

79

PHOTOGRAMMETRISCHE KONZEPTE ZUR AUSWERTUNG VON 2D- UND 3D-SZENEN.

F. Leberl

Institut für digitale Bildverarbeitung und Graphik
Technische Universität und Forschungszentrum Graz.
Wastiangasse 6, A-8010 Graz.

Zusammenfassung

Die Photogrammetrie befaßt sich vor allem mit der Vermessung von Objekten mittels zentralperspektiver Bilder. Damit bestehen photogrammetrische Lösungen für eine große Zahl von Problemstellungen zur Anwendung in der Mustererkennung mit Einzel- und Stereobildern. Umgekehrt dringen Methoden der Mustererkennung durch verstärktes Nutzen digitaler Bilder in die Photogrammetrie ein. Der Beitrag liefert eine Übersicht einiger im Grenzbereich zwischen Photogrammetrie und Mustererkennung liegender Konzepte.

Abstract

Photogrammetry is the discipline that surveys objects with the help of central perspective photographs. A large number of solutions exists for use with pattern recognition techniques in single images and stereo-pairs. Also methods of pattern recognition begin to enter into photogrammetry. This paper is a review of concepts in the area between current photogrammetry and pattern recognition.

1. Einleitung

(a) Zentralperspektive: Wesentlicher Inhalt der Photogrammetrie und dieses Beitrages ist die Zentralperspektive. Die Definition der Photogrammetrie als Disziplin zur Gewinnung geometrischer und thematischer Information über Objekte aus Bildern /39/ ist eigentlich zu allgemein: Schwerpunkte liegen bei der geometrischen Information und den photographischen, zentralperspektiven Aufnahmen.

(b) Anwendung: Wesentliche Anwendung der Photogrammetrie ist die Herstellung topographischer Landkarten und Pläne; daher wird die Photogrammetrie dem Fachgebiet des Vermessungswesens zugeordnet. Ein Begriff für diesen Teil des Faches ist Luftbildwesen. Aber das Spektrum der Anwendungen reicht in viele andere Bereiche wie Medizin und Architektur; sie dient dort, wo geometrische Information aus Bildern gewonnen wird.

(c) Fernerkundung: Gewisse bildgebende Verfahren der Physik und Medizin benötigen die Photogrammetrie vereinzelt auch zur Analyse nicht-zentralperspektiver Bildgeometrien /22/. Aber erst seit dem Entstehen der Fernerkundung stellt sich die Photogrammetrie vertieft der Frage nicht-photographischer Bilder. Dabei erfolgt -- derzeit zumindest (noch) -- eine grobe Unterscheidung in die klassischen zentralperspektiven Verfahren und in sonstige Abbildungen der Fernerkundung. Es ist unklar, ob die Photogrammetrie im Gegensatz zur Fernerkundung steht oder das eine einfach als Teilgebiet des anderen gelten muß.

(d) Digitale Bilder: Das digitale Bild dringt auch in die Photogrammetrie vor; derzeit geschieht dies vornehmlich auf dem Umweg der Fernerkundung und der nicht-topographischen Verfahren. Digitalbilder und Methoden der digitalen Bildverarbeitung und Mustererkennung sind aber auch von rasch steigender Bedeutung in der klassischen Luftbildmessung /3/, /20/. Umgekehrt können bekannte und ausentwickelte Methoden der Photogrammetrie einen Beitrag zur digitalen Bildverarbeitung und Mustererkennung liefern.

(e) Zur Gliederung des Beitrages: Zweck dieses Vortrages ist es, im letzteren Sinne einige photogrammetrische Konzepte zu diskutieren, welche für die Arbeit mit zentralperspektiven Digitalbildern von Wert sein können. Die Darstellung richtet sich nicht an photogrammetrische Fachkollegen, sondern an die in der Informatik tätigen Experten der Mustererkennung. Die Darstellung gliedert sich in Fragen zum Einzelbild und zur Stereophotogrammetrie. Darauf folgt eine Definition des für digitale Bildverarbeitung relevanten sogenannten Orthophotos. Photogrammetrische Entwicklungsschwerpunkte mit Bezug zur Mustererkennung sind Thema der Schlußbetrachtungen.

(f) 2D und 3D-Szenen: In der Photogrammetrie unterscheidet man zwischen ebenen und räumlichen Objekten. Damit sind unterschiedliche Aufgaben und Verfahren betroffen. Daher ist es sinnvoll, auch im folgenden eine Unterscheidung in 2-D und 3-D Szenen im Sinne ebener und räumlich ausgedehnter Objekte zu treffen.

2. Das Einzelbild

2.1 Auflösung und Genauigkeit

(a) Pixel Durchmesser: Das geometrische Auflösungsvermögen wird in der Photographie mittels Linienpaaren pro Millimeter (lp/mm) beschrieben. In der Luftbildmessung rechnet man mit 20 bis 50 lp/mm (/38/). Im Digitalbild ist eine gleichwertige Angabe mittels Pixeldurchmessern zu treffen. Im allgemeinen wird hierfür ein Bezug zwischen dem Wert n in lp/mm und dem maximal zulässigen Pixeldurchmesser a definiert:

$$a = 1/(n * 2.8) \quad (1)$$

Damit ergibt sich ein für die Luftbildmessung gleichwertiger Pixeldurchmesser von 8 bis 17 μm .

