

EIN ALLGEMEIN FORMULIERTES KONZEPT ZUR BILDTRIANGULATION MIT GEMEINSAMER AUSGLEICHUNG PHOTOGRAMMETRISCHER UND GEODÄTISCHER BEOBACHTUNGEN

by Wilfried Wester-Ebbinghaus
Institute for Photogrammetry and Engineering Surveys
University of Hannover
Federal Republic of Germany
Commission III

ABSTRACT

The multi-image-orientation system MOR allows a general bundle adjustment with extensive possibilities to include additional photogrammetric and geodetic information. The paper describes the mathematical formulation.

Einleitung

Mit einem allgemein formulierten funktionalen und stochastischen Ansatz zur Bündeltriangulation kann die zur Punktbestimmung im Bild- und Objektraum gegebene Information vollständig in einem gemeinsamen Ausgleichungsprozeß vereinigt werden. Photogrammetrische Strahlenbündel und geodätische Richtungsbündel, Strecken-, Richtungs- und Winkelbeobachtungen im Objektpunktfeld und auch Vorabkenntnis über die zu bestimmenden Parameter können so mit angemessenem Gewicht differenziert und stochastisch streng an der Punktbestimmung beteiligt werden wobei die gegenseitige Kontrolle der Beobachtungen im gemeinsamen Ausgleichungsprozeß bestmögliche Zuverlässigkeit bietet.

Bei geeigneter Anordnung und ausreichender Dichte der im Objektraum gegebenen Information wird eine simultane Kalibrierung der photogrammetrischen Strahlenbündel möglich (Wester-Ebbinghaus 1981, Kleinmann et al. 1982, Kotowski et al. 1982, Wester-Ebbinghaus 1983, Hansch und Meid 1984). Vorgegebene Kalibrierdaten für die innere Orientierung der Aufnahmekammern werden damit zu kontrollierbaren Beobachtungen und die Bildinformation geht weitgehend frei von instrumentellen Voraussetzungen in die Triangulation ein.

Mit dem Rechenprogramm MOR wurde ein Konzept zur Bündeltriangulation im oben genannten Sinn verwirklicht. Die Triangulation kann als freie und teilweise freie Netzausgleichung ausgeführt werden, entsprechend dem bei der vorhandenen Information verbleibenden Rangdefekt des Normalgleichungssystems hinsichtlich der Lagerung und der Maßstabsdefinition des Blocks (Koch 1979). MOR wurde für Mini-Computer konzipiert.

1. Funktionaler Ansatz zur Bündeltriangulation mit gemeinsamer Ausgleichung photogrammetrischer und geodätischer Beobachtungen *)

Zur Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen läßt sich die vorhandene photogrammetrische und geodätische Information darstellen als Funktion der zu bestimmenden Objektkoordinaten und der erforderlichen Transformations- und Orientierungsparameter: Die Objektkoordinaten können abgebildet werden auf die Bildkoordinatenbeobachtungen der photogrammetrischen Strahlenbündel, auf die Richtungsbeobachtungen geodätischer Richtungsbündel, auf Strecken-, Winkel- und Richtungsbeobachtungen im Objektpunktfeld und auf Koordinatenbeobachtungen in lokalen Hilfskoordinatensystemen.

*) aus Wester-Ebbinghaus 1984

1.1. Photogrammetrische Strahlenbündel

1.1.1. Zentralprojektion

Abbildung der Objektkoordinaten auf die Bildkoordinatenbeobachtungen mit Hilfe der Parameter der inneren und äußeren Orientierung der Aufnahmekammer (Abb.1)

$$\begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \end{bmatrix} = D(\omega, \phi, \kappa) \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x - x_H - dx \\ y - y_H - dy \end{bmatrix} = \frac{-c_k}{z^*} \cdot \begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \end{bmatrix} \quad (2)$$

X, Y, Z : Objektkoordinaten

X_0, Y_0, Z_0 : Koordinaten des Projektionszentrums O im Objektkoordinatensystem X, Y, Z

$D(\omega, \phi, \kappa)$: Drehmatrix, überführt das Objektkoordinatensystem X, Y, Z in eine zu X^*, Y^*, Z^* parallele Lage

X^*, Y^*, Z^* : Objektkoordinatensystem im Projektionszentrum O , parallel zum Bildkoordinatensystem

c_k : Kammerkonstante

x_H, y_H : Koordinaten des Bildhauptpunktes

dx, dy : Bildfehler beschreibende Funktionen (siehe Parameter A_i in Abb.9. Parameteransatz siehe z.B. in Wester-Ebbinghaus 1981)

1.1.2 Stereo-Folgebild

Ein Stereo-Folgebild kann mit den Parametern der gegenseitigen Orientierung auf seinen Stereopartner bezogen werden, um a priori gegebene Kenntnis über diese Parameter in den Abbildungsprozeß einzuführen (Abb.2).

