Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

Band: 62 (1964)

Heft: 2

Artikel: Analytische Luftphotogrammetrie

Autor: Hallert, B.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-219197

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: 20.02.2026

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

Stationsnetzes im Vergleich zur Ausdehnung der sichtbaren Massen ist und je mehr Stationen das Netz aufweist.

Auf eine nähere Beschreibung des Programms soll hier nicht eingegangen werden. Detaillierte Angaben über die Anwendung des Programms sind der ausführlichen Anleitung zu entnehmen. Im Institut für Geophysik und in der Schweizerischen Geodätischen Kommission an der ETH in Zürich liegt je ein Exemplar auf.

(Fortsetzung folgt)

Analytische Luftphotogrammetrie

B. Hallert, Stockholm

Zusammenfassung

Die grundlegende Genauigkeit der Bildkoordinaten photographischer Luftaufnahmen ist unter wirklichen Aufnahmeverhältnissen geprüft worden. Mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate sind die regelmäßigen Fehler der Bildkoordinaten möglichst gut von den unregelmäßigen Fehlern getrennt, und die letzteren sind als mittlere Gewichtseinheitsfehler bestimmt und angegeben worden. Es wurde eine ausgeprägte Gewichtsverteilung der Bildkoordinaten in Richtung des Radius vom Bildhauptpunkt aus festgestellt. Der quadratische Mittelwert der mittleren Gewichtseinheitsfehler der Bildkoordinaten ist zu ± 7 μm gefunden worden.

Nach einer elementaren Ableitung grundlegender Formeln der analytischen Photogrammetrie sind praktische analytische Auswertungen durchgeführt worden. Die Messungen der Bildkoordinaten sind im Stereokomparator Wild Stk 824 und die Berechnungen in der elektronischen Rechenanlage FACIT durchgeführt worden. Die Genauigkeitsverhältnisse sind sehr gut unter der Voraussetzung, daß regelmäßige Bildfehler korrigiert werden. Die quadratischen Mittelwerte der Höhenfehler wurden theoretisch und praktisch als etwa $^1/_{15000}$ der Flughöhe gefunden.

Résumé

L'exactitude fondamentale des coordonnées de l'image de prises de vue aériennes a été vérifiée dans des conditions de levé réelles. A l'aide de la méthode des moindres carrés, les erreurs systématiques de l'image ont été séparées aussi bien que possible des erreurs accidentelles et ces dernières déterminées et représentées comme erreurs moyennes d'unité de poids. Il a été constaté une répartition très prononcée en fonction du rayon à partir du point principal de l'image. La valeur de la moyenne quadratique de l'erreur d'unité de poids des coordonnées de l'image a été trouvée de ± 7 μm.

Après une dérivation élémentaire des formules principales de la photogrammétrie analytique, des restitutions analytiques pratiques ont été effectuées. Les mesures des coordonnées de l'image ont été exécutées avec le stéréocomparateur Wild Stk 824 et les calculs au moyen d'une calculatrice électronique FACIT. Les rapports d'exactitude sont très bons, pour autant que les erreurs systématiques de l'image soient corrigées. La valeur de la moyenne quadratique de l'erreur altimétrique a été déterminée, en théorie comme en pratique, à environ $^1/_{15000}$ de la hauteur de vol.

Einige Resultate von Präzisions- und Genauigkeitsuntersuchungen eines Stereokomparators Wild Stk 824 sind in [1] veröffentlicht worden.

Mit demselben Gerät sind zudem umfassende Untersuchungen über die grundlegende Genauigkeit von Luftaufnahmen und über analytische Auswertungen durchgeführt worden. Für die Untersuchungen wurde das Probefeld Öland verwendet (Abb. 1). Die Luftbilder wurden aus der Flughöhe 1200 m über Grund aufgenommen. In geeigneten Einzelbildern wurden die Genauigkeitsverhältnisse der Bildkoordinaten nach der Gittermethode bestimmt (vgl. [2]). Die wichtigsten regelmäßigen Fehler der

