

MATHEMATICAL ANALYSIS OF SCANNER DATA FOR DIGITAL ORTHOPHOTO PRODUCTION

by G.Konecny and W.Schuh
Institute for Photogrammetry and Engineering Surveys
University of Hannover
Federal Republic of Germany
Commission III - WG III/4

ABSTRACT

The production of digital orthophotos for use as map substitutes and for (digital) comparison of image and map contents in complementary automatic topical and cartographic interpretation or for detecting changes in photos taken at different times is based on four-dimensional bundle block adjustment using additional parameters for overlapping line scanner images and on digital geometric rectification of the data including DTM Projection.

The requirements for pixel-grade geometric processing of digital image data are shown. Selection and coordination of control points in M²S images are based on the results obtained from conventional bundle block adjustment. Then the known mathematical models for the geometric processing of line scanner data inclusive of stochastic interpolation are developed. Through the introduction of additional parameters and flight data from conventional bundle block adjustment in the collinearity condition equations for the adjustment of line scanner image blocks and through another residuals processing step, an external precision of ± 1.0 pixel is achieved. Because of the amplitude spectra and the empirical correlations between the conventional bundle block adjustment parameters and the recorded flight data, the latter have to be included in the mathematical model. M²S and Landsat line scanner images are rectified by a combined direct and indirect method, while conventional aerophotogrammetrical and terrestrial photos are rectified by the indirect method.

RESUMÉ

Les orthophotos numériques sont réalisées sur la base d'images produites par le scanner de lignes avec un recouvrement pour la compensation de blocs par gerbes perspectives (quadrodimensionnelle et avec paramètres supplémentaires), suivie d'un redressement géométrique numérique de ces données tenant compte du modèle de terrain digital pour le calcul de la projection. Ces orthophotos numériques sont utilisées comme cartes ou bien comme matériel de base dans le but de comparer numériquement le contenu des clichés et celui des cartes, soit pour une interprétation thématique de complètement, soit pour la reconnaissance de modifications entre des clichés pris à des moments différents.

Le présent exposé précise les conditions requises pour le traitement géométrique de ces données d'image numérisées, représentées en pixels, le choix et la coordination des points d'appui dans les images produites par le scanner M²S résultant d'une compensation de blocs par gerbes perspectives conventionnelle, puis développe les modèles mathématiques actuellement connus pour le traitement géométrique des données du scanner de lignes et les procédés stochastiques d'interpolation. L'introduction dans les équations sur la condition de colinéarité, de paramètres supplémentaires et des paramètres de vol de la compensation conventionnelle de blocs par gerbes perspectives, puis le traitement consécutif des erreurs résiduelles, ont permis d'atteindre une précision limite de ± 1.0 pixel. En raison des spectres d'amplitude, et des corrélations empiriques entre les paramètres d'une compensation conventionnelle de blocs par gerbes perspec-

tives et les paramètres de vol, ces derniers sont à prendre en considération dans le modèle mathématique. Le redressement des images produites par le scanner de lignes du satellite Landsat et par le scanner M²S résulte de la combinaison de deux méthodes, directe et indirecte, alors que les clichés conventionnels, terrestres ou aériens, sont redressés selon la méthode indirecte.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Herstellung digitaler Orthophotos als Kartenersatz sowie als Grundlage eines (digitalen) Vergleichs der Inhalte von Bild und Karte für eine ergänzende automatische, thematisch kartographische Interpretation oder zum Auffinden von Veränderungen in Bildern unterschiedlicher Aufnahmezeit erfolgte aufgrund einer vierdimensionalen Bündelblockausgleichung mit zusätzlichen Parametern für überlappende Zeilenabtasterbilder und der digitalen geometrischen Entzerrung dieser Daten unter projektiver Einbeziehung des DGM.

