

Orthophotokartenherstellung durch Entzerrung
von Reihenmeßkammerabildern aus dem Weltraum

Production of Orthophoto Maps from High Resolution
Space Photography
Harald Engel
Institute for Photogrammetry and Engineering Surveys
University of Hannover
Federal Republic of Germany
Commission IV/6

Zusammenfassung

Während der Spacelab-1-Mission im Dezember 1983 kam zum ersten Mal in der Geschichte der Photogrammetrie eine kalibrierte Reihenmeßkamera im Standardformat zur Gewinnung hochqualitativer Aufnahmen der Erdoberfläche im Weltraum zum Einsatz.

Die hier vorgestellte Weiterverarbeitung dieser Aufnahmen zu Orthophotokarten zeigt eine effiziente Möglichkeit zur Gewinnung oder Aktualisierung topographischer Informationsträger und liefert damit einen Beitrag zur weltweiten kartographischen Erfassung der Erde.

Abstract

During the Spacelab-1 mission in December 1983 for the first time in history of photogrammetry a calibrated photogrammetric camera in standard format from space was used. Intended was the acquirement of high quality imagery of the earth surface. The introduced production of orthophoto maps from these images shows an efficient possibility to obtain or update topographic maps especially in unpopulated or less developed regions of the world, thus contributing to the worldwide coverage of the earth.

Einleitung

Das Experiment "Metric Camera" der Spacelab-1-Mission im Dezember 1983 lieferte über 1000 hochqualitative Aufnahmen der Erdoberfläche aus dem Weltraum.

Als Aufnahmesystem diente eine modifizierte Reihenmeßkamera der Firma Zeiss mit einer Brennweite von 305 mm und einem Bildformat von $23 \times 23 \text{ cm}^2$. Die Belichtung erfolgte je zur Hälfte auf einem Farbinfrarotfilm und einem Schwarz/Weiß-Film.

Aus einer Bahnhöhe von rund 250 km wurden insgesamt 26 Bildserien mit 60 % oder 80 % Längsüberdeckung aufgenommen. Das Aufnahmegebiet eines einzelnen Bildes (Bildmaßstab 1 : 820 000) beträgt $189 \times 189 \text{ km}^2$. Die Abweichungen der Aufnahmerichtungen von den Nadirrichtungen liegen unter 1° .

Schon wenige Tage nach der Landung des Space Shuttle's als Trägersystem waren sämtliche Bilder entwickelt und konnten erstmalig begutachtet werden. Die Auflösung der Schwarz/Weiß-Aufnahmen liegt bei 39 lp/mm, was bei ausreichenden Kontrastverhältnissen einer Detailerkennbarkeit von 20 m und im Vergleich mit Abtastsystemen einer äquivalenten Pixelgröße von 7 m entspricht.

Die hohe geometrische Stabilität und die Mehrfachüberdeckung ermöglichen eine photogrammetrische Stereoauswertung. Ein besonders rationelles Verarbeitungsverfahren zur Gewinnung topographischer Karten bietet die photographische Umbildung der zentralperspektivischen Aufnahmen mittels analytischer Differenzialentzerrungsgeräte.

STS9/SPACELAB METRIC CAMERA EXPERIMENT

Missions Parameter

Start	28. November, 1983
Landung	8. Dezember, 1983
Bahnhöhe	240 - 257 km
Inklination	57 °
Geschwindigkeit	7.7 km/sec
Bildmaßstab	ca. 1 : 820 000
Aufnahmegebiet pro Bild	ca. 189 km x 189 km
Bildwanderung	bei einer Belichtungszeit von 1/500 18 µm ($\hat{=}$ 16 m am Boden)
Film	Kodak Double-X Aerographic film 2405 (S/W) Kodak Aerochrome Infrared Film 2443 (Colour)

Kamera Daten

TYP	MODIFIZIERTE ZEISS RMK A 30/23
LINSE	TOPAR A 1 MIT 7 LINSENELEMENTEN
KALIBRIERTE BRENNWEITE	305.128 MM
MAXIMAL- VERZEICHNUNG	6 µM (GEMESSEN)
AUFLÖSUNG	39 LP / MM AWAR AUF AVIPHOT PAN 30 FILM
FILMPANLAGE	DURCH GEBLÄSEMOTOR IM KAMERAGEHÄUSE
VERSCHLUSS	AEROTOP-ROTATIONSLAMELLEN- VERSCHLUSS
VERSCHLUSS- GESCHWINDIGKEIT	1/250 SEK. — 1/1000 SEK. IN 31 SCHRITTEN