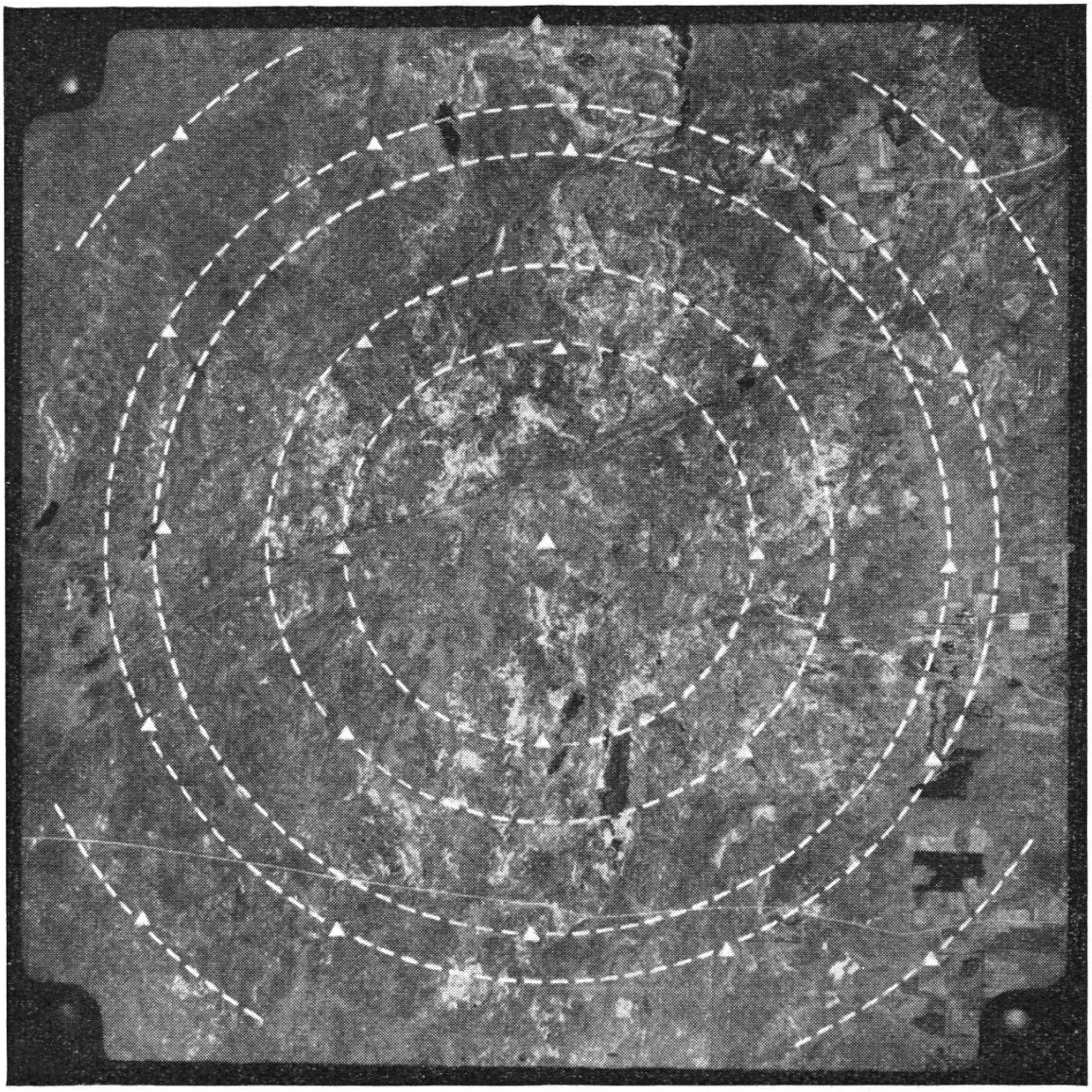


Abb. 1. Das Probefeld Öland. Die sehr genau vermessenen Festpunkte sind regelmäßig verteilt und im Felsen vermarkt und signalisiert. Das Feld enthält heute etwa 70 Punkte. Die mittleren Fehler der geodätischen Koordinaten sind 15 bis 20 mm und diejenigen der Höhen 5–10 mm. Das Format des Feldes ist 6 × 6 km. Signaldurchmesser = 1200 mm

Bildkoordinaten wurden also unter wirklichen Aufnahmeverhältnissen mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate von den unregelmäßigen Fehlern getrennt, und für die letzteren wurde der mittlere Gewichtseinheitsfehler geschätzt. Die radiale Verzeichnung, die Affinität und die einzelnen Restfehler der Bildkoordinaten nach der Ausgleichung wurden ferner als direkte Funktionen der beobachteten Widersprüche dargestellt und berechnet. Zudem wurden die entsprechenden mittleren Fehler und Konfidenzgrenzen bestimmt. Die Normalität der Restfehlerverteilung wurde auf Grund der statistischen Methoden geprüft (vgl. auch [1]).

Einige Resultate der durchgeführten Einzelbilduntersuchungen werden in der Tabelle 1 und in den Abbildungen 2 und 3 gezeigt[1].

Tabelle 1[2]

Radius mm	Benutzte Objektive Mittlere Gewichtseinheitsfehler (Mikron)									Quadratische Mittelwerte
	Ag 3	Ag 3	Ag 29	Ag 29	Ag 38	Ag 38	Ag 41	Ag 41	Ag 196	
23,4	4,2	2,8	4,9	6,8	3,1	1,6	5,2	5,1	1,0	4,2
33,1	8,3	3,3	4,3	5,1	2,2	5,1	3,9	4,4	3,4	4,7
47,0	3,9	2,9	1,4	1,8	3,4	3,2	4,7	3,3	0,9	3,1
52,5	6,8	4,0	4,3	4,4	4,7	4,1	2,9	4,9	4,8	4,6
66,2	7,8	5,1	4,4	1,6	7,6	3,6	5,4	7,8	4,5	5,7
83,8	15,1	8,6	4,3	7,6	1,9	5,5	5,9	12,6	6,0	8,4
97,1	13,3	6,0	2,8	4,9	5,7	6,1	5,9	7,8	5,7	7,0
119,1	10,0	12,0	7,3	4,1	5,0	7,7	4,7	13,3	16,6	9,8
135,7	3,1	14,5	9,5	7,6	15,0	12,1	—	19,3	—	12,6
Quadratische Mittelwerte	9,0	7,7	5,3	5,3	6,6	6,2	5,3	10,0	7,1	7,2
Flugrichtung	N–S	O–W	N–S	O–W	N–S	O–W	N–S	O–W		