Die Voraussetzungen für die pixelweise geometrische Verarbeitung digitaler Bilddaten werden dargelegt. Die Auswahl und die Koordinierung der Paßpunkte in M²S-Bildern stützt sich auf die Ergebnisse einer konventionellen Bündelblockausgleichung. Anschließend werden die derzeit bekannten mathematischen Modelle zur geometrischen Verarbeitung von Zeilenabtasterdaten, einschließlich stochastischer Interpolationsverfahren weiterentwickelt. Durch die Einführung zusätzlicher Parameter sowie von Flugdaten einer konventionellen Bündelblockausgleichung in die Kollinearitätsbedingungsgleichungen für die Ausgleichung von Zeilenabtasterbildblöcken und einer anschließenden Nachbehandlung der Residuen wurde eine äußere Genauigkeit von $\pm 1,0$ Pixel erreicht. Aufgrund der Amplitudenspektren und den empirischen Korrelationen zwischen den Parametern einer konventionellen Bündelblockausgleichung und den aufgezeichneten Flugdaten, sind diese im mathematischen Modell zu berücksichtigen. Die Entzerrung von M²S- und Landsat-Zeilenabtasteraufnahmen erfolgte nach einer Kombination aus direkter und indirekter Methode, während konventionelle aerophotogrammetrische und terrestrische Bilder nach der indirekten Methode rektifiziert wurden.

Einführung

Untersuchungsschwerpunkte dieser Arbeit sind die auf Kollinearitätsgleichungen nach KONECNY (1971) basierende vierdimensionale Bündelblockausgleichung für multispektrale Zeilenabtasterbilder und die digitale geometrische Entzerrung dieser Daten unter Einbeziehung des DGM, also die Herstellung digitaler Orthophotos. Sie werden i.a. in einem einheitlichen, übergeordneten Koordinatensystem orientiert und dienen als Grundlage eines (digitalen) Vergleichs der Inhalte von Bild und Karte, z.B. für eine thematisch kartographische Interpretation, die durch geeignete Klassifizierungs- und/oder Texturanalysenprogramme auch automatisch abläuft. Dieser Vergleich kann auch im Hinblick auf das Auffinden von Veränderungen (Change Detection) in Bildern unterschiedlicher Aufnahmezeit, z.B. für Zwecke der Kartenfortführung, erfolgen.

Resultate der Bündelblockausgleichung

Die Bildkoordinaten der Paßpunkte werden nicht mehr durch manuelles Auszählen im Quasi-Halbton-Zeilendruckerbild, sondern durch PSK-Komparatormessungen in einem zeilen- und spaltenweise am Optronics P 1700 abgespielten echten Halbtonbild und anschließender Affintransformation auf die 4 Bild-(Informations-)Ecken bekannter Dateikoordinaten gewonnen (siehe Abb.1).

Die für die Paßpunkte gesuchten Dateikoordinaten, d.h. die Zeilen- und Spaltenwerte,

ergeben sich durch überbestimmte Affintransformation der Komparatorkoordinaten aufgrund der vier Bildecken, die als identische Punkte für die Koordinatentransformation dienen, da deren Koordinaten sowohl im Komparatorsystem als auch im Zeilen- und Spaltensystem bekannt sind.

