

Paper-ID: VGI_199118



Digitale Bildanalyse für großräumige Erdvermessung

Franz Leberl ¹

¹ *Boulder, Colorado, USA*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **79** (3), S. 224–234

1991

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Leberl_VGI_199118,  
Title = {Digitale Bildanalyse f{"u}r gro{"ss}r{"a}umige Erdvermessung},  
Author = {Leberl, Franz},  
Journal = {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessungswesen und  
Photogrammetrie},  
Pages = {224--234},  
Number = {3},  
Year = {1991},  
Volume = {79}  
}
```



Digitale Bildanalyse für großräumige Erdvermessung

von Franz W. Leberl, Boulder, USA

Kurzfassung

Dem photogrammetrisch tätigen Vermessungsingenieur stellt sich zunehmend die Aufgabe, rasch wachsende hochtechnologische Aufgaben der großräumigen Erdvermessung zu bearbeiten. Zunächst gilt es, moderne Kartenwerke für bisher unvollständig kartierte Regionen herzustellen, weiters steigt die Anforderung an den Erneuerungszyklus bestehender Kartenwerke in industrialisierten Ländern, und schließlich entsteht durch die gesteigerte Planungs- und Umwelt-Anforderungen an die Geowissenschaften auch ein wachsender Bedarf an photogrammetrischen Dienstleistungen für nicht-traditionelle Anwendungen.

Das digitale Bild spielt zunehmend eine tragende Rolle in diesen Aufgabenstellungen. Der Beitrag diskutiert moderne bildgebende Verfahren, die Auswertetechnologie und die Einflüsse auf vermessungstechnische Anwendungen. Insbesondere werden neuere Begriffe wie „Bildwürfel“, „Softcopy-Leuchttisch“, „Visualisierung“ und „Softcopy-Photogrammetrie“ erläutert und mittels Beispielen aus Anwendungen und Forschungsarbeiten dokumentiert.

1. Einleitung

Der photogrammetrisch tätige Ingenieur lebt in einem turbulenten Zeitalter. Nicht nur die Rechentechnik erneuert sich im 3-Jahreszyklus, auch die Sensortechnik eröffnet neue Aufgaben in rascher Folge. Während Satelliten den Bedarfsanstieg an zeitgemäßen Daten beschleunigen, lassen neue Positionierungssysteme herkömmliche Punktbestimmungsmethoden veralten. Zu all dem stellt das Geographische Informationssystem (GIS) beispiellose Anforderungen an die Informationsgewinnung aus Bildern.

Die Turbulenz in allen Teilgebieten der Photogrammetrie verunsichert die führende Generation, welche den Übergang vom traditionsreichen analogen Verfahren zu rechnergestützten, sogenannten *analytischen* Verfahren in vergleichsweise „geordneten“ Bahnen erlebte und gestaltete. Ist mit dem Übergang vom herkömmlichen Luftbild und den traditionellen Punktbestimmungsmethoden auf das Digitalbild und die externe Sensorpositionsmessung das erlernte Wissen wertlos geworden?

Im wesentlichen ist die Antwort ein „Ja“. Denn mit den neuen Technologien entstehen neue Aufgaben mit einer neuen fachlichen Wertordnung, auch in der ureigensten, ein Fachgebiet definierenden Domäne, nämlich der „Anwendung“.

Ein Beispiel ist etwa die Tatsache, daß Kartenwerke der Vergangenheit in größeren Maßstäben erstellt wurden, sodaß daraus durch Generalisierung kleinere Maßstäbe abgeleitet werden konnten. In Entwicklungsländern galten Maßstäbe von etwa 1:50 000 schon als „größer“. In Industrieländern ist der Begriff des „größeren“ Maßstabs für etwa 1:5 000 bis 1:25 000 reserviert. Projektbezogene Karten- oder Planerstellung geschah immer in großen Maßstäben.

Dies hat sich verändert. Kleinmaßstäbige Karten werden direkt im Maßstab 1:100 000 aus Satellitenbildern gewonnen, und das Ausmaß an großräumigen projektbezogenen Aufgaben hat zur Herstellung kleinmaßstäbiger Projektunterlagen geführt. Die Karte aus der Druckpresse wird zunehmend durch digitale Daten auf Disketten ergänzt. Damit hat sich ein Thema der „großräumigen Kartierung“ aus digitalem Quellenmaterial herausgebildet.

Es wird im folgenden gezeigt, daß das neue digitale Quellenmaterial aus der Satellitenfernerkundung die Genauigkeitsansprüche an die Kartenerstellung 1:50 000 erfüllen kann; daß die geometrische Auflösung zur Darstellung in diesem Maßstab als Orthophotokarte ausreicht; daß der Druck auf die Laufendhaltung des Kartenmaterials der Verwendung kleinmaßstäbiger Quelldaten Vorschub leistet, und daß die vollautomatische Erstellung kleinmaßstäbiger Karten der Realisierung nahe ist.

2. Kartenwerke im Maßstab 1:50 000 und ihre Erneuerung

Da in den Industrienationen nationale Kartenwerke typisch im Maßstab 1:25 000 bis 1:5 000 erstellt werden, entstehen kleinere Maßstäbe durch Generalisierung des kartographischen Quellenwerkes. Außerhalb der Industrienationen ist dieser ursprüngliche Maßstab oft 1:50 000. Trotz oft vorgebrachter Zweifel an der Nützlichkeit moderner digitaler Satellitenbilder für die Kartenherstellung (z. B. Konecny u. a., 1982) beeinflussen vier Strömungen ein Aufbrechen traditioneller Betrachtungsweisen.

Zum ersten findet die sogenannte Bildkarte immer mehr Anwendungen, vor allem für die kurzlebige Verwendung als Planungsunterlage in großräumigen Projekten. Ein Beispiel ist etwa die Suche nach Rohstoffen (siehe Abb. 1).

