

Zur Orientierung und Steigerung der Aussagefähigkeit der DLM-25-VEKTORDATEN eignen sich besonders digitale Rasterdaten gescannter Karten und Luftbilder als flächenhafte Hintergrunddarstellung der Topographie an graphischen Bildschirmarbeitsplätzen.

Schluß

Das Verfahren zur Erfassung, Verarbeitung und Speicherung der DLM-25/1-Information ist produktionsreif und wird mit Erfolg in der Praxis eingesetzt. Schwerpunkte der weiteren Entwicklungsarbeiten sind:

- Aktualisierung und Verdichtung der DLM-25/1-Daten.
- Flexible Selektion, Auswertung und Bereitstellung der Daten.
- Ableitung und Pflege der Sekundärnachweise.
- Ableitung der DKM aus DLM-Daten.

Mit ATKIS bieten die Landesvermessungsbehörden ein modernes Informationsscheidungs-system an, das fast allen Anforderungen der Nutzer gerecht wird. Die wichtigste Aufgabe in den nächsten Jahren ist, durch verstärkte Öffentlichkeits- und Informationsarbeit den Bekanntheitsgrad und die Akzeptanz bei den Nutzern in der Verwaltung und der Wissenschaft zu steigern.

Literatur

- | | |
|---|---|
| [1] Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV): Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS). Druck und Vertrieb, Landesvermessungsamt NRW, Muffendorfer Straße 19-20, 5300 Bonn 2. | [4] Kophstahl, E.: ATKIS-DLM-25/1-Realisierung und Erfahrungen in Niedersachsen, AM/FM-Regionenz 1990 in Siegen. |
| [2] Bauer, H.: Digital geführte Karten-ATKIS (Realisierung), Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung 1991, Heft 1. | [5] Wagner, B.: Die Informationssysteme ALK und A der Bundesrepublik Deutschland - Stand und zur Entwicklung, Geo-Informatik, von Matthäus S. 1991. |
| [3] Christoffers, F.: Stand der ATKIS-Realisierung in Niedersachsen, Geo-Informatik, von Matthäus Schilcher, 1991. | |

DK/UDC 528.77(202):65.01
528.88:528.93(08:
[519.256:007]:91

Digitale Bildanalyse für großräumige Erdvermessung

Von Franz W. Leberl, Boulder (USA)

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

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

1. Einleitung

Der photogrammetrisch tätige Ingenieur lebt in einem turbulenten Zeitalter. Nicht Rechentechnik erneuert sich im 3-Jahres-Zyklus, auch die Sensortechnik eröffnet neue Ben in rascher Folge. Während Satelliten den Bedarfsanstieg an zeitgemäßen Daten besorgen, 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 Position, welche den Übergang von traditionsreichen analogen Verfahren zu rechnergesteuerten sogenannten *analytischen* Verfahren in vergleichsweise „geordneten“ Bahnen erlebte und vollzogene. Ist mit dem Übergang vom herkömmlichen Luftbild und den traditionellen Punktbestimmungsmethoden auf das Digitalbild und die externe Sensorpositionsmessung das alte 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, so daß daraus durch Generalisierung kleinere Maßstäbe abgeleitet werden konnten. In Industrieländern galten Maßstäbe von etwa 1 : 50 000 schon als „größere“. In Industrieländern ist der Begriff des „größeren“ Maßstabs für etwa 1 : 5000 bis 1 : 25 000 zu verstehen. Projektbezogene Karten- oder Planerstellung geschah immer in großen Maßstäben.

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

Es wird im folgenden gezeigt, daß das neue digitale Quellenmaterial aus der Satellitenkartierung 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 Karten Quellendaten 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 : 50 000 erstellt werden, entstehen kleinere Maßstäbe durch Generalisierung des kartographischen Quellenwerkes. Außerhalb der Industrienationen ist dieser ursprüngliche Maßstab 1 : 50 000. Trotz oft vorgebrachter Zweifel an der Nützlichkeit moderner digitaler Satellitenkarten für die Kartenherstellung (z. B. *Konecny* u. a. 1982) beeinflussen vier Strömungen die Erneuerung traditioneller Betrachtungsweisen.

