

AUFNAHMEGERÄTE FÜR BILDMESSUNG IM NAHBEREICH

Von

GERTRUD LÁNG

Lehrstuhl für Photogrammetrie, Technische Universität Budapest

(Eingegangen am 1. Juni 1971)

Vorgelegt von Prof. Dr. L. HOMORÓDI

Die genaue Kenntnis der inneren Orientierung der Aufnahmekammern stellt eine grundlegende Forderung der Photogrammetrie dar, da die Rechenwerte durch diesen Umstand wesentlich beeinflußt werden.

Das zu photographierende Gelände oder der Gegenstand befand sich bis zu den letzten Jahrzehnten immer im optischen Unendlichen und für die Kammern mit ständiger Bildweite wurde die innere Orientierung vom Herstellerwerk bestimmt. Es trat eine revolutionäre Änderung ein, als der zu photographierende Gegenstand oder die Erscheinung in das optische Endliche zu liegen kam. Die ersten Versuche stammen aus den 30er Jahren in Verbindung mit Unfallsaufnahmen, fanden jedoch keine weitere Verbreitung. Seitdem die Architektur-Photogrammetrie und die Modellversuche in größerem Maße eingesetzt wurden, werden in den letzten zwei Jahrzehnten an fast allen Kongressen die Probleme der Bestimmung der inneren Orientierung und die Ausgestaltung der für die Aufnahmen am besten geeigneten Gerätetypen eingehend behandelt. Das Problem ist deshalb von Bedeutung, weil für die verschiedenen Aufnahmeentfernungen Geräte mit unterschiedlicher innerer Orientierung erforderlich wären, um die gewünschte Genauigkeit einzuhalten und den geeigneten Tiefenschärfebereich zu haben. Die Versuche zielen hingegen darauf hin — ähnlich wie bei den Photoapparaten —, mit einer einzigen Kammer in einer womöglich großen Zahl von Entfernungen photographieren zu können. Die veränderliche innere Orientierung erfordert jedoch immer mehr den Einsatz der Computer.

Ist kein für die gegebene Entfernung konstruiertes Instrument vorhanden, so kann nach MOFFITT [1] die auf das optische Unendliche eingestellte Aufnahmekammer in zweifacher Weise für Nah-Aufnahmen geeignet gemacht werden: durch den Anschluß einer geeigneten Vorsatzlinse wird die Brennweite des Objektivs derart geändert, daß dem Bildabstand entsprechend in der Plattenebene ein scharfes Bild entsteht, oder wird die Bildweite vergrößert. Beide Verfahren erfordern jedoch die sorgfältige und sachkundige Arbeit eines Feinmechanikers.

Im weiteren sollen die Untersuchungen an zwei verschiedenartig umgebauten Phototheodoliten beschrieben werden. Von den ermittelten Fehlerquellen und Schwierigkeiten ausgehend wird ein geeigneter Gerätetyp für Nahbildmessung vorgeschlagen.

1. Nahaufnahme mit Verlängerung der Brennweite

1.1 Stereomeßkammer mit Vorsatzlinse

Eine Stereomeßkammer mit 40 cm Basis wurde bis jetzt in Ungarn bei Modellversuchen eingesetzt, wo das Höchstmaß der Modelle zwischen 20 und 50 cm schwankte. Um die erforderliche Genauigkeit zu erreichen, war eine Aufnahmeentfernung von 80 cm erforderlich. Da die Mindestaufnahmeentfernung der Stereomeßkammer 2,5 m ist, wobei die Tiefenschärfe zwischen 2 und 3,5 m fällt, mußte die Bildschärfe mit Hilfe einer Vorsatzlinse erreicht werden.

Ist die ursprüngliche Kammer auf das optische Unendliche eingestellt, muß, um ein scharfes Bild zu erhalten, eine Vorsatzlinse mit einer Brennweite gleich der gewünschten Aufnahmeentfernung montiert werden [1]. Da jedoch die Bildweite mit $k = 92$ mm gegeben ist, soll bestimmt werden, ein Objektiv mit welcher Brennweite zu diesem Bildabstand erforderlich ist [2].

Gemäß der optischen Grundgleichung mußte ein Objektiv mit der Brennweite

$$f = \frac{t \cdot k}{t + k} = 82,51 \text{ mm}$$

verwendet werden. Dazu ist eine Vorsatzlinse nach der Gleichung

$$f = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - e}$$

bzw. nach der daraus abgeleiteten Formel

$$f_2 = \frac{f(f_1 - e)}{f_1 - f} \quad (1)$$

erforderlich. In der Formel bedeuten f_1 die Brennweite des ursprünglichen Objektivs, f_2 die Brennweite der Vorsatzlinse und e den Abstand zwischen den Hauptebenen der beiden Linsen. Nach dem ursprünglichen Objektiv kann e

höchstens auf 10 mm geschätzt werden. In Ermangelung einer geeigneten Apparatur kann dieser Wert nicht genau bestimmt werden, daher wird die Brennweite des berechneten neuen Objektivs lediglich einen guten Näherungswert darstellen. Aus den vorstehenden Daten und Formel (1), wo f_1 gleich 88,86 mm der durch das Herstellerwerk angegebenen Wert ist, erhält man

