Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 99/100 (1932)

Heft: 15

Artikel: Das allgemeine Problem der Photogrammetrie und die Wild'schen photogrammetrischen Instrumente

Autor: Vuille, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-45570

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

INHALT: Das allgemeine Problem der Photogrammetrie und die Wild'schen photogrammetrischen Instrumente. — Messung der erzwungenen Schwingungen eines Glockenturmes und seiner Umgebung. — Einfamilien-Kleinhaus aus fertigen Bauteilen. — Mitteilungen: Aerodynamische Ermittelung der Kastenform von Schienenomnibussen. Alte Staumauern in Mexiko. Ponton zum Verlegen von Blöcken. Wasserverschlüsse in Gasleitungen. Eidgen. Technische Hochschule. Photogrammetrie beim Aequatorflug. Vom Bau der Brücke über den kleinen Belt. Schwimmendes Dieselkraftwerk. Die Eindeichung der Stadt Neuwied am Rhein. Das Kraftwerk Handeck an der Grimsel. Das „Bauhaus". — Wettbewerbe: Schulhausanlage und Hallenschwimmbad in Altstetten. Schul- und Gemeindehausbau Zollikon. — Literatur.

Band 100 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 15

Das allgemeine Problem der Photogrammetrie und die Wild'schen photogrammetrischen Instrumente.

Im Auftrag der Abteilung der Landestopographie des Eidg. Militärdepartements bearbeitet von Dipl. Ing. E. VUILLE, Bern.

Vorbemerkung der Redaktion. In den zehn Jahren, seit Ingenieur-Topograph Dr. Robert Helbling in Flums, der die stereoautogrammetrische Geländevermessung in der Schweiz eingeführt und als Erster angewendet, diese in der „S. B. Z." (Bd. 76, Januar 1921) beschrieben hat, ist die Methode namentlich durch ihre Uebertragung auf die Photogrammetrie aus der Luft sehr vervollkommnet worden. Wir halten es daher für angezeigt, unsere Leser auch mit diesen auf dem Gebiet der Landesvermessung erzielten Fortschritten bekannt zu machen. Etwelche theoretische Erörterungen sind bei der Darlegung dieser, für den Fachmann sehr wichtigen und interessanten Materie nicht zu vermeiden, woraus sich ein, mit Rücksicht auf den übrigen Leserkreis uns selbst unerwünschter, aber ausnahmsweise grosser Umfang der vorliegenden Arbeit ergibt.

Einleitung. In seinem in der „S. B. Z." vom 4. Okt. 1930 veröffentlichten Aufsatz über „Die Photogrammetrie in der Schweiz" weist Dipl. Ing. K. Schneider, Direktor der Eidg. Landestopographie, auf die hervorragenden Verdienste hin, die sich der Schweizer Ing. H. Wild im Bau von geodätischen und photogrammetrischen Instrumenten erworben und wofür ihm die E. T. H. die Ehrung eines Dr. sc. techn. h. c. erwiesen hat. In der kurzen Zeit von zehn Jahren ist es ihm gelungen, in Heerbrugg (St. Gallen), nach eigenen Konstruktionsideen Neuschöpfungen an Aufnahme- und Auswertegeräten für die Erd- und Aerophotogrammetrie zu erstellen, die sowohl im Inland wie im Ausland grosse Beachtung gefunden haben. Wir möchten heute versuchen, den Lesern der „S. B. Z." einen Einblick in die Wild'schen photogrammetrischen Instrumente und deren Arbeitsweise zu vermitteln. Der „Autograph Wild", die höchstentwickelte Schöpfung des Erfinders, ist eine automatische Auswertemaschine grösster Präzision, die das allgemeine Problem der Stereophotogrammetrie löst, d. h. die Aufgabe, Stereogramme auszuwerten, bei denen die optischen Axen der zwei Aufnahmen im Raume gegeneinander windschief gerichtet sind. Bevor wir an die Beschreibung der Wild'schen photogrammetrischen Instrumente und deren Arbeitsweise herantreten, müssen wir die Aufgabe, die diese Instrumente zu lösen haben, behandeln.

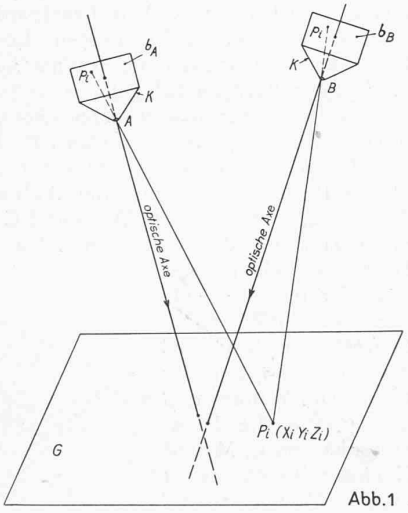

Abb. 1

DAS ALLGEMEINE PROBLEM DER PHOTOGRAMMETRIE.

Es seien A und B (Abb. 1) zwei im Luftraum angenommene Punkte, von denen aus mit einer im Flugzeug eingebauten photographischen Kammer K je ein Bild b_A und b_B des unebenen Geländes G aufgenommen wurden; die optischen Axen der beiden Aufnahmen seien gegeneinander windschief gerichtet. *Unser Problem besteht nun darin, aus dem Bildpaar b_A und b_B das aufgenommene Gelände G in einem bestimmten Masstab topographisch darzustellen.* Wir werden im Nachfolgenden sehen, wie und unter welchen Bedingungen das Problem gelöst werden kann. Der uns in der „S. B. Z." zur Verfügung stehende Raum erlaubt uns nicht, die Lösung des Problems eingehend zu behandeln. Wir müssen uns darauf beschänken, das Prinzip der bekanntesten Lösungen zu verfolgen. Für den Leser, der sich besonders für diese Materie interessiert, steht eine sehr umfangreiche Literatur zur Verfügung, auf deren Hauptwerke wir am Schluss des ersten Teiles unseres Aufsatzes hinweisen.