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

Zum zweiten wächst der Druck, alle Kartenwerke am neuesten Stand zu halten, es wird erwartet, daß neue Bilder *sofort* zur Erneuerung der Karten führen. Kleinere Maßstäbe sollen also direkt erneuert werden, statt wegen des Umwegs über die Generalisierung 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 den wissensorientierten Anwendungen orientiert. Diese Unterlagen entsprechen in ihren Genauigkeitsan-



Abb. 1. Ausschnitt einer Radarbildkarte (links) und des entsprechenden Höhenmodells mit 50-m-Kurven, 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 × 18 km (Vexcel Corp. im Auftrag der Firma Intera unter Verwendung von Star-1-Radarbildern)

Produkte dieser Art werden 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 für den mangelnden Bedeckungsgrad mit zeitgemäßen Karten gepriesen.

Großräumige Erdvermessung wird also als die direkte Erstellung von Unterlage 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 km² bedeckt, hätte ein Projekt über 100 km × 100 km daher einen kurzfristigen Bedarf von 16 Karten im Maßstab 1 : 50 000. Moderne Verfahren müssen diesen Bedarf in etw. 1 bis 2 Monaten abdecken können. Damit wird ein zeitgemäßes Anforderungsprofil an autom. Verfahren für großräumige Erdvermessung definiert. Obwohl nun die Genauigkeit geodätischer Erledigung der Kartenherstellung abgewogen werden könnte, bleiben die Anforderungen an die Genauigkeit oft jene, die dem Darstellungsmaßstab entsprechen:

Lage: ±0,2 mm bis ±0,5 mm im Darstellungsmaßstab;

Höhenlinienintervalle: 5 m im flachen, 20 m im gebirgigen Gelände. Manchmal reichen sie bis 100 m aus.

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

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

Der Druck zur Leistungssteigerung herkömmlicher Einrichtungen der großräumigen Erdvermessung ergibt sich vor allem durch die rasche Veralterung des einmal erzeugten Karterials. 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. Daraus wird ein neues Manuskript erzeugt, das auf dem üblichen Weg in die graphische Verarbeitung einfließt. Damit entsteht ein Bedarf an Verfahren der raschen photogrammetrischen Vorverarbeitung digitaler Quelldaten.

Diesem naheliegenden Weg stehen neuartige Verfahrensvorschläge gegenüber, die zu erwarten kommen, wenn die alten Vorlagen in einen digitalisierten Kartenbestand umgesetzt werden. Diese können etwa in die Form eines GIS gehen. Dann eröffnen sich Möglichkeiten der Automatisierung interaktiven photogrammetrisch/kartographischen Computer-Arbeitsplatzes. Zu diesem 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 Zentralisierung der Verwaltung per Computer wirken als Triebfedern des raschen Übergangs zum GIS. Der Maß der Veränderungen in der Nutzung geodätischer Daten in der Gesellschaft, welche 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 dies wiederum eine Triebfeder zur Einführung neuartiger Bildanalyseverfahren dar. Dies sind die folgenden wesentlichen Elemente:

- das GIS ersetzt die herkömmliche Karte und erweitert den Begriff der Karte zum Begriff des geographischen Informationssystems, an das Anfragen gestellt und von dem maschinell Antworten gegeben werden.

werden; die gedruckte Karte wird durch den Bildschirm ersetzt und erzeugt einen ständigen Erneuerung des Datenbestandes,
– das GIS ersetzt Papier durch digitale räumliche Datenstrukturen, die als natürliche Ergänzung der graphisch symbolisierten Beschreibung der Erdoberfläche auch das Bild als natürliche Ergänzung in den Datenbestand aufnehmen können.

Diese beiden Gesichtspunkte erzeugen einen zuvor unbekanntem Bedarf an digitalen Daten. 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 es 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 Verantwortung für GIS-Daten. Daneben entsteht die vernetzte Verantwortung für GIS-beim Endbenutzer. Der herkömmliche Weg vom Bild über die Karte zum Anwender bleibt 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 Datenbanken. 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 werden vom Endbenutzer, der Wastewater Division der Stadtwerke Denver, mittels digitaler Bildverarbeitung aus digitalisierten Luftbildern erfaßt. Die öffentlichen Einrichtungen der Vermessungsverwaltung werden umgangen (*Williams 1988; Rosengren und Williams*

4. Kartenwerk und Fernerkundung

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

Die Fernerkundung liefert routinemäßig mehrmals jährlich aus Satelliten eine neue Erfassung 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 „etwas vom Gleichen“.

