

## Das flugzeuggestützte, digitale Dreizeilenaufnahme- und Auswertesystem DPA - erste Erprobungsergebnisse

OTTO HOFMANN, ANTON KALTENECKER und FRANZ MÜLLER, Ottobrunn

### Zusammenfassung

Ein kurzer Überblick zur Entwicklung digitaler, opto-elektronischer Push-Broom-Kameras der Firma Messerschmidt-Bölkow-Blohm GmbH (MBB), jetzt Deutsche Aerospace AG (DASA), leitet über zur Erfindung der Dreizeilenkamera für photogrammetrische, dreidimensionale Objekterfassung aus Luft- und Raumfahrzeugen. Das Funktionsprinzip wird erläutert und das darauf basierende flugzeuggestützte Aufnahme- und Auswertesystem DPA (Digitale Photogrammetrie-Ausstattung) beschrieben. Die Ergebnisse einer ersten Testfeldbefliegung werden bekannt gegeben. Den Entwicklungsauftrag für das DPA-System erteilte das Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung (BWB).

### Abstract

Digital opto-electronic push-broom-cameras developed by Messerschmidt-Bölkow-Blohm GmbH (MBB), now Deutsche Aerospace AG (DASA) are reviewed. The principle of three-line scanner systems for rigorous three-dimensional photogrammetric object reconstruction from aircraft or satellite is explained and the airborne image recording and compilation system DPA is described. First results of a flight over a test area are given. The order to develop the DPA-system was given by the Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung (BWB).

### 1. EINLEITUNG

In den siebziger Jahren führte die Firma Messerschmidt-Bölkow-Blohm GmbH (MBB) die ersten Versuche mit digitalen, opto-elektronischen Kamerasystemen durch. Die ersten flugzeuggestützten Aufnahmen mit der einzeiligen Push-Broom-Kamera EOS im Jahr 1978 waren derart erfolgreich, daß das Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) einen Auftrag für die Entwicklung eines **Modularen Opto-elektronischen Multispektral-Scanners (MOMS)** für Aufnahmen aus dem Space Shuttle erteilte. Die Ergebnisse der Weltraummissionen mit dieser zweikanaligen Kamera in den Jahren 1983 und 1984 waren vielversprechend für Multispektralauswertungen. Eine strenge, dreidimensionale photogrammetrische Objekterfassung war mit diesem System hingegen nicht möglich. Die Lösung dieses Problems gelang 1979 bei MBB durch die Erfindung der Dreizeilenkamera in Verbindung mit einem entsprechenden Algorithmus für die Auswertung durch O. Hofmann. Im Jahre 1982 konnte erstmalig an einem Simulationsmodell der Beweis für die Funktion und die Leistungsfähigkeit dieser Erfindung bei MBB erbracht werden (Hofmann et al., 1984, Hofmann, 1985). Aufgrund dieses Nachweises erteilten nach weiteren Studien Ende der achtziger Jahre das BMFT an MBB den Entwicklungsauftrag für eine entsprechende Kamera für Aufnahmen aus Raumfahrzeugen (MOMS-02) und das BWB für ein flugzeuggetragenes Aufnahme- und Auswertesystem (DPA, **Digitale Photogrammetrie-Ausstattung**).

Ende 1992 erfolgte mit der DPA-Kamera erstmalig die Befliegung eines Testfeldes, im Februar 1993 lagen die ersten Auswertergebnisse vor. Die MOMS-02-Kamera wurde im Rahmen der deutschen Spacelab Mission D2 im Frühjahr 1993 eingesetzt; die Zielsetzungen der Auswertungen durch verschiedene Hochschulinstitute sind in (Ackermann, 1993) formuliert. Ein operationeller Einsatz der MOMS-02-Kamera ist auf der russischen MIR-Station geplant, und für die Erkundung des Planeten Mars sind ebenfalls zwei nach dem Dreizeilenprinzip arbeitende Kameras vorgesehen.

## 2. AUFNAHME- UND AUSWERTEPRINZIP EINER DREIZEILENKAMERA

In der Bildebene eines ständig geöffneten Objektivs sind drei CCD-Sensorzeilen quer zur Flugrichtung angeordnet (Abb. 1a), die nach dem Push-Broom-Prinzip drei sich überdeckende Bildstreifen mit unterschiedlichem Blickwinkel erzeugen (Abb. 2). Nach diesem Prinzip ist die DPA-Kamera aufgebaut. Für langbrennweitige Systeme, die für Aufnahmen aus großen Höhen, z.B. bei Weltraummissionen geeignet sind, werden zweckmäßigerweise drei Objektive, deren optische Achsen gegeneinander um einen Konvergenzwinkel  $\gamma$  geneigt sind, verwendet (Abb. 1b). Dieser Aufbau wurde für die MOMS-02-Kamera gewählt.