Jedes photographische Bild (Abb. 2), das mit einem verzeichnungsfreien Objektiv aufgenommen wurde, ist eine Zentralprojektion des aufgenommenen Objektes. Die einzelnen Bildpunkte auf der Platte stellen die Schnittpunkte der Lichtstrahlen dar, die im Augenblick der Exposition von den Objektpunkten aus in die Kamera eingedrungen sind. Das durch die Gesamtheit dieser Strahlen gebildete Strahlenbüschel können wir in zwei Teile zerlegen: das *Objektstrahlenbüschel* (vom Objekt bis zum Objektiv) und das *Bildstrahlenbüschel* (vom Objektiv bis zum Bild). Wenn wir diese zwei Strahlenbüschel auf die photographische Kammer beziehen, so können wir vom *äussern* (ausserhalb der Kammer liegenden) und vom *innern* Strahlenbüschel sprechen. Sämtliche Strahlen des äussern Strahlenbüschels treffen sich im sog. *vordern Hauptpunkt* des Objektivs, während die Strahlen des innern Strahlenbüschels im *hintern Hauptpunkt* des Objektives zusammenlaufen. Für unsere Darlegungen dürfen wir annehmen, dass der vordere und der hintere Hauptpunkt des Objektives in einem Punkt zusammenfallen, den wir als *Projektionszentrum* oder Mittelpunkt der Projektion bezeichnen.

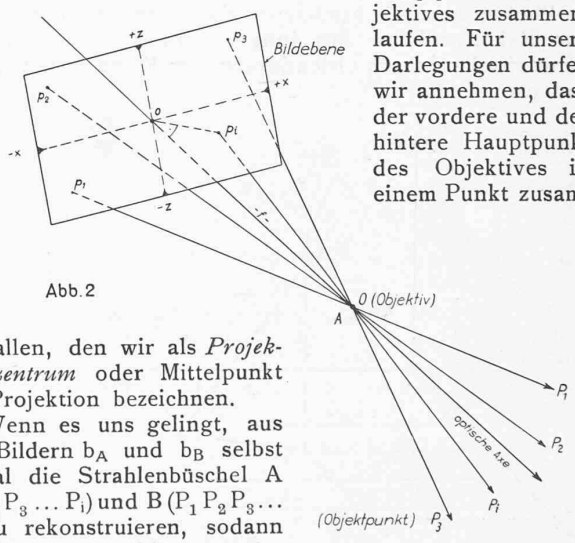

Abb. 2

Wenn es uns gelingt, aus den Bildern b_A und b_B selbst einmal die Strahlenbüschel A ($P_1 P_2 P_3 \ldots P_i$) und B ($P_1 P_2 P_3 \ldots P_i$) zu rekonstruieren, sodann ihre Lage im Moment der Exposition gegenüber dem aufgenommenen Gelände zu ermitteln, so ist die Raumlage beliebiger Strahlen p_i A P_i, bezw. p_i B P_i bestimmt. Der Schnitt der zusammengehörenden Strahlen p_i A P_i und p_i B P_i (Abb. 1) beider Strahlenbüschel wird uns die Punkte P_i des Geländes in Lage und Höhe ergeben. — Wir glauben, dass eine schrittweise Behandlung des allgemeinen Problems am anschaulichsten ist und werden im Nachfolgenden zuerst die Rekonstruktion des innern Strahlenbüschels eines Einzelbildes, dann die Rekonstruktion und Orientierung des äussern Strahlenbüschels eines Einzelbildes oder das sog. räumliche Rückwärtseinschneiden und schliesslich die Rekonstruktion und Orientierung der Strahlenbüschel eines Bildpaares oder die sog. Doppelpunkteinschaltung im Raume darlegen.

1. *Rekonstruktion des innern Strahlenbüschels eines Einzelbildes.* Das innere Strahlenbüschel A ($P_1 P_2 P_3 \ldots P_i$) (Abb. 2) ist eindeutig bestimmt, wenn wir die Lage des Projektionszentrums O in Bezug auf die Bildebene kennen. Diese Lage von O können wir am einfachsten durch die Länge f = Oo des Lotes vom Projektionszentrum auf die Bildebene und den Fusspunkt o dieses Lotes in der Bildebene festlegen. Wenn wir durch den Fusspunkt o ein rechtwinkliges, räumliches Koordinatensystem legen, dessen x- und z-Axen in der Bildebene liegen, ist die Lage des Projektionszentrums durch die drei Koordinaten x = o, z = o und y = f eindeutig bestimmt. Diese drei Elemente werden in einem Wort *„innere Orientierung"* des Bildes genannt. Den Durchstosspunkt o des Lotes Oo nennt man den *Plattenhauptpunkt* und den Abstand f die *Bildweite.* Zur Rekonstruktion des Plattenhauptpunktes auf der photographischen Platte sind am Anlegerahmen der Aufnahmekamera je zwei Randmarken auf den Plattenaxen x — x bezw. z — z angebracht, die bei der Aufnahme mitphotographiert werden.