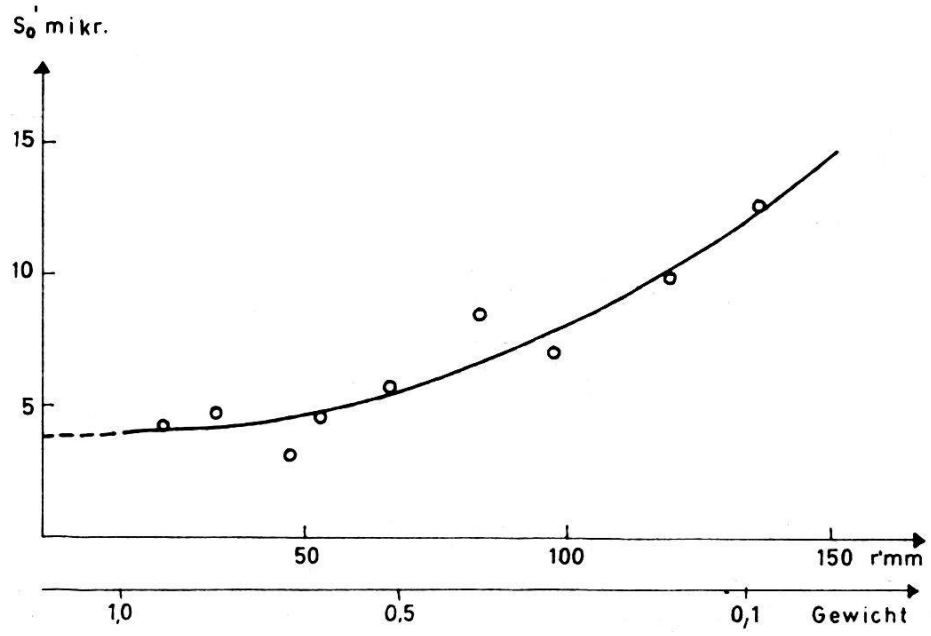
1. Die verwendeten mathematischen Beziehungen der analytischen Photogrammetrie

Die hier verwendeten Formeln entsprechen genau dem gewöhnlichen praktischen Verfahren bei stereoskopischen Projektionsauswertegeräten und sind dem System der Wild-Autographen angepaßt.

Dies bedeutet unter anderem, daß gewisse durch die Rechnung er-

[1] Das Verfahren ist von *K. Torlegård* und *B. Adolfsson* für die elektronische Rechenanlage FACIT programmiert worden. Es wäre sehr erwünscht, vollständige *Kalibrierungen* der Kammern und Bilder unter wirklichen Aufnahmeverhältnissen durchzuführen. Dies wäre möglich, wenn die Lage des (vorderen) Projektionszentrums der Kammer im Moment der Aufnahme über dem Probefeld in dem System der Festpunkte, zum Beispiel durch geodätischen Vorwärtseinschnitt, bestimmt werden könnte. Es ist beabsichtigt, solche Versuche im Frühjahr 1964 durchzuführen. Es wäre auch möglich, eine vollständige Kalibrierung durch Aufnahme eines sehr hügeligen Probefeldes vorzunehmen, das mit Vorteil in der Schweiz aufgebaut werden könnte.

[2] Analytisch kann die Variation des mittleren Gewichtseinheitsfehlers mit dem Radius r' wie folgt angegeben werden: $s_0' = 4{,}08 - 0{,}0171\, r' + 0{,}000576\, r'^2$.



$$S_0' = 4{,}08 - 0{,}0171\ r' + 0{,}000576\ (r')^2$$

Abb. 2. Gewichtsverteilung der Bildkoordinaten

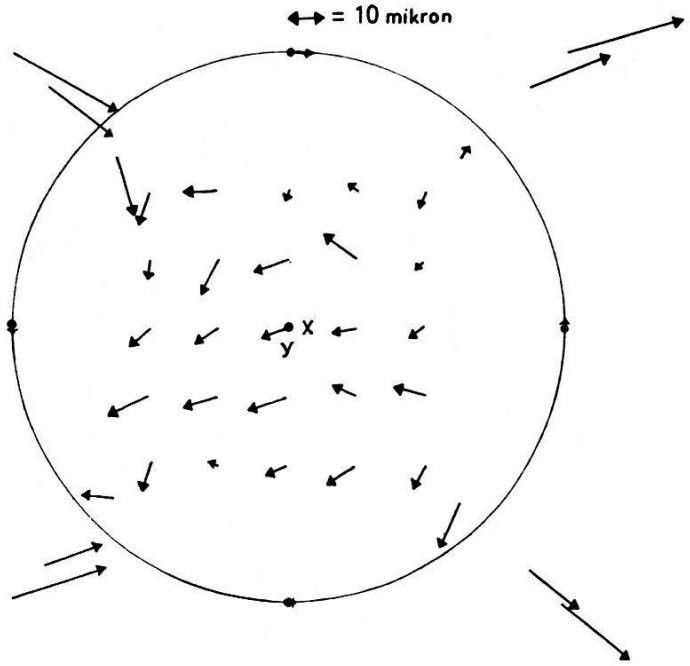


Abb. 3. Aviogon 38, c = 152,45 mm.
Das Probefeld Öland h = 1200 m. Restfehler der Bildkoordinaten nach Ausgleichung in fünf gezeigten Punkten

haltenen Orientierungsdaten unmittelbar in die Geräte für Detailauswertungen eingeführt werden können.

Die grundlegenden Formeln können bequem mit elementarer Mathematik abgeleitet werden. Abbildungen 4 und 5 zeigen den Normalfall für unabhängige Bildpaare beziehungsweise Bildanschluß. Die Bildkoordinaten und die Elemente der inneren Orientierung werden vorläufig mit Parenthesen geschrieben, was später näher erklärt werden wird. Die Kammerkonstanten werden vorläufig als verschieden angenommen. Doch wird strenge Zentralprojektion vorausgesetzt.