$$f_2 = 1024,68 \text{ mm.}$$

Werden nun aus der Formel

$$t_{e,h} = \frac{t \cdot f^2}{f^2 \pm s(t-f) d_{\max}} \quad (2)$$

die vordere und die hintere Tiefenschärfengrenze ermittelt, erhält man bei einem Streuungskreisdurchmesser $d_{\max} = 0,05$ mm und einer Blendenwert $s = 18$, die Grenzen

$$t_{\text{vorder}} = 730 \text{ mm}$$

$$t_{\text{hintere}} = 884 \text{ mm.}$$

Der notwendige Bildinhalt läßt sich also mit der erforderlichen Schärfe photographieren.

Für den Umbau stand jedoch nur eine Augenglaslinse zur Verfügung, deren Brennweite mit 741 mm \pm 7 mm angegeben war. Will man aus der bereits genannten Brennweite $f_1 = 88,86$ mm der Wild-Kammer und der angegebenen Brennweite der als Vorsatz verwendeten Linse ausgehend die erforderliche resultierende Brennweite f ermitteln, erhält man mit der Formel (1) $e = 104,29 \pm 0,14$ mm einen Wert, der infolge der Kammerkonstruktion unmöglich ist. Wird e wieder mit 10 mm angesetzt, ergeben sich abermals für resultierende Brennweite

$$f = 80,31 \text{ mm.}$$

Auch dieser Wert ist unzulässig, da er ja von der gegebenen Bildweite des Instruments nur wenig, d. h. nur soweit abweichen darf, wie sich die neue Hauptebene im Verhältnis zur früheren verschoben hat.

Aus den Versuchsaufnahmen mit dem neuen Objektiv ließ sich jedoch die wirkliche Kammerkonstante anhand von [3, 4] zugleich mit den Daten der äußeren Orientierung berechnen (Abb. 1). Als vorläufige Daten wurden die von der Firma Wild angegebenen Werte der ursprünglichen Kammer angenommen. Der Rechenverlauf ist in [5] ausführlich beschrieben. Einige Daten sollen jedoch des Zusammenhangs halber wiederholt werden.

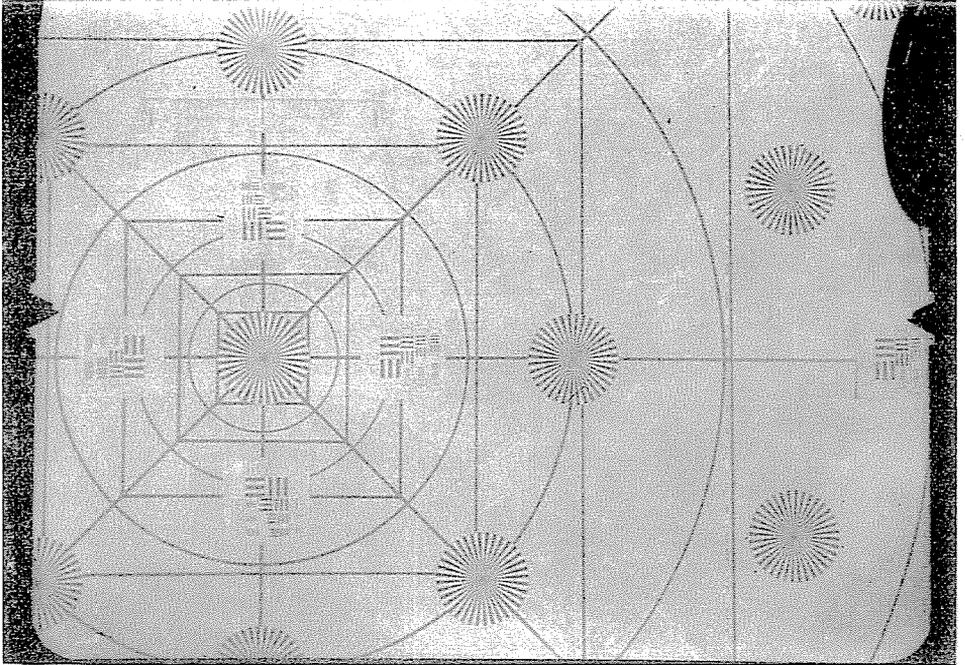


Abb. 1

Die aus der Ausgleichsrechnung erhaltenen Werte lauten:

$$c_k = c_{k_0} + dc_k = 92.0 + 1.808 = 93.808 \pm 0.095 \text{ mm}$$

$$d\varphi = +0.030879 = 1^\circ 46' 09'' \pm 52' 10''$$

$$d\omega = -0.034809 = -1^\circ 59' 54'' \pm 1^\circ -$$

$$dz = +0.009964 = 0^\circ 34' 15'' \pm 12' 25''.$$

Der Gewichtseinheitsfehler beträgt

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[v v]}{4}} = \pm 0.138 \text{ mm.}$$

