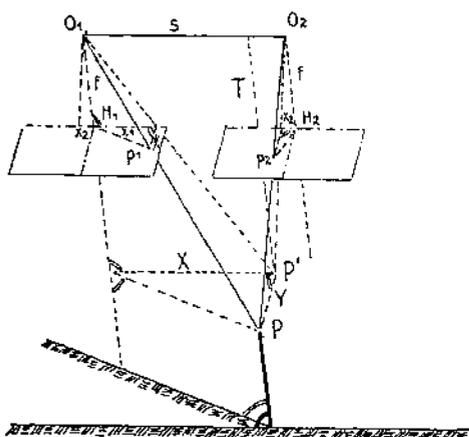


Abb. 19

Die stereoskopische Aufnahme eines einzelnen Punktes in perspektivischer Darstellung

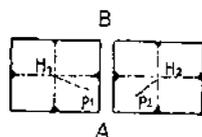


Abb. 20

Konvergenz der Bildstrahlen

daß die Personen immer die ihnen zukommenden Augengläser aufsetzen müssen.

Für das stereoskopische Betrachten ist es wesentlich, die Bilder in ihrer richtigen Aueinanderfolge unter die Linsen zu legen. Aus Abb. 19 ersieht man, daß die Lichtstrahlen $O_1 P$ und $O_2 P$ jedes Geländepunktes P in P konvergent sind. Dasselbe trifft infolgedessen auch zu mit den Projektionen $H_1 p_1$ und $H_2 p_2$ der Bildstrahlen $O_1 p_1$ und $O_2 p_2$ auf den Platten. Diese Feststellung versetzt uns in die Lage die richtige Aueinanderfolge zweier Bilder zu beurteilen. Man braucht nur die Mittelpunkte beider Bilder mit zwei identischen Bildpunkten zu verbinden, und wenn diese Geraden beim Aneinander-

halten der Bilder konvergieren, so ist die Bildfolge richtig, d. h. in dieser Lage wird das Raumbild erhoben (orthoskopisch) gesehen. Divergieren aber die Strahlen, so sind die Bilder zu vertauschen, weil sonst ein hohles (pseudoskopisches) Raumbild erhalten wird. Die Methode versagt oder führt unsicher zum Ziel, je nachdem die Bildpunkte in der zur Flugbahn parallelen Mittellinie der Platte oder in ihrer unmittelbaren Nähe ausgewählt werden.

Empirisch erhält man die richtige Lage der Bilder zueinander am schnellsten, wenn sie so übereinander gelegt werden, daß sich gleiche Geländeteile decken. Durch diese Methode erkennt man auch das Fortschreiten der Aufnahme, und ob die Langseite oder Kurzseite der Platte parallel zur Flugbahn gewesen sind. Aus Abb. 20 kann man ferner ersehen, daß die Flugrichtung auf der Flugbahn für die Entscheidung der richtigen stereoskopischen Lage der Bilder ohne Einfluß ist. Es ist also auch gleichgültig, ob der Beschauer die Bilder von *A* oder von *B* aus betrachtet. Er kann sogar beide zusammen im gleichen Sinne verdrehen, wenn nur nicht ihre gegenseitige Lage geändert wird, d. h. man erhält immer einen stereoskopischen Effekt, wenn keine Störung in der Konvergenz der Bildstrahlen eintritt. Andererseits geht aber auch hervor, daß es bei der Stereoskopie luftphotogrammetrisch gewonnener Bilder, streng genommen, untunlich ist, von einem sogenannten linken und rechten Bilde zu sprechen.

Die stereoskopischen Bilder werden nicht mit einer zweilinsigen Kammer aufgenommen, deren Linsenabstand gleich der mittleren Augenentfernung ist, sondern mit einer einlinsigen Kammer. Dabei ist der Aufnahmeabstand der beiden Bilder ein viel tausendfaches der Augenentfernung. Die stereoskopische Betrachtung selbst erfolgt aber wieder mit Linsen im Augenabstande. Es fragt sich daher, welchen Einfluß haben die vergrößerte Aufnahmebasis und die verkürzte Betrachtungsbasis auf den stereoskopischen Effekt.

Das Erkennen des Hintereinanderliegens von Punkten, die körperliche Tiefenwahrnehmung oder die stereoskopische Plastik, hört auf, sobald der Konvergenz- oder Sehwinkel in *P* den Betrag von etwa $\frac{1}{2}^\circ$ erreicht hat. Beim menschlichen Sehen ist daher die Tiefenunterscheidung erloschen in einer Entfernung von

$$29) \quad E = \frac{s \cdot 3438}{\frac{1}{2}} = 0,065 \cdot 3438,2 = 447 \text{ m.}$$

Da nun die Flughöhen größer als 500 m sind, so würden stereoskopische Aufnahmen mit Doppelobjektivkamern, deren Linsenentfernung gleich dem Augenabstande s ist, keinen stereoskopischen Effekt sondern nur Flächenwirkung der Landschaft hervorbringen. Die Reichweite E der stereoskopischen Plastik kann aber nach Gleichung 29) vergrößert werden, sobald die Aufnahmebasis s vergrößert wird. Wird sie insbesondere gleich 0,145 m gemacht, so wird E etwa 1000 m lang, d. h. bei Flughöhen von 1000 m braucht man eine längere Basis als 0,145 m, damit ein stereoskopischer Eindruck noch erzielt wird. Ist die Aufnahmebasis wie gewöhnlich etwa 200 m lang, so erstreckt sich die Tiefenwahrnehmung sogar auf 13,752 km.

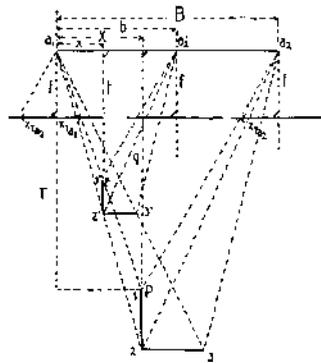


Abb. 21

Der Einfluß der Verjüngung einer Basis
für das stereoskopische Modell

Für die stereoskopische Betrachtung solcher Luftbilder mit langer Aufnahmebasis B ist es notwendig, diese im Stereoskop auf die Augenentfernung b heranzubringen. Die Abb. 21 gibt Aufschluß, welche Veränderungen das Landschaftsmodell dadurch erleidet. Sind die Koordinaten irgendeines Punktes P der Landschaft T , X und Y , so sind die Koordinaten für den identischen Modellpunkt p

$$30) \left\{ \begin{aligned} t &= \frac{b}{B} T \\ x &= \frac{b}{B} X \\ y &= \frac{b}{B} Y. \end{aligned} \right.$$

Die Koordinaten des Punktes P haben also eine Verjüngung im Verhältnis $b : B$ erfahren, so daß der Beschauer die Landschaft nicht in natürlicher Größe, sondern in dem verjüngten Maßstabe $b : B$ erblickt. Dabei bleibt aber die bessere Tiefenschätzung bestehen, weil durch die Parallelverschiebung des zweiten Bildes die Konvergenz- oder Sehwinkel für die verschiedenen Punkte nicht geändert werden. Der umgekehrte Wert des Verjüngungsverhältnisses $b : B$, also $B : b$, heißt die Plastik. Da die Linsen des Stereoskops auch vergrößernd wirken, erfahren nicht nur die Verjüngung des Modells, sondern

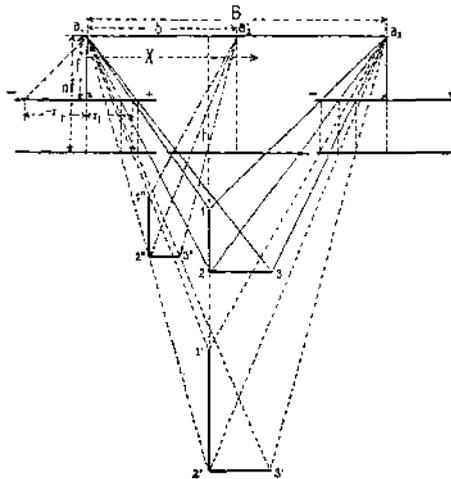


Abb. 22

Der Einfluß der Ungleichheit zwischen der Bildweite der Aufnahmekammer und der Gegenstandsweite des Stereoskops

auch die Plastik eine Vergrößerung v . Das Produkt $(b : B) v$ heißt der Maßstab des Modells und das Produkt $(B : b) v$ die totale Plastik.

Diese theoretischen Erwägungen gelten aber auch nur für den Fall, daß erstens die Bilder im Stereoskop von den Linsen dieselbe Entfernung haben, wie die Platte vom Aufnahmeobjektiv, eine Forderung, die häufig nicht erfüllt ist. Zweitens müssen die Bilder denselben Maßstab haben, d. h. es müssen ihnen gleiche Aufnahmehöhen zugrunde liegen. Ferner dürfen die Platten während der Aufnahme nicht verschieden geneigt oder verkantet gewesen sein.

Die Abb. 22 zeigt uns die Wirkung, wenn die Gegenstandsweite $n \cdot f$ im Stereoskop und die Bildweite f in der Aufnahmekammer ungleich groß sind. Die beiden Aufnahmeorte seien a_1 und a_2 , ihre wagerechte Entfernung gleich B . Falls $n > 1$ ist und eine Verjüngung der Basis B nicht stattgefunden hätte, würde der Gegenstand 1—2—3 im Verhältnis 1:1 im Stereoskop bei einer Gegenstandsweite $n \cdot f$ als Gegenstand 1'—2'—3' erblickt werden, dessen Höhe 2'—1' größer ist als die Grundlinie 2'—3'. Änderungen treten also nur in der Höhe ein, während die wagerechten Längen und ihre anliegenden rechten Winkel ungeändert verbleiben. Erleidet die Basis B noch eine Verkürzung bis auf den Augenabstand b , so verwandelt sich das Gebilde 1'—2'—3' in das ähnliche 1''—2''—3'', die Höhenverzerrung in 1''—2'' bleibt bestehen.

Wäre dagegen $n < 1$, so würde die Konstruktion eine Verkürzung der Höhe 2—1 ergeben, so daß der Gegenstand ein flacheres Aussehen erhält.

Die Änderung der vertikalen Länge 1—2 in 1'—2' kann aus den Raumkoordinaten t_1 und t_2 bzw. t'_1 und t'_2 berechnet werden. Zunächst werden

$$t_2 - t_1 = \Delta t$$

und

$$t'_2 - t'_1 = \Delta t'$$

gesetzt. Nun sind

$$t_2 = \frac{B}{x_{2l} - x_{2r}} l,$$

wobei l die linke und r die rechte Platte kennzeichnen, und

$$t_1 = \frac{B}{x_{1l} - x_{1r}} f$$

oder

$$31) \quad \Delta t = Bf \left(\frac{1}{x_{2l} - x_{2r}} - \frac{1}{x_{1l} - x_{1r}} \right).$$

Ebenso leiten sich her

$$t'_2 = \frac{B}{x_{2l} - x_{2r}} n f$$

und

$$t'_1 = \frac{B}{x_{1l} - x_{1r}} n f,$$

also

$$\Delta t' = B n f \left(\frac{1}{x_{2l} - x_{2r}} - \frac{1}{x_{1l} - x_{1r}} \right).$$

Folglich ist

$$\frac{\Delta t'}{\Delta t} = n$$

oder

$$32) \quad \Delta t' = n \Delta t.$$

Die Änderung der horizontalen Länge 2 — 3 in 2' — 3' ergibt sich durch Subtraktion der Längen $\Delta x = X_3 - X_2$ und $\Delta x' = X'_3 - X'_2$. Nun ist

$$X_3 = \frac{B}{x_{3l} - x_{3r}} x_{3l}$$

und

$$X_2 = \frac{B}{x_{2l} - x_{2r}} x_{2l}$$

oder

$$33) \quad \Delta x = B \left(\frac{x_{3l}}{x_{3l} - x_{3r}} - \frac{x_{2l}}{x_{2l} - x_{2r}} \right)$$

und

$$X'_3 = \frac{B}{x'_{3l} - x'_{3r}} x'_{3l}$$

und

$$X'_2 = \frac{B}{x'_{2l} - x'_{2r}} x'_{2l}$$

oder

$$\Delta x' = B \left(\frac{x'_{3l}}{x'_{3l} - x'_{3r}} - \frac{x'_{2l}}{x'_{2l} - x'_{2r}} \right).$$

Hieraus folgt

$$34) \quad \Delta x' = \Delta x,$$

eine Änderung in der Länge ist also nicht eingetreten. Der Beweis, daß sich die Koordinatenunterschiede $\Delta y'$ und Δy ebenfalls nicht ändern, wäre genau so zu führen wie für $\Delta x'$ und Δx . Man sieht also, daß Grundrisse nicht verzerrt werden.

Diese Feststellungen sind für die praktische Stereoskopie sehr wertvoll, weil man häufig die Erscheinung wahrnimmt, daß im Lichtmodell aufrechte Gegenstände, wie Gebäude, Schornsteine, Brücken.

Bäume, außergewöhnlich hoch und Böschungen so steil sind, daß sich auf ihnen keine Bodenteilchen halten könnten, wenn sie in Wirklichkeit so steil wären. Nicht unerwähnt soll bleiben, daß diese Verzerrung nicht allein auf das Schuldkonto der Ungleichheit zwischen Gegenstandsweite im Stereoskop und Bildweite in der Aufnahmekammer zurückzuführen ist. Ein gewisser Betrag ist auch auf die Unsicherheit der menschlichen Schätzung von Höhen zu buchen. Eine fünf Meter lange Meßplatte, aufrecht gestellt, erscheint uns länger als eine wagerecht liegende. Diese Höhenverzerrung im Stereoskop wirkt im ersten Augenblick zwar verblüffend, doch gewöhnt man sich an sie sehr schnell und empfindet sie dann für sehr wertvoll, wenn die Höhen übertrieben hoch erscheinen, weil auf diese Weise selbst

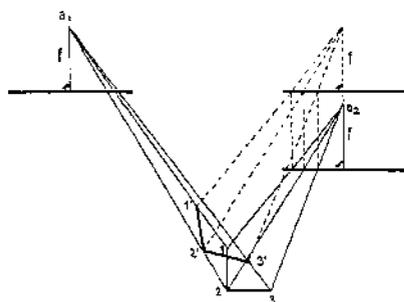


Abb. 23

Der Einfluß ungleicher Aufnahmehöhen für die stereoskopische Betrachtung

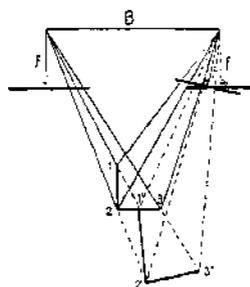


Abb. 24

Der Einfluß von Photogrammen geneigter Platten für die stereoskopische Betrachtung

kleinste Höhenunterschiede besser zur Geltung kommen. Hierdurch wird derselbe Zweck erreicht wie bei Höhenplänen, auf denen die Höhen auch in einem weit größeren Maßstab zur Darstellung kommen wie die horizontalen Längen.

Der Einfluß der Verwendung von Photogrammen aus verschiedenen Flughöhen, wie sie sich z. B. durch das Sacken des Flugzeuges ergeben, ist aus Abb. 23 zu entnehmen. Die stereoskopischen Aufnahmen des rechtwinklig gleichschenkligen Gegenstandes 1 — 2 — 3 sind einmal von dem höheren Standorte a_1 , das anderemal von dem tiefer gelegenen a_2 aufgenommen worden. Werden bei der Betrachtung beide Photogramme auf eine gemeinsame Ebene gebracht, so

erleidet das Modell des Gegenstandes Winkelverzerrungen. Sie sind um so größer, je größer der Höhenunterschied zwischen a_1 und a_2 ist.

Sind die Platten bei der Aufnahme gegeneinander geneigt gewesen, wie Abb. 24) zeigt, so erhält man durch das Stereoskop ein winkel- und seitenverzerrtes Modell. Dagegen ist eine Verkantung der Platten in ihrer eigenen Ebene nicht so störend. Sie kann dadurch unschädlich gemacht werden, indem man die Bilder solange in ihrer Ebene verdreht, bis die zu betrachtenden Objekte parallel zueinander gelegen sind.

Um einen guten Stereoeffekt zu erzielen, ist es notwendig, die Bilder so in das Stereoskop einzusetzen, daß die Basis ihrer Richtung nach mit der Verbindungslinie der beiden Okulare zusammenfällt. Die Ermittlung der Basisrichtung in jedem Bild erfolgt bei Senk-

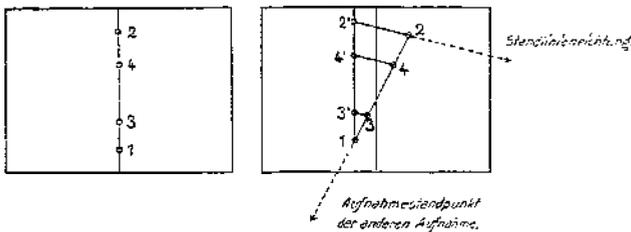


Abb. 25

Ermittlung der Basisrichtung bei Schrägaufnahmen

recht- und Schrägaufnahmen nach anderen Leitsätzen. Bei Senkrechtaufnahmen ermittelt man mit Hilfe der Meßmarken die Mittelpunkte der Bildflächen und überträgt sie in das andere Bild. Die Verbindungslinien der konstruierten und übertragenen Mittelpunkte sind die Basen und werden über die ganzen Bildflächen verlängert. Werden die Bilder jetzt nebeneinander gehalten und liegen die konstruierten Bildmittlepunkte nach außen, die übertragenen nach innen, so ist die Bildfolge die richtige. Nach dieser Feststellung und Kennzeichnung der Bilder als linkes und rechtes Bild auf ihrer Rückseite, werden ihre stereoskopisch betrachtbaren Flächen parallel und rechtwinklig zur Basisverlängerung beschnitten. Will man die Bilder auf Pappendeckel aufziehen, so wird eine Linie gezogen und die Bilder darauf so geklebt, daß die Linie auf dem Pappendeckel als Verlängerung der Basen erscheint und die linken und rechten

Ränder der Bilder je einen Abstand von 65 mm (Augenabstand) aufweisen. Bei Bildern mit großer Überdeckung darf das linke Bild nur mit dem linken Rande, das rechte Bild nur mit dem rechten Rande aufgeklebt werden, so daß für die stereoskopische Betrachtung das linke oder rechte Bild übergeklappt werden kann.

Bei Schrägaufnahmen werden nach Abb. 25 auf beiden Bildern die Mittellinien parallel zu den seitlichen Rändern gezogen. Nun sucht man auf der Mittellinie des einen Bildes im Vorder- und Hintergrund je einen Bildpunkt, überträgt sie auf das zweite Bild

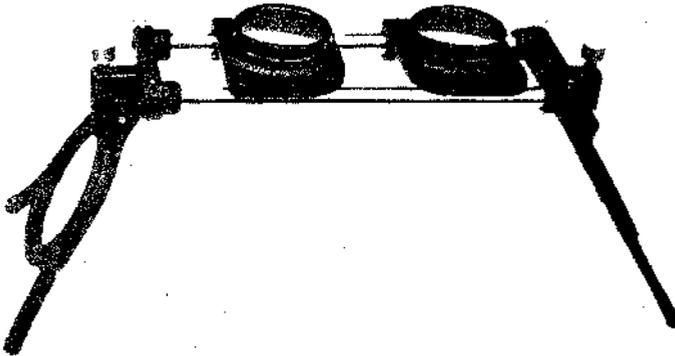


Abb. 26

Das Brückengerüst der Firma Leitz in Wetzlar

und verbindet sie durch eine Gerade. Dann können auf der Mittellinie des ersten Bildes noch zwei weitere Punkte gesucht und ebenfalls auf das zweite Bild übertragen werden. Alle vier Punkte müssen auch auf dem zweiten Bilde in einer Geraden liegen. Im Endpunkte 1 der schrägen Geraden wird eine Parallele zur Mittellinie des Bildes gezogen und auf ihr die Abstände der Punkte 2, 3 und 4 von 1 aus übertragen. Man erhält dadurch die Punkte 2', 3' und 4'. Verbindet man 2' mit 2, 4' mit 4 und 3' mit 3, so geben diese Verbindungslinien nebst ihren Verlängerungen die Basisrichtung an. Die schräge Gerade 2 — 1 dagegen weist nach dem Aufnahmestandpunkt hin. Hält man beide Bilder nebeneinander und konvergiert die schräge Ge-

rade 1 — 2 mit der Mittellinie des anderen Bildes, so ist auch die Bildfolge richtig. Die weitere Bearbeitung für die stereoskopische Betrachtung erfolgt wie bei den Senkrechtaufnahmen.

Für die stereoskopische Betrachtung kommen nur zwei Instrumente in Frage, das Brückenraumglas und das Spiegelstereoskop. Das Brückenraumglas, Abb. 26, von der Firma E. Leitz in Wetzlar trägt auf einer Brücke zwei große Linsen. Sie sind mit den Händen leicht verschiebbar, so daß den verschiedenen Augenabständen Rechnung getragen werden kann. Die seitlichen Träger der Brückenfläche können steiler und flacher gestellt und in dieser Stellung durch Anziehen der Schrauben festgehalten werden. Dadurch ist den Personen mit verschieden langer deutlicher Sehweite ebenfalls geholfen.

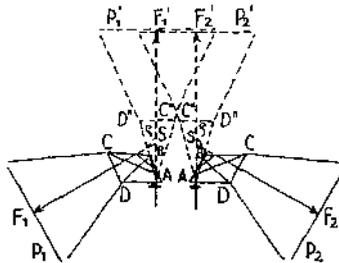


Abb. 27

Strahlengang im Zeißschen Spiegelstereoskop

Die Firma Carl Zeiß in Jena bringt das Spiegelstereoskop in den Handel. Nach Abb. 27 bedeuten $A B C D$ die Reflektionsprismen mit den spiegelnden Flächen. Die eingesetzten Papierbilder sind mit P_1 und P_2 bezeichnet und die zweimal gespiegelten und in einer Ebene zusammenfallenden virtuellen Bilder mit P'_1 und P'_2 . Die Brennweite der beiden Betrachtungslinsen ist etwas größer als die gleichen Abstände der Bilder von den Linsen. A und A' sind die Augenstellen des Beobachters. Durch den Winkelspiegel werden die Strahlen zweimal hintereinander reflektiert und um rund $\varrho = 120^\circ$ abgelenkt, so daß die seitliche Lage der Bilder in eine frontale umgewandelt wird. Nach Abb. 27 und 28 sind die Betrachtungslinsen und die Scharniere für die Bildhalter an der Metallfassung der beiden Winkelspiegel angebracht. Jeder Bildhalter ist mit einem

Schieber ausgerüstet, der sich in der Richtung des weißen Striches soweit nach außen schieben läßt, daß die auf dem Schieber eingeschnittenen Nuten die gerade Fortsetzung ebensolcher Nuten auf dem Bildhalter bilden. In dieser Stellung des Schiebers steckt man die auf Pappendeckel aufgezogenen Bilder ein und läßt den mit einer kräftigen Feder versehenen Schieber wieder los. Nicht aufgezogene Bilder legt man zweckmäßig zwischen eine Glasplatte und einen Pappendeckel.



Abb. 28
Ansicht des Spiegelstereoskops im Gebrauch

Um eine größtmögliche Übereinstimmung der Brennweite der Betrachtungslinse mit der Brennweite des Aufnahmeobjektivs zu erzielen, ist vor jedem Spiegel ein Revolverokular angebracht, das aus drei Linsen von 100, 150 und 200 mm Brennweite und einer freien Durchblicksöffnung für eine etwa einzusetzende Linse von anderer Brennweite besteht. Es ist Wert darauf zu legen, daß das Bild auf dem Bildhalter immer in der Brennweite der Linse aufgestellt wird. Die Abstände, die den drei Linsen entsprechen, sind durch Zahlen 1, 2 und 3 auf dem Schieber angegeben. Die weiße

Linie auf ihm hat den Zweck, das Bild mit seiner Vertikalmittellinie richtig zu stellen. Für einen etwaigen Ausgleich von Höhendifferenzen zwischen den Bildern muß das eine Bild etwas gesenkt, das andere etwas gehoben werden, oder aber man dreht die Revolver-scheibe über die Einschnappstelle hinaus.

Während die Photogramme im Stereoskop nur einer einzigen Person den körperlichen Eindruck der Landschaft übermitteln, be-

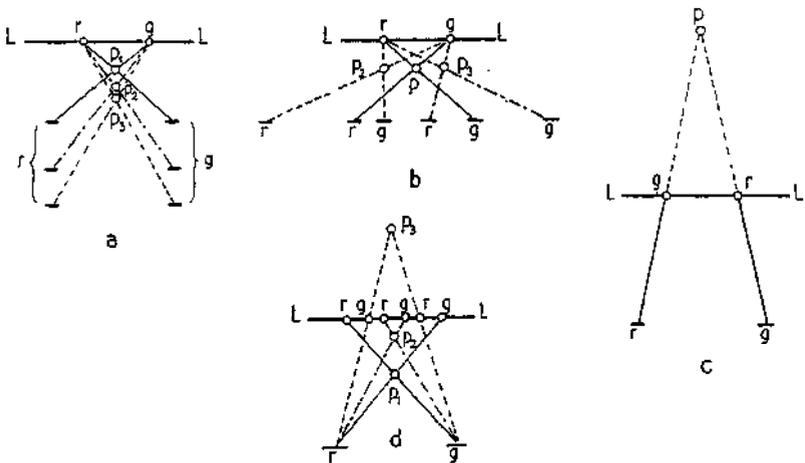


Abb. 29

Das Anaglyphenverfahren

sitzen wir im Anaglyphenverfahren¹⁾ eine Methode, die bei einer ganzen Anzahl von Zuschauern diesen körperlichen Eindruck gleichzeitig erwecken. Dieses Verfahren geht auf die deutschen Physiker Dove und Rollmann (1853) zurück und ist von dem Spanier d'Almeida (1858) weiter ausgebaut worden. Es besteht darin, daß die Projektionen der Diapositive zweier Stereoskopaufnahmen einen körperlichen Eindruck hervorrufen, wenn sie in komplementären Farben, etwa Rot und Grün, die als Ergebnis einer Filterwirkung Schwarz ergeben, gehalten sind und durch eine Brille mit Plangläsern in denselben Farben betrachtet werden.

¹⁾ Anaglyphe heißt auf Deutsch erhabene Arbeit oder mit einem anderen Fremdwort Relief, die hierzu gehörige Brille heißt Anaglyphon.

Bedeutend in der Abb. 29 die Geraden LL eine Projektionswand und sind auf ihr die mit r bezeichneten Punkte rot, die mit g bezeichneten aber grün, so werden die roten Punkte nicht gesehen, wenn sie durch rotes Glas betrachtet werden, dagegen erscheinen die grünen Punkte schwarz. Hält man aber vor die Augen ein grünes Glas, so werden die grünen Punkte nicht gesehen, wohl aber die roten, und zwar wieder schwarz. Versieht man sich mit einer Brille, deren linkes Glas rot und deren rechtes Glas grün gefärbt ist, und betrachtet dann die beiden Punkte auf der Projektionswand LL gleichzeitig, so erblickt man nach Abb. 29a im Schnittpunkte der beiden Blickrichtungen einen räumlichen Punkt P , der vor der Projektionswand gelegen ist. Entfernt sich der Beobachter in die Tiefe, so rückt auch der Punkt P in die Tiefe. Bewegt sich der Beobachter aber seitlich (Abb. 29b), so rückt auch der Punkt P seitlich nach, und zwar nach derselben Seite, wenn der Punkt P vor der Projektionswand gelegen ist, und nach der entgegengesetzten Seite, wenn sich der Punkt P hinter der Projektionswand befindet. Aus beiden Entwicklungen geht hervor, daß der Punkt P von jedem Zuschauer in einem Vortragsraum an einer anderen Stelle gesehen wird. Der Vortragende selbst kann daher keine Erklärungen an dem Landschaftsmodell mit einem Zeigerstock geben, weil die Spitze des Stockes von allen Anwesenden wohl an einer Stelle gesehen wird, der Punkt P aber an verschiedenen.

Vertauscht man die Punkte r und g miteinander (Abb. 29c) oder auch die Brillengläser, so erscheint der Punkt P hinter der Projektionswand; man erhält also einen pseudoskopischen Anblick des Punktes.

Die Veränderungen der Tiefenlage des Punktes P wird aber nicht allein durch Änderungen der Stellung des Beobachters hervorgerufen, sondern auch dadurch, daß der Abstand (die Parallaxe) der beiden Bildpunkte auf der Leinwand geändert wird. Die Abb. 29d zeigt deutlich, daß der Raumpunkt P um so näher an der Projektionswand gelegen ist, je kleiner der Abstand seiner Bildpunkte gemacht wird. Wird der Abstand gleich Null, so kommt der Punkt P auf die Wand selbst zu liegen, wird er negativ, d. h. ist g links von r gelegen, so ist der Schnittpunkt der Blicklinien hinter der Projektionswand.

Diese Ausführungen finden ihre praktische Anwendung bei der

Rekonstruktion eines Landschaftsmodells auf Grund stereoskopisch aufgenommener Bilder. Dabei ist es gleichgültig, ob Schräg- oder

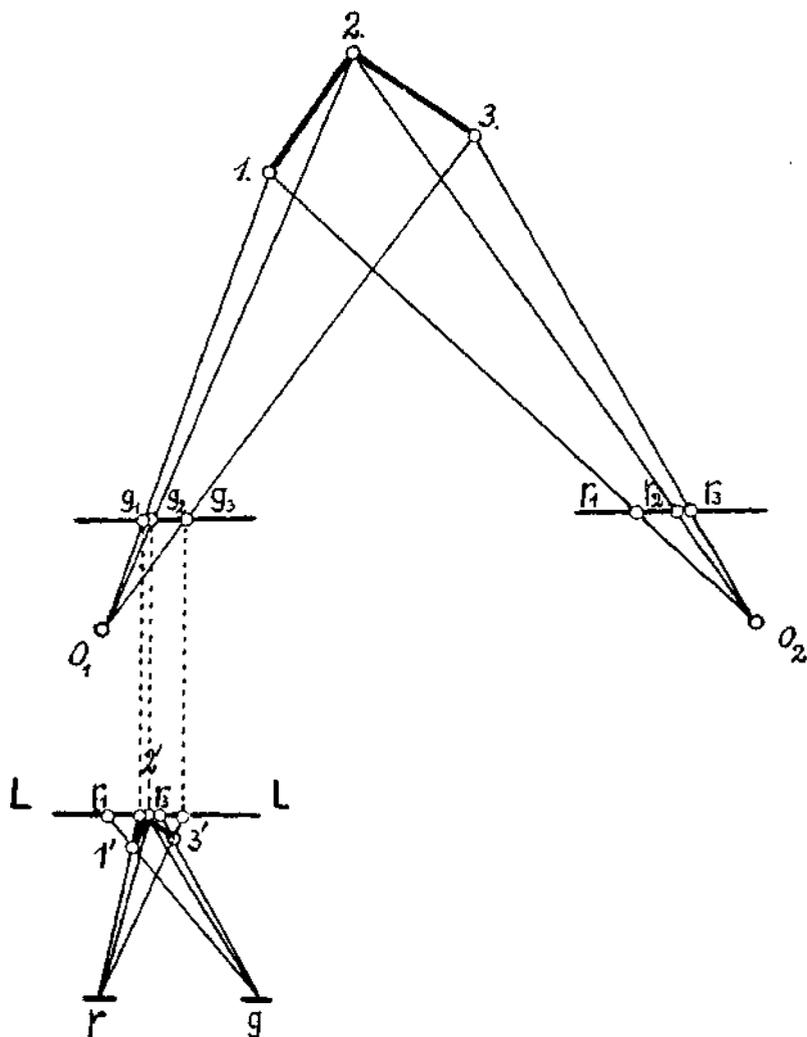


Abb. 30

Die Konstruktion des Modells nach dem Anaglyphenverfahren

Senkrechtaufnahmen vorliegen. Jedem Geländeplane kommt auf jeder der beiden Platten ein Bildpunkt zu. Werden die Platten-

formate aufeinander gelegt, so fallen die Bildpunkte der einzelnen Raumpunkte nicht zusammen, sondern weisen einen Abstand (eine Parallaxe) auf. Um diese Platten für das Anaglyphenverfahren verwendbar zu machen, müssen von den doppelt abgebildeten Geländeteilen Diapositive gefertigt werden. Im Stereoprojektor wird dann das linke Teilbild mit Hilfe einer vorgehaltenen grünen Glasplatte grün und das rechte Teilbild durch eine rote Glasplatte rot

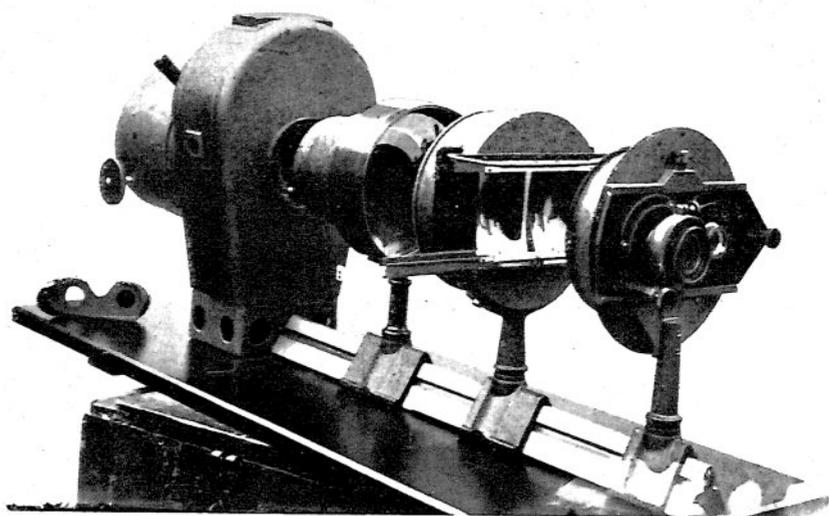


Abb. 31

Der Stereoprojektor für das Anaglyphenverfahren von der Firma Karl Zeiß in Jena

auf die weiße Wand projiziert. Durch zwei Ablenkungsprismen muß dann das rechte, rote Teilbild der Seite und Höhe nach verschoben werden, bis ein gemeinsamer Gegenstand beider Bilder zur Deckung gelangt. Sein parallaktischer Abstand wird also künstlich zu Null gemacht. Werden jetzt die beiden aufeinanderliegenden Bilder durch eine rot(links)-grüne(rechts) Brille betrachtet, so erblickt man sofort das räumliche Modell der Landschaft, und zwar nach Abb. 29d dergestalt, daß der Gegenstand, dessen Teilbilder zur Deckung verwendet worden sind, seine Lage in der Ebene der Leinwand hat, das übrige Modell sich aber vor und hinter der Lein-

wand ausdehnt. Vorteilhaft wird man also nur Bilder von Gegenständen des Hintergrundes zur Deckung bringen, damit sich das Modell in den Zimmerraum hinein erstreckt. Verwendet man dagegen die Bilder eines Gegenstandes im Vordergrunde für die Deckung, so dehnt sich das Modell hinter der Projektionswand aus, wobei die Wand selbst, sozusagen, als Fenster wirkt.

Die Abb. 30 erläutert diesen Vorgang. 1—2—3 ist irgendein Gegenstand, von dessen stereoskopischen Platten Diapositive hergestellt sind. Das linke Diapositiv ist grün, das rechte rot auf die Wand LL mit $2'$ als Deckungspunkt projiziert. Die Betrachtung dieser aufeinanderliegenden Bilder durch eine Brille, dessen linkes Glas rot und dessen rechtes grün gefärbt ist, liefert uns das verjüngte Modell $1'—2'—3'$. Es ragt ins Zimmer hinein, weil der Punkt $2'$ des Hintergrundes als Deckungspunkt gewählt worden ist. Vertauscht man das rote und grüne Augenglas miteinander, so erhält man ein pseudoskopisches Modell, indem die Punkte $1'$ und $3'$ hinter die Wand LL zu liegen kommen.

Der Stereoprojektor (Abb. 31) der Firma Karl Zeiss, Jena, besitzt am Ende seiner optischen Bank als Lichtquelle eine elektrische Kohlenlampe. Die übrigen Bestandteile sind beweglich angeordnet. Zu ihnen gehören die Kondensorlinse, der mit Wasser gefüllte Glasbehälter zur Linderung der Hitze, der Plattenhalter, dem auf dem Wege nach der Lichtquelle eine grüne (links) und rote (rechts) Glasscheibe vorgeschaltet sind, und endlich das Doppelobjektiv, dessen Linsen einen mittleren Augenabstand haben. Der rechten Objektivlinse sind zwei Ablenkungsprismen vorgeschaltet, so daß das Rotbild auf der Projektionswand seitlich und in der Höhe verschoben werden kann.

Die Verwendbarkeit des Luftbildes

Den Grundplan zum Bebauungsplan bildet immer die Katasterkarte mit nachträglich ermittelten Isohypsen. Er enthält also außer den Linien gleicher Höhe die Eigentums Grenzen und Grundrisse der Gebäude mit einer außergewöhnlichen Genauigkeit dargestellt. Die Darstellung aller übrigen Einzelheiten des Geländes, die für die Herstellung eines Bebauungsplanes notwendig sind, muß nachträglich vorgenommen werden, und hängt mangels vorhandener Vorschriften

von dem subjektiven Empfinden des Verfertigers des Planes ab und ist daher mehr oder minder großen Schwankungen unterworfen. Zudem entbehrt sie der Natürlichkeit. An ihre Stelle treten konventionelle Zeichen (Signaturen). Der Plan muß gelesen werden, d. h. seiner Benutzung liegen Erinnerungsvorgänge zugrunde. Eine absolute Genauigkeit kommt außerdem auch nur den einzelnen Punkten zu, die bei der Aufnahme gerade gewählt worden sind; ihre Verbindung ist ausschließlich eine gerade und entspricht häufig nicht der örtlichen Tatsache. Der Zustand und die Nutzung des Geländes lassen sich auf dem Katasterplan überhaupt nicht beurteilen. Aus dem einfachen Grundriß eines Gebäudes lassen sich Alter, Höhe und Architektur nicht bemessen, so daß man über die Licht- und Luftverhältnisse in enggebauten Stadtteilen vollständig im unklaren bleibt. Ebenso vermißt man auf dem Katasterplan das Erkennen des Überganges der alten Bauweise des Stadtkernes zu der neuen der Außenstadtviertel. In den eingezeichneten Grünanlagen erkennt man nicht die durch Art und Alter bedingte Verschiedenheit der Baumarten und ihre Gliederung in Gruppen. Ebenso versagt der geometrische Plan bei der Beurteilung der Verkehrsverhältnisse und bei der Frage nach der Erhaltung der Naturdenkmäler. Kurz, man kann sagen, er lebt nicht.

Die auf Grund solcher Planunterlagen hergestellten Bebauungspläne werden daher im allgemeinen Bilder verbleiben, die sich praktisch nur nach eingehenden Änderungen verwerten lassen. Die Kommunen haben die Unzulänglichkeit solcher Ergebnisse der Ideenwettbewerbe auch erkannt und vielfach schon den Umkreis der Bewerber geographisch eng begrenzt, damit sie die Unzulänglichkeit des geometrischen Planes ergänzen und die Willkür ihrer eigenen Phantasie durch öftere Besichtigung des Geländes zum Wohle der Kommunen unterdrücken können. Durch diese Einschränkung wird aber der Allgemeinheit der Städtebauer ein Unrecht zugefügt. Ihnen allen soll Gelegenheit gegeben sein, sich am Wettbewerbe beteiligen zu können. Dann ist es aber erforderlich, daß ihnen die Kommunen auch die notwendigen Unterlagen liefern, nämlich den Katasterplan und das Luftbild als Ergänzung und Berichtigung des geometrischen Planes.

Das Luftbild gibt uns zweierlei: einmal Anschauung von dem abgebildeten Gelände und dann die Möglichkeit, alles, was wir darauf

erkennen, auch planmäßig auszuwerten. Dabei ist die Anschauung so vollkommen, wie man sie wahrheitsgetreuer und übersichtlicher durch keine andere Darstellung geben kann. Sie ist auch weit vollständiger, als sie das menschliche Auge selbst vom erhöhten, irdischen Standpunkte haben kann, weil immerhin starke Bewachsung, Bebauung und auch die Oberflächenform des Geländes manche Einzelheiten verdecken. Die charakteristischen Merkmale der Gegend sind leicht zu erkennen und können nach der künstlerischen, wirtschaftlichen und technischen Seite im Bebauungsplane berücksichtigt werden. So sieht der Städtebauer z. B., wo bei Berg und Tal schöne Aus- und Durchblicke geschaffen werden können, wo Naturdenkmäler erhalten werden müssen, und wo die Geländeform betont erscheint. Die geschützten Stellen für Wohnanlagen und die für gewerbliche Anlagen geeigneten drängen sich ihm förmlich auf. Er sieht, wo Strauch- und Baumgruppen, Rasenplätze und Wiesen zu schönheitlicher Gestaltung gebracht werden können. Das vorhandene Wege- und Straßennetz mit allen notwendigen Einzelheiten aber auch mit seinen Fehlern tritt klar hervor. Die Menschenströme, die sich in gewisse Straßen ergießen, sind deutlich erkennbar. Das Bild zeigt klar, wo Entlastung notwendig ist. Gefährliche Kreuzungspunkte treten in die Augen und gebieten Abänderung. Mit ernster Deutlichkeit weist das Luftbild auf die vorhandene Baudichte hin und auf die hygienisch nicht einwandfreien Verhältnisse infolge der Ausschachtung der Baublöcke durch Seiten-, Quer- und Rückgebäude.

Um den Wert des Luftbildes im Gegensatz zum toten geometrischen Plan noch mehr zu beleuchten, könnte man unzählige Beispiele anführen, doch der Raum gebietet uns, uns auf den Hinweis zu beschränken, daß das Luftbild lebt.

Die ebene Anschauung des Einzelbildes kann in eine körperliche umgewandelt werden, sobald von dem Gelände Doppelbilder (Stereoskopbilder) vorhanden sind, deren Aufnahme von etwas geänderten Standpunkten erfolgt ist, eine Maßnahme, die praktisch sehr zu empfehlen ist. Werden solche Doppelbilder im Stereoskop betrachtet, so sieht man die ganze Gegend als räumliches Modell, durch das jeder Zweifel, der beim Einzelbilde noch vorhanden war, nun vollends beseitigt wird. Dieses Modell ist gerade für den Städtebauer von höchstem Werte. Er kann quadratkilometergroße

Gebiete im Zimmer räumlich betrachten und studieren, ohne sie zu bereisen und viel Notizen zu machen.



Abb. 32

Schrägaufnahme der Industriestadt Gelsenkirchen, geeignet für eine Stadtreklame.
Aufgenommen von der Hansa Luftbildgesellschaft, Berlin

In den Entwurfsabteilungen der Hoch- und Tiefbauämter kann das Luftbild insofern vorteilhaft verwendet werden, als die Eintragung geplanter Bauwerke in das Luftbild dem Betrachtenden eine

naturgetreue Vorstellung von ihrer Wirkung in der Umgebung vermittelt. Durch diese Maßnahme werden selbst Nichtfachleute der Baukommissionen in die Lage versetzt, objektiv zu beurteilen, ob sie der Bauausführung ihre Zustimmung erteilen können oder versagen müssen. Wird dieser vorgeschlagene Weg künftig befolgt, so werden die Klagen verstummen, daß der Entwurf als Zeichnung einen besseren Eindruck gemacht hätte als nach der Bauausführung.

Die Schrägaufnahmen einzelner Objekte sind ein gutes Mittel für die Reklame in Stadtführern und bei Ausstellungen (Abb. 32 und 33). Bei ihrer Auftragserteilung muß allerdings dem Photogrammeter ein Stadtplan ausgehändigt werden, in dem das aufzunehmende Gebiet, das Objekt und die Aufnahmerichtung durch einen Pfeil gekennzeichnet sind, damit der gewünschte architektonische Eindruck des Objektes und seiner Umgebung auf dem Bilde auch erhalten wird. Der Photogrammeter richtet dann die Aufnahmehöhe und die Neigung der Aufnahmeachse nach der Größe des vorgeschriebenen Gebietes ein. Für die Einzeichnung des Gebietes in den Stadtplan ist zu berücksichtigen, daß seine Form ein Parallelogramm ist.

Bei Grundstückskäufen und Beleihungen bilden die katasteramtliche Handzeichnung, die Auszüge aus dem Flurbuch und der Gebäudesteuerrolle, sowie die örtliche Besichtigung und die Zustandsbeschreibung durch den Schätzungsbeamten die Grundlage. Daß die katasteramtlichen Unterlagen nicht alle gewünschten Auskünfte für das Schätzungswesen geben, ist allgemein bekannt. Sie werden daher durch die Grundstücksbeschreibung ergänzt, die sich auf die örtliche Besichtigung und die dabei gemachten Notizen stützt. Vollständig befriedigt ist man aber von der heut geübten Art der Schätzung trotzdem nicht. Der Grund ist eben darin zu erblicken, daß sich die Schätzungen auf Beschreibungen aufbauen, denen subjektiv und nicht objektiv gefertigte Unterlagen zugrunde liegen. Ganz anders wird es aber, wenn sie sich auf das Flugbild stützen. Nur die Photographie gibt einen hinreichenden Aufschluß über den äußeren Zustand der Gebäude; aus ihr kann man ferner leicht entnehmen, ob das Grundstück überhaupt bebauungsfähig ist, und an welchen Stellen sich einer Bebauung größere oder kleinere Schwierigkeiten entgegenstellen. Die Frage der sozialen Lage eines Grundstückes wird auf dem Bilde durch die Umgebung und den sich ab-

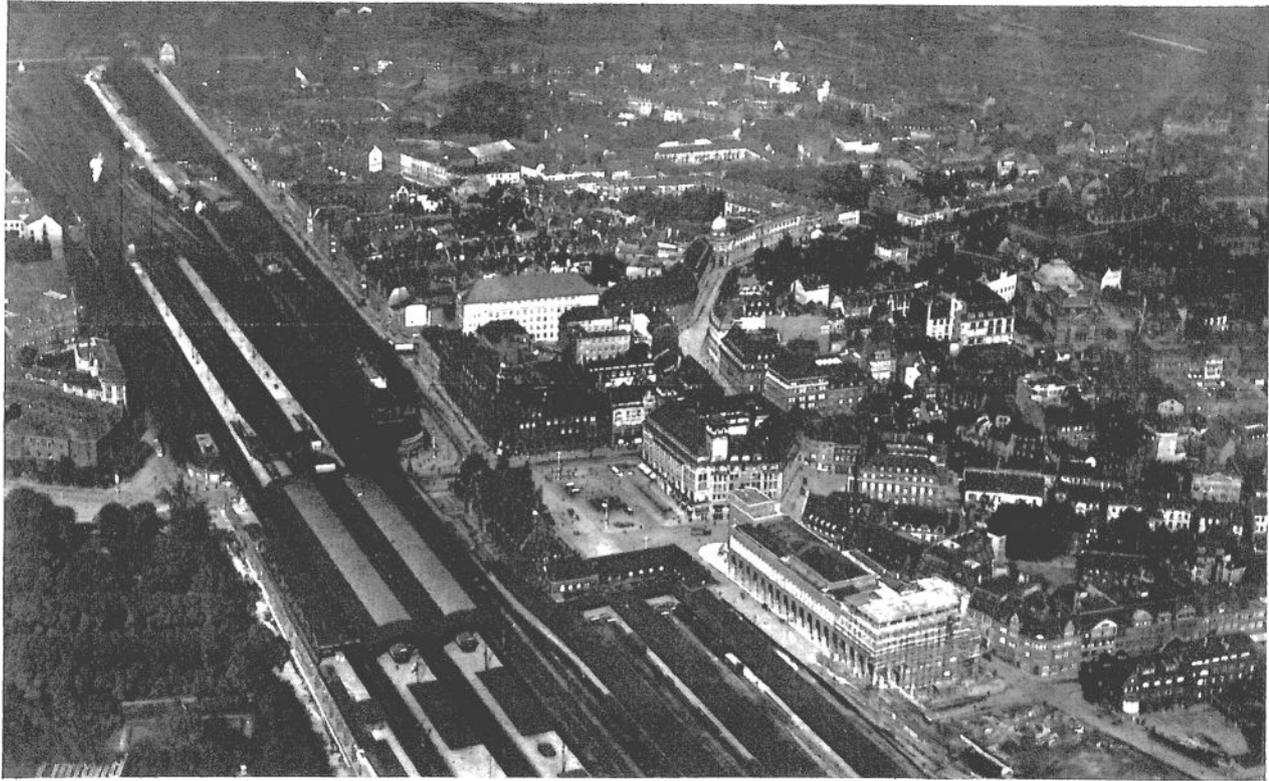


Abb. 33
Schrägaufnahme des Vorplatzes am Hauptbahnhof in Essen, geeignet für eine Stadtreklame.
Aufgenommen von Junkers Luftbild, Dessau

spielenden Verkehr einwandfrei beantwortet. Etwaige Verkehrserschwerisse treten klar zutage. Besteht das zu behandelnde Eigentum aus getrennt liegenden Teilen, so geben die immer im großen Maßstab gehaltenen Katasterkarten keinen Aufschluß über die Entfernungen und die damit zusammenhängenden Wirtschafterschwerisse. Vom Luftbild erhält man auch hierüber Aufklärung.

Schrägaufnahmen aus geringerer Flughöhe geben von Gutsanlagen mit ihren Neben- und Unterbetrieben gute Ansichten und lassen auch körperliche Unterschiede bei Gebäuden, Bäumen und dergleichen erkennen. Noch wertvoller sind für die Landwirtschaft die Senkrechtaufnahmen in einem bestimmten Maßstab, etwa 1 : 5000. Hier wird der ganze Kulturzustand und seine Ausdehnung kartennäßig zur Darstellung gebracht, so daß sich Flächeninhaltsberechnungen, Schlageinteilungen und sonstige Maßnahmen mit hinreichender Genauigkeit durchführen lassen.

Dem Aerokartographischen Institut in Breslau ist es sogar gelungen, durch Aufnahmen mit äußerst hochempfindlichen Platten feuchte Bodenstellen und den Verlauf einer Dränage, über die kein Kartenwerk vorgelegen hat, zu ermitteln. Eine Erklärung dieser Tatsache dürfte vielleicht darin zu erblicken sein, daß verschiedene Feuchtigkeitsgrade dem Boden tiefere Farbentönungen verleihen, die, wenn auch von der menschlichen Netzhaut nicht mehr empfunden, sich auf sehr empfindlichen Platten mit genügender Stärke abzeichnen. Kleiber in Freiburg i. Br. will selbst bei bewachsenem Boden nasse Lagen von trockneren auf dem Luftbilde unterscheiden können. Falls die weiteren Versuche bei verschiedenen Feuchtigkeitsgraden und Bodenarten gute Ergebnisse in dieser Richtung zeitigen sollten, so würde das Luftbild für meliorations- und sonstige kulturtechnische Arbeiten von großem Werte werden.

Die Bayerische Ministerialforstverwaltung und andere Forstverwaltungen bedienen sich seit Jahren der Senkrechtaufnahmen, weil sie ein unübertreffliches Hilfsmittel für Forsteinrichtungszwecke sind. Sie vermitteln einen Überblick über den ganzen Waldaufbau und gewähren einen Einblick in seine Einzelheiten. Sie erleichtern die Bestandsausscheidung nach Baumart und Höhe und sind eine vorzügliche Beihilfe bei der Bestandsbeschreibung. Für das statistische und statische Erfassen forstwirtschaftlicher Zahlen kann das Luftbild zur Unterstützung herangezogen werden. Erhöht wird sein

Wert durch die stereoskopische Betrachtungsmöglichkeit der sich überdeckenden Luftbilder und auch durch die selbstverständliche Messung der Baumhöhen in den Auswertegeräten.

Eine wertvolle Beleuchtung für die Verwendung des Luftbildes in der Forstwissenschaft ist der folgende Auszug aus einem Gutachten des Sächsischen Forsteinrichtungsamts über die Arbeitsleistung des Aerokartographischen Instituts in Breslau. Danach können mittels Objektiven mit einer Brennweite von 180 mm und mit Hilfe von Hauff-Florin-Platten auf einem Luftbilde, aus 1000 m Höhe aufgenommen, durch eine Lupe mit 4,5facher Vergrößerung noch „Einzelpflanzen auf einjährigen Kulturen bei einer Pflanzenanzahl von 7000—8000 Stück je Hektar deutlich erkannt und gezählt werden. Der Durchmesser einer solchen Pflanze dürfte 10—20 cm betragen. Die Bilder aus etwa 1500 m Höhe lassen die Einzelpflanzen von einjährigen Kulturen im angegebenen Pflanzenverbande nicht mehr deutlich erkennen. Dagegen können 10—12 Jahre alte Pflanzen noch gut als Einzelpflanzen erkannt und gezählt werden. Ihr Durchmesser dürfte 60—100 cm betragen. Bei einer Flughöhe von 1900 m sind die Einzelpflanzen nur noch in Beständen von etwa 25 Jahren und darüber zu erkennen. Die Aufnahmen aus 2400 m Höhe zeigen denen aus 1900 m Höhe gegenüber keine wesentliche Detailabnahme. Der Unterschied besteht außer in einer Verkleinerung des Maßstabes bei 2400 m Höhe im wesentlichen in einer Verkleinerung der Kontraste gegenüber den Bildern aus 1900 m Höhe.“

Auf dem Gebiete des Wasserbaues hat sich das Luftbild ebenfalls als gutes Hilfsmittel erwiesen. Es liefert „zuverlässige Unterlagen für die Projektierung von Flußkorrekturen, Hochwasserdämmen, Wasserkraftanlagen usw. Außerdem können die Aufnahmen verwendet werden zur Feststellung vorübergehender Zustände und deren Vergleich und zur Kenntlichmachung des Verlaufes von Katastrophenhochwässern, zur Festlegung des Überschwemmungsgebietes, zur Darstellung von Veränderungen in der Geschiebeablagerung an Flüssen, des Wechsels des Stromstriches, zur Festlegung der Wirkung von Korrektionsmaßnahmen von Wehreinbauten und Wasserableitungen. Die Luftbilddaufnahmen leisten daher wertvolle Dienste zur Flußüberwachung jeglicher Art. Auch zur Kenntnis der Gestalt des Seeufers haben sie wesentlich beigetragen“. (Bayr. Oberste Baubehörde im Ministerium des Innern.)

Auf dem Gebiete des Bergbaues fällt dem Luftbild dann eine besondere Note zu, wenn die stereoskopischen Bilder mit perspektivisch eingezeichneten Höhenschichtlinien versehen werden. Sie liefern bei Tagebaubetrieben untrügliche Urkunden über den Stand des Abbaustoßes, die Deckgebirgsmächtigkeit und die Zusammensetzung der Lagerstätten. Sie bilden eine einwandfreie Unterlage für die wirtschaftliche Beurteilung der Lagerstätte.

Im heimatkundlichen Unterricht der Schulen kann das Luftbild als Weg zum Verständnis der Karte benützt werden, da man aus ihm den Wandel eines Gegenstandes vom Aufriß zum Grundriß, von der Ansicht zur Karte leicht entnimmt. Durch die stereoskopisch betrachtbaren Doppelbilder mit perspektivisch eingezeichneten Höhenschichtlinien läßt sich der Begriff der Linie gleicher Höhe dem Schüler mühelos verständlich machen. Andererseits kann man auch Kulturgeographisches aus dem Fliegerbilde schöpfen, indem es uns den Menschen und seine Werke in der Landschaft und seinen Einfluß auf die Landschaft zeigt. Der größte Nutzen fällt aber der Morphologie eines Gebietes zu. Manche Erscheinungen, die niemals das Kartenstudium allein, sondern nur mühsame Einzelbegehungen klären können, erfahren durch Luftbilder eine überraschende Lösung. Überhaupt sind sie für alle typisch geographischen, geologischen und morphologischen Vorkommnisse direkte Charakterbilder und insofern für Anschauungszwecke von ganz unschätzbarem Werte. Der Geograph vom Fach steht daher auf dem Standpunkte, daß jede Schule eine Luftbildsammlung besitzen sollte, in der wenigstens der Heimatsort und seine nächste Umgebung vertreten sind.

