

(39)

MÖGLICHKEITEN DER PHOTOGRAMMETRIE UND FERNERKUNDUNG
IM GEBIRGE

Franz Leberl

Institut für Landesvermessung und Photogrammetrie
Technische Universität Graz

ZUSAMMENFASSUNG

Als Einleitung zu einer Diskussion im Rahmen eines Arbeitskreises stellt der vorliegende Aufsatz einige Diskussionsthemen vor. Dabei spannt sich der Bogen von der herkömmlichen topographischen Luftbildphotogrammetrie zur modernen Fernerkundung.

ABSTRACT

This paper serves as an introduction to a discussion within a working session on "Photogrammetry and Remote Sensing in Mountainous Areas". Topics treated cover areas reaching from traditional aerial photogrammetry to modern remote sensing.

0. EINLEITUNG

Der vorliegende Aufsatz dient dazu, in der Form eines "Reizvortrages" für eine Diskussion über das gestellte Gebiet zehn Diskussionsthemen einzuleiten. Die Themen werden als Feststellungen formuliert, die den Zweck haben, die Diskussionsfreude anzuregen und Stellungnahmen herauszufordern. Die Feststellungen sind daher keineswegs als "Glaubensbekenntnis" des Autors aufzufassen, sondern zum Teil absichtlich provozierend dargestellt.

1. ZUR FRAGE "PHOTOGRAMMETRIE UND FERNERKUNDUNG"

Die Photogrammetrie wird allgemein als Verfahren verstanden, mit dem (a) Signal- und Höhenlinienkarten erstellt und (b) die Koordinaten von Punkten bestimmt werden, wobei von photographischen (Meß-) Bildern ausgegangen wird. Diese Definition wird neuerdings auf Verfahren der Fernerkundung erweitert; die Inter-

nationale Gesellschaft für Photogrammetrie (IGP) hat anlässlich ihres 13. Kongresses im Jahre 1976 eine Kommission beauftragt, zur Definition des von ihr vertretenen Fachgebietes und die Namensweiterung auf "Photogrammetrie und Fernerkundung" Stellung zu nehmen. Einige nationale Gesellschaften für Photogrammetrie haben ihre Aufgabengebiete, und Namen, um die Fernerkundung erweitert.

Fernerkundung wird hier als die Erkundung und Messung von Phänomenen und Objekten verstanden, ohne diese zu berühren. Zur Abgrenzung gegenüber der Photogrammetrie wird hier insbesondere das Mittel der "nichtphotographischen Abbildung" (Radar, Abtastung etc.) betrachtet, wobei im allgemeinen das gesamte 2-dimensionale Bild nicht gleichzeitig entsteht. Die Verbindung zur Photogrammetrie besteht in der Verarbeitung von Bildern ("Sensogrammen").

Somit ergibt sich als erste Diskussionsanregung die Feststellung:

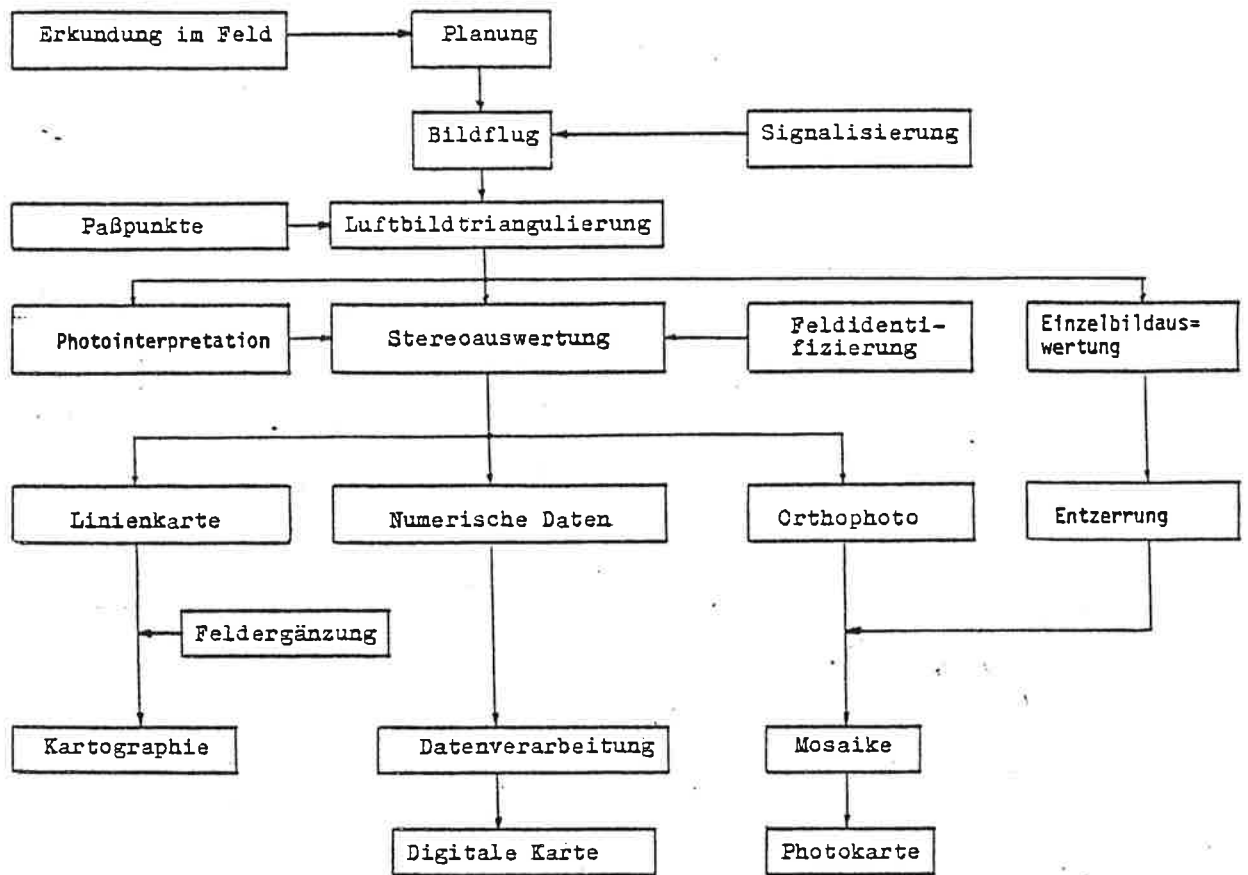
Die (obige) Abgrenzung zwischen Photogrammetrie und Fernerkundung ist praktisch und sinnvoll.