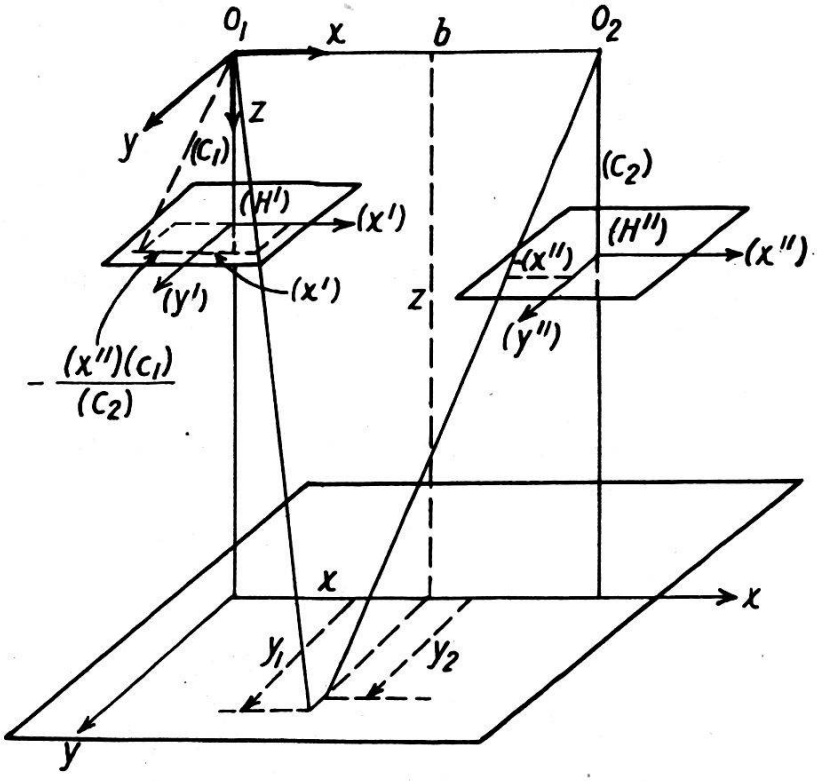


Abb. 4. Zur Ableitung der verwendeten analytischen Beziehungen zwischen Bildkoordinaten und Modellkoordinaten.

Gemäß Abbildung 4 werden unmittelbar folgende Beziehungen abgeleitet:

$$z = \frac{b\,(c_1)}{(x') - \dfrac{(x'')\,(c_1)}{(c_2)}} = \frac{(c_1)\,(c_2)}{(x')\,(c_2) - (x'')\,(c_1)}\,b \tag{1}$$

$$x = \frac{(x')\,z}{(c_1)} = \frac{(c_2)\,(x')}{(x')\,(c_2) - (x'')\,(c_1)}\,b \tag{2}$$

$$y_1 = \frac{(y')\,z}{(c_1)} = \frac{(c_2)\,(y')}{(x')\,(c_2) - (x'')\,(c_1)}\,b \tag{3}$$

$$y_2 = \frac{(y'')\,z}{(c_2)} = \frac{(c_1)\,(y'')}{(x')\,(c_2) - (x'')\,(c_1)}\,b \tag{4}$$

Die Bedingung der gegenseitigen Orientierung kann wie folgt geschrieben werden:

$$y_1 = y_2 \tag{5}$$

oder, gemäß (3) und (4):

$$\frac{(y')}{(c_1)} - \frac{(y'')}{(c_2)} = 0 \tag{6}$$

oder

$$(y')\,(c_2) = (y'')\,(c_1) \tag{7}$$

Falls diese Schnittbedingung nicht erfüllt ist, entsteht eine y-Parallaxe:

$$p_y = y_1 - y_2 \tag{8}$$

oder, gemäß (3) und (4):

$$p_y = \left\{ \frac{(y')}{(c_1)} - \frac{(y'')}{(c_2)} \right\} z = \frac{(y')\,(c_2) - (y'')\,(c_1)}{(x')\,(c_2) - (x'')\,(c_1)}\, b \tag{9}$$

Falls man die Parallaxe als Funktion von kleinen Orientierungsfehlern auffaßt, wird sie gewöhnlich wie folgt geschrieben:

$$p_y = dy_1 - dy_2,$$

wo dy_1 und dy_2 als lineare Differentialformeln der Orientierungselemente angegeben werden können.

