



Bildauswertung durch Verschneiden des Strahlenbündels mit dem digitalen Höhenmodell

Peter Waldhäusl ¹, C. Enthofer ², Helmut J. Kager ³

¹ Technische Universität Wien, Institut für Photogrammetrie, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien

² Technische Universität Wien, Institut für Photogrammetrie, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien

³ Technische Universität Wien, Institut für Photogrammetrie, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **74** (3), S. 155–166

1986

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Waldhaeusl_VGI_198610,  
Title = {Bildauswertung durch Verschneiden des Strahlenb{\u}ndels mit dem  
digitalen H{\o}henmodell},  
Author = {Waldh{\a}usl, Peter and Enthofer, C. and Kager, Helmut J.},  
Journal = {{\O}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessungswesen und  
Photogrammetrie},  
Pages = {155--166},  
Number = {3},  
Year = {1986},  
Volume = {74}  
}
```



Bildauswertung durch Verschneiden des Strahlenbündels mit dem digitalen Höhenmodell

Von P. Waldhäusl, C. Enthofer und H. Kager, Wien

Zusammenfassung

Es wird ein photogrammetrisches Einzelbild-Auswerteverfahren beschrieben, das für die Dokumentation von Veränderungen in der Natur, etwa für die periodische Kontrolle der Begrünung von Skipisten oder des Fortschreitens von Bodenerosionen im Gebirge, für die Vermessung von Schneegrenzen, Gletscherzungen, Schneebrett-Abbruchlinien etc. angewandt sowie für die militärische und archäologische Luftekundung und für Katastrophendokumentationen selbst mit beliebig schmalwinkeligen Luftschrägbildern eingesetzt werden kann. Das Verfahren wurde am Institut für Photogrammetrie erstmals 1983/84 erprobt.

Das Verfahren beruht auf dem Schnitt der Bildstrahlen mit dem digitalen Höhenmodell. Dieses, die innere Orientierung, der Aufnahmestandort sowie Paßrichtungen (oder Paßpunkte) werden als bekannt oder bestimmbar vorausgesetzt. Es kann mit Luftbildern sowie Erdbildern, mit beliebigen, kalibrierbaren Kameras, vor allem auch mit Teleobjektiven, gearbeitet werden. Erdbilder werden von geodätisch bestimmten Standpunkten aus aufgenommen und nach geodätisch gemessenen Paßrichtungen orientiert. Vom Flugzeug aus werden synchron zwei zueinander näherungsweise parallele Aufnahmen hergestellt, eine Übersichts-Weitwinkelaufnahme, deren äußere Orientierungselemente mit Hilfe eines räumlichen Rückwärtsschnittes bestimmt werden und aus der auch Paßrichtungen abgeleitet werden können, und die eigentliche Luftekundungs-Teleaufnahme, die im dann bekannten Luftstandpunkt mit Hilfe der Paßrichtungen orientiert werden kann. Die Auswertung erfolgt am analytischen Auswertegerät.

Summary

A method for restitution of single images is described which may be used for metric restitution of images documenting changes in the nature, e. g. for the periodical control of regrowing green on skiing slopes or of progressive erosions in the mountains, for the survey of snow boundaries, glaciers or snow slab breaklines. Even arbitrarily narrow angle oblique aerial photography may be used for military and archeological reconnaissance as well as for the documentation of catastrophes. First tests have been made at the Vienna Institute of Photogrammetry in 1983/84.

The method is based on the intersection of image rays with the digital elevation model of the terrain. The DEM, the inner orientation, the projection center as well as control directions (or control points) are assumed to be available or determinable. The method operates with terrestrial or aerial photography made with metric or non-metric but calibrated or calibratable cameras, even with narrow angle (tele-) objectives. Terrestrial images are photographed on points determined geodetically and oriented by means of observed control directions. From air a twin camera with its axes approximately parallel makes two shots synchronously, a wide-angle synoptic image for the determination of the elements of outer orientation by means of spatial resection (herefrom also control directions may be derived), and — for detail reconnaissance — the tele image, the bundle of which may be oriented based on the projection center and the control directions as determined previously. The restitution is performed on the analytical plotter.

1. Einleitung

Österreich wird in Kürze durch ein digitales Höhenmodell (DHM) erfaßt sein, das je nach Geländebewegtheit eine Maschenweite zwischen 30 und 160 m aufweist (9). Zwischenpunkte sowie Geländekanten und Formlinien sind oft zusätzlich erfaßt. Außerdem wird es gebietsweise immer mehr und immer genauere Höhenmodelle geben, die im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen und an der TU Wien mit Hilfe des Programmsystems TOPIAS (10) verwaltet werden. In Zukunft kann daher ein DHM meist als vorhanden angesehen werden.

Am Institut für Photogrammetrie der TU Wien sind außerdem Rechenprogramme in Gebrauch, die mit digitalen Höhenmodellen arbeiten [z. B. (1), (6), (7), (8)]. Mit Hilfe des Programmsystems ORIENT [(4), (5)] kann die Kalibrierung und Orientierung beliebiger photographischer Strahlenbündel berechnet werden.

1983/84 wurde im Rahmen der Diplomarbeit (3) in einem Computerprogramm die Aufgabe gelöst, Bündelstrahlen mit dem DHM zum Schnitt zu bringen, sodaß damit insgesamt ein neues Einzelbildauswerteverfahren für die koordinatenmäßige Bestimmung von Geländepunkten aus Photographien zur Verfügung steht: BUSCH-DHM, ein BÜndel SCHneidet ein DHM. In letzter Zeit befaßten sich unabhängig auch andere Autoren mit diesem Thema [(2), (11)].

