

7.6 (36)  
Geowiss. Mitt.

13, 1978, S. 189 - 224

ZUR HERSTELLUNG VON KARTEN MITTELS SATELLITENPHOTOGRAPHIE  
UND FERNERKUNDUNGSVERFAHREN

von  
Franz Leberl

Adresse des Autors:

Doz. Dr. F. Leberl, Institut für Landesvermessung und Photogrammetrie  
der Technischen Universität Graz, A-8010 Graz, Rechbauerstr. 12, Österreich

### ZUSAMMENFASSUNG

Satellitenbilder und Fernerkundungsaufnahmen sind zur Zeit vielfach untersuchte neue Werkzeuge der Photogrammetrie. Schlußfolgerungen über ihren Wert zur Lösung photogrammetrischer Aufgaben sind unterschiedlich und widersprüchlich. Ausgehend von vorliegenden Ergebnissen wird in der gegenwärtigen Arbeit die Leistungsfähigkeit der Satellitenphotographie, der Abtastung und des Seitensichtradars zur Verwendung in der Kartenherstellung beschrieben. Die mögliche Rolle dieser Verfahren in der Erstellung zukünftiger Signaturkarten und Bildpläne wird skizziert. Insbesondere wird über neue Ergebnisse der Satellitenstereoabtastung und Radarkartierung von Meereseis berichtet.

### ABSTRACT

Both satellite photography and remote sensing images are new tools of photogrammetry that are at present frequently studied. There are varying and contradicting conclusions about their significance for the solution of photogrammetric tasks. Based on published results this paper examines the performance of satellite photography, scanning and side-looking radar in the production of line- and image maps. A scenario for future significance of these images is provided and some new results on satellite stereo scanning and radar mapping of sea ice are reported.

## 1. EINLEITUNG

Im Zeitalter der Satelliten und Fernerkundung stehen dem Photogrammeter neben dem Erd- und Luftbild neue Bilddaten, nämlich Weltraumphotographien und Fernerkundungsbilder, zur Verfügung. Im vorliegenden Beitrag wird untersucht, wieweit diese zur Erfüllung der traditionellen Aufgabe der Photogrammetrie, im besonderen der Herstellung von Karten der Erdoberfläche und der geodätischen Punktbestimmung, verwendet werden können. Es wird jedoch nicht darauf eingegangen, welche neuen Aufgaben dem Photogrammeter in der Fernerkundung und extraterrestrischen Kartierung erwachsen können.

Zur etwas willkürlichen Unterscheidung von der Photogrammetrie wird die Fernerkundung in dieser Arbeit einschränkend als die Gewinnung und Verarbeitung von Bildern verstanden, welche durch punkt- und linienweise Abtastung des Objekts entstehen. Dies führt bekanntlich zu ungünstigeren geometrischen Eigenschaften der Bilder und beschränkt ihre Bedeutung für die Lösung von Vermessungsaufgaben. Trotz dieses Nachteils werden Verfahren der Fernerkundung in Sonderfällen als Hilfsmittel zur Herstellung von Signaturkarten und Bildplänen und zur Lösung besonderer Vermessungsaufgaben verwendet. Im allgemeinen ist dies dann der Fall, wenn die terrestrische Vermessung und herkömmlichen photogrammetrischen Verfahren entweder zu zeit- oder zu kostenaufwendig sind.

Es werden also im folgenden solche Methoden der Gewinnung von Kartenunterlagen diskutiert, die auf der optisch-mechanischen und elektronischen Abtastung sowie auf Mikrowellenabbildung beruhen. Es wird davor gesondert über Anwendungen von Bildern berichtet, die aus einem Satelliten aufgenommen und deren Negative zur Erde zurückgebracht wurden. Somit gliedert sich die Arbeit in die drei Abschnitte: Weltraumphotographie, Abtastung und Radar. In diesem Rahmen wird versucht, über Anwendungen der genannten Aufnahmeverfahren einen Überblick zu vermitteln und über neue Ergebnisse zu berichten. Letztere betreffen die Analyse eines Satellitenstereoabtastsystems und die Vermessung der Bewegungen des Meereseises mittels Blöcken von überlappenden Seitensicht radarstreifen. <sup>1)</sup>

---

<sup>1)</sup> Zur Terminologie vgl. Albertz (1977)

## 2. WELTRAUMPHOTOGRAPHIE

### 2.1 Allgemeines

Die Kartenherstellung mittels Weltraumphotographien hat sich bisher nicht durchgesetzt. Der wesentliche Grund hierfür ist wohl die Tatsache, daß aus einem Satelliten aufgenommene Meßbilder, deren Negative zur Erde zurückgebracht werden, für zivile Zwecke kaum vorliegen. Es bestehen nur photographische Schnappschüsse der Erde von bemannten Raumflügen, wobei das SKYLAB-Projekt (1973) das bisher wichtigste Material lieferte. Weltraumphotographie liegt überdies vom Mond vor (APOLLO-Projekte). Zu diesem Thema sollte daher die Fragestellung lauten: Wäre die Weltraumphotographie zur Kartierung sinnvoll anwendbar, sofern Bildmaterial vorläge und welches wären die günstigsten Projektparameter? Bestehende Daten können nur experimentelle Grundlagen zur Beantwortung dieser Frage liefern.

Petrie (1970) gab eine erschöpfende Analyse der Lage, die 1970 bestand, und kam zu pessimistischen Schlußfolgerungen:

- a) Weltraumphotographie hatte nach Petrie entweder zu kleine Maßstäbe und daher zu geringes Auflösungsvermögen zur sinnvollen Verwendung in der Kartenherstellung; oder
- b) im Falle größerer Maßstäbe, z.B. durch Verwendung längerer Brennweiten, ergeben sich politische und rechtliche Probleme der Verletzung territorialer Hoheiten;
- c) die Kosten/Nutzen Frage schien 1970 ebenfalls für Weltraumphotographie noch sehr ungünstig im Vergleich zu konventioneller Befliegung.

Im Gegensatz zu Petries (1970) Untersuchung über die Verwendung der Satellitenphotos in herkömmlichen Auswerteverfahren steht der Vorschlag von Kölbl (1973), Weltraumphotographie in kaum kartierten Gebieten zur Verdichtung des Lagepaßpunktnetzes und als Grundlage der Entzerrung von kleinmaßstäbigen Luftbildern zu verwenden.

### 2.2. Skylab

Petries (1970) Argumente gelten auch heute noch und können durch Erfahrungen aus dem SKYLAB-Projekt nicht entkräftet werden. Dies ergibt sich aus einer kritischen Analyse des veröffentlichten Materials über die Anwendung der

SKYLAB-Photographie zur Kartenherstellung. Eine zusammenfassende Arbeit liegt von Colvocoresses (1976) vor, welche sich sehr wesentlich auf die experimentellen Ergebnisse von Stewart (1975), Keller (1976) und Mott (1975) stützt. Tabelle 1 beschreibt einige Parameter der zwei im SKYLAB-Unternehmen mitgeführten Kammern und zeigt, daß zur verbesserten optischen Auflösung sehr schmale Öffnungswinkel in Kauf genommen wurden.

SKYLAB - KAMERAS		
Bezeichnung	S190 A	S190 B
Brennweite	152 mm	457 mm
Format	70 mm	115 mm
Auflösung <sup>1)</sup>	50 lp/mm	70 lp/mm
Maßstab	1:3 Mill.	1:1 Mill.
Art der Kamera	Multispektral	Ohne Rahmenmarken
Flughöhe	435 km	435 km

1) Verschiedene Filme wurden verwendet, wobei die beste Auflösung theoretisch bis zu 100 lp/mm betrug.

Tab. 1: Technische Daten der beiden SKYLAB-Kammern.

Höhengenauigkeit:

Unter Verwendung von Erfahrungswerten aus der Luftbildmessung ergibt sich bei der Einzelmodellauswertung mit dem üblichen Basis-Höhen-Verhältnis von 1:1,6 eine Höhengenaugigkeit von etwa 0,1% der Flughöhe. Dieser Wert wurde mit den beiden Kammern des SKYLAB-Experiments allein schon wegen der ungünstigen Basis-Höhen-Verhältnisse von 1:7 und 1:9 nicht erreicht. Überdies traten in der S-190B-Kammer starke Filmdeformationen auf, sodaß Mott (1975) mit diesen Bildern Höhendeformationen von bis zu 2000 m (= 50% der Flughöhe) feststellen mußte. Allerdings ist die S-190B-Kammer wegen des Fehlens von Rahmenmarken keine Meßkammer. Ihre Aufnahmen waren also für geometrische Zwecke kaum verwendbar.

Die geometrischen Eigenschaften der S-190A-Kamera entsprechen dem Standard der Luftbildmessung. Keller (1976) erhielt in der Einzelmodellauswertung einen mittleren Höhenfehler von  $\pm 150$  bis  $\pm 180$  m, Dies entspricht einer relativen Genauigkeit von 0,3% der Flughöhe. Mit einem Basis-Höhenverhältnis 1:7 ist dies ein sehr guter Wert. Mott (1975) ging selbst soweit, mit diesen Aufnahmen im Himalaya-Gebiet Höhenlinien mit 250 m Äquidistanz auszuwerten.

#### Lagegenauigkeit:

Keller (1976) erhielt mittlere Fehler der Lagekoordinaten von  $\pm 40$  bis  $\pm 60$  m mit der (Meß-)Kammer S-190A. Dies entspricht im Bild  $\pm 13$  bis  $\pm 20$  m und ist etwas schlechter als vergleichbare Werte in der Luftbildmessung. Dies kann durch die Beschränkungen in der Identifizierung von Paßpunkten bedingt sein.

#### Interpretation:

Die SKYLAB-S-190-Daten zeigen die beste Auflösung aller bisher erzeugten, allgemein verfügbaren Weltraumaufnahmen, da es möglich war, erstmals einen bisher nur für militärische Aufklärung entwickelten Film zu verwenden. Somit ergibt sich Material für interessante Interpretationsexperimente. Das Auflösungsvermögen wurde von Welch (1974) mit etwa  $\pm 70$  Linienpaaren pro Millimeter (lp/mm) empirisch bestimmt und liegt höher als in normalen Filmen der Luftbildmessung. Entsprechend Figur 1 zeigt sich, daß n Linienpaare pro Millimeter einer Pixelgröße<sup>1)</sup> von  $(1/2,8 n)$  Millimetern entsprechen. Somit wird auf der Erdoberfläche

---

1) "Pixel kommt vom engl. "Picture Element" und bezeichnet in Digitalbildern ein Element des in eine Grauwertmatrix umgewandelten Bildes. Der Begriff wird hier zur Beschreibung der Geländeauflösung im Bildmaßstab verwendet (vgl. Definition in der Fernerkundung von Albertz, 1977).

mit der S-190A-Kammer (50 lp/mm) das dem Pixel entsprechende Auflösungselement 24 m, mit der S-190B-Kammer 6 m (70 lp/mm).