Bei den photographischen Aufnahmen für topographische Zwecke ist das Aufnahmeobjekt vom Aufnahmestandpunkt weit entfernt. Man erreicht die grösste Schärfe des Bildes, wenn die Bildweite gleich der Brennweite des Objektives ist. Bei der Konstruktion der Aufnahmekamera werden am zweckmässigsten die optischen Verhältnisse den geometrischen derart angepasst, dass die optische Axe der Kamera mit der oben definierten y-Axe zusammenfällt; der Plattenhauptpunkt ist also der Schnittpunkt der optischen Axe mit der Plattenebene; der Abstand y des Projektionszentrums von der Plattenebene wird gleich der Brennweite f des Objektives konstruiert. Die Plattenebene bezw. der Plattenanlegerahmen der Kammer muss mit grosser Genauigkeit senkrecht zur optischen Axe gebaut werden; ferner muss die Platte selbst im Moment der Exposition genau an den Anlegerahmen angepresst werden können. Aus obigen Gründen und damit die innere Orientierung für eine Kammer konstant bleibt, werden die für die Photogrammetrie bestimmten Kammern starr konstruiert. Zur Rekonstruktion des innern Strahlenbüschels ist die Kenntnis der innern Orientierung der Kammer notwendig und genügend.

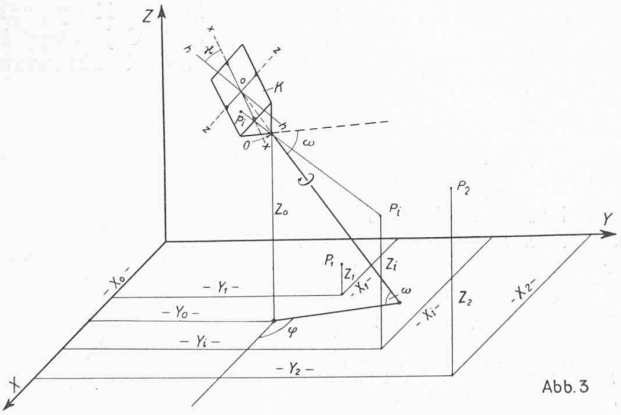

Abb. 3

2. *Rekonstruktion und Orientierung des äussern Strahlenbüschels eines Einzelbildes, das sog. räumliche Rückwärtseinschneiden.* Unter der Voraussetzung, dass das Objektiv der Aufnahmekammer verzeichnungsfrei ist, ist das äussere Strahlenbüschel dem inneren Strahlenbüschel kongruent. Wir müssen nun die Lage des in seiner Form bekannten äusseren Strahlenbüschels in Bezug auf das aufgenommene Gelände bestimmen, mit andern Worten das äussere Strahlenbüschel im Koordinatensystem des Geländes orientieren. Es seien in Abb. 3 XYZ das Koordinatensystem der Landeskarte, $P_1 P_2 \ldots P_i$ ($X_1 Y_1 Z_1$, $X_2 Y_2 Z_2 \ldots X_i Y_i Z_i$) Punkte des photographierten Geländes, O ($X_0 Y_0 Z_0$) das Projektionszentrum, K die Aufnahmekammer im Raume im Moment der Exposition. Das äussere Strahlenbüschel ist ohne weiteres orientiert, sobald wir die Lage der Aufnahmekammer im Koordinatensystem XYZ kennen. Die Lage eines Körpers im Raume gegenüber einem Koordinatensystem ist durch drei Translationen Δx, Δy, Δz vom Nullpunkt des Systems aus und durch drei Rotationen $\Delta \xi$, $\Delta \eta$ und $\Delta \zeta$ um die Axen des Koordinatensystems, also durch sechs Elemente bestimmt. An Stelle der drei Rotationen können wir auch die Lage einer Geraden des Körpers, etwa eine seiner Axen, im Koordinatensystem und die Drehung des Körpers um diese Körperaxe festlegen. Aus der Abb. 3 geht hervor, dass die Lage der Aufnahmekammer K im Koordinatensystem XYZ eindeutig bestimmt ist durch: die *Koordinaten* $X_0 Y_0 Z_0$ des Projektionszentrums, das *Azimut* φ der optischen Axe, die *Kippung* ω der optischen Axe gegenüber dem Horizont und die *Verkantung* $\varkappa$ der Kammer um die optische Axe gegenüber einer bestimmten Ausgangstellung. Die Verkantung können wir als den Winkel definieren, den die Randmarkenlinien x—x mit der Horizontalen h—h durch den Plattenhauptpunkt o (sog. Haupthorizontalen) einschliesst. — Diese sechs Elemente X, Y, Z, φ, ω, $\varkappa$, die die Lage des äussern Strahlenbüschels im Raume festlegen, nennt man die *„äussere Orientierung"* der Aufnahme.

Die Bestimmung der äussern Orientierung einer Aufnahme aus dem Bilde geschieht durch das sog. Rückwärtseinschneiden im Raume. Die Lösung des Problems setzt die Kenntnis der innern Orientierung der Aufnahmekammer, sowie der Raumkoordinaten von drei auf der Platte abgebildeten Objektpunkten voraus. Das Rückwärtseinschneiden im Raume ist graphisch und analytisch auf verschiedene Arten gelöst worden. Wir beschränken uns darauf, unter andern die zwei bekanntesten Lösungen, nämlich das Rückwärtseinschneiden im Raume *nach Winkeln* und *nach Richtungen* kurz darzulegen.

a) *Rückwärtseinschneiden im Raume nach Winkeln oder das sog. Pyramidenverfahren.* Es seien A, B und C drei Objektpunkte, deren Raumkoordinaten bekannt sind, O das Projektionszentrum der Aufnahme und a, b, c die Abbildungen der Punkte A, B und C auf der Plattenebene (Abb. 4). Die drei Strahlen AOa, BOb und COc des Büschels bilden mit den Dreiecken ABC bezw. abc die sogen. *Objektpyramide* OABC bezw. die *Bildpyramide* Oabc. Die Winkel α, β und γ, die die Pyramidenkanten L, M und N einschliessen, nennt man *Positionswinkel* der Pyramide. Die innere Orientierung der Aufnahmekammer erlaubt uns die Kanten l, m und n der Bildpyramide, folglich durch Anwendung des Cosinussatzes in den Dreiecken Oab, Obc und Oca, in denen alle Seiten bekannt sind, die Positionswinkel α, β und γ zu ermitteln. Umgekehrt können wir aus den gegebenen Seiten des Dreieckes ABC mit den Positionswinkeln α, β und γ die Längen der Kanten L, M und N der Objektpyramide bestimmen. Diese Bestimmung der Kantenlängen L, M und N ist nicht bequem; analytisch führt sie auf eine Gleichung vierten Grades. Sobald wir die Kantenlängen L, M und N kennen, können wir die Lage