(b) Punktdefinition: Thurgood und Mikhail /43/ prüfen die Frage der Genauigkeit der Punktdefinition im Digitalbild: die Autoren kommen zum Schluß, daß ein punktförmiges Objekt in einem Digitalbild mit einem mittleren Fehler von 10 Prozent des Pixeldurchmessers gemessen werden kann.

(c) Lagefehler von Bildpunkten: Genauigkeit photogrammetrischer Lösungen wird meist in Form von mittleren Koordinaten oder Punktlagefehlern im Maßstab des Bildes angegeben. Damit wird die Aussage von der unmittelbaren Aufnahmendisposition unabhängig. Moderne Präzisionsverfahren der Photogrammetrie leisten Genauigkeiten von 2 bis 5 μm im (zentralperspektiven) Bild (/39/, /21/, /45/). Es ist zu erwarten, daß im Digitalfall Genauigkeiten von Bruchteilen des Pixeldurchmessers erreichbar sind.

2.2 Der Begriff des räumlichen Rückwärtsschnittes

(a) Innere Orientierung: Üblicherweise verwendet die Photogrammetrie sogenannte M e ß b i l d e r aus Kameras mit im Bildraum bekannter Lage des Projektionszentrums: Abb. 1 zeigt diese Lage durch Definition der Brennweite (oder sogenannter K a m m e r k o n s t a n t e r) und der Abbildung des Projektionszentrums (i n n e r e O r i e n t i e r u n g).

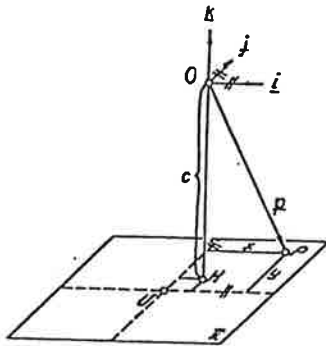


Abb. 1: Größen der inneren Orientierung der Zentralperspektive. U... Koordinatenursprung; H... Bildhauptpunkt; c... Kammerkonstante; p... Bildvektor; o... Projektionszentrum; $\underline{i}, \underline{j}, \underline{k}$... Koordinatensystem des Bildraumes.

(b) Zentralprojektion:

Es ist für eine Anwendung die Orientierung und Lage der Kamera im Objektraum mittels Paßpunkten zu bestimmen. Es gilt für die Zentralprojektion bekanntlich:

$$\begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -c \end{bmatrix} = \lambda \cdot \underline{R} \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

oder

$$\frac{x - x_0}{-c} = \frac{r_{11} (X - X_0) + r_{12} (Y - Y_0) + r_{13} (Z - Z_0)}{r_{31} (X - X_0) + r_{32} (Y - Y_0) + r_{33} (Z - Z_0)}$$

$$\frac{y - y_0}{-c} = \frac{r_{21} (X - X_0) + r_{22} (Y - Y_0) + r_{23} (Z - Z_0)}{r_{31} (X - X_0) + r_{32} (Y - Y_0) + r_{33} (Z - Z_0)}$$

Ein Gleichungspaar (3) definiert bei bekanntem (x_0, y_0, c) ein perspektives Strahlenbündel (Abb. 2), wobei (x, y) die Lage eines Punktes im Bildkoordinatensystem beschreibt, (x_0, y_0) die Lage des sogenannten Bildhauptpunktes der Zentralperspektive definiert, ein Maßstabsfaktor, \underline{R} eine Drehmatrix ist und (X_0, Y_0, Z_0) den Ort des Projektzentrums sowie (X, Y, Z) jenen des Objektpunktes angibt, der zum Bildpunkt (x, y) gehört.

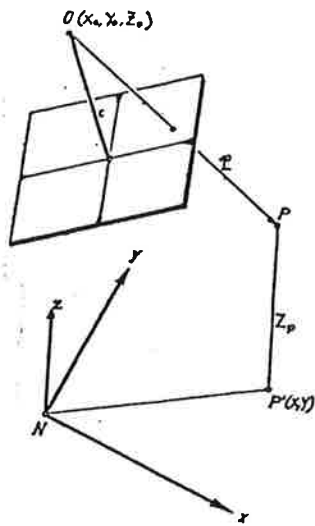


Abb. 2: Projektionsstrahlen p.

(c) Bestimmung der äußeren Orientierung: Eine Aufnahmedisposition ist mittels (x_0, y_0, c) , also der inneren Orientierung, und mittels $R, (X_0, Y_0, Z_0)$, der äußeren Orientierung bestimmt. Bei Meßbildern ist (x_0, y_0, c) als bekannte Größe der Kamera vorgegeben. Es gilt, mittels Messungen von identen Bild- und Objektpunkten die Unbekannten der äußeren Orientierung zu ermitteln (R beinhaltet 3 Drehwinkel). Die Lösung des Problems gelingt mit 3 Paßpunkten, ist in der Photogrammetrie unter dem Begriff des räumlichen Rückwärtschnittes bekannt und in allen Lehrbüchern ausführlich behandelt (z.B. /11/, /38/, /39/). Im folgenden wird auf einige Besonderheiten des räumlichen Rückwärtsschnittes hingewiesen.