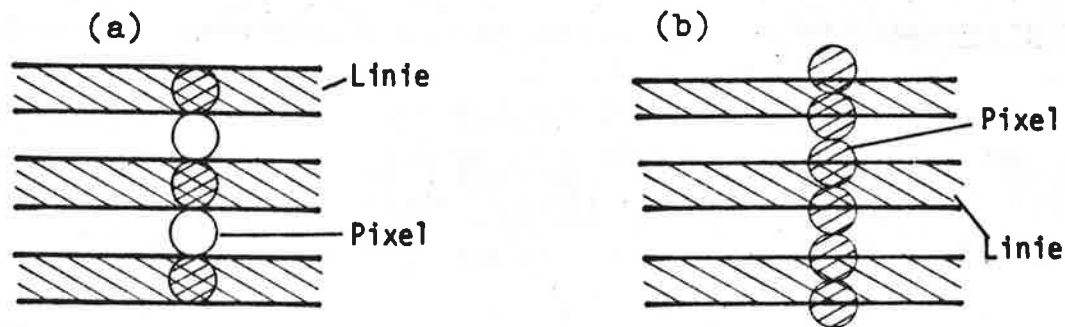


Fig. 1: Vergleich der Beschreibung des Auflösungsvermögens mittels Linienpaaren pro Millimeter und mittels Bildelementen (Pixels). Die dargestellten 3 Linienpaare (aus je einer schwarzen und einer weißen Linie) sind in (a) wohl, in (b) aber nicht mit 6 Pixeln aufgelöst.

Die Lagegenauigkeit erlaubt eine Kartierung im Maßstab 1:160 000 nach der amerikanischen Maßstabsfestlegung mittels Lagefehlern (sogen. National Map Accuracy Standards, Class A). Die Höhenfehler erlauben nur eine Atlaskartierung. Der Bildinhalt zeigt im höher auflösenden Fall (S-190B, Pixel mit 6 m) die flächenhaften, natürlichen Details und Flußläufe, die in Karten im Maßstab 1:250 000 enthalten sein müssen. Künstliche Objekte wie Straßen, Eisenbahnlinien, Häuser, selbst Ortschaften, sind nicht in allen Fällen sichtbar. Mott (1975) beklagt die Schwierigkeit, im Himalayagebiet Siedlungen zu erkennen.

In einigen Projekten wurden Orthophotokarten in den Maßstäben 1:250 000 und 1:1 000 000 hergestellt, wobei von den ursprünglichen Aufnahmen Vergrößerungen von bis zu 11,5 : 1 verwendet wurden. Dies widerspricht den in der Luftbildmessung geltenden Regeln, in Fällen kleiner Kartenmaßstäbe, zum Beispiel 1:100 000, die Luftbilder in keinem kleineren Maßstab aufzunehmen, da sonst die Interpretierbarkeit unzulässig erschwert wird (Neumaier, 1966).

Trotzdem wurden die SKYLAB-Daten von der englischen Firma Hunting Surveys zur Kartierung im Himalayagebiet in den Maßstäben 1:500 000 und 1:62 500 verwendet, da besseres Bildmaterial nicht vorlag.

### 2.3 Zukünftige Entwicklungen

Es gibt auch heute noch Teile der Erdoberfläche, die selbst in kleinen Maßstäben noch kartiert werden müssen. Für diese Gebiete könnte Weltraumphotographie von der Art der SKYLAB-Daten sinnvoll verwendet werden, solange keine echten Kosten für die Aufnahme verrechnet werden müssen. Die Höhenauswertung aus solchen Daten ist wenig sinnvoll.

One weitere wichtige Anwendung der Satellitenphotographie in kleinen Maßstäben besteht nach Koeman (1970) unter Umständen in der Überprüfung der Generalisierung kleinmaßstäbiger Karten.

Es besteht jedoch die Möglichkeit, Weltraumbilder in größeren Maßstäben zu fliegen (längere Brennweiten und/oder geringere Flughöhe) oder zur Höhenmessung günstigere Konvergenzwinkel durch Kippung der Kamern zu erreichen. Die Höhe der Umlaufbahn ist wegen der atmosphärischen Reibung auf etwa 180 km nach unten begrenzt. Die Vergrößerung der Brennweite ist jedoch technisch möglich, wobei gleichzeitig ein großer Bildwinkel durch eine Panoramaabtastung erreicht werden könnte. Überdies ist zu erwarten, daß Weiterentwicklungen auf optischem und photographischem Gebiet die Genauigkeitsleistungen von Kamern in Zukunft verbessern können. Zum

Beispiel berichten Gut und Höhle (1977) über konventionelle photogrammetrische Höhenauswertungen mittels Luftbildern, wobei Genauigkeiten von 0,04% der Flughöhe erreicht wurden.

Im Falle hoher Auflösungen wird die Frage der Bewegungsunschärfen bedeutend: der Satellit wandert mit einer Geschwindigkeit von 7 km/Sek., sodaß bei einer kurzen Belichtung von 1/1 000 Sek. schon eine Unschärfe von 7 m im Gelände auftritt. Dieser Effekt muß daher kompensiert werden, wobei technische Lösungen aus der Luftbildmessung vorliegen.



Diese Gesichtspunkte sind Inhalt von amerikanischen und europäischen Vorschlägen zur Nutzung des zukünftigen Raumfahrtlabors "Spacelab" und der Raumfähre "Space Shuttle", die ab 1979 zur Verfügung stehen soll. Derzeit kostet ein Satellitenprojekt zumindest etwa öS 240 Millionen. Spacelab und die Space Shuttle werden die fixen Kosten per Kilogramm Nutzgewicht für Weltraumprojekte wesentlich verringern. Es ist also denkbar, daß aus einer Höhe von 180 km und zum Beispiel mit einer Brennweite von 120 cm Weltraumbilder im Maßstab 1:150 000 aufgenommen werden. Zur Verwirklichung ist es notwendig, daß sich die Kostenfrage günstig entwickelt und Weltraumbilder in großen Maßstäben wirtschaftlich erzeugt werden können, sodaß es kommerziell vertretbar wird, Laderaum in der Space Shuttle und dem Spacelab für diese Zwecke zu mieten.

Probleme territorialer Hoheitsverletzungen wären zu vermeiden, wenn die zur Erde retournierten Negative direkt an den Auftraggeber übergeben werden, dessen Hoheitsgebiet aufgenommen wurde. Somit entspräche dies dem Vorgehen bei derzeitigen Luftbildaufnahmen. Die geschilderte Situation könnte schon im nächsten Jahrzehnt Wirklichkeit werden. Schwierigkeiten werden von der kurzen Dauer der Space-Shuttle/Spacelab-Missionen verursacht werden: Wolkenbedeckung mit gleichzeitiger Begrenzung der Dauer der Mission auf 7 bis 30 Tage kann die Bedeckung des Aufnahmegebietes erschweren. Die kurze Dauer der Mission ist durch den experimentellen Charakter des Projekts bedingt; auch ist die Länge des vorhandenen Filmes begrenzt. Der wesentliche Vorteil von Satellitenprojekten geht dabei verloren, nämlich die geringen variablen Kosten wiederholter Aufnahmen im Falle langlebiger Satelliten.

### 3. ABTASTUNG

#### 3.1 Allgemein

Als wesentlicher Vorteil der Abtastung gegenüber der Photographie kann angeführt werden, daß

- a) gleichzeitig in verschiedenen engen Spektralbereichen der sichtbaren, UV- und infraroten elektromagnetischen Strahlung Bilder erzeugt,

- b) diese Bilder in digitalfreundlicher Art funkübermittelt oder
- c) auf Magnetband aufgezeichnet werden können, so daß eine automatisierte (Vor-) Verarbeitung der Daten im Computer möglich ist.

Mit Ausnahme der Erforschung fremder Planeten dienen Abtastbilder in erster Linie nicht der Herstellung topographischer oder planimetrischer Karten. Die Lösung geometrischer Probleme dient statt dessen meist der verbesserten Kartierung, der Entdeckung von Veränderungen in multitemporalen (sequentiellen) Aufnahmen oder der automatischen Informationsgewinnung.

Die photogrammetrische Kartierung von Teilen der Erdoberfläche mittels Abtastbildern wurde bisher ausschließlich mit den LANDSAT-Satelliten-aufnahmen unternommen. In einigen Fällen waren diese Projekte durchaus operationell (Mott, 1975; Fleming & Sebert, 1974, Fleming, 1976, 1977). Sie stützten sich auf diese Daten, da in den Projektgebieten keine konventionellen oder anderen Bildunterlagen zur Verfügung standen.

Zur Lösung von geometrischen Fragestellungen wurden in den letzten Jahren Algorithmen entwickelt und überprüft, die die Transformation des Abtastbildes in ein übergeordnetes Koordinatensystem ermöglichen (Derenyi und Konecny, 1966; Drenyi, 1970; Konecny, 1970; Masry und Gibbons, 1973; Derouchie und Forrest, 1974; Kratky, 1974; Baker und Mikhail, 1975; Trinder, 1975; Bähr, 1976; Schuhr, 1976; Bernstein, 1976; u.a.). Diese Algorithmen werden hier nicht im einzelnen angeführt. Ausführliche Übersichten finden sich in den Arbeiten von Konecny (1972, 1975, 1976). Im folgenden werden daher nur einige grundlegende Möglichkeiten umrissen und Ergebnisse kurz diskutiert.

### 3.2 Rechenverfahren und Ergebnisse der Umbildung einzelner Abtastbilder, insbesondere LANDSAT-Aufnahmen

Es können nach Baker & Mikhail (1975) und Bähr (1976) drei Methoden der Koordinatentransformation des Abtastbildes in das Landessystem unterschieden werden:

- a) Es werden zwischen Bild und Objektpunkten Projektionsbeziehungen aufgestellt, in denen beobachtete Navigationsdaten und Bild- sowie

Paßpunktskoordinaten auftreten. Zusätzlich werden für die Sensorpositionen und -orientierungen zu verschiedenen Zeitpunkten  $t_i, t_j$  Beziehungen aufgestellt, die zum Beispiel auf Polynomen, Fourierreihen o.ä. beruhen. Die Unbekannten dieser Gleichungen werden in einer Ausgleichung bestimmt.