Zum zweiten wächst der Druck, alle Kartenwerke am neuesten Stand zu halten, sodaß erwartet wird, daß neue Bilder *sofort* zur Erneuerung der Karten führen. Kleinere Maßstäbe sollen also direkt erneuert werden, statt wegen des Umwegs über die Generalisierung auf die Erneuerung größerer Quellenmaßstäbe zu warten (Ehlers und Welch, 1988).

Zum dritten entsteht durch die rasche Akzeptanz der geographischen Informationssysteme (GIS), die sich zum Beispiel in den USA durch jährlich 10 000 neue GIS-Arbeitsstationen (!) manifestiert, ein Bedarf an zeitgemäßen Unterlagen, der sich maßstabsneutral strikt nach gewissen Anwendungen orientiert. Diese Unterlagen entsprechen in ihren Genauigkeitsanforderungen oft den kleineren Maßstäben, werden also vom traditionellen Kartenhersteller als „kleinmaßstäbiges“ Produkt eingeordnet.

Zum vierten wird die Möglichkeit, aus Fernerkundungsbildern rasch und billig ein Kartenwerk im Maßstab 1:50 000 zu erstellen, außerhalb der Industrienationen als Lösung des mangelnden Bedeckungsgrades mit zeitgemäßen Karten gepriesen.

Großräumige Erdvermessung wird also als die direkte Erstellung von Unterlagen über größere Regionen definiert, wobei Projekte durchaus ein Gebiet von 5000 km² bis 100 000 km² betreffen können. Da eine Karte im Maßstab 1:50 000 bekanntlich eine Fläche von 25 km x 25 km bedeckt, hätte ein Projekt über 100 km x 100 km daher einen kurzfristigen Datenbedarf von 16 Karten im Maßstab 1:50 000. Moderne Verfahren müssen diesen Bedarf in etwa 3 Monaten abdecken können. Damit wird ein zeitgemäßes Anforderungsprofil an automatische Verfahren für großräumige Erdvermessung definiert. Obwohl nun die Genauigkeit gegen die rasche Erledigung der Kartenherstellung abgewogen werden könnte, bleiben die Anforderungen an die Genauigkeit oft jene, die dem Darstellungsmaßstab entsprechen:

Lage: $\pm 0,2$ mm bis $\pm 0,5$ mm im Darstellungsmaßstab; *Höhenlinienintervalle:* 5 m im flachen, 20 m im gebirgigen Gelände. Manchmal reichen auch 100 m aus.

Die Bildkarte ist eine neuartige Darstellungsform der Kartographie. Hier verschiebt sich die Interpretation des Karteninhalts vom photogrammetrischen Spezialisten zum Kartennutzer. Als Faustregel gilt, daß der Darstellungsmaßstab nicht weniger als 3 und nicht mehr als 8 Pixel pro Millimeter wiedergeben soll. Damit bietet sich für Daten der Satellitenfernerkundung mit Pixelgrößen von 10 m ein Darstellungsmaßstab von 1:50 000 als sinnvoll an. Dies bringt die Anforderung an die Lagegenauigkeit auf ± 10 m bis ± 25 m, Werte welche mit Fernerkundungsdaten erfüllbar sind. Meist erfüllt aber die Höhengenaugkeit, vor allem in flacheren Gebieten, nicht die gestellten Anforderungen, da die Höhengenaugkeit mit etwa $2/3$ bis 1 Pixel begrenzt ist; daher sind die Höhenlinienintervalle von 20 m nur in wenigen Fällen gerechtfertigt, aber im Flachen einfach nicht ausreichend.

Abbildung 1 ist ein Beispiel einer Radarbildkarte im Maßstab 1:50 000 (50 km x 50 km) aus 14 digitalen Flugzeug-Radarbildern mit Pixeldurchmessern von 6 m (daher: 8 Pixel pro Millimeter). Die Höhenkurven stehen im 100 Meter-Intervall.

Der Druck zur Leistungssteigerung herkömmlicher Einrichtungen der großräumigen Vermessung ergibt sich vor allem durch die rasche Veralterung des einmal erzeugten Kartenmaterials. Da die Bildquellen der Fernerkundung sich wesentlich rascher als das herkömmliche Luftbild erneuern, bietet sich ein Weg an, kleinere Kartenmaßstäbe direkt durch Verwendung von Fernerkundungsdaten zu erneuern. Der derzeit naheliegende Weg ist die Herstellung von entzerrten Orthobildern und der händische Vergleich mit alten Kartenmanuskripten am Leuchttisch. Daraus wird ein neues Manuskript erzeugt, das auf dem üblichen Weg in die kartographische Verarbeitung einfließt. Damit entsteht ein Bedarf an Verfahren der raschen photogrammetrischen Vorverarbeitung digitaler Quelldaten.

