

Zum Einsatz der Flächenkorrelation für die off-line Auswertung photogrammetrischer Modelle

Frank Boochs

Institut für Photogrammetrie der Universität Bonn

BR Deutschland

Comm. III

1. Einleitung

Infolge der fortschreitenden Entwicklung der elektronischen Datenverarbeitungstechnik werden die in der geodätischen Praxis zu verarbeitenden Informationen in zunehmendem Maße digital codiert. Ein Beispiel hierfür ist die Beschreibung von Geländeoberflächen (prinzipiell: Oberflächen beliebiger Körper) durch die Koordinatentripel einer großen Zahl von Einzelpunkten (= digitales Höhenmodell (DHM)). Der Vorteil eines derartigen Vorgehens ist die Möglichkeit, die digitale Geländeinformation einer Vielzahl der verschiedensten Anwendungen und damit auch beliebig oft weiteren verarbeitenden Schritten zuführen zu können.

Die digitale Erfassung von Geländeoberflächen hat neben der Erweiterung des verarbeitungsseitigen Spektrums natürlich auch Konsequenzen für die Auswertetechnik, die sich der digitalen Struktur der Daten anpassen muß. Im einfachsten Fall besteht die Umstellung in der Erweiterung analoger Auswerteinstrumente um eine digitale Registriereinrichtung und einer leichten Modifikation des Ablaufes der analogen Auswertung selbst. Unter konsequenter Ausnutzung der Leistungsfähigkeit moderner Computer kann die Anpassung jedoch auch soweit gehen, daß der komplette Auswertevorgang auf einem Rechner abläuft. In diesem Fall muß das im Computer ablaufende Rechenprogramm die auswählenden, messenden und interpretativen Fähigkeiten des menschlichen Auswerters nachvollziehen.

Letztgenannter Aufgabenstellung ist das hier vorzustellende Programmsystem CAOS (correlation algorithm for determination of object surfaces) zuzurechnen, mit dem ein Beitrag zur Beschleunigung und Vereinfachung des photogrammetrischen Auswerteprozesses geleistet werden soll.

In den folgenden Ausführungen wird zunächst der Aufbau des Verfahrens erläutert. Anschließend werden die ersten Ergebnisse, die in einem typischen, natürlichen Stereomodell gewonnen wurden, vorgestellt. Zum Abschluß wird die Genauigkeitsleistung an einem Vergleich mit manuellen Kontrollmessungen beschrieben.

2. Aufbau des Korrelationsverfahrens

Die Struktur des Programmsystems richtet sich nach dem Aufbau des Prozesses der räumlichen Auswertung photogrammetrischer Stereomodelle und nach den Möglichkeiten einer rechnerseitigen Simulation desselben. Gliedert man den Ablauf des Auswertevorgangs in funktional verschiedene Einheiten, so gelangt man zu folgender Einteilung :

1. Steuerung der Punktauswahl
2. Annäherung der Objektgeometrie
3. Bestimmung ähnlicher Bildausschnitte
4. Umformung der ausgewählten Bildfenster
5. Korrelationsrechnung
6. Berechnung der Punkthöhen und Überwachung der Ergebnisse

Die Steuerung der Punktauswahl ist für die Verteilung der Stützpunkte im Gelände

verantwortlich. Die sich hierzu anbietenden, von der Analogauswertung her bekannten Möglichkeiten sind recht vielfältig. So kann die Punktmessung u.a. linienweise, über Weg- Zeit- oder Höheninkremente gesteuert erfolgen, wahlfrei - d.h. allein der Auffassungsgabe des Auswerters überlassen - oder in einem vorgegebenen Raster geschehen.

Im Falle der analogen Auswertung hängt die Auswahl der sinnvollsten Strategie vom Anwendungszweck, bzw. den damit vorgegebenen Forderungen nach inhaltlicher und geometrischer Genauigkeit der Messungen ab. Für einen automatisierten Ablauf kann die Abstimmung auf die Anwendung jedoch nicht derart differenziert erfolgen, da die Punktsteuerung den Anspruch der Automatisierbarkeit erfüllen muß. Im Hinblick auf den geringen Verwaltungsaufwand im Programm empfiehlt sich daher eine rasterförmige Punktverteilung.

Die Informationen, die zur Steuerung der Punktauswahl benötigt werden, beschränken sich damit auf den Ursprung (P_0), die Richtung des Rasters im übergeordneten Koordinatensystem (Θ), den Punktabstand in Richtung der Rasterzeilen (DX) und -spalten (DY) sowie die Zahl der Zeilen (NX) und Spalten (NY) (vgl. Abb.1).