Im folgenden wird zunächst die Aufgabenstellung und die hier angewandte Lösung näher beschrieben. Anschließend werden Anwendungsmöglichkeiten und Beispiele dazu präsentiert.

2. Verschneidung von Bündelstrahlen mit einem DHM

Abbildung 1 zeigt ein gegebenes DHM, das an den Kreuzungspunkten eines Rasters $DX = DY$ die Geländehöhen Z jenes Geländestückes enthält, das vom Projektionszentrum PRZ aus fotografiert wurde.

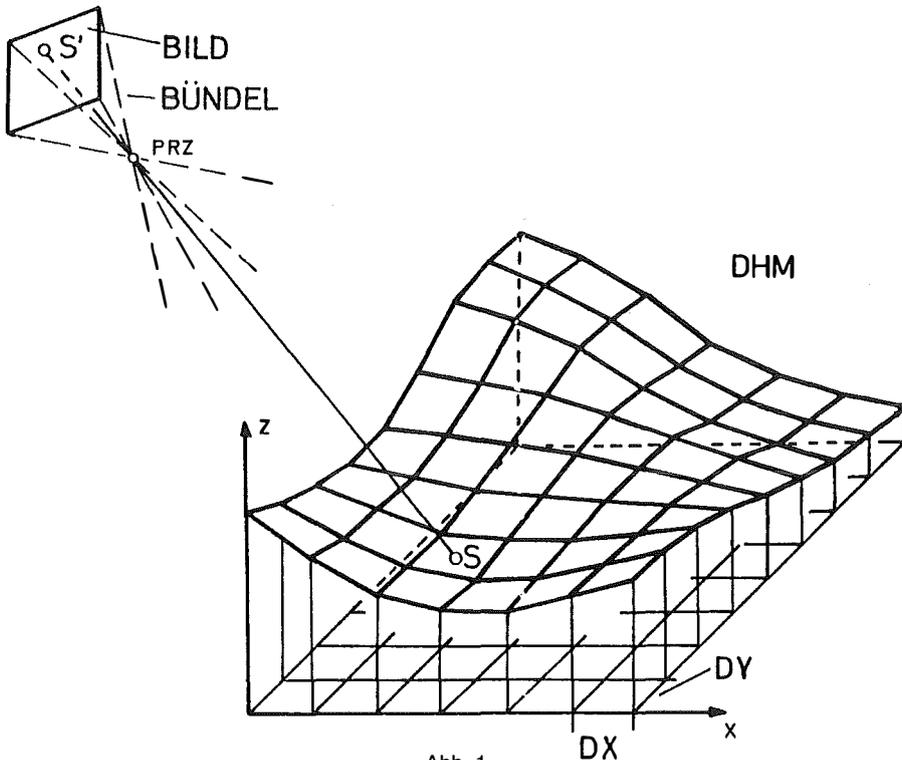


Abb. 1

Sobald das Projektionszentrum (PRZ) im Koordinatensystem des digitalen Höhenmodelles (DHM) und die Orientierung des Strahlenbündels bekannt sind, kann jeder Bündelstrahl ($S' \rightarrow PRZ$) mit dem Gelände zum Schnitt gebracht werden (S).

Die innere Orientierung der Kamera (d. h. die Position des PRZ im Bildkoordinatensystem sowie die Verzeichnung) sei bekannt, ebenso die äußere Orientierung (d. h. die Koordinaten X_0, Y_0, Z_0 des Projektionszentrums im System des DHM und die Rotationsparameter, z. B. Azimut und Zenitdistanz der Aufnahmerichtung sowie die Bildkantung). Die Aufgabe besteht nun darin, aus einem im Bildkoordinatensystem gemessenen Punkt S' einen Strahlenvektor abzuleiten, das zugehörige Flächenelement des DHM aufzusuchen und anschließend den Schnittpunkt $S(X, Y, Z)$ des Strahles mit diesem DHM-Flächenelement zu berechnen.

Das Aufsuchen des zugehörigen Flächenelementes erfolgt so, daß man in jener Vertikalebene, die den Strahl S'S enthält, vom Geländenadirpunkt (X_0, Y_0) ausgeht, Schnitte mit zwei aufeinanderfolgenden X- bzw. Y-Rasterlinien ermittelt und dabei jeweils auch die Höhen ZS des Strahles und ZD des Geländemodelles berechnet (vgl. Abbildung 2). Solange $ZS1 > ZD1$ ist, verläuft der Strahl oberhalb des DHM, sobald $ZS2 < ZD2$ wird, muß im aktuellen Flächenelement ein Schnitt erfolgt sein.