Die Erhöhung der Kammerkonstante ist begründet, da ja die Verminderung der Aufnahmeentfernung mit der Zunahme des Bildabstands verbunden ist. In Kenntnis der neuen Kammerkonstante und der Aufnahmeentfernung kann auch auf die Brennweite des Objektivs mit Vorsatzlinse geschlossen werden.

$$f = \frac{Y \cdot c_k}{Y + c_k} = 83.77 \text{ mm.}$$

wo nach der Ausgleichung $Y = 782.89 \text{ mm}$ ist. Wieder aus dem Streuungskreisdurchmesser 0.05 mm ausgehend, gelten für die beiden Randpunkte die Tiefenschärfe

$$t_{\text{vorder}} = 733 \text{ mm}$$

$$t_{\text{hint}} = 881 \text{ mm.}$$

Es wurde also selbst bei solcher Lösung innerhalb des Tiefenschärfebereichs photographiert. Die ursprüngliche relative Blende 1 : 18 nimmt unter der Wirkung der neuen Brennweite den Wert 1 : 17 an, die ursprüngliche Lichtstärke wurde also durch die Vorsatzlinse um 5% erhöht.

Die Neigungswerte $d\varphi$ und $d\omega$ sind groß, was sich teils aus einem Plattenauflagefehler, teils aus der Verzerrung der optischen Achse unter Einwirkung der Vorsatzlinse und — im Falle von $d\varphi$ — auch aus der mangelnden Parallelität des Basisrohres zum Aufnahmegegenstand ergeben kann.

Die hohen Werte von m_0 und der einzelnen mittleren Fehler weisen in den einzelnen Punkten infolge der Abbildungsfehler große Abweichungen auf.

Unter der Wirkung der Vorsatzlinse trat auch eine *Bildfeldwölbung* auf, die wegen der 35prozentigen Stereoüberdeckung nicht vernachlässigt werden darf.

Die Differenz der mit der äußeren Orientierung verbesserten Bildkoordinaten und der theoretischen Koordinatenwerte sollte die Verzeichnung ergeben, da jedoch die einzelnen Punkte auch mit anderen Fehlern behaftet sind, ist es richtiger, von einem *Abbildungsfehler* zu sprechen; die aus diesen Angaben konstruierte Kurve ist die *Abbildungsfehlerkurve*, deren Werte zwischen +0,3 und -0,2 mm schwanken.

Bei der Analyse unserer aus den bekannten photogrammetrischen Grundformeln aufgrund der Fehlerfortpflanzung entwickelten Formeln für die mittleren Fehler ist auch noch zu erkennen, daß *der Fehler der äußeren Orientierung kaum eine Rolle spielt, und auch der Auswertungsfehler ziemlich klein ist; die Ergebnisse werden nur durch die Fehler der inneren Orientierung wesentlich verschlechtert.*

Aus den Untersuchungen gelangt man also zum Ergebnis, daß sich — wenn räumliche Koordinaten benötigt werden — *die Daten aus Aufnahmen ohne Korrektion nicht verwenden lassen, die mit einer Kammer (Stereomeßkammer) solcher Qualität mit Vorsatzlinse hergestellt wurden.*

2. Nahaufnahme mit verlängerter Bildweite

2.1 Der umgebaute Phototheodolit

Durch Vergrößerung des Bildabstands wurde ein Phototheodolit 1318/195 der Firma Zeiss umgeändert. Die Umgestaltung ist in [6] ausführlich beschrieben, doch wurden auch die in [7] und [8] erörterten Versuche mit demselben oder einem in ähnlicher Weise umgebauten Phototheodolit ausgeführt. Es handelt sich im wesentlichen darum, daß man das Objektiv abmontierte und in die Öffnung einen Zwischenring einsetzte; nachdem das Objektiv zurückgeschraubt war, ließen sich auf beliebige Aufnahmeentfernungen scharfe Bilder einstellen.

Dieses photographisch richtige Verfahren hat photogrammetrisch zahlreiche Fehler.

Die qualitative Überlegenheit der Phototheodolite den Photoapparaten gegenüber besteht gerade in der Präzisionskonstruktion, d. h. sie kommt im verzeichnungsfreien Objektiv und in der Konstanz der inneren Orientierung zur Geltung. Die Objektive können jedoch lediglich innerhalb eines gewissen Tiefenbereichs als korrigiert gelten, und bei einer beliebigen Änderung der Bildweite werden die Ergebnisse infolge des Mangels an einer präzisen Bestimmung der Kammerkonstante verzerrt; damit verzichtet man auf sämtliche Vorteile des Phototheodolits.