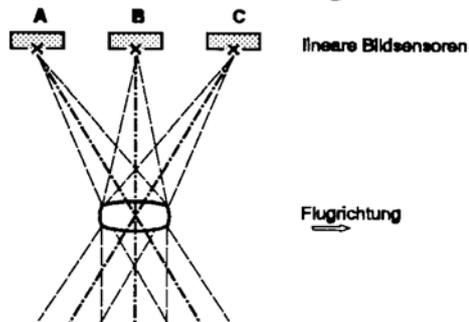


Abbildung 1a: Drei Linearsensoren in der Bildebene eines Objektivs.

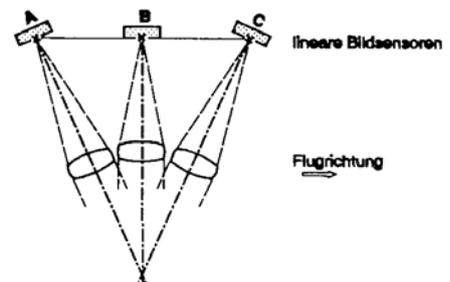


Abbildung 1b: Drei Objektive mit konvergenzen Achsen und jeweils einem Linearsensor.

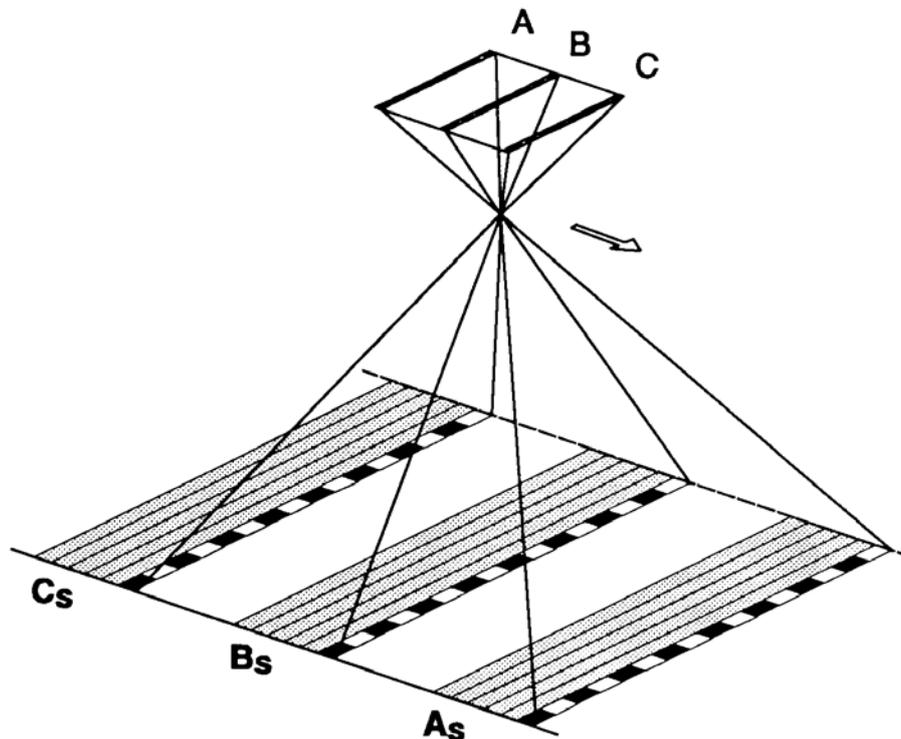


Abbildung 2: Aufnahmeprinzip einer Dreizeilenkamera.

Die Auswertung der drei Bildstreifen erfolgt mit einem speziellen Bündelausgleichsverfahren, der sogenannten Modellrekonstruktion (Abb. 3). Jedem Geländepunkt  $P_i$  sind in den drei Bildstreifen drei entsprechende Bildpunkte zugeordnet, die durch einen Bildzuordnungsprozeß zu er-

mitteln sind. Das Ergebnis dieses Prozesses sind die Kamerakoordinaten  $x_A, y_A, x_B, y_B, x_C, y_C$  auf den entsprechenden (kalibrierten) Sensorzeilen A, B, C und die entsprechenden Bildzeilennummern  $N_A, N_B, N_C$ . Für die Modellrekonstruktion wählt der Auswerter nach gewissen Kriterien in regelmäßigen Bildzeilen-Abständen sogenannte Orientierungspunkte  $P_j$  (mit runden Zeilennummern  $N_j$ ), in denen die Orientierungsparameter  $X_j, Y_j, Z_j, \omega_j, \varphi_j, \kappa_j$  der Kamera zu bestimmen sind. Im dreifachen Überdeckungsbereich lassen sich für jeden Objekt- bzw. Geländepunkt  $P_i$  für die drei zu den Aufnahmestandpunkten  $P_A, P_B, P_C$  führenden Strahlen die bekannten Kollinearitätsgleichungen aufstellen. Dabei sind die Orientierungsparameter in diesen Aufnahmestandpunkten Funktionen der Orientierungsparameter in den jeweils benachbarten Orientierungspunkten  $P_j$  und  $P_{j+1}$ . Zweckmäßigerweise wählt man für diese Funktionen eine lineare Interpolation, d.h. eine Gerade. Nun folgen natürlich die Flugbewegungen, d.h. die Orientierungsdaten der Kamera zwischen diesen Orientierungspunkten  $P_j$  nicht streng dieser Geradenverbindung, so daß entsprechende Korrekturen der Orientierungsparameter erforderlich sind (Abb. 4). Eine detaillierte Darstellung des mathematischen Modells zur Auswertung von Dreizeilenaufnahmen ist in (Müller, 1991) gegeben.