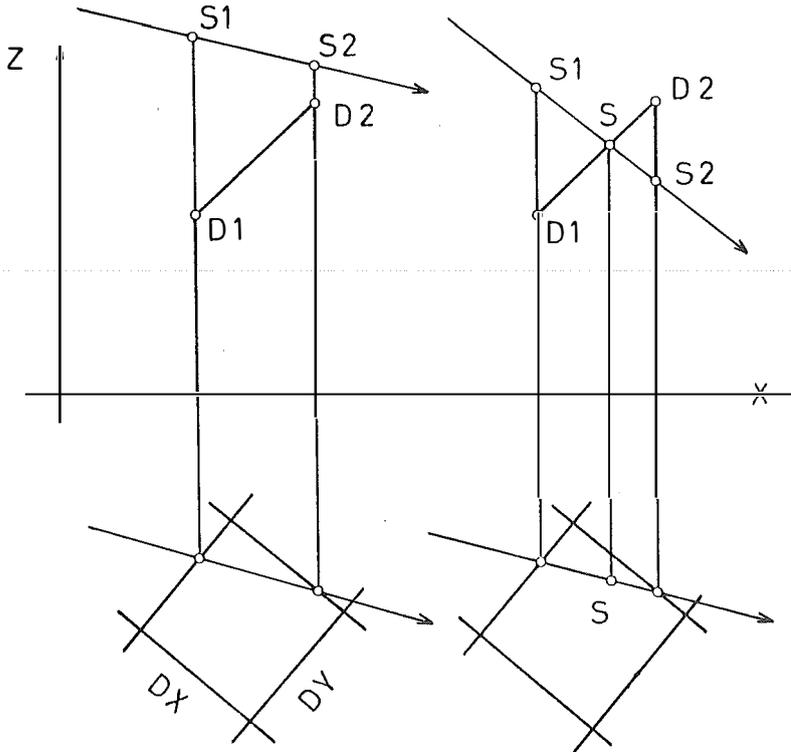


Abb. 2

Solange der Raumstrahl $S'-PRZ-S1-S2$ höher als das DHM ($D1, D2$) verläuft, erfolgt kein Schnitt. Sobald das Vorzeichen der Z-Differenz ($ZS - ZD$) negativ wird, ist die DHM-Masche mit dem nur noch zu interpolierenden Schnittpunkt S gefunden. Für bilineare Interpolation ist $D1-S-D2$ eine Hyperbel. Bei entsprechend engem Raster kann ohne weiteres einfach linear interpoliert werden.

Es ist jeweils nur der erste Schnitt mit dem DHM von Interesse, jeder allfällige weitere Schnitt Strahl-DHM muß ja zwangsläufig durch das zuerst gefundene Flächenelement verdeckt sein. Geländekanten*) sind ebenso als Maschengrenzen zu betrachten.

Zur Beschleunigung des Suchprozesses wird die Eigenschaft ausgenutzt, daß die DHM-Daten nach Recheneinheiten (mit je n_x mal n_y Rasterelementen) strukturiert sind. Die Schnittabfrage erfolgt daher zweckmäßigerweise in hierarchischen Niveaus: Zuerst wird geprüft, ob der Strahl im Bereich einer Recheneinheit überhaupt deren Z-Bereich ($Z_{max} - Z_{min}$) betreffen kann. Wenn nicht, wird sofort zur nächsten Recheneinheit übergegangen; nur wenn ja, wird im niedrigeren Niveau von Recheneinheiten oder in Rasterelementen weitergesucht.

*) Geländekanten sind im Programm BUSCH-DHM noch nicht berücksichtigt.

Zur weiteren Beschleunigung kann bei aufeinanderfolgenden Punkten S' einer Linie bzw. Punktgruppe angenommen werden, daß auch die S zueinander nahe sind, sodaß man mit dem Suchen nicht immer von vorne anfangen muß, sondern nur um ein plausibles Differenzstück zurückgeht, um schon von dort aus mit der Suche zu beginnen. Dabei darf man aber keineswegs in sichttote Bereiche eindringen.

Als Nebenprodukte werden die Neigung des Strahles und die Neigung des Flächenelementes entlang des Strahles sowie der Tangens des Schnittwinkels berechnet. Dadurch ist es möglich, jeweils die Schnittqualität zu überprüfen.

3. Wahl der Kamera

Photogrammetrisch wird lediglich vorausgesetzt, daß die innere Orientierung der Kamera bekannt ist oder vor der Auswertung bestimmt werden kann. Letzteres ist grundsätzlich für jede Kamera möglich, bei der sich der kameraeigene Filmanlegerahmen im Negativ scharf abbildet. Sofortbildkameras mit individuellem Bildrahmen je Planfilmstück sollten nicht verwendet werden, weil kein verläßlich gleichbleibender Bezug zur Kameraachse gegeben ist.

Hinsichtlich Brennweite und Bildwinkel besteht überhaupt keine Einschränkung. Im Gegenteil: Das Verfahren zeichnet sich gerade dadurch aus, daß auch extrem langbrennweitige Kameras gewählt werden können, wenn auch deren Kalibrierung im Nahbereich eines Testfeldes mit etwas unscharfen Aufnahmen durchgeführt werden muß.

Für Aufnahmen aus der Luft muß man noch etwas einschränken: Hier genügen Teleaufnahmen allein nicht, weil man mit ihnen den Aufnahmestandort nicht oder nur sehr unsicher bestimmen kann (siehe Abschnitt 5). Außerdem sind dann hochempfindliche Filme, lichtstarke Objektive und Belichtungszeiten kürzer als $\frac{1}{500}$ s mit Zentralverschlüssen erforderlich.

4. Terrestrische Aufnahmen

4.1 Anwendungsmöglichkeiten:

- Periodische Aufnahme von Skipisten vom Gegenhang aus, um Breite und Wiederbegrünung (qualitativ und quantitativ) zu kontrollieren.
- Periodische Aufnahme von Hängen, um fortschreitende Bodenerosionen zu beobachten.
- Bestimmung der Abrißlinien von Schneebrettern.
- Dokumentation von Naturkatastrophen, etwa von Muren, Lawinen- und Hochwasserschäden.

4.2 Planung

Die Wahl des Aufnahmeortes richtet sich vor allem nach den Sichtmöglichkeiten. Das aufzunehmende Gebiet soll unter möglichst gutem Schnittwinkel gut eingesehen werden. Jahres- und Tageszeit sind wegen der Vergleichbarkeit mit früheren bzw. späteren Aufnahmen sowie überhaupt wegen der Beleuchtungsverhältnisse zu berücksichtigen. Ferner muß auf die geodatische Bestimmbarkeit der Standpunktkoordinaten (im System des DHM, also meist im Landeskoordinatensystem) geachtet werden. Der Standpunkt ist zu vermarken, damit die Aufnahme standorttreu wiederholt werden kann: Die Vermarkung muß besonders dauerhaft sein, wenn periodisch Wiederholungen der Aufnahmen vorgesehen sind. Eine gute Punktbeschreibung mit Sicherungsmaßen ist für diesen Fall selbstverständlich.