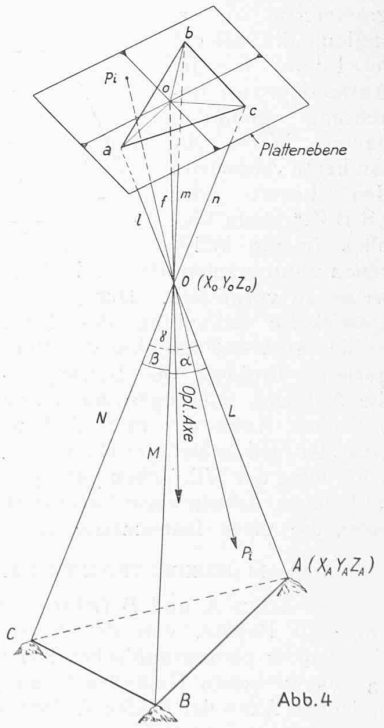

Abb. 4

der Spitze O der Objektpyramide in Bezug auf die Punkte A, B und C, in andern Worten die Koordinaten X_0 Y_0 Z_0 des Projektionszentrums O ermitteln. Die innere Orientierung ergibt uns ferner die Lage der optischen Axe Oo in Bezug auf die Pyramidenkanten l, m und n. Uebertragen wir die Beziehungen zwischen der Kammeraxe und den Pyramidenkanten in die Objektpyramide, so ergibt sich daraus die Lage der optischen Axe im Raume im Moment der Exposition; wir können infolgedessen das Azimut φ und die Kippung ω der optischen Axe bestimmen. Da nun das Strahlenbüschel im Raum des aufgenommenen Geländes orientiert ist, kann man die Raumlage der Platte im Moment der Exposition, somit schliesslich die Verkantung $\varkappa$ ermitteln. Damit ist die Lösung des räumlichen Rückwärtseinschneidens nach Winkeln skizziert. Bevor wir das räumliche Rückwärtseinschneiden nach Richtungen behandeln, sei über die Bestimmung der Positionswinkel folgendes beigefügt.

Die Positionswinkel α, β und γ können auch graphisch bestimmt oder mit dem im Jahre 1871 von Prof. Porro erdachten und später durch Prof. C. Koppe und andere Konstrukteure verbesserten Plattenausmessgerät, dem sog. *Bildmesstheodoliten*, direkt gemessen werden. Da bei der Konstruktion des Wild'schen Autographen das Prinzip des Bildmessverfahrens von Porro angewendet wurde, möchten wir dieses kurz erläutern.

Legt man das Negativ der Originalaufnahme in eine der Aufnahmekammer identische Messkammer derart ein, dass die Abbildung der vier Randmarken des Negativs die entsprechenden Randmarken der Messkammer genau decken und beleuchtet man das Negativ, so entsteht durch das Objektiv der Messkammer ein dem aufgenommenen Strahlenbüschel identisches Strahlenbüschel (Abb. 5). Der einzige Unterschied besteht darin, dass diesmal die Lichtstrahlen vom Negativ ausgehen, statt vom photographierten Objekte. Da das Bild in der Brennebene der Kammer liegt, werden alle Strahlen, die von einem Bildpunkt p ausgehen, beim Austritt aus dem Objektiv parallel laufen. Beobachtet man das beleuchtete Negativ durch das Objektiv, so werden die Bildpunkte p als unendlich entfernte Punkte in Richtung

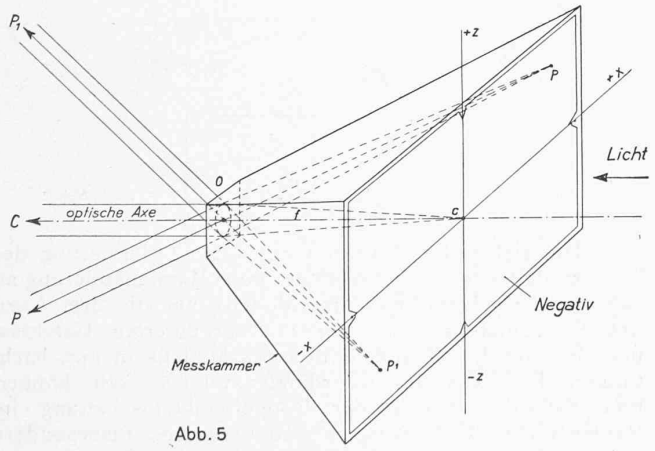

Abb. 5

des Hauptstrahles Op erscheinen. Benützt man zur Beobachtung ein in horizontaler und vertikaler Richtung um den vordern Hauptpunkt des Kammerobjektivs drehbares Fernrohr (Abb. 6), dann wird man sämtliche Punkte des Negativs im Fadenkreuz F des Fernrohres einstellen können. Zwei in Verbindung mit dem Fernrohr angeordnete Kreisteilungen, deren Zentren mit dem Drehpunkt des Fernrohres zusammenfallen, erlauben uns die horizontalen und vertikalen Winkel α und β der Zielstrahlen Op abzulesen. Aus den gemessenen Winkeln α und β können auch die Bildkoordinaten von p (x, z) berechnet werden. Aus der Abb. 6 ergibt sich:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{f}; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{z \cos \alpha}{f},$$