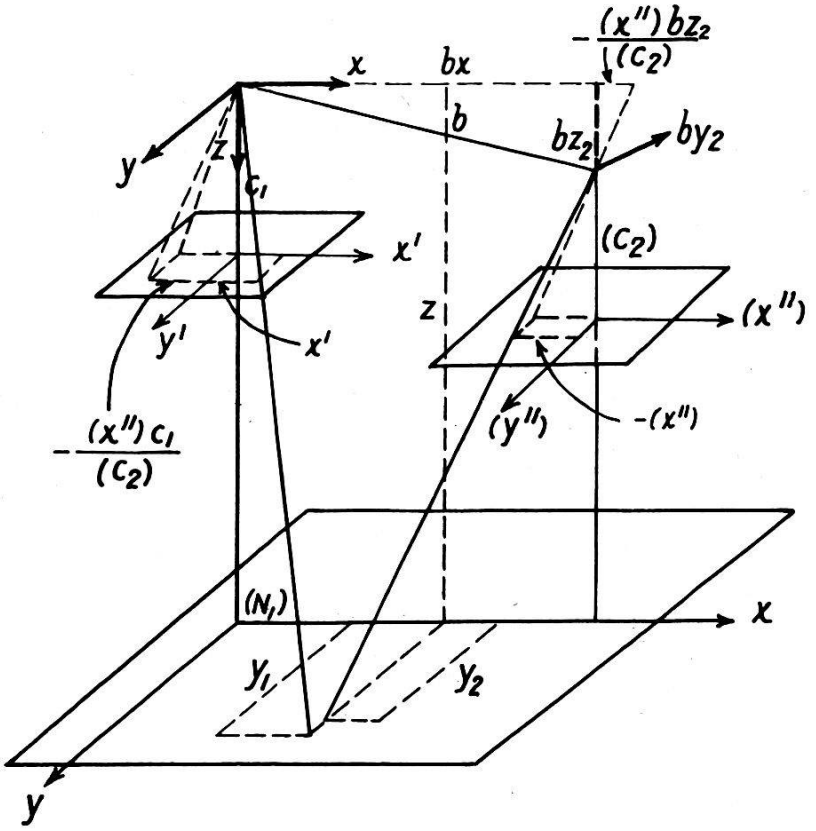


Abb. 5. Zur Ableitung der analytischen Beziehungen zwischen Bildkoordinaten und Modellkoordinaten. Bildanschluß

Bei *Bildanschluß* findet man gemäß Abbildung 5:

$$z = \frac{bx - \dfrac{(x'')\,bz_2}{(c_2)}}{x' - \dfrac{(x'')\,c_1}{(c_2)}}\,c_1 = \frac{(c_2)\,bx - (x'')\,bz_2}{(c_2)\,x' - (x'')\,c_1}\,c_1 \tag{10}$$

$$x = \frac{x'\,z}{c_1} = \frac{(c_2)\,bx - (x'')\,bz_2}{(c_2)\,x' - (x'')\,c_1}\,x' \tag{11}$$

$$y_1 = \frac{y'\,z}{c_1} = \frac{(c_2)\,bx - (x'')\,bz_2}{(c_2)\,x' - (x'')\,c_1}\,y' \tag{12}$$

$$y_2 = \frac{(y'')\,(z - bz_2)}{(c_2)} - by_2 = \frac{c_1\,bx - x'\,bz_2}{(c_2)\,x' - (x'')\,c_1}\,(y'') - by_2 \tag{13}$$

Und ferner:

$$y_1 - y_2 = p_y = \frac{y'\,z}{c_1} - \frac{(y'')\,(z - bz_2)}{(c_2)} + by_2 \tag{14}$$

Nach Einsetzen von (12) und (13) erhält man:

$$p_y = \frac{bx\left\{(c_2)\,y' - (y'')\,c_1\right\} + bz_2\left\{(y'')\,x' - (x'')\,y'\right\} + by_2\left\{(c_2)\,x' - (x'')\,c_1\right\}}{(c_2)\,x' - (x'')\,c_1} \tag{15}$$

Die Beziehungen zwischen den Bildkoordinaten (x_r), (y_r), (c) eines nicht rotierten Bildes (einer Aufnahme gemäß Normalfall) und den entsprechenden Bildkoordinaten (x_r, y_r, c) desselben um die Winkel ω, φ und $\varkappa$ rotierten Bildes sind wie bekannt für die Achsenanordnung und Rotationsrichtungen der Wild-Autographen (vgl. Abbildungen 6 und 7):

$$(x_r) = x_r \cos\varphi \cos\varkappa - y_r \cos\varphi \sin\varkappa - c \sin\varphi \tag{16}$$

$$\begin{aligned}(y_r) &= x_r\,(\sin\omega \sin\varphi \cos\varkappa + \cos\omega \sin\varkappa) + \\ &+ y_r\,(\cos\omega \cos\varkappa - \sin\omega \sin\varphi \sin\varkappa) + c \sin\omega \cos\varphi\end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned}(c) &= x_r\,(-\sin\omega \sin\varkappa + \cos\omega \sin\varphi \cos\varkappa) - \\ &- y_r\,(\cos\omega \sin\varphi \sin\varkappa + \sin\omega \cos\varkappa) + c \cos\omega \cos\varphi\end{aligned} \tag{18}$$

Diese Ausdrücke werden auf die beiden Bilder verwendet, und man erhält für die gegenseitige Orientierung (ω_1 als fest angenommen):

$$(x') = x' \cos\varphi_1 \cos\varkappa_1 - y' \cos\varphi_1 \sin\varkappa_1 - c \sin\varphi_1 \tag{19}$$