4.3 Feldarbeit

Um Aufwand für Paßpunktauswahl, Paßpunktmessung und Paßpunktberechnung einzusparen sowie um Schwierigkeiten bei der absoluten Orientierung von Teleaufnahmen zu vermeiden, stellt man sich am besten mit einem Theodolit zentrisch im Kamerastandpunkt PRZ (X_0, Y_0, Z_0) auf und bestimmt ihn z. B. durch einen Rückwärtsschnitt. Die richtige Instru-

mentenhöhe dafür ist zu beachten. Für die Orientierung des schmalen Tele-Strahlenbündels mißt man zweckmäßigerweise gleich sogenannte Paßrichtungen mit, mindestens zwei, besser fünf bis acht. Unter Paßrichtungen sind hier im Koordinatensystem orientierte Richtungen vom Projektionszentrum zu markanten Geländepunkten zu verstehen, die in den Bildern gut ansprechbar sind. Sie sollen in den Aufnahmen möglichst weit voneinander entfernt sein: Felszacken am Horizont, Mastspitzen von Starkstromleitungen, Hausgiebel etc. Ihre Koordinaten werden für die Bündelorientierung nicht benötigt, die Richtungen zu ihnen genügen. Erdkrümmung und Refraktion brauchen nicht berücksichtigt werden, falls nur lokale Objektveränderungen bestimmt werden, da dann alle systematisch gleichen Einflüsse bei der Differenzbildung wegfallen. Wenn an periodisch zu wiederholende Aufnahmen gedacht ist, sollte man auch an die Beständigkeit der Richtungsmaßpunkte denken. Ihre Auswahl erfolgt direkt am Theodoliten sowie mit Hilfe etwa eines Sofortbildes und einer Lupe. Im Sofortbild werden sie gestochen und bezeichnet, allenfalls werden noch Paßpunktskizzen dazu angefertigt.

Die geodätische Bestimmung von Projektionszentrum und Paßrichtungen kann auch durch einen photogrammetrischen Rückwärtsschnitt ersetzt werden, wenn man dafür eine hinreichend weitwinkelige Aufnahme zusätzlich herstellt. Man spart sich unter Umständen Theodolitbeschaffung bzw. Theodolittransport. Weitwinkelaufnahmen liefern kleinere Bildmaßstäbe; auf die Erkennbarkeit der Paßpunkte ist daher besonders sorgfältig zu achten.

Zum Photographieren ist nicht viel zu sagen. Man wird meist gleich mit dem Vermessungsstativ arbeiten und im Sucher kontrollieren, ob das Aufnahmegebiet samt den beobachteten Paßpunkten bzw. Paßrichtungen erfaßt wird; die Kameraneigungen können an sich beliebig sein. Wichtig ist nur Standorttreue, worunter das Einhalten einer Toleranzkugel mit Radius unter 1 dm zu verstehen ist.

Für Vegetationsaufnahmen verwendet man idealerweise Farbinfrarot-Dia-Film (z. B. Kodachrom Infrarot 2443). Dabei muß *mit* Gelbfilter photographiert werden. Der Film soll stets vor Erhitzung geschützt, also in einem Kühlschrankschrank aufbewahrt bzw. in einer Kühltasche transportiert werden. Für seine richtige Belichtung benötigt man einige Übung. Es kommt auf halbe Blendenstufen an! Ein gutes Beispiel zeigt Abbildung 3. In den meisten Fällen genügt aber normales Farbfilmmaterial.

Zur Erleichterung der Bildinterpretation könnte auch noch ein Stereopartner für stereoskopische Betrachtungen aufgenommen werden, wobei man mit einer Basis von nur $\frac{1}{50} - \frac{1}{20}$ der Aufnahmeentfernung ohne weiteres auskommt. Größere Basen liefern stärkere Stereoskopie und größere Genauigkeit; $\frac{1}{5}$ der Aufnahmeentfernung sollte jedoch nicht überschritten werden. Man wählt denselben Geländeausschnitt, d. h. man stellt Konvergenzaufnahmen her. *)

4.4 Auswertung

Die Auswertearbeiten betreffen sechs Arbeitsphasen:

- Zusammenstellung der photogrammetrischen Grundinformationen: Innere Orientierung (wenn sie fehlt, muß die Kamera für $g = \infty$ an einem photogrammetrischen Institut kalibriert werden); Koordinaten des Projektionszentrums, Paßpunkte, Paßrichtungen; DHM.
- Interpretation des auszuwertenden Bildinhaltes, z. B. an Hand einer Vergrößerung, eventuell stereoskopisch.
- Bildkoordinatenmessung der Bildrahmen(marken), der Paßpunkte, der auszuwertenden Neupunkte, wobei Verbindungsinformationen für späteres Zeichnen und die Kennung der Linien- oder Punktsymbolarten gleich mitregistriert werden müssen.

*) Geht man für diese Zusatzaufnahmen – bei großen Basen – genau so vor wie für die Hauptaufnahme, eröffnen sich bereits alle Möglichkeiten der allgemeinen Einschnidephotogrammetrie, die kein DHM benötigt. Doch das ist nicht Thema dieser Betrachtung.

- Berechnung der Orientierungselemente des Bündels (eventuell zuerst der Weitwinkel-Übersichtsaufnahme und daraus der Paßrichtungen für die Teleaufnahme, und damit erst der Orientierungselemente der Teleaufnahme) z. B. mit dem Programmsystem ORIENT [(4), (5)].
- Berechnung der Landeskoordinaten der Neupunkte mit BUSCH-DHM (3).