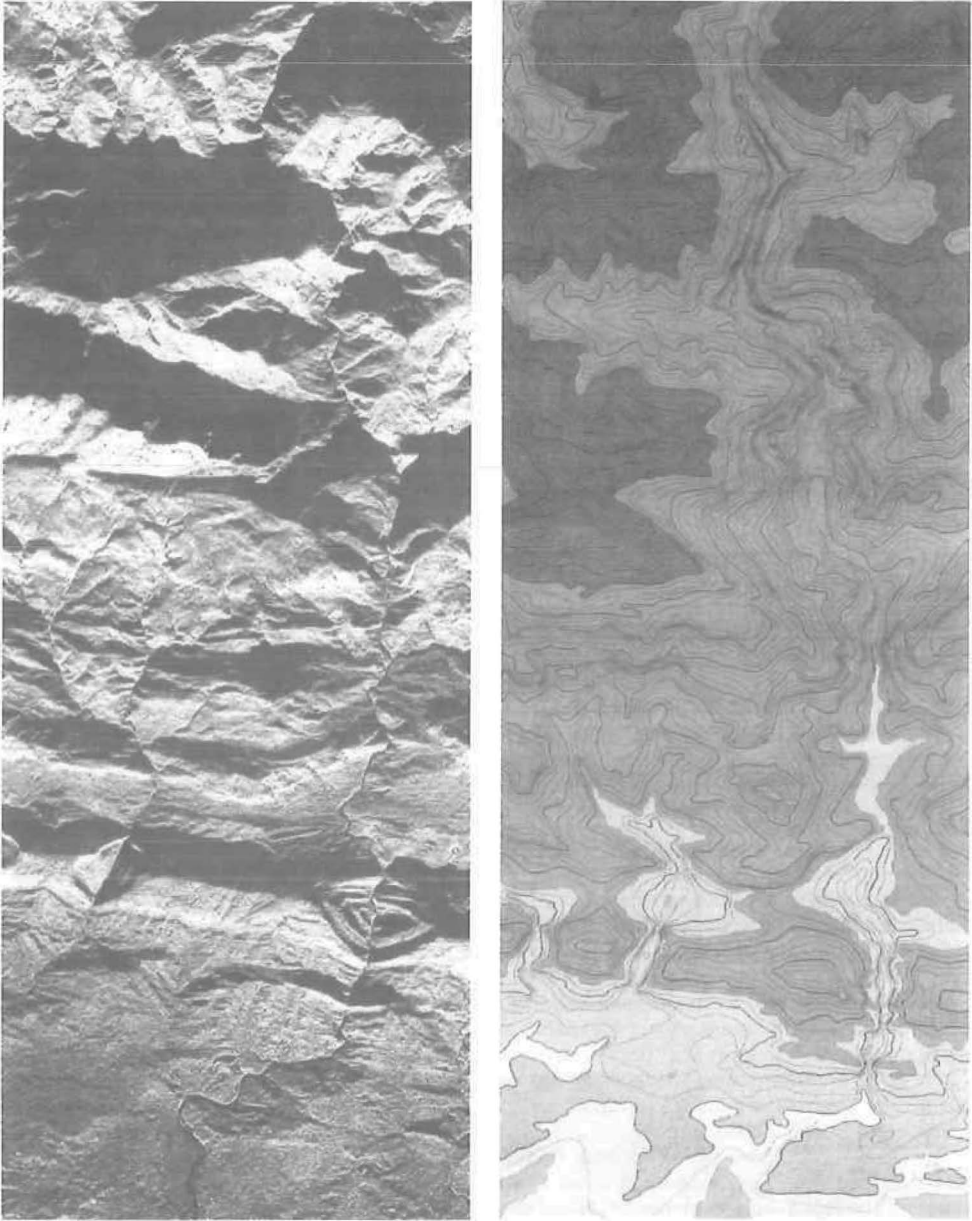


Abb. 1: Ausschnitt einer Radarbildkarte (links) und des entsprechenden Höhenmodells mit 50 m Höhenkurven, welche aus etwa 14 Radarbildern mittels eines Stereo-Auswerteverfahrens erstellt wurden. Maßstab der Karte 1: 50 000; Pixelgröße 6 m; Dargestellter Ausschnitt mit 45 km x 18 km (Vexcel Corp. im Auftrag der Firma Intera unter Verwendung von Star-1 Radarbildern).

Diesem naheliegenden Weg stehen neuartige Verfahrensvorschläge gegenüber, die zum Tragen kommen, wenn die alten Vorlagen in einen digitalisierten Kartenbestand umgesetzt sind, etwa in die Form eines GIS. Dann eröffnen sich Möglichkeiten der Automatisierung am interaktiven photogrammetrisch/kartographischen Computer-Arbeitsplatz. Zu diesem Thema wird in einem folgenden Abschnitt noch Stellung bezogen.

3. Von der Karte zum geographischen Informationssystem

Die Schnellebigkeit der Gesellschaft, die raschen Veränderungen der Umwelt, der wachsende Wohlstand mit der Verbesserung der Qualität der Entscheidungsprozesse und der Zug zur Verwaltung per Computer wirken als Triebfedern des raschen Übergangs zum GIS. Das Ausmaß der Veränderungen in der Nutzung geodätischer Daten in der Gesellschaft, welche durch das GIS herbeigeführt werden, ist nicht leicht absehbar, aber ist in jedem Falle außerordentlich einschneidend.

Da das GIS meist mit Daten gefüllt wird, die aus Bildern gewonnen werden, stellt das GIS wiederum eine Triebfeder zur Einführung neuartiger Bildanalyseverfahren dar. Dies hat die folgenden wesentlichen Elemente:

- das GIS ersetzt die herkömmliche Karte und erweitert den Begriff der Karte zum Begriff des Informationssystems, an das Anfragen gestellt und von dem maschinell Antworten geliefert werden; die gedruckte Karte wird durch den Bildschirm ersetzt und erzeugt einen Sog zur ständigen Erneuerung des Datenbestandes,
- das GIS ersetzt Papier durch digitale räumliche Datenstrukturen, die als natürliche Erweiterung der graphisch symbolisierten Beschreibung der Erdoberfläche auch das Bild als wesentliche Ergänzung in den Datenbestand aufnehmen können.

Diese beiden Gesichtspunkte erzeugen einen zuvor unbekanntem Bedarf an digitalen Bilddaten. Das Bild als Informationsschicht im GIS muß aktuell sein und ergänzt nicht nur den Detailreichtum des GIS-Bestandes, sondern erhöht auch die Aktualität des GIS.

