

GEOMETRISCHE ENTZERRUNG VON SATELLITENBILDDATEN ZUR  
HERSTELLUNG VON BILDKARTEN ARIDER GEBIETE

Ingo Milkus

Technische Universität Berlin,  
Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie  
Bundesrepublik Deutschland

Commission III

Zusammenfassung

Zur Herstellung von Bildkarten aus Satellitendaten ist es meist notwendig, mehrere Szenen zu entzerren und zu vereinen, um ein Kartenblatt abzudecken. Deshalb muß jede Szene in ein gemeinsames geodätisches Referenzsystem transformiert werden, z.B. durch Anwendung von Polynomen.

In unentwickelten Regionen ohne geeignete Kartenunterlagen ist die Bestimmung der dazu erforderlichen Paßpunkte extrem aufwendig. Aus diesem Grund wird ein Verfahren entwickelt, das die Doppelinformationen in den Überlappungsbereichen benachbarter Szenen ausnutzt. Eine große Anzahl von Verknüpfungspunkten kann in diesen Gebieten mittels digitaler Bildkorrelation bestimmt werden. Diese Verknüpfungspunkte schließen die beteiligten Szenen zu einem Block zusammen. Nur ein Minimum an Paßpunkten, die mit Hilfe von Doppeler-Navigationsempfängern im Feld bestimmt werden, ist notwendig, um den gesamten Szenenblock in das geodätische Referenzsystem einzupassen.

Alle Koeffizienten der Transformationspolynome sämtlicher Szenen werden simultan durch eine gemeinsame Ausgleichung berechnet, wobei die Koordinaten der Paß- und Verknüpfungspunkte als Beobachtungen eingeführt werden.

Geometrical Rectification of Satellite Scanner Data for the Production of Image-Maps of Undeveloped Regions

To produce image-maps out of satellite scanner data mostly several scenes have to be rectified and mosaicked to get one map sheet covered. All participated scenes must be transformed into one common geodetic reference system, e.g. by use of polynomials.

In undeveloped regions the determination of ground control points for this purpose is extremely expensive. For this reason a special approach is applied which makes use of the double information in the overlapping parts of adjacent scenes. A great number of transfer points can easily be determined in these areas by digital image correlation. These points tie the scenes together to form one image block. Only a minimum of ground control points make this block fitting to a geodetic reference.

All coefficients of the transformation polynomials are determined simultaneously by a least-squares-adjustment within the coordinates of the ground control- and tie points are the observations.

## 1. Einleitung

Wie aus einem Report der Vereinten Nationen hervorgeht, besteht speziell in den Ländern der sogenannten Dritten Welt ein erheblicher Nachholbedarf an topographischen Karten / United Nations 1983 /. Ihre Herstellung mit Hilfe konventioneller terrestrischer und photogrammetrischer Methoden ist mittelfristig aus finanziellen und zeitlichen Gründen kaum zu realisieren.

Als Alternative zur klassischen Strichkarte könnte die Satellitenbildkarte den mittelfristigen Bedarf an topographischen Informationen decken. Seit dem Start des ersten LANDSAT-Satelliten werden regelmäßig Daten der gesamten Erdoberfläche aufgenommen, so daß die nötigen Informationen, hier z.B. LANDSAT-MSS-Daten, zur Verfügung stehen.

Zur Herstellung von Satellitenbildkarten sind in der Regel mehrere LANDSAT-Szenen geometrisch zu entzerren und zu einem Bildmosaik zu vereinigen. Es wird hier eine digitale Methode zur geometrischen Verarbeitung von Satellitenbildern vorgestellt, die den nachstehenden Besonderheiten eines ariden Gebietes wie z.B. der WESTERN DESERT in Ägypten Rechnung trägt:

- Es existieren keine geeigneten Kartenunterlagen, aus denen Paßpunkte für die Entzerrung der Szenen entnommen werden können.
- Es mangelt vielfach an topographischen Details, die sich als Paßpunkte eignen. Anthropogene Objekte sind wesentlich seltener als in hoch entwickelten Gebieten. Die Identifizierung von natürlichen Paßpunkten in den Bildern ist oft unsicher.
- Der Aufwand zur Messung von Paßpunkten im Gelände ist sehr hoch.