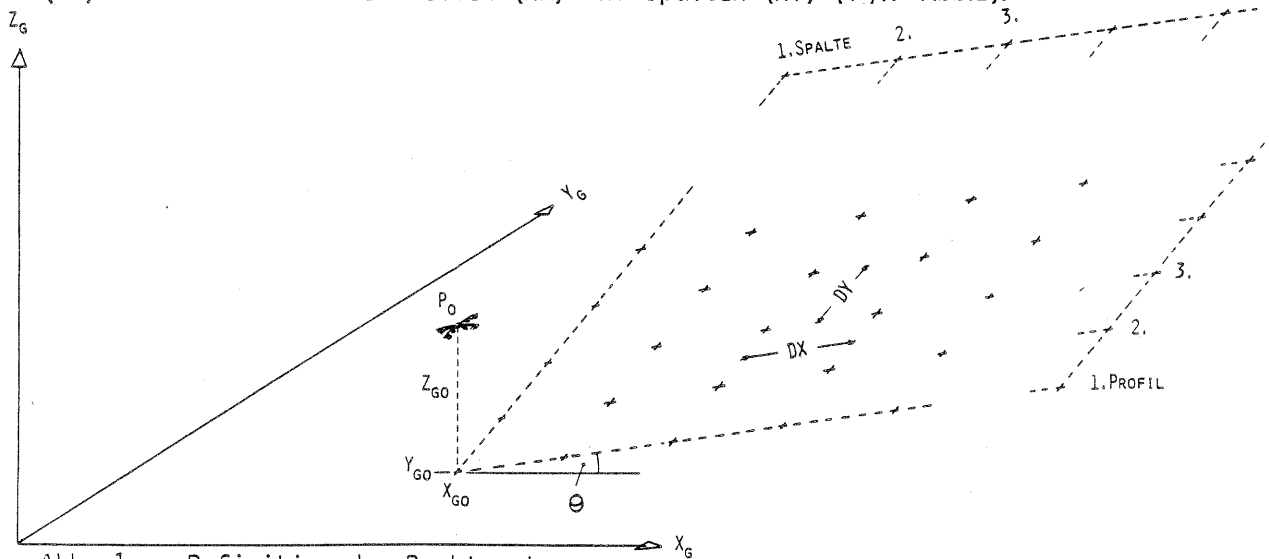


Abb. 1 Definition des Punktrasters

Die Annäherung der Objektgeometrie ist eine wichtige, den Vergleich homologer Bildausschnitte vorbereitende Maßnahme, von deren Qualität auch das Gelingen der Punktbestimmung sehr wesentlich abhängt. Die Beschreibung des Oberflächenverlaufes ist notwendig, um die auf die Tiefengliederung des Objektes zurückgehende Veränderung der projektiven Abbildung in den beteiligten Maßbildern berücksichtigen zu können. Eine korrekte Erfassung des geometrischen Aufbaus der Oberfläche verlangt die Beschreibung aller für die Projektion relevanter Höhenänderungen in dem zur Abbildung ausgewählten Geländeausschnitt. Infolge der möglicherweise sehr komplexen geometrischen Struktur des Geländes könnte dies jedoch nur differentiell erfolgen. Bei Verwendung von flächenhaften Ausschnitten erscheint dieser Weg allerdings wenig erfolgversprechend, da einerseits der zu erwartende rechnerische Aufwand zu groß wird und andererseits die Information über das Objekt nicht ausreicht.

Diese Schwierigkeiten können umgangen werden, indem man die Oberfläche parametrisch (hier: Ebene) (vgl. Abb.2) approximiert. Zur Bestimmung einer Ebene sind lediglich 3 Punkte nötig und solange das umschriebene Flächenstück klein genug ist, sind auch die zu erwartenden Abweichungen von der eigentlichen Oberfläche gering. Problematisch wird es lediglich bei Unstetigkeiten im geometrischen Aufbau (Wald, Bebauung, Bruchkanten u.ä.), die jedoch nur einen geringen Flächenanteil ausmachen und außerdem unter topographischen Gesichtspunkten nicht im Vordergrund stehen.

Die Bestimmung ähnlicher Bildausschnitte (Bildfenster) umfaßt die Übertragung eines ausgewählten Objektausschnittes in die beiden Maßbilder. Für die Berechnung bedarf es der Kenntnis der Schmiegungebene, der vorab bestimmten und dem Programm eingege-

benen Orientierungsparameter und der Größe des Ausschnittes. Der Vorgang gliedert sich in drei Stufen. In der ersten wird der zu bestimmende und näherungsweise bekannte (die Lage ist vorgegeben und die genäherte Punkthöhe ist aus der Schmiegungeebene abgeleitet) Stützpunkt in das linke Maßbild projiziert. In Abhängigkeit von der gewünschten Fenstergröße werden anschliessend die Eckpunkte des Bildausschnittes (Target) dort festgelegt (vgl. Abb.3). Als nächstes erfolgt die Zuordnung der zugehörigen Objektpunkte. Hierzu werden die Eckpunkte in den Objekt-raum projiziert und mit der Schmiegungeebene zum Schnitt gebracht (vgl. Abb.4). Zum Abschluß können nun die vier Objektpunkte in das rechte Bild abgebildet werden, womit die homologen Bildausschnitte gefunden sind.