In den in [6, 7, 8] erörterten Versuchen wurde die Kammerkonstante ähnlich dem in [9] beschriebenen Verfahren bestimmt. Diese Methode mag bei einem Photoapparat herangezogen werden, doch darf man sich ihrer keinesfalls für eine photogrammetrische Kammer bedienen, bei der die nachstehenden Fehler auftreten können.

a) Der Bildfeldmarkenabstand beträgt bei einem Phototheodolit rd. $161,5 \times 114,4$ mm; dazu gehören die Kammerkonstante $c_k = 195$ mm und der Öffnungswinkel $45^\circ \times 33^\circ$. Nach [10] ist die dem Öffnungswinkel entsprechende *Lichtstärke* in der Bildmitte bzw. am Bildrand

$$E' = \frac{d^2}{f^2} \cos^4 \alpha ; \quad \frac{d}{f} = \frac{1}{25}$$

$$E'_{\text{horiz.}} = 0,0016 \text{ bzw. am Rande } 0,00116,$$

$$E'_{\text{vert.}} = 0,0016 \text{ bzw. am Rande } 0,00136.$$

An den Bildrändern nimmt die Lichtstärke bereits um 15% und noch mehr ab, daher sind die Phototheodolite grundsätzlich nicht zu den Objektiven mit der besten Lichtstärke zu zählen. Bei der Erdbildmessung ist dies selbstverständlich zufolge der beliebigen Expositionsdauer kein entscheidender Faktor. Die zu der Aufnahmeentfernung von 1 m gehörenden Lichtstärkenwerte sind

$$E'_{\text{horiz.}} = 0,0010 \text{ bzw. am Rande } 0,00076,$$

$$E'_{\text{vert.}} = 0,0010 \text{ bzw. am Rande } 0,00088.$$

Diese Werte beweisen die vollkommene Lichtschwäche des Bildrandes in horizontaler Richtung. Es ist nämlich eine allgemein angenommene Regel, daß bei Objektiven mit guter Lichtstärke $E' = 0,0009$ bis $0,0025$ ist.

b) Die Objektivverzeichnung wird jeweils für eine gegebene Bildweite und für die relative Öffnung bestimmt. Mit zunehmender Bildweite können sich die *Linsefehler* und vor allem die *Verzeichnung* sprunghaft vergrößern.

c) Die *Kammerkonstante* kann nicht einfach die Bildweite darstellen, die zum durch Betrachtung scharf eingestellten Bilde gehört, da das Auge das Bild schon bei einem Streuungskreis von 0,1 mm scharf sieht, wobei es photogrammetrisch noch unscharf ist [2, 5], und es wird also nicht der der optischen Gleichung entsprechende Bildabstand erhalten. Man erhält auch durch Messungen mit einem beliebigen Längenmeßgerät kein annehmbares Ergebnis für den Bildabstand, da ja auch die berechnete Bildweite oft geändert werden muß, um eine günstigere Verzeichnung zu erreichen [10].

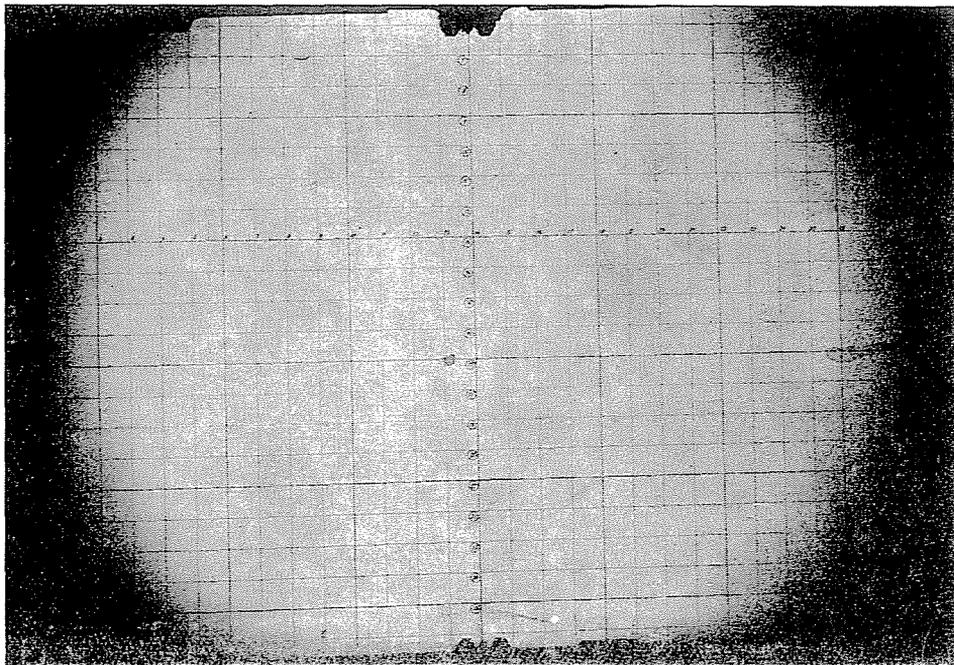


Abb. 2

d) Auch infolge eines geringen Schleiffehlers des Zwischenringes kann es vorkommen, daß die *optische Achse nicht horizontal und zugleich auf die Bildebene nicht senkrecht steht*, d. h. daß sie eine Neigung in φ - und ω -Richtung hat. In diesem Falle erhält man kein Normalstereogramm, sondern eine Aufnahme nach rechts oder links geneigter Kammerachse. Durch einen Schleiffehler von 0,05 mm wird z. B. im Falle eines 4 cm langen Zwischenringes auf dem Negativ eine Hauptpunktverschiebung von 2,43 mm, d. h. eine Richtungsabweichung von 43' verursacht.