Aber auch in der Schule des Alters, im Berufe, wird das Luftbild seinen Einfluß nicht verfehlen. Die natürlich-historische und technisch-künstlerische Siedlungskunde wird sich dem Auge des Beschauers mühelos entrollen. So kann man z. B. aus den Bildern des rhein.-westf. Industriegebietes entnehmen, wie die Besiedlung eine ausgesprochene westöstliche Richtung eingeschlagen hat, wie die Verwitterungsprodukte an gewissen Stellen zu Höhensiedlungen angelockt haben, und wo der Höhenabfall der Erdoberfläche auf die Gründung von Einzelhof-Siedlungen und geschlossenen Dorfsiedlungen eingewirkt hat. Die verschiedensten Städtebilder sind hier vertreten (Abb. 34 bis 36), und man wird sich bemühen zu ermitteln,

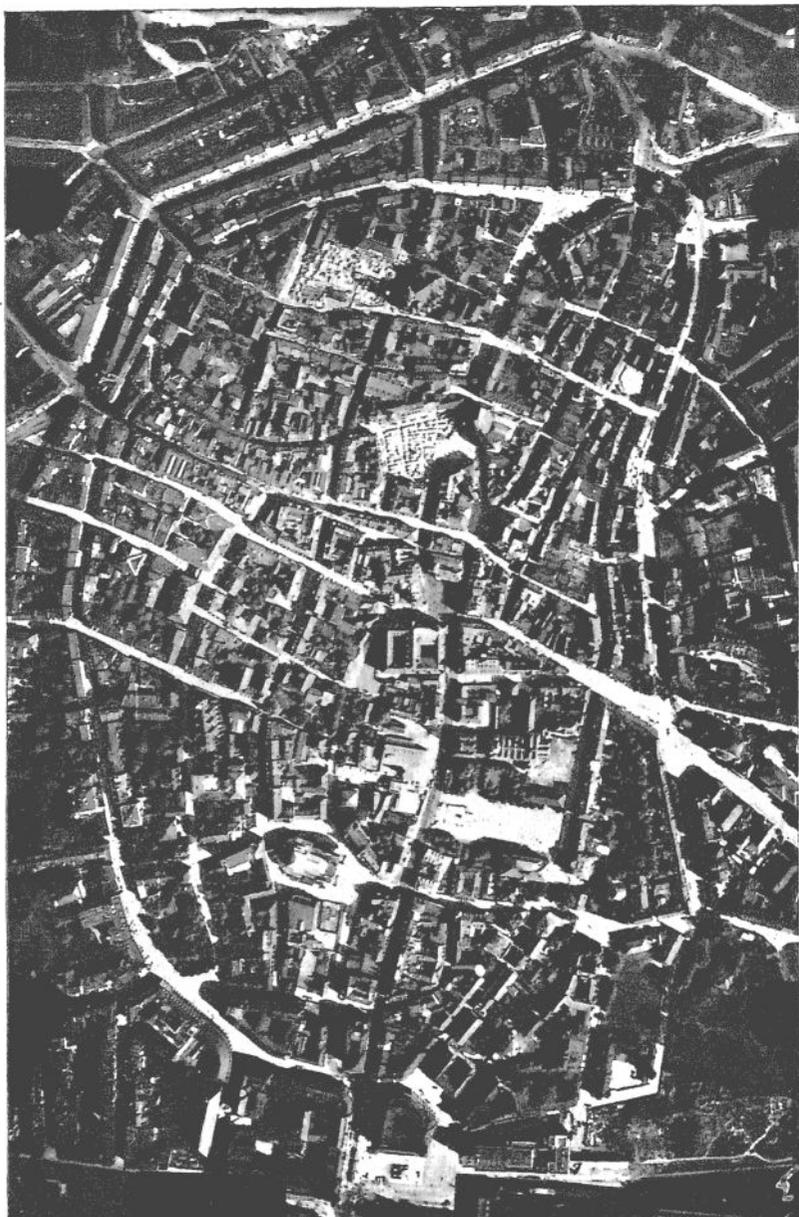


Abb. 34.

Das von Süden nach Norden gestreckte Oval des Essener Stadtkernes.
Aufgenommen von der Hansa Luftbildgesellschaft, Berlin



Abb. 35
Der mehr kreisförmige Stadtkern von Recklinghausen.
Aufgenommen von der Hansa Luftbildgesellschaft, Berlin



Abb. 36

Die Stadt Herne als typisches Beispiel der Anordnung der Stadtmitte einer Industriestadt. Aufgenommen von der Hansa Luftbildgesellschaft, Berlin

ob völkische Stammeseinflüsse, Wirtschaft und Gewerbe, Handel und Verkehr, die Industrie oder gar politische Verhältnisse den Grundriß dieses Städtebildes vorzeichneten. Die große Anzahl alter Städte und Gemeinden entlang der Ruhr und Lippe ist uns ein Zeichen, daß beide Täler siedlungsfreundlich, das Emschertal mit seinen industriellen Schnellsiedlungen aber siedlungsfeindlich waren. Gerade die Kenntnis der historisch-natürlichen Siedlungskunde eines Gebietes trägt viel dazu bei, der künstlerischen Zügellosigkeit der jetzigen Städtebauer etwas mehr System zum Wohle der Kommunen aufzuzwingen.

Andererseits führt uns das Luftbild auch schlechte Beispiele als Ergebnis der technisch-künstlerischen Siedlungskunde vor Augen. Im Industriegebiet sind es die im vorigen Jahrhundert entstandenen Schnellsiedlungen — die Großstädte entlang der Emscher. Sie erscheinen uns als abschreckendes Beispiel und Mahnung, künftig dem Städtebau mehr künstlerische Formen zu verleihen.

Im Vermessungswesen finden Schrägaufnahmen keine Verwendung, wohl aber die Senkrechtaufnahmen. Erwünscht ist es aber, diese mit recht hoch empfindlichen Platten aufzunehmen, damit auch weniger kontrastreiche Objekte, wie die für das Vermessungswesen so wichtigen Straßenbahnschienen, abgebildet werden und bei etwaigen Vergrößerungen der Bilder gut zum Vorschein kommen. Im übrigen können ausdrucksvolle Luftbilder als Anschauungsmaterial für das Kartieren von Plänen und bei der Konstruktion der Höhenschichtenlinien Verwendung finden. Das stereoskopische Modell verschafft uns den Anblick der Geländeformen, so daß der Verlauf der Kurven richtig dargestellt werden kann. Dann kann das Originalluftbild als Ergänzungsunterlage für die Berichtigung und Vervollständigung vorhandener Pläne dienen. Selbst die Herstellung ganzer Stadtpläne kann sich auf dem entzerrten Luftbildplan aufbauen. Der Stadtplan entspricht dann der Wirklichkeit und weist nicht die Fehler auf, mit denen das hundertjährige Kataster behaftet zu sein pflegt. Werden auf dem entzerrten Luftbildplan die Linien mit schwarzer Tusche nachgezogen und der Luftbildplan dann in ein Bad von Blutlaugensalz gelegt, so wird die nicht ausgezogene Bildmasse ausgelaugt, und ein weiß-schwarzer Strichplan bleibt zurück. Auf diese Weise können Übersichtspläne für die verschiedensten Zwecke hergestellt werden, wenn an deren Genauigkeit keine allzu

großen Ansprüche gestellt werden. Endlich können mit Hilfe der stereoskopisch aufgenommenen Senkrechtbilder durch die besonderen Auswertegeräte maßstabhaltige Pläne mit Höhenschichtlinien vom Maßstab 1 : 5000 und abwärts angefertigt werden. Diese Pläne können zweckmäßig Verwendung finden als Übersichtspläne für Stadterweiterungen und Baulandumlegungen, als Siedlungskarten, als Grundpläne für die Linienführung beim Straßen-, Bahn- und Kanalbau sowie für Wirtschaftskarten aller Art.

Im Kataster wird das Luftbild eine wertvolle Ergänzung der Schätzungsunterlagen sein, und der entzerrte Luftbildplan bietet eine hinreichende Genauigkeit für die Übernahme der Grenzen der verschiedenen Kulturarten. Dagegen kann die Luftbildmessung nicht als ein Ersatz der geometrischen Messung für das Eigentumskataster angesprochen werden. Dafür ist die Genauigkeit viel zu gering. Auch wenn die einzelnen Grenzpunkte signalisiert würden, würde die Genauigkeit der alten Methode nicht erreicht werden; dann aber ist das Signalisieren der Grenzpunkte einer Gemeinde mit zersplittertem Grundbesitz theoretisch wohl möglich aber praktisch undurchführbar. Für eine Luftbildmessung in dieser Richtung ist die Grenzwiederherstellung ebenso notwendig wie für eine Neumessung. Dann käme die Signalisierung der Grenzsteine durch Fluchtstäbe hinzu, deren Beschaffungsmöglichkeit wegen der großen Anzahl bezweifelt wird. Eine andere Art der Kenntlichmachung der Grenzsteine besteht in ihrem Ankalken. Sie ist aber unbrauchbar, weil sich die Grenzsteine bei einem Bildmaßstabe von 1 : 5000 in so kleinen weißen Punkten abbilden würden, daß sie als Grenzpunkte nicht mit der notwendigen Sicherheit erkannt würden. Die Wahl eines größeren Bildmaßstabes kommt auch nicht in Frage, weil sich dann nicht nur der Plattenverbrauch, sondern vor allen Dingen die Auswertungszeit wegen der zu häufigen Orientierung der Plattenpaare in den Auswertungsgeräten wesentlich erhöhen. Das Belegen der Grenzsteine mit rund geschnittenem Papier von einem Meter Durchmesser ist auch unzulässig, weil das Papier trotz Belegens mit kleineren Steinen vom Winde zerrissen wird. Im rheinisch-westfälischen Industriebezirk ist ein Versuch in dieser Richtung durchgeführt worden. Entlang der Enischer wurde auf einer Länge von einem Kilometer der Rasen um die Grenzsteine im Durchmesser von einem Meter abgestochen und die Grenzsteine und der Erdboden

mit Kalk angetüncht. Nach der Fliegeraufnahme war aber die Lage der Steine auf den Bildern nicht zu erkennen. Nach den vorbereitenden Arbeiten konnte nämlich der Flug wegen ungünstiger Luftverhältnisse nicht sofort durchgeführt werden, dann aber setzte Regen ein, der den Kalk recht unkenntlich gemacht hat. Die Flughöhe war zur Erzielung eines größeren Bildmaßstabes (1 : 2800 m) auf 500 m festgesetzt. Die zuverlässigste Art der Kenntlichmachung der Grenzsteine besteht darin, daß um sie der Boden ausgekoffert und durch weißen Sand ersetzt wird. Dieses Verfahren ist aber recht kostspielig.

Die Flugaufnahme des Geländes geht dann allerdings weit schneller vor sich als die Aufmessung der Grenzen. Sie erfordert bei günstigen Luftverhältnissen nur eine nach Stunden zu bemessende Zeit. Nach der Entwicklung der Platten und Herstellung der Bildabzüge erfolgt die terrestrische drei-kordinatenmäßige Bestimmung der Festpunkte. Für jedes stereoskopische Plattenpaar sind mindestens drei Festpunkte notwendig, deren günstigste Lage für die Auswertung sich aus dem abgebildeten Geländeteil ergibt. Im Maßstab der künftigen Werte (1 : 5000) erfolgt daraufhin die Kartierung der Festpunkte, die als Grundlage für die Plattenorientierung dient. Jeder kartierte Festpunkt muß noch mit skizzenhafter Situation umgeben werden, damit seine Lage auf dem Bilde schneller aufgefunden wird. Dann kann die Auswertung der Luftaufnahme vonstatten gehen, deren Ergebnis Pläne in einem kleinem Maßstab sind. Ihr Genauigkeitsgrad bleibt zurück gegenüber dem auf Plänen, die nach der bisherigen Methode hergestellt worden sind. Endlich fehlen dann noch die Messungszahlen, die für Grenzherstellungen unbedingt notwendig sind.

Die Benutzung der Photogrammetrie für das Eigentumskataster ist der gegebene Notbehelf in Gebirgslagen und unwegsamem Gebieten, deren Grundbesitz nicht zu sehr zersplittert ist, deren Bodenwert ein geringer und deren Aufmessung nach der alten aber bewährten Methode unmöglich sind. Die Luftphotogrammetrie besitzt höchstens den Genauigkeitswert der Tachymetrie.

Der photogrammetrische Aufnahmediendienst wird vom Aerokartographischen Institut A.G., Breslau 13, Göthestr. 58, versehen, dann von der Hansa Luftbild G. m. b. H., Berlin SW 29, Flughafen, von der Junkers Flugzeugwerk A.G., Abteilung Luftbildzentrale, Dessau,

Blumenthalstr. 11, von der Photogrammetrie G. m. b. H., München, Sendlingertorplatz 1, von der Photogeodätik, G. m. b. H., Berlin W9, Potsdamer Str. 126, und von der Südwestdeutschen Luftverkehrs A.G., Abteilung Luftbild, Frankfurt a. M., Flugplatz Rebstock.

Jeder Anfrage über die Kosten einer Aufnahme ist ein Stadtplan (1 : 20 000) oder ein Meßtischblatt beizufügen, in dem das aufzunehmende Gebiet besonders hervorgehoben ist. Die Größe des Gebietes muß ebenfalls angegeben werden, und zwar in Quadratkilometern. In dem Begleitschreiben ist die gewünschte Arbeitsleistung näher zu bezeichnen. Insbesondere ist der Maßstab des Luftbildplanes und der Originalluftbilder hervorzuheben. Ferner muß angegeben werden, ob die Aufnahmen nur mit Anschlußüberdeckung oder stereoskopisch betrachtbar auszuführen sind. Es empfiehlt sich auch darauf hinzuwirken, daß die Platten in das Eigentum des Auftraggebers übergehen. Die Preise unterliegen Schwankungen. Jede weitere Bild- und Luftbildplan-Ausfertigung unterliegt einer gesonderten Preisfestsetzung. Bei den einzelnen Luftbildern ist der Hochglanzabzug zu empfehlen, dagegen bei den Luftbildplänen der Mattabzug, weil seine Genauigkeit eine größere ist, dann aber auch, weil sich auf ihm Kolorite und Schriften zur Vervollständigung des Planes und sonstige Eintragungen bewirken lassen. Außerdem ist es ratsam, sich einen Plan als Hochglanzabzug beizulegen, der bei Vorfürhungen und als Reklame verwendet werden kann. Die Genauigkeit auf ihm ist geringer. Ein Preisunterschied besteht nicht. Die Beschaffung der Entzerrungsunterlagen ist Sache des Auftraggebers, sonst erhöhen sich die Preise. Werden bei größeren Arbeiten (von 100 qkm an) für den Anflug vom nächsten Flughafen zur Arbeitsstelle und für den Rückflug nach vollendeter Aufnahme besondere Kosten in Ansatz gebracht, so sind sie grundsätzlich abzulehnen. Die Kostenzahlung erfolgt nach Ablieferung der Arbeit. Bei ganz großen Arbeiten empfiehlt es sich, die Bedingungen zu paragraphieren. Insbesondere muß dann die Zahlweise festgelegt werden, wobei die Dritteilung zu empfehlen ist, d. h. die erste Rate ist nach erfolgter Aufnahme, die zweite einige Zeit später und die letzte Rate nach der Abnahme der Arbeit zu zahlen. Dieser Abnahme muß eine Prüfung der gelieferten Arbeit vorangehen, die sich auf die vereinbarte Überdeckung, die Bildgüte der Abzüge und des Luftbildplanes sowie auf die festgesetzte Genauigkeit erstrecken muß.

Für die Auswertung der stereoskopisch aufgenommenen Bilder zu Plänen in Strichart und mit Höhenschichtenlinien gelten besondere Preise. Die Einheitsfläche für die Preisfestsetzung ist auch hier das Quadratkilometer.

Der Luftbildplan

Die durch Senkrechtaufnahmen gewonnenen Bilder lassen sich nicht ohne weiteres zu einem größeren Plan vereinigen. Die dauernd schwankenden Flughöhen rufen plattenweise verschiedene Maßstäbe hervor und die seitlichen Windstöße bringen die Aufnahmeachse bis zu 6° aus ihrer Lotrichtung und verkanten die Platten. Man wird also niemals ausgesprochene Senkrechtaufnahmen erhalten, sondern Schrägaufnahmen, bei denen der Maßstab vom

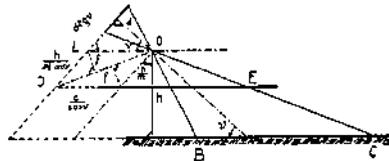


Abb. 37

Beziehungen zwischen Platte, Kartenebene und Gelände

Vorder- zum Hintergrunde dauernd abnimmt. Für die Herstellung des Luftbildplanes ist es daher notwendig, aus den durch die Aufnahme unmittelbar gewonnenen Bilder andere herzustellen, bei denen die Einflüsse der wechselnden Aufnahmehöhen, der Neigung der Aufnahmeachse und der Verkantung beseitigt sind. Außerdem geht man noch einen Schritt weiter und bringt alle Bilder auf einen gemeinsamen, runden Kartenmaßstab $1 : m$. Der Vorgang, durch den diese Einflüsse behoben und der bestimmte Kartenmaßstab unter Wahrung des perspektivischen Charakters herbeigeführt werden, heißt das Entzerren des Luftbildes.

Die Abb. 37 zeigt eine Schrägaufnahme des absolut ebenen Geländes BC im Vertikalschnitt, wobei α der Neigungswinkel der Aufnahmeachse gegen das Gelände, d die Brennweite des Objektivs O und h die Aufnahmehöhe bedeuten. Von diesem Gelände könnte man am einfachsten einen Bildplan im Maßstabe $1 : m$ erhalten, wenn man der Projektionskammer im Zimmer dieselbe Neigung α wie bei

der Aufnahme erteilen und den Projektionstisch JE , die Kartenebene, horizontal in der Entfernung $\frac{h}{m}$ vom Objektiv O festhalten würde.

Allerdings wäre es notwendig, nicht ein Objektiv mit der Brennweite d , sondern ein anderes mit der Brennweite f zu verwenden. Um bei der Herstellung des vergrößerten Bildes eine einheitliche Bildschärfe zu erhalten, ist es aus optischen Gründen erforderlich, daß die Hauptebene des Objektivs durch die Schnittgerade J der Verlängerungen von Bild- und Kartenebene hindurchgeht. Da sich der unendlich ferne Kartenpunkt in der Bildebene auf der Fluchtlinie durch L abbildet, so ist die Senkrechte f von L auf die Objektivhauptebene OJ die unbedingt erforderliche Brennweite des Projektionsobjektivs. Bei jedem anderen Maßstabe muß der Kartentisch eine andere Höhenlage erhalten. Die Schnittgerade der Bild- und Kartenebene wandert infolgedessen auf der Bildebene, und insofern müssen die Objektivhauptebene dauernd eine Verswenkung und die Brennweite eine andere Länge erhalten. Mit anderen Worten heißt das: Wenn beim Entzerrungsvorgang ein bestimmter Kartenmaßstab $1 : m$ eingehalten werden soll und der Projektionskammer dieselbe räumliche Lage wie bei der Aufnahme erteilt wird, so sind Objektive mit verschiedenen Brennweiten erforderlich. So ist allgemein

$$JO = \frac{1}{\cos \nu} \sqrt{\left(\frac{h}{m}\right)^2 + d^2} + 2 \frac{h}{m} d \sin \nu$$

$$f = \frac{h}{m} \frac{d}{\sqrt{\left(\frac{h}{m}\right)^2 + d^2} + \frac{h}{m} 2 d \sin \nu},$$

und man sieht, daß f ausschließlich eine Funktion des Maßstabs $\frac{1}{m}$ ist.

Da es praktisch aber unmöglich ist, für jeden Maßstab das entsprechende Objektiv bereitzuhalten, so muß der Entzerrungsvorgang mit einem einzigen Objektiv gelöst werden unter Innehaltung des gewünschten Maßstabes, des Charakters der Zentralperspektive und der Bildschärfe auf der ganzen Kartenfläche. Wenn sich aber Bild- und Kartengeraden in Punkten auf der Schnittgeraden von Bild- und Kartenebene schneiden, so schneiden sich nach einem Satze aus der

projektiven Geometrie von Desargues die Verbindungslinien identischer Bild- und Kartenpunkte in einem einzigen Punkte, der das Zentrum der Perspektive genannt wird. Wenn man daher entweder die Bild- oder Kartenebene um ihre Schnittgerade durch S als Achse dreht, so wird der Charakter der Perspektive auf der Karte gewahrt. Die Abb. 38 ist so gezeichnet, daß die Kartenebene von H'_1 nach H''_1 um die Achse durch S gedreht erscheint. Dabei sind die Kartenpunkte p'_1 und p'_2 nach p''_1 und p''_2 und das perspektivische Zentrum O_1 nach O_2 gewandert. Es gibt also unendlich viele Lagen für

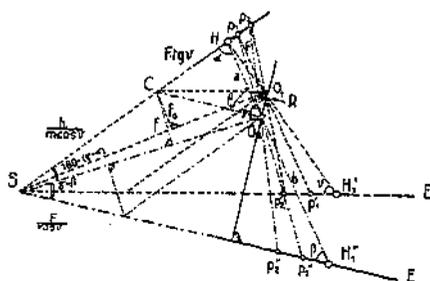


Abb. 38
Theorie des Entzerrungsgerätes

die Kartenebene, bei der der Perspektivität kein Abbruch getan wird. Die Anzahl der Lagen wird aber sofort auf eine einzige beschränkt, wenn die Forderung beachtet wird, daß die Hauptebene des Objektivs von der Fluchtlinie C der Bildebene um die Brennweite f entfernt zu liegen kommt. Dabei hat sich O_1 auf einem Kreise um C nach O_2 bewegt. Es ist nämlich nach Voraussetzung $O_1C \parallel SE$ und $O_2C \parallel SE'$, daher

$$O_1C = \frac{SH'_1 \cdot CH}{SH}$$

und

$$O_2C = \frac{SH''_1 \cdot CH}{SH};$$

da $SH'_1 = SH''_1$ ist, so ist auch $O_1C = O_2C$.

Außerdem ist

$$\frac{O_1H'_1}{O_1H} = \frac{b}{a} = n = \frac{SC}{CH} = \frac{H''_1O_2}{O_2H}.$$

In dem Maßstabsverhältnis der Karte tritt also nach der Drehung keine Änderung ein.

Um der Forderung zu genügen, daß die Drehung der Kartenebene nur soweit erfolgt, daß die Senkrechte von C auf die Objektivhauptebene gleich f wird, müssen nach Abb. 38 die fünf Größen α , β , γ , b und a durch F , f , m , h und ν ausgedrückt und am Entzerrungsgerät eingestellt werden.

Es ist

$$35) \quad \sin(\alpha + \gamma) = \frac{f m \cos \nu}{h}.$$

$$36) \quad \sin(\gamma - \beta) = \frac{f \cos \nu}{F}.$$

Durch Subtraktion der numerischen Werte für $\alpha + \gamma$ und $\gamma - \beta$ erhält man den Wert für $\alpha + \beta$.

Außerdem ist

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{F}{F \cos \nu \cdot \operatorname{tg} \nu}$$

oder

$$37) \quad \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \sin \nu.$$

Wird diese Gleichung einmal zu 1 addiert, ein andermal von 1 subtrahiert, so erhält man nach Division dieser neuen Gleichungen

$$\frac{\sin \alpha + \sin \beta}{\sin \alpha - \sin \beta} = \frac{1 + \sin \nu}{1 - \sin \nu} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2}}$$

und hieraus

$$38) \quad \operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2} = \operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \frac{1 + \sin \nu}{1 - \sin \nu}.$$

In Verbindung mit den Gleichungen 35 und 36 erhält man die Werte für α , β und γ .

Die Länge für a ergibt sich aus

$$39) \quad a = \frac{F \sin(\alpha + \beta) \sin \nu}{\cos \nu \sin \beta} = \frac{F \operatorname{tg} \nu \sin(\alpha + \beta)}{\sin \beta}$$

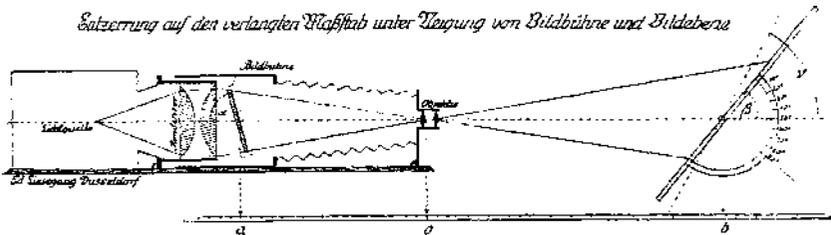
und die für b aus

$$40) \quad b = \frac{h \sin(\alpha + \beta)}{m \cos \nu \sin \beta}.$$

Die Einstellungs-elemente sind also Funktionen von drei genau bekannten und von zwei in roher Annäherung bekannten Größen. Fehlerlos sind die Brennweite F des Aufnahmeobjektivs, die Brennweite f der Entzerrungslinse und der Maßstab $1 : m$ der neuen Bildkarte. Angenähert bekannt sind dagegen die Flughöhe h und der Neigungswinkel ν . Es ist daher nicht möglich, den neuen Bildplan im Maßstabe $1 : m$ auf den ersten Anhieb zu erhalten. Durch mehrere Versuche müssen erst die Einwirkungen der falschen Höhe und Neigung unschädlich gemacht werden. Deshalb werden die Einstellungen am Entzerrungsgerät zunächst nach den berechneten Größen vorgenommen. Dann wird auf den Projektionstisch ein Plan des Geländes im gewünschten Maßstabe gelegt und die Platte solange verkantet, der Projektionstisch solange geneigt und die Abstände der Projektionslinse und der Platte vom Projektionstisch geändert, bis die Bildstrahlen durch entsprechende Kartenpunkte gehen und die neuen Bildpunkte scharf erscheinen. Diese Versuche erfordern nicht allzuviel Zeit, da es leicht ist, aus den Widersprüchen in der Lage zwischen projizierten Lichtpunkten und ihren festliegenden Planpunkten auf die Größe und den Sinn der Änderungen in der Lage der Instrumententeile zu schließen.

Ist ein einwandfreies Kartenmaterial als Unterlage für die Entzerrung nicht vorhanden, so müssen für jede Platte 3—4 Punkte trigonometrisch bestimmt und im Maßstabe $1 : m$ des neuen Bildes kartiert werden. Diese Punkte dürfen aber nicht in einer Linie gelegen sein, sondern müssen geometrisch eine Fläche mit guten Seitenschnitten umschließen und im übrigen so zueinander liegen, daß ihre Bilder an den Rändern der Aufnahmeplatte erscheinen. Dadurch ist es möglich, die Entzerrung der Bildmasse von außen nach innen und nicht umgekehrt vorzunehmen. Daraus ergibt sich aber weiter die Notwendigkeit, die Auswahl der trigonometrischen Punkte erst nach der photographischen Aufnahme zu treffen und meßtechnisch zu bestimmen. Als sogenannte Paßpunkte kommen nur Bodenpunkte in möglichst gleicher Höhenlage in Frage. Unter diesen wieder eignen sich vorzugsweise Kreuzungspunkte recht-

winklig sich schneidender Straßen und Wege, sowie scharf faßbare Schnittpunkte von Parzellengrenzen und die Eckpunkte der Grundrisse von Gebäuden. Für die trigonometrische Bestimmung dieser Punkte genügt eine Winkelmessung in einem Satze. Besteht für ein Gebiet eine Neumessung, so können die Koordinaten für die Einpassungspunkte diesen Plänen graphisch entnommen werden. Untunlich wäre es aber, die Neumessungspläne photographisch zu verkleinern, diese Verkleinerungen aneinanderzusetzen und durch Photographieren einen größeren Plan für die Entzerrung zu schaffen. Dadurch würde man wohl mehr als 3—4 Paßpunkte erhalten, aber die Genauigkeit in der Lage der Punkte würde durch das Aneinandersetzen so vieler Teilstücke manches zu wünschen übrig lassen.



Schematische Darstellung der Einstellungen am Entzerrungsgerät von Jaeger-Liesegang, Düsseldorf

Die schematische aber lehrreiche Darstellung (Abb. 39) des Jaeger-Liesegangschen Entzerrungsgerätes zeigt zunächst, daß die Strahlen der Lichtquelle die Kondensatorlinse durchdringen, die Platte beleuchten, das Objektiv durchdringen und auf den Tisch projiziert werden. Außerdem erkennt man, wie die Bildfläche um den Winkel α gegen die Verbindungsgerade des Plattenhauptpunktes mit der Mitte der Projektionslinse und das Projektionsbrett gegen die Verlängerung dieser Geraden um den Winkel β geneigt sind. Dagegen besitzt die Hauptebene des Objektivs gegen diese Gerade den Neigungswinkel $\gamma = 90^\circ$, sie ist also nicht drehbar. Die Einstellungswerte für α und β ergeben sich dann aus den Gleichungen 35) und 36), indem man in ihnen $\gamma = 90^\circ$ setzt, zu

$$41) \left\{ \begin{array}{l} \cos \alpha = \frac{f m \cos r}{h} \\ \cos \beta = \frac{f \cos \nu}{F} \end{array} \right.$$

Die Abb. 40 zeigt das Entzerrungsgerät in der Ansicht.

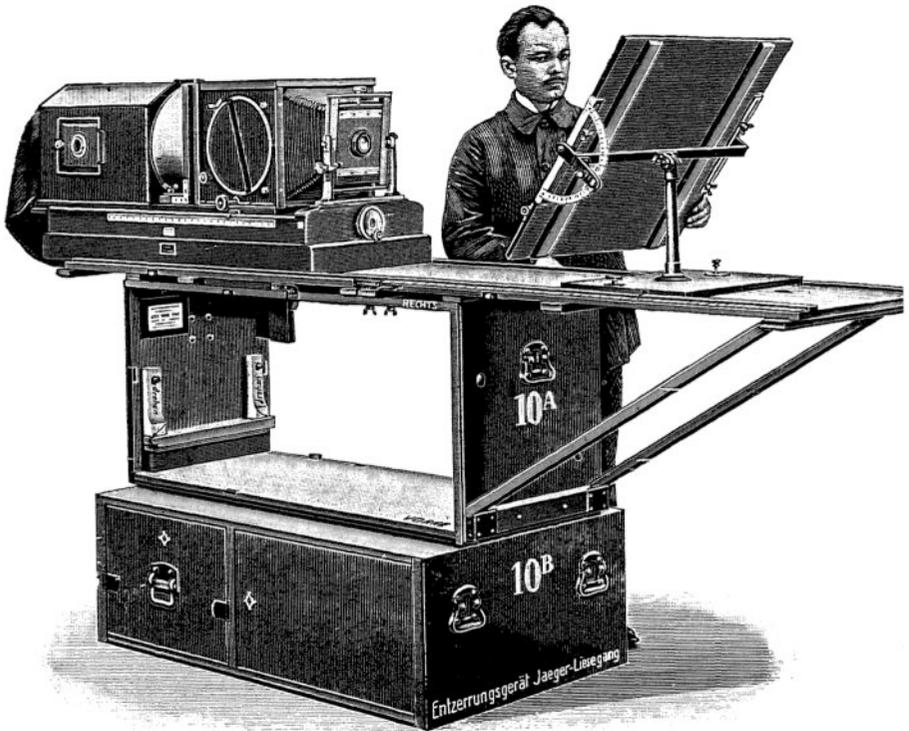


Abb. 40

Ansicht des Entzerrungsgerätes von Jäger-Liesegang in Düsseldorf

Während aber dieses Instrument eine horizontale Projektionsrichtung hat, haben die Firmen Karl Zeiss in Jena und die Photogrammetrie-Gesellschaft in München Entzerrungsgeräte mit vertikaler Projektionsrichtung in den Handel gebracht. Außerdem kann bei ihnen die Berechnung der Einstellungselemente entfallen, da die Berechnung der Einstellungselemente entfallen, da die Ein-

stellung der Instrumententeile versuchsweise mittels Handräder erfolgt. Von diesen beiden Modellen sei der Kürze halber nur das der Photogrammetrie-Gesellschaft beschrieben. Seine Theorie geht aus der Abb. 38 hervor. Die physische Tangente in O_2 steht mit dem Projektionstisch durch eine konstante Hebellänge und mit der Plattenebene durch eine veränderliche und deshalb zu berech-

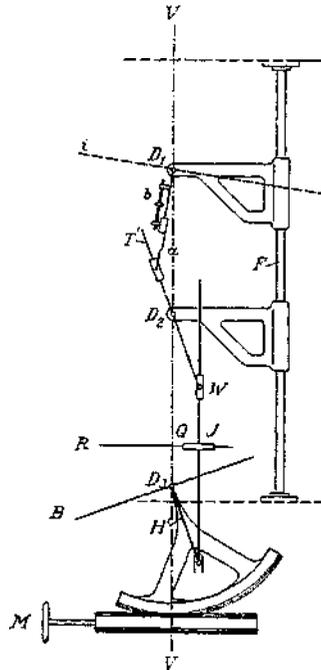


Abb. 41
Konstruktive Durchführung
der Perspektiveinstellung

nende Hebellänge $F + \sigma$ in Verbindung. Durch Einstellung von $F + \sigma$ erhält die Tangente eine Winkeldrehung um O_2 und bewirkt dadurch eine Neigung des Projektionstisches, so daß der Winkelbetrag an der Schnittlinie der Bild- und Zeichenebene den Betrag erhält, der notwendig ist, um für die konstante Brennweite f der Projektionslinse die Perspektivität zu wahren. Die einzustellende Größe ergibt sich aus Dreieck O_2HR zu

$$12) \quad F + \sigma = a \frac{\cos \beta}{\sin (\alpha + \beta)}$$

Sie kann in geeigneter Form graphisch dargestellt werden, so daß tatsächlich jede Rechnung für den Entzerrungsvorgang entfällt. Abb. 41 zeigt die konstruktive Durchführung der Perspektiv-einstellung. Der Wert für $F + \sigma$ wird an der Stellvorrichtung b eingestellt, so daß der Hebelarm a , der im Plattenhauptpunkte D_1 auf der Bildebene i rechtwinklig steht, die berechnete Länge erreicht. Mittels eines Gleitstückes gleitet er auf der Tangente TW . Diese sitzt drehbar auf der Objektivachse D_2 und gleitet bei W mit einem

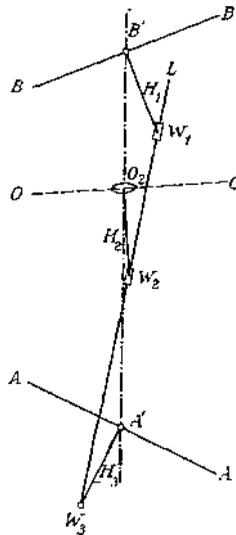


Abb. 42
Konstruktive Durchführung
der Scharfeinstellung

Gleitstück auf dem Lineal J . In seinem Endpunkte steht das Lineal mit dem Hebelarm H' in Verbindung, der rechtwinklig mit der Drehungsachse D_2 des Tisches B fest verbunden ist. Außerdem ist das Lineal J mit dem Gleitstück Q fest verbunden, das auf dem horizontal gelegerten Lineal R verschiebbar ist. Die Länge D_2W ist gleich der Länge des Hebelarmes H' . Erhält der Tisch B durch das Handrad M eine Neigung, so verschiebt der Hebelarm H' das Lineal parallel der Lotrichtung VV , wodurch das Tangentenlineal eine Drehung um D_2 ausführt und durch den Hebelarm a der Bildebene i die notwendige Neigung gegen die Tischebene B erteilt. Da sich D_2W immer pa-

parallel H' einstellt und H' senkrecht auf B steht, so ist auch $T'W'$ immer senkrecht zur Tischebene B . Die Gerade $T'W'$ ist also die in Abb. 38 erörterte Tangente.

Außerdem ist auf der Abb. 41 zu erkennen, wie die Drehungsachsen D_2 und D_1 des Objektivs und der Bildebene in Konsolen gelagert sind, die an der Stange F für die Maßstabeinstellung verschoben werden können. Die Größe des projizierten Bildes ändert sich mit der Änderung der Bildweite zwischen Objektiv und Auffangtisch. Infolgedessen muß auch die Gegenstandsweite zwischen Platte und Linse um einen entsprechenden Betrag geändert werden.

Wenn nun die Bildweite mittels eines Handrades zum Zwecke der Vergrößerung geändert wird, betätigt eine mechanisierte Vorrichtung (Inversor¹⁾) die Änderung der Gegenstandsweite um dg automatisch.

Das Entzerrungsgerät besitzt noch eine dritte mechanische Vorrichtung für die Neigung der Linsenhauptebene nach der Schnittlinie der Bildebene mit der Kartenebene. Ihr Mechanismus geht aus Abb. 42 hervor. Bildebene BB , Hauptebene OO der Linse und Kartenebene AA besitzen in ihren Drehachsen durch B' , O_2 und A' rechtwinklig angeordnete und gleichlange Hebelarme H_1 , H_2 , H_3 . Die Endpunkte von H_1 und H_2 können mit Gleitstücken W_1 und W_2 auf dem Lineal L gleiten, das in dem Endpunkte W_3 des Hebels H_3 drehbar ist. Wenn die Bildebene und Kartenebene durch das Handrad M (Abb. 41) die notwendige Lage erhalten haben, haben die Hebelarme H_1 und H_3 das Steuerlineal L in eine bestimmte Lage gebracht. Dadurch hat aber die Ebene OO durch den Hebel H_2 eine Kippung um O_2 nach der Schnittlinie der Bild- und Kartenebene erhalten.

Die Abb. 43 zeigt eine Ansicht des Entzerrungsgerätes. N ist das Handrad für die Herstellung der Verkantung der Platte in beliebigen Beträgen. O ist die Vorrichtung für die Einstellung der Größe $F + \sigma$. Das Handrad M betätigt die Perspektivität und gleichzeitig auch die Neigung der Linsenhauptebene für die Scharfeinstellung des ganzen Bildes auf der Projektionsfläche B . Das Handrad L greift mit der Spindel J am Objektivträger G an.

¹⁾ Inversoren sind mechanische Vorrichtungen zur Auflösung reziproker Werte, z. B. der Linsenformel $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$.

Diese Spindel betätigt über ein Schneckenrad den feststehenden Inversor (in der Abbildung nicht sichtbar), der den Schlitten *D* mit Plattenrahmen und Beleuchtungsvorrichtung verschiebt. Das Tangentenlineal ist rechts zu sehen, das Steuerlineal für die Linsenhauptebene ganz links.

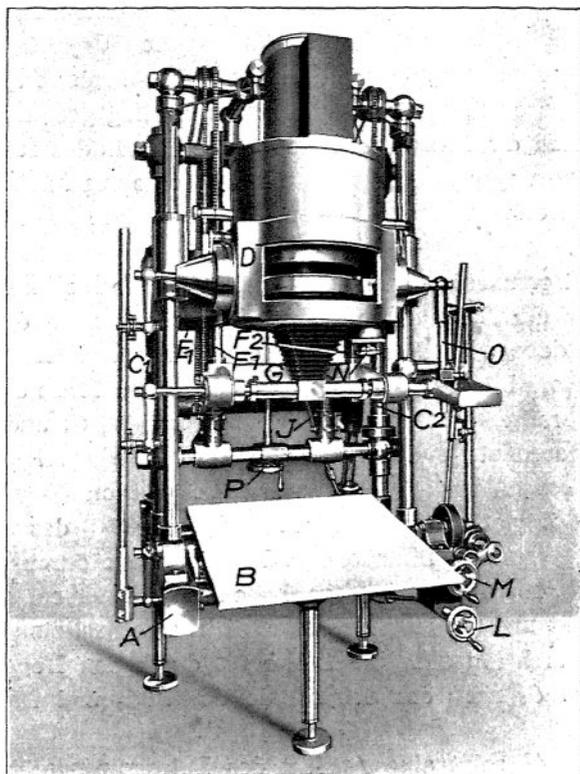


Abb. 43

Ansicht des Entzerrungsgerätes der Photogrammetrie
G. m. b. H., München

Die Abb. 44 zeigt die Ansicht des Entzerrungsgerätes der Firma Karl Zeiß in Jena. Mit ihm sind die Luftbildaufnahmen des rheinisch-westfälischen Industriebezirks im Jahre 1926 von der Hansa Luftbild G. m. b. H., Berlin, entzerrt worden. Die aufgenommene Fläche umfaßte rund 2000 qkm.

Im Gegensatz zu diesen massigen Entzerrungsgeräten hat die Aerotopograph G. m. b. H. (Gustav Heyde), Dresden, ein Gerät (Abb. 44a) in den Handel gebracht, das sich durch ganz bescheidene Massen auszeichnet. Einstellungsmöglichkeiten sind nur am allseitig

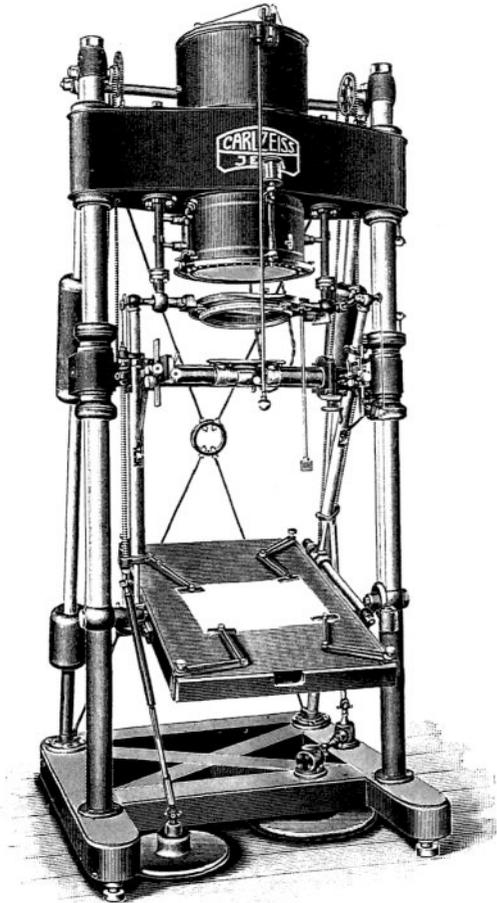


Abb. 44

Ansicht des Entzerrungsgerätes der Firma Karl Zeiss, Jena

neigbaren Projektionstisch vorhanden und bei der selbsttätigen Regulierung des gegenseitigen Abstandes zwischen Projektionsfläche, Linse und Platte gemäß der allgemeinen Linsenformel. Für besondere Fälle läßt sich auch das Objektiv innerhalb gewisser Grenzen

neigen. Auf die Herstellung der Perspektivität mit Hilfe eines seitlichen Tangentenlineals ist aber verzichtet worden; ebenso ist das Steuerlineal für die selbsttätige Neigung der Objektivlinse fortgefallen. Dieses A. T. G.-Entzerrungsgerät ist für Platten, und Film-negative bis zum Format 13×18 cm eingerichtet und wiegt etwa 80 kg. Der Arbeitsbereich erstreckt sich auf eine Abweichung der Kammerachse von $10-15^\circ$ gegen die Nadirlinie. Das Gestell ist zusammenlegbar.

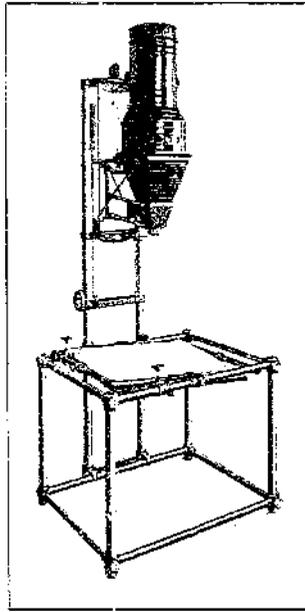


Abb. 44a.

Das A.T.G.-Entzerrungsgerät des Aerotopographi G. m. b. H., Dresden

Ist die Einstellung des Gerätes mit Hilfe der Paßpunkte erfolgt, so können auf den Projektionstisch ein Zeichenbogen gelegt und gewisse Linien des projizierten Bildes mit Dreieck und Blei nachgezogen werden. Auf diese Weise erhält man einen Lageplan vom Gelände nach Art der üblichen Strichzeichnungen. Wünscht man dagegen einen Bildplan, so wird lichtempfindliches Papier auf den Tisch gespannt und nach der Belichtung das Positiv entwickelt. Dieser Vorgang wird plattenweise ausgeführt. Die einzelnen ent-

zerzten Bilder werden aneinandergesetzt, bis ein bestimmtes Planformat erreicht ist. Für den rheinisch-westfälischen Industriebezirk wurde das Format 30×45 cm gewählt. Dieser zusammengefügte Plan wird nochmals photographiert. Das Ergebnis ist der endgültige entzerrte Luftbildplan. Aus diesem Luftbildplan kann im Bedarfsfall wieder ein Plan in Strichart hergestellt werden. Man braucht nur die gewünschten Striche mit schwarzer Tusche nachzuziehen und den Luftbildplan in ein Bad von Blutlaugensalz zu legen. Dann wird die nicht ausgezogene Bildmasse ausgelautet und ein Plan in schwarzer Strichzeichnung auf weißem Grunde erhalten.

Der Luftbildplan ist aber nur dann maßstäblich, wenn das aufgenommene Gelände absolut eben ist. Auf einem Luftbildplane vom hügeligen oder bergigen Gelände lassen sich dagegen keine Maße

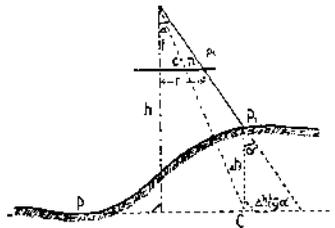


Abb. 45

Der Einfluß der Höhenunterschiede auf die Abbildung

abgreifen. In der Abb. 45 ist der Höhenunterschied der beiden Punkte P und P_1 gleich Δh . Wird das Gelände aus einer Flughöhe h über dem tiefsten Punkt P mit einer Kammer von der Brennweite f aufgenommen, so bildet sich der Punkt P_1 in p_1 ab, während er sich kartenmäßig in c abbilden müßte. Der Fehler n der Abbildung ergibt sich aus der Gleichung

$$43) \quad n = \frac{f}{h} \Delta h \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta h}{h} r, \text{ da } \operatorname{tg} \alpha = \frac{r}{f}$$

ist.

Er wächst also mit zunehmenden Höhenunterschieden und der Entfernung r vom Plattennittelpunkt, die ihr Maximum am Rande der Platte bei

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{b}{2f} \text{ oder } \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{l}{2f}$$

erreicht. In unmittelbarer Nähe der Aufnahmeachse, wenn also r klein ist, kann der Einfluß jeden Höhenunterschiedes auf n vernachlässigt werden.

In Essen sind die höchsten Punkte gegen das Ruhrtal etwa $\Delta h = 100$ m hoch. Die Aufnahme erfolgte mit einer Kammer mit der Brennweite $f = 0,18$ m und aus einer Flughöhe $h = 900$ m. Da außerdem die Kurzseite ($b = 0,13$ cm) der Platte in der Flugrichtung gelegen hat, so wird der Fehler in der Abbildung am Rande der Platte

$$n = \frac{100 \cdot 0,065}{900} = 7,22 \text{ mm.}$$

Da nun der Bildmaßstab gleich

$$\frac{f}{h} = \frac{1}{5000}$$

ist, so entsprechen diese 7,22 mm Bildlänge 36,1 m der natürlichen Länge.

Aus dieser Betrachtung ergibt sich, daß es ausgeschlossen ist, dem Luftbildplan bei kopiertem Gelände irgendwelche Maße entnehmen zu können. Der Luftbildplan bleibt dann ein Bild des Geländes und ist kein Plan. In solchen Fällen ist es daher angebracht, dem Luftbildplan besser den Namen Luftplanbild beizulegen.

In der Schweiz hat der Chef der Sektion für Topographie, Dipl.-Ingenieur R. Schneider einen Luftbildplan, der mit einem Jaeger-Liesegangschen Entzerrungsgerät im Maßstabe 1:10 000 entzerrt worden war, auf seine Genauigkeit untersucht. Er faßt das Ergebnis folgendermaßen zusammen:

- a) Der mittlere Lagefehler von 56, ihrer Lage nach im Felde eindeutig identifizierten und von Vermessungsfestpunkten aus eingemessenen Paßpunkten beträgt 0,26 mm oder 2,6 m.
- b) Der festgestellte Lagefehler überprüfter Gegenstände der Lagezeichnung hält im allgemeinen den als zulässig festgelegten mittleren Betrag von 0,3 mm oder 3,0 m inne. Ein Fehler von 1 mm oder 10 m ist nirgends erreicht worden.

Die Stadtverwaltung Essen hat die Genauigkeit ihrer Luftbildpläne aus den Jahren 1926/27 einer Prüfung unterzogen. Für die Planherstellung dienten als Entzerrungsunterlagen die im Maßstabe

1 : 10 000 vorhandenen Übersichtspläne vom rheinisch-westfälischen Kohlenbezirk, die von der Markscheiderei der Berggewerkschaftskasse in Bochum hergestellt sind. Da es aber der Stadtverwaltung weniger wichtig erschien, den durchschnittlichen und mittleren Fehler der Längen auf den Luftbildplänen gegen die auf den Übersichtsplänen der Berggewerkschaftskasse zu ermitteln als vielmehr gegen die örtlich vorhandenen Längen, wurden 56 Entfernungen von 990 bis 1954 m Länge aus den Koordinaten ihrer Endpunkte, die sowohl auf den Übersichtsplänen vorhanden waren als auch auf den Luftbildplänen eindeutig bestimmt werden konnten, berechnet. Aus den Differenzen d der abgegriffenen Längen gegen die berechneten wurde dann der durchschnittliche Fehler für die Hundertmeterlänge nach der Formel

$$\vartheta = \frac{[d]}{n} \cdot \frac{100}{m}$$

ermittelt, falls m das Mittel aller Entfernungen ist und n die Anzahl der Differenzen ausdrückt. Der mittlere Fehler ergab sich nach der Formel

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[ddg]}{2n}}$$

wobei n ebenfalls die Anzahl der Fälle bedeutet. Die Gewichte für die Längeneinheit wurden den umgekehrten Werten der Entfernungen gleichgesetzt, so daß g für die 100 m lange Strecke hundertmal so groß wurde. Da zwei Arten von Luftbildplänen im Maßstab 1 : 5000 vorhanden waren, nämlich Mattabzüge und Hochglanzabzüge, wurden auch beide der Prüfung unterzogen.

Als durchschnittlichen Fehler auf den Übersichtsplänen der Berggewerkschaftskasse erhielt man $\vartheta = 0,22$ m für jede Hundertmeterlänge und als mittleren Fehler $\mu = \pm 0,76$ m für jede Hundertmeterlänge. Mit anderen Worten heißt das, der durchschnittliche Fehler ϑ war 0,022 mm je 100 m und der mittlere Fehler $\pm 0,076$ mm, also kleiner als Zeichengenauigkeit, wenn diese mit 0,1 mm angenommen wird. Die Übersichtspläne der Berggewerkschaftskasse können also als einwandfreies Material für den Entzerrungsprozeß angesprochen werden.

Auf den Mattabzügen ergab sich ein durchschnittlicher Fehler von 0,38 m je 100 m Länge und ein mittlerer Fehler von $\pm 1,30$ m.

Während also der durchschnittliche Fehler nur 0,07 mm je 100 m ausmacht, erreicht der mittlere Fehler doch schon $\pm 0,26$ mm und überschreitet mithin die Zeichengenauigkeit um mehr als das Doppelte. Erwähnt sei noch, daß die einzelnen Differenzen d in der Richtung der Langseite der einzelnen Teilblätter (Westen-Osten = 45 cm) größer waren als in der Richtung der Kurzseite (Norden-Süden = 30 cm), was bestimmt in der Faserung des Papiere, in dem Naßverfahren sowie in der Unebenheit des Geländes begründet ist. Im allgemeinen kann aber gesagt werden, daß Mattabzüge durchaus den Anforderungen genügen, die an Übersichtspläne im Maßstabe 1 : 5000 gestellt werden können.

Bei den Hochglanzabzügen ergab sich ein durchschnittlicher Fehler von 1,31 m je 100 m Länge und ein mittlerer Fehler von sogar $\pm 4,07$ m, oder in Millimeter umgerechnet beträgt der durchschnittliche Fehler 0,26 mm und der mittlere Fehler gar $\pm 0,81$ mm, d. h. Hochglanzabzüge sind nur als Paradepläne zu werten. Der Grund für ihre große Ungenauigkeit ist darin zu suchen, daß die nassen Abzüge des Hochglanzpapiere auf Spiegelglasplatten gelegt und mit einer Gummiwalze auf die Glasscheibe noch angepreßt werden. Sie sind also, sozusagen, aufgeklebt und können beim Trocknen nicht soweit zurückschrumpfen wie die nicht aufgepreßten Mattabzüge.

Die Stadtverwaltung Wattenscheid hat die Mattabzüge ihrer Teilblätter des Luftbildplanes auf Grund von 28 Differenzen zwischen den auf dem Luftbildplane abgegriffenen Längen von 73,7 m bis 6468 m und den aus Koordinaten gerechneten oder unmittelbar gemessenen geprüft. Der durchschnittliche Fehler beträgt 0,45 m je Hundertmeterlänge oder 0,09 mm, also ähnlich wie im Essener Gebiet. Der mittlere Fehler hat sich zu $\pm 1,63$ m je 100 m Länge ergeben oder $\pm 0,33$ mm. Die Zeichengenauigkeit ist also auch hier überschritten.

Die Emschergenossenschaft in Essen hat 13 Längen von 738 m bis 1675 m auf Mattabzügen mit den identischen auf den Übersichtsplänen der Berggewerkschaftskasse verglichen und dabei einen durchschnittlichen Fehler von 0,22 m je 100 m Länge oder 0,044 mm erhalten, während sich der mittlere Fehler auf $\pm 0,72$ m = $\pm 0,145$ mm je 100 m Länge beläuft, also die Zeichengenauigkeit ebenfalls nicht erreicht. Vergleicht man aber diesen mittleren Fehler mit den mitt-

leren Fehlern in den Stadtgebieten Essen und Wattenscheid, so sieht man, daß er weit kleiner ist. Diese Tatsache findet ihre Erklärung darin, daß die Luftbildpläne der Emschergenossenschaft das ebene Gelände des Emscherflusses und seiner Nebenbäche umfassen.

Zusammenfassend kann über die Prüfung gesagt werden, daß die entzerrten Mattabzüge der Luftaufnahmen im rheinisch-westfälischen Industriebezirk durchaus zu verwerten sind, da ihr mittlerer Fehler bei Strecken mit gut erkennbaren Endpunkten prüfungsgemäß zwar die Zeichengenauigkeit nicht ganz erreicht, aber den Anforderungen an Pläne im Maßstabe 1:5000 vollauf gerecht wird. Dieses Ergebnis ist erreicht worden, weil gute Karten als Entzerrungsunterlage vorhanden waren.

In Ermangelung geeigneter Planunterlagen sind für den Entzerrungsvorgang mindestens drei trigonometrische Festpunkte für jede Platte notwendig. Für einen Luftbildplan im Maßstabe 1:5000 sind dann für jede Planfläche von einem Quadratmeter etwa 80—100 Festpunkte erforderlich. Die örtlichen und häuslichen Arbeiten für ihre koordinatenmäßige Ermittlung sind aber zeitraubend, kostspielig und machen daher diese Methode unwirtschaftlich. Eine wohlfeilere Ersatzmethode soll die Nadirpunkttriangulation bieten, die von Prof. Dr. Finsterwalder (München) entwickelt worden ist.

Ist die Aufnahmeachse identisch mit der Nadirlinie, so ist der Bildhauptpunkt die Projektion des Nadirpunktes. Die Strahlen von ihm nach den verschiedenen Bildpunkten schließen Horizontalwinkel ein. Wenn die Aufnahmeachse gegen die Nadirlinie aber geneigt ist, so sind die Winkel zwischen den Bildstrahlen im Plattenhauptpunkt keine Horizontalwinkel mehr. Sie können aber als solche angesehen werden, wenn die Abweichung der Aufnahmeachse gegen die Nadirlinie klein ist. Werden die Aufnahmen so ausgeführt, daß die Abweichung höchstens 3° beträgt, so können die Bildhauptpunkte schlechtweg noch als die Bildnadirpunkte betrachtet werden. In diesen Fällen sind die Fehler in den Winkeln gegen die wahren Horizontalwinkel ebenso groß, als wenn die Winkel im Nadirpunkte mit einem Theodoliten mit entsprechend schief stehender Stehachse gemessen worden wären.

Auf dieser Einsicht baut sich die Nadirpunkttriangulation auf. Sie zerfällt in folgende Arbeitsstufen:

1. Besondere Einrichtung der Flugaufnahmen.

2. Konstruktion der Flächenmitten aller Bilder und Aufsuchen der Bildmitten auf allen benachbarten Bildern.
3. Wahl der Basislänge.
4. Konstruktion des Nadirpunktnetzes.
5. Konstruktion der Lage der gewünschten Paßpunkte.
6. Konstruktion der Lage der bekannten trig. Festpunkte.
7. Bestimmung des Maßstabes des ganzen Punktnetzes.
8. Konstruktion des Quadratnetzes.

Die Aufnahmen sind so anzuordnen, daß sich die einzelnen Bilder nicht nur in der Flugrichtung, sondern auch seitlich mit mehr als 50% ihrer Fläche überdecken, damit auf jedem Bilde die Bildmitten aller benachbarten Bilder abgebildet erscheinen. Mit anderen Worten heißt das, die aufzunehmende Fläche muß mindestens eine vierfache Bildüberdeckung aufweisen. Diese Forderung der Aufnahmegestaltung bedingt also nicht nur einen erheblichen Mehrverbrauch an Platten, sondern auch die Ausführung einer größeren Anzahl von Ergänzungsflügen, da es kaum möglich sein wird, die einzelnen Flugbahnen dauernd in solchen parallelen Abständen einzuhalten, daß die 50%ige Überdeckung von vornherein erhalten bleibt.

Auf den einzelnen Bildern sind dann mit Hilfe der Meßmarken die Flächenmitten zu konstruieren (Abb. 45a) und mit Geländepunkten zu identifizieren. Diese Geländepunkte sind auf allen anderen Bildern aufzusuchen und mit den Flächenmittelpunkten zu verbinden. Diese Verbindungslinien sind die Projektionen der Lichtstrahlen nach benachbarten Nadirpunkten und schließen die Triangulationswinkel ein.

Die Wahl der Länge der Basis, z. B. $1' - 1''$, ist beliebig. Sie bestimmt den noch unbekanntem Maßstab des Netzes der Nadirpunkte. Hierauf werden die einzelnen Bilder $1 - 6$, $1' - 8'$ und $1'' - 7''$ gegenseitig so eingedreht, daß die Verlängerungen entsprechender Winkelschenkel zusammenfallen.

Auf dem zu entzerrenden Bilde, etwa $4'$, werden dann drei oder vier Paßpunkte a, b, c und d gewählt. diese auf benachbarten Bildern aufgesucht, mit den Mitten der Bildflächen verbunden und die Verbindungslinien hinreichend verlängert (punktierte Linien). Die Schnittpunkte dieser Verlängerungen liefern die Lage der Paßpunkte A, B, C , und D in dem noch unbekanntem Maßstabe des Netzes.