$$(y') = x' \sin\varkappa_1 + y' \cos\varkappa_1 \tag{20}$$

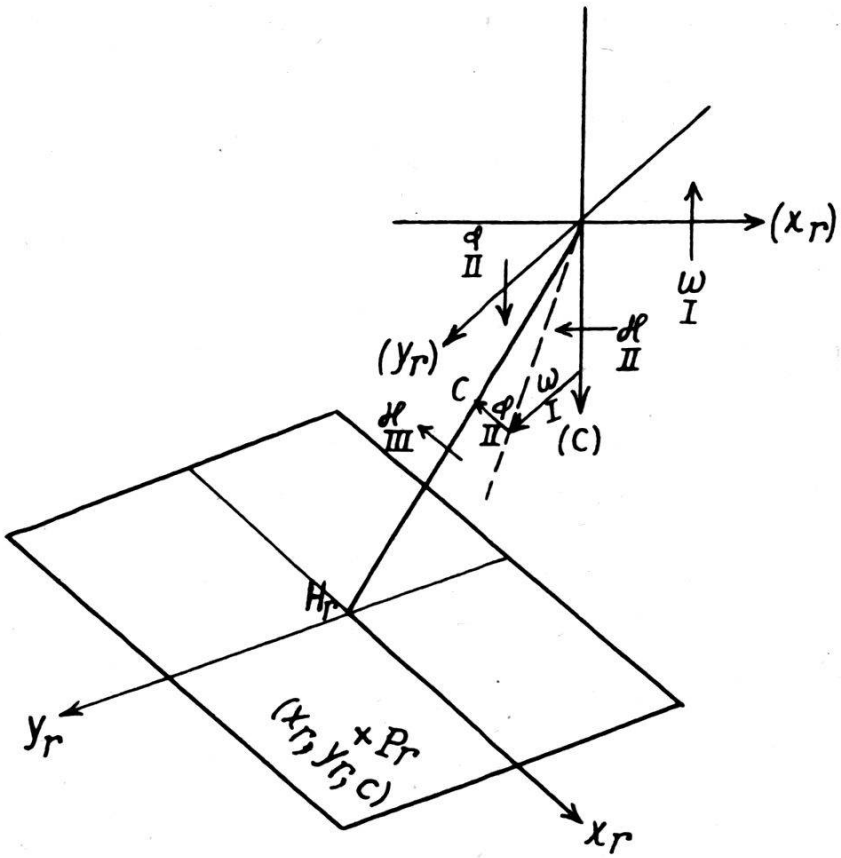


Abb. 6. Transformation von rotierten Bildkoordinaten x_r, y_r, c in das feste System (x_r), (y_r), (c)

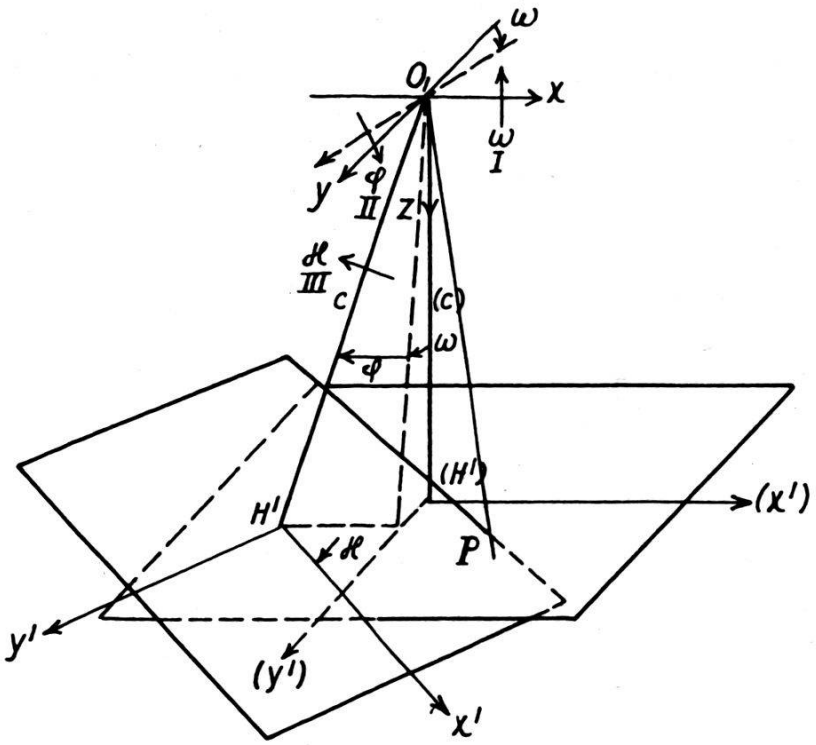


Abb. 7. Transformation der Bildkoordinaten des linken Bildes x', y', c' in das feste System (x'), (y'), c

$$(c_1) = x' \sin\varphi_1 \cos\varkappa_1 - y' \sin\varphi_1 \sin\varkappa_1 + c \cos\varphi_1 \tag{21}$$

$$(x'') = x'' \cos\varphi_2 \cos\varkappa_2 - y'' \cos\varphi_2 \sin\varkappa_2 - c \sin\varphi_2 \tag{22}$$

$$\begin{aligned}(y'') &= x'' (\sin\omega_2 \sin\varphi_2 \cos\varkappa_2 + \cos\omega_2 \sin\varkappa_2) + \\ &+ y'' (\cos\omega_2 \cos\varkappa_2 - \sin\omega_2 \sin\varphi_2 \sin\varkappa_2) + c \sin\omega_2 \cos\varphi_2\end{aligned} \tag{23}$$

$$\begin{aligned}(c_2) &= x'' (- \sin\omega_2 \sin\varkappa_2 + \cos\omega_2 \sin\varphi_2 \cos\varkappa_2) - \\ &- y'' (\cos\omega_2 \sin\varphi_2 \sin\varkappa_2 + \sin\omega_2 \cos\varkappa_2) + c \cos\omega_2 \cos\varphi_2\end{aligned} \tag{24}$$

Nach Einsetzen dieser Ausdrücke in (9) und (15) wird die Bedingung der gegenseitigen Orientierung als Funktion der Elemente der gegenseitigen Orientierung geschrieben. Die fünf Elemente können im allgemeinen aus den Widersprüchen von fünf Strahlenpaaren berechnet werden. Ein Iterationsverfahren ist offenbar notwendig, da es sich um transzendente Funktionen handelt. Werden mehr als fünf Strahlenpaare verwendet, so kann eine Ausgleichung durchgeführt und die Genauigkeitsverhältnisse können in bekannter Weise bestimmt werden.