Um die angeführten Forderungen zu prüfen, wurde die für einen der Versuche hergestellte Aufnahme mit Quadratnetz ausgewertet (Abb. 2). Die

Aufnahme ist bereits auf den ersten Blick lichtschwach, ein Umstand, der die Berechnung unter *a)* unterstützt. Einer der größten Nachteile der Lichtschwäche besteht darin, daß die Rahmenmarken nur zum Teil auf dem Negativ abgebildet wurden, und sich daher eine der Forderungen, die zum Begriff des Meßbildes gehören, nämlich die Herstellung des Koordinatensystems und der Hauptpunkte, nur zum Teil befriedigen läßt.

Für die Feststellungen unter *b)*, *c)* und *d)* wurden die innere und äußere Orientierung wieder anhand der bekannten Angaben des Quadratnetzes (Netzpunktabstand 2,5 cm) an die Arbeiten [3, 4] angelehnt errechnet. Aus der bekannten photogrammetrischen Differentialformel ausgehend wurden für 16 Punkte die Werte durch Ausgleichung bestimmt. Als Bedingungsgleichung wurde zur Ausgleichung die Grundgleichung der Optik herangezogen, d. h. es sollte die Kammerkonstante bestimmt werden, die bei der vorgegebenen Aufnahmeentfernung ein scharfes Bild ergibt.

Aus der Ausgleichung ergaben sich:

$$\begin{aligned} Y &= Y_0 + dY = 1100 + 197,633 = 1297,633 \pm 0,009 \text{ mm} \\ dx_0 &= + 11,878 \pm 0,019 \text{ mm} \\ dz_0 &= + 2,736 \pm 0,034 \text{ mm} \\ dz &= - 0,002526 \sim - 0^\circ 08'41'' \pm 1' \\ d\varphi &= + 0,050430 \sim + 2^\circ 53'22'' \pm 12'' \\ d\omega &= - 0,011282 \sim - 0^\circ 38'47'' \pm 9'' \\ m_0 &= \pm 0,2465 \\ c_k &= 229,084 \pm 0,002 \text{ mm} \end{aligned}$$

Die einzelnen mittleren Fehler sind viel günstiger als bei den in ähnlicher Weise gemessenen und bestimmten Angaben der Stereomeßkammern. Das bestätigt die bessere Qualität des Objektivs.

Die Koordinatenwerte des Hauptpunktes dx_0 und dz_0 , zeugen für den Einfluß des Fehlers $d\varphi$ von fast 3° .

Korrigiert man die gemessenen Koordinaten mit den aus der Ausgleichung erhaltenen Daten, erhält man für die beiden Koordinaten des Hauptpunktes $x_0 = -0,043$ und $z_0 = +0,067$ mm. Das beweist, daß Zentrierung und Schleifung des Zwischenringes verhältnismäßig gut sind, es fehlt lediglich die für die Untersuchung günstige Parallelität der Bildebene zur Dingebene.

Die gemessenen Bildkoordinaten wurden mit den Daten der äußeren und inneren Orientierung korrigiert und die in den einzelnen Punkten verbleibenden Gesamtfehler sind in Abb. 3a, die Richtungsfehler x und z gesondert in den

Abb. 3b und 3c dargestellt. Betrachtet man die Fehler in Richtungen x und z getrennt, so deutet das auf Astigmatismus; von einem ähnlichen Ergebnis wird in Verbindung mit einer an einer japanischen Universität konstruierten Kammer berichtet [13]. Der in Abb. 3a konstruierte, gesamte remanente Fehler weist auch auf eine Plattendeformation hin. Bei der Messung der Rahmenmarken einiger Platten wurden große Anliegefehler gefunden, doch