(d) Nichtlinearität des Gleichungssystems: Gln. (3) sind in den 6 Unbekannten der äußeren Orientierung nicht linear und ohne direkte Lösung. Daher ist für eine Lösung ein Iterationsverfahren zu verwenden, welches von Näherungswerten der Unbekannten ausgeht.

(e) Näherungswerte und Überbestimmung: Es bestehen einfache Verfahren zur Ermittlung von Näherungslösungen, welche nur die minimale Anzahl von 3 Paßpunkten benutzen. In allen photogrammetrischen Verfahren wird getrachtet, Probleme mit Überbestimmung zu lösen, sodaß zumindest vier oder mehr Paßpunkte verwendet werden. Nach der Bestimmung der Näherungslösung aus 3 Paßpunkten geht man daher in eine überbestimmte, iterative Lösung mittels linearisierter Gln. (3) und benutzt hierfür die Methode der kleinsten Quadrate.

In einem neueren Beitrag von Fischler und Bolles /12/ wurden neue Verfahren der direkten Bestimmung von Näherungslösungen für den räumlichen Rückwärtsschnitt angegeben, wobei die Aufgabe des Rückwärtsschnittes (engl. *Resection in Space*) in /12/ mit LDP (Location Determination Problem) bezeichnet wird.

(f) Unbestimmte Lösung mit gefährlichem Zylinder: Die Lösung des räumlichen Rückwärtsschnittes versagt, wenn die Paßpunkte und der Aufnahmeort alle auf dem Mantel eines Kreiszyllinders liegen (/38/).

2.3 Die direkte Lineartransformation (DLT)

(a) Das Problem: Im Falle der Verwendung von Nicht-Meßbildern sind die Brennweite der Kamera und das zentralperspektive Strahlenbündel nicht bekannt. Das Problem erfordert die Lösung der Gln. (3) mit 9 Unbekannten, nämlich R , (X_0, Y_0, Z_0) sowie (x_0, y_0, c) .

(b) Lösung mit 11 Hilfsunbekannten: Hierzu wird in der Photogrammetrie wiederum ein Standardverfahren verwendet, welches von Gln. (3) ausgeht und diese durch Einführen von 11 Hilfsunbekannten linearisiert. Einzelheiten sind den Arbeiten von Karara und Abdel-Aziz /1/, /32/ sowie aus /22/ zu entnehmen.

(c) Versagen des Verfahrens: Das DLT-Verfahren versagt, wenn alle Paßpunkte in einer Ebene liegen. In diesem Falle sind statt Gln. (3) jene der ebenen Kollineation zu verwenden (siehe /38/).

2.4 Das Konzept des Monoplotting

(a) Problemstellung: Das Einzelbild beschreibt die Geometrie einer ebenen Szene vollständig: In der Ebene ist die 3. Koordinate (Z) eine von vornherein bekannte Funktion der beiden anderen Koordinaten (X, Y). Im Falle einer 3D-Szene haben Punkte des Objektraums jedoch unabhängige X, Y, Z -Koordinaten, welche sich aus dem Einzelbild mit (x, y) nicht rekonstruieren lassen.

(b) Digitales Höhenmodell: Ist die Form der Objektoberfläche durch ein digitales Oberflächenmodell bekannt, so ist der Zusammenhang etwa zwischen (XY) und (Z) vorgegeben. In der Topographie wird dies mit digitalem G e l ä n d e m o d e l l (DGM) oder mit digitalem H ö h e n m o d e l l bezeichnet (DHM).

(c) Monoplotting: Damit kann aus Bildpunkten (x, y) die Objektposition (X, Y, Z) durch Schnitt des zentralperspektiven Projektionsstrahles aus Gln. (3) mit dem DGM $Z = f(X, Y)$ ermittelt werden. Dies wird mit 3 D - M o n o p l o t t i n g bezeichnet /31/, da ein Einzelbild in Verbindung mit Daten über die Objektform die symbolische Beschreibung des Objektes ermöglicht. 3. Stereophotogrammetrie

3.1 Definition

(a) Überlagernde Bilder: Für manchen Außenstehenden ist der stereoskopische Effekt das charakteristische Herzstück der Photogrammetrie. S t e r e o bezeichnet den R a u m , Stereophotogrammetrie ist die Rekonstruktion der räumlichen

Geometrie von Objekten aus einander überlagernden Bildern.

(b) Andere Stereoverfahren: Es bestehen auch andere Prinzipien der räumlichen Rekonstruktion. Eine sehr anschauliche Übersicht zu diesem Thema stammt von Neumann /36/ und behandelt neben der stereoskopischen Auswertung überlappender Bilder vor allem die Probleme des Bewegungstereo. Weitere Verfahren sind die Photoklinometrie unter Benutzung von Schatten (Nathan /35/), die S h a p e - f r o m - s h a d i n g - Techniken /46/, /47/ und die erst in jüngster Zeit von Haralick vorgeschlagene strukturelle Methode einer Analyse von einzelnen Multispektralbildern zur 3D-Rekonstruktion /13/.

(c) Stereoskopische Bildpaare: Im folgenden seien einige wesentliche photogrammetrische Konzepte dargestellt. Diese beruhen ausschließlich auf der Nutzung stereoskopischer Bildpaare. Andere Rekonstruktionsverfahren der 3D-Form werden in der Photogrammetrie nicht verwendet.