Im allgemeinen ist das GIS nicht ein „Ersatz“ für die traditionelle Karte, sondern erobert sich die Anwendungen direkt beim *Endbenutzer*, ohne den Weg über die traditionellen Lieferanten geodätischer Produkte zu gehen. Dies führt zu einer Zweigleisigkeit der traditionellen Verfahren *neben* den neueren GIS-Verfahren. Traditionelle Organisationen halten die zentrale Verantwortung für GIS-Daten. Daneben entstehen die vernetzte Verantwortung für GIS-Daten beim Endbenutzer. Der herkömmliche Weg vom Bild über die Karte zum Anwender bleibt zwar bestehen, wird aber durch die integrierte Nutzung von Bild und GIS in der Hand des Anwenders ergänzt. Es entsteht ein Markt für das digitale Orthophoto zur Einspeicherung in das GIS. Obwohl nun ein Bedarf an digitalen Bilddaten entsteht, ist dies nicht unmittelbar in den herkömmlichen Strukturen der öffentlichen Vermessung ersichtlich, da die Erneuerung beim Endbenutzer selbst beginnt.

Ein Beispiel ist in Abbildung 2 skizziert: die versiegelten Flächen der Gemeinde Denver (USA) werden vom Endbenutzer, der Wastewater Division der Stadtwerke Denver, mittels GIS und digitaler Bildverarbeitung aus digitalisierten Luftbildern erfaßt. Die öffentlichen Einrichtungen der Vermessungsverwaltung werden umgangen (Williams, 1988; Rosengren und Williams, 1991).

4. Kartenwerk und Fernerkundung

Die Lebenserwartung gewisser herkömmlicher Produkte der Arbeit des Vermessungsingenieurs ist dabei, von mehreren Dezennien auf weniger als 1 Jahr abzusinken. Wir haben in vorhergehenden Abschnitten die Ursachen dargelegt, die den Druck auf rasche Datenerneuerung erzeugen.

Die Fernerkundung liefert routinemäßig mehrmals jährlich aus Satelliten eine neue Bildbedeckung des Arbeitsgebietes jedes Vermessungsexperten. Zunächst erscheint dies wie eine Beschleunigung der herkömmlichen Befliegungszyklen mit dem Preis einer Vergrößerung des Detailreichtums auf die derzeit in der Satellitenfernerkundung üblichen geometrischen Auflösungen (Bildmaßstäbe). Insofern liefert die Fernerkundung dem Vermessungsingenieur „mehr vom Gleichen“.

Diese Betrachtungsweise prüft die Fernerkundung bloß als einen Lieferanten photogrammetrischer Bilder zur Nutzung in herkömmlichen Aufgaben zur Erstellung von Kartenmanuskripten und Planunterlagen. Diese Betrachtungsweise ist falsch.



Abb. 2: Bildgestütztes Geographisches Informationssystem zur Erstellung eines gemeindeweiten grafischen Datensystems der versiegelten Flächen der Stadt Denver (540 Katasterkarten, 165 000 Grundstücke, 600 000 „Lots“, 1 200 Luftbilder). Das System wurde 1989 von der Firma Vexcel geliefert, die Auswertung aller 165 000 Grundstücke wird durch Stadtbeamte in einer Drei-Jahres-Periode abgewickelt (1989-1991).

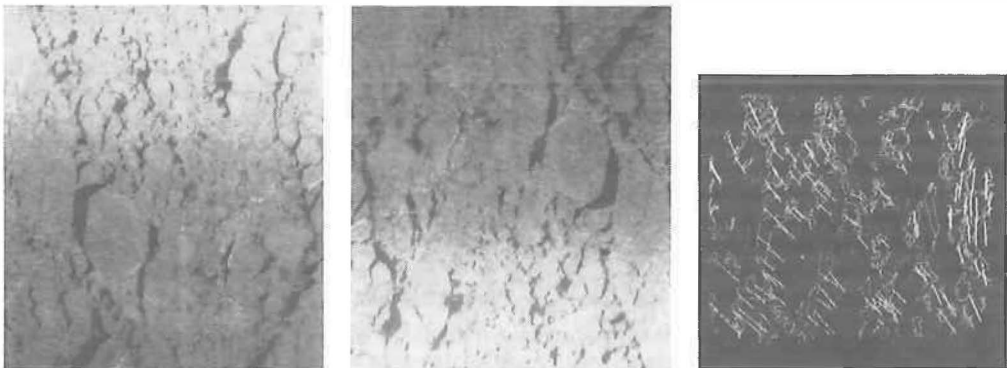


Abb. 3: Meereseisbewegung wird aus Satellitenbildreihen automatisch, aber mit fallweiser Hilfe durch einen Auswerter, gemessen und in eine Datenbank eingespeichert. Bildpaare liegen etwa 3 Tage auseinander. Bewegung ist zirka 20 km (6 km pro Tag). Abgebildete Fläche ist etwa 13 km x 13 km (Bild: Seasat). Siehe auch Leberl (1990), McConnel u. a. (1989).

Die wesentliche Rolle der Fernerkundung ist nicht etwas zu ersetzen, was bisher auf anderem Wege erledigt wurde. Statt dessen definiert die Fernerkundung einen neuen Bereich der angewandten Meßtechnik zur Prüfung von Umweltfragen, welche in der Vergangenheit gar nicht gestellt wurden. Damit ist der Übergang vom Erzeugen eines Kartenwerks zur Bearbeitung von Fragestellungen der Fernerkundung äußerst dramatisch (z. B. Abb. 3). Dies wird vor allem dadurch

gekennzeichnet, daß der Vermessungsexperte von einem isolierten Spezialisten in der Herstellung wohldefinierter nationaler Kartenwerke zum Teamspieler einer multi-funktionalen Arbeitsgruppe mutiert.

Da die Methoden und Daten der Fernerkundung raschen Innovationen unterworfen sind, steigert sich die Anforderung an die Fähigkeit, neue bildgebende Sensoren, neue Aufgabenstellungen, neue Datenanalyseverfahren zu verarbeiten. Als Beispiel sei der Übergang von der Stereo-Bearbeitung überlappender Radarbilder auf die Radar-Interferometrie genannt. Letztere ermöglicht die Höhendatengewinnung mit der Genauigkeit im Bruchteil eines Bild-Pixels in voll-automatischer Weise (siehe Leberl, 1990), die die Kenntnisse der Stereoauswertung überflüssig macht. Diese werden durch Kenntnisse in der Phasenmessung und im Umgang mit Flugzeugpositionierungssystemen ersetzt.