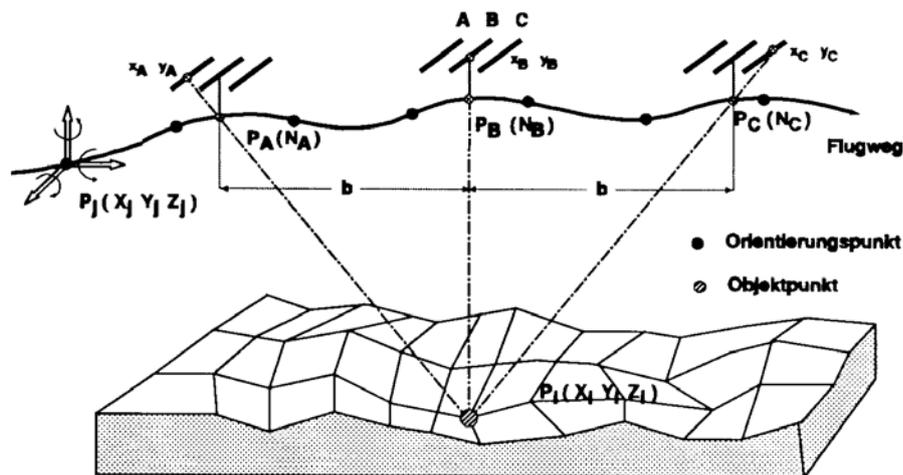


Abbildung 3: Auswerteprinzip der Dreizeilenkamera-Aufnahmen.

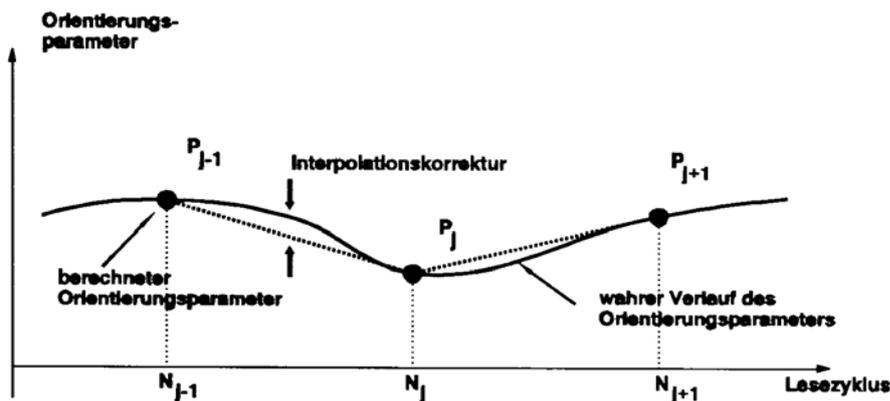


Abbildung 4: Interpolationskorrektur.

Bei Aufnahmen aus dem Weltraum können diese Korrekturen durch den genügend genau bekannten Bewegungs- bzw. Bahnverlauf zwischen zwei Orientierungspunkten beschrieben werden. Bei Flugzeugaufnahmen sind die unbekannteren Flug- bzw. Kamerabewegungen mit geeigneten Sensoren

direkt zu messen. Zu betonen ist, daß diese Korrektur-Messungen jeweils nur auf die benachbarten Orientierungspunkte bezogen werden.

Die Ergebnisse aus dem Bündelausgleichungsprozeß sind die Orientierungsparameter  $X_j, Y_j, Z_j, \omega_j, \varphi_j, \kappa_j$  der Kamera in den Orientierungspunkten  $P_j$  und die Koordinaten  $X_i, Y_i, Z_i$  der in den Ausgleichungsprozeß einbezogenen Objekt- bzw. Geländepunkte  $P_i$  und ihre Genauigkeitseigenschaften. Durch die Einbeziehung sehr vieler Geländepunkte ergibt sich eine große Überbestimmung und damit eine hohe Genauigkeit der Modellrekonstruktion. Zur absoluten Orientierung des Modells genügt die Einbeziehung weniger Paßpunkte oder GPS-Messungen in den Ausgleichungsprozeß.

### 3. DPA-AUFNAHMESYSTEM

Das Optikmodul der DPA-Kamera enthält ein Doppelobjektiv, in deren Fokusebenen jeweils drei Sensorzeilen A, B, C angeordnet sind, und vier Spektralobjektive mit auswechselbaren Filtern. Die Sensorzeilen der Spektralkanäle sind im Objektraum deckungsgleich mit der mittleren Sensorzeile B des Stereomoduls. Die Hochleistungsobjektive wurden von der Firma Leica, Heerbrugg geliefert.