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

Die wesentliche Rolle der Fernerkundung ist nicht etwas zu ersetzen, was bisher auf anderen Wegen erledigt wurde. Statt dessen definiert die Fernerkundung einen neuen Bereich der angewandten Meßtechnik zur Prüfung von Umweltfragen, welche in der Vergangenheit 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 zur 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. Diese ermöglicht die Höhendatengewinnung mit der Genauigkeit im Bruchteil eines Bildpunktes in vollautomatischer Weise (siehe *Leberl 1990*), die die Kenntnisse der Stereoauswertung



Abb. 2. Bildgestütztes Geographisches Informationssystem zur Erstellung eines gemeindefreien gr: Datensystems der versiegelten Flächen der Stadt Denver (540 Katasterkarten, 165 000 Grund 600 000 „Lots“, 1200 Luftbilder). Das System wurde 1989 von der Firma Vexcel geliefert, die Aus aller 165 000 Grundstücke wird durch Stadtbeamte in einer Dreijahresperiode abgewickelt (1989

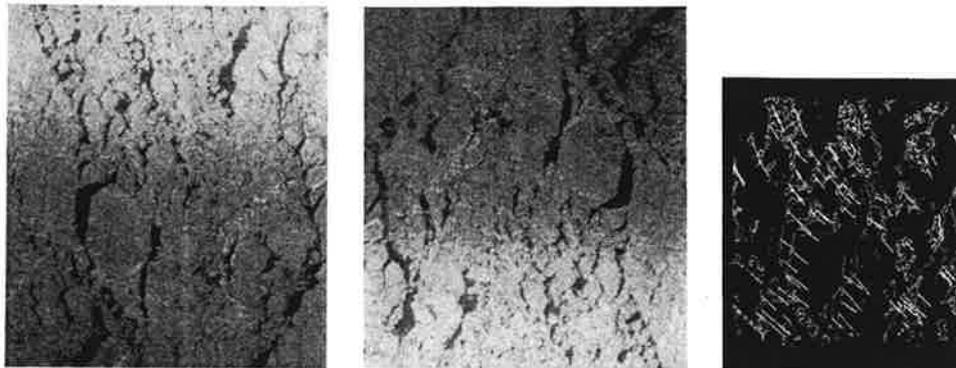


Abb. 3. Meereseisbewegung wird aus Satellitenbildreihen automatisch, aber mit fallweiser Hilfe einen Auswerter, gemessen und in eine Datenbank eingespeichert. Bildpaare liegen etwa 3 Tage auseinander. Bewegung ist zirka 20 km (6 km pro Tag). Abgebildete Fläche ist etwa 13 km \times 13 km (Bild: Seasat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

flüssig 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 Sensoren vorangetrieben. Im Gegensatz dazu ist der Inhalt der konventionellen Vermessung gesetzlich vorgaben definiert. Die Fernerkundung verbindet das Bild mit nicht-bildlichen Daten, und erweitert den Begriff des Bildes in jenen des Bildwürfels (*Maurice* u.a. 1989). Abbildung 4 erläutert diesen Begriff als Ergebnis eines Datensatzes, der aus Mehrfach-