wobei f die bekannte Brennweite der Messkmamer bedeutet. Wenn die Kippung der optischen Axe und die Plattenverkantung im Moment der Aufnahme bekannt sind, wird man mit Vorteil die Messkammer auf einem eigenen Gestell derart aufstellen, dass sie gleich gekippt und verkantet ist wie bei der Aufnahme. Die an den Kreisteilungen des Beobachtungsfernrohres abgelesenen horizontalen und vertikalen Winkel α und β sind dann mit den Winkeln identisch, die man im Felde von der Aufnahmestation aus gegen die den Bildpunkten entsprechenden Objektpunkte mit einem Theodoliten messen würde. Ist endlich die Messkammer derart gelagert, dass man sie um den Objektivhauptpunkt kardanisch drehen kann, so wird man die Flächen der oben definierten Bildpyramide in die horizontale oder vertikale Ebene durch O bringen können, was uns die direkte Messung der Positionswinkel α, β und γ unserer Abb. 4 ermöglicht.

b) *Das Rückwärtseinschneiden im Raume nach Richtungen.* Während beim Pyramidenverfahren die sechs Orientierungselemente getrennt ermittelt werden, gestattet die Lösung nach Richtungen die gleichzeitige Bestimmung aller sechs Elemente. Man verschafft sich, sei es aus den Aufnahmedispositionen selbst oder aus einem graphischen Näherungsverfahren, oder auch durch Benützung des Bildmesstheodoliten Näherungswerte der sechs Orientierungselemente X, Y, Z, φ, ω und $\varkappa$. Aus diesen Näherungswerten werden gewisse messbare Grössen, wie etwa die Bildkoordinaten x und z oder die am Bildmesstheodoliten gemessenen Richtungswinkel α und β (Abb. 6) eines Fixpunktes berechnet. Zwischen den gemessenen und den aus den Näherungselementen errechneten Werten dieser Grössen werden sich Widersprüche ergeben. Jeder Fixpunkt liefert uns zwei Messungsergebnisse, sei es die Bildkoordinaten x und z oder die Richtungswinkel α und β; infolgedessen gibt jeder Fixpunkt Anlass zu zwei Fehlergleichungen. Da wir zur Bestimmung der sechs Unbekannten sechs Fehlergleichungen benötigen, genügen drei koordinatenmässig bekannte Fixpunkte, um das Problem zu lösen. Die Näherungswerte der Orientierungselemente werden nun so verbessert, dass die Widersprüche ver-

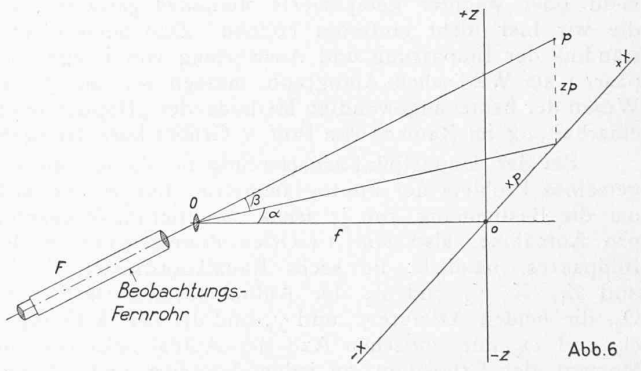

Abb. 6

schwinden. Um die Verbesserungen der sechs Näherungswerte der Orientierungselemente gleichzeitig zu erhalten, stellt man mit Hilfe der Widersprüche sechs Fehlergleichungen auf, in denen die Widersprüche als absolute Glieder auftreten, und löst sie in Bezug auf die als Unbekannte eingesetzten Verbesserungen dX, dY, dZ, $d\varphi$, $d\omega$ und $d\varkappa$ der Näherungswerte auf.

Wenn das Strahlenbüschel mehr als drei bekannte Fixpunkte aufweist, gibt die Lösung des Rückwärtseinschneidens, wobei alle Fixpunkte in Betracht gezogen werden, Anlass zu einer Ausgleichung der Orientierungsunbekannten. In diesem Falle wird man zu den wahrscheinlichsten Werten der sechs Unbekannten gelangt sein, wenn die Quadratsumme der Widersprüche ein Minimum wird.

*

Trotzdem das räumliche Rückwärtseinschneiden nach Richtungen rascher zum Ziele führt als jenes nach Winkeln, ist es für den praktischen Vermessungsbetrieb noch allzu

zeitraubend. In der Praxis versagten sowohl die graphischen wie die analytischen Methoden zur Bestimmung der Orientierung eines Photogramms. Um die Aerophotogrammetrie auf wirtschaftliche Bahnen zu führen, mussten praktische Lösungen gefunden werden, die die rasche, genügend genaue Ermittlung der Orientierungselemente ermöglichten. Es lag auf der Hand, die Lösung des räumlichen Rückwärtseinschneidens an den Instrumenten selbst vorzunehmen, die zur Auswertung der Aufnahmen dienen. Heute wird das räumliche Rückwärtseinschneiden an „Auswertegeräten" *optisch-mechanisch* in kurzer Zeit gelöst. Diese Methode soll erst nach der Beschreibung des Wildschen Autographen behandelt werden.

Das Rückwärtseinschneiden im Raume ermöglicht die Bestimmung der absoluten Lage — in Richtung und Länge — der Objektstrahlen OA, OB, OC ... vom Projektionszentrum O nach koordinatenmässig bekannten Punkten A, B, C ... Wir können ausserdem aus dem orientierten Strahlenbüschel die Richtung der Objektstrahlen OP_i nach beliebig abgebildeten Punkten P_i, deren Koordinaten unbekannt sind, erfassen. Die Ermittlung der Länge $\overline{OP_i}$ dieser Strahlen aus einem Einzelbild ist hingegen nur dann möglich, wenn das photographierte Gelände eben ist. Die Lage der Neupunkte P_i ist in diesem besonderen Falle als Schnitt der Strahlen OP_i mit der Geländeebene durch A, B, C bestimmt. Beim unebenen Gelände benötigen wir zur Bestimmung der Raumlage von Neupunkten ein zweites Bild des gleichen Geländes, das von einem andern Standort aus aufgenommen wurde.