- Graphische Darstellung des ausgewerteten Bildinhaltes.

Eine einmal kalibrierte Amateurkamera kann praktisch als Meßkamera (natürlich nur mit den entsprechend begrenzten Genauigkeitserwartungen) verwendet werden, wenn die Einstelldaten (Optik, Brennweite, Entfernungseinstellung) unverändert und sorgfältigst gleich eingestellt werden.

Die Interpretation des Bildinhaltes an Hand einer Vergrößerung vor der Auswertung spart viel teure Zeit am Auswertegerät. Man weiß dann bei der Bildmessung genau, was zu messen ist und wie es dargestellt werden soll. Wenn alle erforderlichen Rechenprogramme am Rechner eines analytischen Auswertegerätes installiert sind, liegt automatischer Datenfluß vor, Bildkoordinatenmessung, BUSCH-DHM und graphische Kartierung erfolgen dann praktisch on-line, fast ohne Zeitverzögerung. Erst das ermöglicht eine durchgreifende Kontrolle noch während des Auswertens.

4.5 Anwendungsbeispiel

Im Rahmen der Diplomarbeit (3) wurde eine Vegetationsgütekarte einer Skipiste (Schattberg-Nordabfahrt in Saalbach) hergestellt. Des allgemeinen Interesses wegen die ökologische Problematik: Der Ausbau der Skipisten mit Schubaupen bedeutet einen starken Eingriff in das empfindliche ökologische Gleichgewicht des Gebirgsbodens: Der Schichtaufbau wird verändert, die Vegetationsdecke zerstört. Das feinvernetzte Wurzelsystem und überhaupt die Humusdecke verlieren ihre Funktion als Wasserspeicher und Erosionsschutz. Der Boden wird ausgeschwemmt; Unwetter, Muren und Lawinen, aber auch die Pistenraupen und Skifahrer – falls die Schneedecke nicht genug schützt – verhindern auf Jahre oder für immer das Ausheilen der Humusdecke, wenn nicht fachmännische Bodensicherung und Pistenbegrünung erfolgen. Fehler aus Dummheit oder Leichtsinn, erst recht absichtliche Nachlässigkeit gehören kontrolliert: Kontrolliert durch viele tausend Aufnahmen von vielen Kontrollstandpunkten aus, die einzurichten sind. Damit erst kann metrisches Beweismaterial für Gerichtsgutachten erbracht werden.

Für die Aufnahmen wurde eine Hasselblad 500 EL/M mit Zeiss Sonnar, $f = 250$ mm, verwendet und mit Kodak Aerochrom Infrared 2443 photographiert. Die Kamerastandpunkte an den Hängen der gegenüberliegenden Berge Reiterkogel und Kohlmais Kopf sind geodätisch eingemessen, Paßpunkte und Paßrichtungen liegen vor (Abb. 4).

Für die Interpretation wurde ein einfacher, viergeteilter Interpretationsschlüssel verwendet, der nur gute, verminderte und schwache Vitalität sowie Vitalitätslosigkeit der Vegetation auf der Piste unterscheidet. Die Vitalitätsgütekarte Abb. 5 zeigt die Skipiste mit Abgrenzung der Gebiete gleicher Vitalitätsstufe. Aus der Karte sind Geländehöhe, Hangneigung und Hangrichtung ablesbar. Eine Feldergänzung hinsichtlich der sichttoten Räume erfolgte nicht.

4.6 Aufwandsabschätzung

Prinzipiell muß zwischen der „Nullmessung“, d. h. der Ersteinrichtung der Beobachtungsstationen, Erstaufnahme und Erstauswertung, und den „Folgemessungen“ unterschieden werden, für die schon viele Arbeiten wegfallen. Das Vorhandensein eines DHM wird vorausgesetzt. Als Arbeitseinheit wird ein halber Technikertag gewählt. Zwei Fälle seien unterschieden:

- a) 1 Objekt, 1 Beobachtungsstation, 1 Aufnahme (Minimum)
- b) 1 Objekt, 2 Beobachtungsstationen, 5 Aufnahmen (Saalbach)



Abb. 3

Teil der Glungezer Skiabfahrt (Kalte Kuchl), aufgenommen am 30. 7. 1984 mit Hasselblad 500 EL/M, $f = 250$ mm, auf Farbinfrarotfilm Kodak 2443.



Abb. 4

Aufnahme der Schattberg-Nord-Skiabfahrt vom 1. September 1983. Film: Kodak Aerochrom Infrarot 2443. Kamera: Hasselblad 500 EL/M mit Zeiss Sonnar $f = 250$ mm. Dauerhaft vermarkter Standort: Reiterkogel (4 km entfernt).