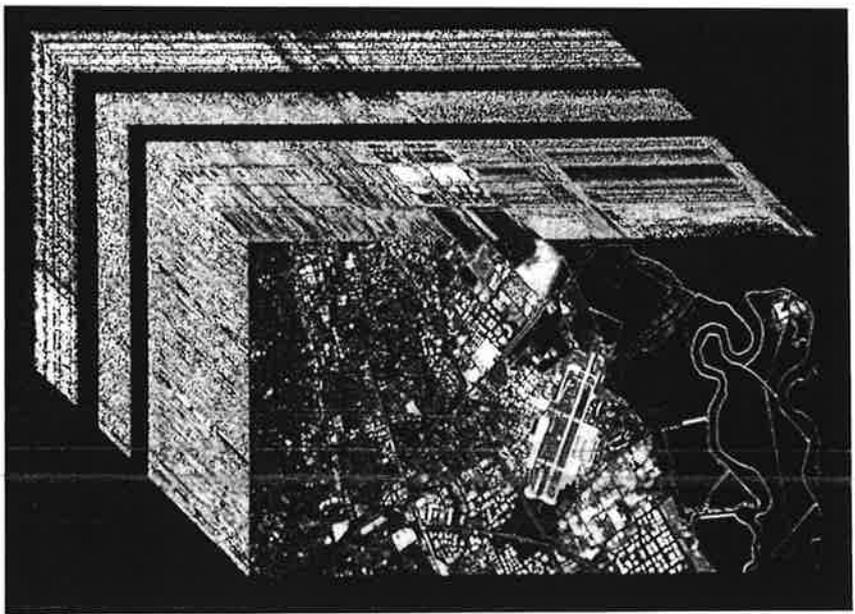


Abb. 4. Bildwürfel aus dem AVIRIS-Sensor der NASA mit 220 Spektralbereichen. Über ein Gebiet $10 \times 10 \text{ km}^2$ entstehen bei einer Befliegung mit einem Pixeldurchmesser von 10 m 220 GBytes an Bildern (Bildausschnitt von San Francisco)

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 Mehrfachaufnahmen, 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 riesige Datenmengen zu erzeugen, liegen in den schon genannten Bestrebungen zur Automatisierung der Bildanalyse und im Wunsch, digitale Quelldaten mit photographischen Daten in der Form des digitalen Orthophotos zu verknüpfen. Bekanntlich überwiegt der Informationsgehalt des Luftbildes zunächst die derzeit gebräuchlichen Computer-Arbeitsplätze der 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 2800 bis 5000 dpi („dots per inch“), um Informationsverlust zu vermeiden. Bei kleinsten heute erhältlichen Bildmaßstäben aus Flugzeugen von 1:80 000 ist daher der äquivalente Pixeldurchmesser etwa 0,4 m (bei 5 Mikrometer-Pixeln) bis 0,7 m (bei 9 Mikrometer-Pixeln). Dies führt pro $23 \times 23 \text{ cm}^2$ Luftbild zu Datenmengen von mehreren Megabytes bis 2,2 Gigabytes im Schwarz-Weiß-Fall, und 3mal mehr im Falle von Farbbildern. Sollten Bildverbände bearbeitet werden, so sind selbst leistungsfähige Rechner derzeit überfordert. Obwohl in Frage gestellt wird, ob 8 Bit pro Pixel aus der Sicht des Inform

gerautes 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) abgum je Luftbild mit nur 30 Megabytes belastet zu werden. Der Informationsverlust: Vergrößerung der Auflösung wird zunächst in Kauf genommen. Bei einem kleinsten Bildstab von 1:80 000 ergibt dies einen Pixeldurchmesser von 3,4 m. Im Falle von Satelliten aus einer Flughöhe von 300 km und einer Brennweite von 60 cm ergibt sich ein Bildstab von 1:500 000 und eine äquivalente Pixelgröße von 4,5 Metern. Derartige Satelliten 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 30 m stehen zur Diskussion. Die Anwendung von LANDSAT-Bildern scheint trotz der geringen Auflösung von 30 m zumindest in den USA noch verbreiteter als jene von SPOT, da die Beschaffung für den Anwender billiger ist. Jedoch beginnen SPOT-Bilder nunmehr langsam Routine-Anwendung in großräumigen Planungsaufgaben vorgesehen zu werden.