Die Fernerkundung als eine Gruppe von Umwelt-Meßverfahren wird durch die Sensortechnik vorangetrieben. Im Gegensatz dazu ist der Inhalt der konventionellen Vermessung durch gesetzliche Vorgaben definiert. Die Fernerkundung verbindet das Bild mit nicht-bildhaften Daten, und erweitert den Begriff des Bildes in jenen des Bildwürfels (Maurice u. a., 1991). Abbildung 4 erläutert diesen Begriff als Ergebnis eines Datensatzes, der aus Mehrfachbildern, derzeit etwa 90 bis 250, besteht. Derartige Bildwürfel ergeben sich aus Sensoren, die das elektromagnetische Spektrum in sehr viele Bänder auflösen, oder sie bestehen aus Mehrfachabbildungen, welche mittels unterschiedlicher Sensoren oder Befliegungen zu verschiedenen Zeitpunkten hergestellt wurden.

5. Sensoren, Sensorträger und Daten

Digitale Bilder für großräumige Erdvermessung sind derzeit aus etwa fünf verschiedenen Quellen zu erhalten. Im folgenden wird jede dieser Datenquellen kurz angesprochen.

5.1 Digitalisierung von Luft- und Satellitenphotos

Die Beweggründe, um das sehr einfache Photo in den Rechner einzulesen und damit umfassende Datenmengen zu erzeugen, liegen in den schon genannten Bestrebungen zur Automatisierung der Bildanalyse und im Wunsch, digitale Quelldaten mit photographischen Daten (etwa in der Form des digitalen Orthophotos) zu verknüpfen. Bekanntlich überwältigt der Informationsgehalt des Luftbildes zunächst die derzeit gebräuchlichen Computer-Arbeitsplätze für Bildanalyse: mit einer Auflösung von 40 bis 70 Linienpaaren pro Millimeter bedeckt ein Linienpaar 25 bis 14 Mikrometer. Da ein Linienpaar durch etwa 2,8 Pixel dargestellt werden muß, ist ein Luftbild der genannten Qualität mit 5 bis 9 Mikrometern pro Pixel zu digitalisieren (dies entspricht einer Abtastung mit 2 800 bis 5 000 dpi = "dots per inch"), um einen Informationsverlust zu vermeiden. Bei kleinsten heute erhältlichen Bildmaßstäben aus Flugzeugen von etwa 1:80 000 ist daher der äquivalente Pixeldurchmesser etwa 0,4 m (bei 5 Mikrometer-Pixeln) und 0,7 m (bei 9 Mikrometer-Pixeln). Dies führt pro 23 x 23 cm² Luftbild zu Datenmengen von 650 Megabytes bis 2,2 Gigabytes im Schwarz-Weiß-Fall, und 3 mal mehr im Falle von Farbbildern. Sollten Bildverbände bearbeitet werden, so sind selbst leistungsfähige Rechner derzeit (noch) überfordert. Obwohl in Frage gestellt wird, ob 8 Bit pro Pixel aus der Sicht des Informationsgehaltes sinnvoll sind, so ist die Darstellung mit 8 Bit wegen der Standards der Datenverarbeitung nicht zu umgehen.

Daher wird derzeit meist nur mit 600 dpi (Pixeldurchmesser von 42 Mikrometern) abgetastet, um je Luftbild mit nur 30 Megabytes belastet zu werden. Der Informationsverlust aus der Vergrößerung der Auflösung wird zunächst in Kauf genommen. Bei einem kleinsten Bildmaßstab von 1:80 000 ergibt dies einen Pixeldurchmesser von 3,4 m. Im Falle von Satellitenphotos aus einer Flughöhe von 300 km und einer Brennweite von 60 cm ergibt sich ein Bildmaßstab von 1:500 000 und eine äquivalente Pixelgröße von 4,5 Metern. Derartige Satellitenbilder werden von der sowjetischen Sojuzkarta geliefert.

5.2 Elektro-Optische (e.-o.) Fernerkundungssensoren

Die am weitesten verbreiteten Digitalbilder werden von SPOT und LANDSAT geliefert. Die geometrische Auflösung liegt derzeit bei etwa 10 m und höhere Auflösungen von etwa 5 m stehen zur Diskussion. Die Anwendung von LANDSAT-Bildern scheint trotz der geringeren Auflösung von 30 m zumindest in den USA noch verbreiteter als jene von SPOT, da die Beschaffung für den

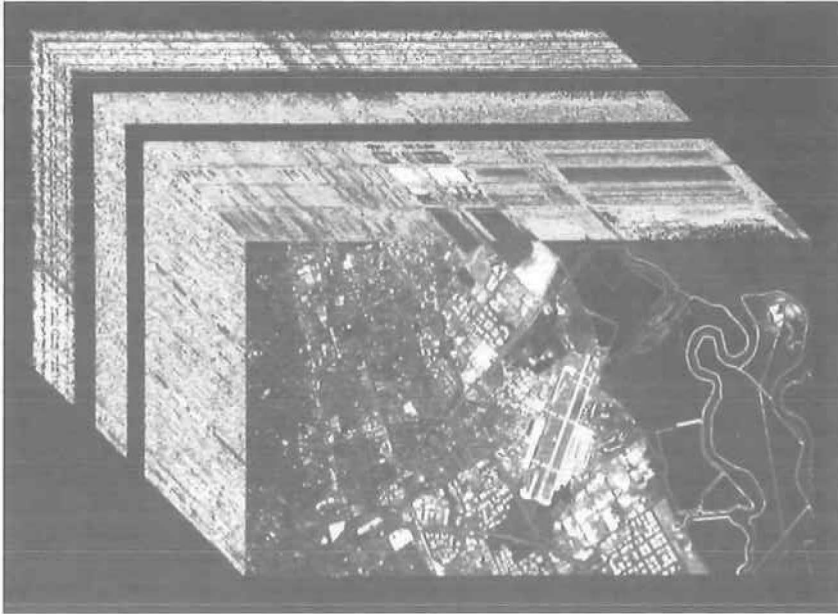


Abb. 4: Bildwürfel aus dem AVIRIS-Sensor der NASA mit 220 Spektralbereichen. Über ein Gebiet von $10 \times 10 \text{ km}^2$ entstehen bei einer Befliegung mit einem Pixeldurchmesser von 10 m 220 GBytes an Bilddaten (Bildausschnitt von San Francisco).