2. ZUR FRAGE DES PHOTOGRAMMETRISCHEN PROJEKTES IM GEBIRGE

Figur 1 beschreibt den Ablauf eines allgemeinen photogrammetrischen Projektes wozu Paßpunktmessung, Signalisierung, Bildflug, Punktverdichtung, Auswertung usw. gehören. Es erhebt sich die Frage, wo die Besonderheiten des Gebirges auf das Projekt Einfluß haben.

Im allgemeinen muß wohl festgestellt werden, daß die Verfahren der Photogrammetrie von der Form des Objektes unabhängig sind. Es sind jedoch folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- (a) Die Flugplanung gestaltet sich im Gebirge schwieriger. Die Überlappung muß für die Bergrücken, der Bildmaßstab für die Täler gewählt werden. Der Sonnenstand kann zu Schwierigkeiten wegen Schattenwirkungen führen. Die Fluglinien sollten der Geländeform angepaßt werden (parallel zu Höhenlinien).
- (b) Bei der relativen Orientierung können gefährliche Flächen entstehen.
- (c) Der Aufwand bei der Paßpunktmessung, Befliegung, Auswertung usw. kann im Gebirge wesentlich höher liegen als im flachen Gelände.



Figur 1: Schema eines photogrammetrischen Projektablaufes (nach Jerie, 1976).⁺

(d) Bei der Auswertung kann keine perspektive oder affine Entzerrung, sondern neben der Strichauswertung nur die Differentialentzerrung verwendet werden.

(e) Genauigkeiten sind von der Geländeart weitgehend unabhängig.

Somit ergibt sich als zweite Diskussionsanregung die Feststellung:

Photogrammetrische Verfahren sind von der Geländeart weitgehend unabhängig.

⁺ Jerie H.G. (1976) "Establishment of Cost Models in Photogrammetry", ITC-Journal 1976-2.

3. ZUR FRAGE DER AEROTRIANGULATION

Die Praxis der "modernen" Luftbildmessung arbeitet derzeit mit zwei verschiedenen Verfahrensgruppen der Aerotriangulation, nämlich mit

- (a) Unabhängigen Modellen;
- (b) Strahlenbündeln.