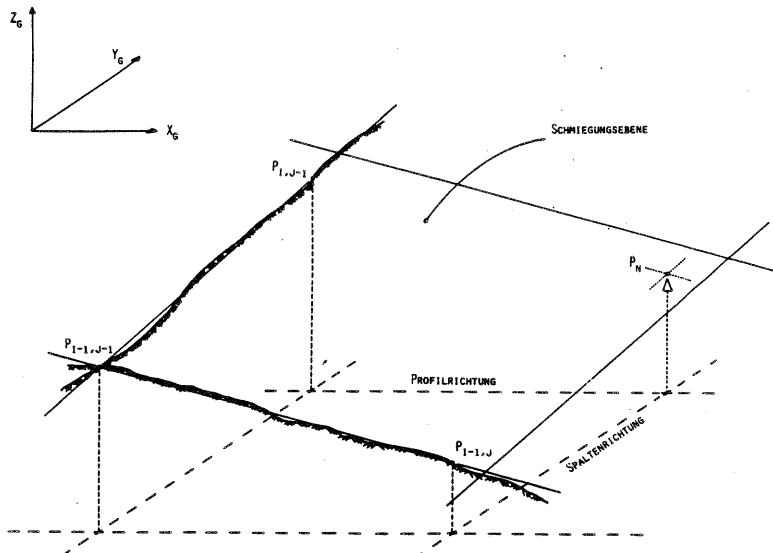


Abb. 2 Definition einer Schmiegungeebene

Die nächste Aufgabe des Programmes besteht in der Umformung der Bildausschnitte. Hiermit ist die Bestimmung von Lage und Dichtewert der in den Bildfenstern enthaltenen Pixel gemeint, da diese im digitalen Bildsystem eine willkürliche Lage einnehmen können (vgl. Abb.5). Für das linke Bild entfällt dieser Arbeitsgang, weil dort die Eckpunkte des Fensters vorgegeben werden können und daher zweckmäßigerweise exakt auf bestehende Pixel gelegt worden sind. Im rechten Bild werden die gesuchten Pixel, wie auch deren Grauwerte mittels bilinearer Interpolation berechnet.

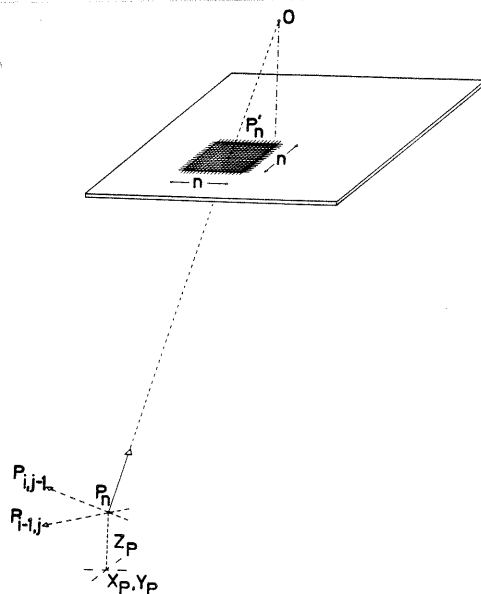


Abb. 3 Auswahl des Targets im linken Maßbild

In der Korrelation werden die aufbereiteten Bildausschnitte des linken und rechten Bildes miteinander verglichen und die Ähnlichkeit durch den, aus der Produktmomentenfunktion ermittelten, Korrelationskoeffizienten angegeben /Kreiling 1976; Wiesel 1981/. Zur Bestimmung zweier Fenster mit maximaler Übereinstimmung wird unter Beibehaltung des Ausschnittes im linken Bild (Target) das korrespondierende Fenster im

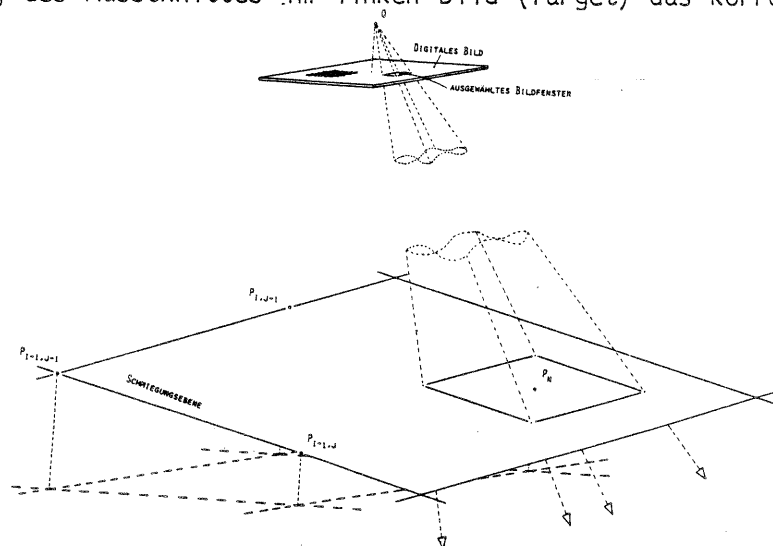


Abb. 4 Schnitt von Schmiegungebene und Projektionsstrahlen

rechten Bild (Suchbereich) solange in Pixelschritten verschoben, bis der größte Korrelationskoeffizient gefunden ist. Das Programm bedient sich hierbei eines hill climbing Verfahrens /Kreiling 1976; Makarovic 1980/ mit dem die Zahl der anfallenden Korrelationen in Grenzen gehalten werden kann. Zusätzlich wird durch das Maximum und jeweils die zwei in Zeilen- und Spaltenrichtung direkt benachbarten Korrelationswerte eine Parabel gelegt, womit sich die Lage des Maximums in Bruchteilen eines Pixels angeben läßt.