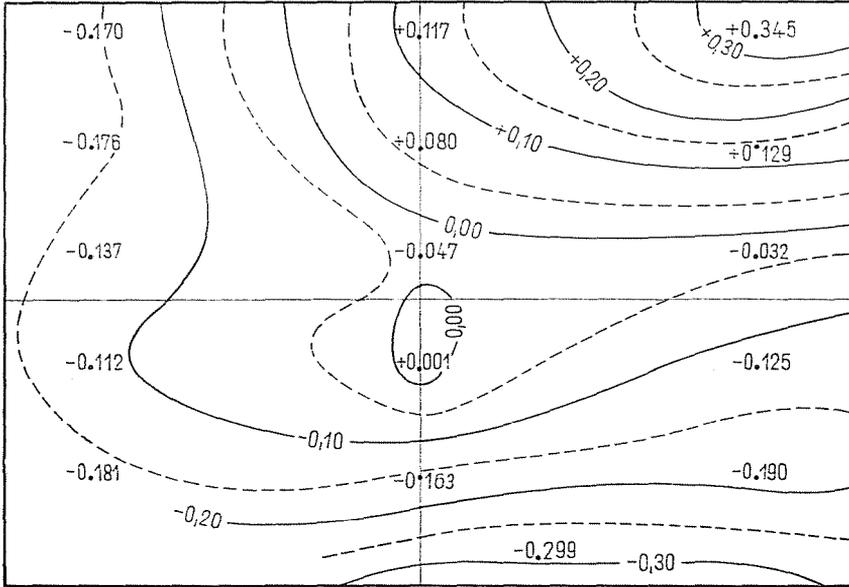


Abb. 3/a

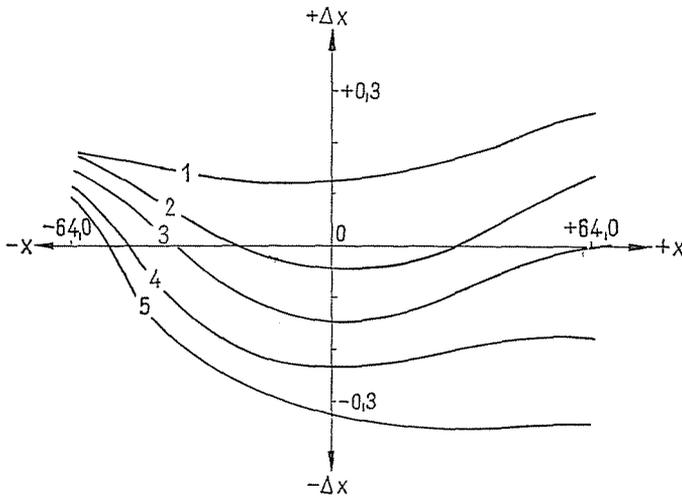


Abb. 3/b

lediglich auf der rechten Seite der Platte; das mag durch die Deformation gewisser Kassetten verursacht worden sein. Die weitere Prüfung dieser Frage ist noch im Gange.

Bei den Versuchen wurde die Orientierung wegen der Lichtschwäche nicht nach den Rahmenmarken durchgeführt, sondern es wurden im Verhältnis zu zwei Festpunkten die Bildkoordinaten gemessen. Diese müssen bei einem Normalstereogramm je einen Punkt der auf die Basislinie senkrechten optischen

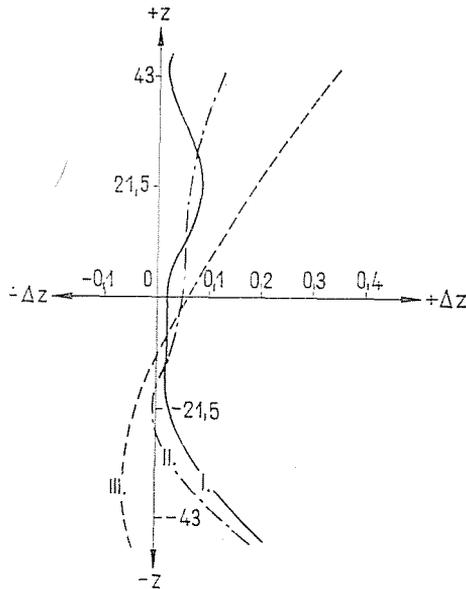


Abb. 3/c

Achsen darstellen. Im entgegengesetzten Falle wird ein vom tatsächlichen Parallaxenwert abweichender Wert p' gemessen, wo

$$p' = p + b,$$

der berechnete Wert also

$$Y' = \frac{b \cdot f}{p'} = Y \frac{p}{p'}$$

sein wird, d. h. alle drei Raumkoordinatenwerte mit Maßstabfaktoren belastet sein werden.

Durch den Fehler der Kammerkonstante werden die Ergebnisse noch mehr beeinträchtigt; durch diese wird nämlich nur der Y-Wert verzerrt und damit der Y-Wert anderen Maßstabes als der X- und der Z-Wert, d. h. affin verzerrt sein.

Werden nur relative Angaben benötigt, ist die Verzeichnung von minderer Bedeutung, da der untersuchte Punkt in jedem Falle annähernd den gleichen

Platz im Bilde einnimmt; daher erübrigt sich eine Korrektur der Bildkoordinaten.

Anhand der vorigen Ausführungen läßt sich für die innere Orientierung die Feststellung machen, daß *vor jeder Aufnahme das Quadratnetz neu aufzunehmen ist, und auf dieser Grundlage muß die neue Kammerkonstante bestimmt werden*. Ist nämlich auf der Objektivhalterung nicht einmal eine Indexmarke vorhanden, so ist es unmöglich, dieselbe Lage wiederherzustellen. Es muß unbedingt angestrebt werden, daß *wenigstens die senkrechten Rahmenmarken auf dem Bilde aufgenommen werden*, damit der richtige Parallaxenwert gemessen bzw. berechnet werden kann.

Bei der äußeren Orientierung läßt sich die auf die Basislinie senkrechte photographische Achse verhältnismäßig leicht erzielen. Es ist jedoch der *Parallelität von Basislinie und Dingenbene* eine große Aufmerksamkeit zu widmen. Bei einer Aufnahmeentfernung von $Y = 1$ m und durch die Verdrehung der Basis $\varphi = 6^\circ$ wird der Y -Wert bereits um 0,1 mm verzerrt, wozu doch $\varphi = 6^\circ$ nur eine Abweichung von 2 bis 2,5 cm von der Parallelität darstellt.