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

5.3 Satellitenradarbilder

Die Notwendigkeit des ununterbrochenen Datenflusses bei Tag und Nacht und bei bewölktem Himmel ist die Triebfeder zur Verwendung von Radarbildern aus Satelliten. Fünf terrestrische Satellitenprojekte sind in Bearbeitung: das sowjetische ALMAZ, ESA's ERS-1 (1991), Japans ERS-1 (1992), Kanadas Radarsat (1994), NASA's SIR-C. SIR-C ist ein experimentelles Projekt zur Prüfung neuartiger Sensorfähigkeiten, nämlich in verschiedenen Spektralbereichen und vier Polarisierungen ein 12-Kanal-Bild herzustellen. Dies dient zur Vorbereitung auf das Earth Observing System (EOS) in etwa 10 Jahren. Demgegenüber sind anderen vier Satellitenprojekte sehr anwendungsbezogen und mit gewöhnlichen Radarsensoren ausgerüstet, die geometrische Auflösungen von etwa 30 m ermöglichen; die Bilder werden 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 Flugzeugradarstationen, die vor allem in tropischen Regionen und in arktischen Meereseisbedingungen zur Erforschung natürlicher Hilfsquellen unterstützen. Die Bilddaten werden nunmehr ausschließlich in digitaler Form erstellt und über digitale Bildverarbeitung in lieferbare Projektunterstützung umgesetzt. Die Grenze zwischen experimenteller und operationeller Bearbeitung zerfließt. Systeme 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).

Aus der Vielzahl experimenteller bildgebender Sensoren stellt NASA's AVIRIS in Spektralkanälen besondere Anforderungen an die Auswertetechnologie (siehe Abb. 4). Bei einer Auflösung von 10 m werden typische Projekte im Flächenausmaß von 10 km × 10 km befliegen. AVIRIS erzeugt die prototypischen *Bildwürfel* mit 1000 × 1000 × 220 Pixelwerten mit 8 Bit je Pixel. Die Datenmenge mit nur je 1 Megapixel umfaßt jedoch 220 Megabyte, da für jeden Pixel 220 verschiedene 8-Bit-Werte zu verarbeiten sind.

Im Gegensatz dazu liefert der kanadische PMI-Sensor nur 32 „Profile“ mit 300 Spektren entlang des Flugweges über eine Winkelbreite von 45°, wobei die Längsdimension des Profils 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 eine routinemäßige Anwendung mit bekannten, festen Kosten bezeichnet. Dazu sind nicht nur Sensordaten, sondern auch kollaterale Navigationsdaten über die Flugzeug- oder Satellitensituationen und die Orientierungswinkel erwünscht, und die Anwendung selbst mag die Vorbereitung zu einem lieferbaren Produkt erfordern. Hierzu zählen digitale Höhenmodelle, entzerrte Bilder, Bildkarten und Bildklassifizierungsergebnisse.

6. Von der analytischen zur digitalen Photogrammetrie

Der Übergang vom analogen oder analytischen Photogrammetriesystem zur digitalen Verarbeitungsstation ist in vollem Gange. In einer Reihe von drei separaten Veröffentlichungen nehmen wir hierzu gesondert Stellung (*Leberl* u. a. 1990; *Mercer* u. a. 1991; *Leberl* 1991). Diese drei 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 Erweiterungs- und Zusatzplatinen zur raschen Bearbeitung von Daten im Giga-Byte-Bereich. Es wird allgemein 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 \$ 7000 für Software; im Unix-Bereich ist dies eine leistungsfähige Hardware-Konfiguration derzeit bei etwa \$ 20 000.

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

Ein wesentliches Software-Element ist der Umgang mit großen Bildmatrizen (30 000 × 30 000 Pixel). Dies wird in der Bildverarbeitung als Digitaler oder *Softcopy-Leuchttisch* bezeichnet.

weiterführende Begriffe waren Softcopy-Stereoskop, Softcopy-Komparator. Ein Softcopy-Plotter oder Stereoauswertesystem ist dann gegeben, wenn die Software als Eingabe die Koordinaten erhält und die Meßmarke auf dem Bildschirm auf die entsprechenden Bildkoordinaten setzt.

6.3 Stereo

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

6.4 Visualisierung

Der photogrammetrische Arbeitsplatz bietet dem Benutzer ein Bild des digitalen Datensatzes an. Dies schließt die Stereo-Bilder und die Karteninformation ein. Die digitalen Verfahren ermöglichen es nun dem Benutzer, die Art der Darstellung wesentlich flexibler zu gestalten als dies in herkömmlichen Geräten möglich war. Als Beispiel sei die Verwendung von peripheren und isometrischen Ansichten genannt, die gemeinsame Darstellung von Graphiken. Die Darstellung 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 Bereiche etwa in der Arktik (Meereseis) oder in den Tropen (Prospektion). Falls Paßpunkte eingerichtet werden, so sind nicht nur die Messungen sehr aufwendig, sondern auch die Punkt-Signatur zur Sichtbarmachung in Bildern.