BLENDEN	5,6 BIS 11,0 IN 31 SCHRITTEN
BELICHTUNGS- FREQUENZ	4 BIS 6 SEK. UND 8 BIS 12 SEK.
BILDFORMAT	23 CM X 23 CM
FILMBREITE	24 CM
FILMLÄNGE	150 M = 550 EINZELBILDER
ABMESSUNGEN: — KAMERA — MAGAZIN	46 X 40 X 52 CM 32 X 23 X 47 CM
MASSE: — KAMERA — MAGAZIN	54,0 KG 24,5 KG (MIT FILM)

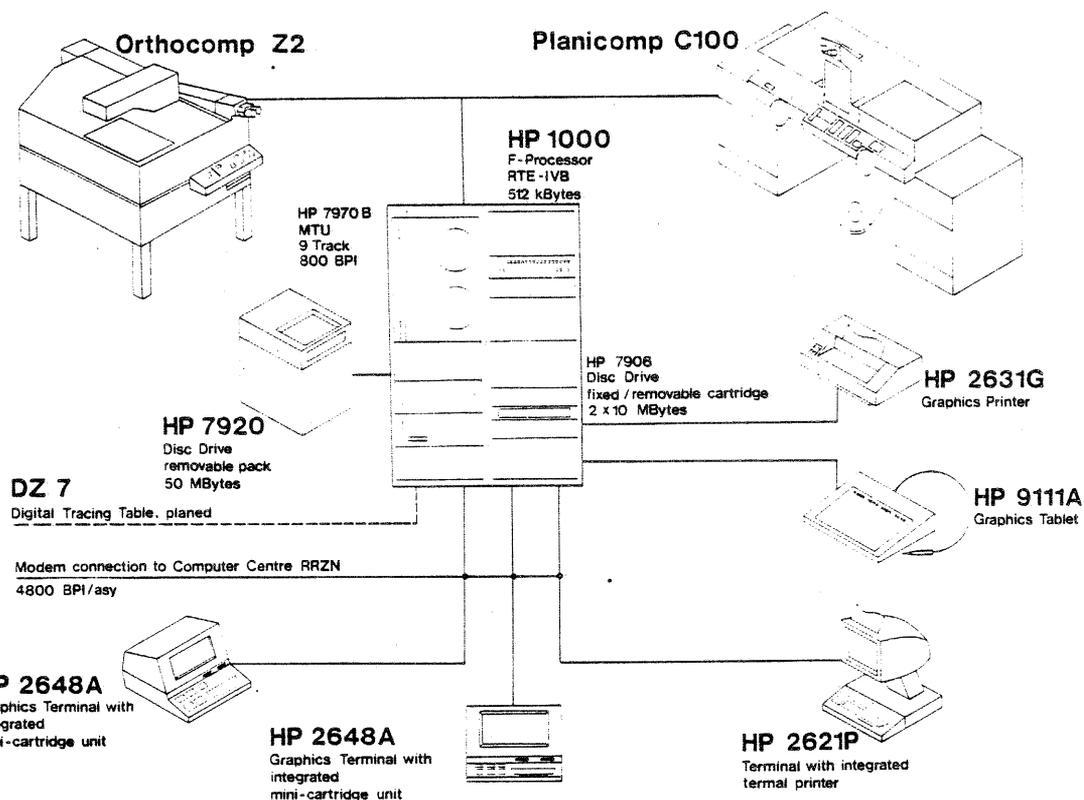
Zielsetzung

Zur Herstellung von Orthophotokarten in den Maßstäben zwischen 1 : 250 000 bis 1 : 50 000 zeigt sich der Einsatz von analytischen Auswertegeräten als besonders geeignet.