Nach Bestimmung der Elemente der gegenseitigen Orientierung lassen sich vorläufige Modellkoordinaten gemäß (1) bis (4) beziehungsweise (10) bis (13) rechnen.

Die *absolute Orientierung* wird als eine räumliche Koordinatentransformation gemäß Formeln wie (16) bis (18) durchgeführt, unter Verwendung der folgenden Ausdrücke:

$$X = X_0 + x\, S_x \cos\eta \cos\alpha - y\, S_y \cos\eta \sin\alpha + z\, S_z \sin\eta \tag{25}$$

$$\begin{aligned}Y &= Y_0 + x\, S_x (\sin\xi \sin\eta \cos\alpha + \cos\xi \sin\alpha) + y\, S_y (\cos\xi \cos\alpha - \\ &- \sin\xi \sin\eta \sin\alpha) - z\, S_z \sin\xi \cos\eta\end{aligned} \tag{26}$$

$$\begin{aligned}Z &= Z_0 + x\, S_x (- \sin\xi \sin\alpha + \cos\xi \sin\eta \cos\alpha) - \\ &- y\, S_y (\cos\xi \sin\eta \sin\alpha + \sin\xi \cos\alpha) - z\, S_z \cos\xi \cos\eta\end{aligned} \tag{27}$$

In diesen Formeln bedeuten:

X, Y, Z	Gegebene Geländekoordinaten und Höhen
x, y, z	Berechnete Modellkoordinaten und Höhen
X_0, Y_0, Z_0	Die Translationen des Koordinatensystems x, y, z
S_x, S_y, S_z	Drei Maßstabsfaktoren (affine Maßstabänderung)
ξ, η, α	Die Rotationen des Modells um die Achsen x, y und z, in der angegebenen Ordnung

Im allgemeinen können die drei Maßstabfaktoren durch einen gemeinsamen Faktor S ersetzt werden.

Auch im Falle der absoluten Orientierung muß im allgemeinen ein Iterationsverfahren verwendet werden.

2. *Praktische Resultate der analytischen Auswertungen*

Sämtliche Formeln der gegenseitigen und absoluten Orientierung sind unter allgemeinen Voraussetzungen für die elektronische Rechenanlage FACIT programmiert worden. Es wurden mehrere Beispiele berechnet[1]. Durch die Ausgleichung der gegenseitigen Orientierung sind die mittleren Gewichtseinheitsfehler der y-Parallaxen im allgemeinen aus 15 Punkten berechnet worden. Sie werden unten mit dem Ausdruck $s_{0_{15}}$ bezeichnet. In allen anderen Punkten sind auch die restlichen y-Parallaxen automatisch berechnet worden. Die entsprechenden quadratischen Mittelwerte solcher Parallaxen werden mit *qmw* bezeichnet.

Die absolute Orientierung wurde mit 5 Festpunkten durchgeführt, die ungefähr in den Ecken und in der Mitte des Modells liegen.

Die für diese Festpunktlage abgeleiteten Formeln der mittleren Fehler der endgültigen X-, Y- und Z-Koordinaten wurden schließlich dazu benutzt, aus dem mittleren Gewichtseinheitsfehler der y-Parallaxen die theoretisch zu erwartenden quadratischen Mittelwerte dieser mittleren Fehler zu berechnen[2]. Auch die Konfidenzgrenzen dieser quadratischen Mittelwerte sind gemäß bekannten statistischen Methoden (*chi*^{2}-Verteilung) berechnet worden.

Durch den Vergleich der photogrammetrischen Koordinaten von überzähligen Kontrollpunkten mit den entsprechenden als fehlerfrei betrachteten geodätischen Koordinaten sind die wahren Widersprüche erhalten worden. Die quadratischen Mittelwerte dieser Widersprüche können als wahre Werte der quadratischen Mittelwerte der theoretisch aus den mittleren Fehlern der y-Parallaxen berechneten mittleren Fehler der endgültigen Koordinaten betrachtet werden. Die quadratischen Mittelwerte der wahren Widersprüche sollen also innerhalb der Konfidenzgrenzen der entsprechenden theoretischen Werte fallen. Ist das der Fall, so kann die theoretische Ableitung der Fehlerfortpflanzungsformeln als bestätigt angesehen werden.

In den Tabellen 2 bis 4 werden die Resultate einer Reihe von Untersuchungen mit verschiedenen Kammern gezeigt. In den Tabellen 2 und 4 stimmt die Theorie genügend gut mit der Wirklichkeit überein. Es wurden offenbar sehr gute Genauigkeiten erhalten. Die mittleren Höhenfehler sind von der Größenordnung Flughöhe/15000. Der Durchmesser der runden Signale ist 1200 mm.

Resultate von analytischer Auswertung von Luftaufnahmen nach Bildkoordinatenmessungen in dem Stereokomparator Wild Stk 824. Programm: J. Talts. Probefeld: Öland.