$$\begin{bmatrix} X_A^* \\ Y_A^* \\ Z_A^* \end{bmatrix} = D(\omega, \phi, \kappa) \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} X_B^* \\ Y_B^* \\ Z_B^* \end{bmatrix} = D(\omega_A^*, \phi_A^*, \kappa_A^*) \cdot \begin{bmatrix} X_A^* - bX_A^* \\ Y_A^* - bY_A^* \\ Z_A^* - bZ_A^* \end{bmatrix} \quad (4)$$

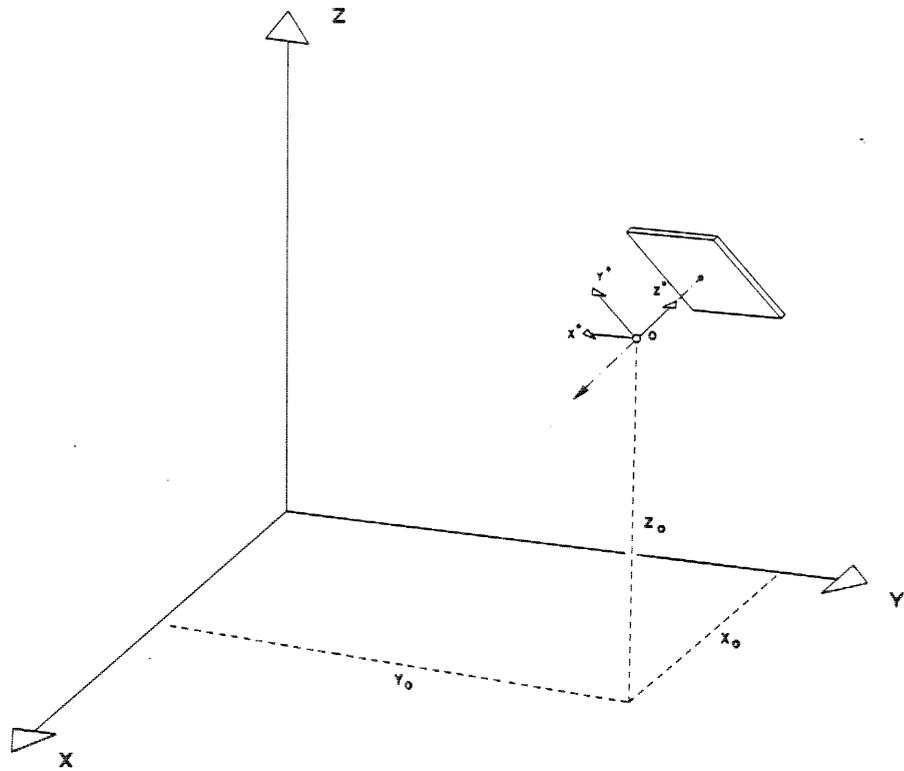


Abb.1.: Photogrammetrisches Strahlenbündel

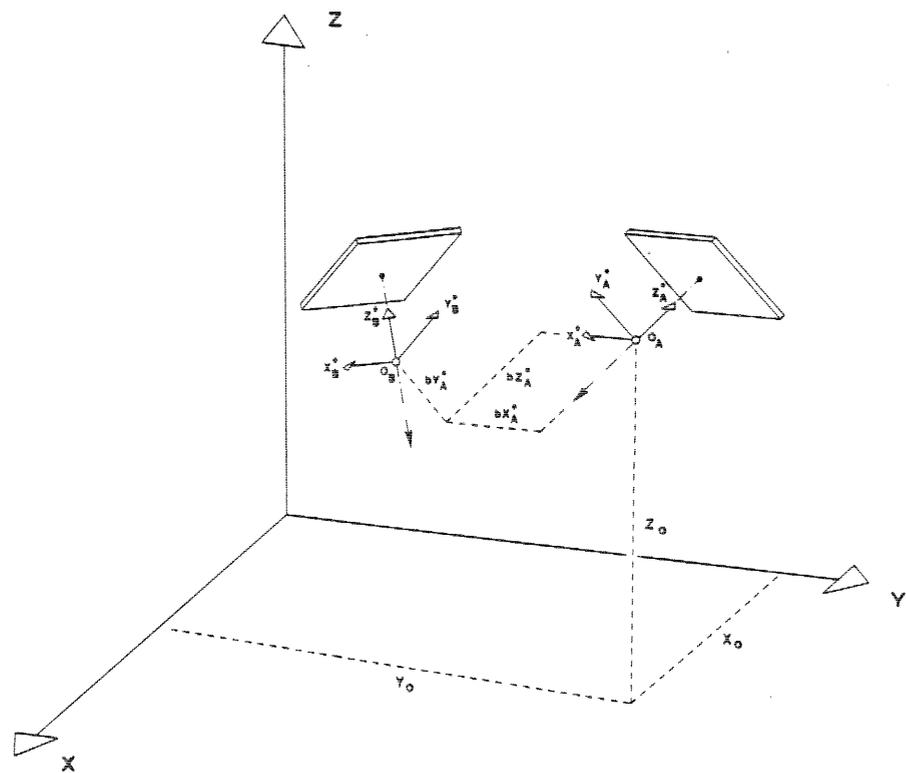


Abb.2: Stereo-Bildpaar

- X_0, Y_0, Z_0 : Koordinaten des Projektionszentrums O_A im Objektkoordinatensystem X, Y, Z
- $D(\omega, \phi, \kappa)$: Drehmatrix, überführt das Objektkoordinatensystem X, Y, Z in eine zu X_A^*, Y_A^*, Z_A^* parallele Lage
- bX_A^*, bY_A^*, bZ_A^* : Basiskomponenten, Koordinaten des Projektionszentrums O_B im System X_A^*, Y_A^*, Z_A^*
- $D(\omega_A^*, \phi_A^*, \kappa_A^*)$: Drehmatrix, überführt das System X_A^*, Y_A^*, Z_A^* in eine zu X_B^*, Y_B^*, Z_B^* parallele Lage

Die Projektion der Koordinaten X_B^*, Y_B^*, Z_B^* in den Bildraum folgt Gleichung 2.

1.1.3 Terrestrische Kameraaufstellung

Zur Einbeziehung der äußeren Orientierung der Aufnahmekammer in ein terrestrisch geodätisches Meßsystem ist der Ansatz zur Zentralprojektion (Gleichungen 1 und 2) zu erweitern um Ausdrücke, die die Exzentrizität zwischen dem Projektionszentrum und dem Drehzentrum der Aufnahmekammer beschreiben und den vertikalen Abstand des Drehzentrums von der Zieltafel berücksichtigen (Abb.3).

$$\begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \end{bmatrix} = D(\omega, \phi, \kappa) \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 - dz_T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_{X_0}^* \\ r_{Y_0}^* \\ r_{Z_0}^* \end{bmatrix} \quad (5)$$

- X_0, Y_0, Z_0 : Koordinaten der Zieltafel T im Objektkoordinatensystem X, Y, Z
- dz_T : Vertikaler Abstand des Drehzentrums S von der Zieltafel T
- $r_{X_0}^*, r_{Y_0}^*, r_{Z_0}^*$: Koordinaten des Vektors \vec{r}_0 zwischen dem Projektionszentrum O und dem Drehzentrum S , definiert im System X^*, Y^*, Z^*

Die Projektion der Koordinaten X^*, Y^*, Z^* in den Bildraum folgt Gleichung 2.

1.2 Geodätische Richtungsbündel

Ein geodätisches Richtungsbündel kann wie ein photogrammetrisches Strahlenbündel mit vollständigem Parametersatz zur räumlichen Orientierung in die Bündeltriangulation aufgenommen werden (Abb.4, vergl. Abb.3).

$$\begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \end{bmatrix} = D(\omega, \phi, \kappa) \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 - dz_T \end{bmatrix} \quad (6)$$