3. *Rekonstruktion und Orientierung der Strahlenbüschel eines Bildpaares, sog. Doppelpunkteinschaltung im Raume.* Es könnte uns naheliegend erscheinen, die äussere Orientierung eines jeden Bildes für sich einzeln durch Lösung des räumlichen Rückwärtseinschneidens zu ermitteln. Es bestehen aber zwischen beiden Bildern des gleichen Geländeabschnittes Beziehungen, die uns erlauben, die äussere Orientierung beider Aufnahmen *gleichzeitig* zu bestimmen. Das Problem der gleichzeitigen Ermittlung der äussern Orientierung von Flugbildpaaren wurde bereits seit Ende des letzten Jahrhunderts erforscht. Es wurden verschiedene mehr oder weniger komplizierte Methoden gefunden, auf die wir hier nicht eintreten können. Zum bessern Verständnis der Einpassung und Auswertung von Fliegerbildpaaren am Wild'schen Autograph müssen wir jedoch das Wesen der heute angewandten Methode der „Doppelpunkteinschaltung im Raume" von Prof. v. Gruber kurz darlegen.

Bei der Doppelpunkteinschaltung im Raume als allgemeines Problem der Photogrammetrie, handelt es sich um die Bestimmung von je sechs Orientierungselementen pro Aufnahme, also von 12 Orientierungselementen des Bildpaares, nämlich: die sechs Raumkoordinaten X_1, Y_1 und Z_1, X_2 Y_2 und Z_2 der Aufnahmestandorte O_1 und O_2, die beiden Azimute φ_1 und φ_2 und die zwei Kippungen ω_1 und ω_2 der optischen Axe der Aufnahmekammer im Moment der Exposition an jedem Standort und schliesslich die beiden Verkantungen $\varkappa_1$ und $\varkappa_2$ der Plattenebenen und die optische Axe.

Man könnte, wie beim einfachen Rückwärtseinschneiden nach Richtungen, die 12 Elemente der äussern Orientierung des Bildpaares auf die Weise bestimmen, dass man zwischen Näherungswerten derselben, bezw. ihren Verbesserungen als Unbekannte und bestimmten messbaren Grössen, wie etwa die Bildkoordinaten oder die am Bildmesstheodolit beobachteten Richtungswinkel 12 von einander unabhängige Fehlergleichungen aufstellt und löst. Als absolute Glieder dieser Gleichungen treten wiederum die Widersprüche zwischen den gemessenen Bildkoordinaten oder Richtungswinkeln oder den bekannten Koordinatenunterschieden der Fixpunkte einerseits und den aus den Näherungselementen errechneten Werten der nämlichen Grössen anderseits auf. Jeder auf beiden Platten abgebildete Fixpunkt liefert uns zwei Messungsergebnisse pro Platte, also vier Messungen für das Plattenpaar: seien es die vier Plattenkoordinaten x_1, z_1, x_2, z_2 oder die vier Richtungswinkel α_1, β_1, α_2, β_2; infolgedessen gibt jeder Fixpunkt Anlass zu vier Fehlergleichungen. Zur Bestimmung der 12 Elemente der äussern Orientierung genügen also drei bekannte Fixpunkte, die auf beiden Bildern identifiziert werden können. Die Auflösung der 12 Fehlergleichungen ist aber zeitraubend.

Auch hier, wie beim einfachen Rückwärtseinschneiden, kommt für den vermessungstechnischen Betrieb nur eine *optisch-mechanische Lösung* in Betracht, die an der Auswertemaschine vorgenommen wird; diese wird allgemein nach dem von Gruber eingeschlagenen Wege durchgeführt. Es lassen sich die 12 Orientierungselemente in zwei Gruppen zerlegen, und zwar einmal fünf Elemente der *gegenseitigen* Orientierung der zwei *Bilder* und dann sieben Elemente der *absoluten* Orientierung des *stereoskopischen Raummodelles.* Die gegenseitige Orientierung der beiden Aufnahmen ist dann bewerkstelligt, wenn die paarweise zusammengehörenden Strahlen beider Büschel sich im Raume wieder schneiden. Die Gesamtheit der Schnittpunkte der zusammengehörenden Strahlen beider Büschel ergibt ein Raummodell des aufgenommenen Geländes. Die gegenseitige Orientierung eines Bildpaares verlangt die Kenntnis folgender fünf Elemente unserer Abb. 7: der *zwei Verschwenkungswinkel* ψ_1 und ψ_2, die die optischen Axen A_1 und A_2 mit der Aufnahmebasis (Kernaxe) bilden, der *beiden Verkantungswinkel* $\varkappa_1$ und $\varkappa_2$ [1]) zwischen den Randmarkenlinien x_1-x_1, bezw. x_2-x_2 und den Spuren der Ebenen $A_1O_1O_2$, bezw. $A_2O_1O_2$ (sog. Kernebenen) auf der Plattenebene, und schliesslich des *Neigungswinkels* δ zwischen den durch die optischen Axen gelegten Kernebenen. Nach der gegenseitigen Orientierung weist das Raummodell einen wilden Masstab auf, und es ist im Koordinatensystem des aufgenommenen Geländes noch nicht orientiert.