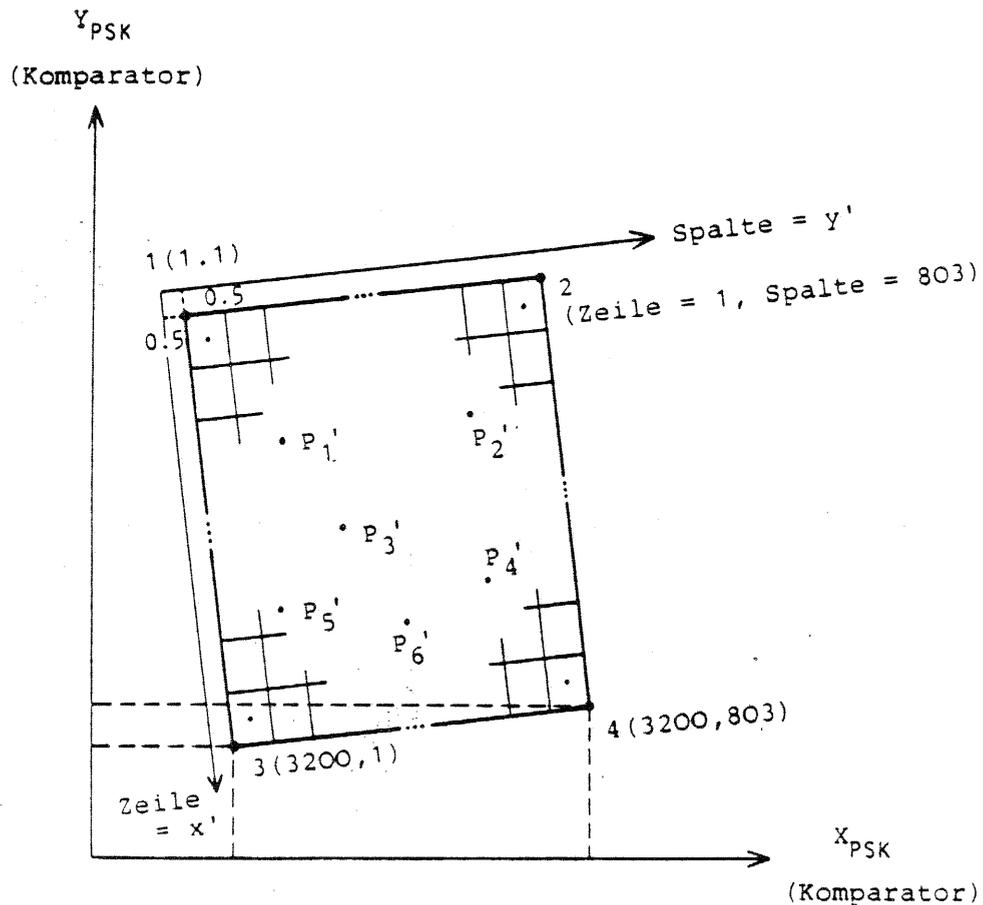


Abb.1.: Zur Transformation der Maschinenkoordinaten ins Dateisystem

Die Auswahl und die Koordinierung der Landeskoordinaten und NN-Höhen der Paßpunkte für M²S-Bilder stützt sich auf die Ergebnisse einer konventionellen Bündelblockausgleichung simultan beflugener RMK-Aufnahmen, die nach einem Bezug auf einige wenige gut definierte DGK 5-Punkte eine problemlose Koordinierung markanter Geländepunkte erlaubt, die nicht einmal in topographischen Karten enthalten sein müssen.

Die konventionelle Bündelblockausgleichung erfolgt mit dem Hannoverschen Programmsystem BLUH nach JACOBSEN (1980), welches sich u.a. durch folgende Merkmale auszeichnet (siehe auch Abb.2):

- Das Meßprogramm beinhaltet eine online Aerotriangulation mit automatischem Punktanfahren.
- Das Blockausgleichungssystem beinhaltet u.a. die automatische Suche grober Fehler mittels Datasnooping und durch robuste Schätzer.
- sowie die automatische Auswahl der zusätzlichen Parameter.

Für Zeilenabtasteraufnahmen bestehen, wie für alle photogrammetrischen Bilder, prinzipiell folgende numerischen Auswerteverfahren:

1. Bildkorrelationsmethoden
 - hardwareorientierte (Echtzeit-)Lösung
 - softwareorientierte Lösung

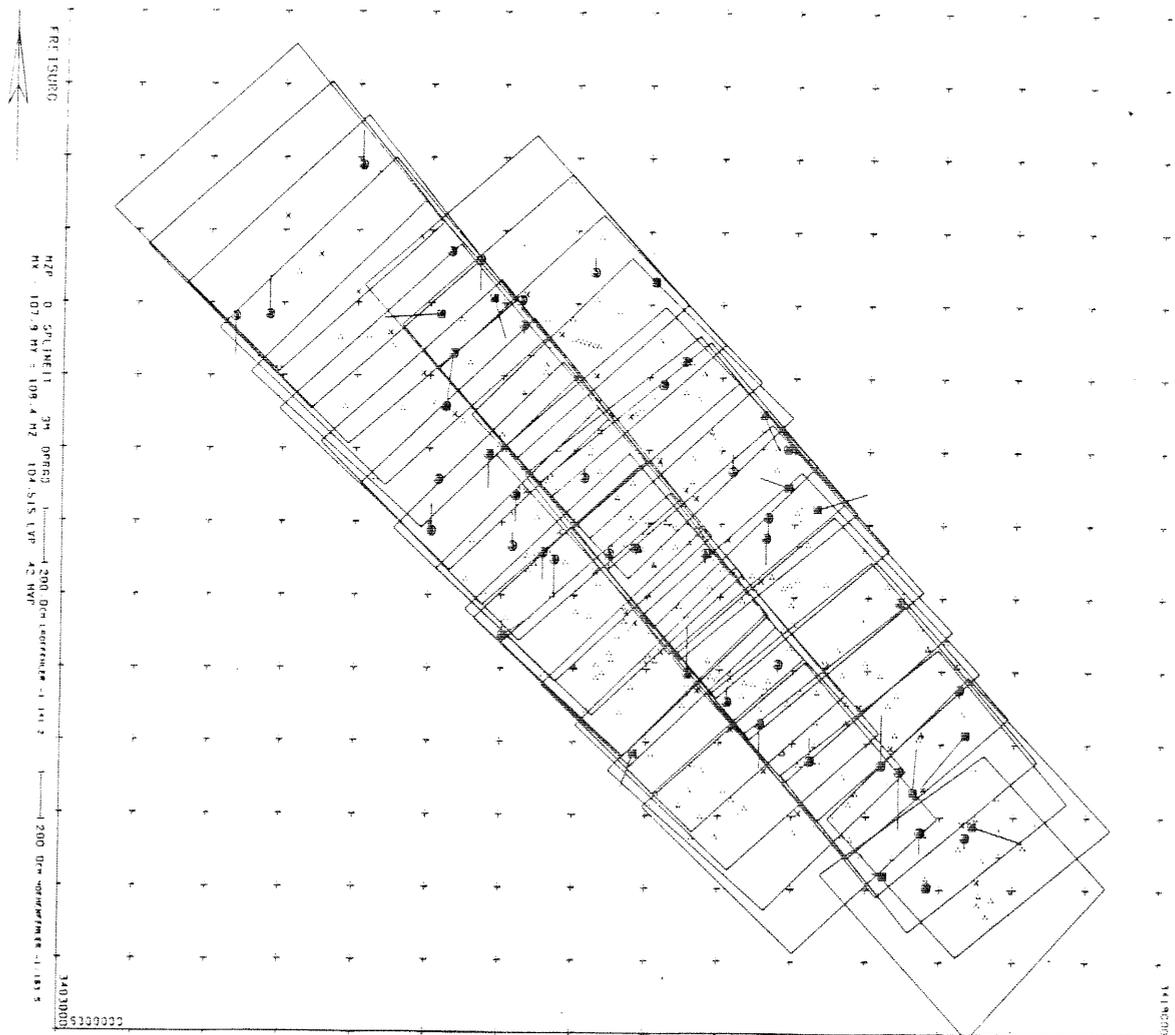


Abb.2: Plot des Bildverbandes, der Paßpunkte und Neupunkte sowie der Restfehlervektoren der simultanen RMK-Befliegung des Testfeldes Freiburg

2. Flächenhafte Interpolationsmethoden

- Polynome
- Splinefunktionen
- Interpolation in einem stochastischen Feld
 - gleitende Schrägebene
 - gewogenes Mittel
 - Kollokation

3. Komplanaritätsgleichungen (Grundlage: Modelle)

4. Kollinearitätsgleichungen (Bündelblockausgleich) (Grundlage: Einzelbilder).

Es sind auch Kombinationen aller Methoden denkbar.