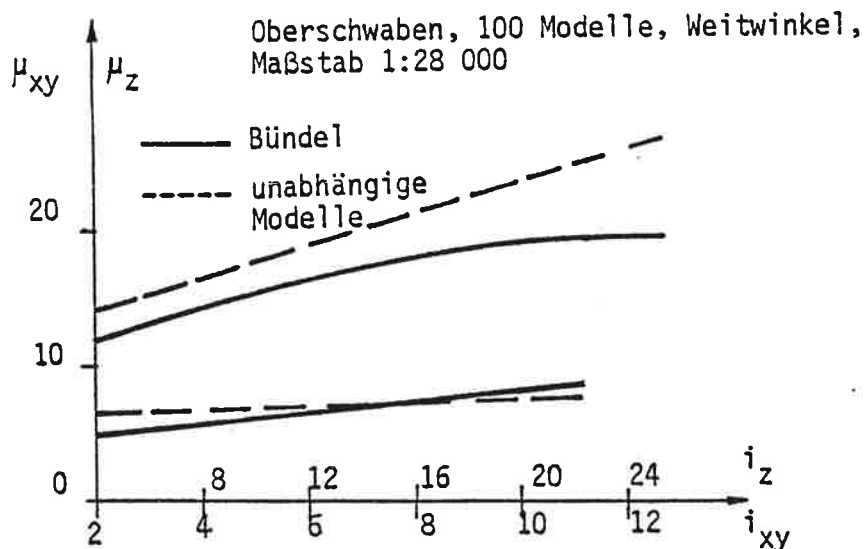
Für beide Verfahren besteht je eine Gruppe von numerischen Lösungen, sei dies, für zum Beispiel (a), die Lage-Höhe-Iteration, oder die Iteration mit allen 7 Unbekannten der Drehstreckung des Modelles. Wesentliche Schritte zur Verbesserung beider Verfahren wurden auf dem Gebiet (1) der Erweiterung des funktionellen Modelles zur Erfassung von "systematischen" Bild- oder Modellfehlern, und (2) des Eliminierens von "Ausreißern" auf strenger statistischer Grundlage unternommen.

Die bis vor einigen Jahren noch weltweit sehr gebräuchlichen Verfahren des Aeropolygons, der Ausgleichung von unabhängigen Streifen und verschiedenen Analogverfahren haben heute kaum noch Bedeutung. Das Aeropolygon ist nur mehr Hilfsmittel zur Bestimmung von Näherungswerten der Unbekannten für ein nachfolgendes strenges Verfahren.

Gegenwärtig erreichbare Genauigkeiten sind in Figur 2 dargestellt. Das Bündelverfahren erweist sich der Methode mit unabhängigen Modellen überlegen. Vorausgesetzt ist hier jedoch, daß das erweiterte mathematische Modell mit Erfassung "systematischer" Bildfehler ("Selbstkalibrierung") verwendet wird.

Die in Figur 2 dargestellten Genauigkeiten werden im Rahmen universitärer Forschung erhalten. Für die Praxis werden im allgemeinen keine derart hohen Genauigkeiten vorausgesetzt. Somit ergibt sich als dritte Diskussionsanregung:

Photogrammetrische Aerotriangulationen sind im universitären Labor bis zu 3 Mal genauer als in der modernen Praxis.



Figur 2: Ergebnisse einer Blockausgleichung mit Bündeln und unabhängigen Modellen (UMT) in μm im Bildmaßstab. Abszisse: Abstand zwischen Paßpunkten in Vielfachen der Basislänge. Planimetrie (x,y): Paßpunkte entlang dem Blockrand; Höhe (z): Paßpunktketten; Selbstkalibrierung (Ebner, 1976)[†].

4. ZUR FRAGE DES ORTHOPHOTOS

Seit 1965 bestehen in Europa kommerzielle Geräte zur Herstellung von Orthophotos (seit 1955 in den USA). Der Siegeszug des Orthophotos begann nach zögernden Anfängen etwa zu Beginn des gegenwärtigen Jahrzehntes. Wir unterscheiden heute drei Verfahrensgruppen:

-) Halbautomatische Echtzeitverfahren: Profile werden von einem Auswerter abgefahren und gleichzeitig entsteht das Orthophoto.
- (b) Automatische Echtzeitverfahren: Das Abfahren der Profile geschieht automatisch unter Verwendung elektronischer (hybrider, digitaler) Bildkorrelation.
- (c) Off-Line-Verfahren: Die Höheninformation (Profile, Raster etc.) wird gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt zur Erzeugung eines Orthophotos

[†]Ebner H. (1976): "Self-Calibrating Blockadjustment", Bildmessung und Luftbildwesen, 44. Jahrgang, Heft 3, S. 129-140.

herangezogen, wobei auch hier die Steuerdaten automatisch gewonnen werden können.

Das Orthophoto wird auf verschiedene Weise dargestellt, nämlich als Photokarte mit

- (a) Annotation,
- (b) Höhenlinien,
- (c) Stereorthophoto.