Es ist besonders zu betonen, wenn die zwei Bilder im Falle einer Belastung mit derselben Kammer aufgenommen wurden: die Umstellung auf einen anderen Punkt und der Plattenwechsel erfordern etwa 1 Min., und in dieser Zeit können sich nämlich die Punkte im Raum auch verschieben.

Man muß also trachten, daß das Bildpaar mit zwei Kammern mit nahezu gleichen Konstanten gleichzeitig aufgenommen wird. Hier ist zu unterstreichen, daß zwischen den Kammerkonstanten von visuell scharfgestellten zwei Aufnahmen große Abweichungen vorkommen können, daher ist die auf der Objektivhalterung angebrachte Marke unentbehrlich [12].

Die Versuche konnten auf Fehler nicht untersucht werden, weil zum Vergleich nur die geodätische Methode zur Verfügung stand. Prüft man die Fehlerformel des Vorwärtseinschnitts, läßt sich feststellen, daß der Winkelmessungsfehler bei den Versuchen vernachlässigbar klein ist, lediglich der Längenmessungsfehler ist von entscheidender Bedeutung. Wie sorgfältig auch die Länge bestimmt wird, kann kein besseres Ergebnis als auf photogrammetrischem Wege erhalten werden, somit könnten lediglich zwei Messungen mit gleichen Werten verglichen werden.

3. Der Photoapparat als Aufnahmeinstrument

Für die Bildmessung im Nahbereich werden in der ganzen Welt in zunehmendem Maße Photoapparate herangezogen [1, 14].

Von DÖHLER [12] wurden eingehende Untersuchungen mit Aufnahmekammern *Hasselblad*, *Robot Recorder* und *Linhof Technica* unternommen.

Die Ergebnisse der Prüfung der inneren Orientierung werden tabellarisch mitgeteilt. Durch einen Vergleich der Ergebnisse läßt sich feststellen, daß Kammern mit eingebauten (nicht auswechselbaren) Objektiven, die mit Platten oder Schnitt-Filmen arbeiten, gleiche Ergebnisse liefern wie die soeben beschriebene Stereomeßkammer mit Vorsatzlinse oder der umgebaute Phototheodolit. Die mit Rollfilm arbeitende *Hasselblad*-Kammer, ja sogar die *Contax* mit Kleinbildfilm ergeben nur den doppelten Fehler im Vergleich zu den hausgemachten Kammern. Bei letzteren ist die Fehlerursache vor allem in der Filmauflage zu suchen.

Durch die Untersuchung wurde nachgewiesen, daß man — das Objektiv auf die in die Halterung der Photoapparate eingeritzten Entfernungsmarken zurückgestellt — immer die bereits bestimmte, geeignete Bildweite erhält, für die auch die Größe der Verzeichnung bekannt ist. Damit wäre bei den Stativaufnahme nur die äußere Orientierung zu bestimmen, nach dieser sind dann mit Hilfe der Paßpunkte die Bildkoordinaten zu korrigieren.

Bei einer großen Anzahl von Arbeitsphasen bedient man sich bereits zweckmäßig der Rechenanlage.

4. Schlußfolgerungen

Anhand der Untersuchungen am Lehrstuhl und des Fachschrifttums läßt sich feststellen, daß auch die verschiedenen eigens zusammengebauten Kammern und Photoapparate nur unter Berücksichtigung gewisser Bindungen und um den Preis gewisser Zugeständnisse hinsichtlich der Genauigkeit verwendet werden können.

Die meisten Fehler und Schwierigkeiten entstanden beim umgebauten Phototheodolit. Die äußere Orientierung ist zwar bekannt, doch nehmen wegen der Änderung der inneren Orientierung je Aufnahme die zusätzlichen Berechnungen an Umfang zu; um die erforderliche Genauigkeit und eine verhältnismäßig rasche Auswertung zu gewährleisten, muß eine Rechenanlage herangezogen werden. Es müssen jedoch vorläufige Berechnungen gemacht werden, um anhand der Fehler die noch zulässige, minimale Aufnahmeentfernung zu ermitteln.

Die Aufnahmekammern mit Platten und Schnitt-Filmen besitzen den Vorteil der Zurückstellbarkeit der inneren Orientierung, doch muß auch hier wegen der unbekanntem äußeren Orientierung die Rechenanlage aushelfen.

Am günstigsten läßt sich noch die Stereomeßkammer mit Vorsatzlinse verwenden, wo nach einmaliger Bestimmung die innere Orientierung ein für alle Mal gegeben und die äußere Orientierung immer bekannt ist. Die Vorsatzlinse ist mit größerer Sorgfalt auszuwählen, dann werden die Arbeitsvorgänge der Aufnahme und der Auswertung des Bildes sehr vereinfacht.