3.2 Herstellung von Stereomodellen

Die Stereophotogrammetrie beruht auf Meßbildern. Sind solche nicht gegeben, so wird dem Verfahren eine DLT-Lösung vorgeschaltet (vgl. Abschnitt 2.3).

(a) Zwei Bildpunkte eines Objektpunktes: Man unterscheidet die Herstellung eines Stereomodells in einem G u ß von jener in S t u f e n. Das Objekt ist in 2 überlappenden Bildern abgebildet. Damit entspricht jedem Objektpunkt (XYZ) ein Paar von Bildpunkten (x', y') , (x'', y'') und Gleichungen (3). Diese Gleichungen enthalten 12 Unbekannte der äußeren Orientierung, pro Bild jeweils sechs.

(b) Rechnerische Formulierung: Die Ermittlung der äußeren Orientierung beider Bilder geschieht unter der Bedingung, daß einander entsprechende Projektionsstrahlen schneiden. Dies wird erreicht, indem zusätzlich zu den für die Paßpunkte geltenden Gln (3) noch für andere Entsprechungspunkte die aus Abb. 3 abzulesende Bedingung in Form eines Spatproduktes von 3 Vektoren mitgeführt wird:

$$(\underline{b}, \underline{p}', \underline{p}'') = 0 \quad (4)$$

wobei \underline{b} den sogenannten B a s i s v e k t o r zwischen den Aufnahmeorten O' , O'' und \underline{p}' , \underline{p}'' die einander entsprechenden Projektionsstrahlen eines Objektpunktes definieren.

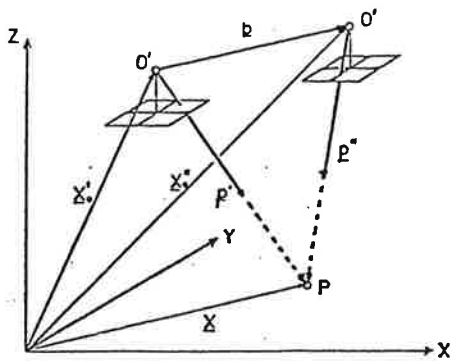


Abb. 3: Die Schnittbedingung homologer Projektionsstrahlen p' , p'' . $x^{o'}$, $x^{o''}$... Ortsvektoren der Projektionszentren.

(c) Nichtlinearität: Die für jeden Paßpunkt geltenden Gln. (3) und die für jeden sonstigen Korrespondenzpunkt definierte Gl. (4) bilden wiederum ein nicht-lineares Gleichungssystem. Für die Lösung sind Näherungswerte der Unbekannten bereitzustellen. Hiefür steht einerseits der Weg über zwei räumliche Rückwärtsschnitte nach Abschnitt 2.2 offen. Andererseits besteht auch die Möglichkeit, zunächst nur mit Gln. (4) zu arbeiten und ein im Objektraum nicht räumlich absolut orientiertes Stereomodell herzustellen.

(d) Stufenweise Lösung - Erste Stufe: Die Lösung der Gln. (4) wird mit relativer oder gegenseitiger Orientierung eines Stereomodells bezeichnet. Nach Abb. 4 ist damit ein paralläxenes Stereomodell aus den Schnitten homologer Projektionsstrahlen definiert. Dieses Stereomodell ist ein dem Objekt ähnliches Gebilde.

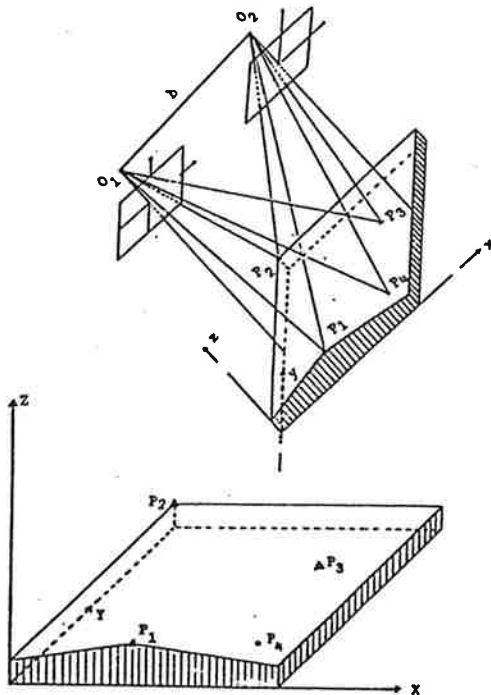


Abb. 4: Das gegenseitig orientierte Stereomodell muß noch in das Objektsystem gebracht werden (aus /48/).

(e) Stufenweise Lösung - Zweite Stufe:
 Die absolute Orientierung stellt eine räumliche Drehstreckung des Stereomodells nach:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \lambda \cdot R \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_u \\ Y_u \\ Z_u \end{bmatrix} \quad (5)$$

in das Objektkoordinatensystem dar. Hier sind ein Maßstabsfaktor λ , eine Drehmatrix R mit 3 unbekanntem Drehwinkeln und X_u, Y_u, Z_u die Verschiebungen des Gebildes.