Unter diesen Gegebenheiten können nicht genügend Paßpunkte beschafft werden, um die Szenen einzeln entzerren und dann zusammenfügen zu können. Deshalb wird ein Software-Paket entwickelt, mit dem die in der Aerotriangulation gewonnenen Erfahrungen auf die Verknüpfung von Satellitenbildern übertragen werden sollen:

- Die Einzelbilder werden mit Hilfe von Verknüpfungspunkten zu einem Gesamtblock vereinigt. Diese Punkte werden durch digitale Bildkorrelation in den Überlappungsbereichen benachbarter Szenen bestimmt.
- Zur Transformation des Gesamtblocks in ein Referenzsystem reichen vergleichsweise wenige Paßpunkte aus.
- Die Koeffizienten der Transformationspolynome aller beteiligten Bilder werden simultan in einer Gesamtausgleichung bestimmt.
- Die Bilddaten werden durch Anwendung der indirekten Entzerrungsmethode in das Bildkartensystem transformiert.

Diese Methode verspricht auch bei geringer Paßpunktdichte eine ausreichende Genauigkeit der Bildkarte. Die gleichermaßen notwendige radiometrische Angleichung der beteiligten LANDSAT-Szenen wird in einem eigenen Beitrag behandelt /M.KÄHLER, G.KÖNIG, 1984/.

## 2. Zur Methode der Entzerrung eines Szenenblocks

Der Grundgedanke des Verfahrens ist die Ausnutzung der Doppelinformationen in den Überlappungsbereichen benachbarter LANDSAT-MSS-Szenen. Durch die

polare Bahn der Satelliten wächst die seitliche Überlappung von 14% am Äquator zu den Polen stark an /Abb. 1/.

geogr. Breite	Überlappung (%)
0	14.0
10	15.4
20	19.1
30	25.6
40	34.1
50	44.8
60	57.0
70	70.6
80	85.0

Abb. 1 Breite der Überlappungszonen in Abhängigkeit von der geogr. Breite

Die Überlappung in Spurrichtung ist dagegen relativ konstant 10% /U.S. Geological Survey 1979/.

In den Überlappungsbereichen der Bilder werden Verknüpfungspunkte bestimmt. Jeder dieser Punkte liefert zwei Paar Bildkoordinaten, die an der Bildverarbeitungsanlage gemessen werden. In den Bildecken kann ein und derselbe Punkt in bis zu vier Szenen auftreten und liefert dann maximal vier Paar Bildkoordinaten. Auf diese Weise werden die beteiligten Szenen an ihren Rändern miteinander verbunden. Es muß dann nur eine relativ kleine Anzahl von Paßpunkten im Gelände bestimmt werden, die den gesamten Bildverband im Kartensystem fixieren /Abb. 2/.