Hier wurden als Grundlage für die Einzelbildauswertung und für die Bündelblockausgleichung von Zeilenabtastreraufnahmen Kollinearitätsgleichungen angewendet, weil sie

die strenge Berücksichtigung eines mathematischen Modells für das dynamische Sensorverhalten entlang des Flugweges und eine korrekte (projektive) Einbeziehung der Geländehöhen gestatten (Programmsystem EXTOR1).

Die Kollinearitätsgleichungen für Zeilenabstasteraufnahmen lauten nach KONECNY (1971, siehe auch Abb.3):

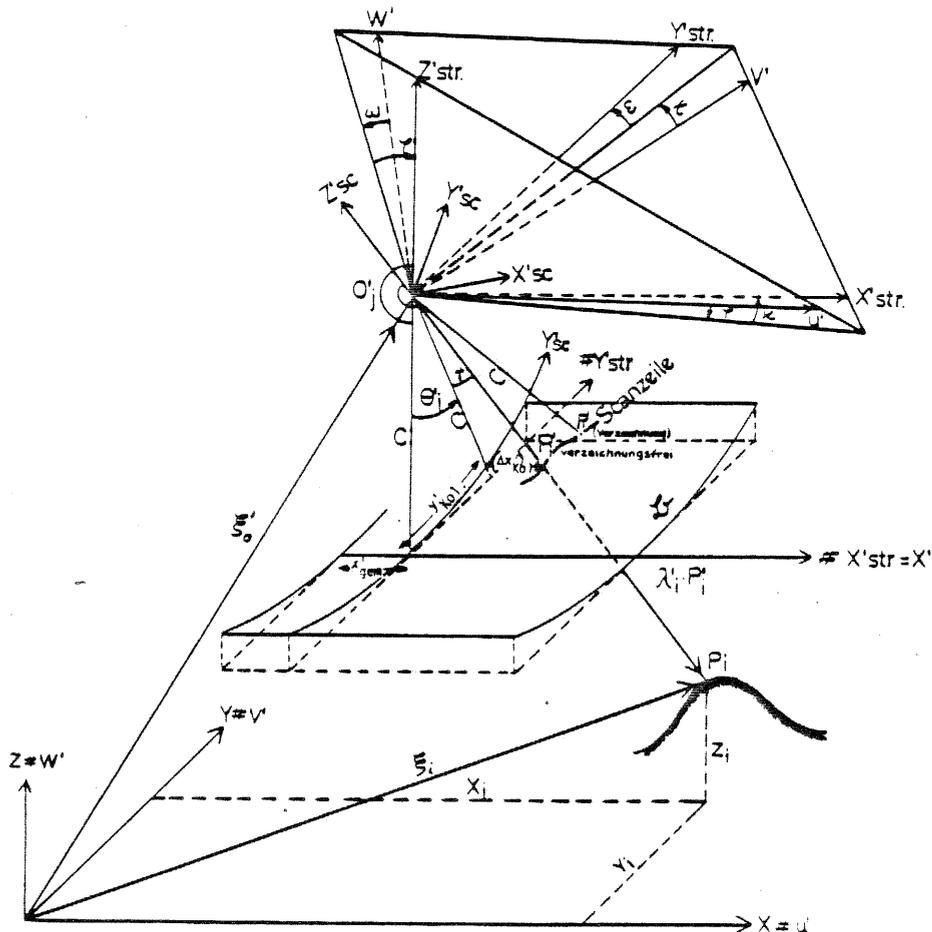


Abb.3: Schematische Darstellung der Abbildungsverhältnisse für Zeilenabstasteraufnahmen

$$0 = -c \frac{a_{11j}(x_i - x'_{oj}) + a_{12j}(y_i - y'_{oj}) + a_{13j}(z_i - z'_{oj})}{a_{31j}(x_i - x'_{oj}) + a_{32j}(y_i - y'_{oj}) + a_{33j}(z_i - z'_{oj})}$$

$$c \cdot \tan \theta' = -c \frac{a_{21j}(x_i - x'_{oj}) + a_{22j}(y_i - y'_{oj}) + a_{23j}(z_i - z'_{oj})}{a_{31j}(x_i - x'_{oj}) + a_{32j}(y_i - y'_{oj}) + a_{33j}(z_i - z'_{oj})}$$

Diese Form der Kollinearitätsgleichungen ist das Analogon zu den Abbildungsgleichungen der konventionellen Photogrammetrie.