Um den Maßstab kennenzulernen, ist die koordinatenmäßige Bestimmung von mindestens zwei Festpunkten erforderlich. In der Abb. 45a sind deren drei gewählt (*I*, *II* und *III*). Ihre Bildpunkte sind auf allen Bildern aufzusuchen, mit den Flächenmittelpunkten zu verbinden und diese Verbindungslinien bis zu den Schnittpunkten *I*, *II*, und *III* zu verlängern. Ermittelt man ihre planmäßige Entfernung nach Millimetern, so erhält man durch den Vergleich mit ihren örtlichen Entfernungen den Maßstab.

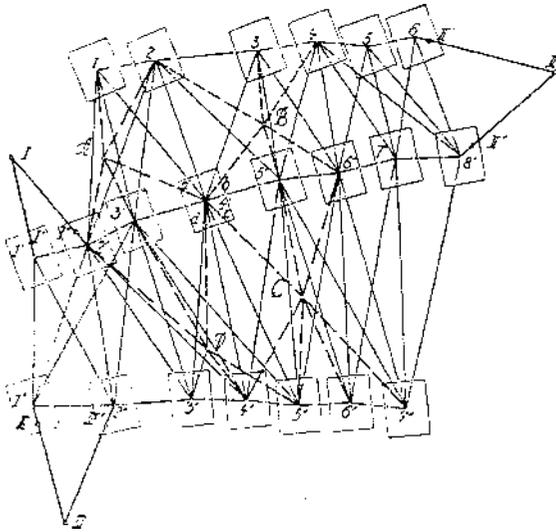


Abb. 45a
Die Nadirpunkttriangulation

Der Verlauf des Koordinatennetzes wird am einfachsten durch Übertragung aus einer besonderen Kartierung der trigonometrischen Punkte im Maßstabe des Nadirpunktnetzes gewonnen. Dann können auch die Koordinaten der Paßpunkte *A*, *B*, *C* und *D* graphisch ermittelt werden.

Nach derselben Art können die Paßpunkte für alle Bilder eines Aufnahmegebietes koordinatenmäßig bestimmt werden. Gleichzeitig sieht man, daß zur Bestimmung des Maßstabes und zur Netzorientierung theoretisch zwei Festpunkte für das ganze Aufnahmegebiet genügen. In der Praxis wird man aber gern noch einige Kontrollen

heranziehen, so daß mit vier Punkten je Quadratmeter Planfläche eine genügende Sicherheit des Ergebnisses gewährleistet erscheint.

Nach dieser Nadirpunkttriangulation hat die Photogrammetrie-Gesellschaft (München) die Entzerrungsunterlagen für einen Teil der Luftbildaufnahmen des Stadtgebietes Emmerich ermittelt. Leider enthält das Emmericher Gutachten über die Arbeitsleistung nur allgemein gehaltene Genauigkeitsangaben, wie „die neue Methode hat ein schnelles und günstiges Ergebnis gezeitigt usw.“ Neuerdings befaßt sich Herr Prof. Dr. v. Gruber (Stuttgart) mit der Ermittlung der Genauigkeit auf Grund der luftbildtechnischen Aufnahmen vom rheinisch-westfälischen Industriegebiet recht eingehend, so daß bald ein abschließendes Werturteil über diese Methode vorliegen dürfte.

Die Beziehungen zwischen Bild, ebenem Gelände und Karte

In der Abb. 46 sind bekannt die Aufnahmehöhe h , der Neigungswinkel ν der Aufnahmeachse gegen den Horizont, die Brennweite f und die Plattengrößen l und b . Außerdem soll die Platte senkrecht auf f stehen und nicht verkantet sein. Das Erdreich ist ebenfalls eben gedacht. Denkt man sich die Plattenebene verlängert, so schneidet sie das Gelände in einer Geraden SS und eine horizontale Ebene durch O in der Geraden H_bH_b , dem Bildhorizont oder der Fluchtlinie der Bildebene. Sie ist der Ort für die Abbildung der unendlich fernen Geländegeraden. Die Vertikale in der Plattenebene durch die Plattenmitte m , die Hauptvertikale, trifft die Gerade SS in Q und schneidet die Aufnahmehöhe in N , dem Bildnadir. Zieht man die Plattendiagonalen da und ce , so sind ihre Verlängerungen in der Plattenebene gelegen und schneiden die Gerade SS in S_1 und S_2 . Verlängert man die Seitenflächen aOc und eOd der Bildpyramide, so schneiden sie sich in der Geraden OF , die in O senkrecht auf der Aufnahmeachse OM steht. Der Punkt F ist der Fluchtpunkt der nicht parallelen Geländegeraden AC und ED und der Schnittpunkt dreier Ebenen, der Ebene $DOFED$, der Ebene $COFAC$ und der Erdebene. Außerdem liegt er mit den Punkten Q , O' und M in einer Geraden, die senkrecht auf der Aufnahmehöhe steht. Der Punkt O' ist der Schnittpunkt der ideellen Aufnahmehöhe mit der Karte und heißt Kartennadir. Eine Parallele H_nH_n durch F zu S_1S_2 heißt der Kartenhorizont oder die Fluchtlinie der Kartenebene. Ihre

Punkte bilden sich in der unendlich fernen Bildgraden ab. Der Geländehauptpunkt M ist der Schnittpunkt der Aufnahmeachse mit der Senkrechten in O' auf OO' . Die Punkte A und D ergeben sich als Schnittpunkte der Pyramidenkanten Oa und Od mit der Verbindungsgeraden S_1M und deren Verlängerung, die Punkte C und E als Schnittpunkte der Pyramidenkanten Oc und Oe mit der Geraden S_2M und deren Verlängerung. Die Pyramide $OACDE$ führt den Namen Geländepyramide.

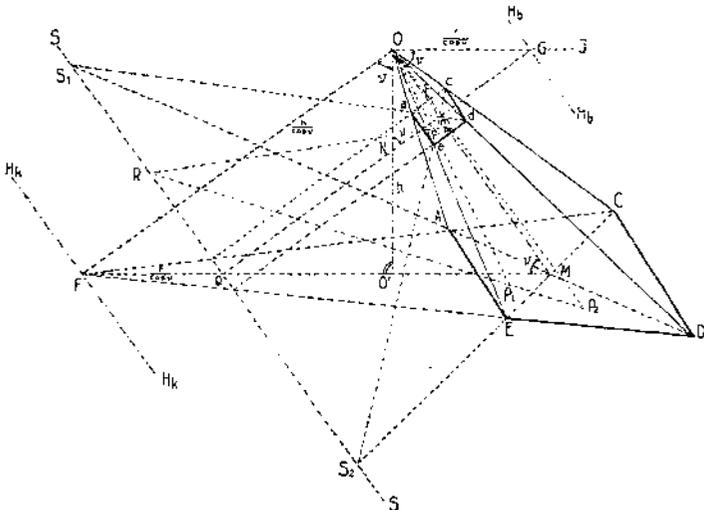


Abb. 46

Die Beziehungen zwischen Bild, ebenem Gelände und Karte

Da die Karte eine maßstäbliche Verkleinerung des Geländes ist, können alle Beziehungen zwischen Bild und Gelände auch auf Bild und Karte sinngemäß übertragen werden. Die Konstruktion des Kartenausschnittes ist daher folgende:

In den Endpunkten O und O' der maßstäblich verkleinerten Aufnahmehöhe sind Senkrechte zu errichten, und zwar in O' nach beiden Seiten der Aufnahmehöhe. In O ist an OJ der Neigungswinkel ν anzutragen; auf seinem freien Schenkel, der Aufnahmeachse, ist im Abstände f eine Senkrechte zu errichten, die den Bildhorizont in G , die Aufnahmehöhe im Bildnadir N und die Senkrechte im Kartennadir O' in Q trifft. Parallel und senkrecht zu ihr ist aus den Plattendimensionen l und b die Platte zu konstruieren. Der Schnittpunkt M der Auf-

nahmeachse mit der Senkrechten in O' ist der Kartenhauptpunkt. Auf MO ist ferner eine Senkrechte in O zu errichten, wodurch man den Fluchtpunkt F der Karte erhält. Im Punkt Q ist dann eine Parallele zu OM zu ziehen. Werden die Diagonalen da und ce mit ihr zum Schnitt gebracht, so ist S_1, S_2 die Schnittgerade von Bildebene und Kartenebene. Verlängert man die Kanten Oa, Oc, Od und Oe der Bildpyramide, und verbindet man außerdem S_1 und S_2 mit M , so erhält man als Schnittpunkte die Ecken des Kartenausschnittes $ACDE$. Er ist ein Parallelogramm, dessen parallelen Seiten AE und CD sind. Die Verlängerungen der nichtparallelen Seiten AC und ED schneiden sich im Fluchtpunkte F .

Der Bildnadir N ist vom Aufnahmeort O um

$$ON = \frac{f}{\sin \nu}$$

entfernt und der Kartennadir O' vom Kartenhauptpunkt M um

$$O'M = \frac{h}{\tan \nu}$$

Ferner sind

$$OG = FQ = \frac{f}{\cos \nu}$$

$$FO = QG = \frac{h}{\cos \nu}$$

und

$$FM = \frac{h}{\cos \nu \sin \nu} = \frac{2h}{\sin 2\nu}$$

Gleichzeitig erkennt man in dem Parallelogramm $OFQG$ das Gelenkparallelogramm des Entzerrungsgerätes in Abb. 38, nur mit dem Unterschiede, daß seine Lage hier rechts von FO ist, während sie dort links ist. Der Grund hierfür liegt darin, daß in Abb. 46 die Platte vor dem Objektiv O gelegen ist, in Abb. 38 aber hinter dem Objektiv angeordnet ist.

Hat man eine Gerade $P_1 P_2$ in der Karte und denkt man sich ihre Endpunkte mit O verbunden, so sind die Durchstoßpunkte p_1 und p_2 dieser Strahlen mit der Platte die Bilder der Punkte P_1 und P_2 und die Verbindungslinie $p_1 p_2$ das Bild von $P_1 P_2$. Verlängert man

beide Geraden, so werden sie sich in einem Punkte R schneiden. Da aber $P_1 P_2$ auf der Kartenebene und $p_1 p_2$ auf der Bildebene gelegen sind, so muß der Punkt R auf der Schnittgeraden SS dieser beiden Ebenen liegen. Dieser Zusammenhang zwischen Karte und Bild heißt projektiv. Die Konstruktion von $p_1 p_2$ ist daher folgende: Die Punkte P_1 und P_2 sind mit O zu verbinden und die Gerade $P_1 P_2$ bis R auf SS zu verlängern. Hierdurch erhält man außerdem einen Schnittpunkt auf irgend einer Seite des Kartenausschnittes. Die Verhältnisteilung dieser Seite wird auf die entsprechende Plattenseite übertragen und dieser neue Punkt mit R verbunden. Wo diese Verbindungsgerade die Strahlen OP_1 und OP_2 trifft, sind die Bildpunkte p_1 und p_2 .

Hat man allgemein einen Bildpunkt p nebst seinem Kartenpunkt P und verbindet p mit anderen Punkten p_n sowie P mit den entsprechenden Kartenpunkten P_n , so schneiden sich die Verbindungslinien der Punkte p_n und P_n in Punkten R_n , deren geometrischer Ort die Schnittgerade SS von Bild- und Kartenebene ist.

Den Schnittpunkten einer Geraden, die ein solches Bildstrahlenbündel schneidet, entspricht in der Karte eine projektive Punktreihe und umgekehrt. (Vgl. das Vierpunktverfahren).

Hat man parallele Linien im Bilde, so muß man unterscheiden, ob sie parallel zu den wagrecht gelegenen Plattenseiten verlaufen oder zu den hierzu senkrecht gelegenen Plattenseiten, oder ob ihre Parallelität keine bevorzugte Richtung verfolgt. Im ersten Falle entsprechen ihnen in der Karte ebenfalls Geraden, die parallel zu den Parallelseiten des Kartenausschnittes verlaufen. Die zweite Art von Parallelen auf dem Bilde weisen in der Karte konvergente Geraden auf, deren Konvergenzpunkt der Fluchtpunkt F in Abb. 46 ist. Parallele Linien im Bilde, die keine bevorzugte Richtung verfolgen, sind auf der Karte ebenfalls konvergent, ihr Konvergenzpunkt liegt zwar auch auf dem Kartenhorizont $H_x H_k$, aber nicht in F , sondern die Lage ihrer Fluchtpunkte auf ihm ist steten Änderungen unterworfen. Diese Beziehungen zwischen Bild und Karte gelten auch umgekehrt zwischen Karte und Bild. Ein Weg im Gelände mit seinen parallelen Seiten muß auf dem Bilde konvergent erscheinen, sobald er nicht parallel zu den parallelen Seiten des Kartenausschnittes verläuft. Sein Konvergenzpunkt liegt im Bildhorizont $H_b H_v$.

Um den Bildverlauf vertikaler Gegenstände im Gelände zu ermitteln, denke man sich durch die Aufnahmehöhe unendlich viele vertikale Ebenen gelegt. Eine von ihnen muß dann auch durch den zu betrachtenden Gegenstand gehen. Schneidet sie außerdem die Platte, so bildet er sich ab. Dieses Abbild zielt nach der Aufnahmehöhe. Da es außerdem in der Bildebene gelegen ist, so weist es nach dem Bildnadir. Hat man mehrere Abbilder, von denen man weiß, daß sie vertikale Gegenstände vorstellen, wie von Schornsteinen, Türmen, Bäumen und Häuserkanten, so kann man den Bildnadir konstruieren. Es ist nur nötig, die Mittellinien der abgebildeten Gegenstände zu ziehen. Ihr Schnittpunkt ist der Bildnadir. Die Konvergenz abgebildeter vertikaler Gegenstände ist um so stärker, je mehr sie sich dem linken und rechten Plattenrande nähern.

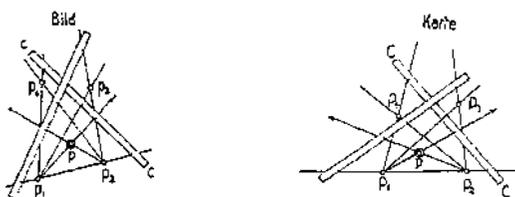


Abb. 47

Das Vierpunktverfahren zur Kartierung von Einzelpunkten

Ist die Platte bei der Aufnahme um den Winkel μ noch verkantet gewesen, so ist der abgebildete Gelände- oder Kartenausschnitt kein Parallelogramm mehr, sondern ein ungleichseitiges Viereck. Parallelen Geraden im Bilde kommen dann in der Karte nur konvergente Geraden zu und umgekehrt. Die Konvergenzpunkte liegen auf dem Karten- bzw. Bildhorizont.

Soll von einem einzelnen Flugbilde eine Karte hergestellt werden, so ist das nur möglich, wenn vier Punkte im Bilde mit vier Punkten in der Karte identifiziert werden können. Alle übrigen Punkte können dann nach dem Vierpunktverfahren oder der Papierstreifenmethode in die Karte übertragen werden. Sind in Abb. 47 p_1, p_2, p_3 und p_4 die Bildpunkte und P_1, P_2, P_3 und P_4 die zugehörigen Kartenpunkte, während Punkt p in die Karte übertragen werden soll, so ziehe man von einem der vier Punkte im Bilde, etwa p_1 , Strahlen nach den anderen Bildpunkten p_2, p_3 und p_4 sowie nach dem Neu-

punkt p . Dasselbe muß auch in der Karte geschehen, d. h. P_1 wird mit P_2 , P_3 und P_4 verbunden. Hierauf nimmt man einen Papierstreifen CC , legt ihn auf das Strahlenbüschel des Bildes und kennzeichnet seine Kreuzung mit sämtlichen Strahlen, also auch mit dem nach p . Dann wird der Papierstreifen abgehoben und auf das Strahlenbüschel der Karte so gelegt, daß die markierten Schnittpunkte auf zugehörige Strahlen zu liegen kommen. Der Strahlengang nach P wird markiert. Er ist ein geometrischer Ort für ihn. Hierauf wird der Bildpunkt p_2 mit allen anderen Bildpunkten verbunden, der Papierstreifen wieder aufgelegt und die neuen Kreuzungspunkte mit dem Strahlenbüschel einschließlich p gekennzeichnet. Paßt man diesen Papierstreifen auf das auch von P_2 in der Karte

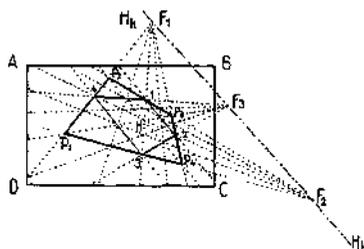


Abb. 48
Das Netzverfahren zur Kartierung von Einzelpunkten

gezogene Strahlenbüschel ein, so gibt die Verbindung von P_2 nach dem Kreuzungspunkt p den zweiten geometrischen Ort für P . Im Schnittpunkte beider ist der Kartenpunkt P . Dasselbe Verfahren kann auch mit Hilfe der Bildpunkte p_3 und p_4 bzw. der Kartenpunkte P_3 und P_4 wiederholt werden. Hierdurch erhält man vier geometrische Orte für P . Sie alle müßten sich in einem einzigen Punkte schneiden. Geschieht das nicht, sondern entsteht eine sog. Fehlerfigur, so ist der Punkt P der Schwerpunkt derselben.

Daß diese Methode sehr zeitraubend ist, ist ohne weiteres einzusehen. Man hat daher das sog. Netzverfahren erdormen, das sich ebenfalls auf vier identische Punkte in Bild und Karte stützt. In Abb. 48 ist $ABCD$ eine Karte und P_1 , P_2 , P_3 und P_4 sind vier Punkte in ihr. Verbindet man sie zu einem Viereck, so schneiden sich die Verlängerungen zweier gegenüber liegenden Seiten in den Fluchtpunkten F_1 und F_2 , die auf dem Horizonte H_kH_k des Punktvierecks

F_1, P_2, P_3, P_4 liegen. Zieht man noch die beiden Diagonalen, so treffen sie den Kartenhorizont in F_3 und F_4 , von denen F_4 , weil zu weitfallend, nicht weiter berücksichtigt worden ist. Nach der Lehre vom vollständigen Viereck sind die Punkte F_1 und F_2 sowie F_3 und F_4 zwei Paar zusammengehörige harmonische Punkte. Da aber F_1 und F_2 auch Fluchtpunkte sind, so sind auch F_3 und F_4 Fluchtpunkte und zwar von Seiten derjenigen Vierecke, die bei der Verbindung der Fluchtpunkte F_1 und F_2 mit den Diagonalschnittpunkten entstehen. Wie die Abbildung zeigt, kann die Karte beliebig oft untergeteilt werden. Dabei erfolgt das Ziehen der Strahlen über die ganze Karte und mit einer gewissen Sicherheit, weil jede Linie durch mehrere Schnittpunkte hindurchgeht.

Genau dasselbe ist auch auf dem Bilde zu machen. Wenn dieses kleiner als die Karte ist, sieht man sofort, wie weit man die Unterteilung des Stammvierecks zu treiben hat. Hierauf identifiziert man eine Bildnetzmasche mit der zugehörigen in der Karte und überträgt die gewünschten Bildpunkte in sie nach Augenmaß. Dasselbe wird innerhalb jeder anderen Masche getan. Die Genauigkeit dieser Übertragung hängt ab von der Identifizierung der gegebenen Karten- und Bildpunkte, von der Sorgfalt, mit der die Netze konstruiert werden, und von der Engmaschigkeit der Netze.

Auf Grund eines Bildes lassen sich Kantungs- und Neigungswinkel sowie die Länge der Aufnahmehöhe ermitteln, falls wieder vier Punkte in Bild und Karte identifiziert werden können. Die Konstruktion dieser Elemente beruht auf der projektiven Verwandtschaft zwischen Bild und Karte. Hiernach konvergieren im Bilde parallele Linien der Karte nach einem Punkte, der auf dem Bildhorizont gelegen ist. Umgekehrt schneiden sich parallele Linien des Bildes auf der Karte in einem Punkte, der auf dem Kartenhorizont liegt.

Nach Identifizierung der vier Punkte zeichnet man in der Karte ein Rechteck $P_1 P_2 P_3 P_4$ und überträgt es nach dem Vierpunktverfahren auf das Bild (Abb. 49a.). Die beiden Paare von Gegenseiten $p_1 p_2$ und $p_3 p_4$ sowie $p_4 p_1$ und $p_3 p_2$ des entstandenen Vierecks werden zum Schnitt S_1 und S_2 gebracht. Sie sind die Fluchtpunkte der Bildebene, und die Gerade $S_1 S_2$ ist der Bildhorizont. Fällt man vom Bildmittelpunkt die Senkrechte auf $S_1 S_2$, so ist der Winkel zwischen ihr und der Hauptvertikalen $V V$ der Kantungswinkel „.

Überträgt man das Bildformat $abcd$ aus Abb. 49a nach dem Vierpunktverfahren in die Karte, so entsteht das Viereck $ABCD$ (Abb. 49b). Sein Diagonalschnitt M ist der Kartenhauptpunkt, und die Verbindungslinie der Konvergenzpunkte S_1 und S_2 je eines Paares der Viereckseiten der Kartenhorizont. Fällt man von M die Senkrechte MQ auf S_1, S_2 , so liegen MQ und mq in derselben Vertikalebene durch die Aufnahmeachse OmM . Nun werden auf mq im Bilde mindestens drei Punkte 1, 2 und 3 mit den drei Punkten I, II und III auf MQ in der Karte identifiziert. Denkt man sich den Aufnahmestandort O mit 1, 2 und 3 verbunden und klappt dann das Strahlenbüschel in die Zeichnungsebene um, so steht (Abb. 49a) die Brennweite $Om = f$ auch dann noch senkrecht auf mq . Dieses

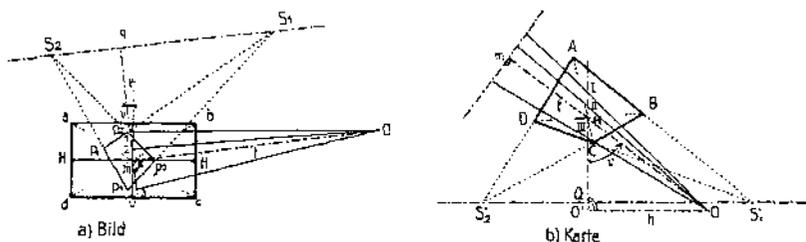


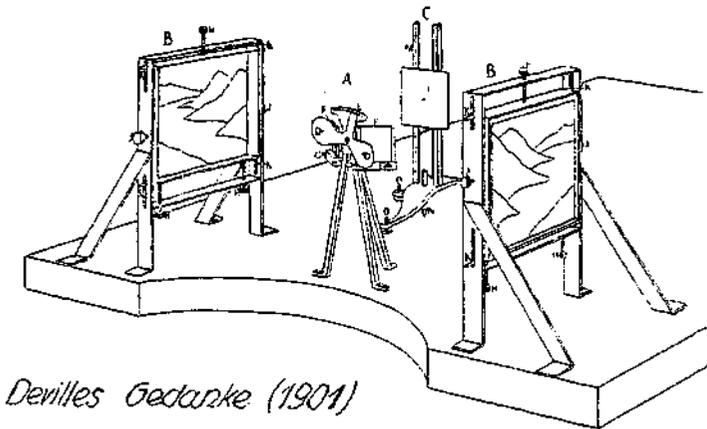
Abb. 49
Konstruktion des Kantungs- und Neigungswinkels sowie der Aufnahmehöhe

Strahlenbüschel wird auf Pauspapier durchgepaust und auf die Karte so gelegt, daß der Strahl $O1$ durch Punkt I, der Strahl $O2$ durch II, der Strahl $O3$ durch III und der Strahl Om durch M gehen. Der durchkopierte Punkt O ist dann der in die Zeichnungsebene um MQ geklappte Aufnahmeort. Der Winkel QMO ist der Neigungswinkel ν der Aufnahmeachse gegen die Zeichenebene und die Senkrechte OO' auf MQ die Länge der Aufnahmehöhe h im Maßstabe der Karte.

Die instrumentelle Auswertung der Luftbilder zu Karten

Die Auswertung der Luftbilder zu Karten beruht auf der Ausmessung eines im Zimmer optisch hergestellten Geländemodells. Dieses wird aber nur erhalten, wenn die Geländepunkte bei der Aufnahme Schnittpunkte zweier Lichtstrahlen waren, d. h. wenn

stereoskopische Aufnahmen vorliegen. Im Jahre 1901 hat bereits der Kanadier E. Deville diesen Gedanken in die Tat umgesetzt. Er stellte nach Abb. 50 die beiden Photogramme *B* achsparalleler Erd-aufnahmen im Zimmer einander gegenüber und dazwischen das Spiegelstereoskop *A*. Durch die Spiegelung wurde die seitliche Anordnung der Photogramme in eine frontale umgewandelt. Wenn der Beobachter durch die beiden Schaulöcher *D* hindurchsah, erblickte er vor sich das virtuelle Raummodell der Landschaft. In dieses Raummodell stellte Deville das Gestelle *C*. An seinen beiden Säulen



Devilles Gedanke (1901)

Abb. 50

Die Ausmessung des Geländemodells nach Deville (Kanada)

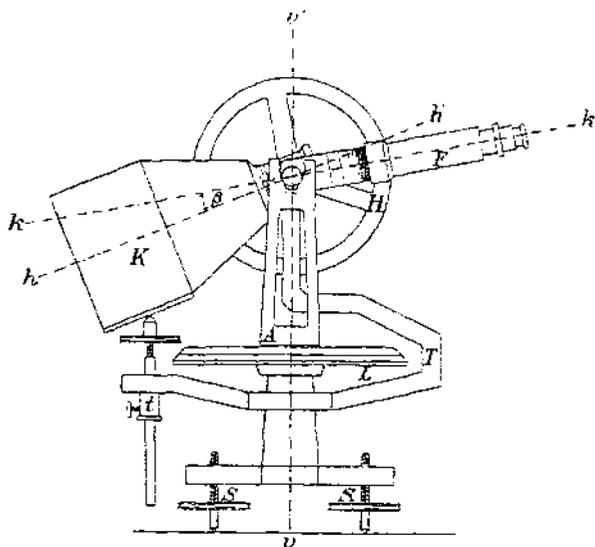
M ließ sich eine weiße Fläche mit der Lichtmarke *L* nach oben und unten verschieben. Außerdem ließ sich das ganze Gestelle sowohl der Tiefe nach wie auch seitlich bewegen. Dadurch war es möglich, die Lichtmarke *L* auf jeden einzelnen Punkt des Geländemodells zu stellen. Da die Unterlage des Gestelles noch einen Zeichenstift *N* besaß, wurde das Abtasten des Modells als Karte im Maßstabe des Modells gezeichnet. Wurde aber die Marke *L* auf ihren Führungen *M* auf eine bestimmte Höhe eingestellt, und das Gestell dann in die Tiefe und nach der Seite bewegt, so daß die Lichtmarke die Oberfläche des Modells nur berührte, so zeichnete der Stift *N* die der Höhe entsprechende Horizontalkurve.

Dieses Devillesche Prinzip wird in dem Auswertungsverfahren des Inag-Doppelprojektors sehr getreu nachgeahmt. Nur ist bei ihm

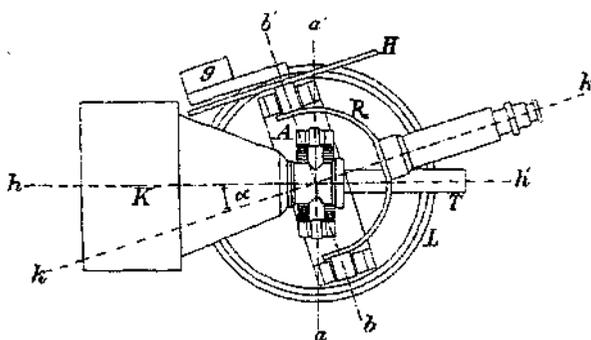
insofern eine Abweichung vorhanden, als hier die Marke durch einen ganzen Tisch ersetzt ist, der sich nur vertikal bewegen läßt. Bei dem Auswertungsverfahren mittels des Autokartographen wird umgekehrt die Marke festbleibend angeordnet und das Geländemodell punktweise an die Marke herangeführt. Die Punktbewegungen des Modells werden durch Verstellungen der modellerzeugenden Bilder hervorgerufen, so daß das Betrachtungssystem mit den Bildern als Objekt als Bildmeßtheodolit bezeichnet werden kann. Allerdings unterscheidet sich dieser von einem gewöhnlichen Theodoliten dadurch, daß bei ihm die Horizontal- und Höhenwinkel der eingestellten Punkte nicht abgelesen, sondern nur Richtungseinstellungen ausgeführt werden. Beim Stereoplanigraphen ist der Bildmeßtheodolit ebenfalls zur Durchbildung gekommen, aber mit dem Unterschiede, daß die Meßmarken in der horizontalen x -Richtung, das Landschaftsmodell dagegen in der horizontalen y -Richtung verschiebbar sind. Das Kartierungsgerät nach Boykow ist dem Devilleschen Gedanken vollständig gefolgt.

Der erste, der überhaupt einen Bildmeßtheodolithen durchgebildet hat, war Prof. Dr. Koppe in Braunschweig. Angeregt hierzu wurde er von dem Physiker Porro. Dieser Bildmeßtheodolit besteht nach Abb. 51 im wesentlichen aus einer Kamera, deren innere und äußere Orientierung (Erklärung später) genau dieselbe sein muß, wie sie die Aufnahmekammer während der Aufnahme innehatte, aus dem Fernrohr mit Höhenkreis, der Alhidade und dem Limbus. Die Kammer selbst steht mit dem Limbus L durch den Bügel T in Verbindung. Das Fernrohr F mit dem Höhenkreise H ist an einem Bügel R befestigt und befindet sich an einer Kippachse in den Lagern des Fernrohrträgers, der der Alhidade aufsitzt. Die Stehachse vv' , die Visier- oder Kollimationsachse kk' , die Kippachse bb' des Fernrohrs, die Kippachse aa' der Kammer K und die Kammerachse hh' schneiden sich in einem gemeinsamen Punkt, dem vorderen Hauptpunkt des Kammerobjektivs. Ist letzteres von derselben Art wie das der Aufnahmekammer, so verlassen die einzelnen Bildstrahlen die Kammer K unter denselben Richtungen, also verzeichnungsfrei, wie zur Zeit der Aufnahme die Objektstrahlen die Kammer erreichten. Man sieht also, daß es möglich ist, nicht nur die Horizontal- und Höhenrichtungen nach Bildpunkten einzustellen, sondern ihre Winkelwerte auch abzulesen. Die Berechnung von Winkeln aus abge-

griffenen Bildkoordinaten kann also entfallen. Außerdem ist die Verwendung eines Bildmeßtheodoliten insofern von Vorteil, als die



Ansicht



Grundriß

Abb. 51

Der Bildmeßtheodolit nach Prof. Dr. Koppe

Winkelbestimmung mit ihm schneller vorstatten geht und am genauesten ist.

Die äußerst lehrreiche Abb. 52 zeigt den stereoskopischen Aufnahmevorgang aus einem Flugzeug. Die Lichtstrahlen der ver-

schiedenen Geländepunkte, z. B. 1, 2 und 3 gehen durch den Objektmittelpunkt zur Platte, und bilden hier das Gelände ab. Mit solchen, aber auch nur mit solchen von verschiedenen Standpunkten aufgenommenen Bildern ist es möglich, das Gelände in Gestalt eines soga: maßstäblich verjüngten Licht-Modells zu rekonstruieren. Zu diesem Zwecke braucht man jedem Projektor nur dieselbe innere und äußere Orientierung zu geben, wie sie die Kammer zur Zeit der aufeinanderfolgenden Aufnahmen gehabt hat, und außerdem muß die Verbindungslinie beider Projektoren dieselbe räumliche Lage im verjüngten Maßstabe haben wie die Aufnahmebasis. Zur inneren Orien-

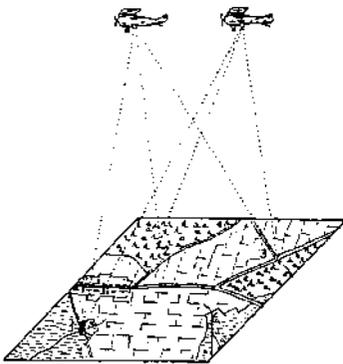


Abb. 52

Die stereoskopische Aufnahme
des Geländes

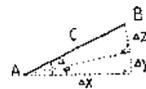


Abb. 53

Die räumliche Basis in Beziehung zu
ihren Koordinatenunterschieden

terierung gehört die Deckung der abgebildeten Maßmarken mit den Marken des Plattenhalters, die Herstellung der Objektentfernung von der Platte im Betrage der Aufnahmebrennweite und die Verwendung eines Objektivs von derselben Art wie das der Aufnahmekammer. Hierdurch wird erreicht, daß die Bildstrahlen den Projektor unter denselben Winkeln verlassen, unter denen die Objektstrahlen zur Zeit der Aufnahme in die Kammer eingetreten sind. Plattenrahmen und Objektiv müssen also auswechselbar sein. Zur äußeren Orientierung der Projektoren zählen die Verkantung oder die Verdrehung der Platte in ihrer eigenen Ebene um die Objektivachse, die Neigung der Projektorachse gegen den Horizont und ihre Verschwenkung in azimutalem Sinne um eine vertikale Achse durch

das Objektiv. Die räumliche Entfernung der beiden Projektoren *I* und *II* wird nach Abb. 53 hergestellt. Sind φ der Verschwenkungswinkel der Basis *b* in der *x-y*-Ebene, ϑ der Neigungswinkel gegen dieselbe Ebene und $1:m$ der Kartenmaßstab, so erhält man die räumliche Lage der verjüngten Basis, wenn der Projektor *II* gegen den Projektor *I* genähert wird:

$$\text{a) in der } y\text{-Richtung um } \Delta y = \frac{b}{m} \cos \vartheta \sin \varphi,$$

$$\text{b) in der } z\text{-Richtung um } \Delta z = \frac{b}{m} \sin \vartheta \text{ und}$$

$$\text{c) in der } x\text{-Richtung um } \Delta x = \frac{b}{m} \cos \vartheta \cos \varphi$$

Für die Rekonstruktion des Strahlenganges zweier aufeinanderfolgenden Aufnahmen sind also für den Modellmaßstab $1:m$ streng genommen neun Einstellungen erforderlich. Sie erfolgen aber nicht auf Grund errechneter Daten für die Plattenverkantung, die azimutale Verschwenkung, die Neigung der Kammerachse und für die räumliche Basis, sondern auf Grund eines mechanisch optischen Vorganges.

Die exakte Berechnung der Koordinaten jedes Standpunkts durch Lösung des Rückwärtseinschnittes erfordert nicht nur 6–10 Tage Rechenarbeit, sondern noch die Zeit für die terrestrische Winkel- und Höhenbestimmung dreier Festpunkte. Durch verschiedene Näherungsmethoden kann allerdings die Rechenarbeit auf 4–6 Stunden herabgemindert werden, immerhin bleibt auch dann noch die Lösung des räumlichen Rückwärtseinschnittes für jede Platte höchst unwirtschaftlich. Hinzu kommt dann noch, daß bei Senkrechtaufnahmen der Rückwärtseinschnitt unlösbar wird oder schlechte Ergebnisse liefert, wenn der Standpunkt im Luftraum mit den drei irdischen Festpunkten auf oder in der Nähe der Oberfläche des geraden (gefährlichen) Zylinders liegt. (Etwas Ähnliches, der gefährliche Kreis, besteht auch für die Unlösbarkeit des Rückwärtseinschnittes in der Ebene. Der Kreis ist hier die Projektion des Zylinders.)

Die Orientierung der Platten nach dem mechanisch optischen Verfahren benötigt die angenäherten Daten der Neigung und Verschwenkung der Aufnahmeachse, der Verkantung der Platte, dann die Höhen dreier Punkte (zwei Höhenunterschiede) und die Länge der Entfernung zweier Punkte. Die Winkeldaten für die äußere

Orientierung werden bei Schrägaufnahmen an besonderen Vorrichtungen der Aufnahmekammer abgelesen, bei Senkrechtaufnahmen bedarf man ihrer kaum. Der Orientierungsvorgang selbst erfolgt in drei Stufen:

1. Herstellung des stereoskopischen Effekts von der Landschaft,
2. das Ausrichten (Orientieren zum Lot) des Modells und
3. die Herstellung der gewünschten Maßstäblichkeit des Modells.

Der Inag-Doppelprojektor nach Gasser

Jeder der beiden horizontal angeordneten Projektoren ist um drei Achsen beweglich, die sich im vorderen Hauptpunkt des Objektivs schneiden, Abb. 54. Eine Bewegung der Projektoren um die vertikale Achse stellt die azimutale Richtung der Längsachse der Projektoren her. Um diese Längsachse läßt sich die Platte drehen, wodurch der Kantungswinkel „ eingestellt wird. Eine Drehung der Längsachse um die zu ihr senkrecht stehende wagerechte Achse verleiht ihr die Neigung“. Außerdem sind die beiden Projektoren gegeneinander in den drei Richtungen nach Abb. 53 beweglich, so daß die Verbindungslinie der vorderen Hauptpunkte der Objektive die im Maßstabe 1 : m erscheinende Basis räumlich darstellt. Der mehr horizontale Gang der Bildstrahlen wird durch zwei Reflektionsspiegel in einen nach unten gerichteten, vertikalen Gang umgewandelt. Die Brennweiten der Projektionslinsen sind einander gleich, weichen aber von der Brennweite der Aufnahmekammer ab, damit die Projektionen bereits in der Entfernung des Auffangtisches scharf erscheinen. Die Tischplatte läßt sich durch eine Mikrometerschraube in jede gewünschte Höhenlage bringen, die bis auf 0,01 mm Ablesegenauigkeit hat.

Die Orientierung der Platten erfolgt in zwei Stufen. Zunächst werden die Platten gemäß ihrer inneren Orientierung in die Projektoren eingelegt. Dazu dienen die bei der Aufnahme mitphotographierten Marken, die gleichzeitig den Schnitt der optischen Achse mit der Platte angeben. Sie werden mit den Marken des Plattenrahmens zur Deckung gebracht, der sich in einer Entfernung gleich der Aufnahmetrennweite vom hinteren Hauptpunkte des Objektivs befindet.

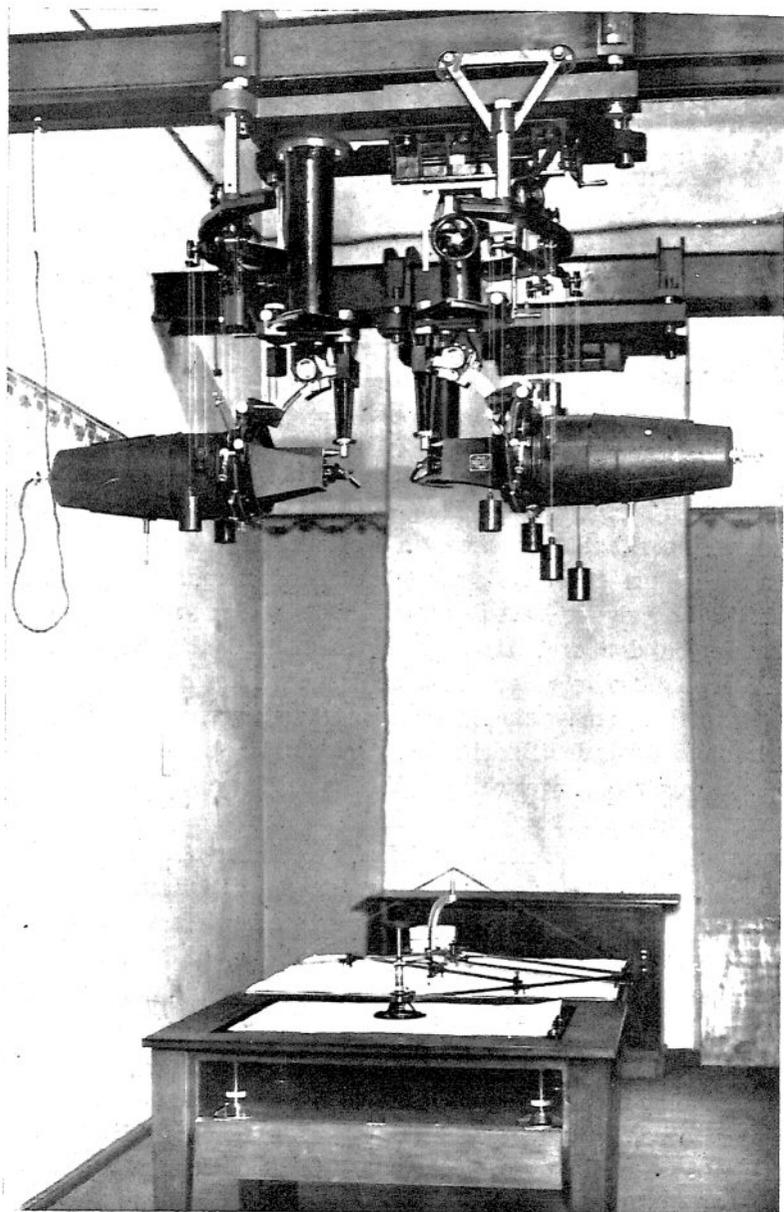


Abb. 54
Der Doppelprojektor nach Dr. Gasser, Berlin

Der zweite Schritt der Orientierung besteht darin, die Platten gegenseitig zu orientieren. Zu dem Zwecke wird auf den Auffangtisch eine Kartierung von drei Festpunkten im Maßstab 1 : m gelegt und die Tischplatte langsam in die Höhe gehoben. Dabei werden die Plattenhalter solange um die Längsachse der Projektoren gedreht, die Projektoren selbst um die Vertikalachse solange verschwenkt, um die wagerechte Achse geneigt, und gegeneinander solange entfernt oder genähert und solange ihre Höhenlage geändert, bis die Bildstrahlen der drei Festpunkte durch die kartierten Festpunkte

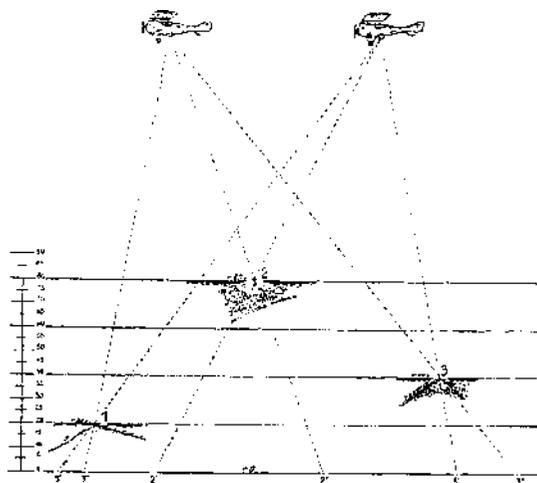


Abb. 55

Das Blinkverfahren im Schnitt

hindurchgehen. Dadurch ist die Gewähr vorhanden, daß sich auch alle anderen Bildstrahlen irgendwo im Raume schneiden und ein optisches Modell der Landschaft hervorbringen, wenn es auch als Modell aus durchgehendem Lichte nicht gesehen wird. Dabei wird aber das Modell noch schief zur Tischplatte stehen. Um es lotrecht zu richten, müssen auch die Höhenunterschiede der Festpunkte bekannt sein, mit deren Hilfe die Aufrichtung leicht erfolgen kann. Beleuchtet man aber die Platten nicht gleichzeitig, sondern abwechselnd nacheinander, blinkt man also, und hebt dabei den Auffangtisch langsam in verschiedene Lagen, z. B. wie in Abb. 55 angedeutet, so

werden die Bilder der Geländepunkte von beiden Platten zum Teil auf verschiedene Tischstellen fallen, zum Teil auf dieselbe. Die letzteren gehören dem optischen Modell an. Bei dem Erkennen der Modellpunkte ist es also nur nötig, das ruhende einfache Bild von den beweglichen Doppelbildern zu unterscheiden. Sie können dann markiert oder, wie Abb. 56 zeigt, mittels eines Pantographen auf ein geson-

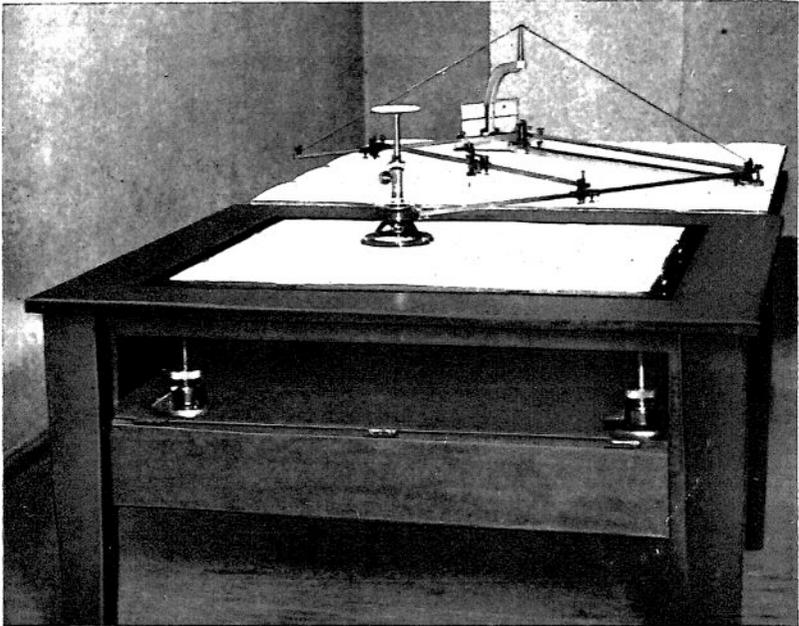


Abb. 56

Die Übertragung der Modellpunkte nach dem Blinkverfahren
mittels Pantographen auf einen Nebentisch

deres Zeichenbrett übertragen werden. Auf diese Weise entsteht fortschreitend der Lageplan (Abb. 57). Da die jeweilige Höhe des Auffangtisches an einem Vertikalmaßstabe in Zehnteln von Millimetern abgelesen werden kann und der Maßstab des Modells bekannt ist, können auch die Höhen den kartierten Punkten beige-schrieben werden, wenn nur die Höhe eines Modellpunktes über NN bekannt ist.

Hat man auf diese Weise das erste Plattenpaar ausgewertet, so wird die Platte aus dem ersten Projektor entfernt und an ihre Stelle

die Platte des zweiten eingesetzt, in den zweiten Projektor kommt aber jetzt die dritte anschließende Platte. In Ermangelung trigonometrischer Festpunkte dienen für die Orientierung dieses Plattenpaares und der folgenden Paare immer die kartierten Kartenpunkte des vorhergehenden Plattenpaares, so daß streng genommen nur drei terrestrisch bestimmte Festpunkte für die ganze Kartenherstellung notwendig sind. Um sie aber auf eine sichere Basis zu stellen, ist

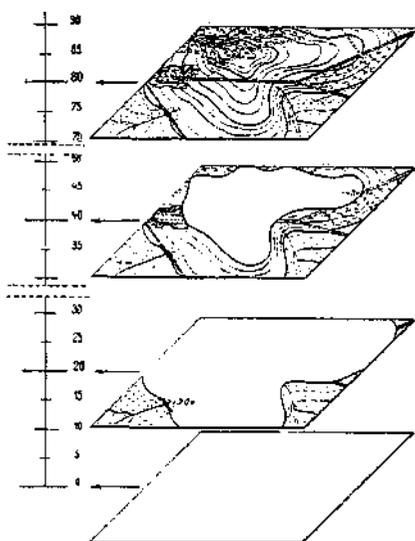


Abb. 57

Die allmähliche Entstehung einer Karte
nach dem Gasserschen Verfahren
(Blinkverfahren)

es doch zweckmäßig, jedes fünfte oder sechste Plattenpaar nach trigonometrisch bestimmten Festpunkten zu orientieren.

Der Vorgang der Orientierung ist folgender: Bei richtiger Lage der Platten müssen sich die Strahlen entsprechender Punkte irgendwo schneiden, d. h. die zwei Teilbilder eines Punktes fallen entweder in der eingestellten Tischhöhe zusammen, oder ihre Verbindungslinie liegt — falls der Schnittpunkt höher oder tiefer gelegen ist — ungefähr parallel zur Verbindungslinie der Objektivhauptpunkte beider Projektoren (Abb. 55). Liegen aber die Platten irgendwie falsch,

so wird das nicht der Fall sein; die meisten Strahlen werden sich nicht schneiden, sondern aneinander vorübergehen. An der Stelle ihres kürzesten Abstandes liegen die Bildpunkte nebeneinander und ihre Verbindungslinien verlaufen senkrecht zur Verbindungslinie der Objektivhauptpunkte beider Projektoren. Aus der Größe und Verteilung dieser Fehler auf dem Auffangtisch erkennt man die notwendigen Verbesserungen der Plattenlage. Die Orientierung der Platten nach diesen Kennzeichen erfordert durchschnittlich eine Stunde Zeit.

Was die Genauigkeit der Kartenherstellung nach diesem Verfahren anbelangt, so will die Gesellschaft Photogeodätik zu Berlin Bürgschaft für absolute Genauigkeit übernehmen, d. h. Fehler dürfen nur innerhalb der Zeichengenauigkeit liegen. Sie stützt sich dabei auf die Tatsache, daß die Höheneinstellung des Tisches auf $\frac{1}{10}$ mm erfolgen und auf $\frac{1}{100}$ mm abgelesen werden kann. Diese Mitteilung besagt leider sehr wenig. Die Genauigkeit der Kartenherstellung hängt doch nicht allein von der Möglichkeit ab, die Höhenlage des Tisches hinreichend genau einstellen zu können, sondern auch von der Möglichkeit, die Lage der Schnittpunkte der Lichtstrahlen genau zu erkennen. Hier werden sich aber zwei Schwierigkeiten entgegenstellen. Einmal ist es die Winkelgröße, unter denen sich die Lichtstrahlen schneiden, das andere Mal die Unschärfe des Bildpunktes auf dem Auffangtisch. Da die Flughöhe im Vergleich zur Basis sehr groß ist, sind die Schnittwinkel der rekonstruierten Lichtstrahlen sehr spitz. Der Beobachter wird daher im allgemeinen nicht in der Lage sein zu erkennen, ob der wahre Schnittpunkt einige Millimeter höher oder tiefer gelegen ist. Beträgt die Unsicherheit nur ± 3 mm, so ergeben sich ohne Rücksicht auf die Zeichen- und Ablesegenauigkeit schon Höhenfehler von ± 15 m im Kartenmaßstabe 1 : 5000, von ± 30 m in einem solchen von 1 : 10 000 usw. Die Fehler in der horizontalen Lage der zu kartierenden Punkte werden allerdings geringer ausfallen.

Eine fortlaufende Scharfeinstellung der beiden Projektionen ist auch nicht vorhanden, sondern man begnügt sich mit einer mittleren Schärfe des optischen Modells. Da aber jede Unschärfe gleichwertig ist mit einer gewissen Breite des Lichtstrahles, so wird es auch aus diesem Grunde unmöglich sein, den wahren Schnittpunkt bis auf

Zeichengenauigkeit zu erhalten. Hinzu kommt dann noch der Einfluß der mit anderen Verzeichnungsfehlern behafteten Bildstrahlen auf dem rückwärtigen Wege durch die Projektionslinse, weil ihre Brennweite eine andere ist als die der Aufnahmelinse.

Trotz dieser erheblichen Bedenken gegen die Bewährung dieses Auswertegerätes hat eine private tachymetrische Aufnahme der Gegend von Falkenberg bei Eberswalde von etwa 89 ha ergeben, daß besondere Abweichungen in der Kartenherstellung nach dem Inag-Verfahren nicht vorhanden waren. Die Gesellschaft Photogeodätik hatte auch große Aufträge in Spanien, für die die Kartenherstellung mit diesem Gerät ausgeführt wurde.

Der Autokartograph von Hugershoff

Der Autokartograph von Prof. Dr. Hugershoff, Dresden (Abb. 58), besteht aus dem Meßsystem, dem Betrachtungssystem und dem Kartierungssystem. Meßsystem und Kartierungssystem sind durch Kupplungen miteinander verbunden. Zum Meßsystem gehören nach Abb. 59 die beiden Bildträger B_1 und B_2 mit je einem Projektor sowie die beiden Reflektoren Rf_1 und Rf_2 . Zum Betrachtungssystem ist das auf Unendlich fokussierte, binokulare Fernrohr RR zu rechnen. Das Kartierungssystem besteht aus den beiden Linealen L_1 und L_2 , die durch Kuppelungen mit den Bildträgern in Verbindung stehen und sich um festgelagerte Punkte C_1 und C_2 verschwenken lassen, sowie aus den Höhenlinealen L'_1 und L'_2 , die durch die Kuppelungen mit den Reflektoren verbunden und um die festen Punkte C'_1 und C'_2 ebenfalls horizontal drehbar sind. Außerdem gehören zum Kartierungssystem drei Tische, ein mittlerer für die Horizontalkartierung und die beiden seitlichen für die Höhenkonstruktionen und Höhenablesungen.

Die innere Orientierung der Projektoren muß der der Aufnahmekammer entsprechen, d. h. ihre Objektive müssen gleichartig mit dem Aufnahmeobjektiv sein und die Brennweitenlinien müssen durch die Schnittpunkte der Verbindungslinien der Marken der Plattenträger M_1 und M_2 gehen. Die Objektive sind also auswechselbar und die Entfernung der Plattenhalter veränderlich. Dadurch, daß optisch gleichartige Objektive benutzt werden, erreicht man den Vorteil, daß die Bildstrahlen von den mit Verzeichnungsfehlern ver-

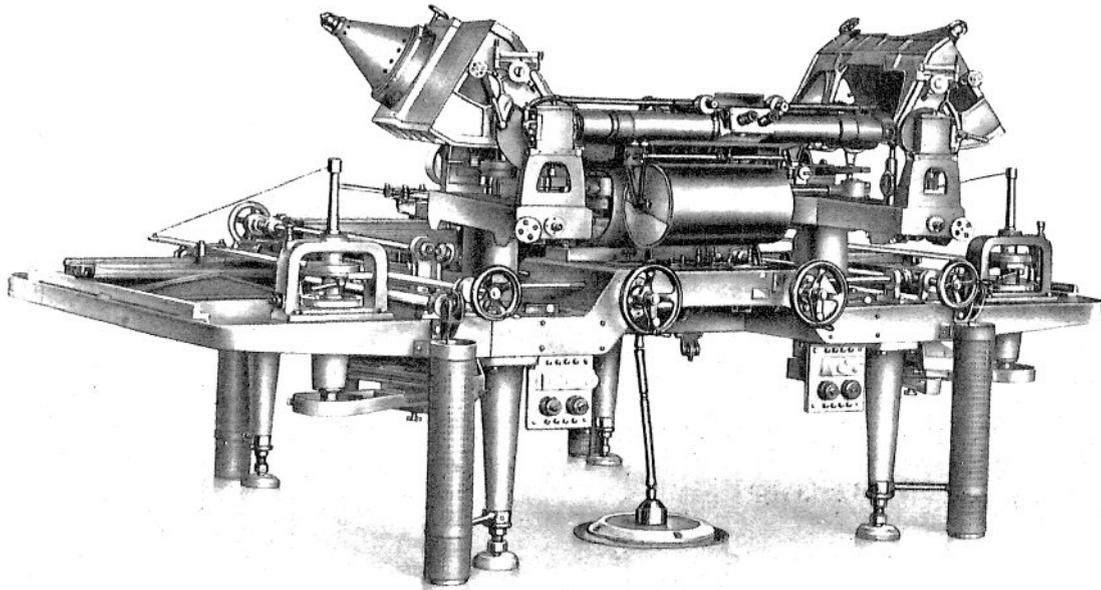


Abb. 58
Autokartograph nach Hegershoff

jektive als Achse in ihrer eigenen Ebene um beliebige Winkelwerte „ verdrehbar. Dann können die Projektoren um die horizontalen Achsen H_1H_1 und H_2H_2 durch den vorderen Hauptpunkt der Objektivlinsen um den Winkelbetrag „ so geneigt werden, wie zur Zeit der Aufnahme die Kammer gegen den Horizont geneigt war. Endlich können noch die Bildträger einschließlich Projektoren in azimutalem Sinne um die vertikalen Achsen V_1 und V_2 , die ebenfalls durch den vorderen Hauptpunkt der Linsen gehen, verschwenkt werden (Abb. 59).

Die Reflektoren besitzen drei Spiegel, um die Bildstrahlen der Projektoren in das binokulare Fernrohr hineinzureflektieren. Sie lassen sich um die Horizontalachsen H_1H_1 und H_2H_2 kippen, so daß Reflektoren und Projektoren zusammen je einen Bildmeßtheodoliten zur Einstellung von Richtungen darstellen. Die Standpunkte der Theodolite sind die vorderen Hauptpunkte der Projektionslinsen. Während aber beim gewöhnlichen Theodolithen die Einstellung nach Objektpunkten erfolgt und die dazu gehörigen horizontalen und vertikalen Bewegungen von einem einzigen Theodolittell, seinem Fernrohr, ausgeführt werden, werden beim Bildmeßtheodoliten Bildpunkte anvisiert und die dazu gehörigen Bewegungen von zwei verschiedenen Instrumentteilen ausgeführt, nämlich die horizontalen vom Bildträger und die vertikalen vom Reflektor.

Das Fernrohr ist horizontal und unbeweglich gelagert. Es besitzt noch zwei Reflektionsspiegel, die im Verein mit den drei Spiegeln der Reflektoren die seitliche Lage des Bildes in den Projektoren in eine frontale umwandeln. Werden sie durch die beiden Okulare Ok betrachtet, so erblickt das Auge das virtuelle Raumbild des aufgenommenen Geländes. In den Bildebenen der beiden Okulare ist je eine feststehende Marke angebracht, die sich beim binokularen Sehen zu einer virtuellen, in das Raumbildmodell hinausprojizierten Marke vereinigen. Durch Verschiebung des Raummodells nach drei zueinander senkrecht stehenden Richtungen x , y und z kann jeder Punkt der Landschaft an die Marke herangeführt und dadurch die Karte der Landschaft der Lage nach festgestellt und die Höhen abgelesen werden.