Die wesentlichen Kameradaten sind:

#### Stereomodul

Brennweite der Doppelobjektive:	80 mm
Pixelzahl der Sensorzeilen A, B, C:	12000
Pixelgröße:	10 $\mu\text{m}$
Bildwinkel:	$\pm 37^\circ$
Konvergenzwinkel:	$\pm 25^\circ$

#### Spektralmodul

Brennweite:	40 mm
Pixelzahl:	6000 .

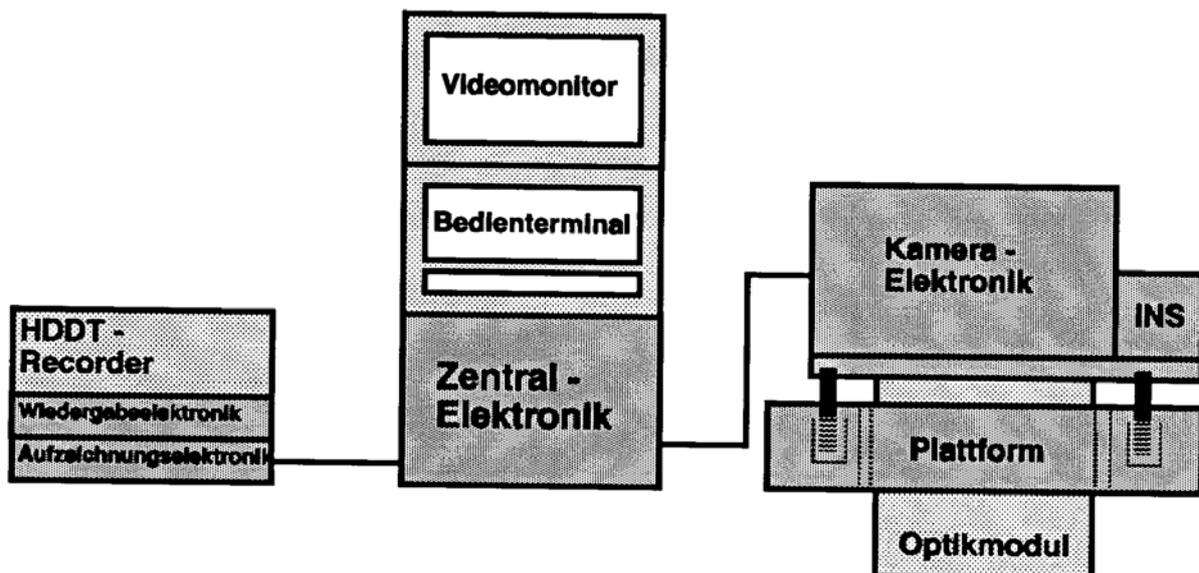


Abbildung 5: DPA - Aufnahmesystem.

Die CCD-Sensoren der Firma Fairchild mit je 6000 Detektoren sind radiometrisch und geometrisch kalibriert. Ihre digitalisierten Signale werden mit 8 Bit pro Bildpunkt aufgezeichnet. Mit dem Optikmodul fest verbunden ist ein Strap-down-INS-Sensorpaket, das Wendekreisel und Beschleunigungsmesser enthält, deren Meßdaten eine Positions- und Lagebestimmung der Kamera zu jedem Bildzeilentakt erlauben. Das Optikmodul mit dem Sensorpaket und der Kameraelektronik ist auf eine Plattform SM2000 der Firma Carl Zeiss, Jena montiert. Diese Plattform stabilisiert die Kamera aktiv, dämpft passiv etwaige hochfrequente Schwingungen und erlaubt die Kantungsausrichtung der Kamera. Ein High-Density-Digital-Tape (HDDT)-Recorder DCRSi der Firma Ampex speichert die Meß- und Zusatzdaten des DPA-Aufnahmesystems.

Die Bedienung des Aufnahmesystems erfolgt über ein Standardterminal mit Menüeingabe und einen Videobildschirm, über den on-line u.a. in verschiedenen Vergrößerungsstufen die Bildaufnahme, die Helligkeitsaussteuerung, die Kantungseinstellung der Kamera und die der Fluggeschwindigkeit entsprechende Bildzeilenfrequenz kontrolliert werden kann.

Nach der Aufnahme können die Bilddaten zu einem beliebigen Zeitpunkt vom Recorder abgerufen und auf dem Videoschirm dargestellt werden (Quick-Look-Funktion). Abbildung 5 zeigt das DPA-Aufnahmesystem.

#### 4. DPA-AUSWERTESYSTEM

Die Auswertung für den Funktions- und Leistungsnachweis der DPA erfolgte zunächst auf bereits vorhandener Hardware, ergänzt durch einige Zusatzmodule und einen provisorischen Stereo-Bildschirm (Abb. 6).