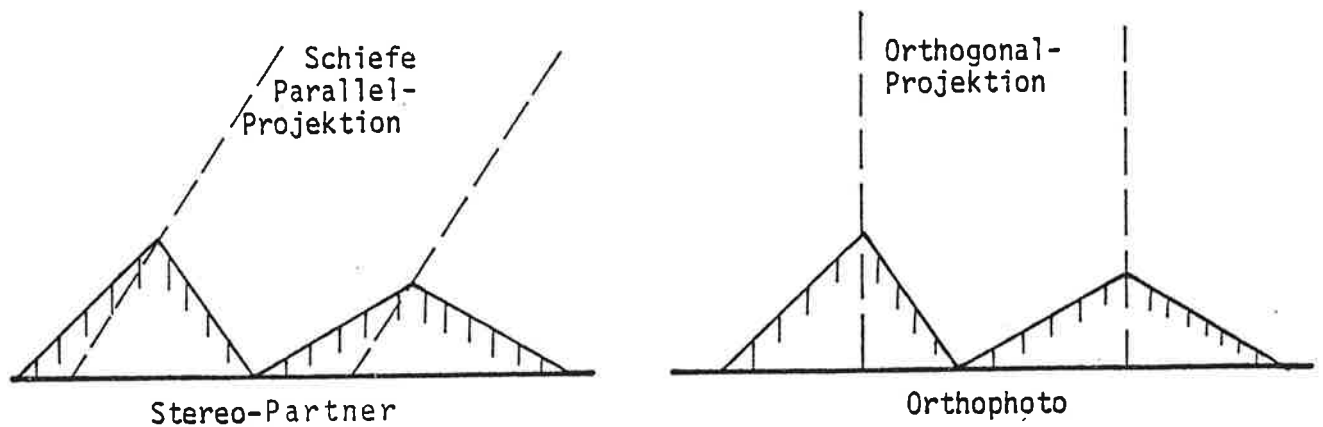
Gerade im Gelände mit wenigen Signaturen, wie dies im gebirgigen "Ödland" der Fall sein kann, ist die Darstellung mittels Orthophotos besonders wertvoll. Somit ergibt sich als vierte Diskussionsanregung:

Orthophotos sind zur Hochgebirgsdarstellung besonders geeignet, wobei Off-line-Verfahren den Echtzeitmethoden überlegen sind.

5. ZUR FRAGE DES STEREOORTHOPHOTOS

Obwohl das Stereorthophoto seit etwa 1970 besteht, gewinnt es nur langsam an Bedeutung. Das Stereorthophoto besteht aus einem Orthophoto und einem Stereopartner, welcher eine Parallelprojektion des Geländes darstellt (Figur 3). Es wird wie das Orthophoto erzeugt, jedoch mit dem Unterschied, daß die Projektionsstrahlen mit der Projektionsebene einen Winkel $\neq 90^\circ$ bilden. Das Orthophoto bildet mit dem Stereo-Partner ein Stereomodell, welches unter dem Stereoskop, ohne wesentliche Orientierung der Aufnahmen, die geometrische richtige Lage und Höhenkartierung erlaubt: Während in einem gewöhnlichen Stereomodell, welches aus perspektiven Bildern besteht und unter einem Stereoskop betrachtet wird, keine Schichtenlinien, sondern nur sogenannte "Formlinien" abgefahren werden, ist im Stereorthophoto-Modell das Abfahren von Schichtenlinien direkt möglich. Es zeigt sich also, daß mit dem Stereorthophoto eine geometrisch richtige Auswertung auch ohne photogrammetrische Auswertegeräte, sondern nur mit dem Stereoskop (mit Zeicheneinrichtung) möglich ist.

Stereorthophotos sollten für die fachspezifische Bildinterpretation ein wertvolles Produkt sein, da das Stereomodell unverzerrt ist. Für die topogra-



Figur 3: Prinzip des Stereorthophotos.

phische Auswertung ist jedoch der Verlust an Genauigkeit der Auswertung eines Stereorthophotomodelles signifikant, sodaß nicht erwartet werden darf, daß die herkömmliche photogrammetrische Auswertung durch das Stereorthophoto überflüssig wird. Es bestehen jedoch Vorschläge zur Nutzung des Stereorthophotos in der kartographischen Bearbeitung von Strichzeichnungen (Finsterwalder, München).

Seit dem Bestehen flexibler Orthophotogeräte, welche die Herstellung von Stereorthophotos ohne wesentlichen Mehraufwand ermöglichen (WILD-AVIOPLAN OR 1, SFOM 9300, OMI-OPC-3, GESTALT Photomapper), gewinnt es zunehmend an Verbreitung und somit auch an Bedeutung. Es wird im Hochgebirge zur Fels- und Gletscherdarstellung herangezogen (Pillewitzer, Wien). In diesem Zusammenhang sei jedoch einschränkend festgestellt:

Der Wert des Stereo-Orthophotos im Gebirge ist derzeit noch nicht klar demonstriert.