- b) Zu jedem Bildpunkt wird unter Verwendung der Navigationsdaten (Sensorposition und -orientierung) der dazugehörige Objektpunkt ermittelt. Paßpunkte werden erst in einem zweiten Schritt zur interpolativen Berechnung von Korrekturen der transformierten Punkte verwendet.
- c) Die x, y-Bildkoordinaten der Abtastbilder werden rein interpolativ unter Verwendung von X-, Y-Paßpunktkoordinaten in das Referenzsystem eingepaßt.

Methode (a) verwendet das strengste mathematische und stochastische Modell, wobei die Objekt- und Bildpunkte durch Kollinearitätsgleichungen in Beziehung gebracht werden. Die Korrelationen zwischen aufeinanderfolgenden Sensorpositions- und Orientierungsdaten können durch den Ansatz von Polynomen oder Fourierreihen berücksichtigt werden. Ebner (1976) entwickelte ein Modell zur Darstellung dieser Daten aus der Theorie der stochastischen Prozesse. Im allgemeinen ergeben sich zur Entzerrung einer Einzelaufnahme große Gleichungssysteme mit vielen Unbekannten und Beobachtungen, jedoch mit nur geringer Redundanz.

Methode (b) löst das Problem in zwei sequentiellen Schritten und verlangt einen geringeren Programmier- und Rechenaufwand als Methode (a). Durch die Umbildung werden die systematischen Unterschiede zwischen Bild und Karte eliminiert. Die interpolative Korrektur mittels Paßpunkten beschreibt dann die verbleibenden Auswirkungen der zufälligen und nichtberücksichtigten systematischen Fehler.

In der einfachsten Methode (c) wird nicht auf die Ursache der Bildverformungen eingegangen. Statt dessen werden Bild und Karte als ungleichartige Punkthaufen nach Pinkwart (1938) verstanden und interpolativ ineinander abgebildet. Baker und Mikhail (1975) untersuchten in diesem Zusammenhang eine Reihe von Verfahren für Flugzeugbilder. Wong (1975) und Trinder (1975) ermittelten optimale Polynomansätze für LANDSAT-Daten. Bähr (1975) verwendete überdies die lineare Prädiktion.

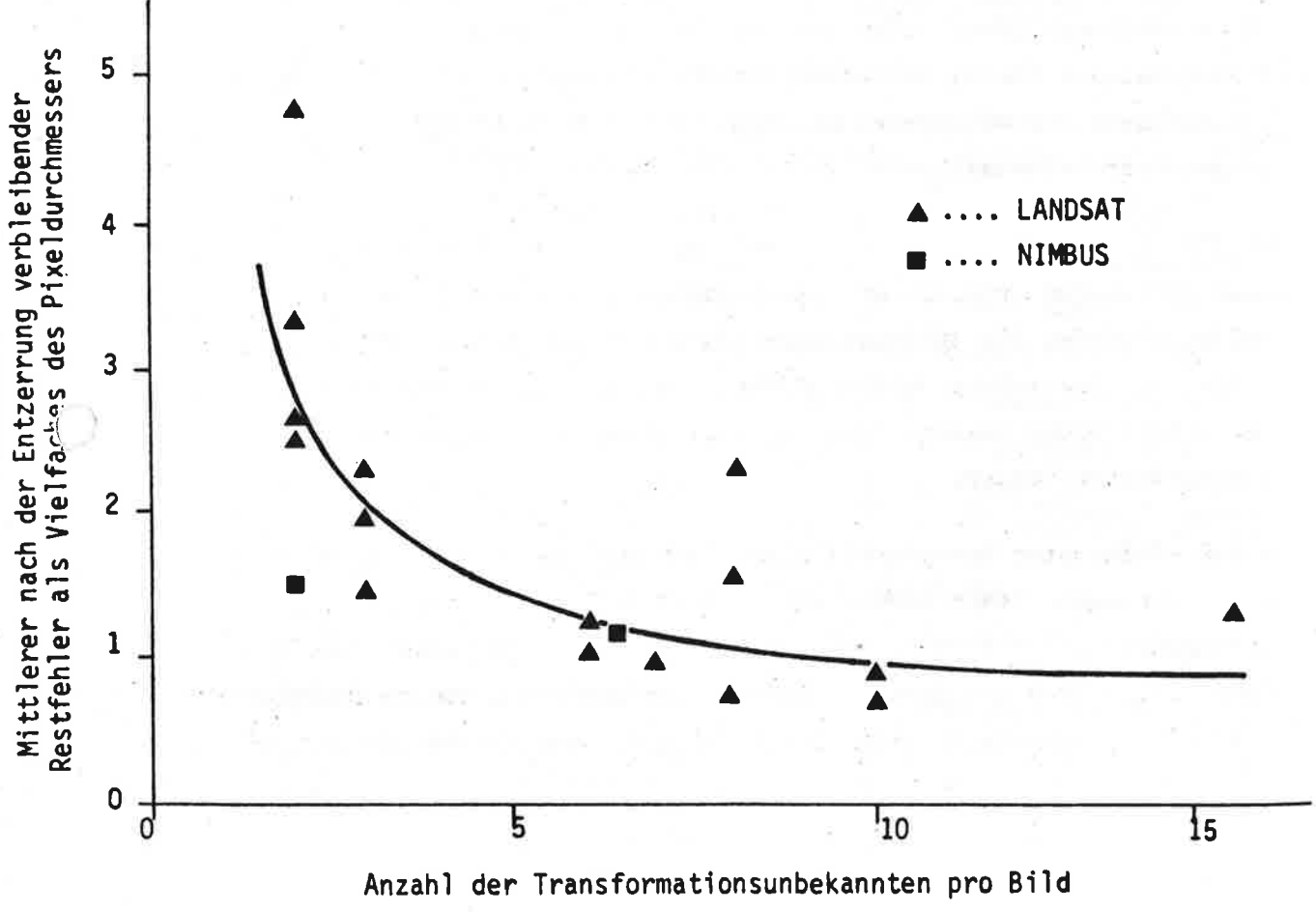
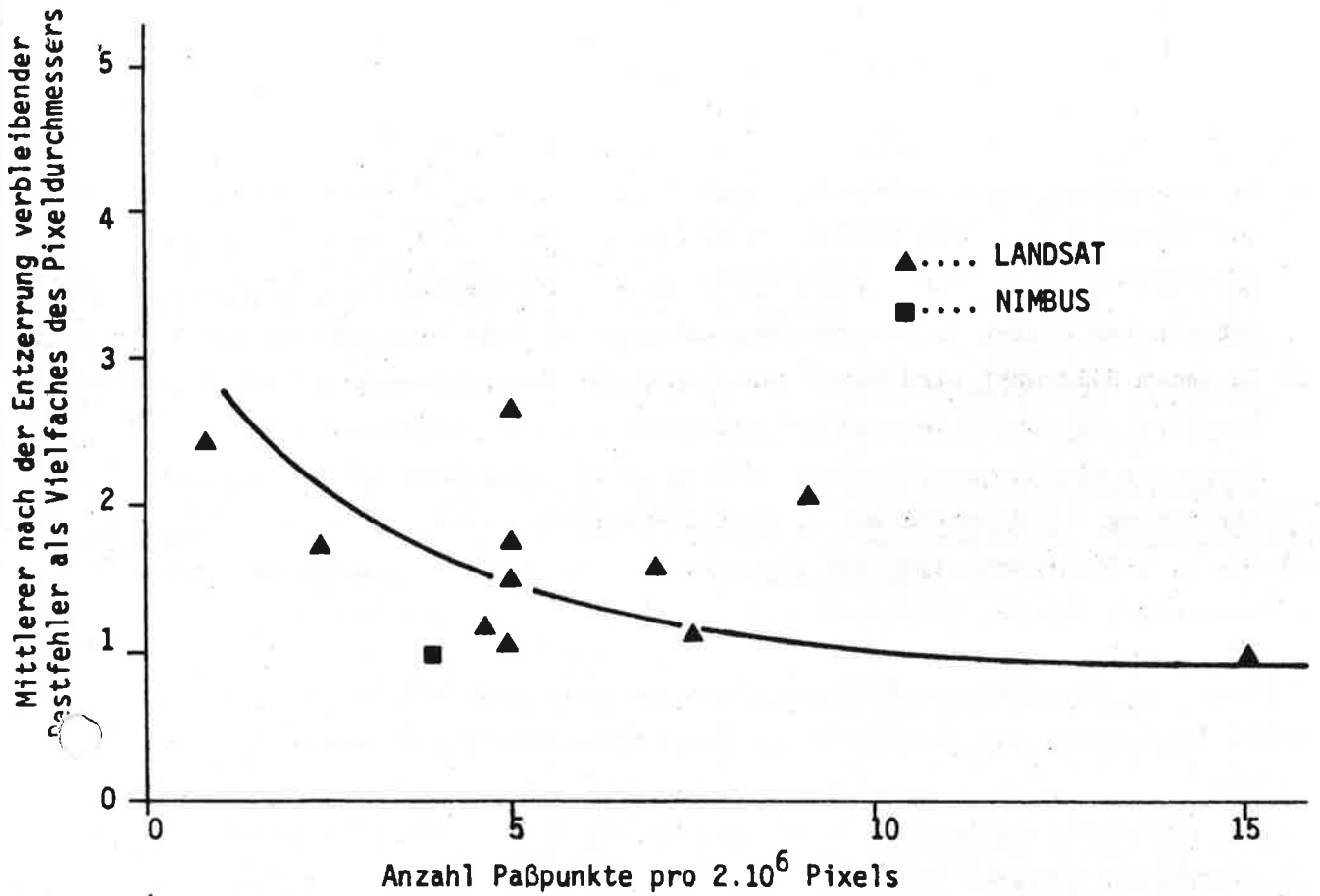


Fig. 2: Ergebnisse der Entzerrung von Satellitenabtastbildern. Mittlere Lagefehler sind als Vielfaches der Pixeldurchmesser angegeben.

Figur 2 faßt die Ergebnisse von Auswertungen (Entzerrungen) einzelner Satellitenabtastbilder, die von verschiedenen Autoren stammen, graphisch zusammen. Dabei wird die Lagegenauigkeit als Vielfaches der Größe des Bildelementes und sowohl in Abhängigkeit der Paßpunktdichte wie auch der Anzahl der Transformationsparameter angegeben. Da im allgemeinen verschiedene Autoren mit unterschiedlichem Material und Gerät arbeiten sowie von ungleichen Problemstellungen ausgehen, tritt eine breite Streuung der Ergebnisse auf. Somit kann Figur 2 von den Zusammenhängen nur einen allgemeinen Eindruck geben.