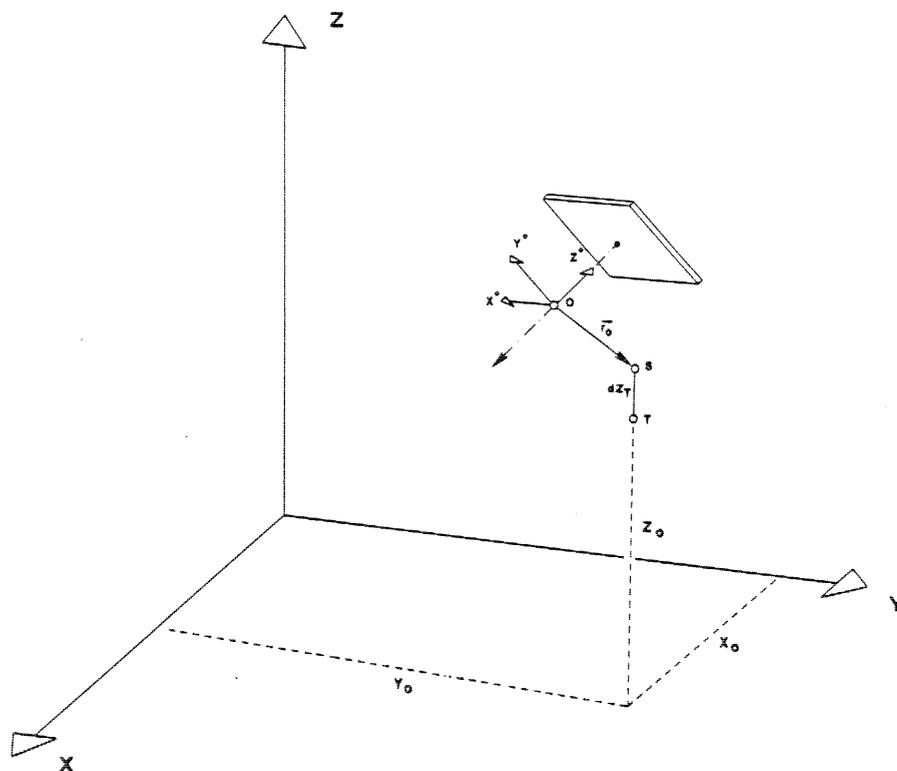


Abb.3: Exzentrizitäten zwischen Projektionszentrum, Drehzentrum und Zieltafel

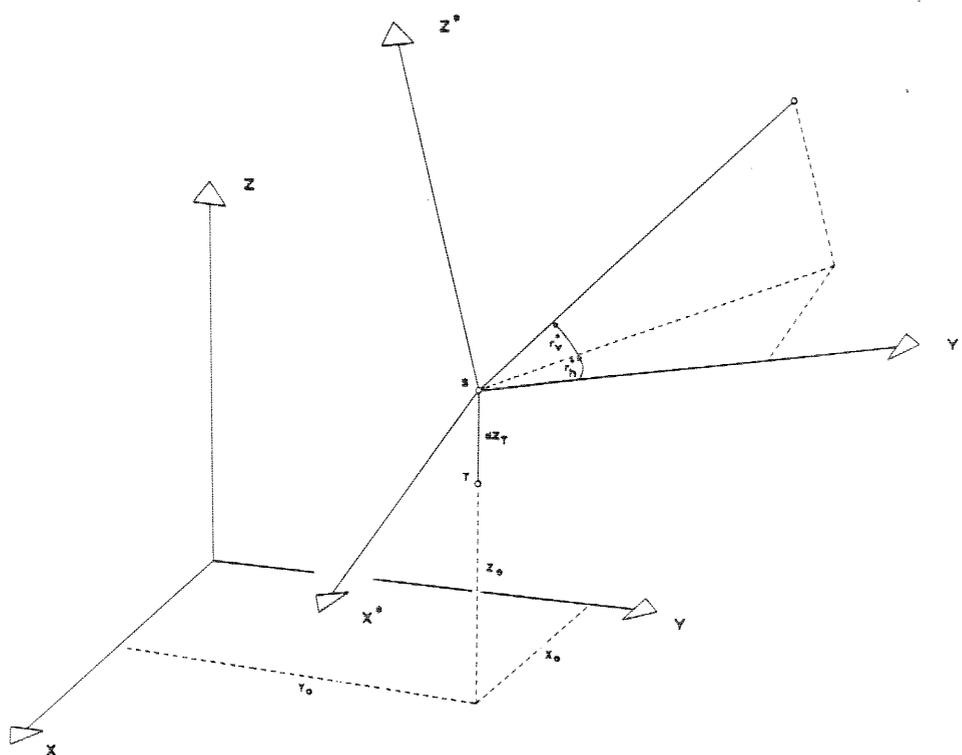


Abb.4: Geodätisches Richtungsbündel

$$r_h^* = \arctan \frac{X^*}{Y^*} \quad (7)$$

$$r_v^* = \arctan \frac{Z^*}{s_0} \quad (8)$$

$$s_0^2 = X^{*2} + Y^{*2} \quad (9)$$

r_h^* : Horizontalrichtung im System X^*, Y^*, Z^*

r_v^* : Vertikalrichtung im System X^*, Y^*, Z^*

1.3 Geometrische Beziehungen zwischen Objektpunkten

Koordinatenunterschiede, Strecken, Richtungswinkel und Vertikalrichtungen sind in Abb.5 dargestellt.

$$\Delta X = X_2 - X_1 \quad (10)$$

$$\Delta Y = Y_2 - Y_1 \quad (11)$$

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 \quad (12)$$

$$s^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \quad (13)$$

$$t = \arctan \frac{\Delta X}{\Delta Y} \quad (14)$$

$$r_v = \arctan \frac{\Delta Z}{s_0} \quad (15)$$

$$s_0^2 = X^2 + Y^2 \quad (16)$$

t : Richtungswinkel gegen die positive Y-Achse

r_v : Vertikalrichtung gegen die X-Y-Ebene

Für Horizontalwinkel ergibt sich nach Abb.6:

$$\beta = \arctan \frac{X_3 - X_1}{Y_3 - Y_1} - \arctan \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1} \quad (17)$$

1.4. Geometrische Beziehungen zwischen Objektpunkten und Aufnahmeorten

Mit dem unter 1.1.3 entwickelten erweiterten Ansatz zur Zentralprojektion können mit den Gleichungen 10 bis 17 auch geometrische Beziehungen zwischen Objektpunkten und Aufnahmeorten beschrieben werden (Abb.7).