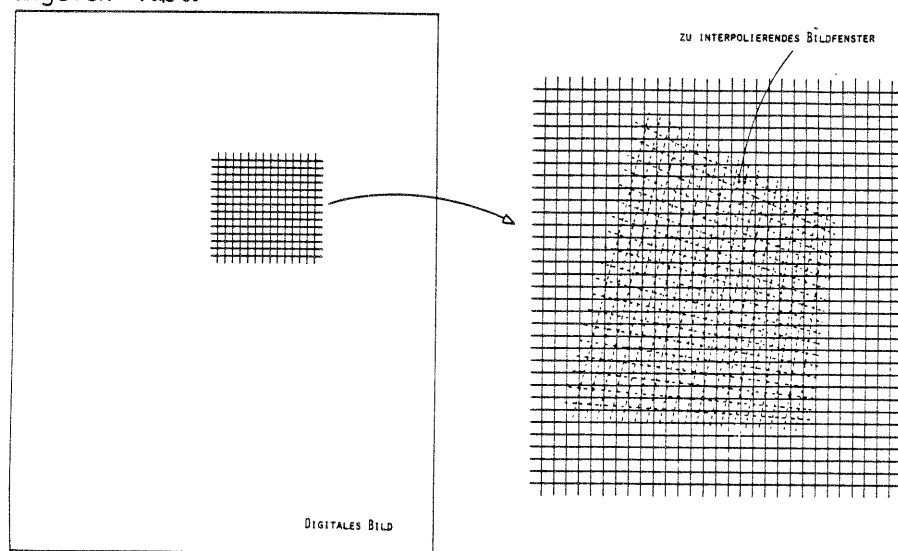


Abb. 5 Lage eines interpolierten Bildausschnittes

Zur Steigerung der Parallaxenauflösung erfolgt nach Abschluß der iterativen Punktbestimmung eine Feinkorrelation. Hierzu wird die Schrittweite, mit der die Bildfenster im Suchbereich verschoben werden, auf 0.3 Pixel verringert. Damit erhält man eine wesentlich feinere Diskretisierung der Korrelationsfunktion, die folglich eine exaktere Bestimmung des Korrelationsmaximums ermöglicht.

Die letzte Phase des Korrelationsvorgangs besteht aus der Berechnung der Punkthöhe und aus der Überwachung der Ergebnisse. Dabei ist zunächst die aus der ermittelten

Parallaxe resultierende Punkthöhe mit dem vorgegebenen Näherungswert zu vergleichen und bei Übersteigen einer zulässigen Toleranz die Punktbestimmung mit der gerade errechneten Höhe als Näherungswert zu wiederholen.

Darüber hinaus fallen in diesen Teil des Verfahrens noch einige steuernde Funktionen, die für die Leistungsfähigkeit von Bedeutung sind.

Infolge von zu geringem Kontrastumfang oder auch wegen schlechter Approximation der Objektgeometrie kann es beispielsweise zu nicht ausreichenden Korrelationskoeffizienten ($r < 0.7$) kommen. In diesem Fall reagiert das Programm mit einer Vergrößerung der Bildfenster. Dabei ist ein sinnvoller Mittelweg zwischen dem Bestreben nach einer Korrelation mit möglichst kleinen Ausschnitten und der Notwendigkeit der Begrenzung des rechnerischen Aufwandes zu finden. Aus diesem Grund beschränkt sich das Verfahren auf folgende vier Fenstergrößen: 15, 29, 43 und 65 Pixel.

In einer zweiten Stufe der Maßnahmen wird die Objektoberfläche durch eine Horizontalebene angenähert. Der Rückgriff auf dieses Hilfsmittel geschieht sobald auch mit dem größten Bildausschnitt keine Korrelation gefunden werden konnte. Es lassen sich hiermit verschiedene Effekte erzielen. Zunächst bedarf es für eine derart definierte Bezugsfläche keinerlei Nachbarpunkte, wodurch die in diesen Punkten ggf. enthaltenen Fehler keinen Einfluß auf die Berechnungen mehr haben. Weiterhin können mit einer solch neutralen Definition der Geländeoberfläche auch Unstetigkeitsstellen (Häuser, Bäume, etc.) halbwegs sinnvoll approximiert werden. Damit lassen sich die Berechnungen stabilisieren und eine Eskalation von Korrelationsausfällen vermeiden.

Für die Gewährleistung einheitlicher Punktgenauigkeiten ist die Wiederholung der Punktbestimmung im ersten Profil (Rasterzeile) von Bedeutung. Dieser Schritt wird notwendig, weil zu Beginn der Punktbestimmungen im 1. Profil der Verlauf des Objektes nur in Profilrichtung abgeschätzt werden kann, da quer dazu noch keine bekannten Punkte existieren. Die mangelnde Beschreibung des Flächenverlaufes führt in vielen Fällen jedoch zu größeren Punktfehlern. Nachdem die Punkte des 2. Profiles bestimmt worden sind kann allerdings auch im 1. Profil die Objektfläche voll erfaßt werden, wodurch eine Wiederholung der Punktbestimmungen dort angebracht erscheint.

Neben diesen speziellen verfahrenstechnischen Maßnahmen fallen in diesen Teil des Programmes auch diverse und vielschichtige Verwaltungsaufgaben von denen hier nur die Bereitstellung der Bildinformation hervorgehoben werden soll. Hierfür ist ein spezielles Speicherverfahren entwickelt worden, mit dem die Form des Bildspeichers den in der Örtlichkeit gegebenen Verhältnissen angepaßt wird, wodurch sowohl eine Reduzierung der belastenden Einlesetätigkeiten als auch eine hohe Portabilität des Programmes erreicht wird.