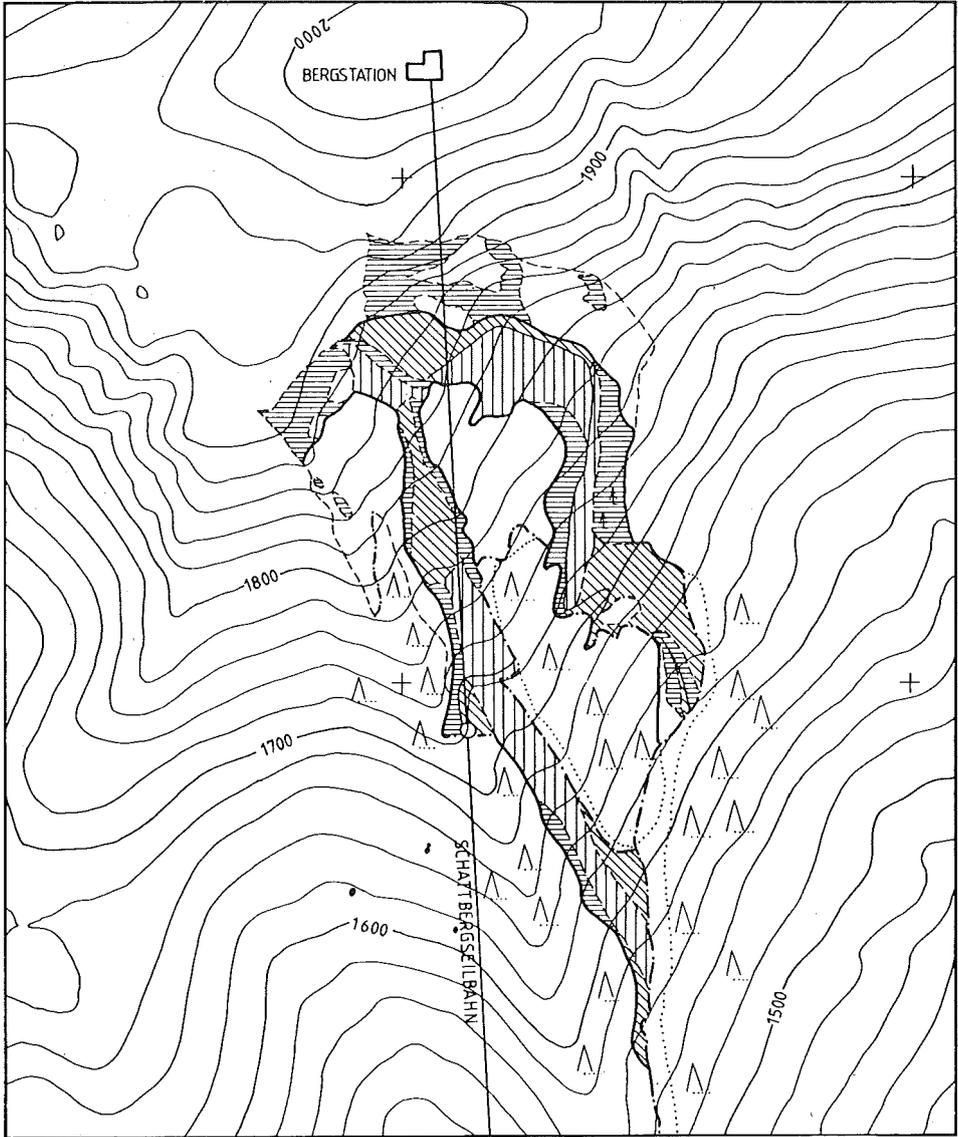
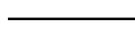
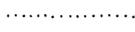
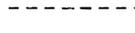
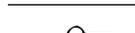


Abb. 5

Ausschnitt aus der Vitalitätsgütekarte 1:5000 der Schattberg-Nord-Skiabfahrt nach der Aufnahme Abb. 4 (2:3 verkleinert).

Vitalitätsstufen:

-  keine Vitalität
-  kaum Vitalität
-  verminderte Vitalität
-  gute Vitalität

-  Pistengrenze
-  Pistengrenze (verdeckt)
-  Sichtgrenze
-  Vitalitätsgrenze
-  Weg, Pfad
-  Seilbahn

Arbeit	Aufwand verursachende Einheit	Arbeitseinheiten			
		Fall a		Fall b	
		Nullmessung	Folgemessung	Nullmessung	Folgemessung
Planung, Vorbereitung	Objekt	1,0	0,5	1,0	0,5
Techn.Unterlagen (Festpkte,DHM,Karten)	Objekt	1,0	-	1,0	-
An- u. Abreise	Standpunkt	0,5	0,5	1,0	1,0
Geodät. Arbeiten	Standpunkt	2,5	-	5,0	-
Photograph.Aufnahme	Standpunkt	0,5	0,5	1,0	1,0
Kalibrierung	Kamera	2,0	-	2,0	-
Photogr.Folgearb. (Entw., Vergrößerung)	Bild	0,5	0,5	1,0	1,0
Interpretation	Bild	0,5	0,5	1,0	1,0
Auswertung (inkl. Gerät) u. Kartierung	Bild	1,5	1,0	6,0	4,5
Nacharbeiten	Objekt	1,0	1,0	1,0	1,0
Verwaltung, Leitung	Objekt	2,0	1,0	3,0	2,0
Summe inklusive Auswertung:		13,0	5,5	23,0	12,0
		100%	42%	100%	52%

Man sieht aus der Tabelle, daß die Methode, streng kommerziell kalkuliert, nicht billig ist, daß sie aber jedenfalls billiger als mit speziell bestellten Luftbildern sein muß. Außerdem soll und kann ja das Beobachten und Photographieren ehrenamtlich durch jedermann erfolgen, sodaß noch ein großer Kostenanteil wegfällt. Die Auswertungen in Folgeepochen kosten etwa die Hälfte von dem, was die Nullmessung kostet. Denkt man zunächst nicht an eine Auswertung, sondern nur an das Dokumentieren und Interpretieren (25% von Fall a), dann sollte man es so ausführen, daß die Kalibrierung der Kamera, die Einmessung des Standpunktes und der Paßpunkte bzw. Paßrichtungen, später nachgeholt werden können.

5. Luftaufnahmen

Es handelt sich hier wieder nicht um professionelle, photogrammetrische Meßbildaufnahmen, sondern meist um Schrägaufnahmen mit Amateurkameras, wie sie von Motorseglern, Segelflugzeugen oder kleinen Sportflugzeugen aus aufgenommen werden. Ebenes Gelände, wo man entzerren kann, sei außer Betracht.

5.1 Anwendungsmöglichkeiten

Zusätzlich zu den im vorigen Abschnitt aufgezählten Anwendungen werden Luft-Schrägbilder z. B. deswegen aufgenommen,

- um archäologische Bodendenkmäler zu erkennen,
- um Naturkatastrophen zu dokumentieren.