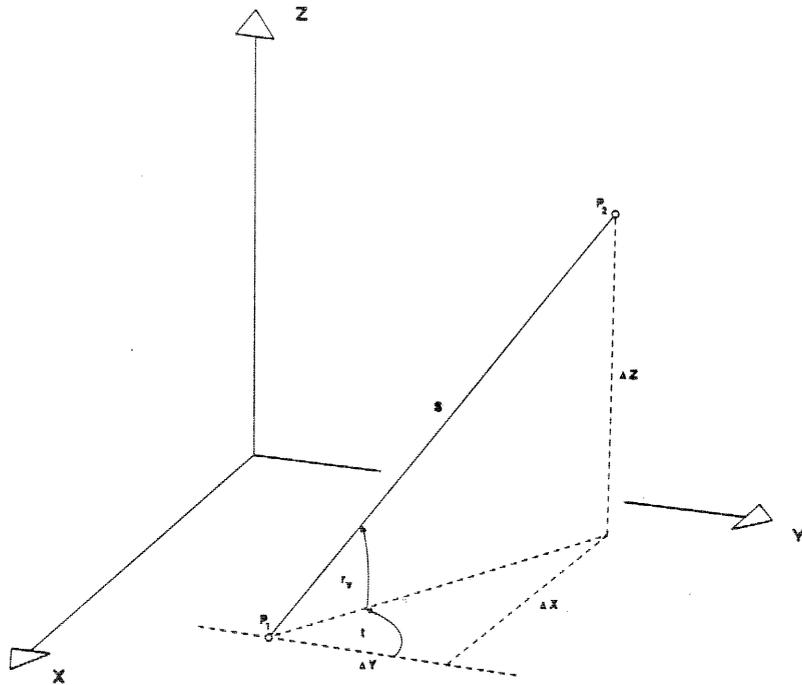


Abb.5: Geometrische Beziehungen zwischen Objektpunkten

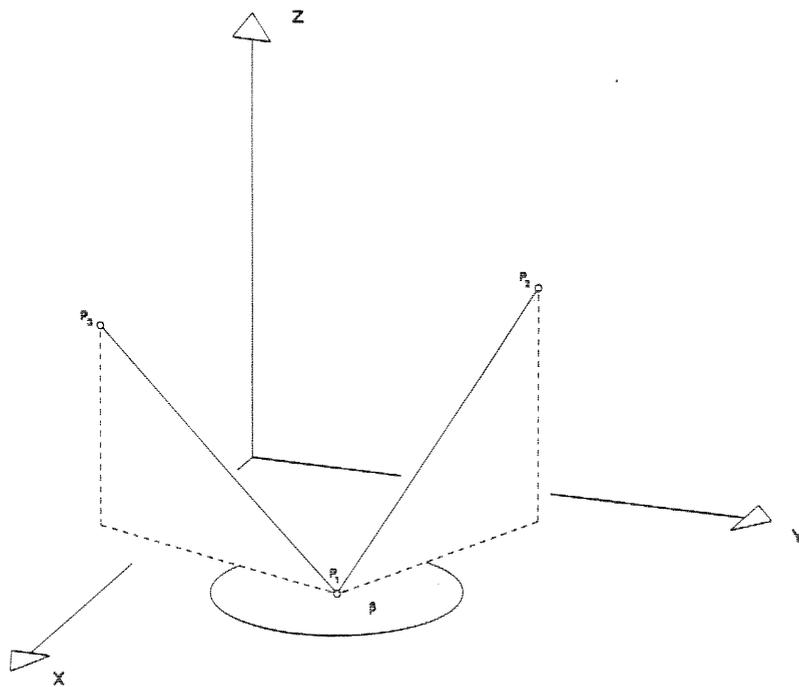


Abb.6: Horizontalwinkel

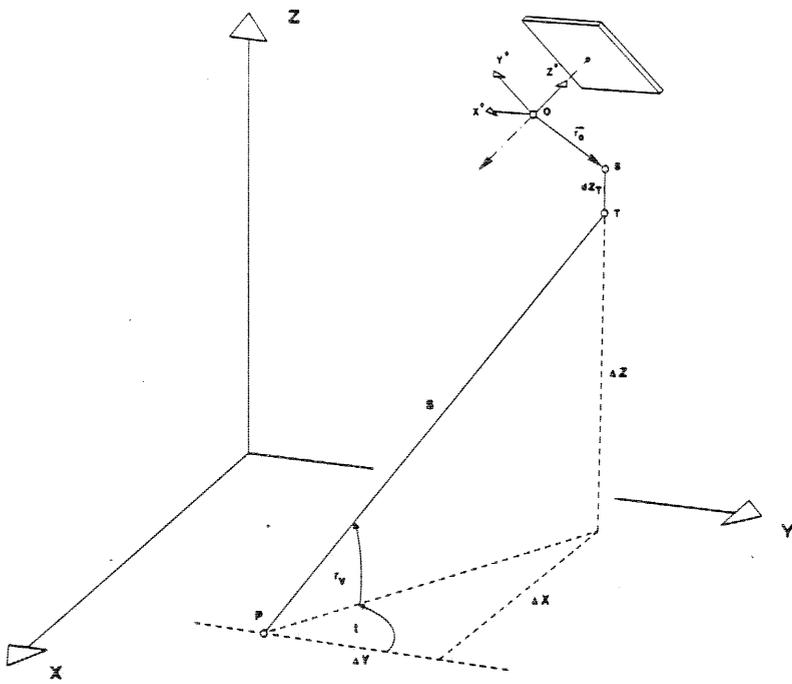


Abb.7. Geometrische Beziehungen zwischen Objektpunkt und Aufnahmeort

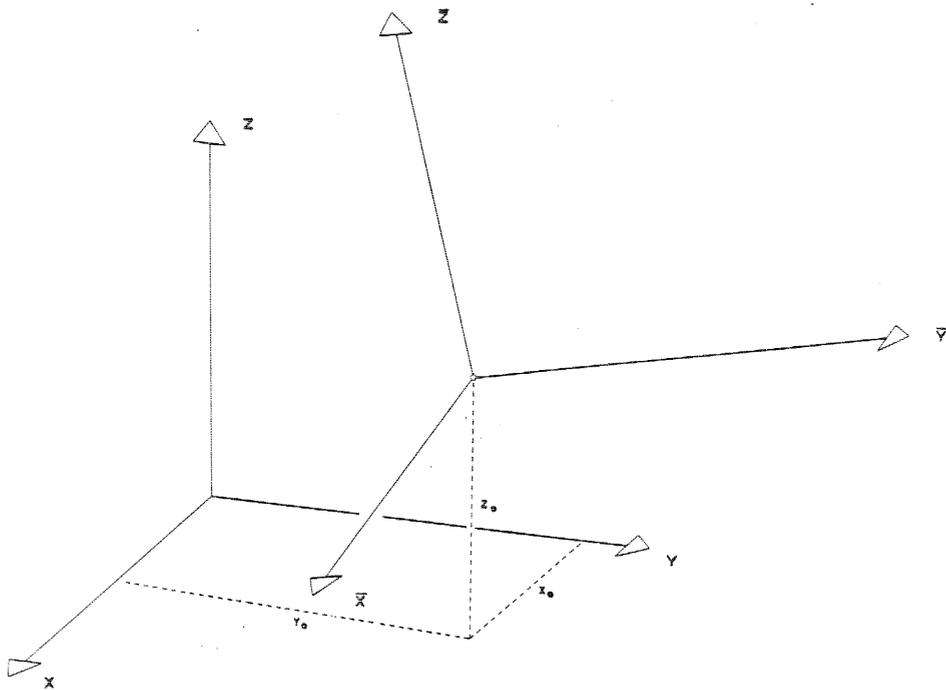


Abb.8. Lokales Hilfskoordinatensystem

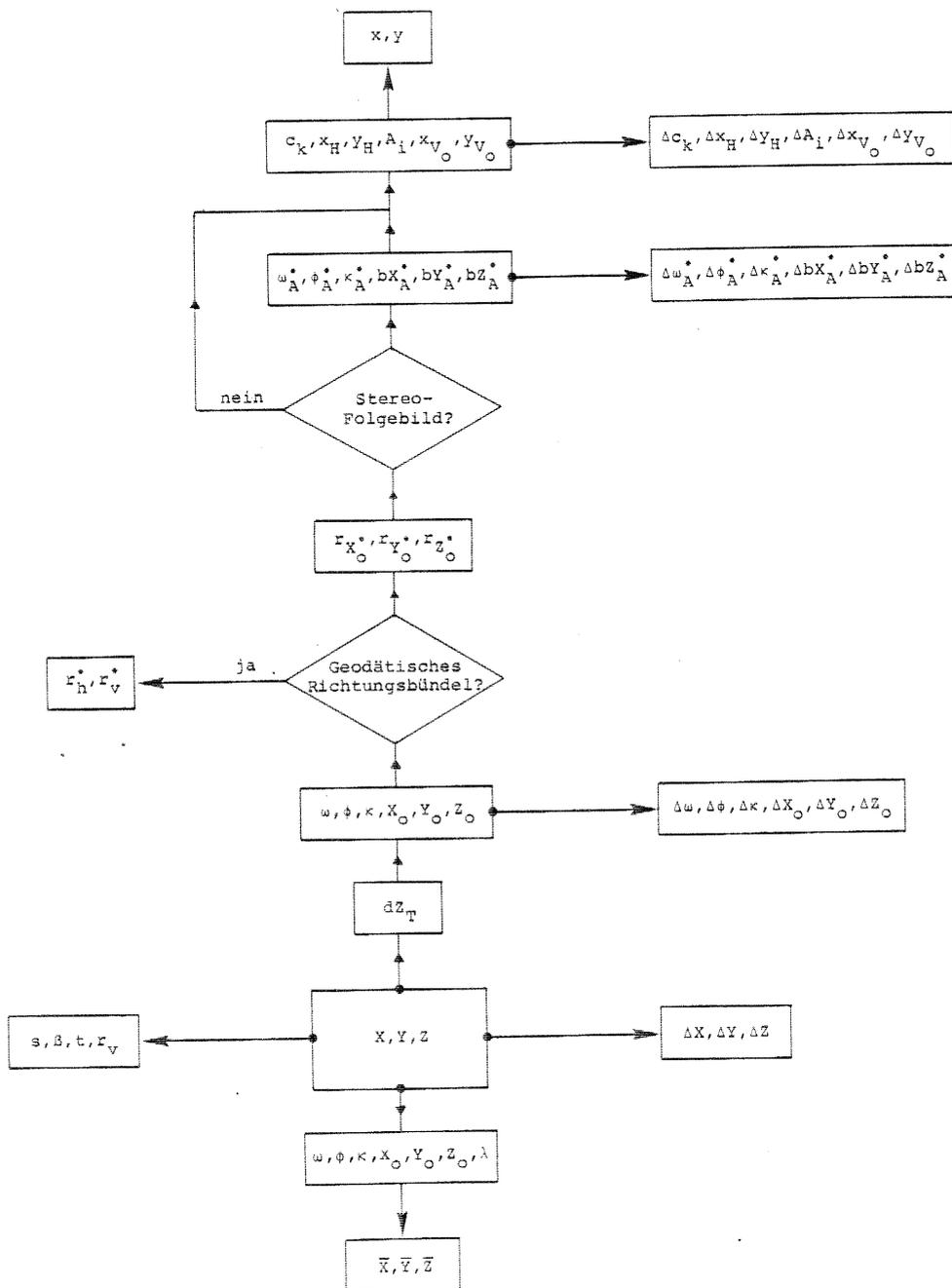


Abb.9. Bündeltriangulation MOR (siehe unter 2.)

1.5. Lokale Koordinatensysteme

Durch Ähnlichkeitstransformation können die Objektkoordinaten auf Beobachtungen abgebildet werden, die sich durch räumlich kartesische Koordinaten in einem lokalen Hilfssystem darstellen lassen, neben tatsächlichen Koordinatenbeobachtungen zum Beispiel auch Geradlinigkeits-, Ebenheits- und Rechtwinkligkeitsbedingungen.

$$\begin{bmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{bmatrix} = D(\omega, \phi, \kappa) \cdot \lambda \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

- X_0, Y_0, Z_0 : Koordinatenursprung von $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ im Objektkoordinatensystem X, Y, Z