Aus den Ergebnissen der Luftabtastung nach Konecny (1970), Drenyi (1974) sowie Baker und Mikhail (1975) ist keine der Figur 2 entsprechende Stellung zu ermitteln, da entweder keine Zusammenhänge mit der Paßpunktdichte untersucht oder keine Informationen über Pixeldurchmesser gegeben sind. Ein Vergleich dieser Arbeiten mit Figur 2 zeigt, daß die Genauigkeit entzerrter Luftabtastbilder, ausgedrückt, wo dies möglich ist, als Vielfaches von Pixeldurchmessern, geringer ist als jene von entzerrten Satellitenbildern. Dies wird durch Störungen der Luftaufnahmen verursacht, welche (ausgedrückt in Pixeldurchmessern) wesentlich größer sind als jene im Satelliten.

Aus Figur 2 und den genannten Veröffentlichungen ergeben sich folgende Schlüsse:

- (i) Die Methode der Interpolation (Methode c) scheint den anderen Methoden in der Genauigkeitsleistung nicht unterlegen zu sein. Wohl ist sie unter Umständen im Aufwand günstiger (Kratky, 1974; Baker und Mikhail, 1975; Forrest, 1975; Wong, 1975; Trinder und Nasca, 1976; Bähr, 1976).
- (ii) Genauigkeiten können mit günstiger Paßpunktverteilung besser als die Geländeauflösung werden.
- (iii) Eine gleichmäßige Paßpunktverteilung ist im aufgenommenen Gebiet am günstigsten. Aus Figur 2 folgt, daß im Satelliten eine Genauigkeit von 1 Pixel zu erreichen ist, wenn die Paßpunkte in einem Gitter angeordnet sind, dessen Maschenweite etwa 500 Pixels beträgt.
- (iv) Im LANDSAT-Projekt zeigt sich, daß die Steigerung der Paßpunktdichte über 10 bis 20 gut identifizierbare Punkte pro Bild (= 320 000 km<sup>2</sup>) kaum mehr eine Steigerung der Kartiergenauigkeit nach sich zieht.

Zur Schlußfolgerung (i) ist festzustellen, daß strengere Methoden wegen der im Vergleich starken Auswirkungen der zufälligen Fehler gegenüber den Systemfehlern keinen wesentlichen Vorteil zu bringen scheinen. Wohl stellt Bähr (1976) fest, daß strengere Methoden im Falle weniger Paßpunkte günstigere Ergebnisse liefern. Bei wachsender Paßpunktdichte werden jedoch sowohl die Systemfehler wie auch zufälligen Fehler mit einem Interpolationsverfahren hinreichend genau beschrieben.

Schlußfolgerungen (ii), (iii) und (iv) ergeben sich aus der dynamischen Art der Bilderzeugung, in der gewisse Frequenzen der Bildfehler dominieren: Die Paßpunkte müssen diese Frequenzen erfassen. Liegen keine höheren Frequenzen der Bildfehler vor, so ist auch durch eine weitere Steigerung der Paßpunktdichte keine wesentliche Verbesserung der Genauigkeit zu erreichen.

### 3.3 Kartierung mittels LANDSAT-Abtastbildern

Mott (1975), Fleming (1976), Fleming und Sebert (1974) und Trinder & Nasca (1976) berichteten über Kartierungen mittels LANDSAT-Abtastbildern in Afrika, Kanada und Australien. Die metrische (Lage-) Genauigkeit ermöglicht Arbeiten zur Kartierung im Maßstab 1:250 000 bis 1:1 Million. Fleming (1977) verwendete diese Daten auch für rein geometrische Zwecke zur Überbrückung eines festpunktlosen Raumes, um Inseln in das kanadische Landessystem einzubinden.

Für die Bildinterpretation gilt, daß natürliche Objekte am besten, künstliche am schwersten zu erkennen sind. Flüsse von mindestens 40 m Breite (Geländeauflösung 80 m!) können im allgemeinen erkannt werden, schmälere Flüsse nur fallweise durch ihren Vegetationsgürtel. Somit ist für keinen Maßstab eine vollständige Kartierung möglich. Aber auch im Falle einer Steigerung des Auflösungsvermögens ist die Verwendbarkeit zur Kartierung nur beschränkt möglich. (Vgl. die Aussagen zur Weltraumphotographie, wo bisher Geländeauflösungen von bis zu 6 m erreicht wurden).

### 3.4 Stereo-Abtastung

#### 3.4.1 Bedeutung, Höhengenaugigkeit

Mott (1975) beklagt die fehlende Möglichkeit der guten Stereobetrachtung von LANDSAT-Bildern mit folgenden Worten:

"Es ist ein Merkmal von solcher Wichtigkeit, daß man nur hoffen kann, daß der Erfindergeist von Konstrukteuren zukünftiger Satellitenprojekte ein System hervorbringt, mit dem eine gute Stereobedeckung möglich ist."

Ähnlich ist der Wunsch eines von der amerikanischen Industrie eingerichteten "Geosat-Komitees" <sup>1)</sup>. Dies führte zu der nun ernsthaften Vorbereitung von Entwürfen für ein Satellitenstereoabtastsystem unter dem Namen STEREOSAT, das um etwa 1980 lanciert werden soll. Einige grundlegende photogrammetrische Gesichtspunkte eines solchen Systems werden im folgenden behandelt.

Masry (1969), Derenyi (1970) und Konecny (1970) berichteten über rechnerische Untersuchungen mit Stereoschlitzkammern und wiesen auf den Zusammenhang mit der Stereoabtastung hin. Lorenz (1972), Leberl (1970, 1972b) und Jerie (1976) machten Vorschläge zu diesem Thema, Taylor (1967) erwähnte Experimente mit Stereoarrangements von zwei Abtastern in einem Flugzeug.

Aus diesen Untersuchungen ergab sich, daß seitliche Überlappung keine befriedigende Stereoauswertung zulässt und daß ein Konvergenzsystem vorzuziehen ist. Die besten Resultate können mit einem Dreifach-Abtaster erhalten werden (eine vertikale wie auch konvergente Abtastung).

Der Zweck der Satellitenabtastung, wofür in Tabelle 2 einige jener Parameter angeführt werden, die zur Diskussion stehen, ist nicht die Verwendung zur Herstellung topographischer Karten, sondern die verbesserte Bildinterpretation.

Aus einem Satelliten kann nur ein Konvergenzsystem gute Parallaxen erzeugen, da die seitliche Überlappung zu sehr kleinen Stereobasen führt. Für die in Tabelle 2 angeführte Flughöhe von 400 km ergibt sich mit einem photogrammetrischen Verfahren eine Höhengenaugigkeit von 40 m (0,1% der Flughöhe).

---

1) Als Ges.m.b.H. mit Sitz in San Francisco gegründet, um beim U.S.-Kongreß und bei N.A.S.A. die Interessen der geowissenschaftlichen Industrie zu vertreten ("Lobby").

PARAMETER - STEREOSAT	
Flughöhe	400 km
Konvergenzwinkel	60°
Geländeauflösung	20 m
Breite des aufgenommenen Geländestreifens	40 km
Sensorstabilisierung	± 0,7° (?)
Veränderungsrate der Satellitenorientierung	0,015° pro Sekunde

Tab. 2: Projektparameter für ein Satellitenstereoabtastsystem.  
Geplanter Start: 1980 (NASA).

STEREOSAT hätte jedoch ein sehr großes Basis-Höhen-Verhältnis von 1:0,6. Somit ist ein besserer Wert als 0,1% v.H für die Höhengenaugigkeit möglich. Im Prinzip gilt die photogrammetrische Parallaxengleichung

$$\Delta h = \Delta p H/B = \Delta p/2 \tan \gamma \quad (\gamma \dots \text{ halber Konvergenzwinkel})$$

Zu einer Aussage über die erreichbare Höhengenaugigkeit sind die mittleren Parallaxenfehler  $m_{\Delta p}$  zu ermitteln. Nach Leberl (1972b) ergibt sich dann für die Höhenfehler  $m_{\Delta h}$  ein Ausdruck in Funktion von  $m_{\Delta p}$  und des Blickwinkels (Nadirdistanz)  $\Omega$ :

$$m_{\Delta h} = m_{\Delta p} / (2 \tan \gamma \cos \Omega)$$

Der Faktor  $1/\cos \Omega$  gibt die Auswirkung des mit wachsender Nadirdistanz  $\Omega$  kleineren Bildmaßstabes und der somit verringerten Geländeauflösung wieder.

Es kann erwartet werden, daß Parallaxen mit einer Genauigkeit wahrgenommen werden können, die besser ist als der Pixeldurchmesser. Dies bedeutet für STEREOSAT, daß bei einem Pixeldurchmesser von 20 m im Nadir eine Höhengenaugigkeit erhalten werden kann, die besser als ±20 m ist.



### 3.4.2 Bildung des Stereomodells mittels gemessener Sensorposition und Orientierungsdaten

Das mittels gemessener Navigationsdaten geformte Stereomodell ist wegen der Fehler der Sensorposition ( $dx'$ ,  $dy'$ ,  $dz'$ ,  $dx''$ ,  $dy''$ ,  $dz''$ ) und der Orientierung ( $d\phi'$ ,  $d\omega'$ ,  $d\kappa'$ ,  $d\phi''$ ,  $d\omega''$ ,  $d\kappa''$ ) verformt. Die Positionsfehler haben im Satelliten Komponenten mit langen Perioden von bis zu einigen Tausend Kilometern und Amplituden von einigen Kilometern (abhängig von der Genauigkeit der Bestimmung der Umlaufbahn), sowie auch kurze Perioden von z.B. etwa 100 km mit Amplituden von 10 m<sup>1)</sup>. Die Orientierungsfehler sind nach Tabelle 2 durch die Genauigkeit der Stabilisierung bestimmt und betragen im vorgeschlagenen STEREO-SAT etwa bis zu  $0,7^\circ$  mit einer Rate von  $0,015^\circ$  pro Sekunde.

Wegen

$$\Delta p = x'' - x'$$

gilt weiters:

$$\begin{aligned} d(\Delta p) &= dx'' - dx' = \\ &= dx'_0 - dx''_0 + \tan\gamma (dz'_0 - dz''_0) + (H/\cos^2\gamma)(d\phi'' - d\phi') - \\ &- H \tan\gamma \tan\Omega (d\omega' - d\omega'') + H \tan\Omega (d\kappa' - d\kappa'') \end{aligned}$$

Figur 3 zeigt Beispiele der Höhendeverformungen für STEREO-SAT, wie sie sich aus den in Tabelle 2 gegebenen Werten der Orientierungsfehler ergeben. Diese Werte wären sehr groß und stellen den ungünstigsten Fall dar: Die Stereobildpaare werden in Aufnahmeorten erzeugt, die etwa 600 km voneinander entfernt liegen, Die Fehler der äußeren Orientierung sind in den beiden Positionen nahezu gänzlich voneinander

---

1) Persönliche Mitteilung von W. Sjogren, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, USA.