Aufgrund von Simulationen erzielte Ansätze für das Sensorverhalten entlang des Flugwegs erbrachten bei Anwendung auf das Testgebiet Freiburg empirisch die Notwendigkeit zur Einführung zusätzlicher Parameter. In Verbindung mit der gleichzeitigen erstmaligen Einbeziehung von Flugdaten einer konventionellen Bündelblockausgleichung und einer anschließenden Nachbehandlung der Residuen wurde für die Einzelbildauswertung in Kontrollpunkten eine Genauigkeit von ± 1 Pixel erreicht. Dieses Genauigkeitsniveau konnte

Resultate der pixelweisen Entzerrung

Eine wesentliche Voraussetzung für eine digitale Weiterverarbeitung von Bilddaten ist eine A/D-Wandlung der Grauwerte der verzerrten Bilder zur Speicherung der Bilddaten in Matrizenform auf CCTs.

Die verzerrten Bilder dienen der Messung der Bildkoordinaten und der qualitativen und quantitativen Beurteilung des Erfolges der Rektifizierung.

Als Bildausgabegeräte standen hierzu sowohl Zeilendrucker als auch Bildausgabegeräte für eine echte Halbtonbildausgabe zur Verfügung. Die Außenwirkung entzerrter Bildbeispiele verlangt eine geeignete densitometrische digitale Bildverarbeitung.

Das hier praktizierte Verfahren der pixelweisen digitalen geometrischen Entzerrung basiert auf einer Anwendung der bei der Paßpunktanalyse erzielten Parameter auf die Elemente der Matrix der Ausgabepixel. Dabei erfolgt u.a. eine strenge Einbeziehung der DGM-Daten in die Entzerrung.

Eine "Kompromiß- oder Kombinationsmethode", der die Nachteile der direkten und indirekten Entzerrungsmethode nicht anhaften, erwies sich dazu als sehr geeignet. Aus Optimierungsgründen dienen die Ankerpunkt- und die Nearest-Neighbour-Methode der Grauwertinterpolation. Für die multispektrale Entzerrung erfolgt eine einmalige Berechnung der Orientierungsparameter, die dann sukzessive auf alle Kanäle angewendet werden.

Das Orthophoto kann wahlweise im Bildsystem oder in einem übergeordneten (Gauß-Krüger-)Koordinatensystem digital oder analog ausgegeben und mit einem Gitter runder Koordinaten versehen werden, das auch auf den Randbereich (radiometrische Lösung) beschränkt bleiben kann. Neben den Orthophotos für M²S- und LANDSAT-Zeilenaufnahmen wurden rektifizierte Resultate einer gelungenen Programmodifikation für konventionelle aerophotogrammetrische und terrestrische Bilder generiert. Die bei Anwendung des Programmsystems INDI 3 benötigten Rechenzeiten für die digitale Entzerrung auf Großrechnern betragen mit $5,5 \cdot 10^{-5}$ sec/Pixel nur einen Bruchteil der Rechenzeit für die multispektrale Klassifizierung nach statistischen Methoden.

Abschließende Komparatormessungen in dem in Abb.5 präsentierten, geometrisch rektifizierten Bildbeispiel zeigen, daß die bei der Paßpunktanalyse erreichte Genauigkeit auch bei Anwendung der indirekten Entzerrung gehalten werden kann, so daß für die direkte Entzerrungsmethode keine echten Vorteile mehr gesehen werden.