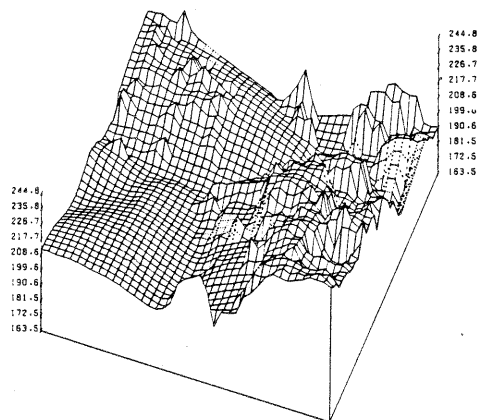
3. Anwendung des Korrelationsverfahrens

Der Arbeitsweise des Programmsystems soll an einem Stereomodell aus natürlichem Bilddatenmaterial veranschaulicht werden. Die Daten stammen aus einer Befliegung des Landesvermessungsamtes NRW des Jahres 1982 (Flug 316/82, Streifen 17). Die Befliegung fand zwecks Erstellung der Luftbildkarte (DGK 5L) statt. Der ausgewählte Streifen liegt im Bergischen Land. Gemäß der Zielsetzung ist eine RMK 15/23 ($c=152.93$ mm) als Aufnahmekammer eingesetzt worden. Der Bildmaßstab beträgt $M_b = 1:12.500$, die Flughöhe belief sich auf ca. $h_g=2000$ m. Aus dem mit 90% Längsüberdeckung geflogenen Streifen sind die Aufnahmen 28 und 31 ($p=68\%$) für die Korrelationstests herangezogen worden.

In dem genannten Stereomodell ist ein Testgebiet (Boem141X) definiert worden, an dem nun das Verhalten des Korrelationsverfahrens beschrieben werden kann. Der ausgewertete Bereich hat eine Ausdehnung von $(400\text{m})^2$, in dem 1681 Punkte (41^2) im Abstand von $DX=DY=10$ m in Zeilen- und Spaltenrichtung bestimmt worden sind. Die korrelierten Höhen sind in Abb. 6 perspektiv wiedergegeben. Zur Unterscheidung zwischen Korrelationserfolg und -ausfall sind die nicht bestimmbaren Punkte durch eine gestrichelte Linie verbunden. Daneben ist zum Vergleich der Inhalt des zugehörigen Objektbereiches durch eine Ausschnittsvergrößerung aus einem der beteiligten Meßbilder in Abb.7 zu sehen.

Wie Abb.7 zu entnehmen ist, sind in dem Testgebiet verschiedene Inhalte zu unterscheiden. So befindet sich im linken oberen Teil eine Ortschaft mit lockerer Bebauung, im rechten Bereich ist hauptsächlich Wald zu finden, während der Rest vornehmlich aus offenen Gelände­flächen besteht.

Die qualitativen Unterschiede des Objektinhaltes sind in entsprechender Form in den korrelierten Höhen wiederzufinden. So ist zunächst die hügelige Struktur des offenen Geländes in dem glatt verlaufenden Teil des Plots (Abb. 6) gut zu erkennen. Die Homogenität der Ergebnisse weist neben der Stetigkeit der Gelände­struktur in anschaulicher Form auch die Wirksamkeit des dem Korrelationsverfahren zugrunde liegenden Ansatzes und die Stabilität der Berechnungen nach.



TESTGEBIET : 80EM141X
KORRELIERTE HOEHEN
AZIMUTALER BEFRUCHTUNGSWINKEL : 20

Abb. 6 Vom Programm bestimmte Punkthöhen



Abb. 7 Ausgewerteter Objektbereich

In vergleichbarer Form spiegelt sich der Einfluß des geometrischen Aufbaus der Geländeoberfläche in den übrigen Punktbestimmungen wider. Betrachtet man die Ortslage, so wird dort der glatte Verlauf der Darstellung durch einige Spitzen unterbrochen. Diese sind durch die Wirkung der Häuser und der einzeln, teilweise auch in kleinen Gruppen stehenden Bäume auf die Abbildung verursacht. Infolge des für die Ausdehnung der Bauten zu großen Punktabstandes und der willkürlichen Lage der Rasterpunkte innerhalb der Ortslage sind die bestimmten Höhen allerdings nur begrenzt aussagefähig, zumal die Annäherung des Geländes durch eine Schmiegungeebene hier nicht korrekt ist. Trotzdem kann durch die Verteilung der Höhen insgesamt die Ortschaft qualitativ von den übrigen Gelände­bereichen unterschieden werden.

Ähnliches kann auch für den Wald festgestellt werden. Ausgehend vom optischen Ein-

druck (vgl. Abb.6), zeigen die Waldflächen einen unruhigen Verlauf, heben sich im Niveau deutlich vom offenen Gelände ab und weisen gleitende Übergänge zu diesen hin auf.

Die Niveauunterschiede sind auf die Baumhöhen zurückzuführen, da die dicht zusammen stehenden, belaubten Bäume eine geschlossene Oberfläche bilden, auf die sich die Berechnungen einstellen. Der Verlauf dieser Fläche unterliegt jedoch Schwankungen, die durch die verschiedenen Gipfelhöhen der Bäume und die gewölbte unregelmäßige Form der Baumkronen verursacht sind. Dementsprechend ändern sich auch die berechneten Höhen von Punkt zu Punkt auf wechselhafte Weise, wodurch der unruhige optische Eindruck entsteht.