Sind F_1 und F_2 zwei identische Bildpunkte, so sind sie eingestellt, wenn die Projektoren solche horizontalen Verdrehungen α_1 und α_2 und die Reflektoren solche vertikale Kippungen ν_1 und ν_2 erhalten,

daß die neuen Bilder mit den Bildern der Meßmarken m_1 und m_2 zusammenfallen. Dadurch aber, daß die Bildträger B_1 und B_2 durch die Kuppelungen mit den Linealen L_1 und L_2 verbunden sind, müssen diese Lineale gegen die parallelen Richtungen y denselben Winkel α_1 und α_2 einnehmen, d. h. der Schnittpunkt S beider Lineale ist der mechanisch vorwärts abgeschnittene Kartenpunkt. Die vertikalen Kippungen γ_1 und γ_2 der Reflektoren werden nach Abb. 59 durch Kegelräder in eine horizontale Drehung der Gelenkkuppelungen umgewandelt, so daß die Höhenlineale L'_1 und L'_2 gegen ihre Nullrichtungen $C_1 Q_1$ und $C_2 Q_2$ denselben Winkel γ_1 und γ_2 einnehmen. Ein durch Hängegewicht unter konstantem Zug gehaltenes Invarband verbindet den Punkt S über die Drehungspunkte C_1 und C_2 mit den auf Führungen G gleitenden Höhenbrücken Br_1 und Br_2 und zwar so, daß immer der Abstand der Höhenbrücke vom zugehörigen Drehzapfen C'_1 und C'_2 gleich ist dem Abstände $C_1 S = a_0$ bzw. $C_2 S = b_0$. Hieraus erkennt man, daß z_1 und z_2 die Höhenunterschiede des Raumpunktes P gegen die Aufnahmestandpunkte A und B im Kartenmaßstab sind.

Das Heranführen der einzelnen Modellpunkte an die Raummarke geschieht durch die Handräder x und y und durch den Fußantrieb z . Das y -Rad bewegt einen Kreuzschlitten der Tiefe nach, das x -Rad erteilt dem oberen Teile des Kreuzschlittens mit dem Zeichenstift seitliche Bewegungen. Der Gleitkörper des Zeichenstiftes besteht aus zwei gegeneinander verdrehbaren Teilen, so daß er den verschiedenen Drehungen der Lineale folgen kann. Durch die Bewegungen des Zeichenstiftes nehmen die Lineale verschiedene Winkel gegen ihre Nulllage ein und insofern werden durch die Kuppelungen verschiedene Bildpunkte an der Meßmarke des Betrachtungssystems erscheinen. Wird diese Bewegung solange fortgesetzt, bis der gewünschte Modellpunkt p oben — oder unterhalb der Raummarke m erscheint, so entspricht der Kartenpunkt S dem Modellpunkt p . Die Entfernung des Zeichenstiftes S von den festen Punkten C_1 und C_2 wird durch die Invarbänder auf die vertikalen Entfernungen der Höhenbrücken Br_1 und Br_2 von den festen Punkten C'_1 und C'_2 übertragen.

Das Höhenrad z greift mittels Transportspindeln an den Gleitkörpern U_1 und U_2 an. Werden diese solange bewegt, den Höhenlinealen also solche Neigungen ν gegen ihre Nulllagen erteilt, daß

durch die Gelenke und Reflektoren der Modellpunkt p an die Raummarke m gehoben oder gesenkt erscheint, so sind z_1 und z_2 die Höhenunterschiede gegen die Aufnahmestandpunkte A und B . Durch Addition dieser Höhenunterschiede zu den Höhen der Standorte erhält man die Höhe für P doppelt. Klemmt man die Gleitkörper U_1 und U_2 für bestimmte Höhenunterschiede gegen die Aufnahmeorte A und B fest und bewegt den Zeichenstift S mit dem x - und y -Rad so, daß die Raummarke die Oberfläche des Modells dauernd berührt, so zeichnet der Zeichenstift eine ganz bestimmte Horizontalkurve.

Da der Abstand der Linealdrehpunkte C_1 und C_2 konstant ist, wird zunächst jede Karte im Maßstabe

$$C_1 C_2$$

Länge der Basis

gezeichnet. Um aber die Karten auch in anderen Maßstäben zu erhalten, besitzt der Richtungsschlitten eine Einrichtung zur Einstellung jedes gewünschten Maßstabes.

Da die Zeichenfläche für die Grundrißdarstellung weit abseits vom Beobachter liegt, und es dadurch nicht möglich ist, die richtige Punktfolge in der Kartenherstellung zu verfolgen, besitzt der Autokartograph unterhalb des Doppelokulars eine Zeichentrommel. Der über diese zweite Zeichenfläche geführte Stift ist mit dem x -Radantriebe gekuppelt, so daß er sich nach links und rechts bewegen kann. An die Stelle einer Tiefenänderung des Bleistiftes aber tritt eine Drehung der Zeichentrommel. Die Drehung wird hervorgerufen durch eine Kuppelung mit der Transportspindel des y -Rades, so daß bei einer Wanderung der Meßmarke in die Ferne die Trommelfläche in Richtung auf den Beobachter rotiert und umgekehrt. Auf diese Weise entsteht unmittelbar vor den Augen des Beobachters eine zweite Karte. Dabei können die Maßstäbe der Zeichnung auf dem Zeichentisch und der Trommel durch Kuppelungen so eingestellt werden, da sie sich verhalten wie 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3, 1 : 4 und 2 : 1, 3 : 1.

Auf den ersten Blick erkennt man, daß der Autokartograph vornehmlich für die Auswertung von Schrägaufnahmen zu verwenden ist. Sollen mit ihm Senkrechtaufnahmen ausgewertet werden, so muß man sich nur vorstellen, daß das Landschaftsmodell wegen der horizontalen Projektionseinrichtung der Projektoren um 90° aufgeklappt

erscheint. Die x -Achse behält ihre Richtung, das horizontale Hintereinander der Gegenstände bei Schrägaufnahmen wird aber bei Senkrechtaufnahmen zu einem Übereinander, dessen Ausmessung mit den Reflektoren betätigt wird. Es ist daher nur notwendig, die Drehungsachse der Trommel von der Spindel des y -Rades zu lösen und dafür mit der Antriebswelle der Höhenlineale zu kuppeln.

Aus Vergleichsmessungen zwischen der Landesaufnahme Sachsen und Hegershoff im April 1923 hat sich der m. F. einer im Autokartographen einmal gemessenen Strecke von 100 m Länge zu $\pm 0,38$ m und einer Höhe zu $\pm 0,37$ m ergeben. Damit ist der Beweis erbracht, daß sich das Auswerteverfahren mit diesem Kartierinstrument bei Herstellung von topographischen Karten und Übersichtsplänen vollständig bewährt. Ausländische Behörden haben auf Grund von Versuchsmessungen dieselbe Überzeugung gewonnen. So hat in der Schweiz im Jahre 1924 die Eidg. Landestopographie eine eingehende Genauigkeitsuntersuchung durchgeführt. Mit einer Handkamera, deren Brennweite 165 mm war, wurden in der Gemeinde Wangen bei Dübendorf im Kanton Zürich Schrägaufnahmen aus 1200 m Flughöhe mit etwa 30° geneigter Aufnahmeachse gegen den Horizont und einer Basislänge von 400 m ausgeführt. Von den 18 Platten wurden von Herrn Prof. Dr. Hegershoff 2 Plattenpaare (also 4 Platten) als besonders geeignete für die Auswertung ausgewählt. Die Orientierung je eines Plattenpaares auf Grund von drei Festpunkten erforderte 6—7 Stunden Arbeitszeit. Als Unterlage für die Orientierung und eigentliche Prüfung wurde ein Übersichtsplan im Maßstabe 1:10 000 benutzt. Er war nach Meßtischaufnahmen hergestellt. Sein Quadrat- und Festpunktsnetz wurde aber noch unmittelbar vor der Abreise nach Dresden mit einem Koordinatographen in Bern geprüft und innerhalb einer Genauigkeit von 0,1 mm als richtig aufgetragen befunden. Aus diesem Ergebnis wurde auch auf die Richtigkeit der ganzen Kartierung geschlossen. In Dresden wurden dann 50 Festpunkte und 53 andere gut erkennbare Punkte durch den Autokartographen auf den Gemeindeübersichtsplan gestochen und ihre Höhen am Höhenmaßstabe abgelesen. Aus den Widersprüchen zwischen Planpunkt und gestochenem Punkt ist der mittlere Lagefehler berechnet worden. Er ergab sich zu

$$m_l = \pm 4,3 \text{ m oder im Plan} = \pm 0,43 \text{ mm.}$$

Der mittlere Höhenfehler einer im Autokartographen einmal eingestellten und am Höhenmaßstab abgelesenen Höhe eines Geländepunktes wurde zu

$$m_h = \pm 1,10 \text{ m ermittelt.}$$

Außerdem wurden in dem Gemeindeübersichtsplan auch Höhenkurven nach der kontinuierlichen Methode eingezeichnet. Sonderbarerweise waren aber hier die Fehler größer, als es die mittleren Lage- und Höhenfehler erwarten ließen. Die größten Höhenabweichungen betragen 4—5 m. Ihre Begründung erblickte man schließlich in der Ungeübtheit des kartierenden Assistenten.

Der Stereoplanigraph nach Bauersfeld

Der Stereoplanigraph (Abb. 60) besteht aus drei Hauptbestandteilen: 1. den beiden Bildträgern, 2. den beiden Fernrohren einschließlich Betrachtungssystem und 3. aus dem Koordinatographen. In den Bildträgern sind die Platten auf einem auswechselbaren Rahmen befestigt, damit die Plattenebene vom Projektionszentrum einen Abstand gleich der Brennweite des Aufnahmeapparates hat. Die Verbindungslinien der Markenpaare auf dem Rahmen schneiden sich im Bildhauptpunkte. Die Projektionslinse ist im optischen Sinne gleichartig mit der jeweiligen Aufnahmelinse. Die innere Orientierung der Bildplatten gegenüber dem Projektionszentrum ist also wiederherstellbar. Für die Wiederherstellung der äußeren Orientierung sind die Bildträger um drei Achsen drehbar (Abb. 61 a—d): 1. um die Kammerachse zur Herstellung der Verkantung (8), 2. um eine Horizontalachse durch das Projektionszentrum zur Einstellung der Neigung der Kammerachse (9) und 3. um die Vertikalachse durch das Projektionszentrum zur Einstellung der Verschwenkung (7).

Das Fernrohr besteht aus dem Objektiv, einer Meßmarke anstatt des üblichen Fadenkreuzes und dem Okular, nur ist dieses Fernrohr etwas ungewöhnlich gebaut, da das Verbindungsstück zwischen Objektiv und Okular fehlt. Das Objektiv besteht aus zwei Linsen, einer Sammel- und einer Zerstreuungslinse. Sein rückwärtiger Hauptpunkt fällt mit dem vorderen Hauptpunkt der Projektionslinse zusammen und ist um diesen Hauptpunkt, der gleichzeitig den Aufnahmestandpunkt darstellt, drehbar. Die Verbindung des Objektivs

mit dem Betrachtungssystem stellt ein seitlich angebrachter Lenker (3) her. Dieser Lenker hat die Aufgabe: 1. das Objektiv so zu richten, daß seine Achse nach der Meßmarke P bzw. Q weist, 2. die Ebenen der Meßmarken P und Q normal zur Ziellinie zu halten, 3. die Brennweite des Objektivs zu regeln, damit die Bildstrahlen verschieden entfernter Landschaftspunkte so gebrochen werden, daß ihre Schnittpunkte mit der Meßmarke zusammenfallen. Zu diesem Zwecke gleitet der Lenker durch ein Führungsstück (4) am Objek-

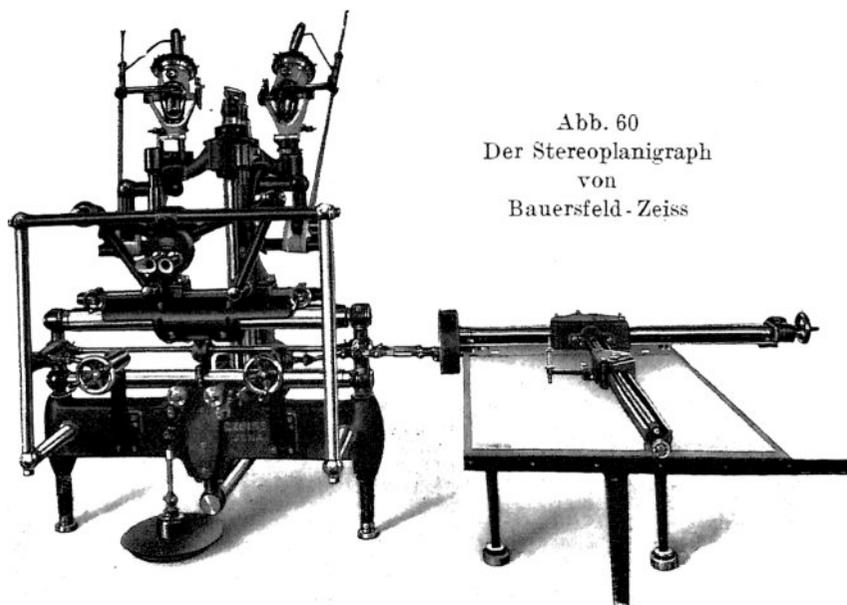
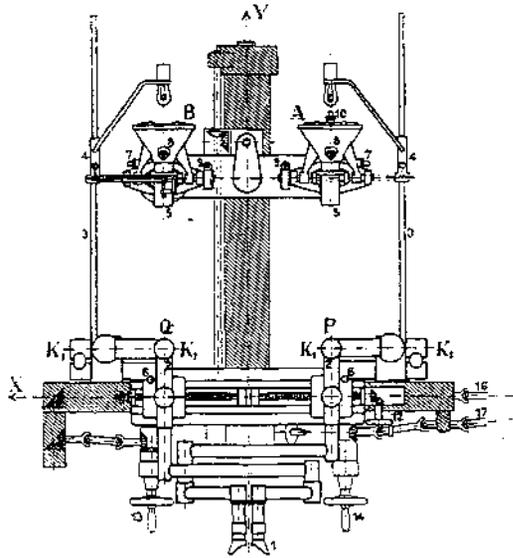


Abb. 60
Der Stereoplanigraph
von
Bauersfeld-Zeiss

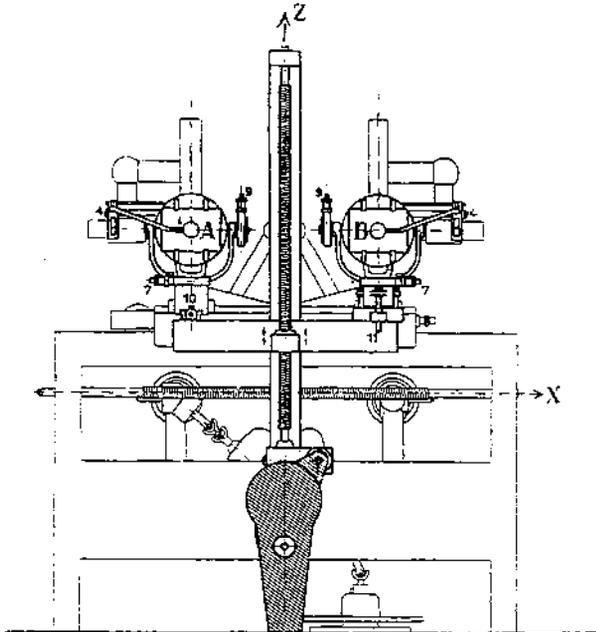
tiv und betätigt einen Hebel zur Verschiebung der Sammellinse. Mit dem Führungsstück steht eine Lichtquelle in Verbindung, die den eingestellten Punkt auf der Platte besonders gut beleuchtet.

Das Betrachtungssystem (1) ist binokular und enthält in der Bildfeldebene die beiden Marken P und Q . Damit jeder Modellpunkt an der Marke auch scharf erscheint, ist es notwendig, die Bildstrahlen beim Eintritt in das Fernrohr so zu brechen, daß das scharfe Bild in jeder gewünschten Entfernung erscheint. Zu dem Zweck besteht das Objektiv aus zwei Linsen, einer konvexen und konkaven. Wird die Entfernung der konvexen Linse von der konkaven geändert, so ändert sich auch die Bildweite.

Die Luftbildmessung

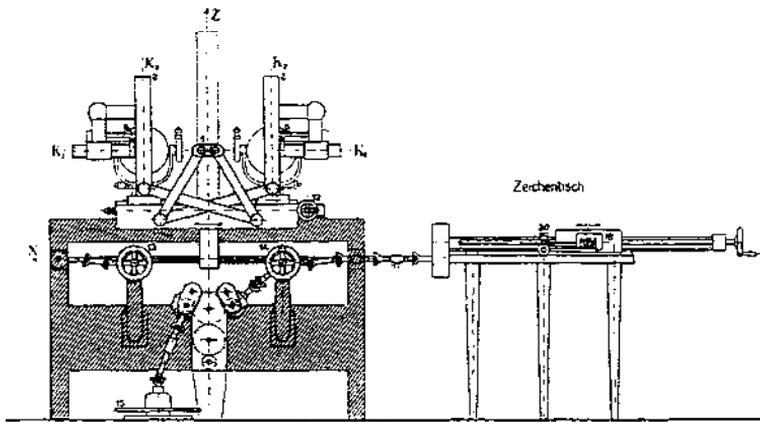


a) Draufsicht

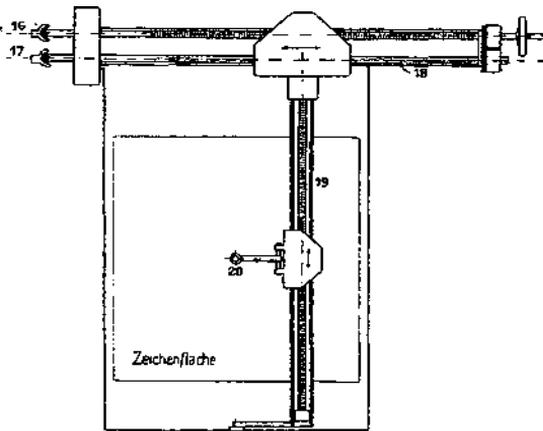


b) Hinteransicht

Abb. 61



c) Vorderansicht



d) Zeichentisch

Abb. 61

Schematische Darstellungen des Stereoplanigraphen von Bauersfeld

Die Projektorenkammer einschließlich Fernrohr kann als Mikroskop aufgefaßt werden, wobei die Projektionslinse als Lupe wirkt. Mithin ist die Mikroskopvergrößerung

Mikroskopvergr. = Vergrößerung der Lupe \times Vergr. des Fernrohres

Da die

$$\text{Lupenvergrößerung} = \frac{\text{deutliche Sehweite}}{\text{Brennweite der Kammer}}$$

und die

$$\text{Fernrohrvergrößerung} = \frac{\text{Brennweite des Objektivs}}{\text{Brennweite des Okulars}}$$

sind, so folgt

$$\begin{aligned} \text{Mikroskopvergr.} &= \frac{\text{Deutliche Sehweite} \times \text{Brennw. des Objektivs}}{\text{Brennw. d. Kammer} \times \text{Brennw. d. Okulars}} = \\ &= \text{Vergr. d. Okulars} \times \frac{\text{Brennweite des Objektivs}}{\text{Brennweite der Kammer}} \end{aligned}$$

Nun ist die Brennweite des Objektivs wegen der Scharfeinstellung wohl sehr verschieden aber immer proportional der eingestellten Punktentfernung s im Kartenmaßstab, mithin

$$\text{Mikroskopvergr.} = \frac{\text{Vergrößerung des Okulars} \times s \times \text{Kartenmaßstab}}{\text{Brennweite der Kammer}}$$

Wird jetzt die Frage aufgeworfen, wie groß die Gegenstände des Raummodells der Landschaft erscheinen, so hängt ihre Größe nicht allein von der Mikroskopvergrößerung ab, sondern auch von der Größe des Bildes im Reflektor. Die Bildgröße auf der Platte hängt aber ab von der Punktentfernung s , von der Gegenstandsgröße g und der Aufnahmebrennweite oder in einer Formel ausgedrückt

$$b = g \frac{f}{s}.$$

Das Modellobjekt erscheint also in der Größe

$$\begin{aligned} \text{Modellobjekt} &= g \frac{f}{s} \times \frac{\text{Vergr. d. Okulars} \times s \times \text{Kartenmaßstab}}{f} = \\ &= g \times \text{Vergr. des Okulars} \times \text{Kartenmaßstab.} \end{aligned}$$

Gleich große Objekte erscheinen in konstanter Größe, ganz gleichgültig, ob sie sich weit oder nahe vom Standpunkte befunden haben. Damit aber der Anblick der Landschaft dem stereoskopischen Anblick in etwa entspricht, muß dem linken Auge auch das linke Auf-

nahmebild in A und dem rechten Auge das rechte Bild in B vorgeführt werden. Wie dies praktisch ausgeführt worden ist, ersieht man aus den Abbildungen.

Die Einstellung der räumlichen Basis b erfolgt aber nicht wie in Abb. 53 angedeutet ist, indem die Projektionskammer B allein gegen die mit A bezeichnete um die Koordinatenprojektionen Δx , Δy , Δz eines Koordinatenkreuzes mit dem Projektionszentrum der Kammer A als Nullpunkt und einer Parallelen zur Verbindungslinie der Meßmarken P und Q als Abszisse verschoben wird, sondern diese Koordinatenprojektionen werden an drei verschiedenen Instrumentteilen eingestellt. Der Bildträger A wird mit der Vorrichtung (10) in der y -Richtung um Δy verschoben, der Bildträger B durch die Vorrichtung (11) in der z -Richtung um Δz . Schließlich wird noch der zu P gehörige Markenträger gegen Q um Δx verschoben (12). Stellt man sich die Verschiebungen räumlich vor, so erkennt man, daß die Strecken AP und BP eines Punktes P in richtiger Größe und Orientierung erhalten werden.

Die Einstellung der Punktkoordinaten erfolgt mit den beiden Handrädern (13) und (14) sowie durch das Fußrad (15). Das Handrad (13) betätigt mit Hilfe von Kegelrädern die x - oder Richtungsspindel für die seitliche Verschiebung der Meßmarken P und Q und weiter die Übertragung (16) des Koordinatographen. Durch sie wird der Arm (19) mit dem Zeichenstift (20) nach rechts und links bewegt. Bei Schrägaufnahmen bewegt das Handrad (14) einen Kreuzschlitten, der aus einem in die Tiefe gehenden Arm und einem in die Höhe gehenden besteht. Der Höhenarm trägt die beiden Bildträger A und B . Gleichzeitig versetzt das Handrad (14) durch die Übertragung (17) auch die Spindel (19) in Drehung, so daß der Zeichenstift aufwärts oder abwärts, also ebenfalls in der y -Richtung bewegt wird. Das Fußrad (15) betätigt die Spindel des vertikalen Armes des Kreuzschlittens. Dadurch wird die gemeinsame Hebung oder Senkung der Bildträger ausgeführt, so daß die virtuelle Raummarke dem eingestellten Modellpunkt scheinbar aufgesetzt wird.

Da beim Stereoplanigraphen die Projektionsrichtung der Bildkammern ebenfalls eine horizontale ist, müssen die Bilder von Senkrechtaufnahmen ein um 90° aufgeklapptes Landschaftsmodell ergeben. Das Über- und Untereinanderliegen der Objekte ist daher mit Hilfe der Höhenspindel einzustellen sowie durch das y -Rad und

die Übertragung (17) als Ordinate auf das Zeichenbrett zu übertragen. Deshalb muß bei der Auswertung der Senkrechtaufnahmen das Fußrad (15) von der Höhenspindel gelöst und diese mit der Übertragung (17) gekuppelt werden. Die relativen Höhen der Objekte gehen beim Landschaftsmodell in die horizontale Tiefe und müssen daher mit der y - oder Tiefenspindel eingestellt werden, d. h. das Fußrad (15) ist mit dieser Spindel zu kuppeln.

Bei der Auswertung der Senkrechtaufnahmen erhält man die Horizontalkurven, wenn die Höhenunterschiede an der Tiefenspindel eingestellt werden und das Fußrad während der Dauer der Zeichnung unberührt bleibt. Dagegen müssen mit dem x - und y -Rade gemeinsam solche Drehungen ausgeführt werden, daß die körperliche Meßmarke die Oberfläche des Modells nur berührt.

Aus Schrägaufnahmen erhält man die Horizontalkurven, indem man die Höhenunterschiede auf der Höhenspindel einstellt, das y -Rad mit der horizontal wirkenden Tiefenspindel kuppelt und die Bewegungen wieder nur mit dem x - und y -Rade ausführt. Wird dabei die Meßmarke an der Modelloberfläche nur berührend geführt, so erhält man die eingestellte Horizontalkurve.

Im Jahre 1921 hat die Photogrammetrie G. m. b. H., München, Luftaufnahmen mit dem Stereoplanigraphen kartenmäßig ausgewertet. Ein späterer Vergleich mit den Messungsergebnissen des Landesvermessungsamtes in München hat für gut signalisierte Punkte einen mittleren Lage- und Höhenfehler von je $\pm 0,4$ — $0,5$ m ergeben.

Von der schweizerischen Eidg. Landestopographie wurde in demselben Jahre wie der Autokartograph auch der Stereoplanigraph auf seine Verwendbarkeit zur Kartenherstellung in Jena eingehend geprüft. Hierzu wurde ein Plattenpaar von Senkrechtaufnahmen und ein Plattenpaar von Schrägaufnahmen der Gemeinde Wangen im Kanton Zürich ausgewählt. Die Senkrechtaufnahmen waren mit einer Kammer von 180 mm Brennweite aus 2 500 m Flughöhe über Grund und mit einer Basislänge von 1 600 m aufgenommen. Die Aufnahmeachsen waren aber nicht absolut lotrecht nach unten gerichtet, sondern vorwärts und rückwärts geneigt, so daß sich die Nadirpunkte der folgenden und vorhergehenden Aufnahmen auf dem zusammengehörigen Plattenpaar abbildeten.

Die Schrägaufnahmen wurden mit derselben Kammer aus 2800 m über Grund und mit etwa 35° geneigter Achse gegen den Horizont ausgeführt. Als Prüfungsplan wurde derselbe Gemeindeübersichtsplan von Wangen benutzt wie beim Autokartographen, nur sein Teilgebiet war ein anderes. Zur Orientierung der Platten wurden aber auf ausdrücklichen Wunsch des Herrn Prof. Dr. v. Gruber, dem wissenschaftlichen Mitarbeiter der Firma Zeiss, vier der Lage und Höhe nach bekannte Festpunkte im Übersichtsplan benutzt. Zur Einpassung des Senkrechtaufnahmepaares waren 9 Stunden erforderlich, zur Einpassung des schräg aufgenommenen Paares aber nur 4 Stunden notwendig. Auf den Senkrechtaufnahmen wurden 62 Punkte und aus den Schrägaufnahmen 42 Punkte der Lage und Höhe nach ausgewertet. Als Ergebnis erhielt man bei den Senkrechtaufnahmen eine mittlere Differenz in der Lage von

$$m_1 = \pm 1,6 \text{ m oder } 0,16 \text{ mm im Plan}$$

und bei den Schrägaufnahmen eine mittlere Differenz in der Lage von

$$m_1 = \pm 3,8 \text{ m oder } 0,38 \text{ mm im Plan.}$$

Die mittlere Höhendifferenz zwischen einer im Stereoplanigraphen einmal eingestellten und abgelesenen Höhe und der im Plan eingeschriebenen war bei den Senkrechtaufnahmen

$$m_h = \pm 0,99 \text{ m}$$

und bei den Schrägaufnahmen

$$m_h = \pm 1,26 \text{ m.}$$

Aus diesen Feststellungen ergibt sich zunächst, daß Senkrechtaufnahmen für die Auswertung im Stereoplanigraphen geeigneter sind als Schrägaufnahmen. Dann ist aber auch der Beweis erbracht, daß die ermittelten mittleren Differenzen die Verwendbarkeit des Stereoplanigraphen für die Herstellung topographischer Karten und anderer Übersichtspläne durchaus rechtfertigen. Endlich zeigt der Vergleich der Auswertung von Schrägaufnahmen mit dem Stereoplanigraphen und dem Autokartographen, daß sich beide Geräte bei der Verwendbarkeit die Waage halten.

Mit dem Stereoplanigraphen sind auch nach der Methode des kontinuierlichen Ziehens einige Horizontalkurven im Übersichtsplan gezeichnet worden. Ihr Verlauf hat im Vergleich mit den beige-

schriebenen Höhenzahlen einzelner Festpunkte keine Überschreitungen des zulässigen mittleren Fehlers erkennen lassen. Diese mittleren Fehler werden nach folgenden Formeln berechnet:

a) mittlerer Höhenfehler der Horizontalkurven

$$m_h = \pm (1 + 3 \operatorname{tg} \alpha) \text{ m}$$

b) mittlerer Lagefehler der Horizontalkurven

$$m_l = \pm (3 + \operatorname{ctg} \alpha) \text{ m.}$$

In diesen Formeln bedeutet α den Neigungswinkel des Geländes, wenn sich die Kurven in Höhenabständen von 10 m folgen.

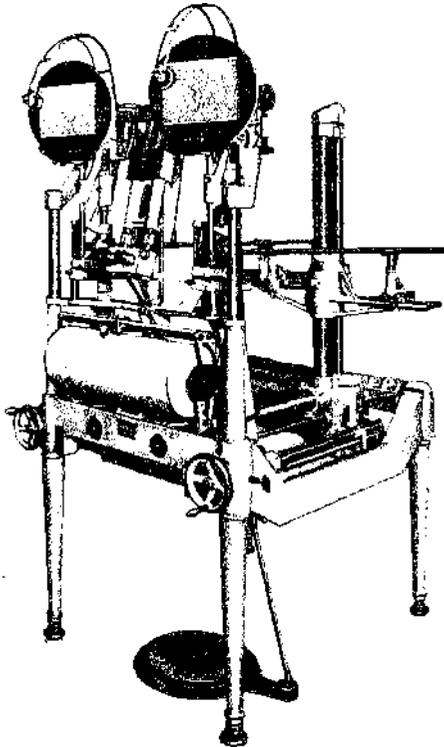


Abb. 62

Die Ansicht des Aerokartographen
von Hugershoff

Der Aerokartograph von Hugershoff

Die großen Ausmaße des Autokartographen infolge der beiden Richtungsliniale und der beiden Höhenliniale haben Hugershoff veranlaßt, die Lineale zu beseitigen und an ihre Stelle zwei Raumenker anzuordnen, die die Verkörperung der Strahlen nach den eingestellten Bildpunkten darstellen. Dadurch hat das neue Auswertegerät, Aerokartograph genannt, recht bescheidene Ausmaße erhalten (Abb. 62).

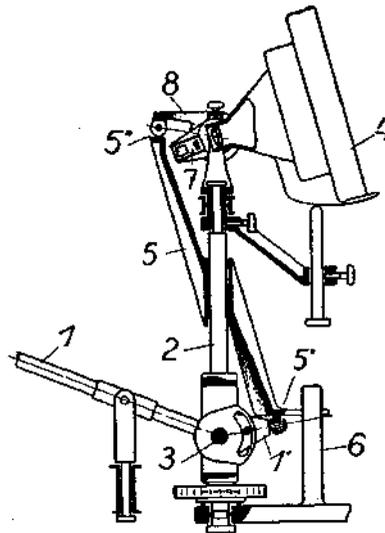


Abb. 63

Verbindung des Raumenkers
mit dem Bildmeßtheodoliten

Jeder der beiden Raumenker 1 in der Abb. 63 ist um zwei Achsen drehbar, einmal um die Vertikalachse 2 des Bildmeßtheodoliten 4, wodurch die azimutale Einstellung eines Punktes erfolgt, das andere Mal um die horizontale Achse 3. Der Hebelarm 1' des Raumenkers ist mit einem um die Vertikalachse 2 gleitbaren Zwischenstück 5 im Kontakt, so daß durch eine vertikale Hebung oder Senkung des Raumenkers der Eintrittsspiegel 7 ebenfalls gehoben oder gesenkt wird. Durch beide Drehungen des Raumenkers wird also die Einstellung eines bestimmten Bildpunktes ermöglicht. Die Bewegung erhalten die Raumenker mittels eines Kreuzschlitten-

systems (Abb. 64). Bei ihm ist 1 der Abstands- oder Tiefenschlitten, 2 der Richtungsschlitten und 3 der Höhenschlitten. Diese drei Schlitten werden durch die in Abb. 62 sichtbaren Handräder und

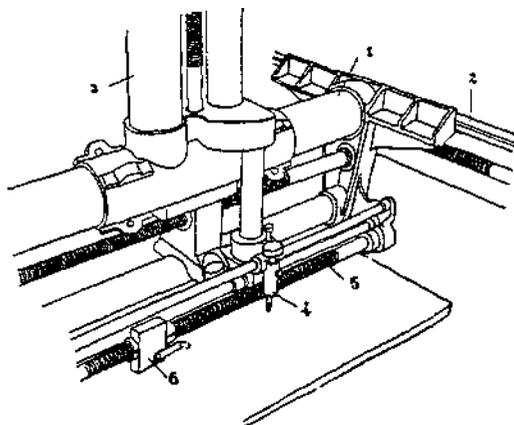


Abb. 64
Das Kreuzschlittensystem

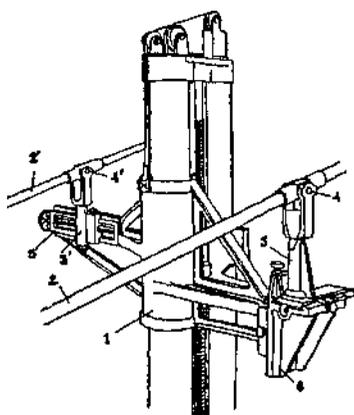


Abb. 65
Der Basisapparat

durch die Fußscheibe betätigt. Der Höhenschlitten (Abb. 65) führt den Basiskörper 1, dessen Verbindung mit den Raumlenkern 2 und 2' durch die Einrichtungen 3 und 3' hergestellt ist. Die drei Schlit-

ten 5, 6 und 7 gestatten die Einstellung der räumlichen Koordinatenunterschiede der Basis im gewünschten Maßstabe der Karte.

Das Zeichnen (Abb. 64) erfolgt mit Hilfe des Stiftes 4, der am Abstandsschlitten 1 gekuppelt sein muß, sofern Schrägaufnahmen ausgewertet werden sollen. Bei der Auswertung von Senkrechtaufnahmen muß der Zeichenstift durch den Hebel 6 mit der Spindel des Höhenschlittens gekuppelt werden. Der Arbeitsbereich des Bleistiftes geht von 70—610 mm. Außer dieser Zeichenvorrichtung besitzt der Aerokartograph noch eine zweite unterhalb des Doppelokulars (Abb. 62). Ihr Zweck ist derselbe wie beim Autokartographen.

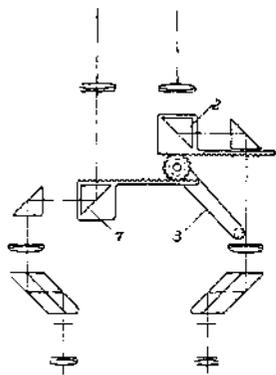


Abb. 66
Die normale Prismenanordnung
im Periskop

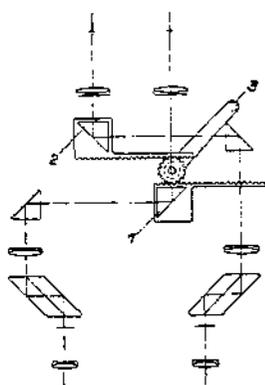


Abb. 67
Die geänderte Lage der Prismen
im Periskop

In dem Doppelperiskop ist nach den Abb. 66 u. 67 eine verschiebbare Prismenanordnung untergebracht. Wenn ihre Lage der Abb. 66 entspricht, so wird das linke Bild dem linken Auge und das rechte Bild dem rechten Auge zugeführt. Wird aber der Hebelarm 3 umgelegt (Abb. 67), so wandern das linke Prisma nach rechts und das rechte Prisma nach links. Infolgedessen werden auch das linke Bild dem rechten Auge und das rechte Bild dem linken Auge zugeführt. Die Einrichtung ist für die Auswertung einer zusammenhängenden Reihe von Platten sehr wichtig. War bisher ein Plattenpaar ausgewertet, so mußte die rechte Platte aus dem Bildmeßtheodoliten herausgenommen und beiseite gelegt werden. Die Platte

des linken Bildmeßtheodoliten dagegen mußte in den rechten eingelegt und die folgende Platte in der Reihe fand ihre Einfügung im linken Bildmeßtheodoliten. Nun mußten beide Platten wieder auf Grund dreier Festpunkte orientiert werden. Durch die Möglichkeit der Änderung der Prismenlage sind die Zeitdauer der Plattenorientierung und die Anzahl der notwendigen Festpunkte auf ein Mindestmaß beschränkt. Ist nämlich das erste Plattenpaar, das mit Hilfe dreier Festpunkte orientiert war, ausgewertet, so wird nur die rechte Platte entfernt und an ihre Stelle die nächstfolgende linke Platte eingelegt. Hierauf werden die Prismen durch den Hebel 3 umgewechselt und für die Orientierung der neuen Platte lediglich die Punkte der alten Platte benutzt. Dasselbe geschieht mit jeder

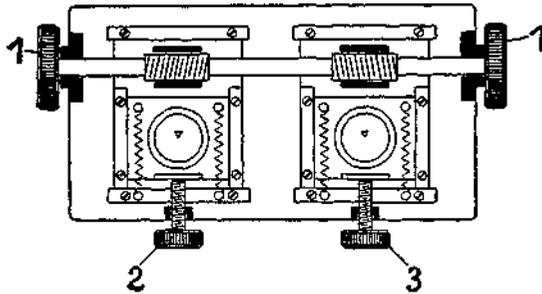


Abb. 68
Die Verstellbarkeit der Okulare

folgenden Platte. Damit aber keine zu große Fehleranhäufung eintritt, wird jedes 5. oder 6. Plattenpaar auf Grund dreier Festpunkte neu orientiert.

Auf diese Weise ist also eine praktische Lösung des besonders für koloniale Vermessungen wichtigen Aufgabe der Orientierung der Meßbilder ohne engmaschige Triangulation möglich, bei deren Fehlen der wissenschaftliche Mitarbeiter der Firma Görz in Berlin-Zehlendorf, Boykow, ein überaus kompliziertes Verfahren vorgeschlagen hat. Er macht die Aufnahmen gleichzeitig aus zwei Flugzeugen, die dazu mit Meßschwänzen versehen sein müssen. Die Ermittlung der Orientierungselemente erfolgt in recht massigen Instrumenten, den Triangulatoren, und die Kartierung selbst wieder in einem gesonderten ebenfalls recht massigen Kartierungsgerät. Von einer Be-

schreibung dieser Boykowschen Apparatur soll aber abgesehen werden, weil sie sicherlich durch den Aerokartographen überholt ist.

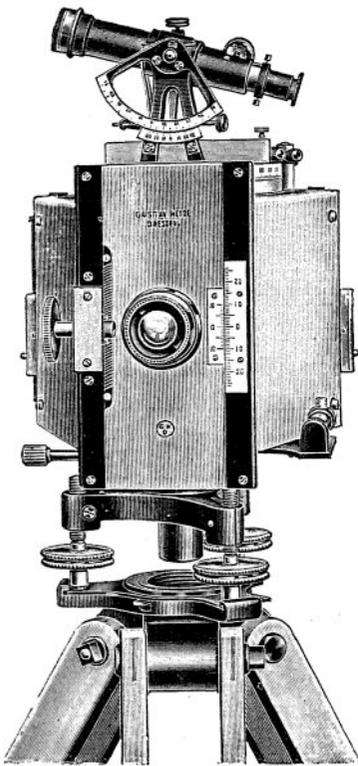
Eine weitere gute Einrichtung beim Aerokartographen sind noch die Schrauben 2 und 3 des Doppelokulars in Abb. 68. Durch sie können die Okulare auf den vertikalen Augenabstand des Beobachters eingestellt werden, während die Schrauben 1—1 den horizontalen Abstand regulieren.

Genauigkeitsangaben für die Kartenherstellung mit dem Aerokartographen sind noch nicht veröffentlicht.

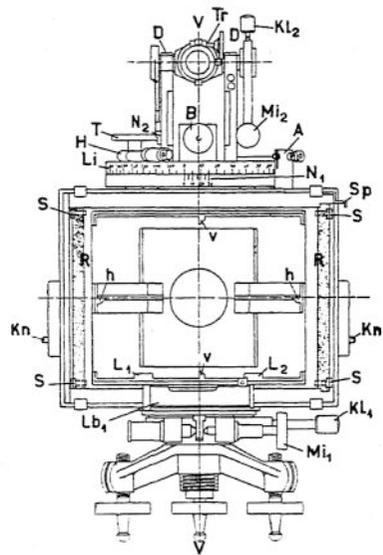
Die Erdbildmessung

Das Aufnahmegerät

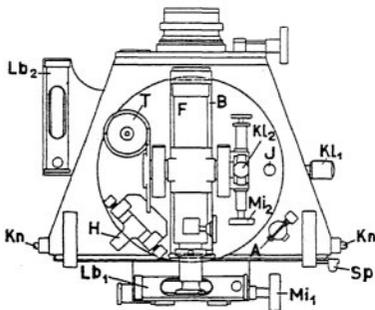
In der Erdbildmessung unterscheidet man zwei Typen von Aufnahmegeräten: Entweder ist die photographische Aufnahmekammer mit einem Theodoliten verbunden oder aber Aufnahmekammer und Theodolit sind getrennte Geräte. Das Hegershoff-Heydesche Photogrammometer ist ein Gerät ersten Typs (Abb. 69). Es besteht aus einer festen, also nicht ausziehbaren Aluminiumkamera, die auf einem Dreifuß ruht. Die Kamera kann um die vertikale Drehachse VV in azimutalem Sinne gedreht und durch die Klemmschrauben Kl_1 oder M_1 in jeder Lage festgeklemmt werden. Die Horizontierung erfolgt durch ein kreuzweise angebrachtes Röhrenlibellensystem. Die eine, Rücklibelle Lb_1 , ist parallel der Plattenebene, die andere, Seitenlibelle Lb_2 , parallel der optischen Achse. Auf der Kamera ist ein Theodolit aufgesetzt. Sein Limbus hat einen Durchmesser von 115 mm. Seine Bezifferung ist gegensinnig, so daß bei positiver Drehung des Fernrohrs wachsende Ablesungen erhalten werden. Durch den Nonius N_1 können die Minuten direkt und halbe Minuten geschätzt werden. Er zeigt 0° an, wenn die Visierachse des Fernrohrs mit der optischen Achse der Kamera in einer Ebene liegen. Das Fernrohr gestattet die Messung von Höhenwinkeln zwischen $\pm 30^\circ$. Der Nonius der Sextanten gestattet Ablesungen von einer Minute genau. Das Okular besitzt Distanzfäden mit der Konstanten 100. Das Fernrohr ist in seinen Lagern umlegbar. Auf dem Limbus ist ein beweglicher Arm H . Wird er ungelegt und der Limbus dann gedreht, bis der Arm H den festen Anschlag A auf der Kamera berührt, so bildet die Visierachse des Fernrohrs mit der optischen Achse der Kamera einen rechten Winkel. Die Kamera ist für Plattenformate 9×12 cm eingerichtet. Die Brennweite des Objektivs ist 120 mm. Das Objektiv läßt sich um 25 mm auf- und abwärtsbewegen. Die Verschiebung ist an einer Millimeterskala mittels



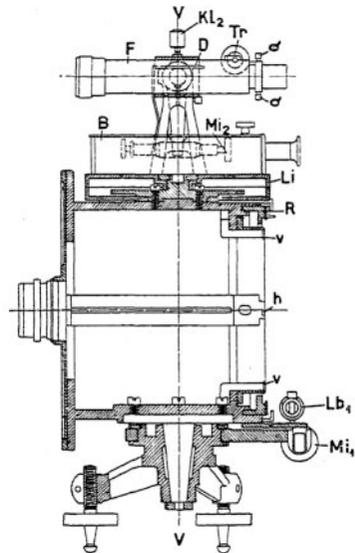
Vorderansicht



Hinteransicht



Draufsicht



Vertikaler Achsschnitt

Abb. 69

Das Hugerhoff-Heyde'sche Photogrammter

Nonius auf 0.1 mm ablesbar. Im allgemeinen braucht aber diese Ablesung nicht gemacht werden, da sich der Bildhorizont automatisch auf die Platte überträgt mittels zweier mit dem Objektivschieber fest verbundenen Arme, die an ihren Enden die justierbaren Horizontalmarken hh , tragen. Rechts und links von der unteren der Vertikalmarken VV , die ebenfalls justierbar sind, sind am Markenrahmen in genau gleichen Abständen gleich große Lappen L_1 und L_2 angebracht, die zur Rekonstruktion der Bildvertikalen benutzt werden können, falls die oberste Vertikalmarke bei ganz dunklem Vordergrund nicht zur Abbildung gelangen sollte. Die Lappen dienen zugleich zur Aufnahme von Zellhorn-Plättchen, denen nähere Angaben über die Aufnahme, wie Standpunkt, Datum usw. aufgeschrieben werden können.

Die überaus wichtige Konstanz der Bildweite wird durch den beweglichen Kassettenrahmen erreicht, der nach Einschieben der Kassette und Aufziehen des Kassettendeckels, nach vorn gedrückt, in besondere Raster einschnappt und die lichtempfindliche Schicht fest und gleichmäßig gegen den Markenrahmen preßt. Auf der Rückseite der Kassette sind Falze für Notizstreifen und Nummern angebracht. Die Kassettennummern sind in die Falze eingraviert und bilden sich automatisch ab.

Für Forschungsreisen ist das Photogrammometer mit einer Bussole zu versehen. Zu diesem Zwecke befinden sich zwischen den Fernrohrträgern Löcher zur Aufnahme der Bussolenstifte.

Der Gebrauch des Photogrammeters vollzieht sich folgendermaßen:

Auf den Standorten ist das Instrument zu zentrieren. Die Stehachse ist durch die Libellen Lb_1 und Lb_2 scharf vertikal zu stellen. Dann wird der Objektivdeckel abgenommen, die Blende auf $F:9$ gestellt und die Mattscheibe eingeschoben. Dies geschieht in der Weise, daß man gleichzeitig auf die rechts und links an der Außenkante der vertikalen Kameraseite sichtbaren Knöpfe Kn drückt, wobei der Kassettenrahmen zurückspringt. Dabei öffnet sich rechts ein Spalt, in den unter leichtem Anheben der Sperrfeder Sp die Mattscheibe einzuführen ist, wonach mit den Daumen beider Hände der Kassettenrahmen wieder nach vorn gedrückt wird, bis er einschnappt. Danach wird die unter der Kamera befindliche Vertikalachsenklemme gelüftet und die Kamera so gedreht bzw. der Ob-

jektivschieber so verschoben, bis der gewünschte Geländeteil im Gesichtsfeld erscheint. Jetzt wird die Kamera durch Anziehen der Klemme Kl_1 festgestellt und die Mattscheibe entfernt. Dabei drückt man wieder gleichzeitig auf die beiden erwähnten Knöpfe Kn , wonach der Kassettenrahmen zurückspringt, und die Mattscheibe wieder unter Anheben der Sperrfeder herausgezogen werden kann. An Stelle der Mattscheibe wird nun eine Kassette eingeschoben, die Blende auf $F:36$ gestellt und das Objektiv mit dem Deckel geschlossen. Nun ist der Kassettendeckel am besten ganz herauszuziehen und die Kassette nach vorn zu drücken, bis der Kassettenrahmen einschnappt. Hiernach wird der andere Endpunkt der Basis mit dem Fernrohr angezielt, die Horizontierung nochmals geprüft bzw. berichtigt, das Fernrohr nochmals nachgesehen und dann durch Abnehmen und Wiederaufsetzen des Deckels die Platte exponiert. Nachdem hierauf ein Druck auf die Seitenknöpfe den Kassettenrahmen zurückgebracht hat, wird der Kassettendeckel wieder eingeschoben, die Schieberstellung und der Limbus abgelesen und das Ergebnis zusammen mit dem Namen des Standpunktes auf der Kassette und im Beobachtungsbuch vermerkt. Die Entfernung der Kassetten erfolgt in der schon geschilderten Weise.

Auf jedem Standorte werden gewöhnlich ganze Panoramen aufgenommen, die aus aneinandergereihten Bildern bestehen, d. h. die optische Achse wird um einen konstanten Winkel gedreht. Dabei ist aber Bedacht zu nehmen, daß die Bilder sich um einen geringen Betrag übergreifen. Die Größe des Aufnahmefeldes wird im folgenden Abschnitt berechnet.

Nach Erledigung des ersten Standpunktes begibt man sich auf den anderen Basispunkt, wo dieselben Arbeiten vorgenommen werden.

Sollen Aufnahmen senkrecht zur Basis vorgenommen werden, so ist der Limbus zunächst auf dem rechten Standpunkt auf 270° zu stellen. Das erfolgt nach Umlegung des auf dem Limbus befindlichen Armes H . Dann ist die Kamera um die Vertikalachse zu drehen, bis das Signal auf dem anderen Basispunkt genau zwischen den beiden vertikalen Fäden erscheint. Nach dem Ausziehen des Kassettenschiebers und dem Andrücken des Kassettenrahmens ist die Fernrohreinrichtung nochmals zu prüfen und zu berichtigen. Die entsprechende Ausrichtung der Kameraachse auf dem anderen Basis-

punkt ist derart vorzunehmen, daß man — während der Limbusarm *H* fest am Anschlag *A* anliegt — das Fernrohr nach dem Aufklappen der Lagerdeckel *D* zunächst in seinen Lagern umlegt (II. Fernrohrlage) und dann wie oben auf dem anderen Basispunkt einstellt.

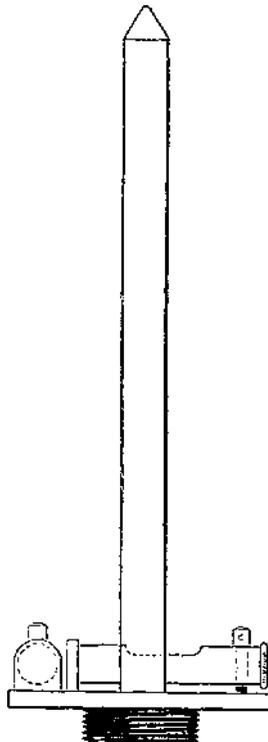


Abb. 70
Zielspitze als Punktsignal

Es ist leicht ersichtlich, daß brauchbare stereophotogrammetrische Aufnahmen mit der gewöhnlichen Punktsignalisierung durch Fluchtstäbe und der Zentrierung mittels des Schnurlotes nicht erzielt werden können. Für solche Aufnahmen bedarf man zunächst zweier gleicher Stative, auf denen sich Photogrammeter und Signal umsetzen lassen. Die Zielspitze (Abb. 70) zeigt den gleichen Dreifußunterbau wie das Photogrammeter und wird in derselben Weise wie dieses auf dem Stativ befestigt. Die Vertikalstellung der Zielspitze geschieht mit Hilfe von Kreuzlibellen. Beim Vertauschen der Zielspitze mit

dem Photogrammter und umgekehrt kommen die Vertikalachsen beider Instrumente immer wieder genau in die gleiche Lage.

Die Messung der Horizontalentfernung zwischen den Stehachsen des Photogrammeters und der Zielspitze wird am besten mit dem

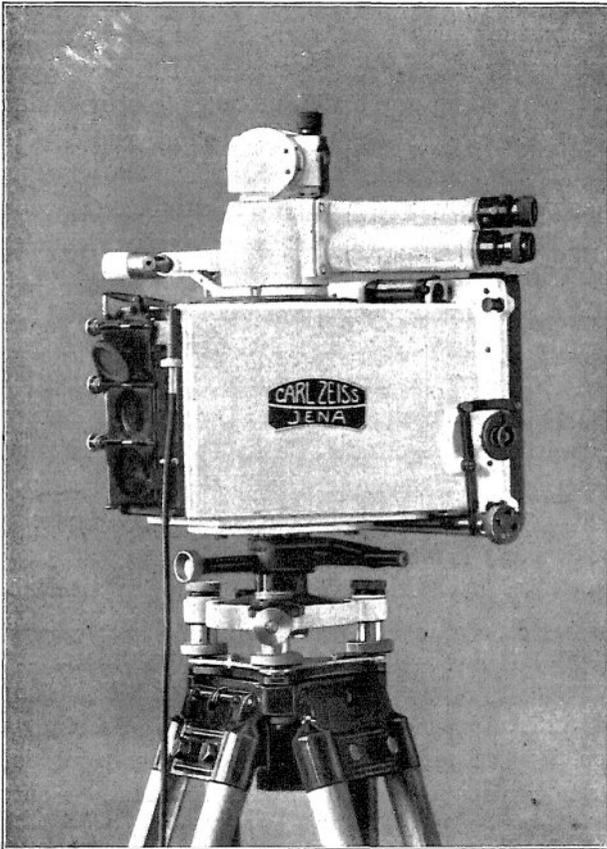


Abb. 71

Feldphototheodolit NC 3 von Zeiss, Jena

Stahlband vorgenommen. Sollte die direkte Messung unmöglich sein, so kann man die Basislänge mittels der Distanzfäden des Fernrohrs unter Zuhilfenahme einer Nivellierlatte auf optischem Wege ermitteln.

Zur Bestimmung des magnetischen Azimuts einzelner Geländepunkte wird der Limbus auf 0° gestellt und die Bussolennadel durch Drehung der Kamera zum Einspielen gebracht. Wird irgendein Punkt mit dem Fernrohr angezielt, so ergibt die Limbusablesung unmittelbar das Azimut des betreffenden Punktes. Will man dagegen nach einer Aufnahme das Azimut der optischen Kameraachse während der Exposition, so bringt man die Bussole durch Drehung der Limbusschraube *T* zum Einspielen. Die Differenz der am Limbus erhaltenen Ablesung gegen 360° gibt das gesuchte Azimut.

Im Gegensatz zur Heydeschen Apparatur sind bei der Zeisschen (Abb. 71) Kamera und Theodolit vollständig voneinander getrennt. Dies ist insofern von Vorteil, als dadurch die geodätischen und photographischen Arbeiten gleichzeitig von verschiedenen Personen ausgeführt werden können. Im übrigen ist die Kamera ein festes Gehäuse aus Leichtmetall und für Platten 13×18 cm eingerichtet. Ihre Brennweite beträgt 190 mm. Sie besitzt drei Objektive als Ersatz für die schwer herzustellende Schlittenführung beim Vorhandensein nur eines einzigen Objektivs und ist mit zweifachen Gelscheiben ausgestattet. Der Meßrahmen hat zur Bestimmung der Hauptvertikalen auf der Platte zwei Marken, während seine Haupthorizontale nur durch eine seitliche Marke gekennzeichnet wird, die dem jeweilig benutzten Objektiv entspricht. Der Kammer sind zwei Fernrohre und ein Prisma aufgesetzt. Die Fernrohre sind übereinander angeordnet, miteinander fest verbunden und gesondert von der Kammer drehbar. Das untere ist das sog. Kollimationsrohr und das obere das Zielfernrohr. Das Kollimationsrohr dient zum Avisieren von Kammermarken, die eine Bogenentfernung von 35° besitzen. Mit dem Zielfernrohr wird der andere Endpunkt der Basis eingestellt. Ist das Kollimationsrohr auf die Normalmarke eingestellt, so steht die Aufnahmeachse der Kammer senkrecht zur Visierlinie. Wird dann die Kammer solange gedreht, bis das Zielfernrohr die Zieltafel auf dem anderen Basisendpunkt scharf schneidet, so steht die Aufnahmeachse normal zur Basis. Eine darauf folgende Verschwenkung des Kollimationsrohrs nach links oder rechts um 35° bis zur nächsten Marke und das Zurückdrehen der Kammer, bis das Zielrohr wieder die Zieltafel auf dem anderen Basisendpunkt scharf schneidet, verleihen der Aufnahmeachse eine Verschwenkung nach links oder rechts gegen ihre Lage bei der

ersten Aufnahme. Durch diese Orientierungseinrichtung ist man also in der Lage, auf jedem Basisendpunkt drei Aufnahmen mit nach links und rechts um je 35° verschwenkten Achsen auszuführen.

Das Erkundungsprisma dient zur Feststellung des zur Darstellung kommenden Geländes für die normale Aufnahme sowie für die verschwenkten Platten. Der Theodolit ist ein Repetitionstheodolit mit einer horizontal wirkenden Tangentenmeßschraube.