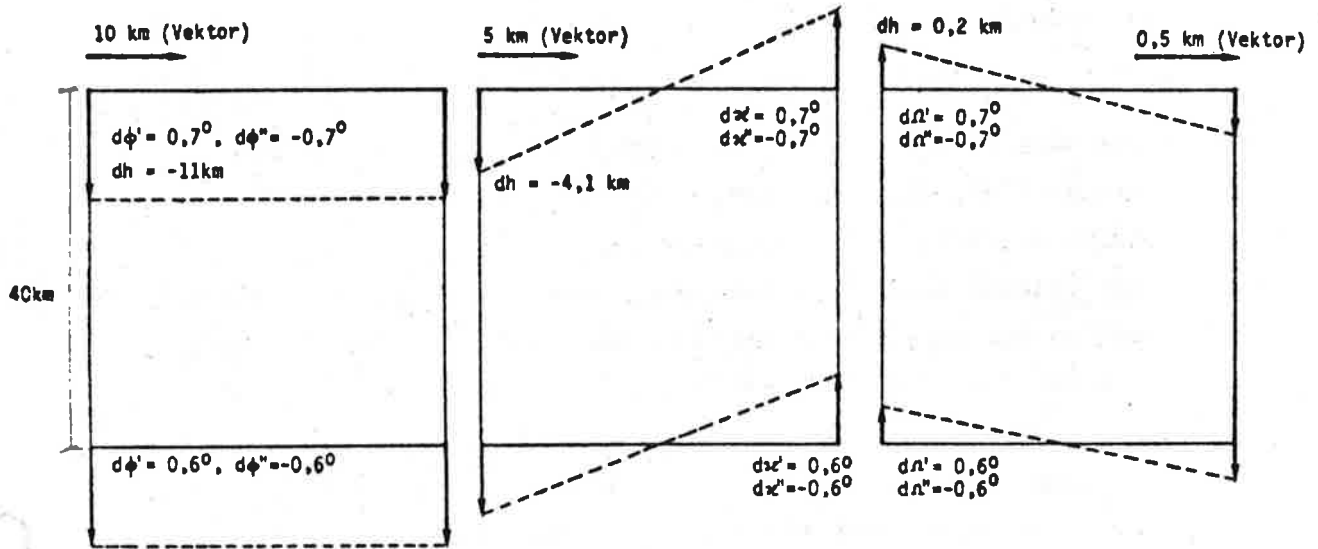


Fig. 3: Beispiel der Höhendeverformungen in einem Stereomodell aus Satellitenabtastbildern nach dem Konvergenzsystem der Tabelle 2.

unabhängig und könnten Maximalwerte mit entgegengesetztem Vorzeichen haben. Die Fehler sind jedoch systematisch und mit nur 4 Paßpunkten zu beschreiben.

### 3.4.3 Verfahren der relativen Orientierung

Die relative Orientierung zur Bildung eines Stereomodelles mittels Streifenkammer wurde von Derenyi (1970) eingehend untersucht. Die Ergebnisse sind auch für die Abtastung gültig. Es ergeben sich in Anlehnung an die herkömmliche photogrammetrische relative Orientierung zwei verschiedene Verfahren:

- (i) mit jeweils 2 Linienpaaren (diese formen einen Modellnormalschnitt)
- (ii) mit jeweils zwei Bildteilen unter der Annahme, daß innerhalb des Bildteiles die Orientierung ( $\phi$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$ ) konstant ist (oder sich linear verändert) und sich der Sensor entlang einer geraden Linie (oder Kurve zweiter Ordnung) bewegt.

Im Falle (i) werden jeweils die zwei Bildlinien relativ zueinander orientiert. Aus der photogrammetrischen Orientierung ergibt sich, daß mittels eines Modellnormalschnittes nur drei Orientierungselemente bestimmbar sind,

darunter stets  $d\omega$ . Die zwei aus dem Modellnormalschnitt nicht bestimmten Elemente müssen in der Photogrammetrie durch zwei zusätzliche Orientierungspunkte außerhalb des Normalschnittes ermittelt werden. Da dies hier nicht möglich ist, sind die verbleibenden Orientierungselemente durch direkte Messung vorzugeben.

Im Orientierungsfall (ii) sind alle Elemente bestimmbar. Derenyi (1970) und Konecny (1970) publizierten Ergebnisse der zu erwartenden Genauigkeit. Es ergab sich, daß in den untersuchten Fällen mit kleinen Konvergenzwinkeln die aus der Orientierung zu erwartenden Genauigkeiten geringer sind als jene aus der direkten Messung. Für die Projektparameter von STEREOSAT mit geringerer Geländeauflösung, jedoch größerer Konvergenzwinkel, ist eine entsprechende Analyse noch auszuführen.

### 3.5 Zukünftige Entwicklungen

Vielfachdetektoren können eine entscheidende Entwicklung für die Abtastung sein. Hier wird das Objekt nicht durch ein quer zur Flugrichtung wanderndes Gesichtsfeld (Öffnungsfeld) abgetastet, sondern lineare oder flächenhafte Detektoranordnungen nehmen einen Geländeausschnitt in einem Moment ähnlich wie in der Photographie auf. Diese Verfahren lassen eine der optisch-mechanischen Abtastung überlegene geometrische Strenge erwarten. In naher Zukunft werden Vielfachdetektoren im Auflösungsbereich der herkömmlichen Abtastung und nur mit linearer Detektorenanordnung arbeiten. In der ferneren Zukunft sind jedoch höher auflösende und flächenhaft angeordnete Systeme zu erwarten.

Die Verwendung der Abtastbilder zur Herstellung von Kartenunterlagen hat auch in Zukunft nur dann Sinn, wenn geometrisch strengere Verfahren nicht zur Verfügung stehen. Erhöhtes Auflösungsvermögen wird in der nahen Zukunft wohl noch eine Welle von Projekten in schlecht bekannten Gebieten auslösen (LANDSAT D, 1983?). Überdies wird die Regelmäßigkeit, mit der auch in Zukunft Satellitenabtastbilder der Erde erzeugt werden, ihre Überprüfung zur Anwendung in der Kartenrevision fördern. Andererseits könnte zumindest in nicht-polaren Gebieten die Ära der Space-Shuttle die Satellitenphotographie begünstigen, sodaß Abtastbilder dort eine verringerte Funktion in der Kartenherstellung hätten.

Die Pläne zur Satellitenstereoabtastung sind derzeit im Fluß. Es scheint hier noch an den geowissenschaftlichen Benutzern zu liegen, dieses Projekt durchzusetzen.

#### 4. RADAR

In veröffentlichten Arbeiten über Radargrammetrie (Leberl, 1976, 1977) wird eine Übersicht der Herstellung von Kartenunterlagen mittels Radarabbildungen gegeben. Daraus geht hervor, daß Flugzeugradar seit 1967 für kleinmaßstäbige Kartierungen schwer zugänglicher Gebiete verwendet wird und auch in Zukunft eine Rolle spielen kann. Überdies wird ab 1978 Satellitenradar zur Verfügung stehen.

Die Radargrammetrie befaßte sich bis etwa 1960 ausschließlich mit dem Rundblickradar (Levine, 1960), das von einem (nahezu) festen Standpunkt ein Funkmeßbild der um den Aufnahmestandpunkt liegenden Objekte erzeugt. Seit 1960 wurde diese Art des Radars für geowissenschaftliche Zwecke gänzlich vom Seitensichtradar (Schrägradar, Seitwärtsradar) abgelöst, da hier eine bessere geometrische und radiometrische Auflösung möglich ist. Gewisse radargrammetrische Arbeiten mit dem Rundblickradar sind derzeit nur mehr in der Erstellung von Unterlagen für das Training von Flugzeugpiloten und Navigatoren im Gange. Es werden hierfür auf Grund von Luftbildern im Computer Radaraufnahmen simuliert (Robinson, 1974). Für die Kartenherstellung hat das Rundblickradar heute keine Bedeutung.

Im folgenden werden einige wesentliche Fakten über die Leistungsfähigkeit des Seitensichtradars zusammenfassend diskutiert. Danach wird auf einige neue Ergebnisse der Vermessung mittels dieser Systeme eingegangen.

##### 4.1 Leistungsfähigkeit des Seitensichtradars

Operationelle Verwendung haben bisher nur der Radarbildplan und daraus abgeleitete Signaturkarten gefunden. Die Stereokartierung und Höhenmessung sind über ein experimentelles Stadium nicht hinausgekommen, da die Genauigkeit gering und der Aufwand doch beträchtlich ist. An dieser Situation dürfte sich auch in der nahen Zukunft nichts ändern.

Sowohl die Lage- wie auch Höhengenaugigkeiten können im günstigsten Fall die Größenordnung des Durchmessers eines Auflösungselementes erreichen, also in

bisherigen Arbeiten etwa  $\pm 10$  m. In operationellen Umständen sind solche Werte nicht zu erreichen, da die notwendige Paßpunktdichte (1 Punkt per  $10 \text{ km}^2$ ) und günstigen Eigenschaften des Objektes (signalisierte Testpunkte in ebenem Gelände) nicht vorliegen. In operationellen Projekten wurden Lagegenauigkeiten von  $\pm 150$  bis  $\pm 700$  m erreicht, wobei die Paßpunktdichte etwa  $1 \text{ Pkt}/5\,000 \text{ km}^2$  bis  $1 \text{ Pkt}/100\,000 \text{ km}^2$  betrug und natürliche Objekte als Paßpunkte verwendet werden mussten.

Der wesentliche Vorteil der Radarkartierung gegenüber der Luftbildmessung ist auch heute noch die Tatsache, daß das Gelände ohne Rücksicht auf das Wetter mit einer Pixelgröße von 10 m und einer Leistung von etwa  $20\,000 \text{ km}^2$  pro Stunde aufgenommen und daraufhin entsprechend schnell ein Bildplan erstellt werden kann (halbkontrolliert; wohl mit Paßpunkten und einer Blockausgleichung, jedoch ohne vollständige Entzerrung der Bilder). Der Vorteil der großen Flächenleistung ist im Vergleich mit Satellitenbildern nicht mehr gegeben. Gegenwärtig ist das geometrische Auflösungsvermögen der Radarbilder höher als jenes von Satellitenabtastern. Diese Situation dürfte sich auch in Zukunft nicht rasch ändern; der Auflösung von funkübermittelten Satellitenabstastdaten scheinen aus rechtlichen und politischen Gründen Grenzen von etwa 20 bis 30 m gesetzt (LANDSAT D, STEREOSAT). Radarsysteme haben gegenwärtig aber schon eine Auflösung von bis zu 3 m.