(f) Zur Lösung in einem Guß: Die stufenweise Herstellung des Stereomodelles über relative und absolute Orientierung ist der Normalfall der photogrammetrischen Arbeit. Die Weiterführung zu einer strengen gemeinsamen Lösung der Gln. (3) und (4) ist erst in jüngster Zeit zunehmend aktuell. Eine Bezeichnung hierfür ist auch Bündelverfahren.

(g) Probleme bei der Herstellung des Stereomodells: Gln. (5) beinhalten 7 Unbekannte ($\lambda, R, X_u, Y_u, Z_u$). Somit ist das Problem der relativen Orientierung mit $12 - 7 = 5$ Unbekannten zu definieren und daher mit 5 homologen Punktpaaren und 5 Gln. (4) zu lösen. Hofmann /19/ hat in einer ausführlichen Studie die Frage der Unlösbarkeit der Gln. (4) behandelt. Diese ist gegeben, wenn die für die relative Orientierung gewählten Korrespondenzpunkte im Stereomodell zusammen mit dem Basisvektor \underline{b} eine Regelfläche 2. Ordnung bilden (Abb. 5).

Das Problem tritt selten auf, ist aber einfach zu umgehen. Eine der 5 Unbekannten der relativen Orientierung wird auf einen beliebig angenommenen Wert, etwa 0, gesetzt und als zusätzliche Unbekannte in der absoluten Orientierung bestimmt. Das Problem besteht nicht bei einer Lösung in einem Guß.

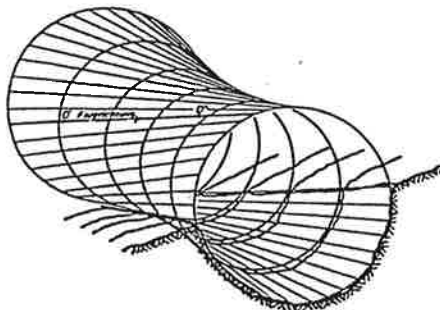


Abb. 5: Gefährliche Fläche der relativen Orientierung (aus /38/).

3.3 Bestimmung homologer Punktpaare: Das Korrespondenzproblem

(a) Stereokorrelation: Höchste Genauigkeit bei der Ermittlung zusammengehöriger (homologer) Bildpunkte zu jedem Objektpunkt ist mit visueller Stereokorrelation durch einen photogrammetrischen Auswerter am Gerät zu erreichen. Es besteht die Methode der automatischen Stereokorrelation. Frühe Lösungen hiezu sind von Hobrough und stellen elektronische Analogkorrelatoren dar /10/, /15/, /17/, /18/, /25/. Die Verfahren der digitalen Bildkorrelation wurden im photogrammetrischen Anwendungsbereich von Sharp /40/ entwickelt und beschränken sich auf das Aufsuchen ähnlicher Grauwertbereiche in Stereobildpaaren.

(b) Kernstrahlen: Es sind die Verfahren für zentralperspektive Meßbilder von jenen für andere Bilder, z.B. der Fernerkundung, zu unterscheiden. Im ersten Fall wird allgemein die Tatsache genutzt, daß homologe Bildpunkte auf bekannten Kernstrahlen liegen: Kernstrahlen (engl. Epipolar lines) sind die Schnitte der Bildebenen mit einer Ebene durch den Basisvektor \underline{b} (Abb. 6). Beispiele dieser Bildkorrelation mit Kernstrahlen sind von /9/, /16/, /24/, /27/, /33/.

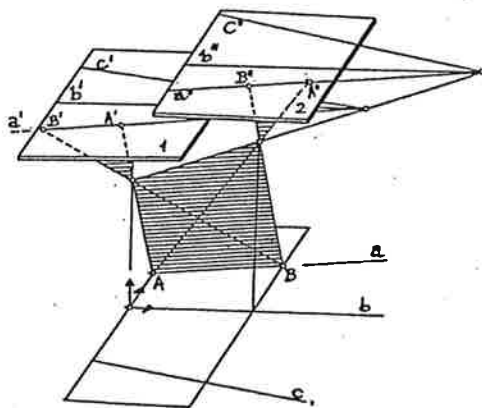


Abb. 6: Kernstrahlen a' , b' , c' , a'' , b'' , c'' zu Objektpunkten (aus /16/).

(c) Anwendungen der Korrelation: Die automatische Stereokorrelation wird erst nach händischer Beobachtung der notwendigen Punkte für die Herstellung des Stereomodells genutzt. Sie dient ausschließlich der Erfassung der Objektoberfläche zur Gewinnung digitaler Höhenmodelle (DHM). Die erreichten Genauigkeiten automatischer Verfahren sind jenen geschulter photogrammetrischer Stereoauswerter um einen Faktor 2 bis 4 unterlegen /30/. Aus

Wirtschaftlichkeitsüberlegungen besteht trotzdem eine gewisse bescheidene Anwendung automatischer Verfahren.

(d) Automatische Korrelation nach Bildvorverarbeitung: In jüngster Zeit wird verstärkt von der konventionellen Stereokorrelation durch Aufsuchen von homologen Grauwertbereichen abgegangen und durch ein Verfahren der Korrespondenzsuche nach vorheriger Bildsegmentierung ersetzt. Eine interessante Übersicht neuerer Literatur findet sich bei /8/. Andere Arbeiten sind /4/, /37/, und viele andere. Damit ist die ausschließliche Anwendung auf die Erstellung von DHMs durch ein größeres Konzept der Bildanalyse zu ersetzen.