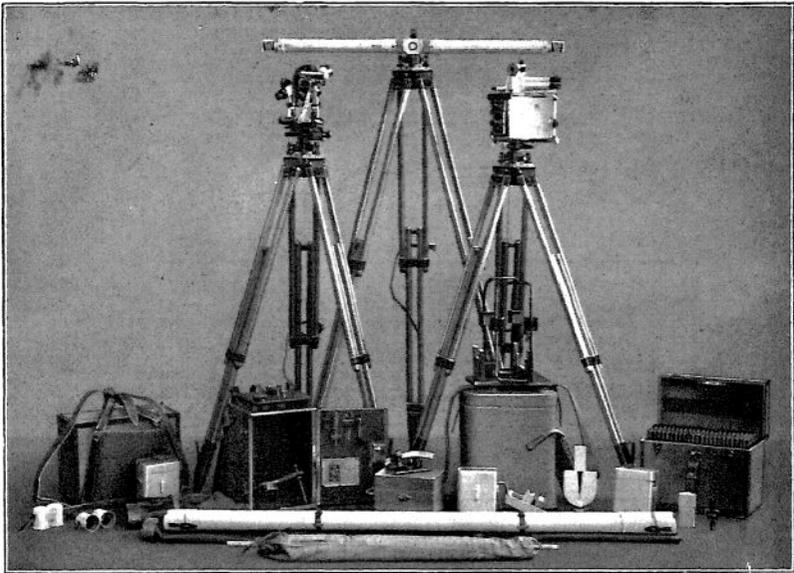


Abb. 72

Die photogrammetrische Feldausrüstung von Zeiss
für die Erdbildmessung

Für die Ermittlung der Länge der Standlinien liefert die Firma Zeiss noch die sog. Basismessplatten von 1—3 m Länge (Abb. 72). Die Bestimmung der Länge der Basis geht nach Abb. 73a folgendermaßen vonstatten: Auf dem einen Endpunkte der Basis wird der Theodolit mit der Tangentenmeßschraube aufgestellt. Ihre Ganghöhe ist $\frac{1}{200}$ des Hebelarmes k . Da die Trommeloberfläche in 100 Teile geteilt ist, so ist die Ganghöhe für einen Trommelteil $k/20\ 000$. Auf dem anderen Endpunkte wird die Basismessplatte so

Die Meßtischphotogrammetrie

Für die Kartenherstellung bestehen zwei Methoden: die Meßtischphotogrammetrie und die Stereophotogrammetrie. Die Meßtischphotogrammetrie setzt voraus, daß die Brechpunkte eines Netzes zusammengehöriger Basen koordinatenmäßig (x, y, z) bekannt sind (Abb. 74), oder aber, daß sie polygonometrisch oder trigonometrisch im Anschluß an die Landesaufnahme festgelegt werden. Ihre Höhen sind entweder nivellitisch, trigonometrisch oder barometrisch zu bestimmen. Im übrigen stützt sich die Meßtischphotogrammetrie auf den Vorwärtsabschnitt. Bei lotrechter Plattenstellung wird nach

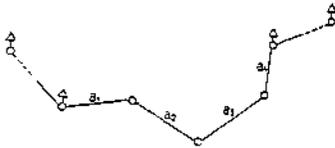


Abb. 74

Ein Basenzug im Anschluß an die Landesaufnahme

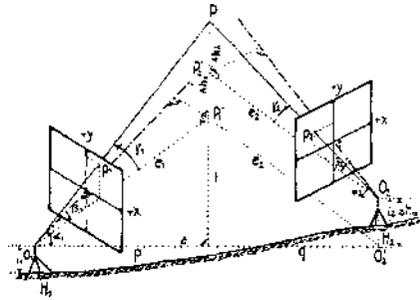


Abb. 75

Die Meßtischphotogrammetrie
 $a = p + q$

Abb. 75 auf jedem Standorte O_n der Richtungswinkel der Aufnahmeachse gegen die Basis bestimmt, dann die Platte belichtet und schließlich die Höhe des Aufnahmeobjektivs gegen den Standort bestimmt. Bei Verwendung des Heydeschen Photogrammeters vollzieht sich die Festlegung des Richtungswinkels dergestalt, daß zunächst auf O_1 das aufzunehmende Gebiet auf der Mattscheibe der Kammer scharf entworfen wird. Da die Aufnahmeachse und der Nullpunkt des Limbus in einer lotrechten Ebene liegen, braucht nur das Fernrohr auf den Basisendpunkt O_2 eingestellt und abgelesen zu werden, um α_1 zu erhalten. Die Basis a wird entweder gemessen oder ihre Länge durch optische Distanzmessung oder aber mittels Basismesslatte bestimmt.

Stellen die Plattenpunkte p_1 und p_2 die Bilder des Raumpunktes P vor, so ist der Schnittpunkt der verlängerten Bildstrahlen $O_1 p_1$

und $O_2 p_2$ der Raumpunkt P selbst. Verlängert man die Verbindungslinie zwischen O_1 und dem Fußpunkte der Ordinate des Bildpunktes bis zum Schnitt mit dem Lote durch P , so ist dieser Schnittpunkt F'_1 die Projektion von P auf die Horizontalebene durch O_1 . Die Strecke PF'_1 ist der Höhen- oder Tiefenunterschied Δh_1 des Punktes P gegen O_1 , je nachdem y_1 positiv oder negativ ist. Der Winkel γ_1 ist der zugehörige Höhen- oder Tiefenwinkel. Der Horizontalwinkel liegt zwischen der Aufnahmeachse f und dem Strahl nach dem Abszissenendpunkte von p_1 . Für den Standort O_2 ist $PP'_2 = \Delta h_2$ der Höhenunterschied zwischen Raumpunkt P und Objektivmitte O_2 . Die Strecke $F'_2 F'_1$ ist gleich dem Höhenunterschied ΔH_0 der beiden Objektivmitten. Bezeichnet man die Entfernung des Projektionspunktes F'_1 von O_1 mit e_1 und die des Projektionspunktes F'_2 von O_2 mit e_2 , so bilden die Strecken a , e_1 und e_2 ein horizontales Dreieck, dessen Winkel an der Basis gleich $\alpha_0 \pm \beta_0$ sind. Was für P entwickelt worden ist, gilt auch für jeden anderen Punkt, dessen photographische Aufnahmen sich auf die Basis a stützen. Da die Punkte P , F'_1 und F'_2 auf einer Lotrechten gelegen sind, so kommt es bei einer lediglich graphischen Ermittlung der Kartenlage des Punktes P nur darauf an, das Horizontaldreieck $O_1 F'_1 O_2$ aus a und den beiden anliegenden Winkeln $\alpha_0 \pm \beta_0$ zu zeichnen.

Da die Raumkoordinaten x , y , und z von O_1 und O_2 bekannt sind, werden die Punkte O_1 und O_2 auf Grund eines Quadratnetzes kartiert. Mittels Transporteurs werden die Winkel u_1 und u_2 in O_1 und O_2 an $O_1 O_2 = a$ angetragen (Abb. 76). Ihre freien Schenkel sind die Aufnahmeachsen. Auf ihnen werden von O_1 und O_2 die Bildweiten f abgesetzt und in ihren Endpunkten Senkrechte errichtet. Diese entsprechen den Projektionen der Plattenebenen Pl_1 und Pl_2 . Hat man für identische Bildpunkte p_1 und p_2 die Abszissen x_1 und x_2 den Platten entnommen und auf Pl_1 und Pl_2 unter Berücksichtigung der Vorzeichen abgetragen, dann ist der Schnittpunkt der Verlängerungen ihrer Verbindungslinien mit O_1 bzw. O_2 der gesuchte Kartenpunkt P . Der Höhenunterschied Δh_1 über O_1 wird dergestalt ermittelt, daß die Ordinate y_1 im Endpunkt von x_1 an $O_1 P$ rechtwinklig abgesetzt und ihr Endpunkt mit O_1 verbunden wird. Ihre Verlängerung schneidet auf der in P auf $O_1 P$ errichteten Senkrechten den gesuchten Höhenunterschied Δh_1 ab. Er ist positiv oder negativ, je nachdem y_1 positiv oder negativ ist. Greift man Δh_1 auf dem Karten-

maßstabe ab und fügt seinen Wert der Höhe für O_1 algebraisch hinzu, so erhält man die Höhe für P . Führt man dasselbe Verfahren auch im Punkte O_2 aus, so erhält man dieselbe Höhe für P , sobald Δh_2 algebraisch der Höhe für O_2 hinzugefügt wird. Weichen die beiden Höhen für P ab, so bildet man das Mittel und schreibt dieses neben den Punkt P nieder. Für jeden folgenden Punkt ist dieselbe Methode anzuwenden. Auf diese Weise kann man soviel Punkte mit beigeschriebenen Höhenzahlen erhalten, als man nur identifizieren kann. Ihre sachgemäße Verbindung gibt schließlich das Bild der Karte, und auf Grund der Höhenzahlen lassen sich die Horizontalkurven nach bekannten Verfahren konstruieren.

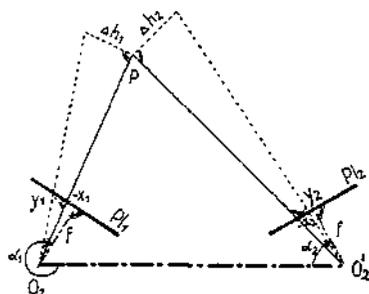


Abb. 76

Die graphische Methode der Kartenherstellung

Ein großer Übelstand bei dieser Punktkonstruktion besteht darin, daß man die Punkte und ihre Höhenunterschiede als Schnitte langer Verlängerungen von kurzen Verbindungsgeraden erhält. Diese Ungenauigkeit kann aber dadurch beseitigt werden, daß man auf den Aufnahmeachsen nicht die einfache Bildweite, sondern die n -fache absetzt, dann in ihren Endpunkten die Senkrechten errichtet und auf ihnen auch die n -fachen Abszissenlängen x nach rechts oder links abträgt. Hierbei wählt man am besten n so groß, daß nf länger wird als jede der Seiten e . Die einzelnen Punkte P ergeben sich dann nicht mehr als Schnittpunkte von Verlängerungen, sondern als Schnittpunkte von Verbindungsgeraden. Für die Konstruktion der Höhenunterschiede Δh errichtet man im Endpunkte der Verbindungsgeraden des Beobachtungsortes O mit dem Endpunkt von nx die Senkrechte und macht diese auch n -mal so groß wie das zugehörige y .

Handelt es sich um die kartenmäßige Darstellung nur ganz weniger Punkte, deren Wichtigkeit aber über das gewöhnliche Maß hinausgeht, so kann ihre Kartierung auf Grund gerechneter Daten erfolgen. Diese stützen sich auf die Ermittlung der Horizontalwinkel β und der Höhenwinkel γ unter Zuhilfenahme der Neigung der Aufnahmeachse gegen den Horizont durch O (Abb. 77), der Brennweite f und der Plattenkoordinaten x und y .

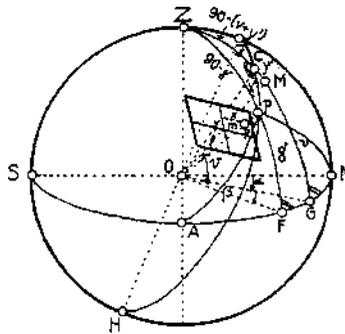


Abb. 77

Darstellung des Horizontal- und Höhenwinkels
eines Bildpunktes

Zunächst ist es erforderlich, Ausdrücke für die Winkel im Objektivmittelpunkte O zwischen der Aufnahmeachse f und dem Strahl nach dem Endpunkte der Ordinate y sowie zwischen diesem Strahl und dem Bildpunkte p zu bestimmen. Bezeichnet man den Winkel mit y' und x' , so ist, weil f senkrecht auf der Platte steht,

$$46) \quad \operatorname{tg} y' = \frac{y}{f}$$

$$47) \quad \operatorname{tg} x' = \frac{x}{\sqrt{f^2 + y^2}}$$

$$48) \quad \sin y' = \frac{y}{\sqrt{f^2 + y^2}}$$

$$49) \quad \cos y' = \frac{f}{\sqrt{f^2 + y^2}}$$

$$50) \quad \cos x' = \frac{\sqrt{f^2 + y^2}}{\sqrt{f^2 + x^2 + y^2}}$$

Um jetzt den Horizontalwinkel β zwischen den Vertikalebene durch die Aufnahmeachse und dem Bildstrahl nach p berechnen zu können, denke man sich um O eine Kugel beschrieben. Der Kreis SAN sei der Horizont, OZ die Zenitlinie. Ist ZMG der Vertikalkreis durch die Verlängerung der Aufnahmeachse f , ZPF der Vertikalkreis durch die Verlängerung des Bildstrahls, so sind GF der Bogen für den Horizontwinkel β , MG der Bogen für den Neigungswinkel ν der Aufnahmeachse und PF der Bogen für den Höhenwinkel γ . Zieht man noch den Strahl OC durch den Endpunkt der Ordinate y , so entspricht der Bogen MC dem Winkel y' . Wird ferner durch P und C der Großkreis $JCPH$ gezogen, so ist das Dreieck ZCP ein rechtwinkliges mit dem rechten Winkel bei C . Mithin ist

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} x'}{\cos (\nu + y')}$$

oder

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} x'}{\cos \nu \cos y' - \sin \nu \sin y'}$$

Setzt man hierin für $\operatorname{tg} x'$, $\cos y'$ und $\sin y'$ die Werte aus den Gleichungen 47, 48 und 49 ein und vereinfacht dann den Ausdruck, so wird

$$51) \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{x}{f \cos \nu - y \sin \nu}$$

Für den Höhenwinkel γ liefert die Abbildung

$$\begin{aligned} \sin \gamma &= \cos x' \sin (\nu + y') \\ &= \cos x' (\sin \nu \cos y' + \cos \nu \sin y'). \end{aligned}$$

Führt man hier die Werte der Gleichung 48 bis 50 ein, so wird

$$52) \quad \sin \gamma = \frac{f \sin \nu + y \cos \nu}{\sqrt{f^2 + x^2 + y^2}}$$

Wäre die Aufnahmeachse f nicht über dem Horizont gelegen, sondern unterhalb, so wird ν negativ, und man erhält

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{x}{f \cos \nu + y \sin \nu}$$

und

$$\sin \gamma = \frac{y \cos \nu - f \sin \nu}{\sqrt{f^2 + x^2 + y^2}}$$

Ist die Aufnahme im Horizont gelegen, so ist $r = 0$, mithin werden

$$53) \left\{ \begin{array}{l} \operatorname{tg} \beta = \frac{x}{f} \\ \sin \gamma = \frac{y}{\sqrt{f^2 + x^2 + y^2}} \end{array} \right.$$

Ist die Aufnahmeachse in der Zenitlinie gelegen, so ist $r = 90^\circ$, also

$$54) \left\{ \begin{array}{l} \operatorname{tg} \beta = \frac{x}{-y} \\ \sin \gamma = \frac{f}{\sqrt{f^2 + x^2 + y^2}} \end{array} \right.$$

Mitunter ist es notwendig, auch die Winkel zu kennen, die der Bildstrahl mit den Koordinatenachsen eines räumlichen Koordinatensystems X , Y und Z bildet. Dabei wird der Koordinatenanfang in den einen Endpunkt O der Basis verlegt und die Abszisse in die Basis selbst. Legt man daher in der Abb. 77 durch N und P einen Großkreisbogen und ebenso durch P und A , so entsprechen der Bogen NP dem Winkel PON zwischen Bildstrahl und Abszissenachse, der Bogen PA dem Winkel POA zwischen Bildstrahl und Ordinatenachse und der Bogen PZ dem Winkel ZOP zwischen Zenitlinie und Bildstrahl. Der Bogen PN läßt sich aus dem rechtwinkligen Dreieck PFN und der Bogen PA aus dem Dreieck PFA berechnen, sofern der Bogen NF bekannt ist. Der Bogen PZ ist das Komplement zum Bogen $PF = \gamma$. Der Bogen NF läßt sich berechnen, sobald der Horizontalwinkel $\alpha = NOG$ zwischen Aufnahmeachse und Basis, die in der Abszissenachse ON gelegen ist, mit dem Theodolit gemessen ist. Es ist dann

$$55) \quad NF = \alpha + \beta.$$

Infolgedessen ist

$$56) \left\{ \begin{array}{l} \cos \widehat{NP} = \cos \gamma \cos (\alpha + \beta) \\ \cos \widehat{PA} = \cos \gamma \sin (\alpha + \beta) \\ \cos \widehat{PZ} = \sin \gamma. \end{array} \right.$$

Nachdem jetzt die Winkel α und β bekannt sind, erfolgt die Berechnung der Dreiecksseiten. Die Basis a ergibt sich aus den Ko-

ordinatenunterschieden der Standorte O_1 und O_2 , sowie dem Neigungswinkel ν der Basis gegen die Parallele zu X . Nach Abb. 78 ist

$$57) \quad \operatorname{tg} \nu_a = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

und somit

$$58) \quad a = \frac{\Delta x}{\cos \nu_a} = \frac{\Delta y}{\sin \nu_a}$$

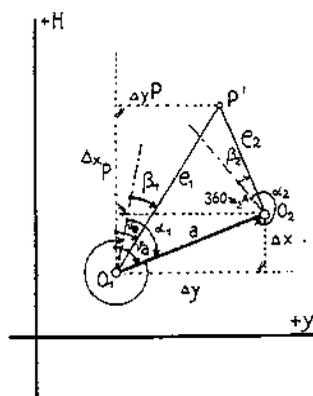


Abb. 78
Darstellung für die koordinatenmäßige
Berechnung des Punktes P'

Die Seiten e_1 und e_2 ergeben sich dann zu

$$59) \quad \left\{ \begin{array}{l} e_1 = a \frac{\sin(\beta_2 - \alpha_2)}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2 + \beta_2 - \beta_1)} \\ e_2 = a \frac{\sin(\alpha_1 - \beta_1)}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2 + \beta_2 - \beta_1)} \end{array} \right.$$

Da die Neigungswinkel für e_1 und e_2 sich aus der allgemein bekannten Formel

$$\nu_e = \nu_a - \alpha + \beta$$

ergeben, so ist

$$60) \quad \begin{array}{l} \Delta x_P = e \cos \nu_e \\ \Delta y_P = e \sin \nu_e, \end{array}$$

und

$$61) \quad \begin{array}{l} x_P = x_o + \Delta x_P \\ y_P = y_o + \Delta y_P. \end{array}$$

Die Höhe für den Punkt P wird doppelt erhalten aus

$$62) \quad H_P = H_{O_1} + i_1 + e_1 \operatorname{tg} \gamma_1 = H_{O_2} + i_2 + e_2 \operatorname{tg} \gamma_2,$$

wenn i die Instrumentenhöhe bedeutet (Abb. 75).

Will man auf die Koordinaten des Neupunktes P im Anschluß an die Landesaufnahme verzichten und sich darauf beschränken, das Lot l und seine Fußpunktsentfernungen p und q für die rechtwinklige Kartierungsmethode zu ermitteln, so ist nach Abb. 75

$$63) \quad \begin{aligned} l &= e_1 \sin(\alpha_1 - \beta_1) = e_2 \sin(\alpha_2 - \beta_2) \\ p &= e_1 \cos(\alpha_1 - \beta_1) \\ q &= e_2 \cos(\alpha_2 - \beta_2). \end{aligned}$$

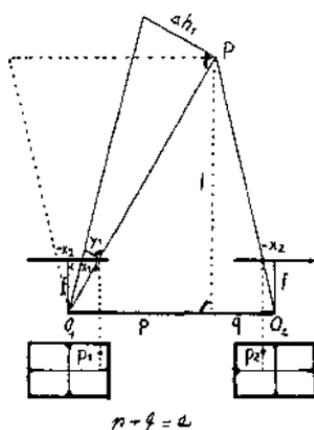


Abb. 79

Darstellung der Koordinaten in Bezug auf die Basis bei nicht verschwenkten Aufnahmeachsen

Für die Höhenunterschiede bestehen die Formeln

$$64) \quad \begin{aligned} \Delta h_1 &= \frac{e_1}{\sqrt{f^2 + x_1^2}} y_1 \\ \Delta h_2 &= \frac{e_2}{\sqrt{f^2 + x_2^2}} y_2. \end{aligned}$$

Die Formeln gestalten sich aber noch einfacher, wenn die Aufnahmeachsen gegen die Basis nicht verschwenkt sind, sondern rechtwinklig zu ihr stehen. Zieht man in Abb. 79 durch O_1 die Parallele zu O_2P , so ist

$$65) \quad \begin{aligned} l &= \frac{a}{x_1 - x_2} f \\ p &= \frac{a}{x_1 - x_2} x_1 \\ q &= \frac{a}{x_1 - x_2} x_2. \end{aligned}$$

Die Höhenunterschiede lassen sich ermitteln aus:

$$66) \quad \begin{aligned} \Delta h_1 &= \frac{l}{f} y_1 = \frac{a}{x_1 - x_2} y_1 \\ \Delta h_2 &= \frac{l}{f} y_2 = \frac{a}{x_1 - x_2} y_2. \end{aligned}$$

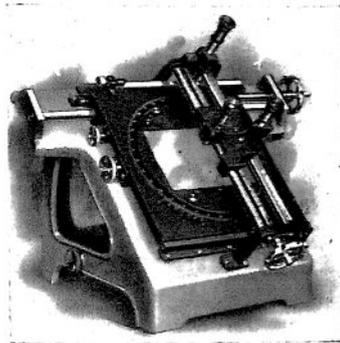
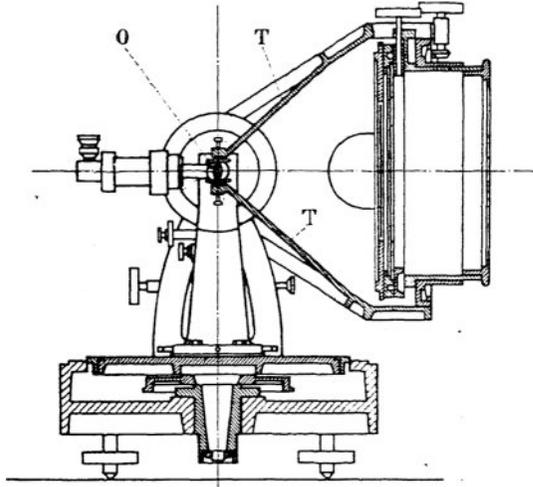


Abb. 80
Komparator mit Mikroskopen
von Hugersdorff-Heyde, Dresden

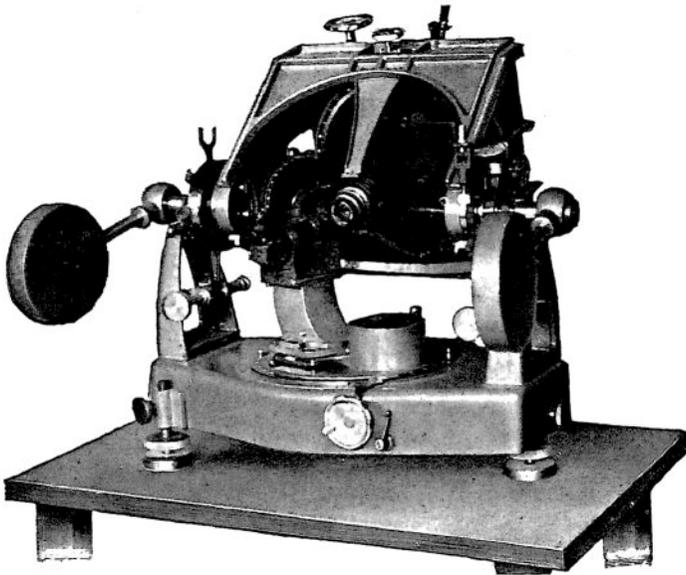
Die Entnahme der Koordinaten x und y erfolgt entweder auf den Papier- oder Plattenbildern mittels Zirkel und Millimetermaßstab oder genauer mit dem Hugershoff-Heydeschen Komparator (Abb. 80). Dieser besteht aus dem Unterbau, dem Bildschlitten und dem Mikroskopschlitten. Der Unterbau besitzt oben links und rechts zwei Böcke zur Aufnahme der Gleitstange des Bildschlittens und unten eine Führungsrinne (in der Abb. nicht sichtbar), in der sich die Laufrollen des Bildschlittens bewegen. Die beiden anderen Böcke des Unterbaues, oben und unten, dienen zur Aufnahme der Gleit- und Führungsstange des Mikroskopschlittens, des Ordinatenmaßstabes und des Skalenmikroskops für die Abszissen. Der Bild-

schlitten trägt oben den Abszissenmaßstab, dann den ausgesparten Plattenhalter mit Mattscheibe, den Verkantungskreis mit Nonius, in der Mitte links die Verkantungsschraube und etwas höher links die Einschaltungsschraube für den Bildschlitten. Der Mikroskopschlitten trägt zwei Skalenmikroskope. Das eine links ist das Einstellmikroskop, das andere das Ordinatenmikroskop.

Die Kreuzungsstelle des Fadenkreuzes im Einstellmikroskop ist unterbrochen und der Kreuzungspunkt wieder als Punkt von etwa 6" Durchmesser dargestellt. Unterhalb des Bildschlittens ist ein drehbarer Spiegel angebracht, der eine geeignete Beleuchtung der Mattscheibe und des Plattenbildes ermöglicht. Der Vorgang der Ausmessung der Koordinaten ist folgender: Der Bildschlitten wird ganz nach links geschoben und das Plattenbild so auf die Mattscheibe gelegt, daß die Haupthorizontale nach Augenmaß parallel zum Abszissenmaßstab gerichtet ist. Die genauere Parallelstellung wird durch Drehung des Kantungskreises erreicht, bis sich die Nullstriche von Nonius und Kreis gegenüberstehen. Durch Verschiebung des Schlittens nach rechts wird die rechte Meßmarke in das Gesichtsfeld des Einstellmikroskopes gebracht und dann seine Einstellmarke mit der Meßmarke durch Verschieben des Bild- und des Mikroskopschlittens zur Deckung gebracht. Dann wird der Bildschlitten noch weiter nach rechts geschoben, bis auch die linke Marke nahe der Einstellmarke erscheint. Eigentlich sollten sich nach dieser Verschiebung des Schlittens — parallel zum Abszissenmaßstab — Meßmarke und Einstellmarke decken. Ist das aber nicht der Fall, so werden die Hälften der Abweichung geschätzt, die eine wird mit der Kantungsschraube beseitigt, die andere durch Verschiebung des Mikroskopschlittens. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis sich beide Meßmarken nach den Verschiebungen des Bildschlittens mit der Einstellmarke genau decken. Darauf wird der Ordinatenmaßstab durch eine Mikrometerschraube verschoben, bis eine runde Zahl, etwa 100, am Nullstrich des Ordinatenmikroskops erscheint. Nun wird die eine der Ordinatenmarken mit der Marke des Einstellmikroskops zur Deckung gebracht, was durch Verschiebung sowohl des Bildschlittens als auch des Mikroskopschlittens erfolgt. Darauf wird der Abszissenmaßstab durch seine Mikrometerschraube verschoben, bis am Nullstrich des Abszissenmikroskops der Teilstrich der Zahl 100 erscheint. Der Koordinatennullpunkt ist also der Fußpunkt des Perpendikels von



a) Vertikalschnitt



b) Ansicht

Abb. 81
Der Hegershoff-Heydesche Bildmeßtheodolit

dieser Ordinatenmarke auf die Verbindungslinie der Abszissenmarken. Stellt man irgendeinen Bildpunkt ein und liest an den Maßstäben der Koordinaten (x) und (y) ab, so sind die gewünschten Koordinaten

$$67) \quad \begin{aligned} x &= (x) - 100 \\ y &= (y) - 100. \end{aligned}$$

Anstatt die Bildkoordinaten den Platten mit Hilfe des Komparators zu entnehmen und dann die Höhen- und Horizontalwinkel zu errechnen, haben die Firmen Zeiss in Jena und Heyde in Dresden Bildmeßtheodolite gebaut, die es gestatten, diese Winkel direkt zu messen. Nach den Abb. 81a und b besteht der Hugershoff-Heydesche Bildmeßtheodolit im wesentlichen aus dem für sich gelagerten Bild-

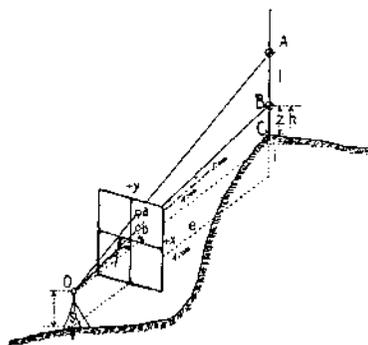


Abb. 82
Längermessung unmeßbarer Strecken bei unbekanntem
Höhenunterschied ihrer Endpunkte

träger mit den beiden Gegengewichten und einem Theodoliten. Der Bildträger T ist beliebig neigbar und an seiner Hinterwand mit einem Plattenhalter versehen, der sich wieder in seiner eigenen Ebene drehen, verkanten läßt. Kennt man also die Neigung und Verkantung der Platte im Augenblick der Aufnahme, so ermöglicht der neigbare Bildträger bzw. der verdrehbare Plattenhalter, die Platte nachträglich wieder genau in die Aufnahmelage zu bringen. Vor die Platte, in starrer Verbindung mit dem Bildträger T , ist ein Objektiv O angebracht, dessen Brennweite nahezu mit der Brennweite des Objektivs der benutzten Aufnahmekammer übereinstimmt. Der Abstand der auszumessenden Platte von dem Bildträgerobjektiv kann

nun so verändert werden, daß er genau mit der Bildweite der Aufnahmekamera übereinstimmt. Wird jetzt die auf richtige Neigung und Verkantung gebrachte Platte in geeigneter Weise von rückwärts her beleuchtet, so werden die Bildstrahlen das Bildträgerobjektiv unter den gleichen Horizontal- und Vertikalwinkeln verlassen, unter denen sie in das Kammerobjektiv im Augenblick der Aufnahme eintraten. Stellt man also irgendeinen Bildpunkt auf der Platte mit dem Theodolitenrohr durch das Trägerobjektiv hindurch ein, so läßt sich am Horizontalkreis bzw. Höhenkreis des Theodolits unmittelbar der Horizontal- bzw. Vertikalwinkel des betreffenden Bildpunktes ablesen. Damit wird also die Berechnung nach den Formeln unnötig.

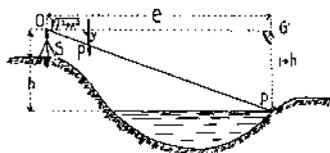


Abb. 83

Längenermittlung unmeßbarer Strecken bei bekanntem Höhenunterschied ihrer Endpunkte

Die Entfernungen und Höhen gewisser Erdpunkte können auch von einem einzigen Standorte aus ermittelt werden, wenn auf ihnen Latten vertikal aufgestellt werden, bei denen ein bestimmter Lattenabschnitt l durch Zielscheiben A und B begrenzt und die Höhe Z der untersten Zielscheibe vom Endpunkte C (Abb. 82) gemessen wird. Alsdann ist die Entfernung e

$$(68) \quad e = \frac{l}{y_a - y_b} \sqrt{f^2 + x^2} = \frac{l}{\Delta y} \sqrt{f^2 + x^2}.$$

Ist ferner die Höhe des Standortes gleich H_s und $SO = i$ die Instrumentenhöhe sowie H_c die Höhe des Punktes C , so ist, da

$$h = \frac{y_b}{\Delta y} l$$

ist

$$(69) \quad H_c = H_s + i + \frac{y_b}{\Delta y} l - z.$$

Handelt es sich um solche Punkte, deren Höhen unter sich gleich und gegen den Standort bekannt sind, so ergibt sich die Entfernung e nach Abb. 83 zu

$$70) \quad e = \frac{\sqrt{f^2 + x^2}}{y} (h + i).$$

Für die Kartierung dieser Punkte ist es noch erforderlich, daß sowohl der Standort S wie auch ein Punkt S_0 entweder durch ihre Koordinaten oder direkt in der Karte gegeben sind. Außerdem muß der horizontale Richtungswinkel α der Aufnahmeachse gegen diese Gerade gemessen sein.

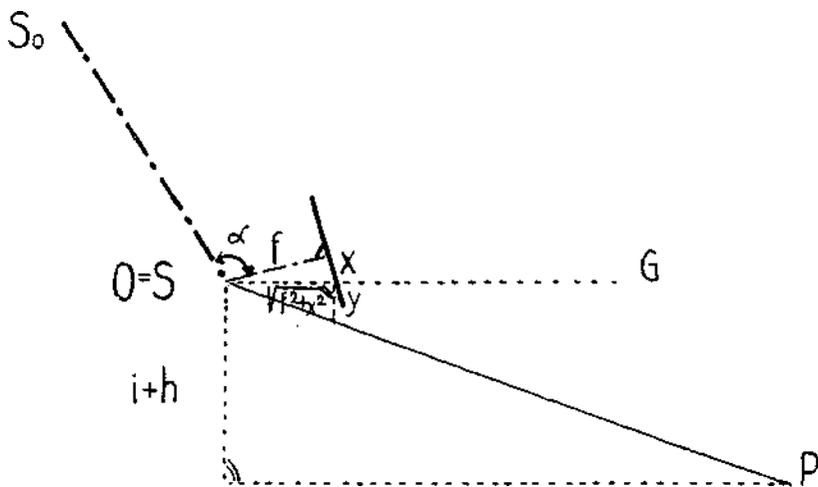


Abb. 84.

Graphische Ermittlung der Lage des Punktes P aus Abb. 83

Die Kartierung erfolgt gemäß Abb. 84. Der Standort S wird mit dem anderen Festpunkte S_0 verbunden und an diese Verbindungslinie der horizontale Richtungswinkel α in S angetragen. Auf dem freien Schenkel wird die Bildweite f abgesetzt und in ihrem Endpunkte eine Senkrechte errichtet, die die Haupthorizontale der Platte darstellt. Auf ihr wird die Abszisse x abgesetzt und ihr Endpunkt mit dem Standorte S verbunden. Auf dieser Verbindungslinie werden sowohl in S wie auch in dem Endpunkte x Senkrechte errichtet. Die Senkrechte in S wird gleich $h + i$, die andere gleich

y gemacht. Im Endpunkte von $h+i$ ist eine Parallele zu SG zu ziehen; ihr Schnittpunkt mit der Verbindungsgeraden von S mit dem Endpunkt der y -Ordinate liefert den Punkt P .

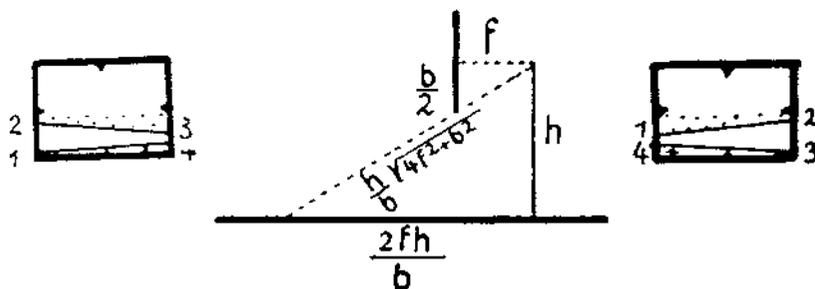
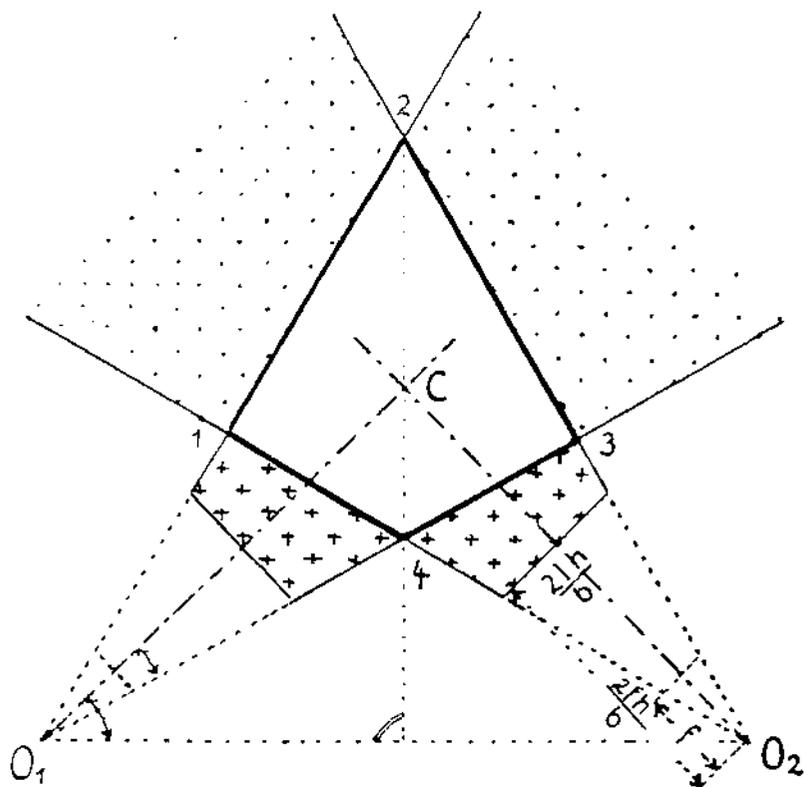


Abb. 85

Der doppelt abgebildete Geländeteil einer Aufnahme
von zwei Standpunkten aus

Wie aus dem Vorhergehenden immer wieder hervorgeht, sind die Photogramme nur soweit für die Kartenherstellung verwendbar, als das fragliche Flächenstück doppelt abgebildet ist. Auf einem Standorte O beginnt die Flächenabbildung nach Abb. 85 in einer horizontalen Entfernung von

$$\frac{2fh}{b}$$

und die abgebildete Breite beträgt

$$\frac{2lh}{b}.$$

Das Ende der abgebildeten Fläche ist in einer Entfernung von

$$e = \frac{r}{r+i} \sqrt{i(2r+i)},$$

falls r den Erdradius und i die Instrumentenhöhe bedeuten, wobei allerdings der Einfluß der Refraktion wegen der geringen Instrumentenhöhe vernachlässigt wird. Werden auf zwei Standorten O_1 und O_2 Aufnahmen mit konvergierenden Achsen ausgeführt, so überschneiden sie sich, und die Fläche 1 — 2 — 3 — 4 — 1 ist der doppelt abgebildete Geländeabschnitt, der allein photogrammetrisch auswertbar ist. Auf den schematisch dargestellten Platten derselben Abbildung entsprechen ihr die signaturlosen Flächen zwischen dem unteren Vordergrunde und dem oberen Hintergrunde, der nicht ganz bis zur Haupthorizontalen reicht, weil er sich nicht bis in die Unendlichkeit erstreckt. Sowohl der Vorder- wie auch der Hintergrund sind also nicht auswertbar, und die auswertbaren mittleren Bildflächen selbst sind verhältnismäßig klein. Längen und Flächen, wie z. B. Häuserfronten, die etwa senkrecht zur Aufnahmeachse des einen Standorts verlaufen, werden auf dem Bilde des anderen Standortes wenig oder gar nicht erkennbar sein, so daß die Identifizierung der Objekte recht erschwert ist. Die beste Möglichkeit der Identifizierung tritt nur dann ein, wenn die Aufnahme mit parallel gerichteten Achsen ausgeführt werden.

Um anderseits die auswertbare Fläche zu vergrößern, ist es noch notwendig, das Gelände mit verschwenkten Achsen aufzunehmen. Die Abb. 86 zeigt die Wirkung der Aufnahmen mit parallel und verschwenkt gerichteten Achsen. Auf jedem Standorte sind drei Auf-

nahmen ausgeführt. Bei der ersten steht die Achse senkrecht zur Basis und bei den beiden anderen ist die Achse um

$$\frac{R^0}{3}$$

nach links und rechts gegen die Achse der ersten Aufnahme verschwenkt. Das Ergebnis einer solchen Anordnung besteht darin, daß man zwei auswertbare Flächen unterscheiden muß. Der punktierte Hintergrund enthält die Aufnahmeflächen der parallel gerichteten Achsen, in dem die Identifizierung die günstigste ist; das durch die Kreuzsignatur hervorgehobene Sechseck enthält zwar nur Aufnahmen

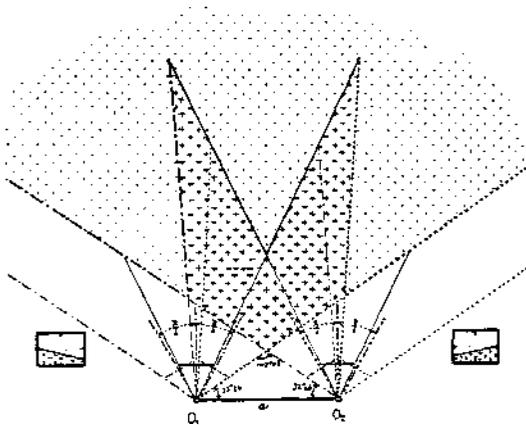


Abb. 86

Der doppelt abgebildete Geländeteil einer Aufnahme von zwei Standpunkten aus bei um $\frac{R^0}{3}$ nach links und rechts verschwenkten Achsen

mit konvergent gerichteten Achsen, bei denen die Identifizierung der Objekte also nicht die allergünstigste ist, doch genügt sie, weil die Objekte ziemlich nah dem Vordergrunde gelegen sind. Hierzu kommt noch, daß die auswertbare Fläche einen großen Winkelwert umfaßt, die Standorte also gut ausgenutzt sind. Bei einer Plattenlänge und Brennweite von je 18 cm beträgt der Winkelwert der auswertbaren Aufnahme $143^{\circ} 08'$. Wären die Aufnahmen auf beiden Standorten mit parallelen und zur Basis senkrechten Achsen ausgeführt worden, so wäre der Winkelwert der auswertbaren Fläche nur

49° 08' gewesen. Die beiden seitlichen schematisch dargestellten Plattenbilder zeigen für diesen Fall die auswertbaren Hintergründflächen, die punktiert sind. Sollen die Bilder eines Standortes zu einem Rundbilde zurechtgeschnitten werden, so ersieht man aus der Abb. 87, daß zwei aufeinanderfolgende Bilder nur eine einzige Schnittlinie besitzen, die von der Hauptvertikalen eine Entfernung

$$f \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$$

hat, sofern φ den Verschwenkungswinkel bedeutet. Entlang dieser Schnittlinie sind auch die Bilder zu beschneiden und aneinander zu reihen.

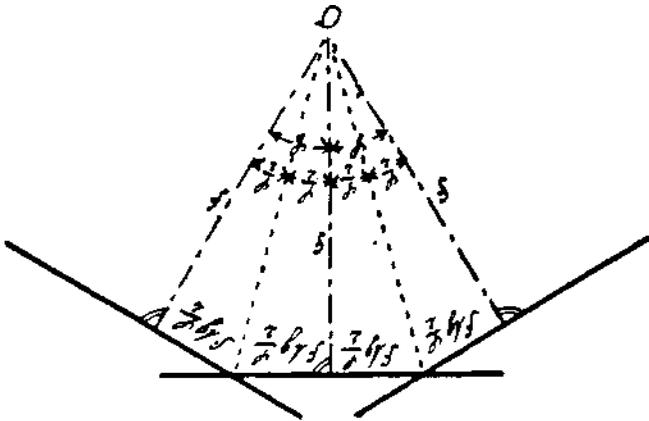


Abb. 87

Das Beschneiden der Bilder zu einem Rundbilde

Gegenüber dem Verfahren der punktwisen, geometrischen Aufnahme des Geländes bietet die Meßtischphotogrammetrie den Vorzug, daß sie eine Vermessungsmöglichkeit im schwer zugänglichen oder gänzlich unzugänglichen Gelände bietet. Die Dauer der Feldarbeit ist aufs äußerste eingeschränkt. Jederzeit ist eine Kontrolle und Erweiterung der gefertigten Karte ohne neue örtliche Nachmessung möglich. Außerdem sind die Originalaufnahmen frei von Beobachtungsfehlern, so daß das photogrammetrische Verfahren den meisten topographischen Aufnahmemethoden wirtschaftlich bedeutend überlegen ist.

Andererseits ist es nicht überall verwendbar, z. B. nicht im ebenen Gelände und bei Behinderung der Sicht infolge Vegetation, Bebauung usw. Ungünstige Witterungs- und Beleuchtungseinflüsse rufen ausdruckslose Bilder hervor, so daß die Identifizierung der Bildpunkte auch dadurch ganz außerordentlich erschwert wird.

Was die Genauigkeit anbelangt, so bewegt sie sich erfahrungsgemäß bei der Horizontalauswertung um ± 7 m und bei der Höhenauswertung zwischen $\pm 2-5$ m.

Die Stereophotogrammetrie

Die Stereophotogrammetrie unterscheidet sich von der Meßtischphotogrammetrie hauptsächlich in der Auswertung der Bilder. Die Photogramme werden gegenseitig orientiert und durch ein Stereoskop betrachtet, so daß ein Lichtmodell der Landschaft entsteht. Durch Bewegungen der Photogramme gerät auch das Landschaftsmodell in Bewegung, und daher kann jeder Punkt an eine feststehende Raummarke im Bildfelde des stereoskopischen Mikroskops herange-

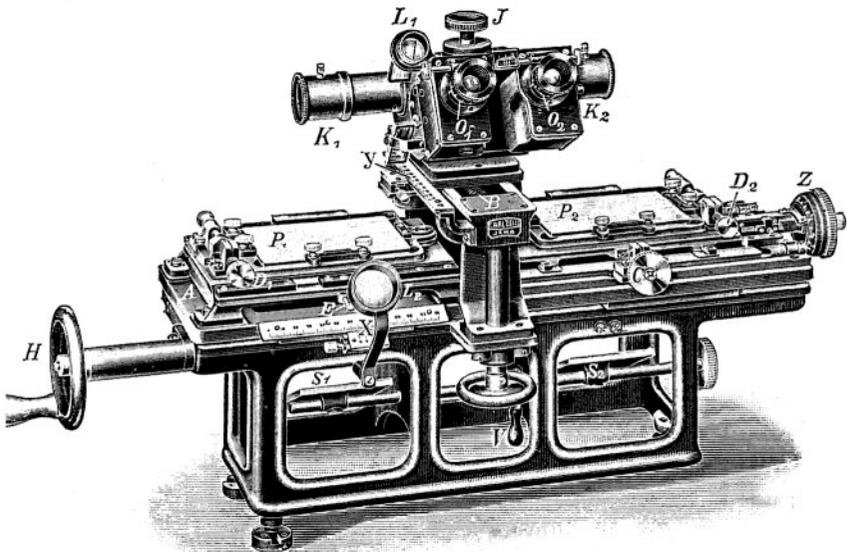


Abb. 88

Der Stereokomparator (9 × 12 cm) der optischen Anstalt Karl Zeiss in Jena von Prof. Dr. Pulfrich

führt werden. Diese relativen Bewegungen geben die Längen der Unterschiede der Bildkoordinaten an und können an Maßstäben abgelesen oder mittels geeigneter Hebelvorrichtungen auf ein Zeichenbrett übertragen werden, so daß der gewünschte Lageplan entsteht. Man erkennt auch hier das Prinzip Devilles, nur mit dem Unterschiede, daß nicht das Modell feststeht und die Marke beweglich zugeordnet ist, sondern umgekehrt, jeder Punkt des Modells an die Marke herangeführt wird. Die Instrumente, durch die die Ausmessung des Landschaftsmodells erfolgt, heißen Stereokomparatoren. Ist mit dem Stereokomparator auch die mechanische Zeichenvorrichtung verbunden, so erhält man den Stereoautograph.

Der Stereokomparator von Prof. Dr. Pulfrich, dem verstorbenen wissenschaftlichen Leiter der Firma Zeiss in Jena, besteht nach Abb. 88 aus einem Tische, in dessen Längsrichtung der Hauptschlitten A mittels der Kurbel H verschiebbar ist. Das Maß für diese Verschiebung wird an der Abszissenteilung X abgelesen. Auf dem Hauptschlitten bewegen sich zwei kleinere Schlitten, die die Bildplatten P_1 und P_2 tragen. Dem linksseitigen Schlitten kann mittels der Feinschraube D_1 eine geringe horizontale Drehung erteilt werden. Seine Feststellung erfolgt mittels des Sperrhebels E . Dem rechtsseitigen Schlitten kann mittels der Feinschraube D_2 ebenfalls eine Drehung im horizontalen Sinne erteilt werden und außerdem noch zwei Verschiebungen, die eine in der Längsrichtung mittels der Schraube Z zur Messung der Parallaxe und die andere mittels der Schraube C . Die Spiegel S_1 und S_2 dienen zur Beleuchtung der Platten von unten, weshalb die Schlitten durchbrochen sind.

Der Schlitten B trägt das Stereomikroskop und kann mittels der Kurbel V in Querbewegungen versetzt werden. Ihre Größen können auf der Ordinatenenteilung y direkt oder mittels der Lupe L_1 auf dem hinter ihr angeordneten Spiegel abgelesen werden. Die Nonienangabe für die x - und y -Verschiebung beträgt 0,02 mm und die der Parallaxe 0,01 mm.

O_1 und O_2 sind die Okulare des Stereomikroskops und K_1 und K_2 die Objektivprismen. In den Bildfeldebene der beiden Okulare ist je eine festliegende Marke angebracht, die bei der zweiäugigen Betrachtung zu einer einzigen feststehenden Raummarke zusammenschmelzen. Die Entfernung der Okulare von den Platten kann für jeden Beobachter mittels der Schraube J verändert werden. Die Ein-

stellung der Okulare auf den Augenabstand des Beobachters erfolgt an dem Maßstabe oberhalb der Okulare.

Für das gegenseitige Orientieren der Platten werden zunächst ihre Horizonte mittels der Schrauben D_1 und D_2 parallel der Abzissenrichtung gebracht. Dann erfolgt die Einstellung der Plattenhauptpunkte auf die Mikroskopachsen und zwar die des linken Hauptpunkts mittels der Kurbeln H und V und die des rechten mittels der Schrauben C und Z . Damit ist die Grundstellung erreicht

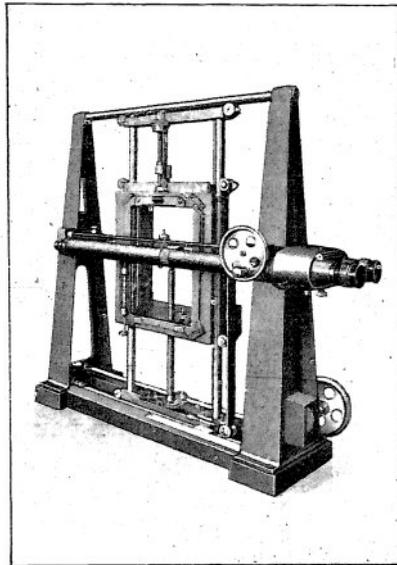


Abb. 89

Der Stereokomparator von Prof. Dr. Hugerhoff

Die Ablesungen an den Maßstäben x , y und z sollten Null ergeben. Trifft das nicht zu, so ist die Anfangsablesung von jeder folgenden Ablesung in Abzug zu bringen.

Das Einstellen eines ausgewählten Punktes erfolgt zunächst in der z -Richtung durch die x - und y -Verschiebung beider Platten mit Hilfe der Handräder H und V und dann durch die z -Verschiebung der rechten Platte allein, bis der Punkt mit der Marke selbst zur Deckung kommt. Dieser Vorgang wird genauer wiederholt, bis das Zusammenfallen des Objektpunkts mit Marke erreicht ist.

Der Stereokomparator von Herrn Prof. Dr. Hegershoff, Dresden, Abb. 89, unterscheidet sich von dem des Herrn Prof. Dr. Pulfrich, Jena, dadurch, daß die Lage der auszumessenden Photogramme nicht horizontal, sondern vertikal angeordnet ist. Infolgedessen zeichnet er sich durch eine gedrängte Bauart, geringe Metallmassen und insofern durch ein geringes Gewicht aus. Seine weiteren Vorteile bestehen in der Prismenanordnung, die einen einwandfreien stereoskopischen Effekt über das gesamte Bildfeld gewährleistet, und in der Einstellbarkeit des Doppelokulars nicht nur auf den horizontalen, sondern auch auf den vertikalen Augenabstand des Beobachters. Durch diese letztere Einrichtung wird das stereoskopische Meßverfahren auch einer großen Anzahl von Personen zugänglich, die es bisher nicht vermochten, stereoskopisch zu sehen. Zur Beleuchtung der Platten genügt eine einzige Birne einer etwa 4-Volt-Batterie. Im übrigen erfolgen auch bei diesem Stereokomparator die Einstellungen mittels dreier Antriebe und die Ablesungen an den drei zugehörigen Maßstäben.

Für die Behandlung der stereophotogrammetrischen Theorie sei vorausgesetzt, daß die Plattenanordnung bei der Aufnahme eine vertikale sei. Alsdann lassen sich drei Hauptfälle unterscheiden: Der sog. Normalfall, der Verschwenkungsfall und der Konvergenzfall. Der letztere kann aber von der Betrachtung ausgeschaltet bleiben, weil er kaum jemals praktisch ausgeführt wird. Beim Normalfall können die Instrumentenhöhen ungleich, aber die Aufnahmeachsen unter sich müssen parallel und senkrecht zur Standlinie angeordnet sein. Bezeichnet man die Bildkoordinaten eines Raumpunktes P mit x_1 und z_1 bzw. mit x_r und z_r , je nachdem sie dem linken oder rechten Bilde entnommen werden, so erhält man die Raumkoordinaten y , x und z des Punktes P nach Abb. 90. Es ist

$$71) \left\{ \begin{array}{l} y = \frac{a}{x_1 - x_r} f = \frac{a}{p} f \\ x = \frac{a}{x_1 - x_r} x_1 = \frac{a}{p} x_1 = \frac{y}{f} x_1 \\ z = \frac{a}{x_1 - x_r} z_1 = \frac{a}{p} z_1 = \frac{y}{f} z_1. \end{array} \right.$$

Da $x_1 - x_r = p$, die Parallaxe, an der Parallaxenschraube, x_1 und z_1 an den beiden anderen Maßstäben des Stereokomparators abgelesen

werden und a und f bekannt sind, so sind die drei Raumkoordinaten berechenbar. Aus

$$p = \frac{a}{y} f$$

folgt, je größer a ist, desto größer wird auch p und desto kleiner werden daher die bei der Parallaxenmessung begangenen relativen Fehler sein. Der durch einen Parallaxenfehler Δp verursachte Fehler in der Lage eines Punktes — also sein Abstandsfehler Δy — ergibt sich durch Differentiation der Gleichung

$$y = \frac{a}{p} f:$$

es ist also

$$72) \quad \Delta y = -\frac{a f}{p^2} \Delta p = -\frac{y^2}{a f} \Delta p,$$

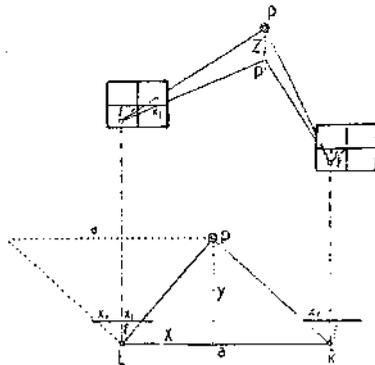


Abb. 90

Der Hauptfall der Aufnahme:

Ungleiche Instrumentenhöhen, vertikale Plattenlage, aber parallel gerichtete und zur Basis senkrecht stehende Aufnahmecassen

wobei $\Delta p = 0,01$ mm zu setzen ist. Der absolute Abstandsfehler wächst also mit dem Quadrate der Entfernung und ist umgekehrt proportional der Basis und Brennweite. Soll daher bei der Grundrißbestimmung des Punktes P ein gewisser Fehler Δy nicht überschritten werden, so muß eine Standlinie von der Länge

$$73) \quad a = \frac{y^2}{f \cdot \Delta y} 0,01 \text{ mm}$$

gewählt werden. Entschließt man sich z. B. für einen relativen Abstandsfehler

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{1}{1000},$$

so muß eine Basis von $a = 55,55$ m gewählt werden, wenn die Brennweite $f = 0,18$ m beträgt.

Der Höhenfehler ergibt sich durch Differentiation der Gleichung

$$z = \frac{a}{p} z_1,$$

daher

$$74) \quad \Delta z = \frac{a}{p} \Delta z_1 = \frac{y}{f} \Delta z_1.$$

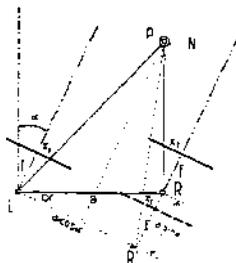


Abb. 91

Der Verschwenkungsfall der Aufnahme bei vertikalen Platten und parallel gerichteten Aufnahmeachsen

Er ist also direkt proportional dem Abstände y und umgekehrt proportional der Brennweite.

Die Aufnahmen mit rechts oder links verschwenkten aber parallelen Achsen lassen sich auf den Normalfall zurückführen. Die Abb. 91 stellt eine um den Winkel $+\alpha$ nach rechts verschwenkte Aufnahme dar. Die vertikalen Bildebenen fallen nicht mehr in eine Ebene. Die Projektion der Basis auf die Bildachse $a \sin \alpha$ nennt man Ausrückung, den Normalabstand der Achsen $a \cos \alpha$ Stamm der Basis. Hat man eine linksverschwenkte Aufnahme, so muß α negativ gesetzt werden. Wir denken uns die tatsächlich in R stehende rechte Aufnahmekammer nach R' verschoben, als wenn hier eine Aufnahme gemacht worden wäre, die mit der Kammer in L den Normalfall bildet. Es ist dann

$$75) \quad y = \frac{a \cos \alpha}{x_1 - x'_r} f.$$

Nun lassen sich x und x' durch N ausdrücken, nämlich

$$x_r = \frac{f}{y - a \sin \alpha} N$$

und

$$x'_r = \frac{f}{y} N;$$

Daher ist

$$x'_r = \frac{x_r}{y} (y - a \sin \alpha).$$

Wird dieser Wert in Gleichung 75) eingesetzt, so wird nach einiger Vereinfachung

$$y = \frac{af \cos \alpha - x_r a \sin \alpha}{p},$$

falls $x_1 - x_r = p$ gesetzt wird. Da weiter $x_r = x_1 - p$ ist, so ist

$$y = \frac{af \cos \alpha - x_1 a \sin \alpha}{p} + a \sin \alpha$$

oder

$$76) \quad y = \frac{a \cos \alpha (f - x_1 \operatorname{tg} \alpha)}{p} + a \sin \alpha$$

für rechts verschwenkte Achsen. Bei links verschwenkten Achsen ist α negativ, daher wird

$$77) \quad y = \frac{a \cos \alpha (f + x_1 \operatorname{tg} \alpha)}{p} - a \sin \alpha.$$

Die beiden anderen Koordinaten für den Punkt P ergeben sich nach Gleichung 71) zu

$$x = \frac{y}{f} x_1$$

$$z = \frac{y}{f} z_1.$$

Diesmal ist aber für y der Wert aus den Gleichungen 76) oder 77) zu setzen. Die am Stereokomparator ermittelten Größen x_1 , z_1 und p gestatten also die räumliche Lage des Punktes P auch bei verschwenkten Achsen zu berechnen.