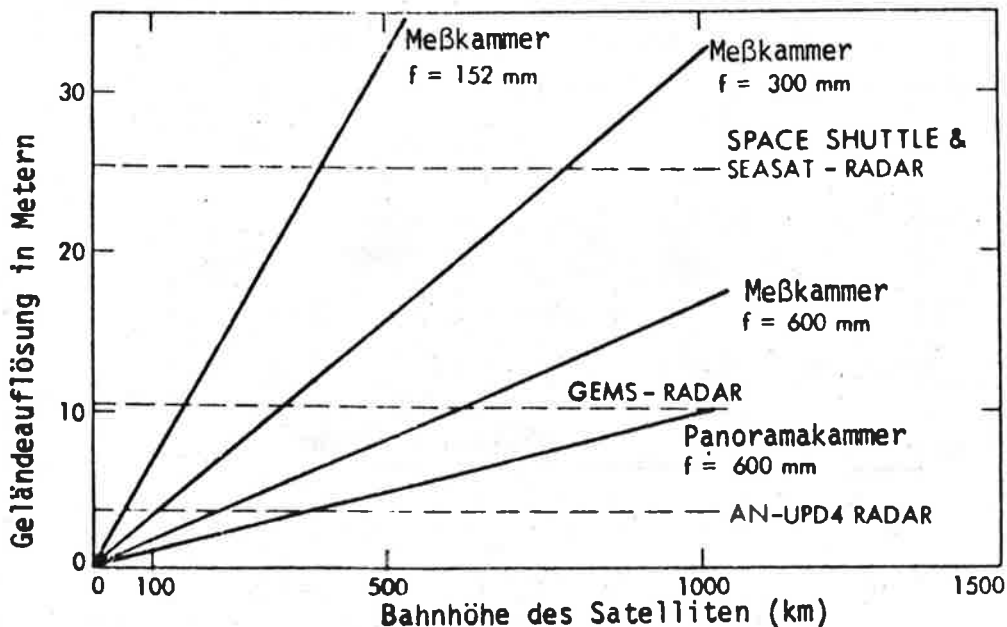


Fig. 4: Vergleich der Geländeauflösung von Meßkammern und Radaraufnahmen als Funktion der Flughöhe.

Figur 4 vergleicht für Radar und Meßkammern die zu erwartende Auflösung. Daraus ist ersichtlich, daß auch die Weltraumphotographie nicht ohne weiteres Aufnahmen liefert, die eine bessere Auflösung als Radar haben. Letzteres System würde seine Rolle zur Kartenherstellung erst dann verlieren, wenn Weltraumphotographie mit hoher Auflösung und zu wirtschaftlich vertretbaren Preisen gewonnen werden kann (vgl. Abschnitt über Weltraumphotographie).

In diesem Zusammenhang ist festzustellen, daß Weltraumphotographie im Rahmen bemannter Raumflüge gewonnen wird, die meist in nahezu äquatorialen Umlaufbahnen geplant werden. Polare Gebiete werden daher von solchen Projekten nicht bedeckt.

Es ist für die Zukunft zu erwarten, daß die geowissenschaftliche Verwendung von Radarbildern weniger auf der großen Flächenleistung pro Zeiteinheit, sondern mehr als jetzt auf den sonstigen Vorteilen von Radar beruhen wird (Empfindlichkeit für Oberflächenrauheit, Eindringen in Objekte, Polarisierung usw.).

#### 4.2 Satellitenradar

Figur 5 vergleicht die Kosten für die Kartierung mittels Flugzeugradar und für ein Satellitenradarsystem (Leberl und Jensen, 1976). Es zeigt sich, daß die Ausgaben bei der Kartierung einer Region wie Brasilien für beide Systeme vergleichbar groß werden.

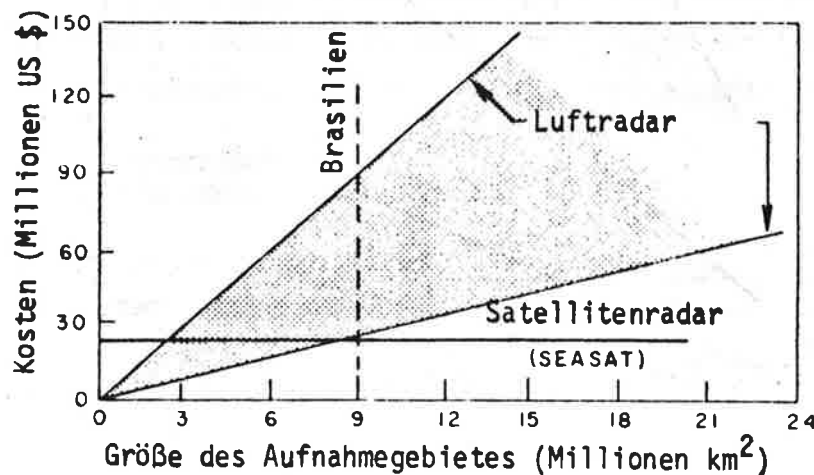


Fig. 5: Kostenvergleich von Satelliten- und Lufttradar. Kommerzielle Luftradaraufnahmen kosten etwa US \$ 3.- bis 10.- pro Quadratkilometer. Satellitenradar in SEASAT soll etwa US \$ 20 Millionen kosten (14 Millionen für das Experiment und 6 Millionen für die Rakete, den Start und die Überwachung).

Darüber hinaus kann Satellitenradar einige Vorteile bieten, von denen drei wesentliche herausgegriffen seien:

- a) das aufgenommene Objekt erscheint im Satellitensystem unter einem sehr kleinen Bildfeld, sodaß eine sehr einheitliche Ausleuchtung gewährleistet ist.
- b) Die Aufnahmeleistung wird trotz gleicher Breite des aufgenommenen Objektstreifens noch weiter erhöht (Fluggeschwindigkeit von 30 000 km/h gegen 500 km/h).
- c) Die variablen Kosten für Satellitenradar sind im Vergleich zur Luft-radar Aufnahme gering. Daher sind dynamische Vorgänge globaler Natur (Ozeane, Polareis) nur aus einer Erdumlaufbahn wirtschaftlich zu überwachen.

Diese und ähnliche Überlegungen haben zur Verwirklichung des Satellitenradar geführt (geplanter Start Mai 1978). Das wesentliche radargrammetrische Problem, das mit diesen Aufnahmen gelöst werden soll, betrifft das polare Meereseis. Unabhängigkeit des Abbildungsvorganges von Wetter- und Sichtbedingungen sowie von Sonnenlicht ist gerade in polaren Regionen (Polarnacht, Nebel, Bewölkung) besonders wichtig. Das Satellitenradarsystem SEASAT wird in etwa 10 Minuten einen 100 km breiten Geländestreifen von 4 000 km Länge aufnehmen.

#### 4.3 Radarkartierung des Meereseises

Über vorläufige Ergebnisse der Radarkartierung von Meereseis wurde schon berichtet (Leberl u.a. 1975; Leberl, 1976). Dabei wurden einzelne Luft-radarbilder derselben Eisschollen zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen, mittels Navigationsdaten getrennt in ein geozentrisches System transformiert und aus den Koordinatenunterschieden die Eisbewegung ermittelt. Über die Genauigkeit der Methode konnten mittels Testaufnahmen über Land Aussagen gemacht werden: Im untersuchten Fall wurden Fehler der Triftmessung von etwa  $\pm 200$  m pro Tag festgestellt.

Über ähnliche Projekte in der Sowjetunion berichten Loshchilov und Voyevodin (1972).

Die Arbeiten zur Eistriftmessung im offenen Ozean wurden als Vorbereitung auf das SEASAT-Projekt weitergeführt. Figur 6 zeigt zwei unkontrollierte

Bildindexkarten von arktischen Eisschollen, die im Oktober 1975 im Abstand von zwei Wochen im Rahmen des Arctic Ice Dynamics Joint Experiments (AIDJEX) mittels eines Radars mit synthetischer Apertur (Wellenlänge 25 cm) aufgenommen wurden. Figur 7 ist das Ergebnis der Messung der Eistrift. Hierzu wurden 2 Gruppen identer Bildpunkte in den Radarbildblöcken identifiziert und in einem Komparator <sup>1)</sup> gemessen. Die zwei Punktgruppen sind:

- a) Punkte, die in beiden Bildblöcken sichtbar sind und der Bestimmung der Trift dienen;
- b) Verknüpfungspunkte im Überlapp benachbarter Streifen eines Blocks.

Jeder Streifen wurde erst mittels der Navigationsdaten in ein geodätisches Referenzsystem transformiert. Danach wurden die Bildstreifen jedes Blocks mittels der Verknüpfungspunkte und einem internen Blockausgleich klaffenfrei aneinander angeschlossen. Dies geschah mit der selben Methode, die auch im Radarblickausgleich in Kolumbien (Leberl, 1975) und in West-Virginia (Leberl, Jensen und Kaplan, 1976) verwendet wurde.

Über die absolute Genauigkeit der Methode mittels Radarbildblöcken kann nur eine Aussage getroffen werden, falls unabhängige Vergleichswerte vorliegen. Triftmessungen wurden in Bodenstationen durchgeführt. Allerdings wurden diese Daten bisher noch nicht in eine geeignete Form verarbeitet, sodaß derzeit über die absolute Genauigkeit noch keine Aussage getroffen werden kann. Es ist nur möglich, mittels der Klaffen zwischen benachbarten Bildstreifen einen Eindruck von der relativen Genauigkeit zu erhalten.