4. Orthophoto, Photokarte

(a) Objektbeschreibung: Ist die Objektgeometrie bekannt, so bestehen verschiedene Möglichkeiten, aus dem zentralperspektiven Bild abgeleitete Objektbeschreibungen herzustellen. Seit dem Jahre 1929 kennt die Photogrammetrie die d i f f e r e n t i e l l e E n t z e r r u n g, also die punktweise Umbildung der Zentralperspektive in eine Orthogonalprojektion /29/. Das Ergebnis ist das O r t h o p h o t o /38/. Dieses dient mit einer beschränkten kartographischen Gestaltung (Kartenrand, Maßstabsbalken, Objektnamen etc.) zur Herstellung von Photokarten und ist somit eine Alternative zur herkömmlichen symbolischen Objektbeschreibung in Landkarten.

(b) Zweck des Orthophotos: Da die Fähigkeit des Extrahierens relevanter Information aus Photographien ein Expertenwissen voraussetzt, hat das Orthophoto die herkömmliche Karte nicht verdrängt. Statt dessen dient es als technisches Hilfsmittel zur Ermittlung von Objektveränderungen; insbesondere wird dies mit K a r t e n r e v i s i o n bezeichnet.

(c) Stereorthophoto: Ein Hilfsmittel zur Objektdarstellung und Analyse ist das sogenannte S t e r e o o r t h o p h o t o: es ist ein aus einem ursprünglich zentralperspektiven Bildpaar erstelltes Paar von Parallelprojektionen nach Abb. 7, in dem künstliche Stereoparallaxen den Höheneindruck vermitteln und eines von beiden Bildern ein Orthophoto ist. Es ist das Ergebnis des Wunsches, die dritte Dimension für die vereinfachte Bildanalyse zur Verfügung zu stellen. Haydn /14/ und Kraus u.a. /26/ haben dieses Konzept noch weitergeführt und den Raumeindruck für die Wiedergabe thematischer statt geometrischer Information genutzt.

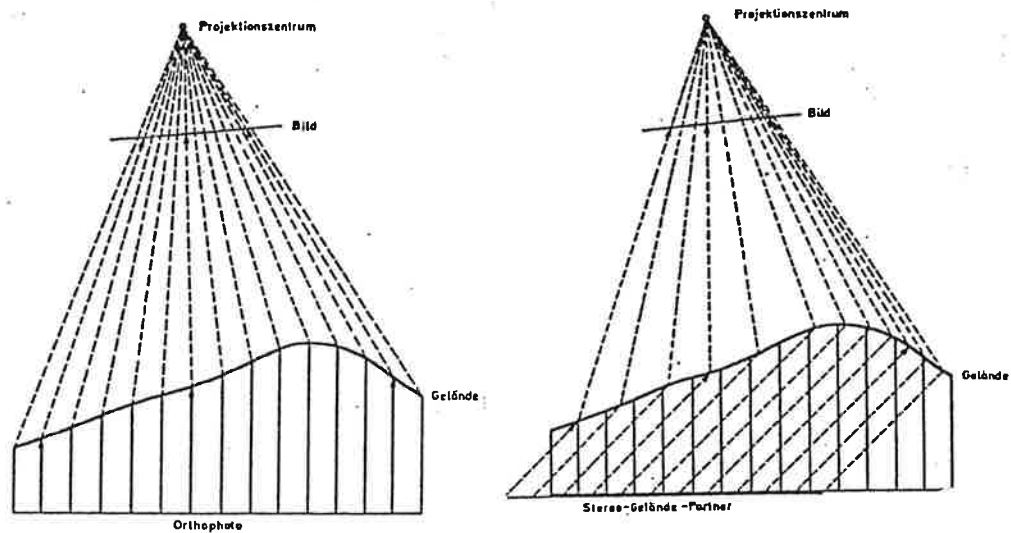


Abb. 7: Orthophoto und Stereorthophoto (aus /26/).

(d) Analog versus Digitalbilder: Das Ortho- und Stereorthophoto sind derzeit noch weitgehend Produkte von Analog-Verfahren mittels (rechengesteuerter) optisch-mechanischer Geräte, welche Analogbilder auf Film verarbeiten. Aber erste Ansätze zur digitalen Orthophotoerstellung bestehen in der Photogrammetrie /23/, /3/, /27/.

5. Korrespondenz zwischen Bild und symbolischer Objektbeschreibung

(a) Laufendhaltung des Datenbestandes: Ein zentrales Problem der Kartenherstellung ist die Laufendhaltung bestehender Kartenunterlagen und die Überwachung veränderlicher Erscheinungen. Mit zunehmender Digitalisierung von Karten entsteht die Möglichkeit, diese Aufgabe durch Automation zu unterstützen.

(b) Bestehende Konzepte: Derzeit werden unter anderem das Orthophoto oder das Verfahren des Monoplotting angewandt, um den veralteten Datenbestand mit dem neuen Bild zu verbinden. Die analoge Karte wird über das Orthophoto gelegt, um Unterschiede händisch zu korrigieren. Beim Monoplotting wird die digitale Karte geometrisch auf das Bild eingepaßt, sodaß dann Veränderungen interaktiv bereinigt werden.