Anwender billiger ist. Jedoch beginnen SPOT-Bilder nunmehr langsam zur Routine-Anwendung in großräumigen Planungsaufgaben vorgesehen zu werden.

Die Stereoauswertung von Satellitenbildern wurde für SPOT wohl geplant, aber die Methode der Bedeckung eines Gebietes aus unterschiedlichen Umlaufbahnen wird durch Wetterumstände behindert. Demgegenüber ist zu erwarten, daß der e.-o. Sensor des japanischen ERS-1-Systems und das deutsche Stereo-MOMS mit vorwärts/rückwärtsschauenden Doppelbildsensoren die Stereoauswertung routinemäßig ab 1992 ermöglichen wird.

5.3 Satellitenradarbilder

Die Notwendigkeit des ununterbrochenen Datenflusses bei Tag und Nacht und bei klarem wie bewölktem Himmel ist die Triebfeder zur Verwendung von Radarbildern aus Satelliten. Fünf terrestrische Satellitenprojekte sind in Bearbeitung: das sowjetische ALMAZ (1991), ESA's ERS-1 (1991), Japans ERS-1 (1992), Kanadas Radarsat (1994), NASA's SIR-C (1993). SIR-C ist ein experimentelles Projekt zur Prüfung neuartiger Sensorfähigkeiten, nämlich in drei Spektralbereichen und vier Polarisationen ein 12-Kanal-Bild herzustellen. Dies dient zur Vorbereitung auf das Earth Observing System (EOS) in etwa 10 Jahren. Demgegenüber sind die anderen drei Satellitenprojekte sehr anwendungsbezogen und mit gewöhnlichen Radarbildsensoren ausgerüstet, die geometrische Auflösungen von etwa 30 m ermöglichen; die Bilder sollen in Analogie zur kommerziellen Nutzung von SPOT-Daten ebenfalls kommerziell angeboten werden.

5.4 Flugzeugradar

Seit etwa 1967 besteht ein sehr schmaler Markt für weltweit ein bis zwei Flugzeugradarunternehmen, die vor allem in tropischen Regionen und in arktischen Meereseisbedingungen die Erforschung natürlicher Hilfsquellen unterstützen. Die Bilddaten werden nunmehr ausschließlich in digitaler Form erstellt und über digitale Bildverarbeitung in lieferbare Projektunterlagen umgesetzt. Die Grenze zwischen experimenteller und operationeller Bearbeitung zerfließt. Systeme

me und Daten werden von Intera Technologies Ltd (Kanada) mit 6 und 12 m Auflösung geliefert (siehe Abb.1), vom Canada Center for Remote Sensing und vom Environmental Research Institute of Michigan (USA) mit 2 m, von NASA's Jet Propulsion Laboratory mit 10 m, letztere allerdings in 3 Spektralbereichen und mit 4 Polarisationskanälen (= 12 Kanäle).

5.5 Experimentelle Flugzeugsensoren

Aus der Vielzahl experimenteller bildgebender Sensoren stellt NASA's AVIRIS mit 220 Spektralkanälen besondere Anforderungen an die Auswerte-Technologie (siehe Abb. 4). Mit einer Auflösung von 10 m werden typische Projekte im Flächenausmaß von 10 km x 10 km befliegen. AVIRIS erzeugt die prototypischen *Bildwürfel* mit 1 000 x 1 000 x 220 Pixelwerten zu 8 Bit je Pixel. Die Datenmenge mit nur je 1 Megapixel umfaßt jedoch 220 Megabyte, da pro Pixel 220 verschiedene 8-Bit Werte zu verarbeiten sind.

Im Gegensatz dazu liefert der kanadische MIES-Sensor nur 32 „Profile“ entlang des Flugweges über eine Winkelbreite von 45°, wobei die Längsdimension der Pixel innerhalb jedes Profils etwa 10 Meter beträgt. Ein multispektrales Bild entsteht durch Interpolation zwischen den Profilwerten, um die „Löcher“ zwischen den Profilen aufzufüllen.

5.6 Kollaterale Daten

Flugzeug- und Satelliten-Radarbilder, SPOT, LANDSAT und digitalisierte Luftbilder sind in vielen Fällen in der operationellen Anwendung zu finden. Als „operationell“ wird hier die routinemäßige Anwendung mit bekannten, festen Kosten bezeichnet. Dazu sind nicht nur die Sensordaten, sondern auch kollaterale Navigationsdaten über die Flugzeug- oder Satellitenpositionen und die Orientierungswinkel erwünscht, und die Anwendung selbst mag die Vorverarbeitung zu einem lieferbaren Produkt erfordern. Hiezu zählen digitale Höhenmodelle, ortho-entzerrte Bilder, Bildkarten und Bildklassifizierungsergebnisse.

6. Von der analytischen zur digitalen Photogrammetrie

Der Übergang vom analogen oder analytischen Photogrammetriesystem zur digitalen Bildverarbeitungsstation ist in vollem Gange. In einer Reihe von 3 separaten Veröffentlichungen nehmen wir hiezu gesondert Stellung (Leberl u. a., 1990; Mercer u. a., 1991; Leberl, 1991). Mehrere sachliche Schwerpunktthemen beschreiben die wesentlichen Aspekte des Übergangs.