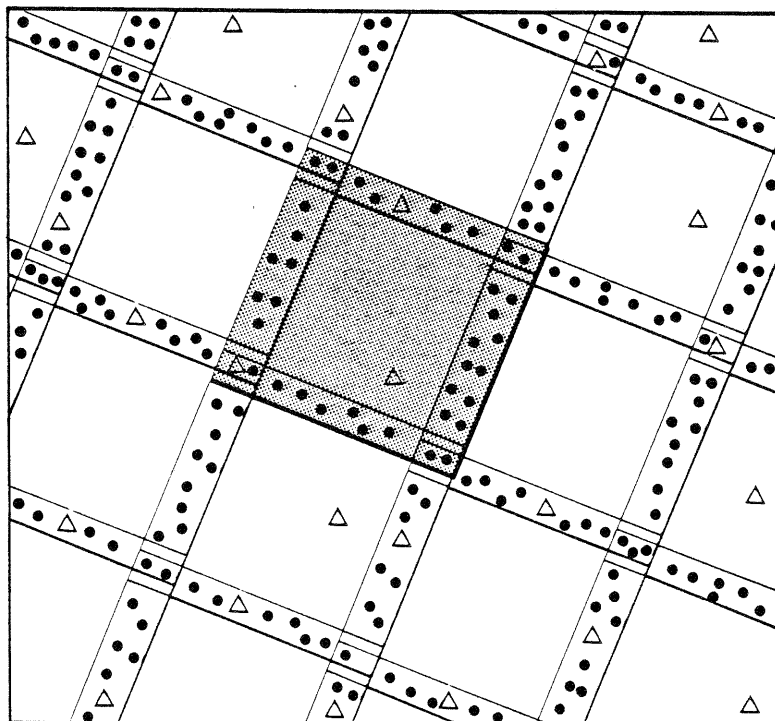


Abb. 2 Schematische Darstellung der Paßpunkte ( $\Delta$ ) und Verknüpfungspunkte ( $\bullet$ ) in einem Szenenblock

Mit Hilfe von je zwei Polynomen für jede der beteiligten Szenen (Input-Matrizen) werden diese in eine große Ergebnisbildmatrix (Output-Matrix) transformiert. Dabei findet die Indirekte Entzerrungsmethode Anwendung, die für je-

des Bildelement der Output-Matrix die Lage in der verzerrten Input-Matrix und damit seinen Grauwert bestimmt /Abb. 3/.

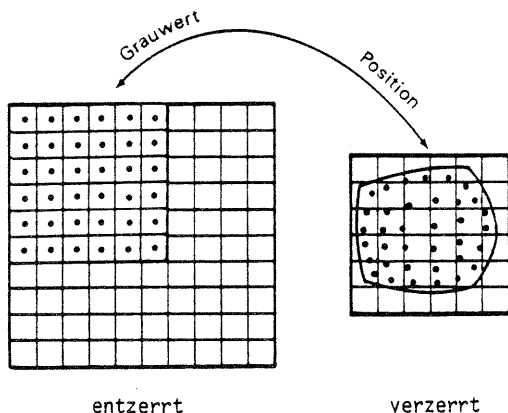


Abb. 3 Prinzip der indirekten Entzerrungsmethode

Bevor die eigentliche Transformation sämtlicher LANDSAT-Szenen in die Ergebnisbildmatrix erfolgen kann, müssen die unbekannt Koeffizienten der Transformationspolynome aller Szenen berechnet werden. In einer gemeinsamen Ausgleichung werden sämtliche Koeffizienten der Polynome 2. Ordnung der beteiligten Szenen simultan ermittelt. Die Koordinaten der Paßpunkte und Verknüpfungspunkte gehen als Beobachtungsgrößen in die Ausgleichungsberechnung ein. Durch die Einführung vieler Verknüpfungspunkte erhöht sich die Anzahl der Beobachtungen beträchtlich, so daß homogene Übergänge an den einzelnen Szenenrändern entstehen. Der wichtigste Vorteil des Verfahrens ist jedoch die Reduzierung der notwendigen Paßpunktanzahl /Abb. 4/.

- SYSTEM DER LINEARISIERTEN BEOBACHTUNGSGLEICHUNGEN:

$$A_1 \cdot v_1 + B \cdot \Delta + w_1 = 0 \quad , P_1$$

$A_1$  : Koeffizientenmatrix der Beobachtungen  
 $B$  : Koeffizientenmatrix der Unbekannten  
 $v_1$  : Vektor der Verbesserungen  
 $\Delta$  : Vektor der Korrekturen für die Näherungswerte der Unbekannten  
 $w_1$  : Vektor der Widersprüche  
 $P_1$  : Gewichtsmatrix  
 $v_1$  und  $\Delta$  werden so berechnet, daß  $v_1^T P_{11} v_1$  zum Minimum wird.