6. ZUR FRAGE DES DIGITALEN HÖHENMODELLES (DHM)

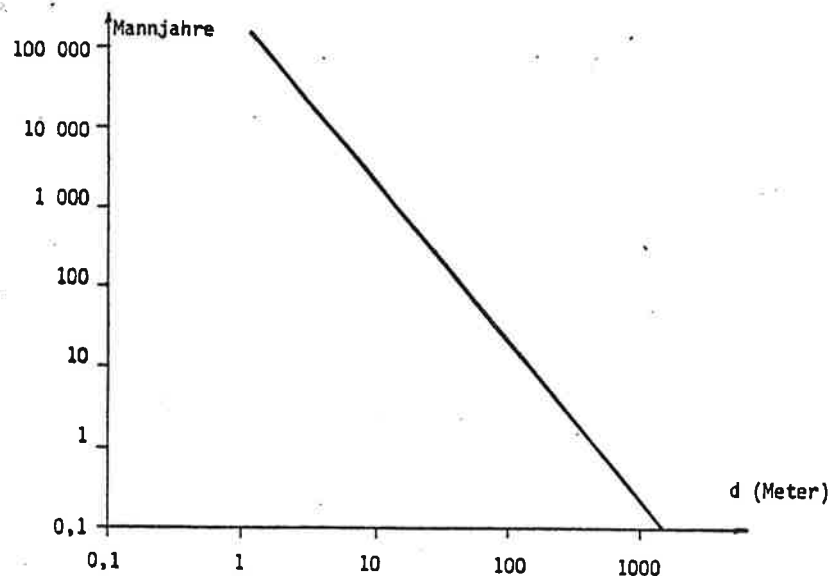
Das DHM wird zunehmend ein Standardprodukt photogrammetrischer Auswertung. Hierbei handelt es sich um:

- (a) eine Liste von Punkten auf der Geländeoberfläche zu Reliefbeschreibung und
- (b) Verfahren zur Interpolation einer Höhe zu jedem vorgegebenen Lagepunkt.

Anwendungen solcher Darstellungen bestehen derzeit vor allem im Bauwesen (Volumensberechnungen etc.). Das wesentliche Merkmal des DHM ist seine Punktdichte. Abspeichern geschieht meist in einem regelmäßigen Raster, obwohl die Messung selbst auch entlang von Profilen, Höhenlinien und morphologischen Merkmalen ablaufen kann.

Nationale DHMs bestehen zum Beispiel in den USA (Maschenweite 60 m) und der Schweiz (Maschenweite 250 m). Die vielfache und wiederholte Verwendbarkeit bestehender digitaler Höhendaten hat auch in Österreich zur Forderung nach einem nationalen DHM geführt. Nimmt man eine Maschenweite mit d (m) an, so bedeckt eine Masche $d \times d \text{ m}^2$. Ein Auswerter kann stationär nicht mehr als etwa 3 Punkte/Minute abfahren, das sind also höchstens 360 000 Punkte pro Jahr. Es ergibt sich für den Aufwand, da Österreich $82\,000 \text{ km}^2$ bedeckt:

$$\text{Aufwand (Mannjahre)} = \frac{82\,000 \cdot 10^6}{360\,000 \cdot d^2} = 23 \cdot 10^4 / d^2 \quad (d \text{ in m}) \quad (1)$$



Figur 4: Meßaufwand in Mannjahren in Abhängigkeit der Maschenweite d in Metern, für ein rasterförmiges digitales Höhenmodell Österreichs, gemessen mit stationären Punktmessungen.

Figur 4 zeigt den Aufwand in Funktion von d.

Wird nicht stationär in einem Raster gemessen, sondern zum Beispiel dynamisch entlang von Profilen oder Schichtenlinien, so wird sich ein geringerer Aufwand ergeben.

Für das Abfahren von Profilen gilt pro Mannjahr etwa eine Leistungsfähigkeit von $2000/(1,5+2,5/s^2)$ Modellen, wobei s den Profilstand in Millimetern im Bild angibt (2000 Arbeitsstunden pro Jahr; 1,5 Stunden Vorbereitung pro Modell; 2,5 Stunden Abfahren).

Zur Bedeckung Österreichs werden N Stereomodelle mit Bildmaßstab 1:M benötigt:

$$N = 82\ 000 / \left(\frac{162 \cdot M^2}{10^{10}} \right) = \frac{506 \cdot 10^{10}}{M^2} \quad (2)$$

Die Modellfläche im Bild ist $9 \times 18 \text{ cm}^2$.

Mit Weitwinkelaufnahmen gilt für die Höhengenaugigkeit m_H beim Abfahren von Profilen:

$$\begin{aligned} m_H &\approx 0,3 && \circ / \infty H && H \dots\dots \text{Flughöhe (m)} \\ H &\approx m_H && \cdot 1000/0,3 && \end{aligned} \quad (3)$$

Wegen:

$$M = H/0,15 = m_H \cdot 1000/0,045 \quad (4)$$

gilt:

$$N = 10\ 250 / m_H^2$$

Somit:

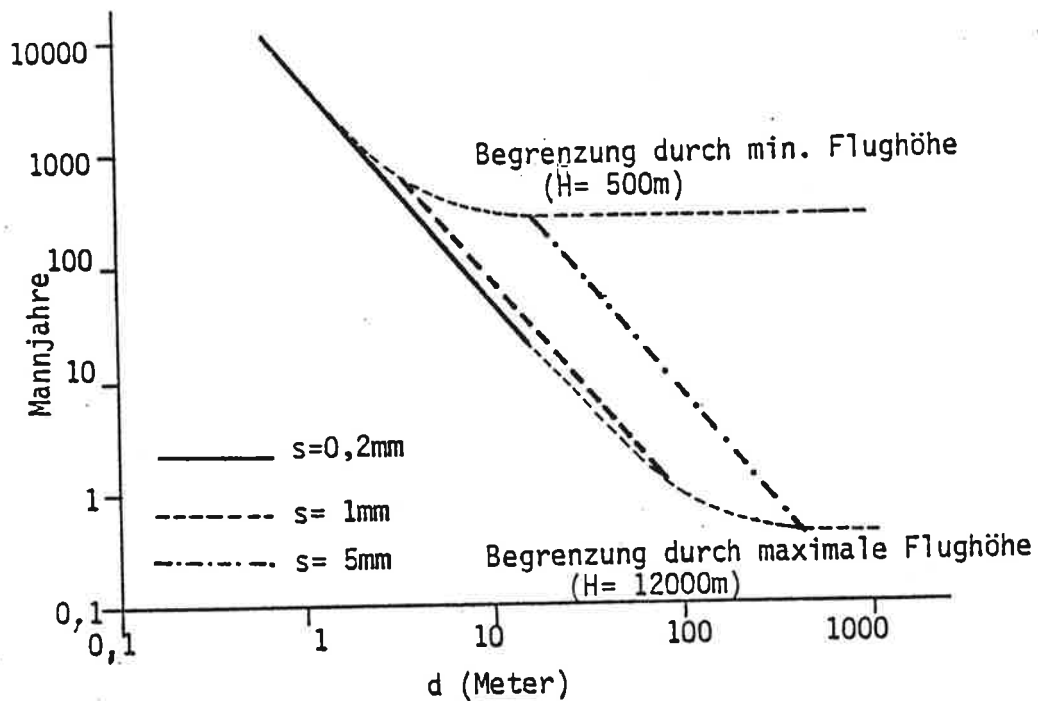
$$\text{Aufwand (Mannjahre)} = N \cdot (1,5+2,5/s^2)/2000 \quad (5a)$$

$$= \frac{7,7}{m_H^2} + \frac{12,8}{m_H^2 \cdot s^2} \quad (5b)$$

$$= \frac{3800 \cdot s^2}{d^2} + \frac{6300}{d^2} \quad (5c)$$

$$= \frac{7,7}{m_H^2} + \frac{6300}{d^2} \quad (5d)$$

wobei die Höhengenaugigkeit m_H in Metern, der Profilabstand s in Millimetern und der Punktabstand d in Metern vorliegen.



Figur 5: Aufwand in Mannjahren, um durch Abfahren photogrammetrischer Stereomodelle (Abstand s im Bild, Abstand d im Gelände) ein Höhenmodell Österreichs zu erhalten.

Figur 5 stellt den Aufwand in graphischer Form dar. Er ist hier wesentlich geringer als im Fall der punktwweisen Messung.

Die äquivalente Punktdichte beim Abfahren von Profilen wird durch den Profilabstand s (in mm) und die Bildmaßstabzahl M (siehe Gl. (4)) definiert:

$$d = s \cdot m_H / 0,045$$

wobei d in Metern erhalten wird und m_H in Metern vorliegt.

Die Flughöhe H ist praktisch für Weitwinkelaufnahmen mit $0,5\text{ km} \leq H \leq 12\text{ km}$ begrenzt. Dies beschränkt den Bereich möglicher Werte für m_H . Durch Gl. (5d) wird somit wiederum der Aufwand begrenzt:

$$342 + 6300/d^2 > \text{Aufwand (Mannjahre)} > 0,59 + 4650/d^2$$

Somit wird die Feststellung getroffen:

Es ist vom Aufwand her sinnvoll und richtig, für gebirgiges Gelände in Österreich ein nationales digitales Höhenmodell mit einer Maschenweite d zu fordern, wobei d kleiner als 10 bis 20 m ist.

7. ZUR FRAGE DER PHOTOGRAMMETRISCHEN ENTWICKLUNGEN IN NAHER ZUKUNFT

Eine Anzahl technischer Entwicklungen kann die derzeitige Rolle der Photogrammetrie verändern. Zum Beispiel könnte dies auf folgenden Gebieten geschehen:

- (a) Steigerung der Leistungsfähigkeit der Kamern und Filme (Höhengenauigkeit $m_H \geq 0,02 \text{ o}/\infty H$?);
- (b) Vordringen von Digitalverfahren: analytische Plotter, digitale Bildkorrelation, digitale Bildverarbeitung;
- (c) Anwendung von Satellitenaufnahmen;
- (d) Erweiterung und Verbesserungen mathematischer und stochastischer Modelle.