Die Orthophotokarte als Ergänzung oder gleichwertiger Ersatz der topographischen Karte sollte wie die topographische Strichkarte in den genannten Maßstäben auf einer geodätischen Abbildung bezogen sein. Die Differenzen zwischen ellipsoid bezogenen geodätischen Koordinaten und den in der Photogrammetrie verwendeten orthogonal kartesischen Koordinaten können bei den vorliegenden Aufnahmebedingungen nicht mehr vernachlässigt werden. Auch die in der Standard-Aerophotogrammetrie angewendeten Näherungslösungen, die Bildkoordinaten infolge erdkrümmungskorrigierter Geländehöhen verbessern, sind bei Entzerrungen in Bildrandnähe hier nicht mehr ausreichend.

Neben diesen Lage- und Höhenänderungen, die sich aus der Krümmung des Erdmodells ergeben, müssen noch weitere Verzerrungen, die sich aus den Abbildungsfunktionen des Rotationsellipsoides in die Ebene ergeben, berücksichtigt werden.

Durch eine Reihe aufeinanderfolgender Transformationen läßt sich die Beziehung zwischen geodätischem und photogrammetrischem Referenzsystem herstellen und in den analytischen Auswerteprozess integrieren.



ORTHOCOMP - PLANICOMP HARDWARECONFIGURATION

Analytische Auswertegerätestation der Universität Hannover,
Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen

Transformationsbeziehungen

$R, H, (h_{OK}) \rightarrow L, B, H \rightarrow X, Y, Z \rightarrow XL, YL, ZL \rightarrow x', y'$

$R, H, (h_{OK})$: Gauß-Krüger-Koordinaten, (orthometrische Höhe)

L, B, H : Geographische Koordinaten: Länge, Breite, ellipsoidische Höhe

X, Y, Z : Geozentrisch orthogonale kartesische Koordinaten

XL, YL, ZL : Lokale orthogonale kartesische Koordinaten

x', y' : Bildkoordinaten

Im geodätischen Referenzsystem dienen die Gauß-Krüger-Koordinaten Rechts- (R) und Hochwert (H) zur Lagefestlegung eines Punktes. Zur Höhenfestlegung sind geoidbezogene orthometrische Höhen oder quasi geoidbezogene Normalhöhen gebräuchlich. Diese Werte lassen sich in geographische Koordinaten L, B, H überführen. Dabei können die Geoidundulationen bzw. Höhenanomalien zwischen orthometrischer Höhe bzw. Normalhöhe und ellipsoidischer Höhe in der Regel vernachlässigt werden.

Die geographischen Koordinaten (L, B, H) beziehen sich auf eine einheitliche Bezugsfläche - dem Referenzellipsoid - und damit auf ein allgemeines dreidimensionales krummliniges Koordinatensystem. Die Transformation in geozentrische Koordinaten (X, Y, Z) führt zu einem orthogonalen kartesischen System. Dieses globale unhandliche Referenzsystem wird in ein lokales orthogonales kartesisches System (XL, YL, ZL) überführt, dessen Zentrum in einem beliebig vorher definierten Punkt P_0 im allgemeinen außerhalb des Rotationsellipsoides liegt und dessen Orientierung durch die Parallelität der ZL -Achse mit der Ellipsoidnormalen in P_0 und der YL -Achse in Nordrichtung festgelegt ist. Dieses Lokalsystem dient als photogrammetrisches Geländesystem.

Punktbestimmung mittels Aerotriangulation

Die Bestimmung von Paßpunkten für jedes zu entzerrende Bild erfolgt durch Aerotriangulation ganzer Streifen oder Teilstreifen nach dem Bündelblockausgleichsverfahren. Die hierzu erforderlichen Koordinaten einiger weniger Paß- und Vergleichspunkte werden vorwiegend aus verfügbaren Karten abgegriffen. Vor Einführung dieser Koordinaten in die Ausgleichung sind diese in ein lokales Koordinatensystem (XL, YL, ZL) zu transformieren. Änderungen des geodätischen Datums bei der Überschreitung von Landesgrenzen werden bei der Transformation berücksichtigt.