- LÖSUNG DES NORMALGLEICHUNGSSYSTEMS:

$$\underbrace{B^T (A_1 P_1^{-1} A_1^T)}_{N_1} B \cdot \Delta = \underbrace{B^T (A_1 P_1^{-1} A_1^T)^{-1}}_{w_1^*} \cdot w_1$$

$$\Delta = N_1^{-1} \cdot w_1^*$$

$$v_1 = P_1^{-1} A_1^T (A_1 P_1^{-1} A_1^T)^{-1} (w_1 - B (N_1^{-1} w_1^*))$$

Abb. 4 Ausgleichungsansatz zur Ermittlung der unbekannt Polynomkoeffizienten in Matrixschreibweise ( Schmid, H.H., 1977 )

### 3. Punktübertragung durch digitale Bildkorrelation

Grundsätzlich kommen zwei Möglichkeiten in Frage, identische Punkte in den Überlappungsbereichen an einer Bildverarbeitungsanlage zu lokalisieren:

- Visuelle Identifizierung geeigneter Punkte und Messung der Bildkoordinaten
- Interaktive Punktbestimmung mittels digitaler Bildkorrelation

Praktische Versuche zur Punktübertragung in LANDSAT-Bildern der WESTERN DESERT in Ägypten als Beispiel für ein arides Gebiet haben hinsichtlich Zeitverbrauch, Genauigkeit und Zuverlässigkeit die Überlegenheit des zweiten Verfahrens bewiesen.

Das Prinzip sei anhand von Abbildung 5 kurz erläutert. Im Bild 1 wird interaktiv die Lage einer kleinen Mustermatrix festgelegt, deren Mittelpunkt den Verknüpfungspunkt repräsentiert. Im Bild 2 wird eine größere Suchmatrix definiert, in der der Bildinhalt der Mustermatrix enthalten sein muß. Nun wird die Mustermatrix über den Suchbereich geschoben, bis die beste Übereinstimmung erreicht ist. Diese optimale Lage wird folgendermaßen bestimmt: Für jede der  $(L-M+1)^2$  möglichen Positionen wird ein Korrelationskoeffizient berechnet, der ein Maß für die Ähnlichkeit der Bildinhalte ist. Trägt man die Menge der so berechneten Korrelationskoeffizienten über die Bildkoordinaten  $x'$  und  $y'$  auf,

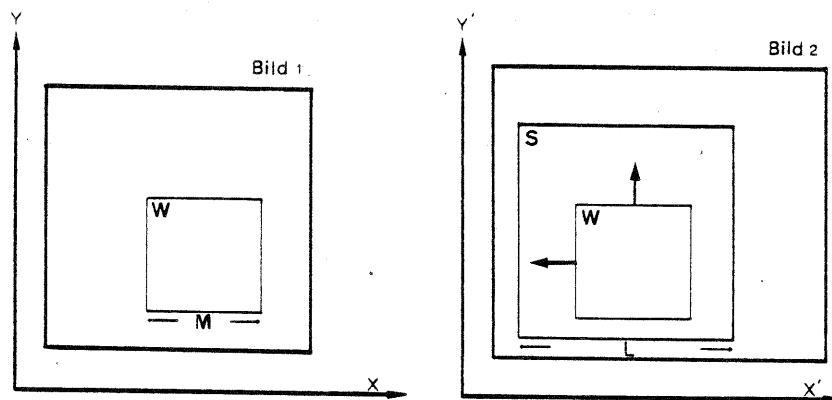


Abb. 5 Prinzip der digitalen Bildkorrelation

ergibt sich eine Korrelationsfunktion, deren Maximum der wahrscheinlichste Ort für die Lage der Mustermatrix innerhalb der Suchmatrix ist.

Bei Korrelationsversuchen mit Bildern der WESTERN DESERT wurde deutlich, in welchem Maße Texturverhalten und Grauwertumfang der Bilddaten die Qualität der Korrelationsergebnisse beeinflussen. Geeignete radiometrische Vorverarbeitungsschritte und interaktive Auswahl günstiger Bildausschnitte verbessern die Ergebnisse.

### 4. Paßpunktbestimmung

Paßpunkte stellen die Verbindung zwischen den geometrisch verzerrten Bilddaten und einem geometrisch homogenen Referenzsystem her. Ihre Lage ist daher sowohl in den Bildern als auch im Gelände nach Koordinaten zu bestimmen. Die Paßpunkte lassen sich in digitalen Bildern vergleichsweise einfach messen,

da sie direkt am Bildschirm mittels Cursor eingestellt werden können, wobei das Zeilen- und Spaltenraster als Koordinatengitter dient. Wesentlich schwieriger gestaltet sich die terrestrische Paßpunktbestimmung, die in den WESTERN DESERT Ägyptens, einer ariden Region, unter Feldbedingungen erprobt worden ist.