Zu einer Diskussion soll folgende Feststellung provoziern:

Die relative Genauigkeit des photogrammetrischen Meßverfahrens wird von derzeit 1: 10 000 durch Verbesserungen der Aufnahmetechniken und Auswerteverfahren auf 1: 50 000 gesteigert werden.

8. ZUR ROLLE DES PHOTOGRAMMETERS IN DER FERNERKUNDUNG

Die Fernerkundung eröffnet neue Möglichkeiten der Vermessung "dynamischer Erscheinungen". Dies trifft insbesondere auf die Satellitenverfahren zu, weil hier die Wiederholung einer Messung mit sehr geringem variablem Aufwand verbunden ist. Andererseits ermöglicht die Fernerkundung Aussagen durch Bereitstellung von neuartigen Daten, wobei vor allem auf die multispektralen Bilder im thermischen und sichtbaren Wellenbereich des elektromagnetischen Spektrums (Wellenlänge $\lambda = 0,4$

bis 14 μm), und auf die Mikrowellenabbildungen ($\lambda > 0,8 \text{ cm}$) mit Radar und passiven Radiometern verwiesen sei.

Die Auswertung der Bilddaten kann in drei voneinander abgrenzbaren Klassen unterteilt werden:

- (a) Die Bilddaten werden vorbehandelt, sodaß sie für die nachfolgende fachspezifische Bildinterpretation optimiert sind;
- (b) Den Bildern werden durch automatische Analyseverfahren Informationen entnommen (automatische Mustererkennung, Klassifizieren);
- (c) Aus den Bildern werden geometrische Aussagen zur photogrammetrischen Vermessung gewonnen.

Photogrammeter kennen Aufgabe (a) bei herkömmlichen Luftbildern durch Herstellung von Orthophotos. Aufgabe (b) ist in der automatischen Bildkorrelation enthalten. Dies ist Anlaß für den Photogrammeter, der schon stets mit dem geowissenschaftlichen Bildinterpreteten zusammenarbeitet, in der Datenverarbeitung für die Fernerkundung eine Aufgabe zu sehen.

Somit wird festgestellt:

Die Verarbeitung von Bilddaten der Fernerkundung für die spätere fachspezifische Bildinterpretation ist eine Aufgabe für Photogrammeter.

9. ZUR FRAGE DER KARTIERUNG MIT RADAR

Flugzeugradarprojekte wurden bisher in vielen Ländern durchgeführt und Radarbildkarten bedecken sehr große Teile der Erdoberfläche. Zweck dieser Projekte war die kleinmaßstäbige Erstkartierung im Maßstab 1: 200 000 von bisher unbekannt Gebieten, wobei die Lagegenauigkeit nicht besser als etwa $\pm 150 \text{ m}$ wird. Weitere wesentliche Anwendungen liegen in der Überwachung, sei es von entfernten Territorien oder in Küstengebieten, oder im Falle von Naturkatastrophen. Forschungsarbeiten weisen auf Möglichkeiten des Radar zur Messung der Bodenfeuchte,

von verdeckten Objekten, von Flächenrauigkeit usw.

Durch bevorstehende Radarsatellitenprojekte (SEASAT-A, Space-Shuttle) ist zu erwarten, daß folgendes gilt:

Radarbilder werden an Bedeutung gewinnen.

10. ZUR FRAGE DER KARTIERUNG MIT ABTASTUNG

Die Abtastung hat ihre wesentliche Aufgabe in der regelmäßig wiederholten Erzeugung multi-spektraler Satellitenaufnahmen der gesamten Erde gefunden. Auch Flugzeugabtastung hat bisher eine gewisse Aufgabe, vor allem in der Forschung und Entwicklung, finden können.

Erntevorhersagen, Vegetationsschäden, Gewässerüberwachung, Lagerstättenforschung usw. sind typische Aufgabengebiete, wo Abtastbilder herangezogen werden. Hierbei bestehen Teilaufgaben, die aus dem traditionellen Arbeitsgebiet der Photogrammetrie kommen: Entzerrung von Bildern, ihre Überlappung, Verschmelzen von Bildern mit externen Daten usw. Die regelrechte Anwendung der Abtastbilder für photogrammetrische Kartierungsaufgaben ist nur in Sonderfällen zu erwarten. Geometrische Genauigkeiten liegen für Satellitenbilder bei ± 50 m und sind (noch) durch die Bildauflösung begrenzt. Luftabtastung liefert Genauigkeiten, die nicht durch die Auflösung, sondern die beschränkte Strenge der Bildgeometrie oder auch : Entzerrungsverfahren begrenzt sind.