Die Aerotriangulation liefert für jedes Bild die Koordinaten einer Anzahl gut identifizierbarer Punkte sowie die äußere Orientierungsdaten der Bilder im lokalen Koordinatensystem. Diese Daten lassen sich zur weiteren photogrammetrischen Auswertung oder Verarbeitung der Satellitenaufnahmen direkt verwenden. Die Archivierung und damit auch die Bereitstellung von Paßpunkten für verschiedene Anwendungen erfolgt gleichmäßig nach Umformung in ein geodätisches Referenzsystem, z.B. in das Gauß-Krüger-System plus orthometrische Höhen.

Ermittlung digitaler Geländemodelle

Zur differenziellen Entzerrung ist ein digitales Geländemodell (DGM) notwendig. Das Bezugssystem des DGM's ist durch die angestrebte Abbildung (Orthophotokarte) vorgegeben, in diesem Fall das Gauß-Krüger-Koordinatensystems einschließlich orthometrischer Höhen. Das Orthocomp Z2 der Firma Zeiss setzt für die Eingabe des DGM's nur die Parallelität des profilweise abgespeicherten Datensatzes voraus. Die Abstände zwischen den Profilen und zwischen einzelnen Punkten innerhalb eines Profils können unterschiedliche Größen annehmen.

Die Ermittlung des DGM's erfolgt durch Digitalisierung von Höhenlinien verfügbarer Karten ($m_k \geq 1\,000\,000$) und anschließender Interpolation mittels geeigneter DGM-Interpolations-Programme. Sind Karten nicht verfügbar oder zur Gewinnung von Höheninformationen für DGM-Berechnungen ungeeignet, was häufig der Fall ist, läßt sich das DGM auch direkt aus den Bildern ermitteln.

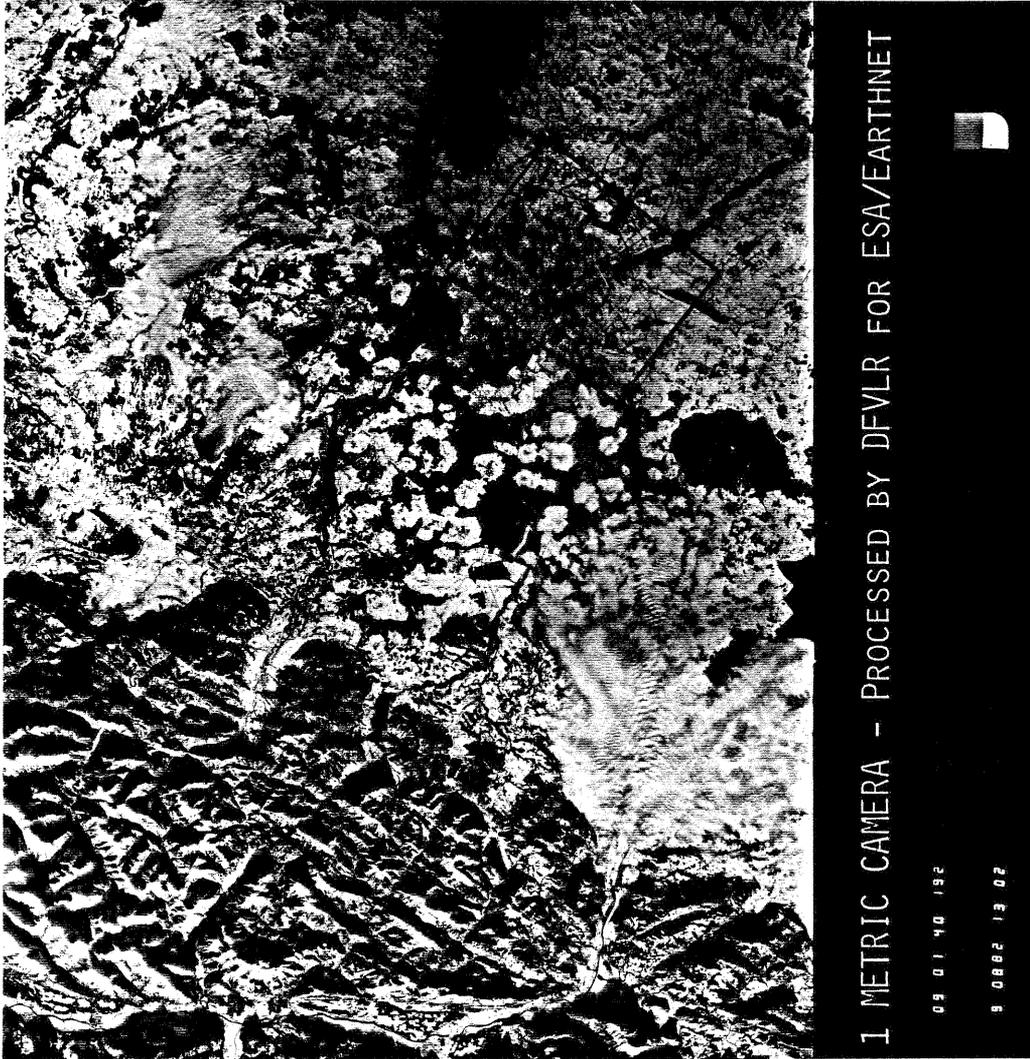
Die aus absolut orientierten Modellen an photogrammetrischen Stereoauswertegeräten ermittelten Geländekoordinaten beziehen sich auf das photogrammetrische Referenzsystem (Lokalsystem) und müssen vor der DGM-Interpolation in das geodätische Referenzsystem (Gauß-Krüger-System, einschl. orthometrischer Höhen) transformiert werden. Bei Verwendung von analytischen Auswertegeräten lassen sich die Transformationen zwischen Lokal- und Gauß-Krüger-System und umgekehrt in ein Meßprogramm einbauen, welches die Meßmarke on-line auf Gauß-Krüger-Gitterpunkte positioniert und nach Aufsetzen der Meßmarke die Gauß-Krüger-Koordinaten plus orthometrische Höhe ausgibt. Auf die rechenintensiven DGM-Interpolationen (Verweilzeiten von 1 - 2 Stunden pro DGM-Berechnung sind nicht ungewöhnlich) kann dann verzichtet werden.