Grundlage der Feldarbeit sind die nach Spektralverhalten und Textur zu interpretierenden LANDSAT-Daten, die in Form vergrößerter Abspielungen vorliegen müssen. Die Auswahl geeigneter Geländeobjekte geschieht vor Ort, wobei das einem bestimmten Pixel entsprechende Gelände-Flächenelement zu identifizieren ist. Je nach Abbildungsqualität, Objektdetail und Textur können sich allerdings sehr unterschiedliche Treffgenauigkeiten ergeben. Die pixelgerechte Identifizierung von Geländedetails ist schwierig. Kenntnisse des Reflexionsverhaltens verschiedener Oberflächen sind dabei ebenso von Nutzen, wie Felderfahrung und Kenntnisse der Landestopographie.

Unter Berücksichtigung aller Faktoren kann man mit einer Identifizierungsgenauigkeit von 1 bis 2 Pixel rechnen. Eine deutliche Steigerung der Genauigkeit wird jedoch erreicht, wenn anstelle eines einzigen Paßpunktes sogenannte Paßpunktnester eingerichtet werden. Es sind dies Punkthaufen, die jeweils innerhalb eines eng begrenzten Geländebereichs angelegt werden. Diese Verfahrensweise hat zwei wesentliche Vorteile. Zum einen kann durch die erforderliche Mehrfachinterpretation unmittelbar im Gelände mit einer höheren Identifizierungsgenauigkeit für die Punktgruppe gerechnet werden. Von größerer Bedeutung ist jedoch der Vorteil einer nachträglich möglichen Überprüfung und Korrektur der örtlichen Interpretation. Dazu werden die terrestrisch bestimmten Paßpunkte in den jeweiligen lokalen Bildbereich transformiert und mit den dortigen geometrischen Bedingungen verglichen. Interpretationsfehler können so aufgedeckt und korrigiert werden.

## 5. Paßpunktmessung

In den üblicherweise geodätisch wenig erschlossenen aber großräumigen Gebieten kommen terrestrisch geodätische Meßverfahren zur Punktbestimmung nicht in Betracht, weil sie zu teuer und zeitaufwendig sind. Demgegenüber gestattet das moderne Verfahren der Doppler-Beobachtung nach satellitengetragenen Sendern die Messung einer hinreichenden Anzahl von Punkten innerhalb eines überschaubaren Zeitraumes bei zugleich reduziertem Personalaufwand.

Grundlage dazu sind die Signale und Bahndaten von derzeit fünf Satelliten, die sich in polnahen Bahnen von etwa 1000 km Höhe bewegen. Dieses System ist unter der Bezeichnung "Navy Navigation Satellite System" (NNSS) oder auch TRANSIT bekanntgeworden /STANSELL 1971/. Bei Einzelpunktmessung kann man dabei mit einer Genauigkeit von

$$\sigma = \pm \frac{48\text{m}}{\sqrt{n}}$$

rechnen, wobei  $n$  die Anzahl der empfangenen und verwertbaren Satellitendurchgänge ist /CHEN 1982/. Vor Ort muß man deshalb mit Meßzeiten von etwa 1,5 bis 3 Tagen pro Punkt je nach Empfangsbedingungen rechnen, um eine Genauigkeit von  $\sigma = \pm 15\text{m}$  zu erreichen. Die notwendige Verweildauer wird dazu benutzt, ein Paßpunktnest um diesen Dopplerpunkt anzulegen. Es werden weitere Gelände-

depunkte anhand der Satellitenbilder identifiziert, die dann durch Winkel- und Streckenmessungen zu einem lokalen Netz verbunden werden, um damit - wie oben beschrieben - die Identifizierungssicherheit zu erhöhen.