Die untersuchten »ergänzenden« photogrammetrischen Aufnahmegeräte dürfen jedoch nur eingesetzt werden, wenn man nicht in der Lage ist, eine zweckdienliche, regelrechte Meßkammer zu benutzen. Die Herstellerfirmen der photogrammetrischen Geräte (*Wild, Zeiss, Opton, Galileo-Santoni*), haben in den letzten Jahren bereits die Bedeutung dieses Problems erkannt, und es erscheinen immer neuere Mehrzweck-Meßkammern auf dem Markt. So können mit den neuen Stereomeßkammern *Wild* und *Opton* mit Vorsatzlinse auch innerhalb einer Entfernung von 1 m Aufnahmen gemacht werden. Für Aufnahmen im Nahbereich dienen die *Vertosa*-Kammer der Firma *Galileo-Santoni* sowie der Phototheodolit *Wild P 32*. Unlängst ist auch die speziell zusammengebaute Weitwinkel-*UMK*-Kammer der Firma *Zeiss* erschienen, bei der die Kammerkonstanten für sieben Aufnahmeentfernungen schon vom Fertigerwerk angegeben sind. Die Basislinie kann zwischen 350 und 1600 mm gewählt werden. Somit läßt sich ein großer Vorteil der Erdbildmessung, die Einfachheit der Ausführung für die industrielle Nahbildmessung ausnutzen, wobei praktisch sämtliche Aufgaben mit der erforderlichen Genauigkeit ausgeführt werden können.

Der Einfachheit, Schnelligkeit und größeren Genauigkeit halber soll man sich womöglich der geeigneten Kammer der optischen Werke bedienen.

Zusammenfassung

Im ersten Teil des Beitrags wird die Prüfung von zwei für Nahbildmessung umgebauten Phototheodoliten — einer mit Vorsatzlinse ausgerüsteten Stereomeßkammer und eines für veränderliche Bildweite konstruierten Phototheos 1318 — beschrieben und es werden die nach dem Umbau vorkommenden Fehler behandelt. Teils anhand des Fachschrifftums, teils von eigenen Versuchsergebnissen der Verfasserin werden die Anwendungsmöglichkeiten der photographischen Kammer für die Zwecke der Bildmessung im Nahbereich erörtert.

Im zweiten Teil wird aus den bisherigen Ausführungen der Schluß gezogen, daß sich die an den mit der Stereomeßkammer mit Vorsatzlinse gemachten Bildern abgemessenen Bildkoordinaten nur mit Korrektur verarbeiten lassen; während wegen des zu den Phototheo-Aufnahmen gehörenden Bildabstands jeder Aufnahme vorangehend die äußere und innere Orientierung bestimmt oder für die häufiger vorkommenden Entfernungen die Kalibrierung im voraus durchgeführt werden müssen; dazu sind die entsprechenden Objektivstellungen auf der Halterung zu bezeichnen. In der letzteren Weise lassen sich mit geringerer Genauigkeit auch Photoapparate anwenden. Am einfachsten ist jedoch, sich der von optischen Werken eigens für diesen Zweck entwickelten Kammer zu bedienen.

Schrifttum

1. MOFFITT, F. H.: Photogrammetry (2. d. Ed. International Textbook Company, Scranton, Pennsylvania, 1967).
2. BÁRÁNY, N.: Theorie und Praxis der optischen Instrumente.* Bd. II. Ausgabe des Ministeriums für Landesverteidigung, Budapest, 1951.
3. HALLERT, B.: The grid method and the parallax method for the determination of systematic disturbances in aerial and terrestrial photographs. Int. Archives of Photogrammetry, Vol. XII. Part. 4. a. Congress Stockholm, 1956.

4. HALLERT, B.: Tests of fundamental photogrammetric operations. Int. Archives of Photogrammetry, Vol. XII. Part 4. a. II. H. 2. Congress Stockholm, 1956.
5. LÁNG, G.: Genauigkeit der Nahbildmessung.* Geodézia és Kartográfia, 1971. Nr. 2.
6. MÉLYKUTI, G.: Anwendung der Stereo-Erdbildmessung für Deformationsmessungen.* Studentenzirkel-Wettbewerb. Manuskript 1971.
7. FARKAS, B.—SÁFÁR, I.: Räumliche Modellversuche in Verbindung mit dem versuchsmäßig unterfahrenen Gebiet der Ortschaft Dudar.* Forschungsinstitut für Bergbau. Forschungsbericht, 1970.
8. HALÁSZ, O.—IVÁNYI, M.—KIS PAPP, L.: Photogrammetric techniques in the experimental analysis of instability problems of I. beams (Manuskript)
9. GYULAI, F.: Photographenhandbuch.* Budapest, 1962.
10. HOMORÓDI, L.—DOMOKOS, M.: Photogrammetrie.* Lehrstoffheft, Tankönyvkiadó, Budapest, 1969.
11. SCHWIDEFSKY, K.: Precision photogrammetry at close ranges with simple cameras. The Photogrammetric Record, 1970. Vol. VI. No. 36.
12. DÖHLER, M.: Beiträge zur Kalibrierung von Aufnahmekammern im Nahbereich. Bildmessung und Luftbildwesen. 1971. No. 2.
13. MARUYASU, T.—OSHIMA, T.: Short range photogrammetry of objects in motion. An invited paper of Comm. V. for the Int. Congress of Photogrammetry, 1968. Lausanne.

* In ungarischer Sprache.

Oberassistentin Dr. Gertrud LÁNG, Budapest XI., Műgyetem-rkp. 3, Ungarn