Entzerrung

Zur Entzerrung der Aufnahmen am analytischen Differenzial-Entzerrungsgerät wurden die Standardsoftware des Orthocomps durch Einbau der o.g. Transformationsbeziehungen erweitert.

Die einzugebenen Paßpunktkoordinaten zur Bestimmung oder Überprüfung der äußeren Orientierung können sich wahlweise auf das geodätische oder photogrammetrische Referenzsystem beziehen. Für die DGM-Daten, die sich auf das geodätische Referenzsystem beziehen, gibt es gegenüber Standardanwendungen keine weiteren Einschränkungen.

Die folgenden Beispiele zeigen einen differenziell entzerrten Ausschnitt einer Satellitenaufnahme in unterschiedlichen Maßstäben. Als Ausgangsbild diente eine erste Kopie der Originalaufnahme. Die Entzerrungen sind strenge Gauß-Krüger-Abbildungen. Entzerrung und Einbelichtung des Gauß-Krüger-Gitters sowie Schrift erfolgten direkt am Orthocomp Z2.



Originalaufnahme ca. 1 : 820 000



Orthophoto 1 : 250 000



Orthophoto 1 : 200 000



Orthophoto 1 : 150 000



Orthophoto 1 : 100 000

Ausblick

Diese ersten erzielten Resultate zeigen bereits den hohen kartographischen Wert dieser Aufnahmen. Eine Steigerung in radiometrischer Sicht läßt sich durch Verwendung der Originalaufnahmen erzielen. Die weiteren Tätigkeiten werden sich auf genaue Untersuchungen auch in extremen Gebieten (Alpen, Himalaya) konzentrieren.

Neben den qualitativen Untersuchungen wird die Steigerung der Leistungsfähigkeit durch Weiterentwicklung der Verarbeitungsverfahren im Vordergrund stehen.

Gespannt darf man schon jetzt auf die nächste Generation von Satellitenaufnahmen (Large Format Camera und Metric Camera II) blicken.

Literatur

- Faust, H.W.: Orthocomp Z-2, Der Analytische Orthoprojektor von Carl Zeiss, ISP Komm. II, ISP-Kongreß Hamburg 1980
- Konecny, G.; Schröder, M.: Experiment Reihenmeßkammer in der Spacelab-1-Mission, - STS9 - Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt, 1983
- Vozikis, E.: Unconventional Applications of Differential Rectification, Photogrammetria, July 1983