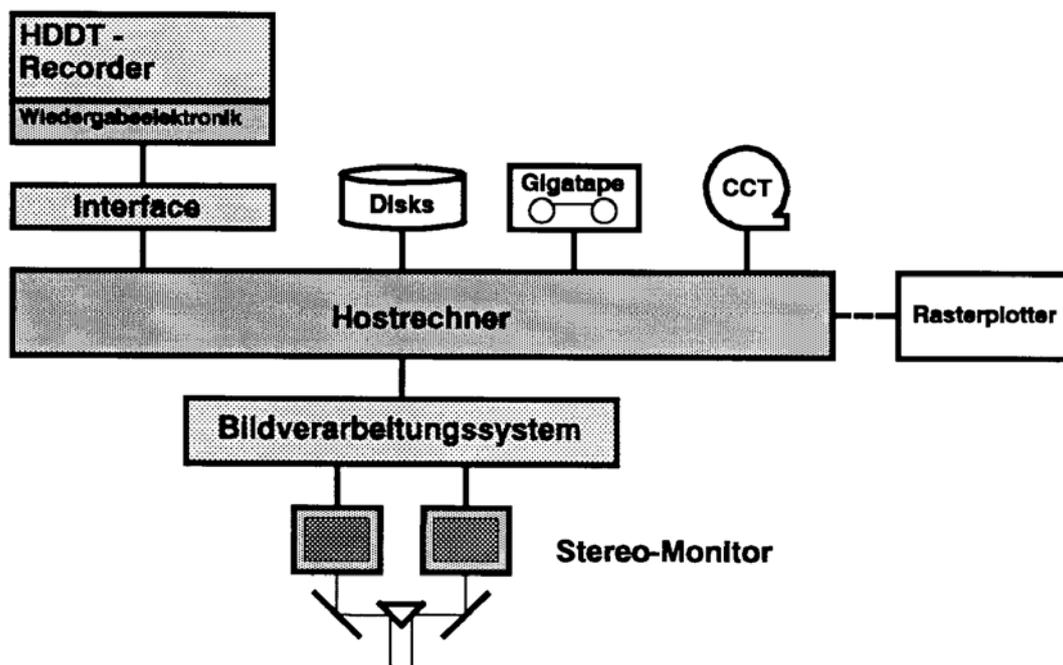


Abbildung 6: DPA - Auswertesystem.

Folgende Auswerteprozesse kommen zur Durchführung.

- Datenumsetzung vom HDDT-Recorder über ein Interface auf die Speichermedien des Rechners und des Bildverarbeitungssystems. Die Bilddaten werden dabei in sogenannten "Kacheln" mit wählbarer Größe abgelegt.

- Berechnung von mit Driftfehlern behafteten Positions- und Lagedaten aus den INS-Meßdaten. Dabei sind die in Bezug auf den Inertialraum gemessenen Drehraten und Beschleunigungen der Kamera in die Orientierungsdaten (Koordinaten und Winkel) jeder Bildzeile in einem erdfesten System, in dem die Modellrekonstruktion stattfindet, umzurechnen. Diese direkt gemessenen und im weiteren Verlauf der Auswertung mit den Driftparametern korrigierten Orientierungsdaten erfüllen drei Funktionen:
  - Näherungsbestimmung zugeordneter Bildpunkte,
  - Korrektur der Orientierungsparameter zwischen den Orientierungspunkten,
  - Beobachtungen für die Parameter der äußeren Orientierung in den Orientierungspunkten.
- Visuelle Messung von Paß- und Kontrollpunkten am Stereo-Bildschirm.
- Bildpunktzurordnung und vorläufige Driftparameterbestimmung in einem iterativen Kombinationsprozeß. Die Bildpunktzurordnung erfolgt derart, daß im mittleren Bildstreifen  $B_s$  gut korrelierbare Punkte (Points of Interest, POIs) ermittelt und hierzu in den Stereobildstreifen  $A_s$  und  $C_s$  die homologen Punkte gesucht werden. Fehlzurordnungen lassen sich einfach eliminieren, da in der dreifachen Überdeckungszone jeder Punkt durch den gemeinsamen Schnittpunkt dreier Strahlen bestimmt ist und die richtigen Zurordnungen durch Toleranzen für die x- und y-Parallaxen kontrolliert werden können.
- Modellrekonstruktion unter Einbeziehung sämtlicher verfügbarer Meßdaten (Bildaten, INS-Daten, Paßpunktdaten, ev. GPS-Daten). Die Ergebnisse sind
  - die Orientierungsdaten in den Orientierungspunkten,
  - die Objektkoordinaten der Geländepunkte,
  - die Driftparameter der INS-Sensoren und der GPS-Daten,
  - die Standardabweichungen sämtlicher Unbekannten.

## 5. DPA-TESTFELDBEFLIEGUNG

Für den DPA-Leistungsnachweis wurde vom BWB ein Testfeld mit ca. 100 signalisierten Punkten bei Laupheim, südlich von Ulm, bereitgestellt. Die Markierung erfolgte mit 80cm x 80cm weißen Kunststoffplatten bzw. mit gleich großen, auf den Asphalt aufgemalten Quadraten. Zum besseren Auffinden der Punkte in den Bildern wurden zusätzlich an jedem Punkt zwei 20cm x 80cm große Identifizierungstreifen angebracht. Die Punkte wurden vom Wehrbereichskommando V (WBK V), Abt. MilGeo signalisiert und trigonometrisch vermessen. Das Geodätische Institut der Universität der Bundeswehr hat sie mittels GPS-Messungen bestimmt und für die DPA-Auswertung die Koordinaten in ein örtliches, kartesisches System transformiert.