6.1 MS-DOS versus UNIX

Die Kleinsysteme der digitalen Photogrammetrie bauen auf PCs und dem Betriebssystem MS-DOS auf. Damit sind zunächst kleinere Bildmatrizen zu bearbeiten. Die graphischen Arbeitsplätze mit besonders leistungsfähiger Bildverarbeitung beruhen derzeit aber auf UNIX und Zusatzplatinen zur raschen Bearbeitung von Daten im Giga-Byte-Bereich. Es wird vielfach angenommen, daß über eine gewisse Zeit die derzeit geltenden Unterschiede zwischen der Leistungsfähigkeit der MS-DOS- und UNIX-Systeme verwischt werden.

6.2 Software versus Hardware: der Softcopy-Leuchttisch

Digitale Softcopy-Photogrammetrie ist nur mehr Software, die vom Computer unabhängig mit verschiedenen Hardware-Produkten konfiguriert werden kann. Damit sinken die Kosten eines photogrammetrischen Arbeitsplatzes in den Bereich der Rechnerhardware plus Software. Im MS/DOS Bereich ist dies unter \$ 10 000, plus \$ 7 000 für Software; im Unix-Bereich beginnt eine leistungsfähige Hardware-Konfiguration derzeit bei etwa \$ 20 000.

Die wesentlichen Hardwarekosten für die Photogrammetrie bestehen ausschließlich aus Bildeingabe- und Ausgabegeräten, zum Beispiel Filmabtast- (Scanner) und Schreibegeräte zur Herstellung von Orthophotos.

Ein wesentliches Software-Element ist der Umgang mit großen Bildmatrizen (30000 x 30000 Pixel). Dies wird in der Bildverarbeitung als Digitaler oder *Softcopy-Leuchttisch* bezeichnet. Weiterführende Begriffe wären Softcopy-Stereoskop, Softcopy-Komparator. Ein *Softcopy-Plotter* oder Stereoauswertesystem ist dann gegeben, wenn die Software als Eingabe die Objektkoordinaten erhält und die Meßmarke auf dem Bildschirm auf die entsprechenden Bildkoordinaten setzt.

6.3 Stereo

Im Softcopybereich und im Analogbereich bestehen mehrere Methoden zur Stereomesung. Anaglyphen, Polarisation und binokulare Betrachtung von 2 Bildern sind die wesentlichen Methoden. Daneben besteht die Frage, wie eine Meßmarke realisiert werden soll: 2 Marken auf festen Bildern oder 1 Marke auf bewegten Bildern oder eine hybride Lösung. Von den gegenwärtigen etwa 15 Anbietern von Stereosoftcopysystemen werden alle Varianten in der einen oder anderen Form angeboten (Leberl, 1991). Ein Standardverfahren hat sich bisher nicht herausgebildet.

6.4 Visualisierung

Der photogrammetrische Arbeitsplatz bietet dem Benutzer ein Bild des digitalen Datenbestandes an. Dies schließt die Stereo-Bilder und die Karteninformation ein. Die digitalen Verfahren ermöglichen es nun dem Benutzer, die Art der Darbietung wesentlich flexibler zu gestalten als dies in herkömmlichen Geräten möglich war. Als Beispiel sei die Verwendung von perspektiven und isometrischen Ansichten genannt, die gemeinsame Darstellung von Graphik und Bild, die Darbietung der Bilder nicht in ihrer Rohform sondern vorentzerrt, etwa durch Umbildung in ein epipolares Koordinatensystem. Damit wird die Darstellung ein Thema der benutzerfreundlichen Visualisierung, eines „heißen“ neuen Themas der Computertechnik.

7. Paßpunkte oder Ephemeriden (Global Positioning System)?

Großräumige Vermessungen mit Fernerkundungsdaten betreffen oft paßpunktlose Räume, etwa in der Arktik (Meereseis) oder in den Tropen (Prospektion). Falls Paßpunkte eingemessen werden, so sind nicht nur die Messungen sehr aufwendig, sondern auch die Punkt-Signalisierung zur Sichtbarmachung in Bildern.

Die kinematisch erfaßten Flugzeugbilder, etwa eines Radarsystems, würden eine sehr große Zahl an Paßpunkten erfordern, um eine gegebene Genauigkeit einhalten zu können. Dies könnte durchaus zu einer Dichte von 1 Paßpunkt pro 10 km² führen, sodaß für eine großräumige Vermessung über 10 000 km² 1000 Paßpunkte notwendig wären, um eine Lage-Genauigkeit von etwa 10 m zu erreichen!

Daher ist es offensichtlich, daß die äußere Orientierung des Sensors durch gesonderte Plattformmessungen geliefert werden muß, um sinnvolle Anwendungen zu ermöglichen. Radarbilder brauchen keine Orientierungswinkel als Teil der äußeren Orientierung. Die Festlegung der Flugzeugposition mittels GPS auf eine Genauigkeit im Subpixelbereich (<5 m) ist nunmehr ein Standardverfahren, das es erst ermöglicht hat, die Radarbildvermessung aus dem Labor in die Anwendung zu bringen (Mercer u. a., 1991; Leberl, 1990).

Im elektro-optischen Bereich ist nicht nur die Sensorposition, sondern auch die Orientierung der optischen Achse festzulegen. Hiezu reicht die GPS-Vermessung des Sensors nicht aus. Daher ist die äußere Orientierung von Flugzeug-getragenen e.-o. Sensoren durch gyroskopische Winkelmessungen oder etwa durch die relative Orientierung überlappender e.-o. Bildstreifen zu messen (Ebner u. a., 1991).

Damit bestehen nun Verfahren, welche die großräumige Vermessung gänzlich ohne Paßpunkte ermöglichen und kostenmäßig akzeptable Ergebnisse mit geeigneter Genauigkeit in Maßstäben 1:50 000 und kleiner liefern.