Vor der inneren Ausgleichung, also nach der Umbildung jedes individuellen Bildstreifens in das Referenzsystem, treten in den Streifenverknüpfungspunkten im Mittel Klaffen von  $\pm 3$  km auf. Diese sind durch Fehler der aufgezeichneten Navigationsdaten und Beschränkungen in der Identifizierung identer Verknüpfungspunkte verursacht. Die Navigationsdaten sind ungenauer als erwartet. Die Fehler sollen zeitabhängig nach einem empirischen Gesetz mit 1 km pro Flugstunde anwachsen. Da die benachbarten Streifen in einem Abstand von 30 Zeitminuten geflogen wurden, sind die festgestellten Fehler zu groß, um dem empirischen Gesetz zu entsprechen. Die Trägheitsnavigation

---

<sup>1)</sup> Zeiß-PSK, Observatorium Graz-Lustbühel



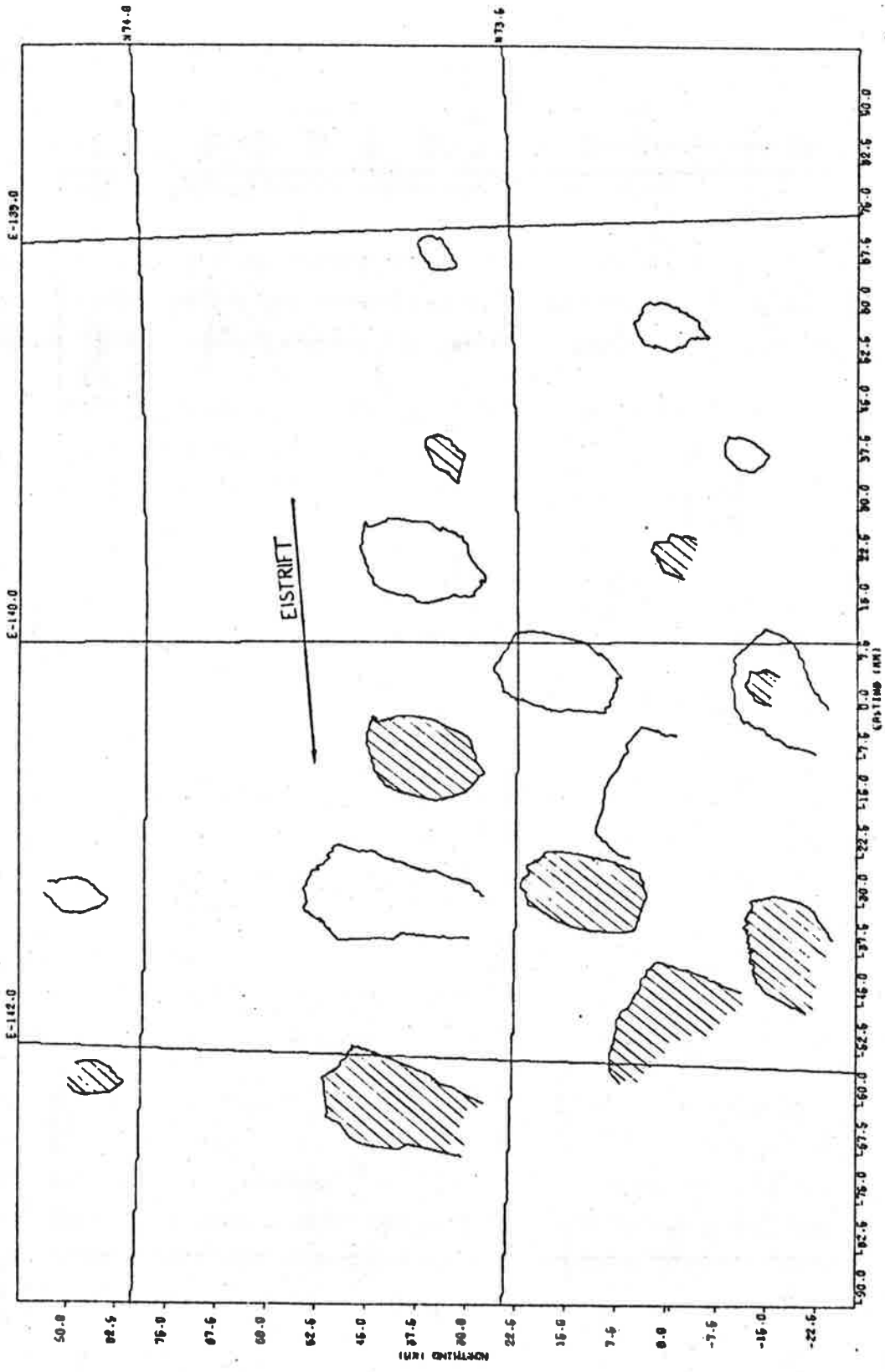


Fig. 7a: Absolute Eistrift ermittelt aus den Radardaten der Fig. 6.

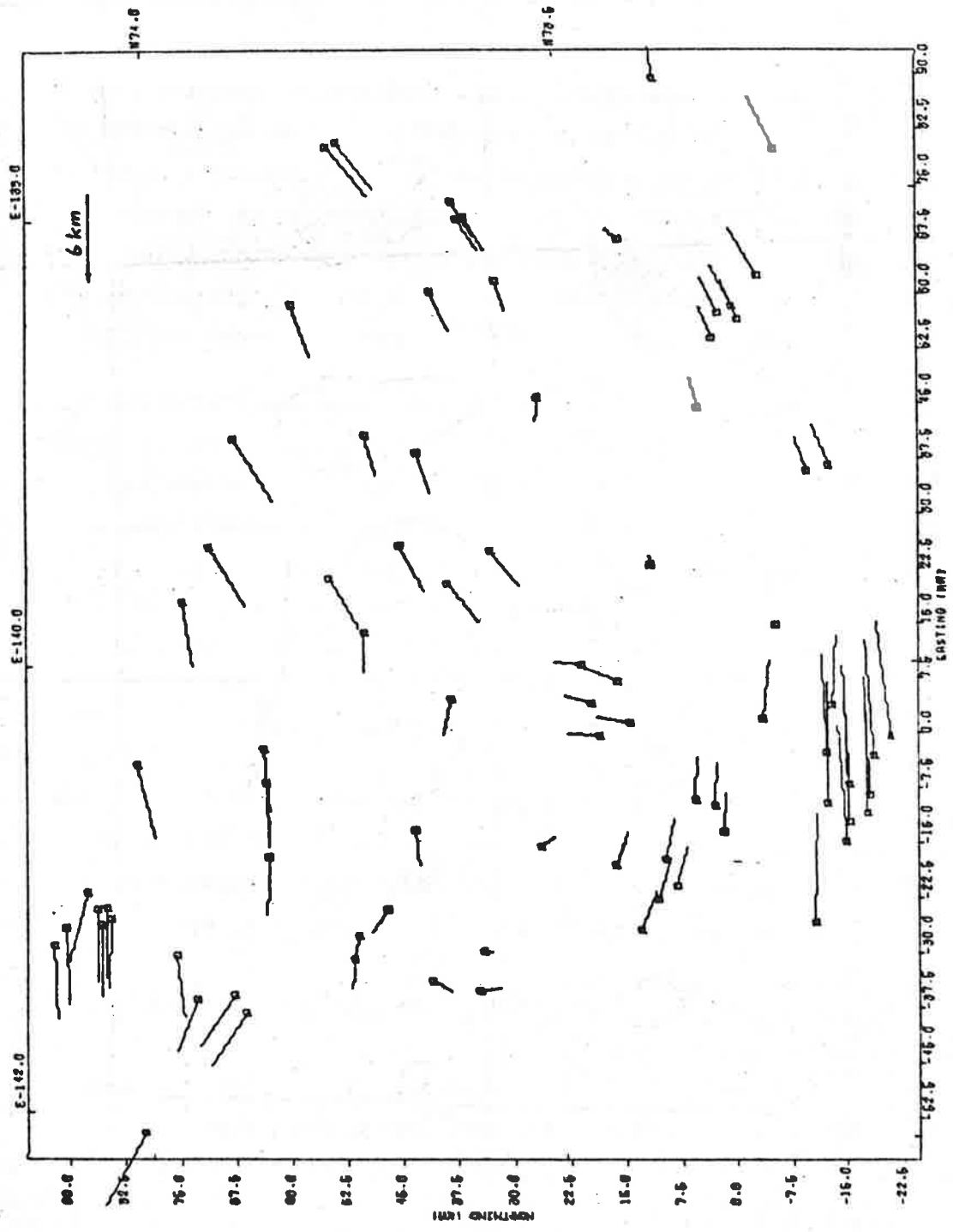


Fig. 7b: Relative Eisdrift ermittelt aus den Radardaten der Fig. 6.

scheint jedoch durch die Richtungsumkehr des Flugzeuges bei der Befliegung gestört zu werden.<sup>1)</sup> Diese Erklärung wird dadurch erhärtet, daß auch in anderen Projekten, in denen die Navigation durch eine rechnerische Radarblockausgleichung überprüft werden konnte, größere Navigationsfehler gefunden wurden als dem 1 km/Flugstunde-Gesetz entspräche (vgl. Leberl, 1975, Leberl, Jensen und Kaplan, 1976).

Nach der inneren Ausgleichung ergeben sich Restklaffen zwischen benachbarten Radarstreifen von etwa  $\pm 150$  m. Diese Fehler sind durch unregelmäßige Identifizierungsfehler der Verknüpfungspunkte bedingt.

Die experimentellen Ergebnisse der Eiskartierung zeigen, daß in Zukunft eine operationelle Darstellung der Eistrift mittels überlappenden Radaraufnahmen möglich ist. Operationelle Verfahren müssen so angelegt sein, daß große Gebiete innerhalb kürzester Zeit und im Abstand von nur wenigen Tagen wiederholt kartiert werden können. Hierzu müssen bisher entwickelte Verfahren weiter automatisiert und für einfachen Gebrauch optimalisiert werden.

## 5. SCHLUSS

Die angeführten Überlegungen und Ergebnisse lassen erkennen, daß die Weltraumphotographie in Zukunft sehr wohl eine Rolle für die Herstellung und Revision von Kartenunterlagen (Bild- und Signaturkarten) spielen kann, falls die Fragen der territorialen Hoheit gelöst und kostengünstige Aufnahmeprojekte verwirklicht werden können. In diesem Falle würden die Satellitenabtast-, aber auch Luftradarverfahren, in ihrer Bedeutung für die Kartenherstellung zurückgedrängt werden.

Die Abtastung hat bisher nur eine beschränkte Anwendung zur kleinmaßstäbigen Kartierung (z.B. 1:500 000) in jenen bisher kaum erforschten Gebieten gefunden, wo weder Satelliten- oder Luftphotos noch Radarbilder vorliegen. Eine Verbesserung der Auflösung und Übergang auf Vielfachdetektoren wird diese Anwendungen wohl noch etwas fördern. Wegen der Funkübermittlung der Bilddaten sind jedoch Datenschutzprobleme nur

---

<sup>1)</sup> Persönliche Mitteilung von H. Aubauer und K. Killian nach einem Vortrag über Trägheitsnavigation von H. Aubauer an der T.U. Wien, 1976.

schwer lösbar. Daher wären der Weltraumphotographie wegen des sehr viel einfacheren Datenschutzes größere Möglichkeiten einzuräumen, wenn sich das Modell des "Weltraumtaxis" einmal durchgesetzt hat.