Für die Befliegung stellte der Auftraggeber eine in Manching stationierte Dornier DO28 der Wehrtechnischen Dienststelle 61 (WTD61) zur Verfügung. Das Personal der WTD61 führte gemeinsam mit der DPA-Mannschaft die Befliegungen durch.

Leider konnten die Befliegungen nicht wie vorgesehen bereits im August 1992 erfolgen, sondern mußten unter ungünstigeren Rahmenbedingungen (Wetter, Beleuchtung, Beschädigungen des Paßpunktfeldes u.a.) im November 1992 durchgeführt werden. Das Flugzeug wurde mittels eines GPS-Empfängers navigiert, das Kamerasystem bediente ein DASA-Mitarbeiter. Funktionsflüge über Auflösungstafeln beim Flugplatz Manching sicherten die Einsatzfähigkeit des Aufnahmesystems. Die Aufnahmen über dem Testfeld Laupheim erfolgten am 27.11.1992 aus einer Flughöhe von ca. 2500m über Grund und einer Geschwindigkeit des Flugzeuges gegenüber Grund von ca. 70m/s  $\approx$  250km/h mit einer Zeilenfrequenz von 224Hz. Die Bodenpixelgröße beträgt ca. 0,31m und der Bildmaßstab in der Fokalebene der Kamera ca. 1 : 31 250.

Die Einstell- und Kontrollfunktionen der Kamerabedienungseinrichtungen erfüllten alle Erwartungen.



Abb. 7: DPA - Übersichtsbild (Kanal B)

## 6. AUSWERTUNG UND ERGEBNISSE DER TESTFELDAUFNAHME

Ausgewertet wurde ein Kernbereich des Testfeldes von ca. 7 km Länge (dies entspricht 6 Basislängen  $b = h_g \times \tan \gamma$ ) und ca. 3,7 km Breite. Die Bilddarstellung im Rahmen der Auswertung erfolgte auf den Bildschirmen des Stereo-Meßsystems und partiell durch einen hochauflösenden Rasterplotter auf Hardcopies. Die Abbildung 7 zeigt im Maßstab von ca. 1 : 30 000 den gesamten ausgewerteten Bildstreifen, Abbildung 8a stellt einen Bildausschnitt des B-Kanals im Maßstab von ca. 1 : 3 700 dar.

### 6.1 Bildqualität

Die Bildauflösung (100 Bildpunkte/mm), visuell an den Auflösungsstufen überprüft, erfüllt alle Erwartungen. Der Dynamikbereich (8 Bit = 256 Graustufen) wurde praktisch nahezu voll ausgereicht; die aufgezeichneten Grauwerte liegen zwischen 20 und 256. Kontrastübertragungsdaten wurden bisher nicht ermittelt.

Noch nicht voll befriedigend ist die Stabilisierung und Vibrationsdämpfung der Kamera, so daß die Aufnahmen gewisse hoch- und niederfrequente Verzerrungen aufweisen. Diese Mängel können durch Verbesserungen der Plattform behoben werden. Mit Hilfe der driftkorrigierten INS-Daten lassen sich die verzerrten Bilder auf genäherte Senkrechtaufnahmen umrechnen. Der Bildausschnitt (Abb. 8a) ist auf diese Weise entzerrt worden (Abb. 8b).



Abbildung 8a: DPA - Bildausschnitt (Kanal B, Original).



Abbildung 8b: DPA - Bildausschnitt (Kanal B, entzerrt).

### 6.2 Auswertung

Die Auswertung erfolgte gemäß den in Kapitel 4 beschriebenen Prozessen. Am Stereobildschirm wurden von 2 Beobachtern 24 signalisierte Punkte mit einer Genauigkeit von etwa 0,3 Pixel ( $\approx 10$  cm im Objektraum) gemessen.

Die Vorausgleichung zur Bestimmung der Driftparameter und die Benützung der entsprechend korrigierten INS-Messungen für die Bildpunktzuordnung ließ sich erfolgreich durchführen.

Die Zuordnung homologer Bildpunkte von ca. 1000 Objektpunkten, die in fünf, längs des Bildstreifens verlaufenden Ketten angeordnet waren, benötigte keine visuelle Unterstützung oder Korrektur. Fehlkorrelationen wurden automatisch eliminiert.