Die kinematisch erfaßten Flugzeugbilder, etwa eines Radarsystems, würden eine sehr hohe Zahl an Paßpunkten erfordern, um eine gegebene Genauigkeit einhalten zu können. Das könnte durchaus zu einer Dichte von 1 Paßpunkt pro 10 km^2 führen, so daß für eine großräumige Vermessung über $10\,000 \text{ km}^2$ 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 Vermessungen geliefert werden muß, um sinnvolle Anwendungen zu ermöglichen. Radar braucht keine Orientierungswinkel als Teil der äußeren Orientierung. Die Festlegung der Flugzeugposition mittels GPS auf eine Genauigkeit im Subpixelbereich ($< 5 \text{ m}$) ist nun 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. Hierzu 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 messen (Ebner u. a. 1991).

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

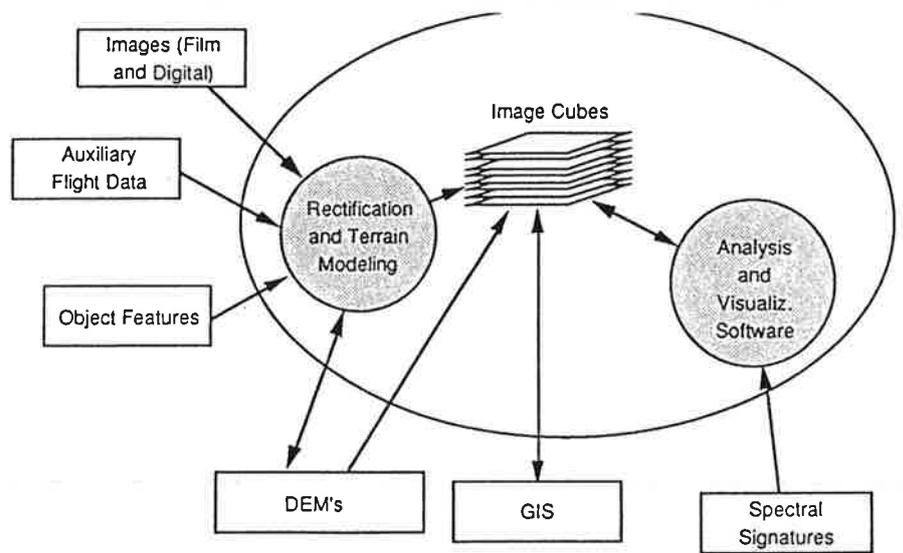


Abb. 5. Von Einzelbildern über Entzerrung zum Bildwürfel; mittels Visualisierung geschieht die interne Datenauswertung

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

8. Ausblick

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

Der Übergang von der analogen/analytischen zur digitalen photogrammetrischen Bildverarbeitung ist im Gange und wird vom Übergang auf das GIS und auf den universellen Computerarbeitsplatz getragen. Photogrammetrische Apparate werden durch Software an den Computer angeschlossen. Das photographische Luftbild wird in digitale Pixelmatrizen umgewandelt und durch erfaßte Quellendaten aus Flugzeugen und Satelliten ergänzt. Die manchmal mit „ausgekelt“ bezeichnete Photogrammetrie zeigt kräftige Lebenszeichen.

Literatur

- Ebner, H., Kornus, W. (1991): Point determination using MOMS-02/D2 Imagery, *Proceedings IGARSS '91*, Helsinki, Finland.
- Ehlers, M., Welch, R. (1988): Kartographische Leistungsfähigkeit von Landsat-TM Aufnahmen. *BuL*, 56. Jahrgang, S. 138-148 und 157-166
- Konecny, G., Schuhr, W., Wu, J. (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 technology. *Proceedings, Petroleum Engineering in the 90's*, Canadian Petroleum Association, Colloquium, Calgary, Alberta, Canada T2P 3Y7.
- Leberl, F. (1990): *Radargrammetric image processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 600 Seiten.
- Leberl, F. (1991): The promise of softcopy photogrammetry. *Proceedings of the ISPRS Conference on Digital Photogrammetric Systems*, H. Wichmann Verlag, Stuttgart, 1991, S. 1-10.