Wenn man sich vergegenwärtigt, daß die Originalnegative im Stereokomparator Punkt für Punkt auf drei Größen hin, Abszisse, Ordinate und Parallaxe, ausgemessen werden müssen, und daß aus diesen auf hundertstel Millimeter abgelesenen Werten erst die Raumkoordinaten jedes Punktes mühselig nach Formeln gerechnet und dann alle Punkte einzeln kartiert werden müssen, so wird es verständlich, wenn man in der Praxis darauf hinarbeitete, diese

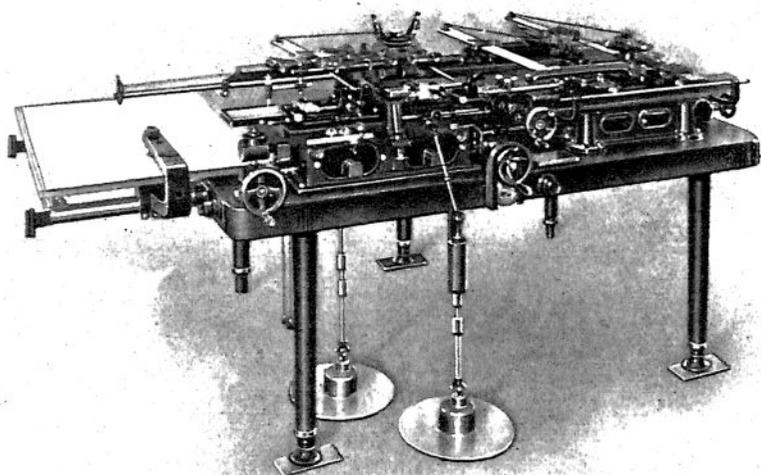


Abb. 92
Ansicht des Stereoautographen

überaus langwierigen Arbeiten mechanisch zu lösen. Den erfolglosen Versuchen verschiedener Gelehrten folgte schließlich im Jahre 1909 die Erfindung des Stereoautographen durch den damaligen Hauptmann Ritter von Orel im militär-geographischen Institut zu Wien.

Dieser Stereoautograph besteht nach den Abb. 92 und 93 aus dem Stereokomparator und der mit ihm verbundenen automatischen Zeichenvorrichtung. Die drei Schlitten des Stereokomparators sind mit je einem Lineal gekuppelt, die sich um senkrechte Achsen im

Abstände f vom Komparator drehen. Die wagerechte Bewegung der Abstandsbrücke B , die den Basiswagen s_1 und den Höhenwagen s_2 führt, erfolgt durch die Parallaxenkurbel R_p . Auf dem Basiswagen, mit dem auch das Richtungslineal l_1 , das Parallaxenlineal l_2 und gegebenenfalls auch der Zeichenstift in Verbindung stehen, wird die Basis a mit Hilfe der errechneten Einrückung $a \sin \alpha$ und des Basisstammes $a \cos \alpha$ im Maßstabe des gewünschten Planes eingestellt. Erhält der Richtungsschlitten mit Hilfe des Richtungsrades R_x eine

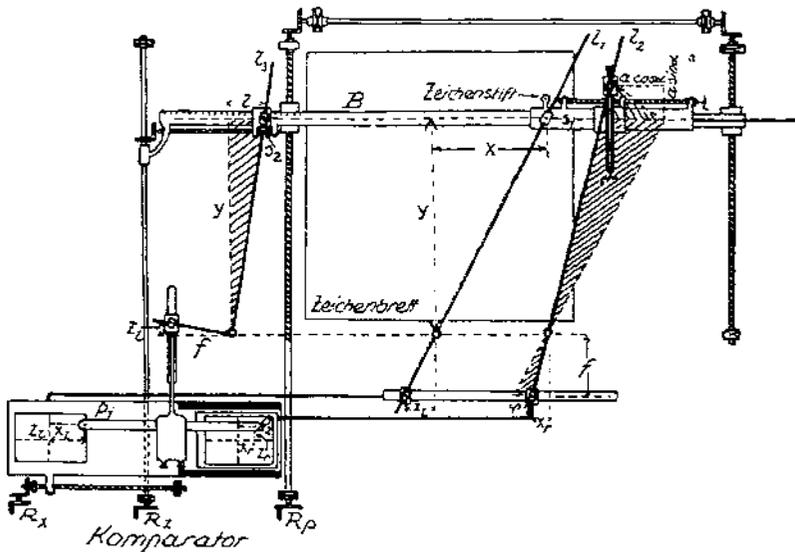


Abb. 93

Schematische Darstellung des Stereoautographen

seitliche Bewegung um x_1 , so wird auch das Richtungslineal l_1 im Abstände f um denselben Betrag verschwenkt. Die Betätigung des Handrades R_p setzt die Abstandsbrücke B in Bewegung. Dadurch wird das Parallaxenlineal l_2 verschwenkt und damit auch die rechte Platte seitlich bewegt. Das Höhenrad R_2 greift am Höhenwagen s_2 an, so daß das geknickte Höhenlineal verschwenkt und dadurch wieder das Stereomikroskop mit der Meßmarke über den Plattenbildern hinweggleitet. Werden also die drei Handräder solange bewegt, bis die Meßmarke einem bestimmten Modellpunkt aufsitzt, so gibt der

Zeichenstift seine horizontale Lage im Maßstabe des Planes an. Am Höhenmaßstabe kann seine Höhe abgelesen werden. Wird der Zeiger des Höhengeschlittens auf eine bestimmte Höhe eingestellt und die weiteren Bewegungen nur mit den beiden Handrädern R_x und R_p ausgeführt, aber so, daß die Marke weder in das Landschaftsmodell eindringt noch von ihm absteht, sondern sich nur auf seiner Oberfläche fortbewegt, so zeichnet der Zeichenstift die der eingestellten Höhe entsprechende Horizontalkurve. Die Schichtlinien können also auch hier fortlaufend gezeichnet werden — im Gegensatz zu dem bisher üblichen Verfahren ihrer proportionalen Einschaltung zwischen bekannten Höhen — so daß ihre Formtreue aufs Äußerste gewahrt wird.

Im allgemeinen ist der Richtungs- oder Hauptschlitten des Stereokomparators linksseitig noch zur Aufnahme einer Kopie des linken Plattenbildes verlängert (Abb. 92), während das Mikroskop mit einem ebenfalls nach links auslagernden Zeichenstift versehen ist. Nach Einstellung des Zeigers am Höhenwagen s_2 auf eine bestimmte Höhe und bei Betätigung nur der beiden Handräder R_x und R_p , zeichnet dieser feststehende Zeichenstift die entsprechende Höhenkurve in das linksseitige Bild perspektivisch ein.

Die Abb. 92 zeigt unterhalb des Stereokomparators noch zwei Töpferscheiben. Die linke gestattet dem Beobachter den Höhenwagen auch mit dem Fuße anstatt mit dem Handrade R_z zu verstellen, so daß alle drei Bewegungen auf einmal ausgeführt werden können. Durch die rechte Töpferscheibe kann eine etwaige Höhendifferenz der Standorte, die sich als Vertikalparallaxe auswirkt, mit dem Fuß ausgeglichen werden.

Ähnlich wie die Meßtischphotogrammetrie ist auch die Stereophotogrammetrie nicht anwendbar im ebenen und wenig einsichtigen Gelände sowie nicht in bebauten Siedlungen. Ihre Genauigkeit ist aber wegen der besseren Identifizierung weit größer als die der Meßtischphotogrammetrie. Die Eidg. Landestopographie der Schweiz hat in den Jahren 1919/20 ein Teilgebiet der Gemeinde Rüscheegg stereophotogrammetrisch aufgenommen und dann einen Plan von ihm auf Aluminium-Meßtischblättern mittels des Stereoautographen im Maßstabe 1:5000 hergestellt. Als Grundlage für die Aufnahme diente ein engmaschiges Netz I. bis IV. Ordnung, dessen Triangulationspunkte für die photogrammetrische Aufnahme durch geeignete

Signalisierung sichtbar gemacht wurden und bei der Auswertung als Kontrollpunkte dienten. Um aber die dargestellten Höhenkurven zu prüfen, wurden die trigonometrischen Punkte im Gelände durch tachymetrische Züge verbunden, und letztere tachymetrisch bestimmt. Die Ausgleichung der 299 Tachymeterpunkte ergab einen mittleren Lagefehler von 0,24 m und einen mittleren Höhenfehler von 0,07 m. Sie konnten somit für den Genauigkeitsvergleich als fehlerfrei angesehen werden. Alsdann wurden die Tachymeterpunkte mittels eines Koordinatographen auf die Originalkurvenauswertung aufgetragen und ihre Höhen erneut aus benachbarten Horizontalkurven durch Interpolationen doppelt bestimmt und gemittelt. Der Vergleich der so gewonnenen Höhen mit den tachymetrisch ermittelten ergab, daß der Auswertung der Höhenkurven mittels des Stereoautographen eine zweieinhalbfache größere Genauigkeit zukam als der Darstellung nach der üblichen topographischen Methode. Sie konnte infolgedessen als topographische Spitzenleistung angesprochen werden.

Die seinerzeit beim k. und k. Militärgeographischen Institut in Wien und jetzt bei der Photogrammetrie G. m. b. H. in München gesammelten Erfahrungen haben den Beweis erbracht, daß die Genauigkeit des stereophotogrammetrischen Verfahrens mindestens der einer tachymetrischen Aufnahme entspricht, in den meisten Fällen ihr aber überlegen ist. Die Genauigkeit der Höhenangaben beträgt bei einem Maßstab 1 : 1000 oder 1 : 500 etwa 3—5 cm.

Um auch einen Anhaltspunkt über die für Feld- und Zimmerarbeit erforderliche Zeit und Kosten zu gewinnen, sei das Beispiel aus der Doktor-Dissertation des Herrn Dr.-Ing. Lüscher, z. Zt. in Angora, mitgeteilt: „Für die Vorarbeiten des Bahnprojektes Üsküb—Monastir wurden insgesamt 115 km in einer Breite von 400 m aufgenommen und im Maßstabe 1 : 2000 mit 2 m Schichtenabstand kartiert. Die Aufnahmeverhältnisse waren für andere Verfahren durchweg schwierig, für die Stereomethode teils mehr, teils weniger günstig. Die ganze Feldarbeit einschließlich Bestimmung des Linienzuges und Schaffung der Grundlagen für die Stereoaufnahmen konnte in der Zeit von Mitte Februar 1914 bis Anfang August 1914, also in rund $4\frac{1}{2}$ Monaten bewältigt werden. Dabei waren vier Gruppen tätig, bestehend aus je einem Ingenieur und einem technischen Assistenten nebst 4—8 Geräteträgern. Zwei dieser Gruppen waren für die Schaffung der Grundlagen (Schlagen des Vieleckzuges, Triangulation

und Höhenmessungen) angesetzt, während den beiden andern die eigentliche stereophotogrammetrische Aufnahme oblag.

Vier Wochen nach Beginn der Feldarbeit konnte im Hauptbüro in Wien mit der Ausrechnung der Grundlagen und der stereoautogrammetrischen Verarbeitung begonnen werden. Hierzu stand die ersten $2\frac{1}{2}$ Monate nur eine Maschine zur Verfügung, während später bis zum Schluß der Auswertung insgesamt zwei Stereoautographen noch weitere 2 Monate im Betrieb waren. Das Bedienungspersonal bestand bei 12 stündigen Tagesbetrieb mit 4stündigem Schichtwechsel aus je einem Ingenieur und je einem Zeichner.

Trotz des inzwischen ausgebrochenen Weltkrieges und dem dadurch verursachten Mangel an ausgebildetem Personal konnten sämtliche Pläne Ende August 1914 zur Ablieferung gelangen. Die gesamte Zimmerarbeit beanspruchte somit etwa $5\frac{1}{2}$ Monate. Verteilt man die Stereoautographenarbeit auf eine einzige Maschine, so wären dafür insgesamt $2\frac{1}{2} + 2 \times 2 = 6\frac{1}{2}$ Monate in Rechnung zu setzen.

Was die Kosten anbetrifft, so konnten die Arbeiten zum gleichen Kilometerpreis wie für tachymetrische Arbeiten angesetzt, d. h. im Mittel zu etwa 650 Frs., geliefert werden“.

Die Photogrammetrie in der Architektur

Die Anwendung der Photogrammetrie in der Architektur wird ausschließlich vom historischen und künstlerischen Interesse getragen und ist seit 1858 von Albrecht Meydenbauer begründet worden. Es handelt sich dabei um die photogrammetrische Aufnahme besonderer Bauwerke, wobei aber die Schwierigkeiten beseitigt sind, mit denen die geometrischen Aufnahmen sonst verknüpft sind. Das Bauen hoher Gerüste, ihr lebensgefährliches Besteigen und die langwierige Entnahme der Maße mit dem Zollstock für alle Einzelheiten fallen dadurch fort. Man unterscheidet zwei Aufnahmearten. In der staatlichen Bildstelle zu Berlin, deren langjähriger Leiter A. Meydenbauer gewesen ist, wird das Verfahren der Meßtischphotogrammetrie gepflegt, in Österreich hat dagegen seit 1907 Freiherr von Hübl das stereophotogrammetrische Verfahren empfohlen.

Die Aufnahme von Bauwerken nach dem Meßbildverfahren gliedert sich in drei Abschnitte: in die erschöpfenden photographischen

Aufnahmen, in die geometrischen Messungen und in die zeichnerische Entwicklung und Darstellung der verschiedenen Grund- und Aufrisse.

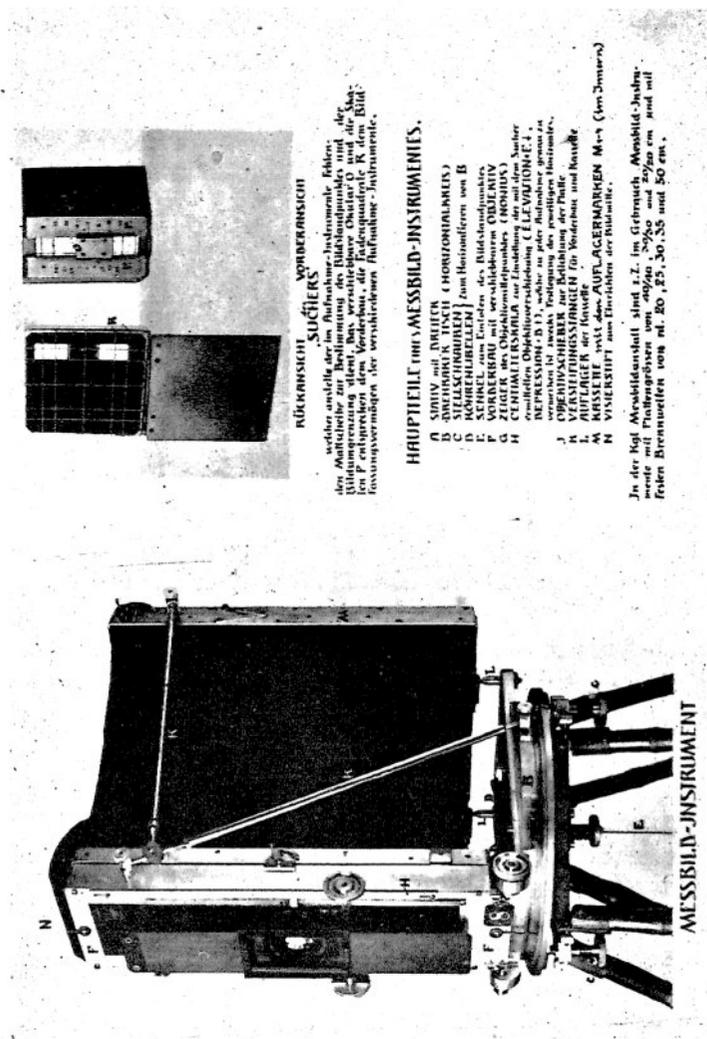


Abb. 94

Das Meydenbauersche Aufnahmegerät und der Sucher für die Aufnahmestandpunkte

Das in der Abb. 94 dargestellte Aufnahmegerät ist eine Konstruktion Meydenbauers selbst. Es besitzt eine konstante Bildweite von entweder rund 20, 25, 30, 35 oder 50 cm, eine Kassette *M* für die

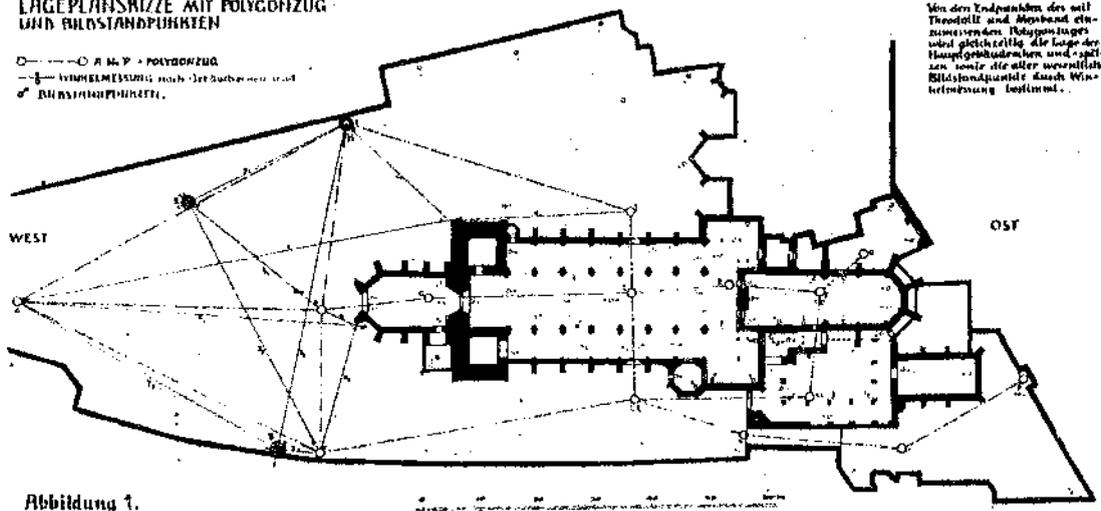
Spiegelglasplatten von 40/40, 30/30 und 20/20 cm Ausmaß nebst vorgelagertem Meßrahmen und ein der Höhe nach verschiebbares Objektiv von größter Verzeichnungsfreiheit und Schärfe. Jede Verschiebung des Objektivs, die an der Skala H ablesbar ist, bewirkt auch eine Änderung der Horizontalmarken im selben Sinne. Die Vertikalmarken sind dagegen fest angeordnet. Da die Seitenwände der Kammer aus Stoff sind, wird die Erhaltung der Gleichheit der Bildweite durch die Versteifungsstangen K bewerkstelligt. Der Visierstift N dient zum Einrichten der Bildmitte. Die Aufstellung der Kammer erfolgt auf dem Stativ A . Das Senkel zum Einloten der Kammer über dem ausgewählten Standpunkte ist mit E bezeichnet. Der drehbare Horizontalkreis B dient zum Einschwenken der Kammer und wird mit Röhrenlibellen D durch die Stellschrauben c horizontalisiert. Mit L sind die Auflagerstützen für die Kammer bezeichnet.

Wenn die Bildstandpunkte mit Hilfe eines Suchers (Abb. 94), ermittelt sind, werden sie fortlaufend numeriert. In der Abb. 95 sind von ihrer stattlichen Anzahl nur die ersten drei mit Zahlen versehen. Dann wird ein geeignetes Polygonnetz um das Bauwerk und in seinem Innern gelegt, dessen Punkte mit Buchstaben zu versehen sind. Endlich wird der Grundriß des Bauwerks in etwa Brusthöhe vom Polygon aus aufgenommen. Die Polygonseiten werden mit dem Bandmaß oder mit Latten gemessen. In den Polygonpunkten werden außer den Polygonwinkeln noch die Winkel nach den hauptsächlichsten Bildstandorten und Bauwerksecken bestimmt, so daß alle Punkte koordinatenmäßig berechnet und kartiert werden können. Die Sehstrahlen nach den Gebäudeecken sind in der Abb. 95 mit x_n und die nach den Aufnahmestandpunkten mit y_n bezeichnet. Der Anschluß des Polygonnetzes an die Landesaufnahme ermöglicht die Orientierung des Bauwerks gegen Norden.

Die Abb. 96, 97, 98 zeigen die Meßbilder vom Standpunkte 1, 2 und 3. Die Aufnahme auf Standpunkt 1 ist mit einer Brennweite $f = 37,40$ cm erfolgt, und der Objektivmittelpunkt hat eine Elevation, d. h. Erhebung über dem Horizont, von 11 cm gehabt. (Wenn sich der Mittelpunkt des Objektivs unterhalb des Horizonts befindet, spricht man von einer Depression.) Der Knauf im Blitzableiter, der mit I bezeichnet ist, hat eine Abszisse a_1 und eine Höhe h_1 , der Punkt II , Bordsteinecke des Traufpflasters, dagegen die Abszisse b_1 und die Tiefe t_1 . Die beiden anderen Meßbilder sind mit einer an-

LAGEPLANSKIZZE MIT POLYGONZUG
UND BILDSTANDPUNKTEN

- — ○ A. M. P. = POLYGONZUG
- — — VERMESSUNG nach der Aufnahme und
- ⊙ BILDSTANDPUNKTE



Von den Endpunkten des mit Theodolit und Messband ein-
gemessenen Polygonzuges
wird gleichzeitig die Lage der
Hauptgebäudeachsen und -spit-
zen sowie die aller wesentlichen
Bildstandsquerte nach Win-
kelmessung bestimmt.

Abbildung 1.

Abb. 95

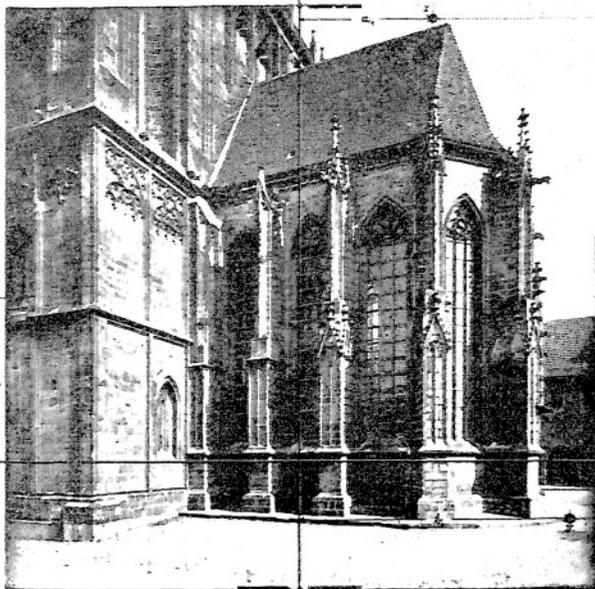
Die geodätischen Vorarbeiten, durchgeführt von der staatlichen Bildstelle in Berlin

Abbildung 4.
BILD 1.

OBJEKTIV-ABSTAND

ELEVATION E

HORIZONT



Mittelverhältnis.

Abbildung 5.
BILD 2.

HORIZONT



Abb. 96. Meßbild des Meißener Domes (Staatliche Bildstelle in Berlin)
Abb. 97. Meßbild des Meißener Domes.
Aufgenommen von der Staatlichen Bildstelle in Berlin

deren Kamera aufgenommen, deren Brennweite $f = 25,06$ cm lang war. Die Elevation des Objektivs gegen den Horizont beträgt auf diesen beiden 4 cm. Die Bildkoordinaten für Punkt I sind auf ihnen a_2, h_2 und a_3, h_3 , die für Punkt II dagegen b_2, t_2 und b_3, t_3 .

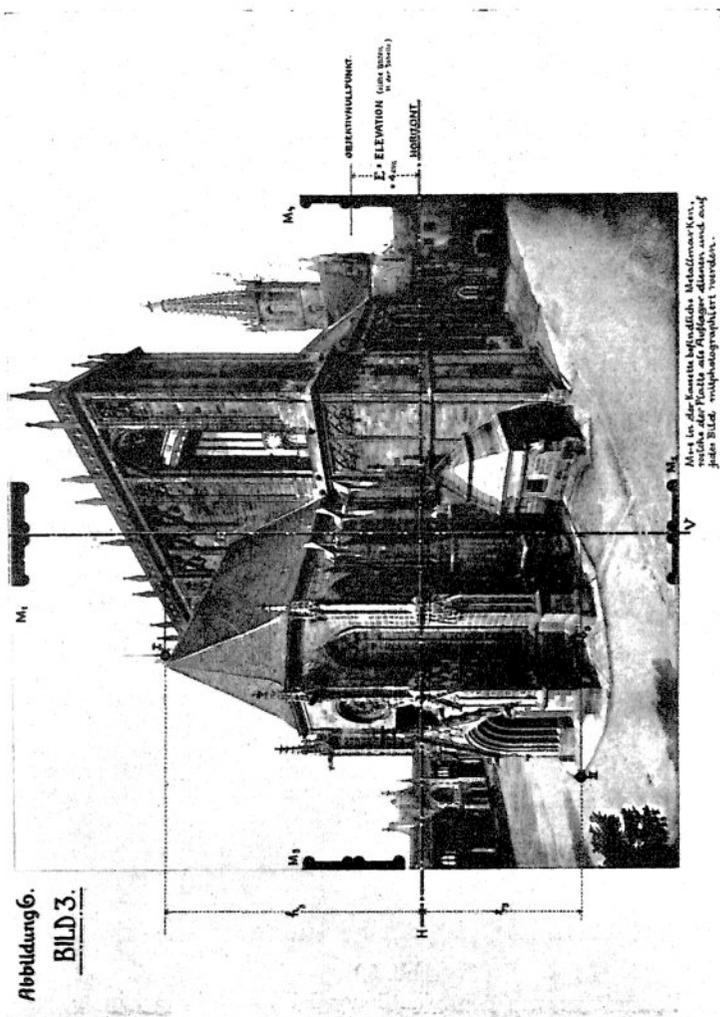


Abb. 98

Meßbild des Meißener Domes. Aufgenommen von der Staatlichen Bildstelle in Berlin

Die Zeichnung des Grundrisses geht nach Abb. 99 folgendermaßen vor sich: Die Polygonpunkte, Bildstandpunkte und anvisierten Gebäudeecken werden in einem bestimmten Maßstab, etwa 1 : 100,

kartiert. Dann wird auf Pauspapier eine Linie gezogen und gleich der Brennweite f des Aufnahmeapparates gemacht. In ihrem Endpunkte ist eine Senkrechte zu errichten, die der Plattenprojektion

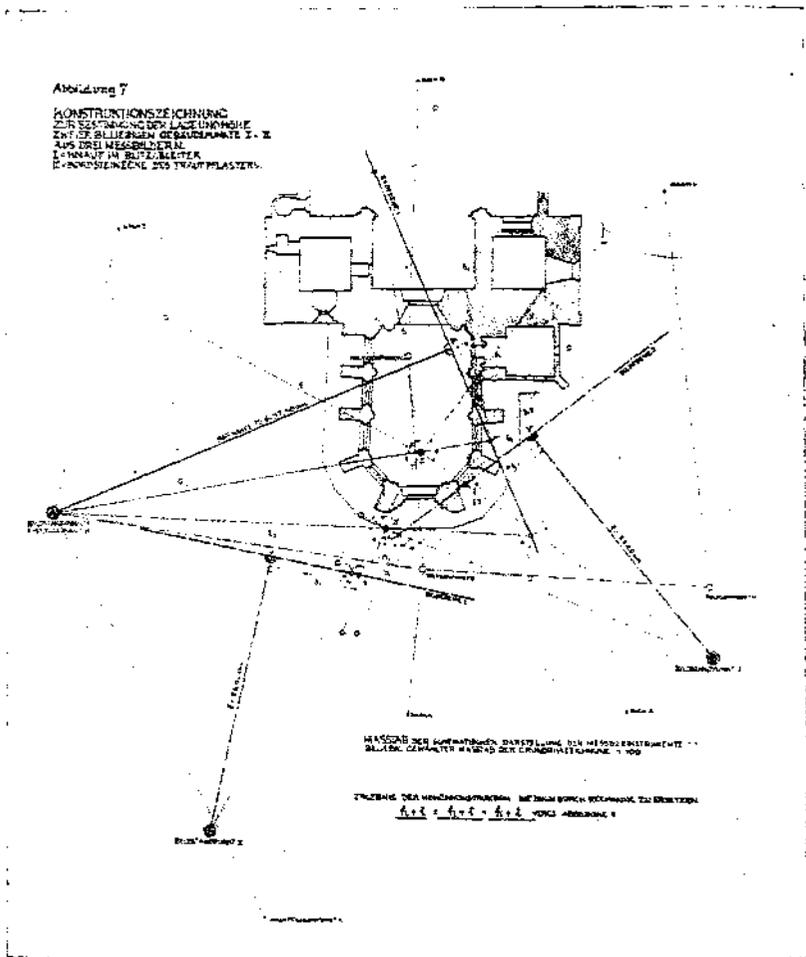


Abb. 99

Ausgeführt von der Staatlichen Bildstelle in Berlin

entspricht und die Haupthorizontale darstellt. Auf ihr sind die Abszissen der anvisierten Gebäudepunkte abzusetzen, ihre Endpunkte mit dem Anfangspunkte der Brennweite zu verbinden und die Ver-

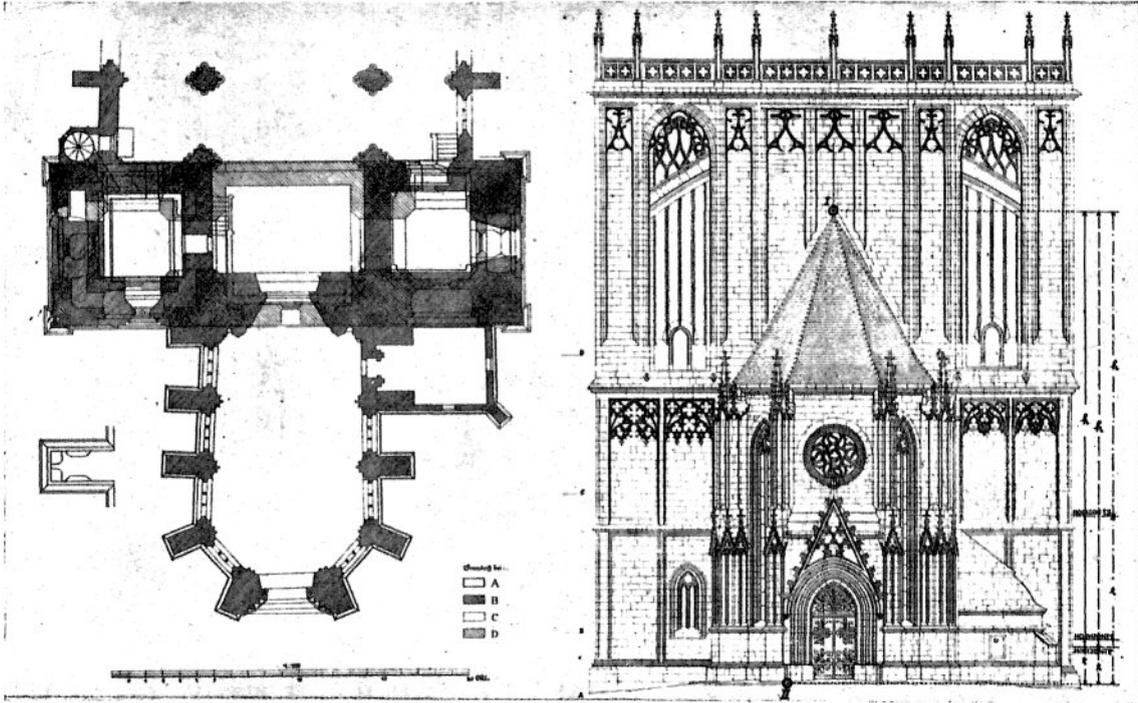


Abb. 100

Grundrisse und Westansicht des Meißener Domes in zeichnerischer Darstellung,
ausgeführt von der Staatlichen Bildstelle in Berlin

bindungslinien dann hinreichend zu verlängern. Nun wird die Pause auf die kartierten Verbindungslinien des Aufnahmestandpunktes mit den Gebäudeecken gelegt und die Aufnahmeachse f nebst der Spur der Bildebene kopiert. Dasselbe wird für jede weitere Aufnahme ausgeführt, so daß die einzelnen Aufnahmeachsen gegenseitig orientiert sind. Auf den Spuren der Bildebenen werden dann die Abszissen a_n , b_n usw. bestimmter Gegenstandspunkte, wie etwa in Abb. 99 für Punkt I und II , abgesetzt und mit den zugehörigen Standpunkten verbunden. Die Schnittpunkte dieser Verbindungslinien liefern die gewünschten Grundrißpunkte, deren gegenseitige Lage im Maßstab des kartierten Netzes erscheint.

Für die Darstellung der Aufrisse sind die Höhen und Tiefen über dem Bildhorizont notwendig. Sie lassen sich leicht mit Hilfe ihrer Höhen und Tiefen aus den Meßbildern entnehmen. Zu diesem Zwecke errichtet man nach Abb. 99 auf dem Verbindungsstrahl zwischen Aufnahmestandpunkt und Grundrißpunkt sowohl im Endpunkte wie auch im Schnittpunkte mit der Bildebene Senkrechte. Letztere wird gleich der Höhe oder Tiefe des Bildpunktes auf dem Meßbilde gemacht und die Verbindungslinie des Bildstandpunktes mit ihrem Endpunkte liefert im Schnittpunkte mit der Senkrechten im Grundrißpunkte den Endpunkt der Punkthöhe oder -tiefe im Maßstabe der Kartierung. Nach dieser Darstellung sind die Grundrisse in den Höhen A , B , C und D und die Westansicht des Meissener Domes entstanden (Abb. 100). Aus dem Bilde kann man auch als Kontrolle entnehmen, daß die Höhendifferenzen zweier Punkte, etwa I und II , ($h_n \pm t_n$) stets gleich sein müssen.

Nach diesem geschilderten Verfahren ist jedoch eine fortlaufende zeichnerische Ausarbeitung aller Meßbildaufnahmen von der staatlichen Bildstelle in Berlin nur in bescheidenem Umfange durchgeführt worden. Im allgemeinen hat man sich damit begnügt, die dafür erforderlichen Unterlagen zu beschaffen und bereitzuhalten. Dagegen ist eine Anzahl hervorragender Baudenkmäler auf Grund privater Aufträge gegen besondere Bezahlung eingehend aufgetragen worden.

Was die kritische Beleuchtung dieser Aufnahmen anbelangt, so folgt zunächst ganz allgemein, daß zur Kartierung jedes Grundrißpunktes mindestens zwei Strahlen, also auch zwei Aufnahmen von verschiedenen Standorten, gehören. Das setzt aber voraus, daß sich

die Bildpunkte in beiden Bildern sicher als ident erkennen lassen. Von ihrer Deutlichkeit hängt wesentlich die Genauigkeit der Punktbestimmung ab. Die Unschärfe jedes photographischen Bildes bedingt in dieser Beziehung eine gewisse Unsicherheit. Besonders schwer zu erkennen sind aber die in den Schatten und in der Architektur selbst liegenden Einzelheiten, so daß ein Irrtum beim Identifizieren nicht immer ausgeschlossen ist. Eine Turmspitze wird sich immer sicher identifizieren lassen. Ihre Abszissen können daher auch sehr genau gemessen werden, aber ein in der Architektur liegender Punkt ist auf den flachen Bildern nie so sicher zu erfassen, daß seine Abszissenbestimmung, wie notwendig, auf 0,02 mm genau wäre. Die großen Meßbilder 30×30 oder gar 40×40 cm heben diesen Einwand nicht auf. Ein weiterer Gefahrenpunkt für die Genauigkeit ist die Größe der Schnittwinkel der Punktstrahlen. Die Winkel müssen mindestens 30° betragen, um einen Punkt sicher zu erhalten. Dies bedingt aber wieder, daß verhältnismäßig große Basen gewählt werden müssen. Ist die Entfernung der Basis vom Aufnahmeobjekt etwa gleich e , so muß die Basis selbst $e/2$ sein, was in enggebauten Stadtteilen die Aufnahme häufig erschweren oder gar unmöglich machen kann.

Diese Erwägungen haben den Freiherrn von Hübl vom militärgeographischen Institut in Wien im Jahre 1907 veranlaßt, für die Architekturaufnahmen die Stereophotogrammetrie zu empfehlen. Um die Auswertung möglichst zu vereinfachen, werden die Achsen der photographischen Kammer senkrecht zur Standlinie orientiert, die photographischen Platten also in eine Vertikalebene gestellt. Betrachtet man dann zwei zusammengehörige Bilder in einem Stereoskop, so sieht man das Gebäude als Modell, dessen Plastik, d. h. wahrnehmbare Tiefengliederung, wesentlich von der Länge der Standlinie bestimmt wird. Beim gewöhnlichen Sehen ist man imstande, weil unser Augenabstand nur etwa 65 mm beträgt, bei einem in großer Entfernung vor uns befindlichen Gebäude nur jene Teile als vor- oder rückwärts liegend zu erkennen, die z. B. 1 oder 2 m voneinander abstehen. Könnten wir aber den Abstand unserer Augen auf das fünfzigfache, also auf etwa 3 m, vergrößern, so würden die Differenzen der Netzhautbilder 50 mal so groß werden. Unter diesen Umständen würden wir Tiefenunterschiede von einigen Zentimetern wahrnehmen können, d. h. die Plastik würde auf das fünfzigfache ge-

steigert werden. Den gleichen Eindruck erzielen wir auch mit zwei Photographien, die von den Endpunkten einer 3 m langen Standlinie hergestellt und im Stereoskop betrachtet werden. Wir überblicken dann vollkommen die Gliederung des Gebäudes, die Fensteröffnun-

Linkes Bild

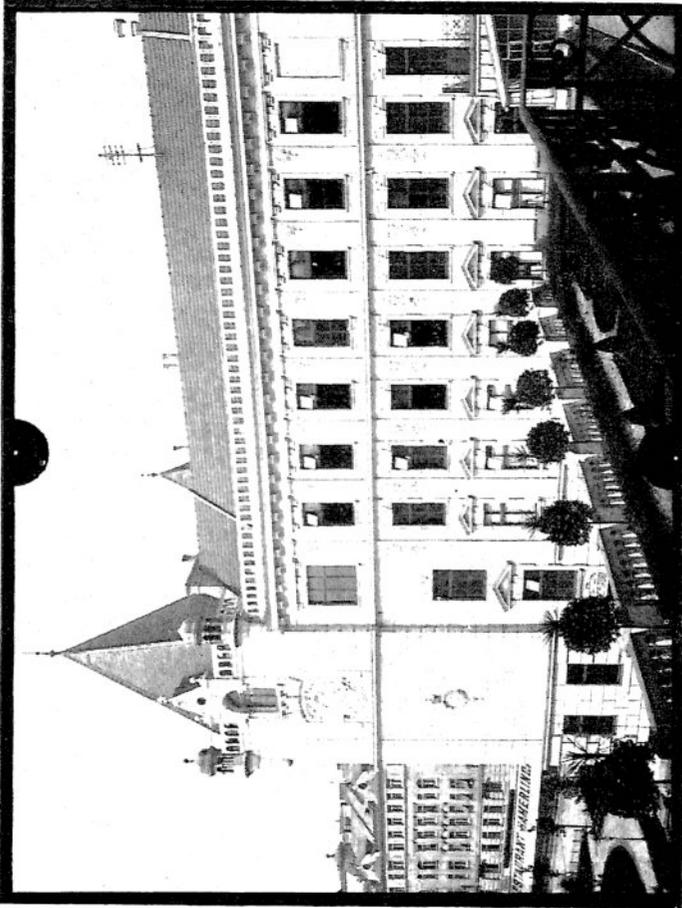


Abb. 101
Stereophotogrammetrische Architekturaufnahme, ausgeführt vom
Freiherrn v. Hübl, Wien

gen treten deutlich zurück, die Pfeiler stehen frei vor uns, Resalite und Gesimse ragen weit vor und selbst der Fassadenschmuck zeigt ein deutliches Relief. Ein solches überplastisches Gebäudemodell wird mit Hilfe des Stereoauto graphen ausgewertet. Dabei schadet eine mäßige Unschärfe der Bilder nur wenig, und der zu messende

Punkt braucht nicht wie bei der Meßtischphotogrammetrie auf den Bildabzügen markiert zu sein, denn die Marke des Stereoautographen kann auch in die Fläche einer Mauer, an den Rand eines Gesimses usw. gestellt werden. Bei der Meßtischphotogrammetrie ist die Ge-

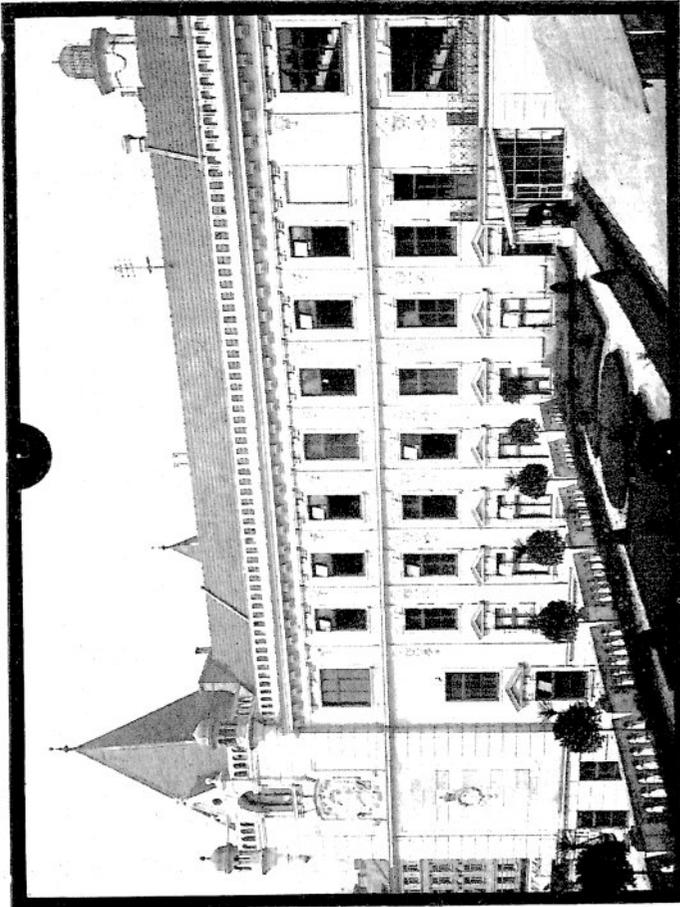


Abb. 102

Stereophotogrammetrische Architekturaufnahme, ausgeführt vom
Freiherrn v. Hübl, Wien

Plattenformat 9×12 cm, Brennweite $f: 126,4$ mm, Objektivstellung $+ 13$ mm,
Entfernung der Standlinie vom Objekt $40-50$ m, Länge der Standlinie $4-580$ m

nauigkeit für die Entnahme der Koordinaten höchstens $\pm 0,1$ mm, bei der Stereophotogrammetrie aber bestimmt $\pm 0,01$ mm, also zehnmal größer. Wollte man bei der Stereophotogrammetrie nur dieselbe Genauigkeit erreichen wie bei der Meßtischphotogrammetrie, so braucht die Länge der Aufnahmebasis nur $\frac{1}{20}$ der Entfernung des

Objektes von ihr zu sein. Ist z. B. das Gebäude 60 m von der Basis entfernt, so braucht ihre Länge nur

$$\frac{60}{2 \cdot 10} = 3 \text{ m}$$

zu sein. Man wird also in die Lage versetzt, die Aufnahmen selbst vom Balkon oder aus benachbarten Fenstern zu machen. Außerdem lassen sich kurze Basen leichter und genauer messen, die beiden Bilder werden sehr ähnlich und besitzen einen großen auswertbaren Inhalt.

Aus diesen Ausführungen dürfte zu entnehmen sein, daß das stereoskopische Verfahren der Meydenbauerschen Meßbildmethode überlegen ist. Der Vorgang ist dabei einfach, durchsichtig, jederzeit ohne weitere Vorbereitungen möglich, und der volle Einblick in die räumliche Gliederung schließt jeden Irrtum aus und gestattet ein fortwährendes Abschätzen und gegenseitiges Vergleichen. Herr Freiherr von Hübl hat eine stereophotogrammetrische Gebäudeaufnahme gemacht (Abb. 101 u. 102), wobei die Standlinie auf einer Eckterrasse im dritten Stockwerk gewählt war und mit 4,580 m gemessen wurde. Das Gebäude selbst war 40–50 m entfernt. Nachdem die Grund- und Aufrisse kartiert waren, wurden verschiedene Fassadenpunkte, die in einer horizontalen Geraden liegen mußten, auf ihre Abweichung von der Geraden geprüft. Sie lag zwischen ± 3 cm. Ferner wurden die Höhen von 10 Punkten eines horizontalen Gesimses ermittelt, wobei sich ein mittelbarer Fehler gleichfalls ± 3 cm ergab.

Die Photogrammetrie in der Kriminalistik

Die gewöhnliche, wenn auch künstlerische Photographie ist bei kriminellen Tatbestandsaufnahmen Gemeingut aller Polizeibehörden geworden, weil sie den Tatort in objektiver Weise registriert. Durch das Bild wird das Gedächtnis des Untersuchungsrichters unterstützt und korrigiert, wenn ihm gewisse Umstände seit der Aufnahme des Tatbestandes entschwunden sind. Leider gibt die Photographie aber über viele Fragen, deren Kenntnis für eine Untersuchung oft von großer Bedeutung ist, keine Antwort. Die Photographie sagt vor allem nichts über die Größenverhältnisse der Objekte am Tatorte und

nichts über ihre Entfernung voneinander; ebensowenig sagt sie uns etwas über den Flächeninhalt eines Zimmers, in dem ein Verbrechen begangen wurde. Aus ihr kann man keine Auskunft erhalten, ob beispielsweise ein verbrecherischer Vorgang von einem bestimmten Punkte hat beobachtet werden können, wie z. B. eine Anzeige behauptet hat. Man kann aus der Tatbestandsaufnahme nicht entnehmen, wie hoch ein Fenstergesimse ist und kann daher nicht beurteilen, ob eine bei einem Fenster stehende Person infolge eines Schwindelanfalls aus dem Fenster hätte fallen können, oder ob Gewalt angewendet werden mußte, um sie aus dem Fenster zu stürzen.

Um diesem Mangel der Photographien in etwa abzuhelpfen, pflegt man Maßstäbe neben gewisse Gegenstände hinzulegen oder aufzustellen, so daß sie ebenfalls abgebildet werden. Dieses Mittel ist aber insofern ungenügend, weil es Aufschluß über das Größenverhältnis nur solcher Gegenstände gibt, die mit dem Maßstabe in einer Bildebene gelegen sind. Für jeden anderen Punkt stimmt das Reduktionsverhältnis nicht mehr. Im allgemeinen weiß man aber bei der Tatbestandsaufnahme nicht, welcher Gegenstand und Punkt bei der Untersuchung oder gar Verhandlung besonders in den Vordergrund treten werden. Noch unangenehmer wird der Mangel des Größenverhältnisses, wenn der Täter mit Behauptungen und die Zeugen mit Aussagen hervortreten, die deswegen unkontrollierbar sind, weil die Gegenstände im Zimmer inzwischen in eine andere Lage gebracht worden sind.

Selbst die Anfertigung einer Planskizze befriedigt nicht, weil auch sie mehr oder minder ein subjektives Produkt ist, dann aber auch deswegen, weil sie meistens von einem Schutzmann, also Nichtfachmanne, angefertigt ist und insofern Zweifel an der richtigen Maßhaltigkeit wachruft.

Alle diese Miß- und Übelstände werden durch die Photogrammetrie restlos beseitigt. Da die Grundflächen der aufzunehmenden Räume und Zimmer horizontal sind, kommt hier nur die Photogrammetrie von einem einzigen Standpunkte in Betracht. Die Hauptbedingung besteht darin, daß die Platte vertikal gerichtet ist, und die einzige Nebenbedingung darin, daß die Instrumentenhöhe i konstant gehalten wird. In der Abb. 103 ist $HHVV$ die im Raume stehende vertikale Platte, $OS = i$ die Instrumentenhöhe und $ABCD$ ein horizontal ge-

legener Fußboden eines Zimmers. EF ist die Schnittlinie der verlängerten Plattenebene mit dem Fußboden. Zieht man in der Ebene $ABCD$ zu EF eine Schar paralleler Geraden, so bilden sich die Geraden auf der Platte ebenfalls als Gerade parallel zur Haupthorizontalen HH ab. Denkt man sich den Fußboden bis in die Unendlichkeit verlängert, so bildet sich die in der Unendlichkeit gelegene Parallele in der Haupthorizontalen HH ab, die in der Endlichkeit gelegenen Parallelen aber unterhalb der Haupthorizontalen. Die Entfernung x in der Hauptvertikalen vom Plattenhauptpunkte m bis zur abgebildeten Parallelen ergibt sich z. B. für die Gerade ce aus der Ähnlichkeit der Dreiecke mOp und MOP . Es ist

$$78) \quad x = i \frac{f}{e},$$

wenn $SP = OM = e$ gesetzt wird.

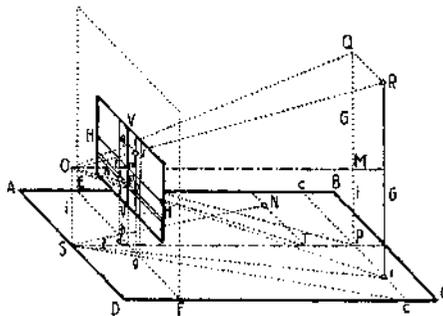


Abb. 103

Die Theorie der kriminalistischen Photogrammetrie

Hat man einen Punkt N auf der Ebene $ABCD$, so braucht man durch ihn nur eine Parallele zu EF zu ziehen, dann ihren Schnittpunkt T mit der verlängerten Projektion der Brennweite f mit dem Objektmittelpunkte O zu verbinden, so ist die Parallele zur Haupthorizontalen HH durch den Schnittpunkt mit der Hauptvertikalen VV ein geometrischer Ort für den Punkt n . Hat man umgekehrt den Bildpunkt n und will man seine Lage im Plan konstruieren, so braucht man nur durch ihn eine Parallele zur Haupthorizontalen HH zu ziehen und ihren Schnittpunkt mit der Hauptvertikalen mit O zu verbinden. Die Verlängerung dieser Geraden trifft die verlängerte Projektion der Brennweite f in T . Zieht man durch diesen Punkt

eine Parallele zu EF , so ist sie ein geometrischer Ort für den Punkt N im Plan. Seine Entfernung $ST = e$ vom Projektionspunkt S des Objektivs ist dann

$$e = i \frac{f}{x}$$

Denkt man sich eine Schar von vertikalen Ebenen durch O gelegt, so schneiden diese den Fußboden etwa in den Spuren Sc , $S1$, SP usw., die Patte aber in Geraden, die parallel zur Hauptvertikalen

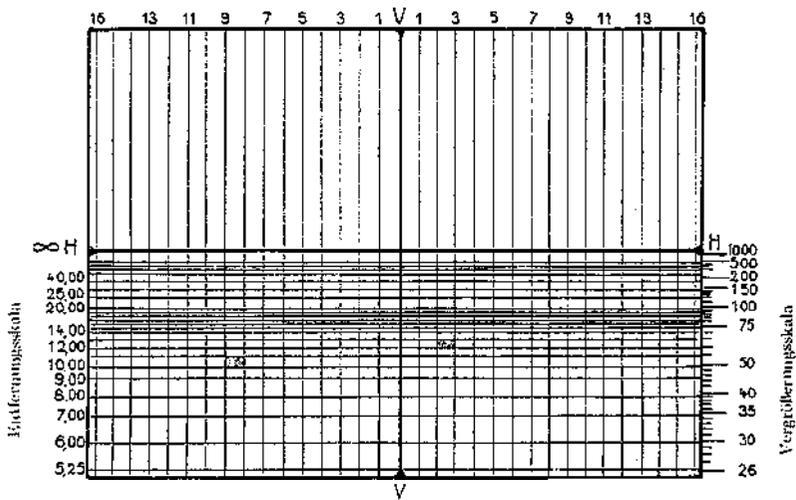


Abb. 104

Linienetz des Bildes zur leichteren Entnahme der Bildkoordinaten

VV verlaufen. Ihre Entfernung y in der Haupthorizontalen vom Hauptpunkte m aus, ist z. B. für die Ebene durch die Spur Sc aus den ähnlichen Dreiecken Sdg und SPc zu entnehmen. Es ist

$$79) \quad dg = y = Pc \frac{f}{e}$$

Den zweiten geometrischen Ort für den Bildpunkt n erhält man daher, wenn durch den Schnittpunkt der Spur NS mit der Geraden EF eine Parallele zu VV gezogen wird. Umgekehrt erhält man aus dem Bildpunkt n den zweiten geometrischen Ort für den Planpunkt N , wenn durch n eine Parallele zu VV gezogen wird bis zum

Schnitt h auf EF . Die Verlängerung von Sh ist der fehlende geometrische Ort. Die Ordinate TN ist dann

$$TN = y \frac{e}{f}.$$

Eine wesentliche Erleichterung für die Entnahme der Bildkoordinaten eines Punktes erzielt man, wenn das Bild von vorn herein mit einem Liniennetz versehen wird (Abb. 104). Dieses besteht aus den Parallelen zur Haupthorizontalen, deren Abstände x nach Formel 78) zu berechnen wären, und aus den Parallelen zur Hauptvertikalen, deren Abstände y nach 79) zu errechnen sind. Wählt man $f = 200$ mm und $i = 1,5$ m, so hat man folgende Zahlentafel 2. Für die Berechnung der y muß man sich vorweg ent-

Zahlentafel 2

e	x	e	x
m	mm	m	mm
5,00	60,0	12,00	25,0
5,25	57,1	13,00	23,1
5,50	54,5	14,00	21,4
5,75	52,2	15,00	20,0
6,00	50,0	16,00	18,8
6,25	48,0	17,00	17,6
6,50	46,1	18,00	16,7
6,75	44,4	19,00	15,8
7,00	42,9	20,00	15,0
7,50	40,0	25,00	12,0
8,00	37,5	30,00	10,0
8,50	35,3	40,00	7,5
9,00	33,3	50,00	6,0
9,50	31,6	60,00	5,0
10,00	30,0	70,00	4,3
11,00	27,3	100,00	3,0

Zahlentafel 3

Pc	$\pm y$
m	mm
2,5	5
5,0	10
7,5	15
10,0	20
12,5	25
15,0	30
17,5	35
20,0	40
22,5	45
25,0	50
27,5	55
30,0	60
32,5	65
35,0	70

schließen, in welcher Entfernung e man die Ordinaten Pc als Vielfache irgendeiner Zahl annehmen will. Für die Zahlentafel 3 ist angenommen worden, daß in der Entfernung $e = 100$ m die Ordinaten rechts und links ein Vielfaches von 2,5 m sein sollen. Nach diesen Zahlentafeln ist das Liniensystem in Abb. 104 zur Darstellung ge-

kommen. Von einer solchen Tuschzeichnung wird auf photographischem Wege ein Negativ hergestellt und dann auf lichtempfindliches Papier kopiert. Diese ungetonte Kopie wird unter das Negativ der Tatbestandaufnahme derart gelegt, daß die vier Markenbilder genau auf die Haupthorizontale und Hauptvertikale zu liegen kommen, und wieder kopiert und getont. Auf diese Weise erhält man eine Kopie

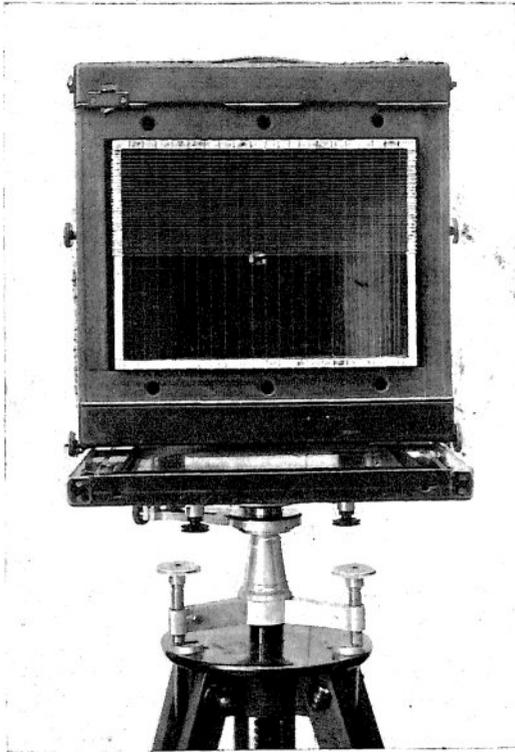


Abb. 105

Die Kamera von R. Lechner, Wien, mit Netzrahmen

des aufgenommenen Objektes, überzogen mit dem Liniensystem, mit dessen Hilfe der Lageplan des Tatbestandsortes leicht angefertigt werden kann.

Nach Angaben von Dr. Franz Eichberg in Wien baut die Firma R. Lechner (W. Müller) in Wien eine Kamera (Abb. 105), die nicht nur das Mitphotographieren des Liniennetzes gestattet, sondern auch

durch Austausch der Rückseite der Kamera nicht photogrammetrische Aufnahmen zu machen ermöglicht. Der Rahmen des Liniennetzes ist ein Messingviereck von L-förmigem Querschnitt und ist an der der Platte zugekehrten Seite mit sehr feinen Drähten aus gehärtetem Stahl, die dem berechneten Liniennetz entsprechen, überspannt.