In die Modellrekonstruktion (Bündelausgleichungsverfahren) wurden die Paßpunktkoordinaten mit  $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = 0.001$  m, die Kamerakoordinaten mit  $\sigma_x = \sigma_y = 10 \mu\text{m}$  und die INS-Beobachtungen in den Orientierungspunkten mit  $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = 0.5$  m und  $\sigma_\omega = \sigma_\varphi = \sigma_\kappa = 0.01^\circ = 36''$  eingeführt. Für die Orientierungspunktabstände wurden Werte zwischen 200 m und 800 m gewählt. Mehrere Modellrekonstruktionen mit unterschiedlicher Paßpunktanzahl und -verteilung, unterschiedlichen Orientierungspunktabständen und unterschiedlicher Objektpunktanzahl führten zu Ergebnissen, die nur geringfügig streuen. Global lassen die bisherigen Auswertungen folgende Feststellungen und Ergebnisse ableiten:

- Der Ausgleichungsprozeß konvergiert stabil.
- Die Bestimmung der unbekanntenen Orientierungs- und Driftparameter sowie der Objektpunktkoordinaten erfolgt signifikant.
- Systematische Fehlereinflüsse sind nicht erkennbar, das Funktionsmodell entspricht der Realität.
- Die gewählten Genauigkeiten der Beobachtungen (Bild- bzw. Kamerakoordinaten, INS-Daten, Paßpunkte) sind realistisch.
- Die a posteriori Standardabweichung  $\hat{\sigma}_0$  der Bild- bzw. Kamerakoordinaten ergibt sich zwischen  $10 \mu\text{m}$  und  $13 \mu\text{m}$ .
- Die theoretischen Fehler der Objektkoordinaten sind nur zwischen 10 - 25% größer als die Grenzfehler (bei fehlerfreien Orientierungsdaten).
- Kürzere Orientierungspunktabstände führen zu höheren Genauigkeiten.
- Die empirischen Genauigkeiten (wahre mittlere Fehler) der Objektpunktkoordinaten, ermittelt an den Kontrollpunkten, ergaben sich bei verschiedenen Modellrekonstruktionsläufen wie folgt:

$$\varepsilon_x = 0,35 \text{ m} - 0,50 \text{ m}, \quad \varepsilon_y = 0,45 \text{ m} - 0,75 \text{ m}, \quad \varepsilon_z = 1,00 \text{ m} - 1,50 \text{ m}.$$

Diese Werte entsprechen weitgehend den theoretisch zu erwartenden Fehlern, wobei die Fehler der Y-Koordinaten (d.h. quer zur Flugrichtung) etwas größer ausfallen. Bei einer Bodenpixelgröße von ca. 30cm sind die **empirischen** Genauigkeiten in der Lage von ca. 1-2 Pixel und in der Höhe von ca. 3-5 Pixel für eine Erstauswertung als sehr zufriedenstellend zu bezeichnen.

In dem a posteriori  $\hat{\sigma}_0$  und in den empirischen Genauigkeiten  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$ ,  $\varepsilon_z$  der Objektkoordinaten sind sämtliche Fehlereinflüsse wirksam. Die Hauptanteile sind offenbar in

- der Bildpunktzuordnung (Korrelation) und den
- Interpolationskorrekturen (INS-Messungen)

zu suchen, wobei die noch ungenügende Dämpfung der Vibration eine wesentliche Rolle für beide Fehlerquellen spielen dürfte.

Demgegenüber sind andere Fehlerquellen, wie z.B. die Kalibrierung der Sensoren und Fehler der Kontrollpunkte von untergeordneter Bedeutung. Allerdings ist nicht auszuschließen, daß infolge des außerplanmäßig langen zeitlichen Abstandes zwischen Signalisierung und Befliegung z.B. Signalverschiebungen aufgetreten sind; mehrere Inspektionen des Paßpunktfeldes vor der Befliegung ließen diese Möglichkeit erkennen.

## 7. BEWERTUNG DER ERGEBNISSE UND AUSBLICK

Bei der Entwicklung des DPA-Aufnahme- und Auswertesystems wurde weitgehend Neuland beschritten, sowohl bei der Hardware als auch bei der Software. Eine Vielzahl von Prozessen und Teilentwicklungen mußte ohne Vorbild konzipiert und durchgeführt werden. Manche 'Überraschung' war unvermeidlich, und dieses oder jenes mußte korrigiert werden. Die Zweckmäßigkeit und Durchführbarkeit der Gesamtkonzeption hat sich erwiesen und die Hard- und Softwarekomponenten haben sich voll bewährt. Bestätigt wird dieser Sachverhalt durch den kurzen zeitlichen Abstand zwischen Befliegung und ersten wichtigen Auswertergebnissen von nur wenigen Wochen.

Pauschal läßt sich feststellen:

- Die Bildqualität der digitalen DPA-Dreizeilenkamera ist vollauf befriedigend; hinsichtlich der geometrischen Bildverzerrungen sind Verbesserungsmöglichkeiten gegeben. Die Auflösung entspricht derjenigen neuester photogrammetrischer Hochleistungskameras. Der Grauwertebereich von ca. 20 bis 256 Stufen ist größer als der digitalisierter photographisch aufgenommener Luftbilder. Dies liegt an der direkten opto-elektronischen Abtastung des Objektes mit einem Sensor, der eine lineare Kennlinie aufweist, während die nachträgliche Abtastung eines Luftbildes den logarithmischen Helligkeitsverlauf des photographischen Bildes erfaßt.
- Die Genauigkeitsergebnisse dieser ersten Erprobung können als voll befriedigend angesehen werden. Sie beweisen, daß mit der digitalen Dreizeilenkamera präzise, stereophotogrammetrische Aufnahmen und Auswertungen durchgeführt werden können. Diese ersten Ergebnisse sind durch weiterführende Hard- und Softwaremaßnahmen noch verbesserungsfähig; auch die Einbeziehung von GPS-Daten in das bereits dafür ausgelegte Modellrekonstruktionsprogramm läßt eine Genauigkeitssteigerung erwarten. Das bedeutet, daß sich mit der digitalen Dreizeilenkamera praktisch sämtliche kartographischen Aufnahmen für Maßstäbe von 1:1000 und kleiner durchführen lassen.
- Im Rahmen dieses Berichtes können nicht alle Aspekte dieser Neuentwicklung aufgezeigt und diskutiert werden. Die wichtigsten Vorzüge seien jedoch kurz genannt:
  - unmittelbare digitale Aufnahme mit allen sich daraus ergebenden Konsequenzen,
  - Kombination von Stereo- und Multispektralaufnahme,
  - Aufnahme und Auswertung beliebig langer Bildstreifen (keine Einzelbilder),
  - Echtzeitfähigkeit,
  - von der Aufnahme bis zur Auswertung durchgehend digitale, automatische Prozesse,
  - sehr großes, offenes Entwicklungspotential im Zuge der allgemeinen Leistungssteigerung der Sensor-, Rechner- und Speichertechnik. Damit werden Hardware-Spezialentwicklungen für photogrammetrische Geräte in erheblichem Ausmaß überflüssig.
  - Aufgrund der vorstehend genannten Punkte kann eine weitere Leistungssteigerung und Rationalisierung in der Photogrammetrie und Fernerkundung erwartet werden.

Nach diesen Feststellungen liegt die Frage nahe, in welchem Umfang sich diese neue digitale Aufnahme- und Auswertetechnik durchsetzen wird, welches Verhältnis zwischen ihr und der konventionellen photogrammetrischen Kamera in Zukunft zu erwarten ist.

Die Chancen der digitalen photogrammetrischen Bildaufnahme und -auswertung mit Dreizeilenkameras werden nach dieser ersten Bewährungsprobe - wobei die MOMS-02-Mission einzuschließen ist (vorab durchgeführte Simulationen lassen auch hier ein hohes Genauigkeitspotential erwarten (Ebner et al., 1991)) - wesentlich von folgenden Faktoren bestimmt:

- Investitionsbereitschaft, Engagement und technische Fähigkeiten für die Entwicklung kundenge-rechter operationeller Systeme,
- praktische Erfahrung, Leistungsfähigkeit und Rationalisierungseffekt mit dieser neuen Technolo-gie und ihren Produkten.

## 8. DANK

Die Entwicklung der digitalen Dreizeilenkamera, deren Konzeption im Mai 1979 von O. Hofmann erarbeitet wurde, hat sich über 14 Jahre erstreckt. Gemessen an der Rasanz moderner Entwicklung ist das eine lange Zeit, die auch eines langen Atems bedurfte und der Mitarbeit und Unterstützung durch viele Personen und Institutionen. Gedankt sei an dieser Stelle in erster Linie allen Mit-arbeitern der Firma MBB/DASA, die an dieser Entwicklung mitgearbeitet, sie unterstützt und finanziell gefördert haben.

Zu danken ist dem Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung in Koblenz, das als Auftraggeber diese Entwicklung möglich gemacht und gemeinsam mit MBB/DASA zielstrebig vorangeführt hat. Den Stellen Amt für Militärisches Geowesen (AMilGeo, Euskirchen), Wehrtechnische Dienststelle 61 (WTD61, Manching), Wehrbereichskommando V (WBK V, Stuttgart) und der Universität der Bundeswehr München wird für die Unterstützung im Rahmen der DPA-Erprobung gedankt.

Ein besonderer Dank gilt Herrn H. Ebner, dem Leiter des Instituts für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU München, für die wissenschaftliche Unterstützung der Dreizeilenkamera-Technologie.

## 9. LITERATUR

- Ackermann, F. (1993): Das MOMS-02-Stereosegment - Ein hochgenaues System der digitalen Photogrammetrie. GIS, Vol. 6, No. 1, 1993, S. 16-22.
- Ebner, H., Kornus, W., Strunz, G., Hofmann, O., Müller, F. (1991): A Simulation Study on Point Determination Using MOMS-02/D2 Imagery. PE&RS, Vol. 57, No. 10, 1991, pp. 1315-1320.
- Hofmann, O., Navé, P., Ebner, H. (1984): DPS - A Digital Photogrammetric System for Producing Digital Elevation Models and Orthophotos by Means of Linear Array Scanner Imagery. PE&RS, Vol. 50, No. 8, 1984, pp. 1135-1142.
- Hofmann, O. (1985): Die Entwicklung der abtastenden, digitalen Bildaufnahme für die Photogram-metrie. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 9/85.
- Müller, F. (1991): Photogrammetrische Punktbestimmung mit Bilddaten digitaler Dreizeilenkameras. DGK, Reihe C, Heft Nr. 372.