Aus der Passivseite des Fehlerbudgets für die geometrische Analyse von Zeilenaufnahmen ergeben sich u.a. folgende Anregungen für zukünftige Untersuchungen:

- geometrische Aspekte:
 - der Paßpunktanalyse: Das Problem einer noch weiteren Algorithmanpassung an die Verhältnisse im Bild.
 - der Entzerrung: Einflüsse sekundärer Art (z.B. Einfluß des Interpolationsfehlers im DGM)
- radiometrische Aspekte:
 - der Paßpunktanalyse: Das Problem der Verifizierung der Punktidentität im Bild und in der Natur.
 - der Entzerrung: Suche nach einem optimalen Verfahren zur Grauwertinterpolation.

Für die Zukunft wird vermutet, daß eine streng physikalisch-parametrische Kollinearitätsgleichungs-Lösung der geometrischen Verhältnisse für multispektrale Zeilenaufnahmen aber auch für Linear-Array-Abtaster an Bedeutung gewinnen wird (KONECNY et al., 1981). Dies gilt insbesondere bei Verfügbarkeit verlässlicher, präzise aufgezeichneter Flugdaten und inneren Orientierungsdaten.

Ebenso wird die Bündelblockausgleichung für Zeilenaufnahmen im Hinblick auf die Entzerrung mehrerer Bildstreifen aus einem Guß an Bedeutung gewinnen.



Abb.5: Gegenüberstellung der

- kantenverstärkten, entzerrten M²S-Aufnahme (Maßstab 1:50 000) von Freiburg mit digitalem (2 km) Koordinatengitter nur am Bildrand
- und dem entsprechenden Ausschnitt aus der topographischen Karte TK 50

Neben einer eigenständigen Weiterentwicklung des Bildkorrelationsverfahrens, etwa im Hinblick auf schnellere Rechenzeiten dank moderner Pipelineprozessoren und in bezug auf das noch nicht ausdiskutierte Thema der Bilddatenbanken wird die Korrelation zum automatischen Auffinden von Paßpunkten und zur Gewinnung der 3. Dimension an Bedeutung zunehmen (KONECNY und PAPE, 1980). Die hier bereits z.T. vorliegenden Simultanbefliegungen von konventionellen Aufnahmen, Abtasterbildern und registrierten Flugdaten sind ein vielversprechendes Konzept für zukünftige Missionen, mit der Maßgabe, konventionelle Aufnahmen wegen ihrer hohen Auflösung und geometrischen Treue (statische Aufnahmeverhältnisse) für geometrisch topographische

Aufgaben, einschließlich einer Referenzfunktion, einzusetzen, während die Abtasterdaten (insbesondere im thermalen Bereich geflogen) als Zusatzinformation aufzufassen sind (KONECNY et al., 1979).

Literatur

JACOBSEN, K.: Vorschläge zur Konzeption und zur Bearbeitung von Bündelblockausgleichungen, Universität Hannover (Diss. 1980)

KONECNY, G.: Metric Problems in Remote Sensing, Proceedings of the ISP Comm.IV Symposium, ITC Delft, 1971, Series A, Nr.50, S.152-177

KONECNY, G., BÄHR, H.P., Reil, W. und SCHREIBER, H.C.: Einsatz photogrammetrischer Kameras aus dem Weltraum für kartographische Anwendungen. Studie des Instituts für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Universität Hannover, Heft 4, 1979, 165 Seiten

KONECNY, G. und PAPE, D.: Correlation Techniques and Devices. ISP Comm.II, ISP-Kongreß Hamburg 1980

KONECNY, G., SCHUHR, W. und WU, J.: Nutzeranforderungen an satellitengetragene Stereo-MOMS vom Standpunkt der topographischen Kartographie. Studie des Instituts für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen der Universität Hannover, Heft 8, 1981

SCHUHR, W.: Geometrische Verarbeitung multispektraler Daten von Zeilenabtastern. Universität Hannover (Diss. 1982)