Im Gegensatz zu diesen, von der Korrelation korrekt wiedergegebenen Flächenteilen des Waldes können die in den Randzonen zum offenen Gelände hin gelegenen Punkte als verfälscht betrachtet werden. Hier wirkt sich die Verwendung von Bildflächen innerhalb des Korrelationsprozesses aus. Im Grenzbereich zwischen unterschiedlichen Niveauflächen des Objektes sind in den Bildfenstern Geländepunkte aus beiden Niveaus abgebildet. Die den Korrelationsverfahren eigene Simulation einer ebenen Objektfläche kann die Geometrie der Randzonen jedoch nicht ausreichend beschreiben, wodurch die den jeweiligen Niveaus zugehörigen Geländeteile nicht korrekt abgebildet werden. Dies führt dann entweder zu falschen Mischhöhen oder zu Korrelationsausfällen. Damit geht auch die klare Abgrenzung des Waldes, wie sie aufgrund des Geländeaufbaus (vgl. Abb.7) zu erwarten wäre, verloren.

Sieht man von diesen Schwächen der Korrelation in den Randzonen ab, so kann trotzdem die Form der Waldflächen (vgl. Abb.7), wie sie durch den Wechsel zum offenen Gelände hin umrissen wird, in der perspektiven Darstellung wiedergefunden werden. Allerdings geben die im Falle von Korrelationsausfällen durch Interpolation bestimmten Höhen (gestrichelte Linien) das Objekt nicht immer treffend wieder. Wie den Plots zu entnehmen ist, treten letztere jedoch hauptsächlich in den für die Korrelation kritischen Bereichen auf, womit keine zusätzliche Verschlechterung der Korrelationsleistung insgesamt eintritt. Es kann eigentlich eher von einer erfreulich geringen Zahl nicht bestimmter Punkte gesprochen werden. Auch die Tatsache, daß das clusterartige Auftreten der Ausfälle zu keinerlei offensichtlich erkennbaren Folgen für die im Anschluß zu berechnenden Punkte hatte, spricht für die Stabilität und Leistungsfähigkeit des Korrelationsverfahrens.

4. Die Genauigkeitsleistung

Die Beurteilung der erreichten Punktgenauigkeiten erfolgte anhand eines Vergleiches zu manuell gewonnenen Punkthöhen. Die manuellen Messungen sind von mehreren Auswertern unabhängig am Planicom C100 durchgeführt worden. Zur Gewährleistung größtmöglicher Übereinstimmung in den Datensätzen wurden die aus der rechnerischen Auswertung hervorgegangenen Stützpunkte in den manuellen Messungen lagemäßig als fix vorgegeben. Der Auswerter hatte lediglich eine Parallaxenmessung vorzunehmen, die zu Kontrollzwecken in mehreren Durchgängen erfolgte. Nimmt man alle Messungen zusammen, so ist jeder Punkt im Durchschnitt 12 mal unabhängig eingestellt worden.

Die Gegenüberstellung zwischen den manuellen Messungen und den Korrelationsergebnissen geschah mittels einer a posteriori Varianzkomponentenschätzung /Ebner 1972/. Dieses Verfahren ermöglicht die gemeinsame Verarbeitung verschieden genauer Messungsdatensätze. Der funktionale Ansatz lautet im vorliegenden Fall :

$$H_i^j + v_i^j = H_i^0 + \Delta H^j \quad \text{mit} \quad p^j = \frac{\text{const}}{m_j^2}$$

Die von Auswerter j an Punkt i gemessene Höhe (H_i^j) wird zusammen mit der entsprechenden Verbesserung (v_i^j) als Summe der ausgeglichenen Höhe des Punktes i (H_i^0) und des subjektiven, systematischen Einstellfehlers des Auswerters j (ΔH^j) ausgedrückt. Hinzu kommt das Gewicht p^j in dem die Meßunsicherheit des Auswerters j enthalten

ist.

Im iterativen Prozeß werden die Größen H_j^0 , ΔH_j^j und p_j^j bestimmt. Mit Hilfe der Verbesserungen läßt sich abschließend ein mittlere quadratische Restabweichung (m_{qr}) ermitteln :

$$m_{qr}^{2j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_{ij})^2$$

Diese erlaubt einen Vergleich zwischen den Leistungen der verschiedenen Auswerter und der Korrelation. Da für die Beurteilung der Korrelation eine Gegenüberstellung der prinzipiell manuell erzielbaren Genauigkeit genügt, sind für die Untersuchungen hier die Ergebnisse für alle Auswerter zusammengefaßt worden.

Der Übersichtlichkeit halber sollen die Ergebnisse in einzelnen überschaubaren Testgebieten analysiert werden. Jedes enthält ein Punktraster mit 100 (10^2) Punkten, in einem Abstand von je 10 m. Es sind jeweils typische Objektbereiche in den Testgebieten enthalten. Die Werte der mittleren quadratischen Restabweichungen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Zur Erleichterung der objektiven Beurteilung sind für die manuelle Messung die Werte zusätzlich in ‰ der Flughöhe (h_g) angegeben :

Testgebiet	Auswertung		
	manuell [m]	[‰ $\cdot h_g$]	Korrelation [m]
Feld	0.187	0.09	0.149
Wald	1.174	0.60	0.733
Ortschaft	0.839	0.40	0.712

Tabelle 1 Mittlere quadratische Restabweichungen

Die Verteilung der Restabweichungen für die Korrelation ist den Abb. 8-10 zu entnehmen. Korrelationsausfälle, deren Aussage qualitativ von jener der übrigen Punkte zu unterscheiden ist, sind gestrichelt dargestellt.