---

[1] Diese Arbeit stammt von *J. Talts*.

[2] Die mittleren Fehler der endgültigen Geländekoordinaten sind in [2] abgeleitet und in [3] praktisch geprüft worden.

Tabelle 2: Aviogon-Kammern; c = 153 mm; Film; Flughöhe 1200 m

Kammer	$s_{0_{15}}$ Mikron	*qmw* Mikron	Quadratische Mittelwerte von Widersprüchen in überzähligen Festpunkten mm im Gelände			Theoretische quadratische Mittelwerte gemäß $s_{0_{15}}$ und Konfidenzgrenzen (5 %) mm im Gelände		
			x	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*
Ag 3	4,1	3,1	40	48	74	26<36<63	28<39<69	42<59<104
Ag 29	4,4	3,3	52	46	87	27<39<68	30<42<74	45<63<111
Ag 38	5,2	3,1	64	67	70	32<46<80	35<50<87	52<75<131
Ag 41	4,9	4,5	53	54	90	30<43<76	33<47<83	49<71<124
Ag 196	6,7	4,3	53	53	125	41<59<106	45<64<116	67<96<173

Tabelle 3: Entsprechende Resultate wie in der Tabelle 2 (ohne Korrektion der regelmäßigen Bildfehler)

Kammer	$s_{0_{15}}$ Mikron	*qmw* Mikron	Quadratische Mittelwerte von Widersprüchen in überzähligen Festpunkten mm im Gelände			Theoretische quadratische Mittelwerte gemäß $s_{0_{15}}$ und Konfidenzgrenzen (5 %) mm im Gelände		
			x	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*
Ag 3	5,6	5,3	139	155	134	34<49<89	38<54<97	56< 81<145
Ag 38	9,7	6,9	138	124	103	60<85<145	65<93<168	98<140<251

Tabelle 4: Super-Aviogon; c = 88 mm; Flughöhe 2600 m

Kammer	$s_{0_{15}}$ Mikron	*qmw* Mikron	Quadratische Mittelwerte von Widersprüchen in überzähligen Festpunkten mm im Gelände			Theoretische quadratische Mittelwerte gemäß $s_{0_{15}}$ und Konfidenzgrenzen (5 %) mm im Gelände		
			x	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*
Super-Aviogon	6,7	7,9	144	226	145	140<200<360	146<209<376	127<181<326

$s_{0_{15}}$ ist der mittlere Gewichtseinheitsfehler der *y*-Parallaxen nach Messungen in 15 Punkten.

qmw ist der quadratische Mittelwert von restlichen *y*-Parallaxen in anderen Modellpunkten, die nicht in der Ausgleichung der gegenseitigen Orientierung benutzt waren.

Zu den Tabellen 2 bis 4 kann folgendes bemerkt werden.

Die mittleren Gewichtseinheitsfehler $s_{0_{15}}$ gemäß Tabelle 2 sind durchschnittlich etwa 5 μm und also wesentlich kleiner als der quadratische Mittelwert der mittleren Gewichtseinheitsfehler der Bildkoordinaten gemäß Tabelle 1. Es ist also eine bedeutende Korrelation zwischen den y-Koordinaten benachbarter Bilder vorhanden, wahrscheinlich wegen Schrumpfungen. Der Korrelationskoeffizient kann berechnet werden. Die quadratischen Mittelwerte von Restparallaxen in anderen Modellpunkten als in denjenigen, die in der Ausgleichung der gegenseitigen Orientierung verwendet wurden, sind durchgehend kleiner als die entsprechenden mittleren Gewichtseinheitsfehler. Dies dürfte damit zusammenhängen, daß die Orientierungspunkte durchschnittlich weiter von dem Modellmittelpunkt entfernt sind als die Kontrollpunkte und daß also die Gewichtsverhältnisse gemäß Abbildung 2 wesentlich verschieden sind.

Die quadratischen Mittelwerte der wahren Widersprüche (in etwa 30 überzähligen Festpunkten per Modell) in den Tabellen 2 und 4 fallen gut zwischen die Konfidenzgrenzen, die aus dem mittleren Gewichtseinheitsfehler der y-Parallaxen berechnet sind. In der Tabelle 3 sind die wahren Widersprüche im allgemeinen größer als die oberen Konfidenzgrenzen. Die Ursache dafür sind nicht korrigierte regelmäßige Fehler. Die gefundene Genauigkeit der Überweitwinkelbilder ist recht bemerkenswert. Weitere Untersuchungen solcher Bilder sind erwünscht.

Sämtliche Luftbilder sind von dem Schwedischen Reichsamt für Landesaufnahme (Rikets Allmänna Kartverk) aufgenommen worden. Folgende Herren haben die Messungen und Berechnungen durchgeführt: B. Adolfsson, C. O. Jonason, P. Kaasila, H. Middel, A. Morén, J. Talts, K. Torlegård.

Literatur

[1] *B. Hallert,* Bestimmung der Präzision und Genauigkeit eines Stereokomparators. Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie, 1963: 9.

[2] *B. Hallert,* Über die Genauigkeit der Luftphotogrammetrie. Kungl. Tekniska Högskolans Handlingar, Nr. 99, Stockholm 1956.

[3] *B. Hallert, L. Ottoson, C. O. Ternryd,* Fundamental Questions in Relation to Controlled Experiments. Int. Gesellschaft für Photogrammetrie, Kommission IV: 4, London 1960.