(c) Automatische Bild/Karte Verknüpfung: Im Rahmen des Bildverstehens oder Image Understanding kann die Karte als unterstützender Datenbestand zur Bildsegmentierung und Merkmalerkennung dienen. Daraus ist mittels der festgestellten geometrischen und thematischen Widersprüche ein Vorschlag auf Anpassung der Karte abzuleiten. Der Begriff der modellgestützten Bildanalyse (Model-guided image analysis, siehe Binford /6/) ist anwendbar. Konzepte wurden von Barrow u.a. /5/, Tennenbaum u.a. /42/, Stockman u.a. /41/, Kropatsch und Leberl /28/, Triendl /44/ und anderen vorgeschlagen und in experimentellen Systemen untersucht. Hierzu sind geeignete digitale Datenbestände aufzubauen, sodaß eine Verknüpfung mit natürlichen Bildern erleichtert wird.

(d) Analyse von Bildfolgen: Die Bild-Karte Korrespondenz tritt nicht nur in der Kartographie auf, sondern ist allgemein in der Analyse von Bildfolgen anzutreffen. Eine relevante Darstellung ist von Mühle und Radig /34/. Die kartographische Anwendung mag wegen der Informationsvielfalt besonders komplex sein. Lösungsansätze entstammen jedoch dem Gebiet der Mustererkennung, wohingegen die Kartographie bisher das Problem nur in Verbindung mit der Auswertung von Satellitenbildern für Überwachungsprobleme (Monitoring) kennt.

6. Schluss und Ausblick

Die Photogrammetrie ist zwar als Meßverfahren definiert, wird aber vor allem durch ihre bisherige Hauptanwendung in der Vermessung geprägt. Die Zentralperspektive war lange das wesentliche methodische Element, welches wegen neuer bildgebender Verfahren um andere Bildgeometrien ergänzt wird.

Es besteht eine Vielfalt photogrammetrischer Literatur zur Arbeit mit einzelnen Meßbildern und mit stereoskopischen Bildpaaren. Die Rekonstruktion der 3D-Szenen beruht auf überlappenden Bildern aus verschiedenen Standpunkten. Die automatische Stereokorrelation zum Aufsuchen von Korrespondenzpunkten hat keine zentrale Rolle, da die visuelle, händische Auswertung höhere Genauigkeiten liefert.

Noch liegt die Anwendung gänzlich beim Analogbild, aber eine tiefgreifende Wandlung zum digitalen Bild beginnt sich abzuzeichnen. Im Vorfeld photogrammetrischer Forschung werden Datenmengen von 20 000 x 20 000 Pixel je Luftbild vorgesehen (Case /7/). Damit hat ein System im Stereofall die interaktive Echtzeitverarbeitung von 8×10^8 Byte zu ermöglichen.

Die Realisierung dieser Konzepte wird eine Befruchtung photogrammetrischer Arbeit aus der Mustererkennung zur Folge haben.

Literatur

- /1/ Abdel-Aziz Y.I., H.M. Karara (1971):
"Direct Linear Transformation from Comparator Coordinates into Object-Space Coordinates". Proceedings, Symposium on Close Range Photogrammetry, American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA 22046.
- /2/ Bähr H.P. (1979):
"Wechselwirkung von Photogrammetrie und Fernerkundung durch Anwendung digitaler Bildverarbeitung".
Habilitationsschrift der Universität Hannover.
- /3/ Bähr H.P. (1980):
"Einsatz digitaler Bildverarbeitung in der klassischen Photogrammetrie am Beispiel eines Architekturobjektes".
Bildmessung und Luftbildwesen, 48. Jahrgang, S. 85-93.
- /4/ Baker H.H., T. Binford (1982):
"A System for Automated Stereo Mapping". Proceedings, Symp. of Comm. II, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. International Archives of Photogrammetry, Vol. 24-II. Canadian Institute of Surveyors, Ottawa. S. 156-171.
- /5/ Barrow H.G. u.a. (1977):
"Experiments in Map-Guided Photo-Interpretation".
Proceedings, 5th Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI - 77.
- /6/ Binford T. (1981):
"Model-Guided Image Analysis". Vortrag beim DAGM - Symposium, Hamburg.
- /7/ Case J.B. (1982):
"The Digital Stereo Comparator/Compiler (DSCC)".
Proceedings, Symp. of Comm. II of the International Society of Photogrammetry and Remote Sensing. International Archives of Photogrammetry, Vol. 24-II. Canadian Institute of Surveyors, Ottawa. S. 23-29.
- /8/ Correlation and Stereo-Matching Papers (1983):
Papers by M. Crombie, B. Opitz, B. Horn, G. Wood, A. Colvocoresces. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 49, No. 4.
- /9/ Dowman I. (1982):
"The Performance of Correlation Systems". Proceedings, Symp. of Comm. II, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. International Archives of Photogrammetry, Vol. 24-II. Canadian Institute of Surveyors, Ottawa. S. 172-181.