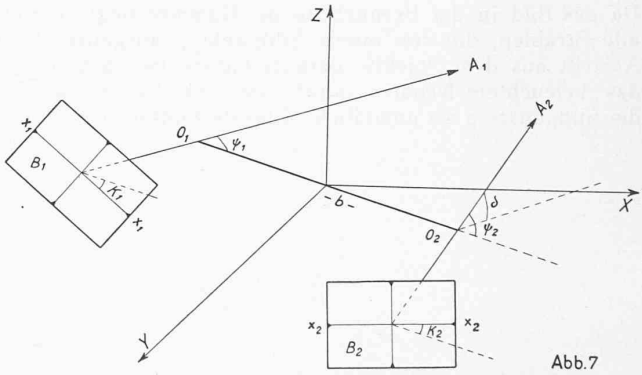

Abb. 7

Die sieben Elemente der absoluten Orientierung des Raummodelles entsprechen erstens einer Masstabänderung m, zweitens drei Rotationen des Modells um die drei Axen des Koordinatensystems des photographierten Gebildes, und drittens drei Translationen des Modells in den Richtungen der Axen des Koordinatensystems. Wir können hier auf die Theorie der Doppelpunkteinschaltung im Raume nicht näher eintreten und verweisen insbesondere auf die Publikation von Dr. O. v. Gruber „Einfache und Doppelpunkteinschaltung im Raume" (Jena 1924). Wir werden hingegen nach der Beschreibung des Wild'schen Autographen auf die praktische Lösung des Problems an diesem Auswertegerät zurückkommen.

*

Durch die Kenntnis der innern Orientierung der Aufnahmekammer und der 12 Elemente der äussern Orientierung der Aufnahmen in A und B (Abb. 1) können also die Strahlenbüschel beider Aufnahmen rekonstruiert und im Raume des aufgenommenen Geländes orientiert werden. Sämtliche Strahlen beider Büschel sind dadurch im Raume des aufgenommenen Geländes ebenfalls wieder hergestellt und die Schnitte der in beiden Büscheln zusam-

[1]) In Abb. 7 irrtümlich mit K_1 und K_2 bezeichnet.

mengehörenden Strahlen AP_i und BP_i (Abb. 2) bestimmen die Lage (X_i, Y_i, Z_i) der Punkte P_i im Raume. Wir werden später sehen, wie das Vorwärtseinschneiden der Punkte P_i am Autograph optisch-mechanisch vorgenommen wird.

Bei der Problemstellung haben wir die Lage der Kamera im Raume in Bezug auf das Projektionszentrum durch die drei Elemente: Azimut φ, Kippung ω und Verkantung $\varkappa$ festgelegt (Abb. 3). Wie verhält sich nun unsere Aufgabe, wenn die Kammeraxe im Moment der Exposition nahezu lotrecht gerichtet ist? Im Grenzfall, wo die optische Axe lotrecht steht, wird die Kippung $\omega = 100^{gr.}$; die Horizontalprojektion der optischen Axe wird zum Schnittpunkt dieser Axe mit der X—Y Ebene, folglich ist das Azimut φ unbestimmt; ferner wird der Schnitt h—h (Abb. 3) der Platte mit dem Horizont durch den Plattenhauptpunkt o, somit auch die Verkantung $\varkappa$ unbestimmt. Das Problem der Orientierung von Flugzeug-Aufnahmen, deren optische Axen nahezu lotrecht stehen, der sog. Steilaufnahmen, kann durch eine Vertauschung der Y und Z-Axen auf den allgemeinen Fall zurückgeführt werden. — Bei der terrestrischen Stereophotogrammetrie besteht die Möglichkeit, die zwölf Elemente der äussern Orientierung statt indirekt aus dem Bildpaar, bei der Feldaufnahme selbst direkt zu bestimmen.

Wir schliessen diese grundlegenden Betrachtungen über das allgemeine Problem der Stereophotogrammetrie mit einem Verzeichnis der wichtigsten Veröffentlichungen:

G. Hauck, „Neue Konstruktionen der Perspektive und Photogrammetrie" im Crelles Journal für Mathematik, Jahrgang 1883 und folgende. — *S. Finsterwalder,* Die geometrischen Grundlagen der Photogrammetrie. Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung, 6. Band, 2. Heft 1899. — *S. Finsterwalder & W. Scheufele,* Das Rückwärtseinschneiden im Raum, Sitzungsbericht der Bayer. Akademie der Wissenschaft 1903. — *S. Finsterwalder,* Die Kernpunkte, die gnomonische Projektion und die Reziprokalprojektion in der Photogrammetrie, Intern. Archiv für Photogrammetrie 1923. — *O. v. Gruber,* Entzerrung von Luftaufnahmen und die optisch-graphische Lösung des Rückwärtseinschneidens im Raum. Int. Arch. f. Photogr. 1923. — *O. v. Gruber,* Ueber den räumlichen Rückwärtseinschnitt, in Deutsche Zeitschrift für Vermessungskunde 1924. — *O. v. Gruber,* Einfache und Doppelpunkteinschaltung im Raum, Jena 1924. — *F. Baeschlin,* „Korrekte und strenge Behandlung des Problems der Bestimmung der innern Orientierung eines Phototheodoliten", Schweiz. Zeitschrift für Verm. u. Kulturtechn. vom 12. Febr. 1929. — *O. v. Gruber,* Ferienkurs in Photogrammetrie, Stuttgart 1930. — *R. Hugershoff,* Photogrammetrie und Luftbildwesen, Wien 1930. — *P. Gast,* Vorlesungen über Photogrammetrie, Leipzig 1930. Prof. Gast gibt am Schlusse dieses seines Buches ein Literaturverzeichnis mit 314 Veröffentlichungen.