Wie aus der Tabelle und den graphischen Darstellungen hervorgeht, zeigen die Testgebiete bzw. die darin enthaltenen Objektstrukturen typische Verhaltensweisen.

Der größte Fehleranteil ist im Waldgebiet enthalten. Überraschend ist die sichtbar größere mittlere quadratische Restabweichung für die manuelle Auswertung. Hierin spiegelt sich die schlechte Punktdefinition und die Schwierigkeit einer einheitlichen Punktauffassung wider. Überhaupt ist an dem hohen Fehlerniveau die Problematik der Punktmessung in bewachsenen Objektbereichen abzulesen. Es kann allerdings eingeräumt werden, daß derartigen Gebieten in der topographischen Auswertung eine geringere Bedeutung zukommt, da die Oberfläche speziell in Wäldern nur schlecht zu definieren ist.

Im Hinblick auf das Ergebnis der rechnerischen Punktbestimmung kann erfreulicherweise festgehalten werden, daß die Restabweichungen jene der manuellen Auswertung nicht übersteigen, womit ein erster Hinweis auf die Gleichwertigkeit der Verfahren gegeben wird. Allerdings ist die Leistung der digitalen Korrelation hier noch verbesserungsbedürftig, da einige Punkte offensichtlich falsch bestimmt wurden (s.o.) (vgl. Abb. 9).

Die Ortschaft liegt in den Ergebnissen etwas günstiger. Auch hier haben der geometrische Aufbau des Objektes und die willkürliche Punktlage beträchtlichen Anteil an der geringeren Genauigkeit. Der Einfluß der in Bezug auf die Bebauung beliebigen Stützpunktlage geht beispielsweise aus Abb.10 hervor. In Abhängigkeit vom Abstand der Stützpunkte zu den in der Nachbarschaft gelegenen Bauten verändert sich der Anteil der in die Korrelation miteinbezogenen bebauten Objektfläche und wirkt sich entsprechend auf die Größe der aus dem Korrelationsvorgang resultierenden Restabweichungen aus. Im Endeffekt erhält man eine stete Änderung der Fehleranteile, womit die Interpretierbarkeit der gewonnenen Höhen zurückgeht und gleichzeitig die

Ergebnisse natürlich an Wert verlieren. Dies gilt für die manuelle wie für die rechnerische Auswertung.