- Leberl, F., Burton, P., Millot, M., Leberl, F., Kruse, F., Thornton, S. (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., Kober, W., Kruse, F. (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., Kober, W., Leberl, F., Kwok, R., Curlander, J. (1989): Automated tracking of arctic ice floes in multitemporal SAR imagery. *Proceedings, IGARSS 89*, Vol. 2, pp. 1112–1114.
- Mercer, B., Leberl, F., Michael, J. (1991): The impact of digital workstations on topographic mapping applications of remotely sensed data. *Proceedings, 17th Can. Symp. Remote Sensing, Canadian Remote Sensing Society, Canada*, May 6–10, pp. 9–14.
- Mercer, B., Burton, P., Millot, M., Leberl, F., Soofi, S. (1991): Stereomapping 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., Williams, T. (1991): Denver's equitable to storm sewer assessment. *Geo Info Systems*, Feb pp. 20–21.
- Williams, T. (1988): Workstation aids sewer billing. *Public Works Association (APWA) Reporter*, Vol. 10, pp. 10.

DK/UDC [528.74+528.88]:5
528.94:[551.3.053

Welche Umweltparameter kann man mit Photogrammetrie und Fernerkundung erfassen?

Von Karl Kraus, Wien (Österreich)

Zusammenfassung: Mit historischen Luftaufnahmen können Veränderungen der natürlichen und künstlichen Landschaft überwacht und insbesondere die ehemaligen ökologischen Verbundsysteme rekonstruiert werden. Mit Farbinfrarotaufnahmen können die Zustände der Wälder erhoben und die Biotopkategorien angefertigt werden. Mit der Fernerkundung erfaßt man vor allem globale Umweltparameter. Die Kombination der photogrammetrischen und fernerkundlichen Daten mit anderen Daten eines Geoinformationssystems wird am Beispiel der Bodenerosionsgefährdungskarte erläutert. Solche Kombinationen können aber auch unbrauchbare Ergebnisse liefern, wie anhand der Verschneidung der Gefällsstufen mit Grundstücksgrenzen gezeigt wird. Zum Schluß wird auf den hohen Stellenwert der in Geoinformationssystemen gespeicherten Daten für die Modellierung des Systems „Erde“ hingewiesen.

1. Vorbemerkungen

Unter Umweltschutz versteht man die Bewahrung der natürlichen Umwelt als Lebensgrundlage des Menschen vor schädlichen Einwirkungen. Dabei geht es um die Erhaltung und – erforderlich – die Wiederherstellung der natürlichen Umwelt in dem Maße, in dem die Dienste der Gesundheit, der Wohlfahrt und des Wohlbefindens der Menschen – auch zukünftigen Generationen – notwendig und wünschenswert erscheint (in Anlehnung an (1988)).

Das System „Erde“, auf das sich der Umweltschutz bezieht, ist – soweit überhaupt – nur mit sehr vielen Parametern zu beschreiben. Einige dieser Parameter können mit Photogrammetrie und Fernerkundung erfaßt werden. Im folgenden wird zuerst ein Überblick über die photogrammetrischen und fernerkundlichen Erfassungssysteme gebracht, wobei einige umweltrelevante Anwendungsbeispiele, die hauptsächlich in den letzten Jahren am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien bearbeitet wurden, gebracht werden. Anschließend folgt der 3. Abschnitt, der die Kombination von photogrammetrischen und fernerkundlichen Daten mit anderen Datenbeständen im Rahmen eines Geoinformationssystems (GIS) behandelt. Dabei steht die Herstellung einer Bodenerosionsgefährdungskarte im Mittelpunkt. Die Genauigkeit der erfaßten Umweltparameter wird in einem eigenen Abschnitt betrachtet. Im Detail erfolgt diese Betrachtung am Beispiel einer Gefällsstufenkarte. Der 5. Abschnitt geht andeutungsweise auf die Modellbildung des Systems „Erde“ aus den erfaßten Umweltparametern ein.