Im Gebirge bestehen nur wenige Erfahrungen der Anwendung von Abtastbildern: Schneemessungen wären ein typisches, auch vielfach untersuchtes Anwendungsgebiet. Dies und ähnliche Anwendungen (hydrogeologische Fragen) führen zu folgender Feststellung:

Abtastung liefert auch im Gebirge thematische Karten von großem Wert.

11. SCHLUSSBEMERKUNG

Die angeführten 10 Feststellungen wurden als Grundlage für eine Diskussion im Rahmen des Arbeitskreises "Photogrammetrie und Fernerkundung" der geodätischen Woche 1978 formuliert. Sie stellen nicht den Anspruch, die brennendsten Themen der Photogrammetrie und Fernerkundung anzuschneiden. Dazu gehören sicher die hier nicht behandelten Fragen der digitalen Bildverarbeitung, Instrumente, Suche nach Ausreißern bei Messungen usw. Die hier gebrachten Themen stellen einen Querschnitt von Fragen aus der gesamten Photogrammetrie dar, welcher auf den genannten Arbeitskreis abgestimmt ist.

A n h a n g

ZUSAMMENFASSUNG DER DISKUSSION

(Leitung: Prof. Dr.H. Ebner, TU München)

Im folgendem wird ein zusammenfassendes Protokoll der dem Vortrag folgenden Diskussion mitgeteilt. Hierbei wird wegen des Fehlens von Aufzeichnungen die Nennung von Namen der Diskutanten unterlassen.

Nur einige der angeschnittenen Fragen wurden in der Diskussion aufgegriffen.

Feststellung (2) fand allgemeine Zustimmung, wobei die im Punkt 2 genannten Einschränkungen Geltung haben.

Feststellung (3) wurde heftig und ausführlich kritisiert. Es wurde darauf verwiesen, daß die "moderne" Praxis heute sehr oft die Dienste des universitären Labors beansprucht, indem es Auftragsrechnungen ausführen läßt oder Rechenprogramme dort erwirbt. Nur für die "nicht moderne" Praxis, z.B. im Einsatz in manchen Entwicklungsländern, wurde ein Unterschied zwischen Theorie und Praxis anerkannt. Die Bedeutung der Selbstkalibrierung wurde unterstrichen. Auch wurde die Überlegenheit der Bündelmethode gegenüber unabhängigen Modellen anerkannt. Es wurde auf die Schwierigkeit bei der Fehlersuche verwiesen, und die Rolle des analytischen Plotters für wirksame Meß- und Fehlereliminierungsverfahren unter-

strichen.

Zur Frage (4) und (5) des Orthophotos und Stereoorthophotos entbrannte keine heftige Diskussion. Den Off-line Verfahren wurde die bessere Chance für die Zukunft zugeschrieben. Beim Stereoorthophoto wurde die bisher fehlende Erfahrung mit diesem neuen Produkt dafür verantwortlich gemacht, daß zur Festlegung (5) kaum Stellung bezogen werden kann. Jedoch wurde die Verbindung von Orthophoto und Höhenlinienplan als richtig bezeichnet, solange die Scharung der Höhenlinien die Bilddetails nicht verdeckt.

Zum digitalen Höhenmodell (6) wurde im Zusammenhang mit dem Beitrag von H. Ebner ("Neuere Interpolationsverfahren und ihre Anwendung in Fernerkundung und Photogrammetrie") ausgiebig Stellung bezogen. Sowohl die Frage der Interpolationsverfahren, Sinn und Unsinn ihrer Vergleiche sowie verschiedene Meßverfahren wurden behandelt. Der Wert der Methode der linearen Prädiktion wurde im Hinblick auf ihre Flexibilität unterstrichen, ebenso wurde die Interpolation mit finiten Elementen als günstiges Verfahren bestätigt. Die Frage der Darstellung von Geländebruchkanten wurde als eines der Schlüsselprobleme in der Diskussion identifiziert. Zur Darstellung von Geländekanten und zur Berücksichtigung von Inhomogenitäten (variable Datendichte) wurde der Methode der finiten Elemente größere Flexibilität als der linearen Prädiktion zugeschrieben. Zum nationalen Höhenmodell Österreichs waren keine Stellungnahmen zu erhalten.

Zur Entwicklung der Photogrammetrie (Frage 7) wurden einige wenige Diskussionsbeiträge geliefert, die Zweifel darüber ausdrückten, daß die Aufnahmetechniken in absehbarer Zeit zu wesentlich höherer Genauigkeit führen würden. Fortschritte wurden vielmehr bei der Entwicklung erweiterter funktioneller und stochastischer Modelle sowie beim Ausbau von computerorientierten Verfahren erwartet: rechnergestützte Auswertung, analytische Plotter, Fehlersuche, digitale Bildauswertung.

Über die Fernerkundung, Fragen (8) bis (10), kam es zu keiner nennenswerten Diskussion. Die Feststellung (8) wurde allerdings durch einzelne Stellungnahmen unterstützt.