Ferner einige fachtechnische Zeitschriften: „Das Internationale Archiv für Photogrammetrie", herausgegeben von E. Dolezal, Wien. — „Bildmessung und Luftbildwesen", und „Allgemeine Vermessungsnachrichten", beide herausgegeben von R. Reiss G. m. b. H., Liebenwerda, Sachsen. — „Deutsche Zeitschrift für Vermessungswesen", Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart. — „Zeitschrift für Instrumentenkunde", Berlin. — „Schweiz. Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik", Winterthur. (Forts. folgt.)

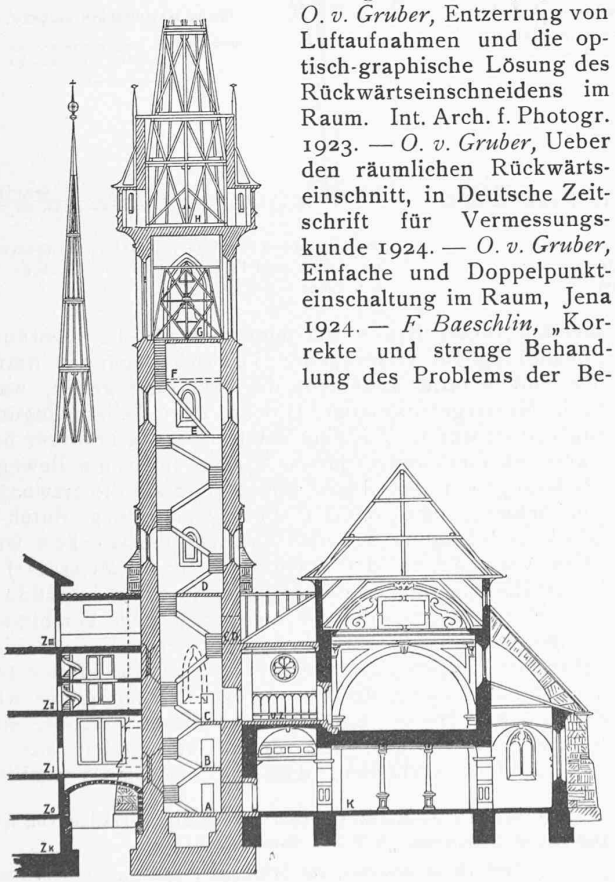

Abb. 1. Schnitt durch Prediger-Kirche und Turm. — Masstab 1 : 500.
A bis H Turmgeschosse, K Kirchenboden, Z Zentralbibliothek.

Messung der erzwungenen Schwingungen eines Glockenturmes und seiner Umgebung.

Von Dr. Ing. P. KOENIG, Bern.

Turmschwingungen unter Einfluss des Glockenläutens sind schon mehrfach nachgewiesen worden.[1]) Es handelt sich dabei zur Hauptsache um erzwungene Transversal- oder Biegungsschwingungen des Turmes, die grosse Amplituden dann annehmen, wenn ihre Schwingungsperioden in der Nähe einer Eigenschwingungsperiode des Turmes liegen. Um diese Verhältnisse einmal genau zu untersuchen, wurden die Schwingungen eines Glockenturmes beim Läuten seiner verschiedenen Glocken gemessen, die Messresultate mit theoretischen Ergebnissen verglichen und die Mitschwingung des Bodens und der angrenzenden Gebäude festgestellt.

Gegenstand der Untersuchungen war der Glockenturm der Predigerkirche in Zürich. Abb. 1 lässt den baulichen Zusammenhang des Turmes links mit der Zentralbibliothek und rechts mit der Kirche erkennen. Die einzelnen Böden im Turm sind mit grossen Buchstaben bezeichnet. Der Glockenstuhl trägt fünf Glocken, die mit kleinen Buchstaben bezeichnet seien und deren grösste a 5187 kg und deren kleinste Glocke e 663 kg wiegt. Die Schwingungsebenen aller Glocken liegen parallel zum gezeichneten Bauschnitt.

Als Messapparat wurde ein nach dem System Quervain-Piccard von der Firma Trüb, Täuber & Cie. in Zürich gebauter transportabler Universalseismograph verwendet. Dieser Apparat hat zugleich drei Arbeitsrichtungen, zwei zueinander rechtwinklig stehende horizontale und eine vertikale.[2]) Mit diesem Apparat wurden während des normalen Glockenläutens Diagramme aufgenommen, und zwar innerhalb des Turmes sukzessive auf allen Böden A bis H während des Läutens der einzeln geläuteten Glocken a, b, c und e, sowie während des vollen Glockengeläutes, und in der Umgebung nur während des Läutens der Glocke c.

Jede Messung ergab drei den drei Komponenten des Seismographen zugeordnete Diagramme, wie sie beispielsweise in Abb. 2 wiedergegeben sind und für alle einzeln geläuteten Glocken gleicher Art waren. Das wichtigste Diagramm, genannt das Hauptdiagramm, entspricht der horizontalen Arbeitsrichtung des Apparates parallel der Glockenschwingungsebene und bildet die horizontale Schwingungsbewegung des Turmes ab. Dieses Hauptdiagramm (oberstes Diagramm der Abb. 2) lässt ohne weiteres erkennen, dass der Turm in dieser Richtung nicht nur eine erzwungene Biegungsschwingung im Takte der schwingen-

[1]) Prof. *A. de Quervain,* Die Schwingungen des Kirchturmes Fluntern-Zürich beim Glockenläuten, kurze Publikation im „Jahresbericht des schweizer. Erdbebendienstes" 1922. [Vergl. auch Prof. *W. Ritter:* „Die Schwingungen des neuen Kirchturmes in Enge" in „S.B.Z.", Bd. 29, S. 42/48, Februar 1897. Red.]

[2]) *A. de Quervain,* Der transportable Seismograph mit drei Komponenten (System Quervain-Piccard), „Jahresbericht des schweizer. Erdbebendienstes" 1922.