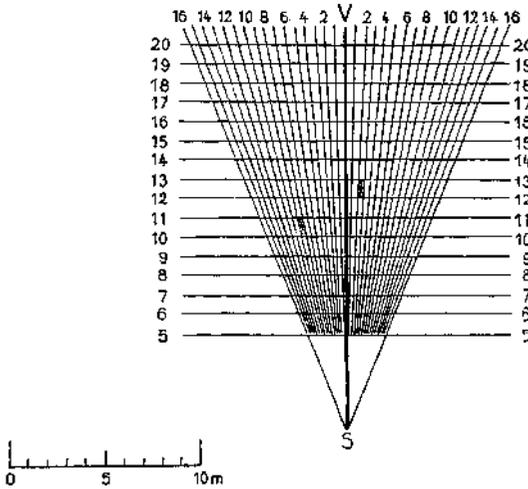


Abb. 106
Plangerippe

Für die Plananfertigung ist ein Liniengerippe nach Abb. 106 erforderlich. In ihr ist Punkt S identisch mit der Projektion des Objektivmittelpunktes in Abb. 103. Die Gerade SV entspricht der Geraden STP in Abb. 103. Trägt man die in Tabelle 2 und Formel 78) angenommenen Entfernungen e von S aus in der Richtung SV ab, errichtet dann in ihren Endpunkten die Senkrechten nach beiden Seiten der Geraden SV , so stellt dieses Liniensystem das Entfernungsnetz dar. Die parallelen Vertikalen in Abb. 104 sind identisch mit den konvergierenden Strahlen in Abb. 106. Für ihre Konstruktion entscheidet man sich für die größte notwendige Entfernung e . Im vorliegenden Falle wählte man für $e = 20$ m. Die Ordinate Pc nach Formel 79) ergab sich dann zu

$$0.005 = Pc \frac{0.2}{20}$$

oder

$$Pc = \frac{0,005}{0,01} = 0,5 \text{ m.}$$

Dieses Pc nebst seinen Vielfachen sind rechts und links von SF abzusetzen und mit S zu verbinden. Alsdann entspricht je einem Rechteck in Abb. 105 ein Viereck in Abb. 106. Zwei entsprechende Flächen sind in den Abbildungen durch verschiedene Schraffur kenntlich gemacht. Die Übertragung der einzelnen Bildpunkte in den Plan mittels Zirkel und Dreiecken fällt jetzt nicht mehr schwer.

Außer der Herstellung eines Planes lassen sich mit Hilfe einer solchen Photographie auch die Höhen von Gegenständen, die auf dem Fußboden stehen, ermitteln. Angenommen, man wollte wissen, wie hoch der abgebildete Gegenstand $1r = b$ ist, so sieht man in Abb. 103, daß diesem Bilde der Gegenstand $1R = G$ entspricht. Projiziert man Bild und Gegenstand auf die Vertikalebene durch O und VV , so hat man aus den ähnlichen Dreiecken Oqp und OQP

$$G = b \frac{e}{f}.$$

Da nach Gleichung 75)

$$\frac{e}{f} = \frac{i}{x}$$

ist, so wird schließlich

$$80) \quad G = b \frac{i}{x}.$$

Der Faktor i/x kann der Vergrößerungsfaktor genannt und in eine Tabelle gebracht werden. Wollte man aber für x die in Zahrentafel 2 errechneten Werte einführen, so würde man für i/x Zahlen in Dezimalen erhalten. Es empfiehlt sich daher, den Faktor

$$v = \frac{i}{x}$$

nach x aufzulösen und für v runde Werte zu nehmen. (Zahrentafel 4). Die Werte dieser Tabelle bilden die Grundlage für die Skala an der rechten Seite der Abb. 104. Mit ihrer Hilfe kann man durch Interpolation die Vergrößerungszahl entnehmen. Multipliziert man mit ihr die abgegriffene Bildgröße b , so erhält man die Gegenstandsgröße gemäß Gleichung 80).

Zahlentafel 4

$i = 1,500 \text{ m}$

v	x mm	v	x mm	v	x mm
23	65,2	38	39,5	90	16,7
24	62,5	39	38,5	95	15,8
25	60,0	40	37,5	100	15,0
26	57,7	42	35,7	110	13,6
27	55,5	44	34,1	120	12,5
28	53,6	46	32,6	130	11,5
29	51,7	48	31,2	140	10,7
30	50,0	50	30,0	150	10,0
31	48,4	55	27,2	200	7,2
32	46,9	60	25,0	300	5,0
33	45,5	65	23,1	400	3,8
34	44,1	70	21,4	500	3,0
35	42,9	75	20,0	1000	1,5
36	41,7	80	18,8		
37	40,5	85	17,6		

Die geographische Ortsbestimmung auf photogrammetrischem Wege

Nach den Darlegungen von Dr. Stolze, Die photographische Ortsbestimmung ohne Chronometer, Berlin, 1893, lassen sich auf Forschungsreisen die geographische Breite und Länge eines Ortes mit hinreichender Genauigkeit auf Grund photogrammetrischer Beobachtungen ermitteln. Allerdings bedarf die übliche photogrammetrische Kammer einer Änderung. Für die geographische Ortsbestimmung wird der Sternenhimmel des Nachts photographiert. Infolgedessen würden sich die vier Marken eines Meßrahmens durch die Belichtung der Platte nicht abbilden. Da aber die Kenntnis der Lage des Plattenhauptpunktes notwendig ist, muß sie durch eine Zusatzkonstruktion ermöglicht werden. Diese Zusatzkonstruktion besteht bei Aufnahmen mit vertikal nach aufwärts gerichteter Achse nach Abb. 107 in den beiden Spiegeln S_1 und S_2 , die einem Metallring aufsitzen, der seinerseits dem Objektiv aufgeschraubt und parallel zur Plattenebene

gelegen ist. Mit Hilfe der beiden Libellen L_1 und L_2 kann die Kammer lotrecht gestellt werden. Die um das Zenit herum befindlichen Sterne bilden sich dann direkt und als Spiegelbild ab (Abb. 108 und 109). Ihre gegenseitige Entfernung ist zu halbieren. Die Verbindungslinien dieser Mitten liefern in ihrem Schnittpunkte O den Hauptpunkt.

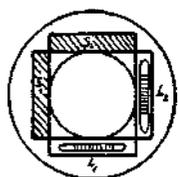


Abb. 107

Die Spiegel- und Libellenanordnung auf dem Objektiv bei aufwärts gerichteten Aufnahmen

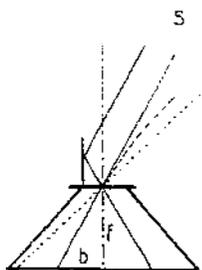


Abb. 108

Das direkte und reflektierte Bild eines Sternes S .

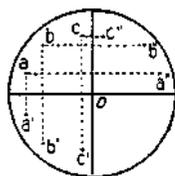


Abb. 109

Die Konstruktion des Plattenhauptpunktes aus direkten und reflektierten Bildern einzelner Sterne

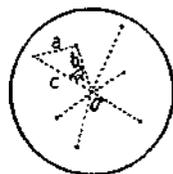


Abb. 110

Darstellung für die Berechnungen der Zenitdistanzen und Azimutunterschiede einzelner Sterne

Bei horizontal gerichteter Aufnahmeachse bedarf es nur eines Spiegels, der mittels Libelle horizontal vor dem Objektiv gelegen sein muß. Dadurch erhält man von jedem Stern wieder ein direktes Bild und sein Spiegelbild. Die Verbindungslinie der Mitten ihrer Verbindungen liefert einen geometrischen Ort für den Plattenhauptpunkt. Den zweiten geometrischen Ort erhält man durch die Belichtung der Platte in einer um 90° gedrehten Lage der Kammer, während der

Spiegel unverändert bleibt. Daß dabei die Aufnahmeachse in beiden Lagen der Kammer horizontal sein muß, ist selbstverständlich.

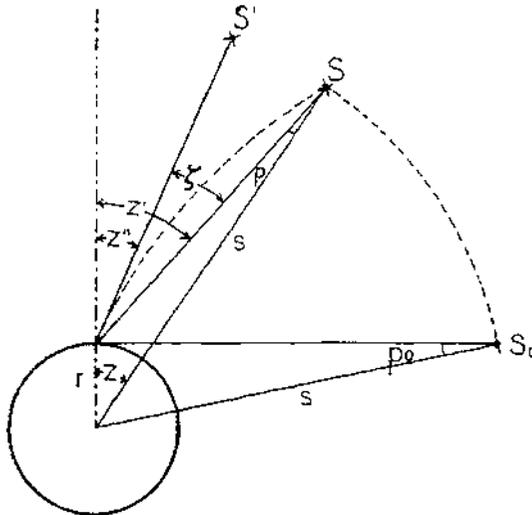


Abb. 111

Beziehung zwischen scheinbarer Zenitdistanz z'' und geozentrischer Zenitdistanz z

Nach dieser vorbereitenden Belichtung können die Spiegel entfernt werden. Jeder Stern bildet sich nun weiter ab und zwar die Fixsterne in Linien, die Planeten und der Mond aber in breiteren Linien oder Streifen. Um die kontinuierlichen Bahnen zu vermeiden, pflegt man das Exponieren der Platte in bestimmten Zeitintervallen, etwa alle 5 Sekunden, zu unterbrechen, wobei die Zeiten notiert werden. Die Unterbrechungen in den Sternbahnen lassen sich durch ein Mikroskop sehr gut unterscheiden und die Sternbilder nebst ihren einzelnen Sternen sind ebenfalls gut zu erkennen. Mißt man bei Vertikalaufnahmen auf der Platte ihre gegenseitigen Entfernungen und Abstände vom Plattenhauptpunkte, so lassen sich nach Abb. 110 berechnen:

1. der Winkel α im Zenit zwischen den Höhenkreisen oder, was dasselbe ist, der Azimutunterschied der Sterne aus

$$81) \quad \operatorname{tg} \alpha = \sqrt{\frac{(s-b)(s-c)}{s(s-a)}}$$

wenn $2s = a + b + c$ gesetzt wird;

2. Die Zenitdistanz z'' der Sterne aus der Entfernung b vom Plattenhauptpunkt und der Brennweite f aus

$$82) \quad \operatorname{tg} z'' = \frac{b}{f}.$$

Diese Zenitdistanzen sind aber scheinbare und müssen für jeden Fixstern von der Refraktion befreit werden. Abb. 111. Ist ζ der Betrag der Refraktion, so ist die wahre Zenitdistanz z'

$$83) \quad z' = z'' + \zeta.$$

Die Besselsche Form für die Refraktion ist

$$84) \quad \zeta = \beta \operatorname{tg} z'' (BT)^{\lambda} \gamma^{\lambda},$$

wobei B vom Barometerstand, T von der Temperatur des Quecksilbers, γ von der Temperatur der Luft und A , λ und β von der scheinbaren Zenitdistanz z'' abhängig sind. Die numerische Ermittlung von ζ erfolgt am einfachsten aus astronomischen Tafeln. Eigentlich hätte die scheinbare Zenitdistanz in die geozentrische umgewandelt werden müssen. Da aber bei Fixsternen ihre Entfernung von der Erde unendlich vielmal größer ist als der Erdradius, so kann die nur um die Refraktion verbesserte Zenitdistanz auch als die geozentrische angesehen werden. Bei verhältnismäßig nahen Himmelskörpern, wie Sonne, Mond und Planeten, trifft diese Voraussetzung nicht mehr zu. Daher muß bei ihnen die scheinbare Zenitdistanz nicht nur um die Refraktion sondern auch um die Höhenparallaxe verbessert werden. Bedeuten nach Abb. 111 z die geozentrische Zenitdistanz, p die Höhenparallaxe und p_0 die Horizontalparallaxe, deren Größe aus Tabellen entnommen werden kann, so ist

$$\sin p = \frac{r}{s} \sin z'$$

$$\sin p_0 = \frac{r}{s}$$

oder durch Division beider Gleichungen

$$\frac{\sin p}{\sin p_0} = \sin z'.$$

Da die Sinusse kleiner Winkel sich ebenso wie die Winkel selbst verhalten, so ist

$$85) \quad p = p_0 \sin z'.$$

Nun ist $z = z' - p = z' - p_0 \sin z'$ und nach Gleichung 83) $z' = z'' + \xi$, mithin hat man

$$86) \quad z = z'' + \xi - p_0 \sin z'.$$

Sind nach Abb. 112 S_1 und S_2 zwei Fixsterne mit den verbesserten Zenitdistanzen z_1 und z_2 , und dem Azimutunterschiede α , so ergibt sich ihre Entfernung $S_1 S_2$ aus

$$87) \quad \cos S_1 S_2 = \cos z_1 \cos z_2 + \sin z_1 \sin z_2 \cos \alpha,$$

ferner ist

$$88) \quad \sin \xi = \frac{\sin z_2}{\sin S_1 S_2} \sin \alpha.$$

$$89) \quad \sin \varrho = \frac{\sin z_1}{\sin S_1 S_2} \sin \alpha.$$

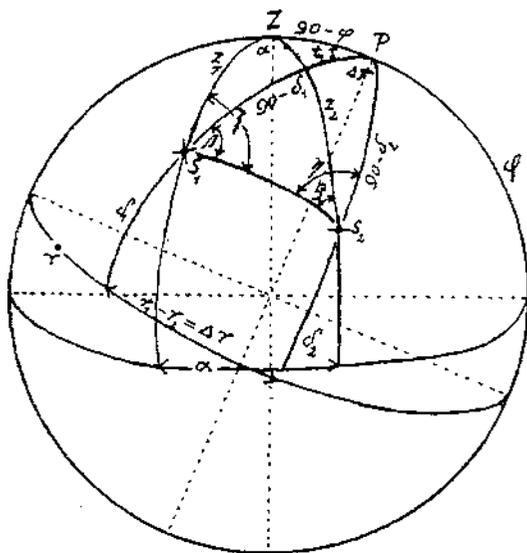


Abb. 112

Die geographische Breite und der Stundenwinkel

In dem Poldreieck PS_1S_2 sind alle drei Seiten und der Winkel ϱ bekannt, weil aus astronomischen Tafeln für jeden Stern seine Rektascension r und Deklination δ entnommen werden können. Mithin ist

$$90) \quad \sin \beta = \frac{\cos \delta_2}{\sin S_1 S_2} \sin \Delta r$$

und

$$91) \quad \sin \eta = \frac{\cos \delta_1}{\sin S_1 S_2} \sin \Delta r.$$

Die geographische Breite ist daher doppelt berechenbar

$$92) \quad \begin{aligned} \sin \varphi &= \cos z_1 \sin \delta_1 \mp \sin z_1 \cos \delta_1 \cos (z_2 - \beta) = \\ &= \cos z_2 \sin \delta_1 \mp \sin z_2 \cos \delta_1 \cos (\eta - \varrho). \end{aligned}$$

Für die Berechnung der geographischen Länge λ des Beobachtungsortes ist auch die Kenntnis der mittleren Ortszeit erforderlich, zu der die Beobachtung stattgefunden hat. Nach der Abbildung läßt sie sich doppelt berechnen, da sich die Stundenwinkel t_1 und t_2 ergeben aus

$$93) \quad \text{und} \quad \cos t_1 = \frac{\cos z_1 - \sin \varphi \sin \delta_1}{\cos \varphi \cos \delta_1}$$

$$\cos t_2 = \frac{\cos z_2 - \sin \varphi \sin \delta_2}{\cos \varphi \cos \delta_2}$$

und daher ist mittlere Ortszeit

$$94) \quad \begin{aligned} t &= t_1 \mp r_1 - S \\ &= t_2 \mp r_2 - S \end{aligned}$$

wenn S die Rektaszension der Sonne ist; t wird negativ, wenn der Stundenwinkel östlich ist.

Die geographische Länge λ wird nun aus der Differenz der mittleren Ortszeiten am Beobachtungsorte und in Greenwich berechnet, zu denen ein Ereignis am Himmel im selben physischen Moment stattgefunden hat. Zu diesen Ereignissen gehören z. B. Sternentfernungen und die Distanzen des Mondes von Sternen. Gerade die letzteren sind für die Längenbestimmung ganz besonders geeignet, weil sie sich täglich um

$$\frac{360}{27\frac{1}{3}} = 13,2^{\circ} \text{ oder } \frac{360}{29\frac{1}{2}} = 12,2^{\circ}$$

ändern. Sie sind daher in den nautisch-astronomischen Kalendern von drei zu drei Stunden für gewisse, günstig gelegene Sterne im voraus berechnet. Aus der Lage der Mondbahn, die mit der Ekliptik durchschnittlich einen Winkel von $5^{\circ} 8'$ bildet, hat sich die Auswahl

derjenigen Fixsterne ergeben, die in der Richtung des Mondlaufes liegen und daher am besten für die Mondabstände geeignet sind. Außer der Sonne sind es die neun Fixsterne:

« Arietes (im Widder), Aldebaran (im Stier), Pollux (in den Zwillingen), Regulus (im Löwen), Spica (in der Jungfrau), Antares (im Skorpion), Altair (im Adler), Fomalhaut (im südl. Fisch) und « Pegasi (im Pegasus).

Die zum Teil noch helleren Sterne, wie Sirius (im gr. Hund) und Arcturus im Bootes (Breite -39° und 30°) mußten hierbei ausgeschlossen werden, weil sie nicht in der Nähe der Ekliptik liegen, also auch nicht nahe genug in der Richtung des Mondlaufes. Schon der Altair (Breite $+29^\circ$) liegt ungünstig entfernt von der Ekliptik. Der hellere Stern Capella im Fuhrmann (Breite $+22^\circ$) wäre vorzuziehen gewesen, da er der Ekliptik um 7° näher ist.

Außer den Mondabständen von den Fixsternen sind noch angegeben die von den vier hellsten Planeten: Venus, Mars, Jupiter und Saturn. Sie alle beziehen sich aber immer auf die Mittelpunkte des Mondes und der Planeten. Befindet sich daher nach den Ephemeriden die Mondabstand $d = S_1 S_2$ zwischen den Mondabständen d_1 und d_2 mit den zugehörigen Zeiten h_1 und h_2 , so kommt der Mondabstand d die mittlere Greenwicher Ortszeit

$$95) \quad h = h_1 + (h_1 - h_2) \frac{d_1 - d}{d_1 - d_2}$$

zu.

Die geographische Länge im Zeitmaß ist daher unter Berücksichtigung der Gl. 94)

$$96) \quad \lambda^b = h - t$$

und im Gradmaß

$$97) \quad \lambda^g = 15 (h - t).$$

Mit vertikal nach aufwärts gerichteter Kammerachse versagt aber in höheren Breiten die Bestimmung der geogr. Länge auf Grund von Mondabständen bald, weil der vorhandene Plattenwinkel nicht mehr ausreicht, um die Mondbahn abgebildet zu erhalten. In diesem Falle ist es notwendig, den Sternenhimmel mit wagerechter Kammerachse aufzunehmen. Die für die Berechnung der geogr. Breite φ und der Stundenwinkel t_0 notwendigen Zenitabstände und Azimutunter-

schiede ergeben sich aber dann nicht unmittelbar aus den Plattenbildern, sondern durch eine kleine, erweiterte Rechnung. Sind in Abb. 113 s_1 und s_2 die Bilder zweier Sterne, so ergibt sich der scheinbare Höhenwinkel eines jeden Sternes aus

$$(8) \quad \operatorname{tg} h'' = \frac{y}{\sqrt{x^2 + \frac{1}{4} f^2}}.$$

Da nun nach Abb. 112 die scheinbare Zenitdistanz z'' gleich ist

$$z'' = 90 - h'',$$

so ist auch die wahre Zenitdistanz jedes Gestirns aus Gl. 86 berechenbar.

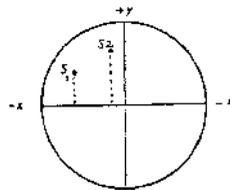


Abb. 113
Die Bildkoordinaten zweier Sterne bei
wagerechter Aufnahmeachse

Der Azimutunterschied der beiden Sterne s_1 und s_2 läßt sich wieder ermitteln aus der algebraischen Addition ihrer Horizontalwinkel gegen die Aufnahmeachse f . Ist nach Abb. 113 der Horizontalwinkel von $s_1 = \alpha_1$ und von $s_2 = \alpha_2$, so hat man als Azimutunterschied

$$(s_1 s_2) = \alpha_1 - \alpha_2$$

oder

$$\operatorname{tg} (s_1 s_2) = \operatorname{tg} (\alpha_1 - \alpha_2) = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2}{1 + \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2}.$$

Nun ist

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{x_1}{f} \quad \text{und} \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{x_2}{f}$$

und daher

$$(9) \quad \operatorname{tg} (s_1 s_2) = \frac{f(x_1 - x_2)}{f^2 + x_1 x_2} = \operatorname{tg} \alpha.$$

Aus diesen kleinen Rechnungen ersieht man, daß die Aufnahmen mit wagerechter Achse auf solche mit nach aufwärts gerichteter zu-

rückgeführt werden können. Da aber bei Aufstellungen mit wagerechter Achse selbst im günstigsten Falle, also bei vollkommen ebenen Gelände, nur ein halb so großer Sternenhimmel photographiert werden kann, so wird man die wagerechten Aufnahmen nur dann anwenden, wenn die Senkrechtaufnahmen wirklich versagen.

Infolge der westöstlichen Achsendrehung der Erde bewegen sich die Sterne in Kreisen parallel zum Himmeläquator von Osten nach Westen mit verschieden großer Geschwindigkeit. Die Äquatorialsterne haben die größte Geschwindigkeit, mit zunehmenden Breiten nimmt die Geschwindigkeit ab und an den Polen ist sie gleich Null. Die Abbildung der Sterne auf der Platte in irgend einem Orte mit der geographischen Breite φ erfolgt daher in elliptischen Bögen. Infolgedessen führt eine übermäßig lange Belichtungszeit wohl zu längeren Bahnelementen, aber nicht zu einer besseren Durchzeichnung. Man wird daher die Belichtungszeit am besten nach der Geschwindigkeit des Sternes mit höchster Breite bemessen, dessen Bahn überhaupt noch zur Abbildung gelangt. Stolze rechnet in seiner Schrift für einen Stern im Polabstande von 2° etwa 9 Minuten Belichtungszeit, um eine Bahnlänge von 0,2 mm zu erhalten.

Sind die Plattendimensionen $l \times l = 18 \times 18$ cm und die Brennweite $f = 18$ cm, so ist der halbe Plattenwinkel α im Objektivmittelpunkte berechenbar aus:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{2f}$$

Er ergibt sich daher zu $\alpha = 26^\circ 33' 54'' = 95634''$. Auf eine Plattenlänge von 1 mm kommen mithin etwa $1062,6''$. Da sich auf der Platte Längen mit einer Genauigkeit von 0,01 mm entnehmen lassen, so entsprechen einem Fehler von 0,01 mm etwa $10,62''$. Die Winkelermittlung auf Grund photographischer Platten besitzt also dieselbe Genauigkeit wie die mit gewöhnlichen Theodoliten, ein Ergebnis, das bei ersten Beobachtungen in unerforschten Gebieten durchaus genügen dürfte.

Die Photogrammetrie in der Meteorologie

In der Meteorologie wird die Photogrammetrie benützt, um die Daten für die Berechnung gewisser Naturereignisse, wie die Höhe

der Wolken, die Durchmesser der Höfe um Sonne und Mond oder die Durchmesser der Ringe um die Sonne oder des Regenbogens zu bestimmen. Diese Phänomene vergehen bekanntlich ebenso schnell, wie sie entstehen. Es ist daher unmöglich, den Zeitpunkt ihres Eintritts im voraus zu berechnen und sich für ihre Aufnahme vorzubereiten. Die Standorte der photographischen Kammern müssen daher ein für alle Male festliegen und die Instrumente auf ihnen zur Aufnahme ständig bereit sein.

Die Höhe der Wolken hat man schon rein trigonometrisch zu ermitteln versucht. Zu dem Zwecke hat man eine Basis gelegt und in ihren Endpunkten die Horizontal- und Höhenwinkel nach einem bestimmten Punkte mit dem Theodoliten gemessen. Nun ist es aber sehr schwierig bzw. kaum durchführbar, daß sich die Beobachter in den Endpunkten der Basis auf einen einzelnen Wolkenpunkt verständigen, da das Aussehen einer Wolke von verschiedenen Standpunkten sehr verschieden ist. Die Ergebnisse, welche nach dieser Methode erzielt wurden, genügten im allgemeinen auch nicht. Hat man dagegen photographische Aufnahmen der Wolkengebilde von beiden Standorten, so werden ihre Bilder wohl auch verschieden ausfallen, aber es wird doch möglich sein, diesen oder jenen Punkt in Ruhe als identisch zu ermitteln.

Die Durchmesser der Höfe um Sonne und Mond haben wechselnde Größen, die von der Größe der Nebeltröpfchen abhängen: Je kleiner die letzteren sind, desto größer ist der Durchmesser des Hofes. Bei ihrer Bestimmung ist es daher notwendig, den Tag und die Stunde ihrer Aufnahme aufzuzeichnen.

Die Durchmesser der Ringe um Sonne und Mond und des Regenbogens haben konstante Werte. Galle hat in seinen Untersuchungen vom Jahre 1840 den Halbmesser des Sonnenringes für Rot zu $21^{\circ} 54'$ angegeben und für Blau zu $22^{\circ} 48'$. Der Halbmesser des Hauptregenbogens ist dagegen 42° und der des Nebenregenbogens 54° . Wenn sich diese Daten auch durch direkte Messung nachprüfen lassen, so wird man begreiflicher Weise doch bestrebt sein, die Ergebnisse der direkten Messung nach Photographien dieser Gebilde zu bestätigen. Immerhin kommt aber der photogrammetrischen Bestimmung nur ein untergeordneter Wert zu.

Die photogrammetrische Bestimmung der Höhe eines Wolkenpunktes setzt ebenfalls die Kenntnis der Länge einer Basis und der

Ordinaten Z sind dagegen, wenn A die Höhe H_a und B die Höhe H_b haben,

$$103) \quad \begin{aligned} Z_1 &= H_a + i_1 \\ Z_2 &= H_b + i_2. \end{aligned}$$

Die Abb. 114 veranschaulicht die Berechnung der Höhe h_p des Wirkungsbereiches der Wolkenaufnahmen. Unter der Voraussetzung, daß der Plattenwinkel $2h$ in O_1 und O_2 die Platte in der ganzen Länge l auszeichnet, ist nach der Abbildung

$$\Delta e = \Delta h \operatorname{tg} h,$$

mithin

$$104) \quad \left\{ \begin{aligned} h_p &= \frac{e - \Delta h \operatorname{tg} h}{2} \operatorname{cotg} h \\ &= \frac{e}{2} \operatorname{cotg} h - \frac{\Delta h}{2}. \end{aligned} \right.$$

Da im Winter die Wolkenhöhen kleiner sind als im Sommer, so kann im Winter eine kürzere Basis gewählt werden als im Sommer. Ist z. B. $e = 2000$ m, $l = 80$ m, $l = 0,18$ und $f = 0,2$ m, so ist zunächst

$$\operatorname{tg} h = \frac{l}{2f} = \frac{0,18}{0,4},$$

daher

$$h_p = 1000 \cdot \frac{0,4}{0,18} - 40 = 2182 \text{ m.}$$

Differenziert man die Gleichung 104, so erhält man

$$\delta h_p = \frac{1}{2} \operatorname{cotg} h \cdot \delta e - \frac{e \delta h}{2 \sin^2 h}.$$

Diese Gleichung besagt, daß die Änderung von h_p zwar mit einer Änderung von e gleichen Schritt geht, aber weit größeren Einfluß übt der zweite Summand aus, weil die Änderung von h noch mit der großen Zahl

$$\frac{e}{2 \sin^2 h}$$

multipliziert wird.

Betrachtet man Abb. 115, so sind p_1 und p_2 die Bildpunkte des Wolkenpunktes P . Die Horizontalwinkel der Strahlen $O_1 P$ und $O_2 P$ gegen die Vertikalebene durch e berechnen sich daher aus

$$105) \left\{ \begin{array}{l} \text{und} \\ \text{tg } \alpha_1 = \frac{y_1}{x_1} \\ \text{tg } \alpha_2 = \frac{y_2}{x_2}. \end{array} \right.$$

Die Zenitdistanzen h_1 und h_2 ergeben sich aus

$$106) \left\{ \begin{array}{l} \text{und} \\ \text{tg } h_1 = \frac{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}}{f} \\ \text{tg } h_2 = \frac{\sqrt{x_2^2 + y_2^2}}{f}. \end{array} \right.$$

Die horizontalen Entfernungen d_1 und d_2 ergeben sich dann zu

$$107) \left\{ \begin{array}{l} d_1 = e \frac{\sin \alpha_2}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} \\ d_2 = e \frac{\sin \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} \end{array} \right.$$

und die Höhenunterschiede Δh_1 und Δh_2 sind

$$108) \quad \begin{array}{l} \Delta h_1 = d_1 \cotg h_1 \\ \Delta h_2 = d_2 \cotg h_2. \end{array}$$

Infolgedessen ist die Höhe H_p für P näherungsweise

$$H_p \approx H_a + i_1 + d_1 \cotg h_1$$

und zur Kontrolle

$$H_p \approx H_b + i_2 + d_2 \cotg h_2$$

oder mit Berücksichtigung der Erdkrümmung und Refraktion

$$109) \quad \begin{aligned} H_p &= H_a + i_1 + d_1 \cotg h_1 + \frac{d_1^2}{2R} (1 - k) = \\ &= H_b + i_2 + d_2 \cotg h_2 + \frac{d_2^2}{2R} (1 - k). \end{aligned}$$

wo R den Erdradius und $k = 0.13$ den Refraktionskoeffizienten bedeuten.

Um die horizontalen Koordinaten x_p und y_p des Punktes P zu ermitteln, müssen erst die Neigungswinkel ν_a der horizontalen Entfernungen d_1 und d_2 berechnet werden. Es sind

$$110) \left\{ \begin{array}{l} \nu_{d_1} = \nu_e - \alpha_1 \\ \nu_{d_2} = \nu_e \pm \pi - \alpha_2. \end{array} \right.$$

Mithin ist

$$111) \left\{ \begin{array}{l} y_T = y_a \div d_1 \sin \nu_{d_1} \\ \quad = y_b \div d_2 \sin \nu_{d_2} \\ x_T = x_a \div d_1 \cos \nu_{d_1} \\ \quad = x_b \div d_2 \cos \nu_{d_2}. \end{array} \right.$$

Das wichtigste Glied in den Gleichungen 109), gleichgültig, ob dabei die Erdkrümmung und Refraktion berücksichtigt werden, oder nicht, bildet der Summand

$$\Delta h_u = d_n \cotg h_n.$$

Differenziert man diese Gleichung, so wird

$$\delta \Delta h_n = \delta d_n \cdot \cotg h_n - d_n \frac{\delta h_n}{\sin^2 h_n}.$$

Hieraus ersieht man, daß ein Fehler in d keinen besonderen Einfluß ausübt, daß aber ein Fehler in h_n von großer Tragweite ist: Er wird nicht nur mit der großen Strecke d , multipliziert, sondern auch mit dem reziproken Werte von $\sin^2 h_n$. Lassen wir jedes Glied als 10 m-Fehler wirken, so wird

$$10 = \delta d_n \cotg h_n$$

und

$$10 = - \frac{d_n}{\sin^2 h_n} \delta h_n$$

oder

$$\delta d_n = \frac{10}{\cotg h_n}$$

und

$$\delta h_n = \frac{-10 \sin^2 h_n}{d_n}.$$

Hat die Platte die Dimensionen

$$l = 0,18 \text{ m, } b = 0,13, \text{ ist } f = 0,2 \text{ m und } d_n = 1000 \text{ m,}$$

so wird

$$\cotg h_n = \frac{f}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{0,2}{\sqrt{\frac{l^2}{4} + \frac{b^2}{4}}} = \frac{2 \cdot 0,2}{\sqrt{l^2 + b^2}}$$

und hieraus

$$h_0 = 29^{\circ} 01' 50'',$$

mithin

$$\begin{aligned} \delta d_0 &= \frac{10 \sqrt{l^2 + b^2}}{0,4} = 5,55 \text{ m} = \text{zulässiger Streckenfehler} \\ \delta h_0 &= \frac{-10 \sin^2 29^{\circ} 01' 50''}{1000} \cdot \rho' = 8,1' = \\ &= \text{zulässiger Winkelfehler } (\rho' = 3438). \end{aligned}$$

Nun fragt es sich, mit welchem Fehler δx bzw. δy die Koordinaten x und y eines Bildpunktes behaftet sein dürfen, falls kein größerer Fehler in der Höhe als 20 m vorhanden sein darf. Zu diesem Zwecke differenziere man die Gleichung

$$\operatorname{tg} h = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{f},$$

dann ist

$$\frac{\delta h}{\cos^2 h} = \frac{2x\delta x + 2y\delta y}{2f\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{x\delta x + y\delta y}{f\sqrt{x^2 + y^2}}.$$

Da die Abgreiffehler δx und δy im allgemeinen gleich groß sein werden, weil sie von den Größen x und y gar nicht abhängen, so folgt

$$\delta x = \delta y = \frac{f\sqrt{x^2 + y^2}}{(x + y)\cos^2 h} \cdot \frac{\delta h}{\rho}.$$

Setzt man in diese Gleichung die vorher angenommenen Werte ein, bzw. für δh den Wert 8,1' und für ρ die Zahl

$$\frac{180 \cdot 60}{\pi} = 3438,$$

so wird

$$\begin{aligned} \delta x = \delta y &= \frac{0,2\sqrt{0,18^2 + 0,13^2}}{(0,18 + 0,18)\cos^2 29^{\circ} 01' 50''} \cdot \frac{8,1}{3438} = \\ &= 0,04 \text{ mm} = \frac{1}{25} \text{ mm}. \end{aligned}$$

In unserem besonderen Falle dürften die Koordinaten x und y des Bildpunktes p nur mit einem Fehler von 0,04 mm behaftet sein. Da man aber nur auf $\frac{1}{10}$ mm genau abgreifen kann, so ist es unbedingt erforderlich, die Koordinaten mittels des Stereokomparators abzulesen, wo eine Genauigkeit von 0,02 mm gewährleistet wird.

Werden zwei aufeinanderfolgende Beobachtungen derselben Wolke gemacht und ist der Zeitunterschied dieser Beobachtungen gleich Δt , so ist die horizontale Geschwindigkeit v_h der Wolke

$$v_h = \frac{s}{\Delta t}.$$

Den Weg s erhält man aus den Koordinatenunterschieden ΔX und ΔY für denselben Punkt, also aus

$$s = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2};$$

mithin ist

$$112) \quad v_h = \frac{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}}{\Delta t}.$$

Die vertikale Geschwindigkeit v_v der Wolke ergibt sich ebenso aus

$$113) \quad v_v = \frac{\Delta Z}{\Delta t}.$$

Der Richtungswinkel φ des Wolkenzuges wird erhalten aus

$$114) \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta Y}{\Delta X}.$$

Bei allen Formeln gilt als Regel, daß die Koordinatenunterschiede Δx , Δy und Δz die Differenz zwischen der zeitlich folgenden und der zeitlich vorhergehenden Beobachtung darstellen. Den Quadranten des Winkels φ erhält man nach der bekannten Tabelle

Δx	Δy	Quadrant
+	-	I
-	+	II
-	-	III
+	+	IV

Für die Ermittlung des Durchmessers der Ringe und Höfe im Winkelmaß genügen ein einziger Standort und die Bedingungen, daß die Platte senkrecht auf der Brennweite steht und das Objektiv auf unendlich eingestellt ist. Die Verbindungsstrahlen des Objektivs O mit den Peripheriepunkten des Ringes bilden einen geraden Kegel.

Im Mittelpunkt seiner Grundfläche befindet sich die Sonne S (Abb. 116). Dieser Kegel wird von der Platte in einer Ellipse geschnitten. Nur in dem Falle, wo die Aufnahmeachse durch den Mittelpunkt der Sonne geht, bildet sich der Ring auf der Platte als Kreis ab. Die große Achse $2a$ geht immer durch den Hauptpunkt der Platte. Die Brennweite f ist konstant und die Entfernung d vom

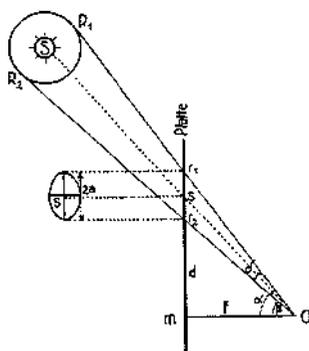


Abb. 116
Die Aufnahme eines Sonnenringes
im Vertikalschnitt

Plattenhauptpunkt m bis zur großen Achse, sowie die große Achse $2a$ selbst sind auf der Platte abzugreifen. Alsdann ist der Durchmesser δ

$$\delta = \alpha - \beta,$$

daher

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg}(\alpha - \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}$$

oder

$$= \frac{\frac{d + 2a}{f} - \frac{d}{f}}{1 + \frac{(d + 2a)d}{f^2}} = \frac{2af}{f^2 + (d + 2a)d}$$

$$115) \quad \operatorname{tg} \delta = \frac{2a}{f + \frac{d}{f}(d + 2a)}$$

Ist auf der Platte der ganze Ring nicht abgebildet, so muß die große Achse berechnet werden. Zu diesem Zwecke wird ihre Richtung konstruiert, indem man (Abb. 117) um m einen Kreisbogen schlägt, der die beiden Ellipsenzweige in a und b schneidet. Dann werden

mit gehörig großer Zirkelspannung Bögen um a und b geschlagen, die den Schnittpunkt c liefern. Die Verbindungslinie mc ist die Richtung der großen Achse $2a$. Wählt man ferner auf den Ellipsenzweigen zwei Punkte p_1 und p_2 und fällt von ihnen die Ordinate η_1 und η_2 auf die Richtungsgrade von $2a$, so sind ihre Abszissen ξ_1 und ξ_2 , wenn der Scheitel der Ellipse als Koordinatenanfang gewählt wird.

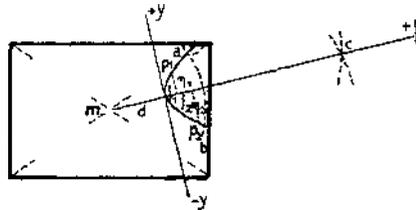


Abb. 117. Teilabbildung eines Sonneneinges

Nun lautet die allgemeine Form der Mittelpunktsgleichung einer Ellipse

$$x^2 b^2 + y^2 a^2 = a^2 b^2.$$

Aus ihr erhält man die Scheitelgleichung, wenn für $x = \xi - a$ und für $y = \eta$ gesetzt wird, daher

$$(\xi - a)^2 b^2 + \eta^2 a^2 = a^2 b^2$$

oder

$$b^2 \xi (\xi - 2a) + a^2 \eta^2 = 0 \text{ (Scheitelgleichung).}$$

Hieraus ergibt sich

$$116) \quad b^2 = \frac{-a^2 \eta^2}{\xi (\xi - 2a)}.$$

Setzt man in der letzten Gleichung für ξ und η die Werte ξ_1, η_1 und ξ_2, η_2 ein, so wird

$$b^2 = \frac{-a^2 \eta_1^2}{\xi_1 (\xi_1 - 2a)} = \frac{-a^2 \eta_2^2}{\xi_2 (\xi_2 - 2a)}$$

und hieraus nach einiger Umrechnung

$$117) \quad 2a = \frac{\eta_1^2 \xi_2^2 - \eta_2^2 \xi_1^2}{\xi_2 \eta_1^2 - \xi_1 \eta_2^2}.$$

Der hiernach berechnete Wert für $2a$ wird nebst dem abgegriffenen Werte d in die Formel eingesetzt, wodurch der Durchmesser δ berechnet werden kann.

Lebensbeschreibungen verdienter Männer um die Erd- und Luftbildmessung

Die Bahnbrecher für die Photogrammetrie sind Lambert und Daguerre.

Lambert

Johann, Heinrich Lambert wurde 1728 zu Mühlhausen i. Els. geboren und starb als Oberbaurat 1777 zu Berlin. Er war der Sohn eines Schneiders und hatte keinen anderen Lehrer als sich selbst. Zuerst war er Buchhalter und später Sekretär in Basel. 1748 wurde er Hauslehrer in der Familie des Grafen Salis in Chur, 1759 ord. Professor und Mitglied der Münchener Akademie der Wissenschaften sowie des Kollegiums zur Oberaufsicht über die allgemeine Landesverbesserung und über das Landbauwesen in Berlin. Wissenschaftlich war er erfolgreich tätig in der Philosophie, Physik, Astronomie und Mathematik. In seinem Werk „Die freie Perspektive“ (Zürich 1759, zweite Auflage 1774, 2 Bände) lehrte er, daß man aus einer richtig gezeichneten Perspektive die geometrische Zeichnung ableiten könnte.

Diese richtig gezeichnete Perspektive mühelos zu erhalten, gelang Daguerre durch die Erfindung der Photographie.

Daguerre

Louis, Jacques, Mande Daguerre wurde am 18. November 1789 zu Corneilles (Dep. Seine et Oise) geboren und starb als Offizier der Ehrenlegion am 10. Juli 1851 zu Petit-Brie bei Paris. Zuerst war er Steuerbeamter und später Maler. Mehrere Jahre bemühte er sich vergeblich, Bilder in der Kamera zu fixieren, 1838 gelangte er zum Ziel. Durch Arago wurde das photographische Verfahren der französischen Akademie bekannt gegeben, die Daguerre eine jährliche

Rente von 6000.— Francs vom Staate erwirkte und das Verfahren veröffentlichten ließ.

Der Erste, der es versuchte, von photographischen Landschaften geometrische Zeichnungen herzustellen, war

Porro

Seine Bemühungen scheiterten aber an dem Umstande, daß die photographischen Geräte damals zu unvollkommen waren. Porro war es auch, der später Koppe empfahl, die Plattenbilder mit Hilfe eines Bildmeßtheodoliten auszumessen.

Erst durch

Meydenbauer

gelangte die Photogrammetrie zu besonderem Ansehen. Er wurde am 30. April 1834 in Tholey, Reg.-Bez. Trier, geboren, besuchte seit 1854 die Bauakademie in Berlin und war seit 1858 bei den Herstellungsarbeiten an den Domen in Wetzlar und Erfurt beschäftigt. Nach der großen Staatsprüfung im Jahre 1870 war er bei der Eisenbahn und seit 1876 bei der allgemeinen Bauverwaltung tätig. Im Jahre 1885 wurde er als Reg.- und Baurat nach Berlin berufen und mit Meßbildaufnahmen im Dienste der Denkmalpflege beauftragt.

Die in den jungen Jahren ausgeführten Aufnahmen mittelalterlicher Bauwerke brachten ihn auf den Gedanken, das lebensgefährliche Messen und Zeichnen auf Leitern und Gerüsten durch das Ausmessen von Photographien zu ersetzen. Seine erste Arbeit auf dem Gebiete der Photogrammetrie entstand 1867 und betitelt sich: „Über die Anwendung der Photographie zur Architektur- und Terrain-Aufnahme“, Zeitschrift für Bauwesen, Berlin. Im Laufe der Zeit steigerte sich die Anzahl der Originalmeßbilder auf 11 000. Er machte Aufnahmen von der Saalburg, Hohkönigsburg und den Ruinen von Baalbeck in Syrien; ebenso lieferte er Meßbildzeichnungen der Dome in Freiburg, Magdeburg, Meißen, Bamberg, von der Hagia Sophia in Konstantinopel usw. Von der Technischen Hochschule in Hannover wurde ihm die Würde eines Doktor-Ingenieurs ehrenhalber verliehen. Er starb in Godesberg a. Rh. im Jahre 1922. Als literarisches Erbteil hat er uns hinterlassen:

1. „Das photogr. Aufnehmen zu wissenschaftlichen Zwecken, insbesondere das Meßbildverfahren“ (Berlin 1892) und

2. „Bericht über die zwanzigjährige Tätigkeit der Meßbildanstalt“ (1895).

Mit den Fortschritten der Photographie gelangte auch die Photogrammetrie zu größerer Bedeutung, namentlich in Ländern, in denen Hochgebirge zu kartieren waren, wie in Italien, Nordamerika, Österreich und Japan. Mit ihrer Beschränkung auf das Hochgebirge stellten sich jedoch immer Schwierigkeiten ein. Die unregelmäßigen Formen der Fels- und Eispartien machten das Auffinden identischer Punkte verschiedener Platten sehr schwierig. Besondere Bedeutung haben die photogrammetrischen Aufnahmen von

Koppe

für die Vorarbeiten der Jungfraubahn erlangt. Karl Koppe war am 9. Januar 1844 zu Soest in Westfalen als Sohn des Gymnasialprofessors K. F. A. Koppe geboren. Nach seinem Studium in Bonn 1864 und an der Bauakademie in Berlin 1865—1868 trat er in den Dienst der rheinischen Eisenbahnen und machte verschiedene Eisenbahnvorarbeiten. Im Jahre 1872 übernahm er die Leitung der vermessungstechnischen Arbeiten am Gotthardtunnel, die er mit großem Geschick erledigte. Von großem Interesse sind seine Arbeiten über das Haarhygrometer und seine Studien über das Aneroidbarometer nebst seiner Verwendung zur Höhenmessung. Im Jahre 1884 wurde er Professor der Geodäsie in Braunschweig. Mit der Photogrammetrie begann er sich theoretisch und praktisch Mitte der achtziger Jahre zu beschäftigen. 1895 wurde er in die wissenschaftliche Kommission für den Bau der Jungfraubahn gewählt. Die für den Bau erforderlichen Pläne wurden nach photogrammetrischen Aufnahmen hergestellt. Außerdem zeigte er, mit welchem großen Vorteil die Photogrammetrie in den Dienst der Wolkenbeobachtungen gestellt werden könne. Dabei verwendete er zur Ausmessung der Bildplatten eine sinnreiche Methode nach dem Vorschlage Porros. Während sonst die Horizontal- und Höhenwinkel aus der Brennweite und den der Platte entnommenen Koordinaten gerechnet wurden, hat Koppe diese Winkel an einem Horizontal- und Höhenkreise unmittelbar abgelesen, nachdem ein Fernrohr durch das Objektiv der Kammer auf die ausgewählten Punkte der Platte eingestellt war. Er ist also der erste Konstrukteur des Bildmeßtheodoliten. Seine beiden Bücher sind:

1. „Photogrammetrie und internationale Wolkenmessung“ Braunschweig 1897, und
2. „Photogrammetrie oder Bildmeßkunst“, Weimar 1909.

Er starb am 10. Dezember 1910 zu Köln a. Rh.

Ein hervorragender Vertreter der meteorologischen Photogrammetrie war

Sprung

Prof. Dr. A. Sprung wurde am 5. Juni 1848 zu Kleinow bei Perleberg geboren, studierte in Leipzig, wo er 1872 vor der philosophischen Fakultät zum Doktor promovierte. Von 1876 bis 1886 war er an der Seewarte in Hamburg tätig und wurde am 1. April 1886 in das preußische meteorologische Institut nach Berlin berufen. Am 1. April 1892 wurde er mit der Leitung des neuerrichteten Observatoriums auf dem Telegraphenberge bei Potsdam betraut. Seine wissenschaftliche Bedeutung liegt hauptsächlich auf instrumentellem und theoretischem Gebiete der Meteorologie. Die Photogrammetrie dankt ihm den Wolkenautomaten, den er zum Studium der Höhe und Geschwindigkeiten der Wolken ersonnen hat, sowie die Entwicklung der Verwendung der Photogrammetrie bei gewissen Phänomenen. Er starb am 16. Januar 1909 zu Potsdam.

Die Ergebnisse der photogrammetrischen Wolkenforschung zu Potsdam in den Jahren 1900 bis 1920 sind 1922 von R. Süring zusammengestellt und von dem Direktor des Meteorologischen Instituts Prof. Dr. G. Hellmann herausgegeben worden. Ausgewertet wurden die Wolkenphotogramme von dem Vermessungsdirektor Th. Bötzel in Hildesheim.

Bei der Auswertung der Photogramme war es aber immer schwierig, auf den Bildern zweier Standpunkte zusammengehörige Punkte als solche zu identifizieren. Das Identifizieren war nur bei deutlich sichtbaren oder künstlich signalisierten Punkten möglich. Dieser Umstand schränkte die Verwendbarkeit der Photogrammetrie sehr ein. Der Kanadier Deville, der in Nordamerika bereits seit 1888 umfangreiche Gebiete photogrammetrisch aufgenommen hat, kam als erster — 1901 schon — auf den Gedanken, aus zwei zusammengehörigen Photogrammen mit Hilfe eines Spiegelstereoskops das Landschaftsmodell herzustellen und dieses Modell mit einer wandernden Marke auszumessen. Wenn auch mit der Devilleschen

Originalapparatur ein genaues Arbeiten noch nicht möglich war, so bleibt er aber der Vater des Gedankens. Eine ungeahnte Förderung erhielt das Devillesche Prinzip durch

Pulfrich

Er war Professor, Dr. phil et Dr.-Ing. e. h., Ehrenmitglied der Sektion Deutschland der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Leiter der Abteilung wissenschaftlicher Meßinstrumente der Zeiss-Werke in Jena. Gestorben ist er am 12. August 1927, kurz vor Vollendung seines 69. Lebensjahres, infolge eines Unglücksfalles im Ostseebade Timmendorferstrand. Seine epochemachenden, wissenschaftlichen Arbeiten über Stereophotogrammetrie und seine Geräteschöpfungen haben die terrestrische Photogrammetrie aus einem gelegentlichen Versuchsobjekt einzelner Wissenschaftler zu einem in allen Erdteilen bewährten Vermessungszweig gemacht. In seinem Stereokomparator ist das Prinzip des plastischen Sehens zur vollen Geltung gekommen und dadurch das mühsame Identifizieren aus der Welt geschafft. Dieses Gerät verursachte das Aufblühen der Photogrammetrie und hatte die Gründung der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie zur Folge. Pulfrich hat eine Reihe von kleineren und größeren Abhandlungen geschrieben. Seine wesentlichsten sind: „Stereoskopisches Sehen und Messen“, Jena, 1911 und „Über Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen“, Jena 1919.

Der Pulfrichsche Stereokomparator gestattete aber nur die Entnahme der Bildkoordinaten, so daß die getrennte Berechnung der Abstände der einzelnen Punkte von der Basis und das getrennte Auftragen auf einen Zeichenbogen bestehen blieben. Da war es der Major

Eduard Ritter von Orel

im militärgeographischen Institut zu Wien, der, am 5. November 1877 in Miramare bei Triest geboren, im Jahre 1909 die drei Schlittenbewegungen des Komparators durch Hebelvorrichtungen auf ein Zeichenbrett übertrug, so daß die Berechnung fortfällt und die Punkte automatisch kartiert werden. Dieses Gerät führt den Namen Stereoaograph.

von Orel absolvierte 1896 die Kadettenschule zu Triest und gelangte 1901 an das militärgeographische Institut in Wien als

Mappeur. 1905 trat von Orel in den Dienst der Photogrammetrie dieses Instituts und führte verschiedene photogrammetrische Aufnahmen in den Alpen aus. Im Jahre 1912 verließ von Orel das militärgeographische Institut, vereinigte sich mit der Firma Zeiss in Jena und gründete die Stereographik in Wien, eine Gesellschaft, die die praktische Anwendung der Photogrammetrie zum Ziele hatte. Der Weltkrieg brachte diese Gesellschaft in eine ungemein schwierige Lage. Die Firma Zeiss zog sich im Jahre 1920 aus der Gesellschaft zurück. 1921 bildete sich aus ihr das Konsortium „Luftbild G.m.b.H.-Stereographik G.m.b.H.“ in München, das heut den Namen Photogrammetrie führt. von Orel zog sich aber von seiner Erfindertätigkeit zurück und lebt seitdem in München als Privater. Im Oktober 1927 wurde er zum Ehrenmitgliede der Sektion Deutschland der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie ernannt.

Auf dem Gebiete der Erdbildmessung hat sich auch Professor Dr. Sebastian

Finsterwalder

große Verdienste erworben. Er ist am 4. Oktober 1862 in Rosenheim in Bayern geboren, ist Geheimer Hofrat, ordentlicher Professor der Mathematik an der Technischen Hochschule in München und ordentliches Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Er hat des öfteren mit seinen Studierenden in den Alpen photogrammetrische Aufnahmen ausgeführt und eine Anzahl von Abhandlungen veröffentlicht. Im Jahre 1898 erschienen „Die geometrischen Grundlagen der Photogrammetrie“, 1904 „Eine neue Art der Photogrammetrie bei flüchtigen Aufnahmen“, 1903 „Das Rückwärtseinschneiden im Raum“, 1921 „Über Nadirtriangulation“ (Sitzungsbericht der Bayerischen Akademie der Wissenschaften). Finsterwalder ist Ehrenmitglied der Sektion Deutschland der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie.

Auf dem Gebiete der Luftphotogrammetrie haben sich insbesondere verdient gemacht: Gasser, Hegershoff und Bauersfeld von der Firma Zeiss, dem wir den Stereoplanigraphen verdanken.

Dr. phil. Max

Gasser

ist zu Sulzberg bei Kempten im Allgäu am 13. Februar 1872 geboren. Er war Privatdozent an der Technischen Hochschule in Darmstadt,

dann Ingenieur bei der Firma Hahn in Kassel und bei Zeiss in Jena. Sein Arbeitsgebiet sind der wissenschaftliche Instrumentenbau, die Luftfahrt, Geodäsie und Lufttopographie. Verschiedene Abhandlungen sind seiner Feder entsprungen, so z. B. „Die aeronautische Ortsbestimmung“, Würzburg 1911, „Die photographische Meßkunst in der Aeronautik“, 1912, „Über Phototopographie“, 1912 und andere. Den Glanzpunkt seines Schaffens bildet das Projektionsgerät zur Auswertung stereoskopisch aufgenommener Bilder für die Hertellung topographischer Karten. Zurzeit lebt er als Privater zu Kalkberge in der Mark.

Ein anderer Pionier in der Luftphotogrammetrie ist Professor Dr. Ing. Reinhard

Hugershoff

Er ist am 5. Oktober 1882 in Leubnitz bei Werdau geboren, besuchte das Realgymnasium, ist ordentlicher Professor der Geodäsie an der Forstakademie zu Tharandt, Privatdozent an der Technischen Hochschule zu Dresden und wissenschaftlicher Mitarbeiter der Firma Gustav Heyde in Dresden. Von 1907 bis 1909 hat er Forschungsreisen nach dem französischen Westsudan, der Goldküste und nach Togo unternommen. Seine hauptsächlichste Betätigung sind der wissenschaftliche Instrumentenbau und topographische Aufnahmen vom Flugzeug aus. Auf literarischem Gebiete hat er eine Anzahl von Abhandlungen geschrieben, so z. B. „Einführung in die Phototachymetrie“ 1911, „Einführung in die Photogrammetrie“ 1912 und „Grundlagen der Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen“ 1919 (in Verbindung mit Cranz). Hugershoff verdanken wir insbesondere den Komparator, Bildmeßtheodoliten, Autokartographen, Aerokartographen, den vertikal gerichteten Stereokomparator und ein einfaches Entzerrungsgerät.



Verzeichnis der Literatur in deutscher Sprache

Abkürzungen.

- M. d. m.-g. I. = Mitteilungen des militärgeographischen Instituts.
Z. f. I. = Zeitschrift für Instrumentenkunde.
A. N. = Astronomische Nachrichten.
I. A. f. Ph. = Internationales Archiv für Photogrammetrie.
Z. f. V. = Zeitschrift für Vermessungswesen, Stuttgart.
Ö. Z. f. V. = Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen.
Bayer. Z. f. V. = Bayerische Zeitschrift für Vermessungswesen.
M. d. Ph. G. m. b. H. = Mitteilungen der Photogrammetrie G. m. b. H.

1. Adameczik: Theorie der photogrammetrischen Punktbestimmung, Z. f. V., 1917.
2. Adameczik: Photogrammetrische Punktbestimmung aus überzähligen Bildern, Z. f. V., 1918.
3. Andresen: Technische und taktische Auswertung der Fliegeraufnahmen. Z. f. V., 1912.
4. Aschenbrenner, Cl.: Über die Berücksichtigung der Erdkrümmung und Refraktion bei der mechanischen Auswertung von Stereophotogrammen. Z. f. I., Berlin 1925.
5. Aschenbrenner, Cl.: Das Entzerrungsgerät der Photogrammetrie G. m. b. H. M. d. Ph. G. m. b. H., München, II. Jg., Heft 6.
6. Aschenbrenner, Cl.: Über Nadirpunkttriangulation. M. d. Ph. G. m. b. H. München 1926.
7. Basse, W.: Die fliegerischen Grundlagen für die Aufnahmen von Meßluftbildern. Allgemeine Vermessungsnachrichten. Liebenwerda 1927.
8. Bender, F.: Über stereoskopische Entfernungsmesser der Firma Carl Zeiß, Jena. Bayerisches Industrie- und Gewerbeblatt, 1902.
9. Berberich, A.: Die stereoskopische Prüfung von Himmelsaufnahmen mit dem Stereokomparator. Naturw. Rundschau, 1902.
10. Bertschmann, S.: Die Photogrammetrie und ihre Anwendung bei der schweizerischen Grundbuchvermessung und bei der allgemeinen Landesvermessung. Zu beziehen durch Herrn Steinegger, Schaffhausen, Quellenstr. 19.