- /21/ Jacobsen K. (1982):
 "Attempts of Obtaining the Best Possible Accuracy in Bundle Block Adjustment". Photogrammetria, Vol. 37, No. 6. S. 219-236.
- /22/ Karara H.M. ed. (1979):
 "Handbook of Non-Topographic Photogrammetry". American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA 22046, 206 Seiten.
- /23/ Keating T.J., D.R. Boston (1979):
 "Digital Orthophoto Production using Scanning Microdensitometers". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 45, No. 6. S. 735-740.
- /24/ Konecny G., D. Pape (1981):
 "Correlation Techniques and Devices". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 47, No. 3, S. 323-333.
- /25/ Kowalski D.C. (1968):
 "A Comparison of Optical and Electronic Correlation Techniques". Bendix Technical Journal, Vol. 1, No. 2, S. 63-71.
- /26/ Kraus K., E. Vozikis (1983):
 "Stereoskopie thematischer Informationen". Kartographische Nachrichten. 33. Jahrgang, S. 45-51.
- /27/ Kreiling W. (1976):
 "Automatische Herstellung von Höhenmodellen und Orthophotos aus Stereobildern durch digitale Korrelation". Dissertation der Universität Karlsruhe.
- /28/ Kropatsch W., F. Leberl (1981):
 "Organisation kartographischer Daten zur kennntnisgestützten Bildanalyse". DAGM-Symposium Hamburg. Informatik-Fachberichte Nr.49, Springer-Verlag, S.167-173.
- /29/ Lacman O. (1931):
 "Entzerrungsgerät für nicht-ebenes Gelände". Bildmessung und Luftbildwesen, S. 10-12.
- /30/ Lindig G. (1980):
 "ISP Correlation Test - Phase I". Proceedings, 14th Congress of the International Society of Photogrammetry, Vol. XX III, Part B-2, S. 118-127.
- /31/ Makarovic B. (1973):
 "Digital Mono-Plotters". ITC-Journal, 1973/4, ITC, Enschede, Niederlande, S. 583-600.

- /32/ Marzan G.T., H.M. Karara (1975):
 "A Computer Program for the Direct Linear Transformation Solution of the Colinearity Condition, and some Applications of it". Proceedings, Symposium on Close-Range Photogrammetric Systems, American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA 22046.
- /33/ Masry S.E. (1972):
 "The Analytical Plotter as a Stereo-Microdensitometer". Presented paper, 12. Kongress der Intern. Gesellschaft für Photogrammetria, Ottawa. Dept. of Surveying Engineers, Univ. of New Brunswick, Fredericton, Kanada, 18 Seiten.
- /34/ Mühle K., B. Radig (1981):
 "Entwurf eines Datenbanksystems zur Unterstützung der Analyse von Bildfolgen". DAGM-Symposium Hamburg. Informatik-Fachberichte Nr. 49, Springer-Verlag. S. 144-150.
- /35/ Nathan R. (1966):
 "Digital Video Data Handling Report". Jet Propulsion Laboratory Technical Report Nr. 32-877, Pasadena, USA.
- /36/ Neumann B. (1981):
 "3D-Information aus mehrfachen Ansichten". DAGM-Symposium 1981, Informatik-Fachberichte, Band 49, Springer-Verlag, S. 93-111.
- /37/ Panton D.J. (1978):
 "A Flexible Approach to Digital Stereo Mapping". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 44, No. 12, S. 1499-1512.
- /38/ Rinner K., R. Burkhardt ed. (1972):
 "Photogrammetrie". Band IIIa des Handbuches der Vermessungskunde. Metzler'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 2321 Seiten.
- /39/ Schwidefsky K., F. Ackermann (1976):
 "Photogrammetrie". Teubner-Verlag, Stuttgart. 384 S.
- /40/ Sharp J.V. u.a. (1965):
 "Automatic Map Compilation using Digital Techniques". Photogrammetric Engineering, S. 235ff.
- /41/ Stockman G., S. Kopstein, S. Benett (1982):
 "Matching Images to Models for Registration and Object Detection via Clustering". PAMI-4, No. 3, S. 229-241.
- /42/ Tennenbaum J.M., M. Fischler, H. Wolf (1978):
 "A Scene Analysis Approach to Remote Sensing". TN A3, SRI-Menlo Park, Kalifornien.

- /43/ Thurgood J.D., E.M. Mikhail (1982):
"Photogrammetric Aspects of Digital Images".
Proceedings, 48th Annual Meeting of the American
Society of Photogrammetry, Falls Church, VA 22046,
pp. 295-304.
- /44/ Triendl E. (1981):
"Lokalisierung von durch Zeichnungen beschriebenen
Strukturen in Bildern". DAGM-Symposium Hamburg.
Informatik-Fachberichte Nr. 49. Springer-Verlag,
S. 174-178.
- /45/ Visser J. F. Leberl, J. Kure (1973):
"OEEPE Oberschwaben Reseau Investigations". Official
OEEPE-Publication No. 8, Institut für Angewandte
Geodäsie, Frankfurt/Main, S. 289-315.
- /46/ Woodham R.J. (1978):
"Photometric Stereo: A Reflectance Map Technique for
Determining Surface Orientation from Image Intensity".
Proceedings of the SPIE, Vol. 155.
- /47/ Wildey R.L. (1975):
"Generalized Photo-Clinometry for Mariner 9". Icarus,
Vol. 75, pp. 613-626.
- /48/ Kraus K., P. Waldhäusl (1982):
Photogrammetrie, F. Dümmler-Verlag, Bonn