- $D(\omega, \phi, \kappa)$: Drehmatrix, überführt das Objektkoordinatensystem X, Y, Z in eine zu $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ parallele Lage
- λ : Maßstabsfaktor

2. Realisierung im Bündelausgleichungskonzept MOR

Der unter 1. entwickelte funktionale Ansatz liegt dem Rechenprogramm MOR (Mehrbildorientierung) zugrunde.

Nach Abb.9 werden die Objektkoordinaten X, Y, Z in das Hilfskoordinatensystem $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ projiziert und auf die Strecken s , die Horizontalwinkel β , die horizontalen Richtungswinkel t , die Vertikalrichtungen r_V und die Objektkoordinatenunterschiede $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ sowie auf die Richtungen r_H^*, r_V^* geodätischer Richtungsbündel und auf die Bildkoordinaten x, y photogrammetrischer Strahlenbündel abgebildet.

Für alle beteiligten Parameter kann Vorabkenntnis durch Zusatzbeobachtungen in den Ausgleichungsprozeß eingebracht werden, zum Beispiel die aus einer Laborkalibrierung gegebene innere Orientierung der Aufnahmekammern oder die äußere Orientierung der Meßbilder, bei Luftaufnahmen aus Sensororientierungssystemen (z.B. INS, Corten 1983) und bei terrestrischer Aufstellung - sowohl bei photogrammetrischen als auch bei geodätischen Bündeln - durch Messung und Libellenablesung unter Beachtung des Ansatzes unter 1.1.3.

Weiterhin bestehen Möglichkeiten, Veränderungen der Orientierungsparameter als beobachtet zu vereinbaren: Mit $\Delta c_k, \Delta x_H, \Delta y_H, \Delta A_i, \Delta x_{V_0}, \Delta y_{V_0}$ läßt sich beliebig abstimmen zwischen bildvarianter und bildinvarianter innerer Orientierung der Aufnahmekammer (Moriwa 1981), mit $\Delta \omega_{\Delta}^*, \Delta \phi_{\Delta}^*, \Delta \kappa_{\Delta}^*, \Delta bX_{\Delta}^*, \Delta bY_{\Delta}^*, \Delta bZ_{\Delta}^*$ kann differenziert auf die Konstanz der Parameter einer Stereokammer eingegangen werden und mit $\Delta \omega, \Delta \phi, \Delta \kappa, \Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$ können definierte Veränderungen der äußeren Orientierung eingeführt werden, bei Luftaufnahmen auch hier Daten aus Sensororientierungssystemen, zum Beispiel APR-Daten und Stoskopmessungen (Ackermann und Schneider 1983).