## 6. Datenverarbeitungstechnische Aspekte

Die digitale Bildverarbeitung erfordert die Speicherung und Bearbeitung großer Datenmengen. Eine LANDSAT-MSS-Szene mit 4 Kanälen repräsentiert eine Datenmenge von ca. 30 MByte. Will man eine Satellitenbildkarte aus mehreren Szenen generieren, steigt der notwendige Speicherbedarf sehr rasch an. Bild- daten in der Größenordnung von 300 bis 400 MByte sind z.B. für eine Bild- karte im Format der Internationalen Weltkarte (IWK) 1:1000 000 nicht un- gewöhnlich. Diese Speicherkapazität muß spätestens für die Erzeugung der Aus- gabematrix zur Verfügung stehen, wenn das entzerrte Bildmosaik im ganzen auf einem geeigneten Rasterplotter ausgegeben werden soll.

Zur Zwischenspeicherung und langfristigen Datenhaltung sind Magnetbänder (CCT's) geeignet. Sind die Koeffizienten der Transformationspolynome berech- net, können die einzelnen Szenen in Submatrizen der Bildkartenmatrix trans- formiert und auf CCT's abgelegt werden.

Zur Verkürzung der umfangreichen Rechenzeiten werden nur ausgewählte Punkte, sogenannte Ankerpunkte, mit Hilfe der Polynome transformiert. Über die Aus- gabematrix wird dafür ein regelmäßiges Netz gelegt, dessen Netzknoten die An- kerpunkte darstellen. Alle Bildelemente, die innerhalb der Netzmaschen liegen, werden über die entsprechenden Eckpunkte durch bilineare Interpolation in die Referenzmatrix übertragen. Dieser Interpolationsalgorithmus benötigt spürbar weniger Rechenzeit als die punktweise Anwendung der Transformationspolynome und bringt keinen meßbaren Genauigkeitsverlust mit sich. Die Maschenweite sollte jedoch variabel sein, um sie unterschiedlichen Maßstäben und Bildver- zerrungen anpassen zu können /WIESEL 1981/.

Die Zuweisung der eigentlichen Grauwerte erfolgt durch das Verfahren der nächsten Nachbarschaft. Die originären Grauwerte bleiben dabei unverändert, damit in nachfolgenden Bearbeitungsschritten wie radiometrischer Anpassung der Szenen oder Klassifizierungen mit den Originaldaten weitergearbeitet werden kann.

## 7. Schluß

Dieser Bericht stellt die geometrischen Aspekte einer neuen Methode zur Her- stellung von Satellitenbildkarten vor. Die besonderen Bedingungen von uner- schlossenen Regionen, am Beispiel eines ariden Gebietes in Ägypten erprobt, werden in dem Verfahren berücksichtigt. Das modular aufgebaute Software- System ist im Entstehen.

## 8. Literaturverzeichnis

CHEN, J.Y. (1982): Geodetic Datum and Doppler Positioning. Ph.D. thesis, Mitteilungen der geodätischen Institute der TU Graz, Nr. 39, 249 S., Graz.

- KÄHLER, M. und KÖNIG, G. (1984): Radiometrische Bildverarbeitung zur Erstellung eines Satellitenbild-Mosaiks. Presented Paper ISPRS-Kongreß, Rio de Janeiro, Kommission III.
- SCHMID, H.H. (1977): Ein allgemeiner Ausgleichungs-Algorithmus für die numerische Auswertung in der Photogrammetrie. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der ETH Zürich, Mitteilung Nr. 22, 45 S., Zürich.
- STANSELL, T.A. (1971): Transit, The Navy Navigation Satellite System. Navigation, 18, S. 93-109, Washington.
- UNITED NATIONS SECRETARIAT (1983): Status of World Mapping. Proceedings of the Tenth U.N. Regional Cartographic Conference for Asia and the Pacific, Bangkok, 17.-28.1.1983.
- US GEOLOGICAL SURVEY (1979): Landsat Data Users Handbook. Revised Edition, 202 pp., Arlington/Virginia
- WIESEL, W.J. (1981): Paßpunktbestimmung und geometrische Genauigkeit bei der relativen Entzerrung von Abtastdaten. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C. Nr. 268, 74 S., München.