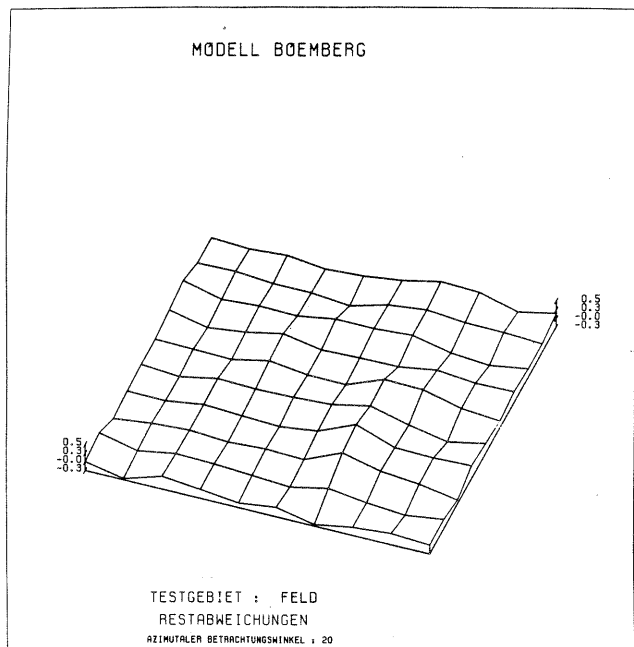


Abb. 8

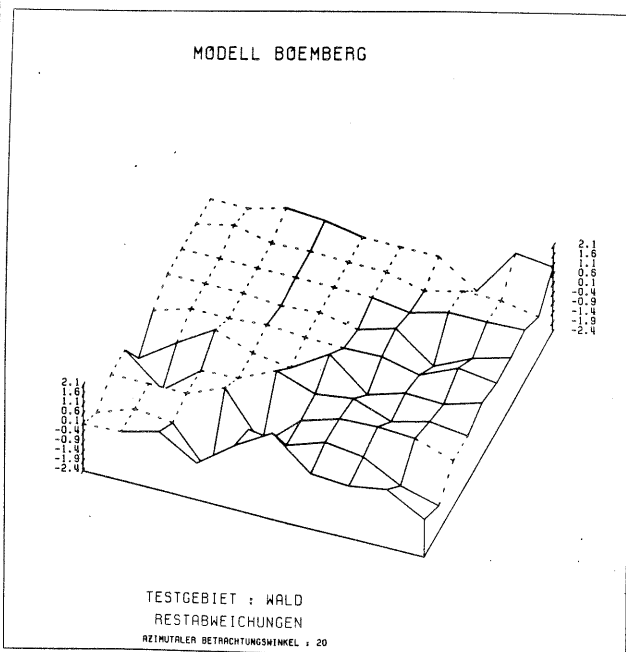


Abb. 9

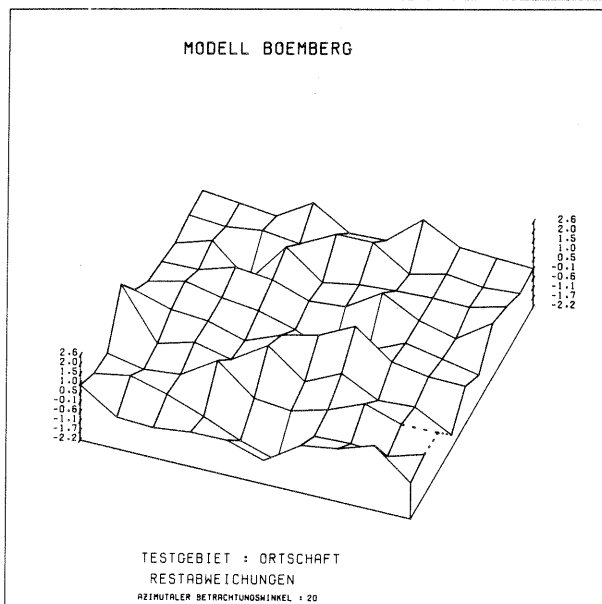


Abb. 10

Es ist allerdings zu berücksichtigen, daß die hier vom Programm vorgegebene, schematische Lage der Stützpunkte normalerweise vom Auswerter den örtlichen Gegebenheiten angepaßt werden kann, womit dann von der manuellen Auswertung bessere Ergebnisse zu erwarten sind.

Im Feldbereich (vgl. Abb.8) konnten die Punkte manuell wie auch rechnerisch mit einer für topographische Auswertungen ($m_{gr} \leq 0.1 \text{ ‰}$) ausreichenden Genauigkeit bestimmt werden. Interessant ist vor allem, daß die Korrelation der manuellen Auswerteleistung mindestens gleichwertig, wenn nicht sogar überlegen erscheint, wie hier von der um ca. 20% niedrigeren mittleren quadratischen Restabweichung angedeutet wird. Die Korrelation erweist sich somit als ernstzunehmende Alternative gegen-

über der manuellen Auswertung.

5. Fazit

Insgesamt bleibt festzuhalten, daß sich das auf der digitalen Korrelation von Bildflächen basierende Auswerteverfahren als funktionsreif und in der Genauigkeitsleistung den manuellen Messungen gegenüber gleichwertig erwiesen hat. Es sind sicherlich noch Schwächen vorhanden (Ausfälle, offensichtliche Fehlberechnungen), die aber langfristig behebbar sein sollten. Prinzipiell existiert mit dem Programmsystem CAOS ein schon jetzt leistungsfähiges Auswerteverfahren, mit dem ein Schritt auf dem Weg zur vollständig automatisierten Auswertung photogrammetrischer Modelle getan ist.

6. Anmerkung

Der vorliegende Aufsatz faßt einen Teil einer der landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn vorgelegten Dissertation zusammen (vgl. /Boochs,1984/).

Literatur :

- Boochs,F.,1984....: Schrittweise räumliche Auswertung photogrammetrischer Stereomodelle mittels Korrelation digitaler Bildflächen (Arbeitstitel)
Dissertation an der Universität Bonn, erscheint demnächst
- Castleman,K.,1979.: Digital image processing
Prentice Hall, New Jersey , 427 p.
- Crombie,M.A.,1983.: Coordination of stereo image registration and pixel classification
Photogrammetric engineering and remote sensing, p.529-532
- Ebner,H.,1972.....: A posteriori Varianzschätzung
Zeitschrift für Vermessungswesen, S. 166-172
- Finsterwalder,R.,1963: Zur Höhengenaugigkeit photogrammetrischer Modellauswertungen
Zeitschrift für Vermessungswesen, S. 162-164
- Förstner,W.,1982...: On the geometric precision of digital correlation
Proceedings ISP Symposium, Commission III, Helsinki
- Gambino et al.,1974: Digital mapping and digital image processing
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, p.1295
- Helava,U.V.,Chapelle,W.E.,1972: Epipolar scan correlation
Bendix technical journal, 5 p.
- Konecny,G.,Pape,D.,1981: Correlation techniques and devices
Photogrammetric engineering and remote sensing, p.323
- Kreiling,W.,1976...: Automatische Erstellung von Höhenmodellen und Orthophotos aus Stereobildern durch digitale Korrelation
Dissertation, Karlsruhe, 144 S.
- Lindig,G.,1980.....: ISP correlation test
Proceedings ISP Symposium Hamburg, Comm.II, p.118
- Makarovic,B.,1980.: Image correlation algorithms
Proceedings ISP Symposium Hamburg, invited paper, Comm. II, p.139
- Panton,D.J.,1978...: A flexible approach to digital stereomapping
Photogrammetric engineering and remote sensing, p.1499-1512
- Pratt,W.,1978.....: Digital image processing
John Wiley and Sons, New York, 750 p.
- Sachs,L.,1978.....: Angewandte Statistik
Springer, Berlin, 552 S.
- Wiesel,W.-J.,1981.: Paßpunktbestimmung und geometrische Genauigkeit bei der relativen Entzerrung von Abtastdaten
Dissertation, Karlsruhe, 69 S.