Radar wird sich in Polargebieten und zur Überwachung von schnell verändernden Erscheinungen einen eigenen Anwendungsbereich in der Vermessung erhalten, da die Unabhängigkeit von Wetter und Sonnenlicht sehr wesentliche Vorteile sind, die in anderen Systemen nicht gegeben sind.

In Österreich kann die Weltraumphotographie unter den genannten Voraussetzungen für die Kartenrevision und Orthophotokartierung bedeutungsvoll werden. Für die Abtastung und Radar sind jedoch nur Anwendungen zu erwarten, die außerhalb der Herstellung von Lage- und Höhenkarten liegen.

#### SCHRIFTTUM

- / 1/ ALBERTZ J. (1977): "Vorschläge für eine einheitliche Terminologie in der Fernerkundung", Bildmessung und Luftbildwesen, 45. Jahrg., Heft 4: 119-124.
- / 2/ BÄHR H.P. (1975): "Interpolation and Filtering of ERTS-Imagery", Bildmessung und Luftbildwesen, 43. Jahrgang, Heft 1: 28-29.
- / 3/ BÄHR H.P. (1976): "Geometrische Modelle für Abtasteraufzeichnungen von Erderkundungssatelliten", Bildmessung und Luftbildwesen, 44. Jahrg., Heft 5; 198-202.
- / 4/ BAKER J.R. und E.M. MIKHAIL (1975): "Geometric Analysis and Restitution of Digital Multispectral Scanner Data Arrays", LARS Information Note 052 875, Purdue Univ., USA, 296 S.
- / 5/ BERNSTEIN R. (1976): "Digital Image Processing of Earth Observation Sensor Data", IBM Journal of Research and Development, Jan. 1976; 40-57.
- / 6/ COLVOCORESSES A.P. (1976): "Overall Evaluation of Skylab (EREP) Images for Cartographic Application", Surveying and Mapping, Dec. 1976; 351-360.
- / 7/ DERENYI E.E. und G. KONECNY (1966): "Infrared Scan Geometry", Photogrammetric Eng., Vol. XXXII, No. 1: 113-118.
- / 8/ DERENYI E.E. (1970): "An Exploration Investigation Concerning the Relative Orientation of Continuous Strip Imagery", Techn. Report No. 8, Dept. of Surveying Eng., Univ. of N. Brunswick, Fredericton, Canada: 182 S.

- / 9/ DERENYI E.E. (1974); "Planimetric Accuracy of Infrared Line Scan Imagery", The Canadian Surveyor, Vol.28, No. 3: 247-254.
- /10/ DEROUCHIE W.F. und R. FORREST (1974): "Potential Positioning Accuracy of ERTS-1 MSS Images", Annual Convention of ASP-ACSM, St. Louis, 10.-15. März 1974, 18 S.
- /11/ EBNER H. (1976): "A Mathematical Modell for Digital Rectification of Remote Sensing Data", Komm. III, 13. Kongreß der Int. Ges. für Photogrammetrie, Helsinki.
- /12/ FLEMING E.A. und L.M. SEBERT (1974): "The Use of ERTS-Imagery for Topographic Map Revision", 7<sup>th</sup> Intl. Conf. on Cartography, ICA, April-Mai 1974, Madrid, 5 S.
- /13/ FLEMING E.A. (1976): "Canadian Mapping Use of Landsat Imagery", Proceedings, 10<sup>th</sup> Intl. Symp. on Remote Sensing of Environment, 6.-10. October 1976; 1451-1456.
- /14/ FLEMING E.A. (1976): "The Use of Satellite Photography in the National Topographic Mapping Program of Canada", Presented Paper, Comm. IV, 13. Kongreß der Int. Ges. für Photogrammetrie, Helsinki, 13 S.
- /15/ FLEMING E.A. (1977): "Positioning Off-Shore Features with the Aid of Landsat Imagery", Photogramm. Eng. and Remote Sensing, Vol. XLIII, No. 1; 53-59.
- /16/ FORREST R.B. (1975): "Geometric Correction of ERTS-1 MSS Images", in: Proceedings of the Comm. III Symp. Stuttgart, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B Nr. 214: 340-357.
- /16/ GUT D. und J. HÖHLE (1977): "High Altitude Photography - Aspects and Results", 43<sup>rd</sup> Annual Meeting of ASP-ACSM, Washington, D.C.
- /17/ JERIE H.G. (1976): "Proposal for a Modification of Line Scanners and Panoramic Cameras for the Acquisition of Stereo Imagery", ITC-Journal, 1976-2: 357-363.
- /18/ KELLER M. (1976): "Analytic Aerotriangulation Utilizing Skylab Earth Terrain Camera (S-190B) Photography", Photogramm. Eng. and Rem. Sensing, Vol. XLII, No. 11: 1375-1383.
- /19/ KONECNY G. (1970): "Metric Problems in Remote Sensing", ITC-Publication Series A, No. 5: 152-177, Delft.
- /20/ KONECNY G. (1972): "Geometrische Probleme der Fernerkundung", Bildmessung und Luftbildwesen, 40. Jahrgang, Heft 4: 162-172.

- /21/ KONECNY G. (1975); "Approach and Status of Geometric Restitution for Remote Sensing Images", Bildmessung und Luftbildwesen, 43. Jahrgang, Heft 1: 2-11.
- /22/ KONECNY G. (1976); "Mathematische Modelle und Verfahren zur geometrischen Auswertung von Zeilenabtaster-Aufnahmen", Bildmessung und Luftbildwesen, 44. Jahrgang, Heft 5: 188-197.
- /23/ KÖLBL O. (1973); "Kombinierte Auswertung von Satelliten- und Luftbildern für die topographische Kartierung", Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 188.
- /24/ KOEMAN C. (1970); "The Impact of Photography from Space on Small Scale and Atlas Cartography", Intl. Yearbook of Cartography, 10: 35-40.
- 25/ KRATKY V. (1974); "Cartographic Accuracy of ERTS-Imagery", Photogramm. Eng., Vol. XI, No. 2: 203-212.
- /26/ LEBERL F. (1970); "Metric Properties of Imagery Produced by Side-Looking Airborne Radar and Infrared Line Scan Systems", ITC-Publication, Series A, No. 50: 125-151, Delft.
- /27/ LEBERL F. (1972 a); "Bemerkungen zu: Ein Zweistrahl-Infrarot-Zeilenabtaster für Stereoskopische Wärmebilder", Bildmessung und Luftbildwesen, 40. Jahrgang: 228-229.
- /28/ LEBERL F. (1972 b); "On Model Formation with Remote Sensing Imagery", Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen, 60. Jahrgang, Nr. 2: 43-61.
- /29/ LEBERL F., T. FARR, L. BRYAN, CH. ELACHI (1975); "Study of Arctic Sea Ice Drift from L-Band Synthetic Aperture Radar Imagery", Proceedings, 42<sup>nd</sup> Annual Convention of ASP, Washington: 597-611.
- /30/ LEBERL F. (1975); "Radargrammetric Point Determination Proradam", Bildmessung und Luftbildwesen, 43. Jahrgang, Heft 1: 11-17.
- /31/ LEBERL F. und J. JENSEN (1976); "Space Shuttle Imaging Radar and its Applicability to Mapping, Charting and Geodesy", in "Applications Review for a Space Program Imaging Radar", ed. by D. Simonett, Santa Barbara Remote Sensing Unit Techn. Report 1, Univ. of California at Santa Barbara, U.S.A.: 27 S.
- /32/ LEBERL F. (1976); "Imaging Radar Applications to Mapping and Charting", Photogrammetria, Vol. 32, No. 3: 75-100.
- /33/ LEBERL F., H. JENSEN und J. KAPLAN (1976); "Side-Looking Radar Mosaicking Experiment", Photogramm. Eng. and Rem. Sensing, Vol. XLII, No. 8: 1035-1042.

- /34/ LEBERL F., (1977); "Satellitenradargrammetrie", erscheint bei der Deutschen Geod. Kommission, Reihe C, 160 S.
- /35/ LEVINE D. (1960); "Radargrammetry", Mc Grew Hill Book Comp., New York
- /36/ LOSHCHILOV V.S. und V.A. VOYEVODIN (1972): "Determining Elements of Drift of the Ice Cover and Movement of the Ice Edge by the Aid of the "Toros" Aircraft Lateral Scan Radar Station", Problemy Artiki i Antartiki, No. 40: 23-30.
- /37/ LORENZ D. (1972); "Ein Zweistrahl-Infrarot-Zeilenabtaster für stereoskopische Wärmebilder", Bildmessung und Luftbildwesen, 40. Jahrgang; 120-122
- /38/ MASRY S.E. (1969); "Analytical Treatment of Stereo Strip Photos", Photogrammetric Eng., Vol. XXXV, No.12: 1255-1262
- 3/ MASRY S.E. und J.G. GIBBONS (1973); "Distortion and Rectification of IR", Photogram. Eng., Vol. XXXIX, No. 8: 845-849
- /40/ MOTT P.G. (1975); "Applications of Satellite Imagery to Small Scale Mapping", Proceedings of ASP-ACSM Fall Convention, Phoenix, Airzona, October 26-31, 1975; 320-337.
- /41/ NEUMAIER K. (1966); "OEEPE Official Publ. No. 2", Inst. f. Angewandte Geodäsie, Frankfurt am Main, 60 S.
- /42/ PETRIE G. (1970); "Some Considerations Regarding Mapping from Earth Satellites", Photogrammetric Record 6 (36) : 590-624.
- /43/ PINKWART E. (1938); "Die Umformung ungleichartiger Koordinaten in der Praxis", Allg. Verm.Nachrichten.
- /44/ ROBINSON R. (1974); "Digital Radar Landmass Simulation", 14.Kongreß der F.I.G., Washington, D.C.
- /45/ SCHUHR W. (1976); "Digitale Entzerrung multispektraler Bilder", Bildmessung und Luftbildwesen, 44. Jahrgang, Heft 5: 202-208.
- /46/ STEWART R.A. (1975); "Mapping from Satellite Photography", Commonwealth Survey Officers Conference, Paper No. K 2.
- /47/ TRINDER J.C. (1975); "Correction of ERTS Multispectral Scanner Image Geometry", Unisurv G., No. 22: 63-80, Australien.
- /48/ TRINDER J.C. und S.U. NASCA (1976); "Tests on the Mapping Application of LANDSAT Imagery", Unisurv G, No. 24: 47-70.
- /49/ WELCH R. (1974); "Skylab-2 Photo Evaluation", Photogramm. Eng., Vol.XL, No. 10: 1221-1224.
- /50/ WONG K. (1975); "Geometric Accuracy of ERTS-1 Imagery", Photogramm. Eng. and Remote Sensing, Vol.XLI, No.5 621-635.