In der Fernerkundung besteht zusätzlich die Aufgabe des Bildvergleichs, oder der Herstellung eines Bildwürfels aus Bildern unterschiedlicher Sensoren. Daraus ergibt sich die Bildüberlagerung, die ebenfalls ohne Paßpunkte, aber über bildhafte Paßmerkmale durchgeführt wird (Abb. 5).

8. Ausblick

Die großräumige Erdvermessung ist vermutlich jene Kartierungs-Aufgabe, die sich eher als alle anderen durch technologische Neuerungen gänzlich anders gestaltet als dies zuvor der Fall war. Dies betrifft die Erstellung konventioneller Kartenprodukte aus Satellitenbildern, weiters die Lieferung kleinmaßstäbiger Bildkarten auf digitalem Wege als auch die Herstellung neuer Datenbestände in der Form des GIS und projektbezogener Analyseergebnisse von komplexen Mehrfachbildern oder Bildwürfeln.

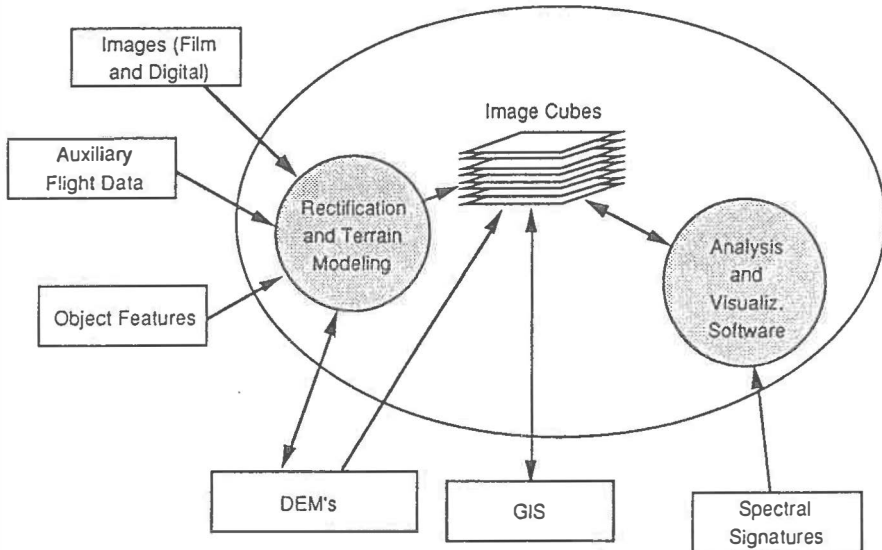


Abb. 5: Von Einzelbildern über Entzerrung zum Bildwürfel; mittels Visualisierung geschieht die interaktive Datenauswertung.

Der Übergang von der analogen/analytischen zur digitalen photogrammetrischen Bildauswertung ist im Gange und wird vom Übergang auf das GIS und auf den universellen Stereo-Computerarbeitsplatz getragen. Photogrammetrische Apparate werden durch Software ersetzt; das photographische Luftbild wird in digitale Pixelmatrizen umgewandelt und durch digital erfaßte Quellendaten aus Flugzeugen und Satelliten ergänzt. Die manchmal mit „ausentwickelt“ bezeichnete Photogrammetrie zeigt kräftige Lebenszeichen.

9. Literatur

- Ebner H., W. Komus (1991):* Point Determination Using MOMS—02/D2 Imagery, *Proceedings IGARSS '91 Helsinki, Finland.*
- Ehlers M., R. Welch (1988):* Kartographische Leistungsfähigkeit von Landsat — TM Aufnahmen. *BuL*, 56. Jahrgang, S.138—148 und 157—166.
- Konecny G., W. Schuhr, J. Wu (1982):* Untersuchungen über die Interpretierbarkeit von Bildern unterschiedlicher Sensoren und Plattformen für die kleinmaßstäbige Kartierung, *BuL* 50, S.187—200.
- Leberl F. (1989):* Digital Photogrammetric Plotting Techniques. *Proceedings, Petroleum Engineering in the 90's Environment, Canadian Petroleum Association, Colloquium V, Calgary, Alberta, Canada T2P 3Y7.*
- Leberl F. (1990):* *Radargrammetric Image Processing*, Artech House, Norwich, Mass, 600 Seiten.
- Leberl F. (1991):* The Promise of Softcopy Photogrammetry. *Proceedings of the ISPRS Conference on Digital Photogrammetric Systems*. H. Wichmann Verlag, Stuttgart.
- Leberl F., M. Millot, R. Wilson, M. Karspeck, B. Mercer, S. Thornton (1991):* Radargrammetric Image Processing with a Softcopy Stereo Workstation. *Proceedings, 8th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Denver, CO, April 29—May 2, pp.101—103.*
- Maurice K., W. Kober, F. Kruse (1991):* Visualization Environment for Imaging Spectrometry. *Proceedings, 8th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Denver, CO, April 29—May 2, pp. 1037—1051.*
- McConnell R., W. Kober, F. Leberl, R. Kwok, J. Curlander (1989):* Automated Tracking of Arctic Ice Floes in Multitemporal SAR Imagery. *Proceedings, IGARSS 89, VOL.2, pp.1112—1114.*

- Mercer B., F. Leberl, J. Michael (1991):* The Impact of Digital Workstations on Topographic Mapping Applications of Remotely Sensed Data. *Proceedings*, 14th Can. Symposium on Remote Sensing, Canadian Remote Sensing Society, Ottawa, Canada, May 6—10, pp. 9—14
- Mercer B., P. Button, M. Millot, F. Leberl, K. Soofi (1991):* Starmap Processing of SAR Imagery for Petroleum Exploration Irian Jaya. *Proceedings*, 8th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Denver, CO, April 29—May 2, pp. 101—103.
- Rosengren K., T. Williams (1991):* Denver's Equitable Approach to Storm Sewer Assessment. *Geo Info Systems*, February 91, pp. 20—21.
- Williams T. (1988):* Workstation Aids Sewer Billing, *American Public Works Association (APWA) Reporter*, Vol 55, p. 8, pp. 10.