11. Birr: Das Luftbild im Dienste des Zivilvermessungswesens. Z. f. V., 1919.
12. v. Bock, F.-K.: Versuch photogrammetrischer Küstenaufnahmen gelegentlich einer Spitzbergen-Expedition im Sommer 1907. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde, Berlin 1908.
13. Boelke, S.: Das Luftbild. Jahrbuch der angewandten Naturwissenschaften, 1927.
14. Bötzel: Photographische Aufnahmen aus Luftfahrzeugen. Photogrammetrie und Vermessungsluftschiffe. Z. f. V., 1913.
15. Brückner, E.: Oberleutnant v. Orels Stereoautograph als Mittel zur automatischen Herstellung von Schichtenplänen und Karten. Mitt. d. k. u. k. Geograph. Ges., Wien 1911.
16. Brummer, Karl: Weisungen der Vogelschau. Flugbilder aus Deutschland und Österreich und ihre Lehren für Kultur, Siedlung und Städtebau. München 1928.
17. Dalwigk: Die Perspektive. Leipzig, B. G. Teubner.
18. Demmer, E.: Vergleichsmessungen nach der stereophotogrammetrischen, tachymetrischen und polygonometrischen Aufnahmemethode. Ö. Z. f. V., Wien 1925.
19. Dietrich, B.: Landesaufnahme und Luftbildverwertung in Nordamerika. Bildmessung und Luftbildwesen, Liebenwerda 1927.
20. Dittler, R.: Stereoskopisches Sehen und Messen. Leipzig 1919.
21. Dock, H.: Photogrammetrie und Stereophotogrammetrie. Sammlung Götschen, Berlin-Leipzig 1913.
22. Dock, H.: Die terrestrische und Luftphotogrammetrie und ihre Bedeutung für die Forstwissenschaft. Zentralbl. f. d. gesamte Forstwesen, Wien 1925.
23. Dokuhl: Neue Instrumente für die photogrammetrische Aufnahme von Baudenkmalern. I. A. f. Ph., Wien 1911.
24. Doležal, E.: Arbeiten und Fortschritte auf dem Gebiete der Photogrammetrie. Fortlaufende Berichte im Jahrbuch für Photographie und Reproduktionstechnik.
25. Doležal, E.: Die Anwendung der Photographie in der praktischen Meßkunst. Halle a. S. 1896.
26. Doležal, E.: Genauigkeit und Prüfung einer stereophotogrammetrischen Aufnahme. Ö. Z. f. V., Wien 1907.
27. Doležal, E.: Photographie und Photogrammetrie im Dienste der Denkmalpflege und das Denkmälerarchiv. I. A. f. Ph., Wien 1908.
28. Doležal, E.: Ein Beitrag zur Stereophotogrammetrie. I. A. f. Ph., Wien 1908.
29. Doležal, E.: Über die Bedeutung der photographischen Meßkunst. I. A. f. Ph., Wien 1908.
30. Doležal, E.: Instrumentelle Neuerungen. I. A. f. Ph., Wien 1923.
31. Doležal, E.: Photogrammetrische Punktbestimmung von einem Standpunkt. Z. f. V. 1907.

32. Eggert, O.: Einführung in die Geodäsie. Leipzig 1907.
33. Eggert, O.: Neuere Instrumente für Stereophotogrammetrie. Z. f. V., 1908.
34. Eggert, O.: Der Stereoaograph von Oberleutnant v. Orel. Z. f. V., 1913.
35. Eggert, O.: Rückwärtseinschneiden im Raum. Z. f. V., 1920.
36. Eggert, O.: Der Stereoaograph. Z. f. V. 1920.
37. Eichberg, F.: Die Photogrammetrie bei kriminalistischen Tatbestandsaufnahmen. Halle a. S. 1911.
38. Eisenmann, F.: Der jetzige Stand des Äro-Vermessungswesens in Deutschland. Flug und Yacht, Wien 1924.
39. Ewald, E.: Das Luftbild im Dienste des Städtebaues und Siedlungswesens. Doktordissertation, Berlin-Charlottenburg 1922.
40. Ewald, E.: Das Luftbild im Unterricht. Breslau 1924.
41. Ewald, E.: Deutschland aus der Vogelschau. Berlin 1925.
42. Fels, E.: Das Fliegerbild in der Geographie. Geograph. Zeitschr., Leipzig 1924.
43. Finsterwalder, S.: Photogrammetrischer Theodolit für Hochgebirgsaufnahmen. Z. f. I., Berlin 1895.
44. Finsterwalder, S.: Zur photogrammetrischer Praxis. Z. f. V., 1896.
45. Finsterwalder, S.: Die geometrischen Grundlagen der Photogrammetrie. Jahresber. d. D. Math.-Vereinig., VI, 2, 1898.
46. Finsterwalder, S.: Photogrammetrische Aufnahmen von Höhenkarten vom Ballon aus. Illustr. aeronaut. Mitteil., 1900.
47. Finsterwalder, S.: Über die Konstruktion von Höhenkarten aus Ballonaufnahmen. Sitzungsber. d. bayer. Akad. d. Wissensch., 1900.
48. Finsterwalder, S.: Neue Methoden zur topographischen Verwertung von Ballonaufnahmen. Jahresber. d. Münchener Ver. f. Luftschiffahrt, 1902.
49. Finsterwalder, S.: Eine Grundaufgabe der Photogrammetrie und ihre Anwendung auf Ballonaufnahmen. Bayer. Akad. d. Wiss., XII, II. Abt., 1903.
50. Finsterwalder, E.: Rückwärtseinschneiden im Raum. Bayer. Akad. d. Wiss., Bd. 33, S. 591, 1903.
51. Finsterwalder, S.: Flüchtige Aufnahmen mittels Photogrammetrie. Verhandl. d. intern. Mathematikerkongresses, Heidelberg 1904.
52. Finsterwalder, S.: Die topographische Verwendung von Ballonaufnahmen. Illustr. aeronaut. Mitteil., 1904.
53. Finsterwalder, S.: Photogrammetrie. Enzyklopädie d. math. Wiss., 1906.
54. Finsterwalder, S.: Eine neue Lösung der Grundaufgabe der Luftphotogrammetrie. Sitzungsber. d. bayer. Akad. d. Wissensch., 1915.
55. Finsterwalder, S.: Die Kernpunkte, die gnomonische Projektion und die Rezipokalprojektion in der Photogrammetrie. I. A. f. Ph., Wien 1923.

56. Finsterwalder, S.: Bedeutung der Photogrammetrie für Technik und Wirtschaft. Vorträge gehalten bei der 2. Hauptversammlung d. Intern. Gesellsch. f. Photogrammetrie, Berlin 1927.
57. Finsterwalder, S.: Die Photogrammetrie des Hochgebirges für wissenschaftliche Zwecke. Vorträge gehalten bei der 2. Hauptversammlung d. Intern. Gesellsch. f. Photogrammetrie, Berlin 1927.
58. Fischer, T.: Über die Berechnung des räumlichen Rückwärtschnitts bei Aufnahmen aus Luftfahrzeugen. Jena 1921.
59. Förg, R.: Die Bestimmung des Standpunktes und der äußeren Orientierungselemente in der Photogrammetrie bei bekannter innerer Orientierung. 1909.
60. Fuchs, K.: Die Verschwenkungskorrektion in der Stereophotogrammetrie. Z. f. V., 1907.
61. Fuchs, K.: Photogrammetrie mit äußerem Beziehungspunkt. I. A. f. Ph., 1908.
62. Fuchs, K.: Berechnung der Konstanten der Aufstellung aus inneren Daten. I. A. f. Ph., 1908.
63. Fuchs, K.: Bemerkungen zum Orel'schen Stereoautographen. I. A. f. Ph., 1912.
64. Fuchs, K.: Photogrammetrie ohne Theodolit. Z. f. V. 1905.
65. Gasser, M.: Die aeronautische Ortsbestimmung. Würzburg 1911.
66. Gasser, M.: Die photogrammetrische Meßkunst in der Aeronautik. D. Luftfahrer-Zeitschr., Jahrg. 1912.
67. Geßner,: Über das Luftbild. Zeitschr. f. Flugtechnik u. Motorluftschiffahrt, Berlin 1922.
68. Geßner: Die praktische Arbeit mit dem Luftbild. Illustr. Flugwoche, Leipzig 1923.
69. v. Gruber, O.: Photogrammetrie für Ingenieurarbeiten. Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 67.
70. v. Gruber, O.: Der Hugershoff-Heydesche Autokartograph. Z. f. I., Berlin 1922.
71. v. Gruber, O.: Die perspektiven und optischen Verhältnisse bei der Entzerrung von Fliegerbildern. Z. f. I., Berlin 1922.
72. v. Gruber, O.: Leitideen bei Konstruktion der für Raumbildmessung dienenden Auswerte-Instrumente. Mitteil. a. d. Markscheidewesen, 1922.
73. v. Gruber, O.: Der Stereoplanigraph. Z. f. I., Berlin 1923.
74. v. Gruber, O.: Einfache und Doppelpunkteinschaltung im Raume. Jena 1924.
75. v. Gruber, O.: Inversoren. Z. f. I., Berlin 1925.
76. v. Gruber, O.: Der von Orel-Zeiß'sche Stereoautograph, Modell 1914, mit Zusatzvorrichtung für Ausarbeitung von Luftaufnahmen. I. A. f. Ph., 1923.

77. v. Gruber, O.: Entzerrung von Senkrechtaufnahmen und die optisch-mechanische Lösung des Rückwärtseinschneidens. I. A. f. Ph., 1923.
78. v. Gruber, O.: Die Anwendung der Photogrammetrie im Vermessungswesen. Vermessungstechn. Rundschau, 1926.
79. v. Gruber, O.: Die Genauigkeit einer autokartographisch hergestellten Karte. Z. f. I., Berlin 1926.
80. Gärtler, K.: Fortschritte auf dem Gebiete der Luftvermessung mit besonderer Berücksichtigung ihrer Wirtschaftlichkeit. Vorträge gehalten bei der 2. Hauptversammlung d. Intern. Gesellsch. f. Photogrammetrie, Berlin 1927.
81. Gärtler, K.: Die Vermessung aus dem Flugzeug im Dienste der Technik und Wirtschaft. Flugzeug und Yacht, Wien 1926.
82. Haerpfer: Graphische Tafeln für Photogrammetrie. Z. f. V. 1923.
83. Hänert: Zur Photogrammetrie ohne Theodolit. Z. f. V., 1919.
84. Hauck, G.: Neue Konstruktionen der Perspektive und Photogrammetrie. I. f. Math., 1882, 1884, 1885, 1891, 1893, 1905.
85. Hay, A.: Die Photographie im Dienste des Vermessungswesens. Photograph. Korrespondenz, 1926.
86. Hecker, O.: Über die Beurteilung der Raumtiefe und den stereoskopischen Entfernungsmesser von Zeiß-Jena. Z. f. V., 1904.
87. Heer: Vorübung im stereoskopischen Sehen und Messen. Z. f. V. 1922.
88. Helbing, R.: Die stereophotogrammetrische Gelände- und Höhenvermessung. Schweizer. Bauztg., 1921.
89. Hellwig, H.: Luftbildaufnahmen im rhein.-westf. Industriegebiet (Mitteilung der Emscher Genossenschaft), Luftbild und Luftbildmessung der Hansa-Luftbild G. m. b. H., Berlin 1927.
90. Herz, N.: Über die Anwendung von großen Basen im stereophotogrammetrischen Verfahren. I. A. f. Ph., Wien 1908.
91. Hilf: Die Bedeutung des Luftbildes für die Forstwissenschaft. Forstwirtsch. Wochenschr. Silva, 1920.
92. v. Hofe, Chr.: Stereoskopisches Sehen. Phys. Zeitschr., 1925.
93. Hugershoff, R.: Photogrammetrie. Stuttgart 1912.
94. Hugershoff, R. und Cranz: Grundlagen der Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen. Stuttgart 1919.
95. Hugershoff, R.: Topographisches Aufnehmen aus Luftfahrzeugen. Geogr. Anzeiger, 1920.
96. Hugershoff, R.: Die Phototopographie und ihre Anwendung auf Luftzeugaufnahmen. Dresden 1921.
97. Hugershoff, R.: Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen. Moedebecks Taschenbuch für Flugtechniker und Luftschiffer, Berlin 1923.
98. Hugershoff, R.: Das Rückwärtseinschneiden im Raum mit Hilfe des Autokartographen. I. A. f. Ph., 1923.
99. Hugershoff, R.: Über die Durchführung forstlicher Vermessungen mit Hilfe des Luftbildes. Forstwirtsch. Wochenschr. Silva, 1923.

100. Hugershoff, R.: Autokartograph und Doppelprojektor. Der Bauingenieur, 1923.
101. Hugershoff, R.: Die Genauigkeit einer autographisch hergestellten Karte. Z. f. I., Berlin 1926.
102. Hugershoff, R.: Der Aerokartograph, eine neue Ausführung des Autokartographen. Vorträge gehalten bei der 2. Hauptversammlung d. intern. Gesellsch. f. Photogrammetrie, Berlin 1927.
103. v. Hübl, A.: Die Stereophotogrammetrie. M. d. m.-g. I., Wien 1903.
104. v. Hübl, A.: Die stereophotogrammetrische Terrainaufnahme. M. d. m.-g. I., Wien 1904.
105. v. Hübl, A.: Das stereoskopische Meßverfahren. Zeitschr. d. österr. Ingenieur- u. Architektenverbandes, Wien 1904.
106. v. Hübl, A.: Beiträge zur Stereophotogrammetrie. M. d. m.-g. I., Wien 1905.
107. v. Hübl, A.: Das stereophotogrammetrische Vermessen von Architekturen. Wiener Bauhütte, 1907.
108. Jordan, W.: Handbuch der Vermessungskunde. II. Bd., Stuttgart 1914.
109. Kahle, P.: Photographische Aufnahmen aus Luftfahrzeugen, Z. f. V., 1913.
110. Kappel, Felix: Die Photokarte als Unterlage bei städtebaulichen Arbeiten. „Der Städtebau“ 1914.
111. Kappel, F.: Die Photokarte. Zeitschrift „Die Umschau“ 1915.
112. Kammerer, G. Th.: Scheimpflugs Landesvermessung aus der Luft. I. A. f. Ph., 1912.
113. Kell-Berging, N. G.: Die Anwendung stereographischer Netze zur Bestimmung der äußeren Orientierung von Aerophotogrammen. Z. f. V., 1926.
114. Kirschke, R.: Baugeländevermessung durch Luftbilder. Deutsches Bauwesen 1927.
115. Klingatsch, A.: Zum räumlichen Rückwärtseinschneiden. I. A. f. Ph., 1916.
116. Klingatsch, A.: Über die Ortsbestimmung aerophotogrammetrischer Aufnahmen durch räumliches Seitwärtseinschneiden. Ö. Z. f. V., 1917.
117. Klingatsch, A.: Über die Orientierung aerophotogrammetrischer Aufnahmen. I. A. f. Ph., 1917.
118. Klingatsch, A.: Photographische Azimutbestimmung. Z. f. V. 1906.
119. Klingatsch, A.: Doppelpunktbestimmung in der Aerophotogrammetrie, Z. f. V. 1919.
120. Klingatsch, A.: Orientierung photographischer Aufnahmen aus Sonnenbildern. Z. f. V. 1923.
121. Klute, F.: Die Methode der Stereophotogrammetrie. Geogr. Zeitschr., Jahrg. 26, Leipzig.

122. Koerner, O.: Landesvermessung und Luftbild. Luftfahrt, Berlin 1922.
123. Koerner, O.: Geräte zum Herstellen von Schichtenlinienkarten nach Lichtbildern aus Luftfahrzeugen. Central-Ztg. f. Mechanik u. Optik, Berlin 1922.
124. Koerner, O.: Luftbildmessung. Luftfahrt, Berlin 1926.
125. Koerner, O.: Zeichnerische Kartenergänzung nach Fliegerbildern bei ebenem Aufnahmegelände. Artilleristische Rundschau, 1925.
126. Koerner, O.: Luftbildwesen. Jahrb. f. Luftverkehr, 1925.
127. Koerner, O.: Luftbildverwendung. Z. f. V., 1925.
128. Koerner, O.: Zeichnerische Neupunktbestimmung nach Fliegerbildern eines bergigen Aufnahmegeländes. Artilleristische Rundschau, 1926.
129. Koerner, O.: Aus der Literatur über photogrammetrische Geräte u. dgl. Central-Ztg. f. Optik u. Mechanik, Berlin 1926.
130. Kohlschütter, E.: Die Forschungsreise S.M.S. Planet II, stereophotogrammetrische Aufnahmen. Annalen d. Hydrographie u. maritimen Meteorologie, 1906.
131. Kohlschütter, E.: Stereophotogrammetrische Arbeiten, Wellen und Küstenaufnahmen. Ozeanographie, 1909.
132. Kohlschütter, E.: Die Scheimpflug-Kammerersche Landesvermessung von Luftfahrzeugen aus. Peterm. Mitteil., 1914.
133. Koppe, C.: Die Photogrammetrie oder Bildmessung. Weimar 1889.
134. Koppe, C.: Photogrammetrie und internationale Wolkenmessung. Braunschweig 1896.
135. Koppe, C.: Photogrammetrische Studien und deren Verwertung bei den Vorarbeiten für eine Jungfraubahn sowie die photogrammetrischen Aufnahmen für die Jungfraubahn. Schweizer. Bauztg., Zürich 1896.
136. Koppe, C.: Das photographische Messungsverfahren. Prometheus 1907.
137. Korzer: Die Stereoautogrammetrie im Dienste der Landesaufnahme. M. d. m.-g. I., Wien 1913.
138. Krahrmer: Automatische Luftbildmessung. Der Luftweg, Berlin 1921.
139. Krahrmer: Luftbildskizzen und automatische Luftbildmessung. Motor, 1921.
140. Krahrmer: Ein automatischer Kartenzeichenapparat. Deutsche Übersee-Ztg., 1922.
141. Krebs: Der Hugershoff-Heydesche Autokartograph. Zeitschr. f. Feinmechanik, Berlin 1922.
142. Kutta, W.: Ballonphotogrammetrie. Moedebecks Taschenbuch, Berlin 1904.
143. Laas, W.: Die Messung von Meereswellen und ihre Bedeutung für den Schiffbau. Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure, 1905.

144. Laas, W.: Photographische Messung von Meereswellen. Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure, 1905.
145. Lacmann, O.: Die Raumbildmessung. Zentralbl. d. Bauverwaltung, Berlin 1919.
146. Lacmann, O.: Das photogrammetrische Vermessungsverfahren der internationalen aerogeodätischen Gesellschaft. Zentralbl. d. Bauverwaltung, 1923.
147. Lacmann, O.: Nomographische Methoden im Raume. Z. f. V. 1922.
148. Lacmann, O.: Monokulare Verwendung des Stereoautographen, Z. f. V., 1924.
149. v. Langendorf: Vorträge gehalten bei der 2. Hauptversammlung d. Intern. Gesellsch. f. Photogrammetrie, Berlin 1927.
150. Lehmann, K.: Grundlagen und Anwendung der Raumbildmessung. Glückauf, Essen 1922.
151. Lüscher, H.: Die Stereophotogrammetrie. Anzeiger f. Industrie u. Technik, 1910.
152. Lüscher, H.: Der Stereoautograph, Modell 1914. Doktordissertation, Darmstadt 1917.
153. Lüscher, H.: Der Stereoautograph, Modell 1914, seine Berichtigung und Anwendung. Z. f. I., 1919.
154. Lüscher, H.: Photogrammetrie. Sammlung aus Natur u. Geisteswelt, Leipzig 1920.
155. Lüscher, H.: Herstellung von großmaßstäblichen Schichtenlinienkarten in hochwertigem, flachem Gelände unter Heranziehung von Luftbildern. M. d. Ph. G. m. b. H., München 1925.
156. Lüscher, H.: Die Photogrammetrie im Dienste des Ingenieurs unter besonderer Berücksichtigung des Wasserbaues. Wasserkraft 1925.
157. Manek: Über die Maßstabsverhältnisse bei Aufnahmen aus der Luft. I. A. f. Ph., Wien 1923.
158. Marchand, H.: Die Orientierung von Senkrechtaufnahmen in der Photogrammetrie. Z. f. V., 1922.
159. Marcuse, A.: Das stereoskopische Prinzip als wichtige Beobachtungsmethode der Himmelserscheinungen. Natur u. Schule, 1902.
160. Meltzer: Über einige praktische Erfahrungen auf dem Gebiete der Luftbildmessung. Geodätische Woche in Köln, 1925, Verlag Stuttgart, 1926.
161. Meydenbauer, A.: Über die Anwendung der Photographie zur Architektur und Terrainaufnahme. Zeitschr. f. Bauwesen von Erbkam, 1867.
162. Meydenbauer, A.: Ein deutsches Denkmälerarchiv. Berlin 1905.
163. Meydenbauer, A.: Handbuch der Meßbildkunst. Halle a. S. 1912.
164. Miethe, A.: Das Stereoskop. Prometheus, 1897.
165. Müller, F. J.: Das Rückwärtseinschneiden im Raume. Bayer. Z. f. V., 1926.

166. Müller, F. J.: Die Hugershoff-Heydesche Spezialkammer für Küstenvermessungen. Zeitschr. f. Feinmechanik, Berlin 1923.
167. Müller, F. J.: Der Hugershoff-Heydesche Phototheodolit. Zeitschr. f. Feinmechanik, Berlin 1922.
168. Nübbauer: Photogrammetrische Verwertung verkehrt eingelegter Platten. Z. f. V., 1912.
169. v. Orel, E.: Autostereograph. I. A. f. Ph., Wien 1908.
170. v. Orel, E.: Die Stereophotogrammetrie im Dienste der militärischen Landesaufnahme. I. A. f. Ph., Wien 1909.
171. v. Orel, E.: Der Stereoaograph. Petermanns Mitteil., 1910.
172. v. Orel, E.: Der Stereoaograph als Mittel zur automatischen Auswertung von Komparatordaten. M. d. m.-g. I., Wien 1910.
173. v. Orel, E.: Über die Anwendung des stereoautographischen Verfahrens für Mappierungszwecke. M. d. m.-g. I., Wien 1911.
174. Prohaska, A.: Edler v. Mühlkampff, Oberleutnant von Orels Stereoaograph. Mitteil. über Gegenstände d. Artillerie- u. Geniewesens, Wien 1911.
175. Pulfrich, C.: Über neue Anwendungen der Stereoskopie und einen hierfür bestimmten Stereokomparator. Z. f. I., 1902.
176. Pulfrich, C.: Neue stereoskopische Methoden und Apparate für die Zwecke der Astronomie, Topographie und Metronomie. Berlin 1903.
177. Pulfrich, C.: Über die Verwendung des Stereokomparators für die Zwecke der topographischen Punktbestimmung. Z. f. I., Berlin 1904.
178. Pulfrich, C.: Über einen Versuch zur praktischen Erprobung der Stereophotogrammetrie für die Zwecke der Topographie. Z. f. I., Berlin 1903.
179. Pulfrich, C.: Über Standphototheodolite und deren Gebrauch an Bord eines Schiffes. Z. f. I., 1908.
180. Pulfrich, C.: Über die Ausmessung stereophotogrammetrischer Küstenaufnahmen vom Schiff aus. Z. f. I., 1908.
181. Pulfrich, C.: Über den Gebrauch der von mir angegebenen Hilfsmittel für die Kartierung bei stereophotogrammetrischen Aufnahmen. I. A. f. Ph., 1910.
182. Pulfrich, C.: Über die Nutzbarmachung des Stereokomparators für photometrische und spektrographische Messungen und für die Messung von Sterngrößen. Z. f. I., 1910.
183. Pulfrich, C.: Stereoskopisches Sehen und Messen, Jena 1911.
184. Pulfrich, C.: Das Stereomikrometer. J. A. f. Ph., 1911.
185. Pulfrich, C.: Ein neues Spiegelstereoskop. Z. f. I., 1912.
186. Pulfrich, C.: Neue stereoskopische Methoden und Apparate. Berlin 1912.
187. Pulfrich, C.: Über Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen und die ihr dienenden Instrumente. Jena 1919.

188. Pulfrich, C.: Über die bis jetzt mit dem Stereokomparator auf astronomischem Gebiete erhaltenen Versuchsgebiete. *Astronom. Gesellsch.*, 37. Jahrg., Heft 3.
189. Pulfrich, C.: Vorschriften für die Justierung der Stereokomparatoren. Jena, Firma Zeiß, Mess. 249.
190. Pulfrich, C.: Anforderungen an die Länge der Standlinie und die Genauigkeit der Standlinienmessung. *Z. f. V.*, 1922.
191. Rebel: Forsteinrichtung mit Hilfe des Flugbildes. *Allg. Forst- u. Jagd-Ztg.*, Frankfurt a. M. 1924.
192. v. Rohr, M.: Die binokularen Instrumente. Berlin 1907.
193. v. Rohr, M.: Abhandlungen zur Geschichte des Stereokops. Leipzig 1908.
194. Runge, C.: Über die Bestimmung der geographischen Länge auf photographischem Wege. *Z. f. V.*, 1893.
195. Rudel, E.: Darstellung eines nahezu ebenen Geländes nach Fliegeraufnahmen bei spärlich vorhandenen Festpunkten. *Sitzungsber. d. bayer. Akademie d. Wissensch.*, 1921.
196. Samel, P.: Neues auf dem Gebiete der Photogrammetrie, namentlich der Luftphotogrammetrie. *Geodätische Woche*, Köln 1925; Verlag Stuttgart 1926.
197. Samel, P.: Das Koppesche Bildmeßverfahren und sein Einfluß auf die Entwicklung der photogrammetrischen Auswertegeräte. *Central-Zeitung f. Optik u. Mechanik*, 1926.
198. v. Sanden, H.: Gegenseitige Orientierung von nahezu parallelen Aufnahmen in der Photogrammetrie. *Zeitschr. f. Math. u. Physik*, Leipzig 1911.
199. Sander, W.: Der v. Orel-Zeißsche Stereoautograph und neue Vorschläge für seine weitere Ausgestaltung. *Z. f. I.*, 1921.
200. Sander, W.: Über weitere Ausgestaltung des Luftbild-Stereoautographen der Firma Zeiß. *Z. f. I.*, 1922.
201. Sarnetzky, H.: Grundzüge der Luft- und Erdbildmessung. Berlin 1928.
202. Scheffer, W.: Anleitung zur Stereophotogrammetrie. Berlin 1904.
203. Scheimpflug, Th.: Über österreichische Versuche, Drachenphotogramme kartographisch zu verwerten. *Photograph. Korrespondenz*, Wien 1903.
204. Scheimpflug, Th.: Über Ballonphotogrammetrie und die Auswertung von Ballonphotographien zu Karten und Plänen auf photographischem Wege. *Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wissensch.*, Wien 1907.
205. Scheimpflug, Th.: Die technischen und wirtschaftlichen Chancen einer ausgedehnten Kolonialvermessung. *IIa-Wochen-Rundschau*, 1907.

206. Scheimpflug, Th.: Über Orientierung von Ballonaufnahmen. I. A. f. Ph., 1909.
207. Scheimpflug, Th.: Die Flugtechnik im Dienste des Vermessungswesens. Buch des Fluges von H. Hoernes, Wien 1911.
208. Schell, A.: Konstruktion und Betrachtung stereoskopischer Halbbilder. Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wissensch. Wien, math.-naturw. Kl., 1903.
209. Schell, A.: Der photogrammetrische Stereoskopapparat. Wien 1904.
210. Schell, A.: Die stereophotogrammetrische Bestimmung der Lage eines Punktes im Raume. Wien 1904.
211. Schewior, G.: Das Lichtbild, im besonderen die Luftbilder und Luftkarten, im Dienste der Land- und Forstwirtschaft. Deutsche Landwirtschaftl. Presse, Berlin 1926.
212. Schiffer, Fr.: Die photographische Meßkunst oder Photogrammetrie. Halle a. S. 1892.
213. Schilling, Fr.: Über die Anwendungen der darstellenden Geometrie, insbesondere über die Photogrammetrie. Leipzig 1904.
214. Schilling, Fr.: Die geometrische Theorie der Stereophotogrammetrie. Z. f. V., 1911.
215. Schilling, Fr.: Die geometrische Theorie der mechanischen Entzerrung von ebenen Fliegeraufnahmen. Z. f. V., 1926.
216. Schilling, O.: Handbuch der Stereoskopie. Leipzig 1910.
217. Schlötzer, A.: Über den räumlichen Rückwärtseinschnitt. Z. f. V., 1924.
218. Schlötzer, A.: Die Photogrammetrie im Dienste des Ingenieurs. M. d. Ph. G. m. b. H., München 1925.
219. Schlötzer, A.: Gelände Vermessung durch Flugzeugaufnahmen. Zeitschrift der Bauingenieur, 1923.
220. Schlötzer, A.: Luftbildskizze und Luftbildkarte. Zeitschrift der Bauingenieur, 1924.
221. Schulze, Fr.: Vereinfachte Lösung der Fundamentalaufgabe der Lufttopographie, Zeitschrift Bildmessung und Luftbildwesen, Liebenwerda 1927.
222. Seeliger, P.: Topographische Triangulation durch Stereophotogrammetrie. Z. f. V., 1905.
223. Seeliger, P.: Die stereoskopische Meßmethode in der topographischen Praxis. Berlin 1911.
224. Seeliger, P.: Das photographische Meßverfahren — Photogrammetrie. Naturwissenschaften, Berlin 1926, I. Teil; 1927, II. Teil.
225. Sprung, A.: Über den photogrammetrischen Wolkenautomaten und seine Justierung. Z. f. I., 1899 u. 1904.
226. Sprung, A. und Süring, R.: Ergebnisse der Wolkenbeobachtungen in Potsdam und an einigen Hilfsstationen in Deutschland in den Jahren 1896 und 1897. Berlin 1903.

227. Steiner, J.: Die Photogrammetrie im Dienste des Ingenieurs, ein Lehrbuch der Photogrammetrie. Wien 1893.
228. Stolze, F.: Die photographische Ortsbestimmung ohne Chronometer. Berlin 1893.
229. Stolze, F.: Die Stereoskopie und das Stereoskop in Theorie und Praxis. Halle a. S. 1907.
230. Süring, R.: Photogrammetrische Wolkenmessung in Potsdam. Veröffentlichung des preuß. meteorolog. Instituts, Berlin 1922.
231. Truck, S.: Die stereophotogrammetrische Meßmethode und ihre Anwendung auf Eisenbahnvorarbeiten. Z. f. V., 1906.
232. Truck, S.: Die Stereophotogrammetrie in der Architektur und in der bildenden Kunst. Wiener Bauhütte, 1909.
233. Truck, S.: Die theoretischen und praktischen Grundprinzipien bei Durchführung stereophotogrammetrischer Terrainaufnahmen für Ingenieurzwecke. Österr. Vierteljahrsschrift f. Forstwesen, 1909.
234. Truck, S.: Durchführung der Rekognoszierungen und Auswahl der Standlinien bei stereophotogrammetrischen Terrainaufnahmen für Ingenieurzwecke. Z. f. V., 1909.
235. Truck, S.: Stereophotogrammetrie für Ingenieurzwecke. Zentralorgan d. behördl. autor. Ziviltechniker in Österr., 1909.
236. Truck, S.: Die Bedeutung und Anwendung der Stereophotogrammetrie als Vermessungsmethode in der Ingenieurpraxis. I. A. f. Ph., 1913/14.
237. Tschamler, J.: Der Kartenentwurf aus photographischen und geodätischen Aufnahmen. Wien 1906.
238. Wang, F.: Die Photogrammetrie oder Bildmeßkunst im Dienste des Forsttechnikers. Laibach 1893.
239. Weidinger: Stereophotogrammetrische Wellenaufnahmen. M. d. Ph. G. m. b. H., München 1927.
240. Weitbrecht, W.: Lehrbuch der Vermessungskunde, II. Teil: Vertikalmessungen. Stuttgart 1911.
241. Wenzel, O.: Terrestrische und Luftphotogrammetrie im Dienste des Ingenieurs. M. d. Ph. G. m. b. H., München 1925.
242. Wenzel, O.: Wie wird eine terrestrische stereophotogrammetrische Geländeaufnahme durchgeführt? M. d. Ph. G. m. b. H., München 1925.
243. Werkmeister, P.: Einfaches Rückwärtseinschneiden im Raum mit Hilfe von Positionswinkeln. I. A. f. Ph., 1915.
244. Werkmeister, P.: Rückwärtseinschneiden im Raum bei Aufnahmen aus Luftfahrzeugen. Österr. Z. f. V., 1922.
245. Wolf, M.: Die Verwendung des Stereokomparators in der Astronomie. A. N. 1902.
246. Wolf, M.: Die veränderlichen Sterne im Orionnebel. A. N. 1903.

247. Wolf, M.: Die Photographie des Sternenhimmels, erläutert an Königsstuhlaufnahmen. Düsseldorf 1904.
248. Zaar, K.: Ein photogrammetrischer Auftragapparat. I. A. f. Ph. 1913/14.
-

An periodischen Zeitschriften sind vorhanden:

1. Internationales Archiv für Photogrammetrie. Schriftleiter: Prof. E. Doležal in Wien.
 2. Bildmessung und Luftbildwesen. Schriftleiter: Oberlandmesser H. Blumenberg, Hannover.
 3. Mitteilungen aus dem Arbeitsgebiet der Photogrammetrie G. m. b. H. München, Sendlingertorplatz 1.
-

Sachregister

A

Abbildung (Verlauf der —) vertikaler Gegenstände 27, 98
Abbildungsgröße 23, 24, 25
Abstandsbrücke 169
Aerokartograph 129
Aerokartographisches Institut 64, 72
Äußere Orientierung 103, 105, 109, 115, 120
Anaglyphenverfahren 54
Anschlußüberdeckung 31, 34
Anwendbarkeit der Meßtischphotogrammetrie 160
Anwendbarkeit der Stereophotogrammetrie 170
d'Almeida 54
Arago 211
Architektur 59, 62, 172
Aufbewahrung der Bilder 39
Aufeinanderfolge der Bilder bei stereoskopischer Betrachtung 43
Aufhängevorrichtung der Kammern 14, 17
Aufnahmehöhe (ihre Konstruktion) 101
Aufnahmekammern 9, 134, 140, 173, 189, 192
Aufnahmen mit konvergenten Achsen 158
Aufnahmen mit parallelen Achsen 158
Aufnahmen mit verschwenkten Achsen 158
Aufnahmestreifen 31
Aufnahmetiefe 27, 34, 35

Aufnahme von einem einzigen Standorte 155, 185, 192, 208
Ausmessen der Bildkoordinaten 151
Autokartograph 103, 113
Azimut 140
Azimutunterschied 194, 198

B

Basisansrückung 166, 169
Basiseinstellung 106, 125
Basismessplatten 141
Basismessung 141
Basisstamm 166, 169
Basiswagen 169
Bauersfeld 120, 216
Belichtungszeit 18, 200
Berggewerkschaftskasse in Bochum 89
Beschreibung der Flugzeugkammern 9
Bestimmung der Basislänge 141, 165, 183
Betrachtungssystem 113, 120, 121
Beziehungen zwischen Bild, ebenem Gelände und Karte 94
Bildfolge im Stereoskop 43, 50
Bildfolge nach der Zeit 35
Bildhorizont 95
Bildmeßtheodolit von Hegershoff 116, 154
— — Koppe 103
Bildnadir 94, 95
Bildpunktkoordinaten 146, 151
Bildpyramide 94
Bildschlitten 151

Bildstelle in Berlin 172, 180
 Bildträger 113, 120, 125
 Bildweite, Konstanz der 9
 Blinkverfahren 109
 Blutlaugensalz 70, 87
 Bötzel 214
 Boykow 103, 132
 Breite des aufgenommenen Geländes
 30
 Brückenraumglas 51, 52

D

Daguerre 211
 Dauer der Belichtungszeit 200
 Deklination 196
 Depression des Objektivmittelpunktes 174
 Desargues 76
 Devillesches Prinzip 102, 162, 214
 Doppelperiskop 131
 Dove 54

E

Eichberg 189
 Einfluß von hügeligem Gelände auf das Entzerren 87
 Einstellungs-elemente am Entzerrungsgerät 77, 78, 79
 Einstellungs-elemente am Kartierungsgerät 105, 106
 Elevation des Objektivmittelpunktes 174
 Emschergenossenschaft Essen 90
 Entfernung der Tiefenunterscheidung 44
 Entfernungsbestimmung von Erdpunkten von einem einzigen Standorte aus 155
 Entfernungsnetz 190
 Entstehung des stereoskopischen Modells 41
 Entzerrung des Luftbildes 74
 Entzerrungsbegriff 74
 Entzerrungsgerät von Hugershoff 85

Entzerrungsgerät von Jaeger-Liesegang 79
 — der Photogrammetrie G.m.b.H. 81
 Entzerrungsgerät von Zeiß 85
 Entzerrungsunterlagen 78
 Erdbildmessung 134
 Erkundungsprisma 140, 141

F

Feldphototheodolit von Zeiß 139
 Fernrohrvergrößerung 124
 Film 10
 Filmwechsellkassette 10, 18
 Finsterwalder 91, 216
 Firmen für photogrammetrische Arbeiten 72
 Fixsterne 198
 Flächeninhalt der Abbildung 27, 28, 29, 30, 31
 Fluchtlinie der Bildebene 94
 Fluchtlinie der Kartenebene 94
 Flugbahn 31, 34
 Fluggeschwindigkeit 37
 Flughöhe 29
 Flughöhe und Zeitfolge der Bilder 15, 38, 39
 Flugzeugabtrieb 17
 Flugzeughandkamera 10
 Fortschritt der Aufnahme 31

G

Gasser 107, 216
 Gebrauch des Photogrammeters 136
 Gegenstandshöhen 191
 Geländehauptpunkt 95
 Geländepyramide 95
 Gelenkparallelogramm 96
 Genauigkeit der geographischen Ortsbestimmung 200
 Genauigkeit der Luftbildpläne 88
 Genauigkeit der Pläne nach dem Gasserschen Verfahren 112
 Genauigkeit der Pläne nach dem Hugershoffschen Verfahren 119

Genauigkeit der Pläne nach dem Verfahren des Stereoplanigraphen 126
 Genauigkeit der Meßtischphotogrammetrie 161
 Genauigkeit der Photogrammetrie in der Architektur 181
 Genauigkeit der Stereophotogrammetrie 170
 Generator 17
 Geodätische Arbeiten bei photogrammetrischen Aufnahmen 71, 78, 142, 143
 Geographische Breite 197
 Geographische Länge 197
 Geographische Ortsbestimmung 192
 Geometrisches der Meßtischphotogrammetrie 143
 Geometrische Figur des aufgenommenen Geländes 20
 Geschwindigkeitsmesser über Grund 16
 Größe der Teilblätter des Luftbildplanes 87

H

Handhabung des Komparators 152
 Handkamera 10, 14
 Hansa-Luftbild-Ges. 72, 84
 Hauptschlitten 162
 Hauptvertikale 94
 Hellmann 214
 Heyde 10, 134, 140, 151, 154
 Höfe um Sonne und Mond 201, 208
 Höhenbestimmung der Erdpunkte von einem einzigen Standorte aus 155
 Höhenbrücke 117
 Höhen von Gegenständen 191
 Höhenkurven 70, 118, 126, 145, 170
 Höhenlineal 117, 129
 Höhenparallaxe 195
 Höhenglitten 130, 170
 Högenwagen 169
 Höhenwinkel 146, 147, 148

Horizontalaufnahmen 20
 Horizontalparallaxe 195
 Horizontalwinkel 146, 147, 148
 Hübl 172, 181
 Hugershoff 113, 129, 134, 151, 154, 164, 217
 Hugershoff-Heydescher Photogrammeter 134

I u. J

Identifizierung der Bilder 158
 Inag-Doppelprojektor 102, 107
 Innere Orientierung 103, 105, 109, 115, 120
 Inversor 83, 84
 Jaeger-Liesegang 79
 Junkers Flugzeugwerk 72

K

Kantungswinkel (seine Konstruktion) 180
 Kartenhorizont 94
 Kartennadir 94
 Kartierungssystem 113, 120
 Kassetten 10, 18
 Kenntlichmachung von Grenzpunkten für luftphotogrammetrische Aufnahmen 71
 Kleiber 64
 Kollimationsrohr 140
 Komparator 151
 Komplementäre Farben 54
 Konstanz der Bildweite 9
 Konvergenz der Abbildung 27
 Konvergenzfall in der Stereophotogrammetrie 164
 Koordinatenberechnung eines Neupunktes 149
 Koordinatograph 120
 Koppe 103, 212, 213
 Kreuzschlitten 125, 129
 Kriminalistik 184
 Kritik des Katasterplanes als Übersichtsplan 58, 59

L

- Lambert 211
- Lamellenverschluß 9
- Länge des aufgenommenen Geländes 30
- Länge des Hintergrundes 28
- Länge des Vordergrundes 28
- Lebensbeschreibungen verdienter Männer 211
- Lenker 121, 129
- Leitz 52
- Libellen 10
- Lichtstärke des Objektivs 9
- Liniennetz 188
- Links- und rechtsverschwenkte Erd-
aufnahmen 158
- Linsenformel 9
- Literaturverzeichnis 218
- Luftbild 18
- Luftbildfirmen 72
- Luftbildmessung 9
- Luftbildplan 74
- Luftbild und Bauentwürfe 61
 - — Bergbau 66
 - — Forstwirtschaft 64
 - — Kataster 71
 - — Landwirtschaft 64
 - — Siedlungskunde 66
 - — Schätzungswesen 62
 - — Städtebau 59
 - — Unterricht 66
 - — Vermessungswesen 70
 - — Wasserbau 65
- Luftbildvorteile 59
- Lupenvergrößerung 124

M

- Maßstab des stereoskopischen Modells 46
- Maßstabsbestimmung eines Bildes 38
- Maßstabshaltigkeit des Bildes 20, 25
- Messen der Bildkoordinaten 151
- Meßschwanz 132

- Meßmarken, Zweck der 9, 10
- Meßrahmen 9
- Meßsystem 113
- Meßtischphotogrammetrie 143
- Meteorologie 200
- Meydenbauer 172, 212
- Mikroskopschlitten 151
- Mikroskopvergrößerung 123, 124
- Modellmaßstab 124
- Monddistanz 197
- Montieren der Luftbilder 50
- Montieren von Rundbildern 160

N

- Nachteile der Schräg- und Senkrechtaufnahmen 29
- Nadirpunkttriangulation 91
- Neigungswinkel (seine Konstruktion) 101
- Netzverfahren 99
- Normalfall in der Stereophotogrammetrie 164

O

- Objektiv der Kammer 11, 18, 121
- Okular 133
- Orel, von 215
- Orientierung (innere und äußere) 103, 105, 109, 115, 120
- Orthoskopisches Raummodell 44
- Ortsbestimmung, geographische 192
- Ortszeit 197

P

- Panoramen 137
- Pantograph 110
- Papierstreifenmethode 98
- Parallaxe 55, 57, 162, 164, 168
- Parallaxenkurbel 169
- Parallaxenlineal 169
- Perspektivische Höhenkurven 66, 170
- Perspektivität 74, 75, 76, 82, 83

Photogeodätik 73, 112
Photogrammetrie G. m. b. H. 73,
 80, 84
Photogrammetrie von einem ein-
 zigen Standorte aus 155, 185,
 192, 208
Planeten 198
Plastik des stereoskopischen Mo-
 dells 45, 46
Plattenorientierung 107, 113, 132,
 163
Plattenanzahl für Schrägaufnahmen
 34
Plattenanzahl für Senkrechtauf-
 nahmen 31
Plattenwechsellkassette 10
Poldreieck 196
Porro 103, 212, 213
Prismenanordnung 131
Projektiv 97
Projektor 105, 113
Propellerantrieb 15
Pseudoskopisches Raummodell 44,
 55
Pulfrich 162, 215
Punkt-konstruktion bei der Meß-
 tischaufnahme 144
Punktsignalisierung 138

R

Raumkoordinaten 149, 164, 168
Raumlener 121, 129
Rechts- und linksverschwenkte Erd-
 aufnahmen 158
Reflektoren 113
Refraktion 158, 195
Regenbogen 201
Reihenbildmeßkammer 10, 15
Rektaszension 196
Richtungslinial 129
Richtungsschlitten 130, 169
Rollmann 54
Rückwärtseinschnitt des Raumes
 106
Rundbilder 137

S

Saugvorrichtung für den Film 13, 18
Schalttafel 17
Schlitten 162, 168
Schlitzverschluß 9
Schrägaufnahmen 18, 19
Senkrechtaufnahmen 23
Sextant 134
Sonnenring 201, 208
Spiegelstereoskop 52, 53
Sprung 214
Staatliche Bildstelle in Berlin 172,
 180
Stereoautograph 168
Stereokomparator 162, 164, 168
Stereomikroskop 162
Stereophotogrammetrie 161
Stereoplanigraph 103, 120
Stereoprojektor 57, 58
Stereoskopie 40
Stereoskopische Modellkoordinaten
 45
Stereoskopische Überdeckung 32
Sternbilder 193
Sternentfernung 196, 197
Steuerlineal 84
Stolze 192
Strichzeichnungen aus entzerrten
 Luftbildplänen 86, 87
Stufengetriebe 17
Stundenwinkel 197
Südwestdeutsche Luftverkehrs-A.-G.
 73
Süring 214

T

Tatbestandsaufnahmen 184
Tangentenlineal 82
Tangentenmeßschraube 141
Theorie des Anaglyphenverfahrens
 54, 55, 56, 57, 58
Theorie der Entzerrung 74, 75, 76,
 77, 78
Theorie der kriminalistischen Photo-
 grammetrie 185

Theorie der Lupe 42
 Theorie der Meßtischphotogrammetrie 143
 Theorie der Photogrammetrie in der Architektur 174
 Theorie der Photogrammetrie in der Meteorologie 201
 Theorie der Stereophotogrammetrie 164
 Tiefenschlitten 130
 Tiefenwahrnehmung 44
 Totale Plastik des stereoskopischen Modells 46
 Triangulation, Nadirpunkt — 91
 Triangulator 132

U

Überdeckungsregler 15
 Unschärfe des Bildes 26

V

Vergebung von Luftaufnahmen 73
 Vergrößerungsfaktor 191
 Verlauf der Abbildung vertikaler Gegenstände 98
 Verwendbarkeit der Handmeßkamera 14
 Verwendbarkeit des Luftbildes 58
 Verschwenkungsfall in der Stereophotogrammetrie 164, 166
 Verschwenkungswinkel 106, 120
 Versteifungsstangen 174
 Verzerrungen des stereoskopischen Modells 48
 Vierpunktverfahren 98

Vorteile des Luftbildes 59
 Vorteile der Schräg- und Senkrechtaufnahmen 29
 Vorteile stereoskopischer Bilder 60

W

Wattenscheid-Stadtverwaltung 90
 Wesen der Stereoskopie 40
 Wheatstone 40
 Wirkungsgrad der Aufnahme 31
 — des Auftrages 34
 — — Fluges 37
 Wolkenautomat 202, 214
 Wolkengeschwindigkeit 208
 Wolkenhöhen 200, 205
 Wolkenzug(es), Richtung des — 208

Z

Zahlentafeln 38, 188, 192
 Zeichentrommel 118
 Zeichenvorrichtung 131, 168
 Zeiß, H. 52, 57, 58, 80, 84, 140, 154, 162
 Zeit (günstige der Aufnahme) 37
 Zeitdauer der Aufnahme 37
 Zeitfolge der Bilder und Flughöhe 15
 Zeitliche Bildfolge 36
 Zenitdistanz 195
 Zentralverschluß 9
 Zielfernrohr 140
 Zielspitze 138
 Zweck der Meßmarken 10
 Zylinder, gefährlicher 29, 106



Sammlung Borntraeger herausg. von Dr. W. R. Eckardt,
Essen und Professor Dr. J. Würschmidt, Essen

- Band 1: **Einführung in die Pflanzenpathologie.** Ein Lehrbuch für Land- und Forstwirte, Gärtner und Biologen von Dr. H. Morstatt, Regierungsrat an der Biolog. Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Berlin-Dahlem. 159 S. Mit 4 Abbildungen. (1923) Gebunden 3.75
- „ 2: **Die wissenschaftlichen Grundlagen der Pflanzenzüchtung,** ein Lehrbuch für Landwirte, Gärtner und Forstleute, von Professor Dr. Erwin Baur. 3.—5. Auflage. 108 Seiten. Mit 6 Tafeln und 11 Textabbildungen. (1924) Gebunden 3.60
- „ 3: **Die Elektrizität der Gewitter** von Dr. K. Kähler, Meteorologisches Observatorium Potsdam, Privatdozenten an der Universität Berlin. 148 Seiten. Mit 9 Abbildungen. (1924) Gebunden 4.50
- „ 4: **Die wissenschaftlichen Grundlagen der Pflanzenernährung** von Dr. phil. Otto Heuser, Versuchs- und Saatzucht-leiter in Markee, Privatdozenten an der Landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin. 135 Seiten. Mit 4 Abbildungen. (1924) Gebunden 3.—
- „ 5: **Die wissenschaftlichen Grundlagen der Vogelhaltung** von Professor Fritz Braun. 156 Seiten. (1924) Gebunden 4.20
- „ 6: **Die natürlichen Grundlagen der gesetzmässigen Charakterentwicklung der Völker auf religiöser und naturwissenschaftlicher Grundlage und in Abhängigkeit von der Landschaft** von Dr. S. Passarge, o. ö. Professor an der Universität Hamburg 173 Seiten. (1925) Gebunden 5.40
- „ 7: **Die Gestaltungsgeschichte der Erde** von Dr. Leopold Kober, a. o. Professor der Geologie an der Universität Wien. VII u. 200 Seiten. Mit 60 Abbild. und 1 Karte. (1925) Gebunden 7.50
- „ 8: **Zeitmessung und Sterndeutung.** Von Professor Dr. Drecker. 188 Seiten. Mit 67 Abbildungen. (1925) Gebunden 6.75
- „ 9: **Grundzüge der mathematischen Erdkunde** von Professor Dr. Georg Wegemann. 184 Seiten. Mit 23 Abb. (1926) Gebunden 6.60
- „ 10: **Die anorganischen Grenzgebiete der Biologie (insbesondere der Kristallvergleich)** von Professor Hans Przibram. Mit 65 Textabbildungen. 240 Seiten. (1926) Gebunden 7.50
- „ 11: **Geometrische Optik** von Dr. H. Boegehold. Mit 109 Abbildungen (375 S.) 1927 Gebunden 13.50
- „ 12: **Grundlagen der Erdbebenkunde** von Dr. B. Gutenberg, a. o. Professor für Geophysik an der Universität Frankfurt (Main). 189 S. Mit 84 Abbildungen und 1 Tafel. 1927 Gebunden 6.60
- „ 13: **Grundzüge der allgemeinen Wirtschaftsgeographie** von Prof. Dr. Bruno Dietrich, Breslau. M. 10 Kart. (223 S.) 1927. Gebunden 8.70

Die Sammlung wird fortgesetzt

Sammlung geophysikalischer Schriften, herausgegeben von Professor Dr. Carl Mainka, Ratibor (Oberschl.)

- Heft 1: **Physik der Erdbebenwellen** von Prof. Dr. C. Mainka. Mit 35 Textfiguren und 20 Tabellen (VIII u. 156 S.) 1923 Geh. 9.—
- „ 2: **Geotektonische Hypothesen** von Prof. Dr. Fr. Nölcke, Bremen (VIII u. 123 S.) 1924 Geh. 4.80
- „ 3: **Seismische Bodenunruhe** von Prof. Dr. B. Gutenberg, Darmstadt. Mit 8 Textfig. (X u. 68 S.) 1924 Geh. 4.20
- „ 4: **Die Beobachtungsmethoden des modernen Meteorologen** von Dr. Robitzsch, Lindenberg. Mit 25 Abbild. (V u. 125 S.) 1925 Geh. 6.75
- „ 5: **Die Frage der Periodizität der Erdbeben** von Prof. Dr. Ernst Tams, Hamburg. Mit 15 Figuren und 49 Tabellen im Text. (128 S.) 1926 Geh. 9.60
- „ 6: **Analyse periodischer Vorgänge**. Ein Abriß der Periodographie mit besonderer Berücksichtigung moderner Methoden von Dr. Karl Stumpff, Breslau. Mit 41 Textfig. und 14 Tabellen sowie 1 Volldrucktafel. (X u. 188 S.) 1927 Geh. 14.40
- „ 7: **Die magnetischen Verfahren der angewandten Geophysik** von Dr. Hans Haalck. Mit 61 Figuren und 3 Tafeln. (VIII und 150 S.) 1927 Geh. 12.—
- „ 8: **Elektrische Bodenforschung**, ihre physikalischen Grundlagen und ihre praktische Anwendung von Dr. Walther Heine. Mit 117 Textabbildungen. (VIII und 222 S.) 1928 Geh. 18.—

Forschungen zur Kristallkunde herausgegeben von
Professor Dr. A. Johnsen, Direktor des Mineralogisch-Petro-
graphischen Institutes der Universität Berlin.

Heft 1: **Trachten der Kristalle** von Professor Dr. H. Tertsch.
(VIII u. 222 S. mit 58 Textfiguren) Geheftet 15.—

**Mikroskopische Mineralbestimmung mit Hilfe
der Universaldrehtischmethoden** von Professor
Dr. M. Berek. Mit 55 Textfiguren und 5 Tabellen. (X und
168 S.) 1924 Gebunden 10.50

**Tabellen zur allgemeinen und speziellen Mine-
ralogie** von Dr. Paul Niggli, Professor der Mineralogie u.
Petrographie an der Eidg. Technischen Hochschule und an
der Universität Zürich. Mit 228 Abbildungen. (XVI u. 300 S.)
1927 Gebunden 9.30

Praxis der Linsenoptik in einfachen Versuchen zur Er-
läuterung und Prüfung optischer Instrumente von Dr. Wilhelm
Volkman. Mit 36 Textabbildungen und 4 Tafeln. (VII und
163 S.) 1910 Gebunden 5.25

**Wie sind geologische Karten und Profile zu
verstehen und praktisch zu verwerten?**
Von Professor Dr. F. Schöndorf. Zweite Auflage.
Mit 63 Textabbildungen. (100 S.) Kartoniert 2.25

Grundriß der angewandten Geologie unter Berück-
sichtigung der Kriegserfahrungen von Dr. Julius Wilser. Mit
61 Textabbildungen u. 3 Tafeln. (VIII u. 176 S.) 1921
Gebunden 6.—

Geologisches Kartieren und Prospektieren von
Professor Dr. O. Stutzer. Zweite umgearbeitete
und erweiterte Auflage. Mit 84 Textabbildungen.
(187 S.) 1923 Kartoniert 6.—

Lehrbuch der Geophysik unter Mitwirkung von **E. A. Ansel-Freiburg i. Br., J. Bartels-Potsdam, H. Benndorf-Graz, A. Born-Berlin, F. Linke-Frankfurt a. M., A. Sieberg-Jena, L. Weickmann-Leipzig**, herausgegeben von **Dr. B. Gutenberg**, Privatdozenten für Geophysik an der Universität Frankfurt (Main)

Lieferung 1—4, enthaltend Bg. 1—50 Geheftet 46.95

Inhaltsübersicht

Eingleitung von Dr. B. Gutenberg-Darmstadt

- I. Die Entwicklung der Erde und ihr geologischer Aufbau** (Die astronomische Entwicklungsperiode der Erde; Das Material der Erdkruste; Das Material der Meteoriten; Geochemie; Geologische Zeiteinteilung und Zeitberechnung; Die Gliederung der Erdoberfläche) von Prof. A. Born-Berlin
- II. Schwerkraft und Isostasie** (Gravitation und Schwerkraft an der Erdoberfläche; Vom Gleichgewicht der Erde; Normalschwere und Schwerestörungen) von Prof. E. A. Ansel-Freiburg i. Br.
- III. Der Bewegungsmechanismus der Erdkruste** (Epirogenese, Orogenese) von Prof. A. Born-Berlin
- IV. Wasser, Eis, Wind als geologische Großfaktoren** von Prof. A. Born-Berlin
- V. Vulkanismus** (Erscheinungsformen; Einfluß des Vulkanismus auf die Eigenschaften der Erdkruste; Ursachen des Vulkanismus) von Prof. A. Born-Berlin
- VI. Erdbebengeologie** (Grundbegriffe; Häufigkeit und Stärke der Erdbeben; Wirkungen; Entstehung und Arten der Erdbeben; Schall- und Lichterscheinungen Anleitung zur Beobachtung von Erdbeben) von Prof. A. Sieberg-Jena
- VII. Die physikalischen Vorgänge bei Erdbeben** (Seismometer; Die Vorläufer bei Fernbeben; Die Herdtiefe; Die Vorläufer bei Nahbeben; Die Oberflächenwellen; Bestimmung der Herdlage; Erdbebenperiodizitäten; Seismische Bodenunruhe) von Dr. B. Gutenberg-Darmstadt
- VIII. Wasserwellen und Gezeiten** (Wasserwellen; Gezeiten des Meeres; Gezeiten der festen Erde; Seespiegelschwankungen) von Dr. B. Gutenberg-Darmstadt
- IX. Bewegungen der Erdachse** (Präzession und Nutation; Polhöhenchwankungen; Polwanderungen) von Dr. B. Gutenberg-Darmstadt
- X. Erdmagnetismus, Erdstrom und Polarlicht** (Instrumente, Messungsmethoden; Das beharrliche Feld und die Säkularvariation; Die periodischen zeitlichen Variationen; Störungen und Polarlicht; Erdstrom) von Dr. J. Bartels-Potsdam
- XI. Der physikalische Aufbau der Erde** (Gestalt, Dichte der Erde, Druck, Rigidity und Kompressibilität im Erdinnern; Temperatur; Aufbau und Aggregatzustand der Materie im Erdinnern) von Dr. B. Gutenberg-Darmstadt
- XII. Geophysikalische Anschlußmethoden** (Gravimetrische Methoden von Prof. E. A. Ansel; Magnetische und elektrische Methoden von Dr. J. Bartels Seismische und andere Methoden von Dr. B. Gutenberg)
- XIII. Mechanik und Thermodynamik der Atmosphäre** von Prof. L. Weickmann Leipzig
- XIV. Luftelektrizität** von Prof. H. Benndorf-Graz
- XV. Optik der Atmosphäre und Strahlung** von Prof. F. Linke-Frankfurt a. M.
- XVI. Klima und Klimaänderungen** von Prof. L. Weickmann-Leipzig
- XVII. Aufbau der Atmosphäre** von Prof. L. Weickmann-Leipzig
- XVIII. Geophysik und Lebewesen** von Dr. B. Gutenberg-Darmstadt



BIBLIOTEKA GŁÓWNA

D-1105k

ALGEBRUM