Bei terrestrischer Aufnahmeanordnung können in Verbindung mit dem Vektor \vec{r}_0 Einzelstandpunkt-Bildverbände im Sinne der Einzelstandpunkt-Selbstkalibrierung (Wester-Ebbinghaus 1983) realisiert werden, indem mit $\Delta X_0 = \Delta Y_0 = \Delta Z_0 = \text{Null}$ ein unverändertes Drehzentrum der Aufnahmekammer festgelegt wird.

Für alle Beobachtungen werden von MOR die Redundanzanteile berechnet, um Aussagen über die Zuverlässigkeit des Ausgleichungssystems zu erhalten (Ackermann et al. 1981).

3. Schlußbemerkungen

Die gemeinsame numerische Behandlung von photogrammetrischer und geodätischer Information zur Punktbestimmung bietet sich an, nicht nur um elegant eine strenge stochastische Lösung zu realisieren, sondern vor allem, um im gemeinsamen Ausgleichungsprozeß bestmögliche Voraussetzungen für die gegenseitige Kontrolle der beteiligten Beobachtungen zu erreichen.

Der hier vorgestellte Ansatz bietet weitgehende Möglichkeiten, photogrammetrische und terrestrisch geodätische Verfahren simultan zu behandeln, die grundsätzlichen Gemeinsamkeiten photogrammetrischer und geodätischer Bündel nutzend. Eine weitere Verallgemeinerung und Ausweitung der gemeinsamen Ausgleichung auf Satellitenbeobachtungen und auf Bildern aus digitalen Rotations- und Zeilenabtastern erscheint möglich und lohnend.

Verknüpfende Beobachtungen zwischen Objektkoordinaten und zwischen Objektkoordinaten und Orientierungsparametern stören die Bandstruktur des Normalgleichungssystems, so daß übliche Verfahren zur speicher- und rechenzeitparenden Aufstellung und Lösung von Normalgleichungssystemen bei Verbänden der hier vorgestellten Art nicht anwendbar sind. Kruck (1983) stellt dagegen ein auf der Graphentheorie beruhendes leistungsfähiges Verfahren vor, das auch bei sehr großen Blöcken verknüpfende Beobachtungen unter den Parametern erlaubt.

LITERATUR

- Ackermann, F., Förstner, W., Klein, H., Schroth, R., Van Mierlo, J., 1981: Grobe Datenfehler und die Zuverlässigkeit der photogrammetrischen Punktbestimmung. Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 7, 240 Seiten.
- Ackermann, F., Schneider, W., 1983: Neue Ergebnisse zur Aerotriangulation mit Stoskopdaten. Bildmessung und Luftbildwesen 1/83: 21-37.
- Corten, F.L.J.H., 1983: Das Leistungsvermögen von Bildnavigations- und Sensororientierungssystemen. Bildmessung und Luftbildwesen 3/83: 82-102.
- Hansch, K.-U., Meid, A., 1984: Photogrammetrische Aufnahme von Tempel- und Klosteranlagen in Kandy/Sri Lanka. Allgemeine Vermessungsnachrichten 1/84: 15-22.
- Kleinmann, R., Mauelshagen, L., Wester-Ebbinghaus, W., 1982: Simultan-Kalibrierung einer Teil-Meßkammer unter Verwendung von Zusatzbeobachtungen im Objektraum. Symposium der Kommission V der ISPRS, York England.
- Koch, K.R., 1979: Parameterschätzung und Hypothesentests in linearen Modellen. Dümmlers Verlag Bonn.
- Kotowski, R., Rössmann, H., Wester-Ebbinghaus, W., 1982: Zweischalige Bündeltriangulation an einem Großbauwerk. ZfV 3/83: 119-127.
- Kruck, E., 1983: Lösung großer Gleichungssysteme für photogrammetrische Blockausgleichungen mit erweitertem funktionalem Modell. Dissertation Hannover
- Moniwa, H., 1981: The Concept of "Photo-Variant" Self-Calibration and its Application in Block Adjustment with Bundles. Photogrammetria, 36: 11-29.
- Wester-Ebbinghaus, W., 1981: Zur Verfahrensentwicklung in der Nahbereichsphotogrammetrie. Dissertation Bonn.
- Wester-Ebbinghaus, W., 1983: Einzelstandpunkt-Selbstkalibrierung - Ein Beitrag zur Feldkalibrierung von Aufnahmekammern. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft 289.
- Wester-Ebbinghaus, W., 1984: Funktionaler Ansatz zur Bündeltriangulation mit gemeinsamer Ausgleichung photogrammetrischer und geodätischer Beobachtungen. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof.Dr. G.Kupfer, Bonn.