Man muß sie über weniger gebirgigem Gelände auch in den früher genannten Fällen einsetzen, wenn es dort terrestrisch keine Sichtmöglichkeiten gibt.

5.2 Planung

Festpunkte sollte man fallweise luftsichtbar machen, damit man Meßarbeit einsparen kann. Im übrigen sind Bildmaßstab und Kamera-Bildwinkel so zu wählen, daß der Luftstandpunkt durch räumlichen Rückwärtsschnitt aus einer (Super-)Weitwinkelaufnahme gut bestimmt werden kann. Aus Weitwinkelaufnahmen sind nun aber oft die gewünschten Details schlecht oder nicht erkennbar. Da hilft nur eines, nämlich synchron mit der Weitwinkelaufnahme auch noch eine Teleaufnahme herzustellen. Man montiert dafür zwei Kameras parallel zusammen, eine Weitwinkel- und eine Telekamera.

Die Teleaufnahmen zeigen die gesuchten Details sehr ausführlich, allein decken sie aber zuwenig Gelände, um genügend gute Festpunkte aufs Bild zu bekommen. Beide Kameras müssen auf wenige Hundertstel Sekunden genau gleichzeitig ausgelöst werden, was man elektronisch oder mit zwei gekoppelten Drahtauslösern, von denen der eine längenjustiert werden kann, gut erreicht. Das Ohr nimmt noch Unterschiede von einer Zwanzigstelsekunde deutlich wahr! Man verkürzt bzw. verlängert also einen der Drahtauslöser so lange, bis man keine Zeitdifferenz zwischen den beiden Auslösemomenten mehr wahrnehmen kann.

5.3 Luftaufnahme

Zur Luftaufnahme zielt man mit der Telekamera das Zentrum des interessierenden Objektes an und nimmt es mit möglichst kurzer Belichtungszeit auf (Bewegungsunschärfe!). Die gleichzeitig ausgelöste Weitwinkelaufnahme sollte dann doch sicher mindestens drei für einen räumlichen Rückwärtsschnitt gut verteilte Paßpunkte identifizieren lassen. Obwohl die beiden Projektionszentren etwas voneinander abweichen, kann Identität angenommen werden. Dieser Fehler wird durch kleine Änderungen der Drehwinkel der Teleaufnahmen im Zuge der Auswertung über Richtungspaßpunkte automatisch kompensiert werden.

5.4 Auswertung

Für die Auswertung bestehen nun dieselben Voraussetzungen wie bei den terrestrischen Aufnahmen, bis auf eine: Für Wiederholungsmessungen sind die Projektionszentren nicht identisch! Wenn das Gelände durch das DHM nur näherungsweise erfaßt ist, ist der Schnitt Strahl—DHM in Richtung Projektionszentrum fehlerhaft. Änderungen am Gelände werden bei identischen Projektionszentren im wesentlichen frei von diesem Fehler bestimmt, weil er bei der Differenzbildung wegfällt. Bei nicht identischen Projektionszentren, wie bei der hier diskutierten Auswertung von Aufnahmen aus der Luft, muß daher das DHM relativ genau die Geländeoberfläche beschreiben, ganz besonders dann, wenn die Schnittwinkel zwischen Strahl und DHM klein sind. Bei Wiederholungsmessungen soll man daher darauf achten, daß die Projektionszentren doch möglichst gut übereinstimmen und ein entsprechend genaues, d. h. engmaschig gemessenes DHM verwendet wird.

5.5 Anwendungsbeispiel

Abbildung 6 zeigt zwei im Jahre 1985 über dem Oberleiserberg von einem Hubschrauber aus synchron aufgenommene Aufnahmen W und T. Die Weitwinkelaufnahme W kann mit mindestens 3, besser mit allen 5 Paßpunkten, die geodätisch, allenfalls auch photogrammetrisch oder kartometrisch zu bestimmen sind, durch räumlichen Rückwärtsschnitt orientiert werden. Dabei lassen sich auch die Paßrichtungen nach einigen in beiden Bildern erkennbaren Punkten A bis C bestimmen, die beliebige markante Naturpunkte sein können, wie Baumwipfel (A), Feldecken (B), Schattenspitzen (C) oder ähnliches. Mit Hilfe des aus dem räumlichen Rückwärtsschnitt bekannten und für beide Aufnahmen als identisch angesehenen Projektionszentrums und von (mindestens zwei) Paßrichtungen (etwa nach 5, A, B, C) kann auch die Teleaufnahme T orientiert und nach dem beschriebenen Verfahren BUSCH-DHM ausgewertet werden.

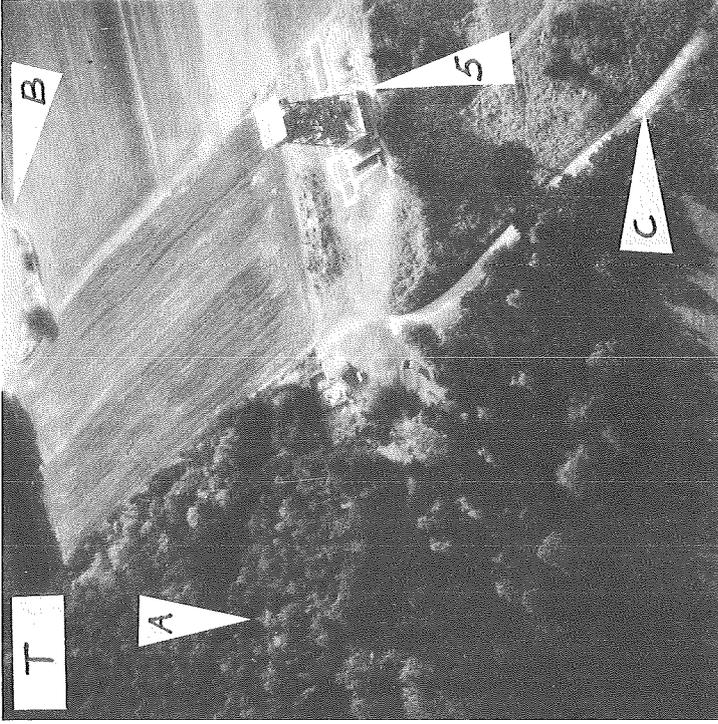


Abb. 6

Archäologische Lufterkundungsaufnahmen, synchron aufgenommen mit zwei Hasselblad 500 EL/M: Weitwinkelaufnahme W ($f = 50 \text{ mm}$) und Teelaufnahme T ($f = 250 \text{ mm}$). W dient der Bestimmung der äußeren Orientierung (Projektionszentrum, Kameradrehungen) aus den Paßpunkten 1 bis 5, sowie der Bestimmung der Paßrichtungen nach A bis C, mit deren Hilfe die Teelaufnahme orientiert werden kann. Die Auswertung von T kann durch Strahlenschnitte mit dem digitalen Höhenmodell durchgeführt werden. Aufnahme: Fliegerbildkompanie Langenlebar, 1985. Freigegeben vom BMLV mit Zl. 13086/64–1.6/86.

6. Abschließende Beurteilung

Das beschriebene Verfahren ist nicht dafür gedacht, in Zukunft der ja weit einfacheren und exakteren, aber auch teureren Stereoluft- bzw. Stereoerdbildmessung Konkurrenz zu machen, sondern nur dafür, Sonderaufgaben zu dienen, für welche die Genauigkeitsforderungen nur etwa im Meterbereich liegen und für die es den einen oder anderen folgender Vorteile bringt:

- Einzelaufnahmen können auch bei nicht ebenem Gelände ausgewertet werden,
- besonders auch extrem langbrennweitige.
- Für terrestrische Zeitreihenaufnahmen werden identische Perspektiven erhalten, die gut vergleichbar sind.
- Die Aufnahmen können von eingeschulten Laien
- mit Amateurkameras hergestellt werden.
- Für gewisse Dokumentationsaufgaben ist es eine billige Methode.
- Die Auswertung erfolgt erst bei Bedarf.
- Die Einrichtung (und allenfalls auch die Betreuung) von Beobachtungsstationen kann ein zusätzliches Betätigungsfeld für Vermessungsingenieure darstellen.

Dank

Das Bundesinstitut für Gesundheitswesen (Dr. K. Zirm) hat uns eine Tele-Hasselblad-Ausrüstung sowie Infrarotfilme für die Aufnahmen der Schattberg- bzw. Glungezerpisten zur Verfügung gestellt.

Von der Abteilung Natur- und Umweltschutz des Amtes der Salzburger Landesregierung (Hofrat Dr. H. Rassaerts) erhielten wir das in ihrem Auftrag vom Ingenieurkonsulenten Dipl.-Ing. K. Wenger-Oehin gemessene digitale Geländemodell vom Schattberg.

Die Fliegerbildkompanie des Österreichischen Bundesheeres (Olt. G. Wenderer) hat die Lufterkundungsaufnahmen vom Oberleiserberg mit einer eigens dafür konstruierten Halterung für zwei Kameras hergestellt.

Für alle diese Unterstützungen sei herzlich gedankt.

Literatur

- (1) *Abmus, E., Köstli, A., Kraus, K., Molnar, L., Wild, E.*: Anforderungen an das digitale Geländemodell aus der Sicht des Anwenders. AVN 89/8–9, 330–344, 1982.
- (2) *Betzler, M., Hell, G.*: Strenge Einzelbildauswertung am analytischen Auswertegerät Planicom C100. AVN 93/5, 205–208, 1986.
- (3) *Enthofer, C.*: Schnitt eines photogrammetrischen Strahlenbündels mit einem digitalen Höhenmodell. Ein neues Verfahren zur Einzelbildauswertung. Diplomarbeit TU Wien, 44 S., 1984.
- (4) *Kager, H.*: Das interaktive Programmsystem ORIENT im Einsatz. Int. Arch. Phot. XXIII/B5, 390–401, Hamburg 1980.
- (5) *Kager, H.*: Die photogrammetrische Rekonstruktion von Verkehrsunfällen mit dem Programmsystem ORIENT. Der Sachverständige 7/2, 6–15, 1983.
- (6) *Kager, H.*: DTM displayed perspectively. Int. Arch. Phot. XXV/A3a, 513–522, Rio de Janeiro 1984.
- (7) *Köstli, A., Sigle, M.*: Die SCOP-Datenstrukturen zur Verschneidung und Korrektur von Geländemodellen. BuL 54/3, 122–131, 1986.
- (8) *Kraus, K., Otepka, G., Loitsch, J., Hätzmann, H.*: Digitally controlled production of orthophotos and stereo-orthophotos. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 45/10, 1353–1362, 1979.
- (9) *Kraus, K.*: Die Geländehöhendatenbank, Basis eines topographischen Informationssystems. Zeitschrift für Vermessungswesen 108/1, 27–33, 1983.
- (10) *Loitsch, J., Kraus, K.*: Topographische Informations- und Archivierungs-Software (TOPIAS). Geowissenschaftliche Mitteilungen der TU Wien 27, 178–189, 1986.
- (11) *Rentsch, H.*: Anwendung des DGM in der modernen Gletschermessung. Vortrag bei der Herbsttagung des DGPF-Arbeitskreises Numerische Photogrammetrie, München 1985.