

Beispiele für den Einsatz digitaler Photogrammetrie unter erschwerten Bedingungen

Wilfried LINDER

1 Einleitung

Der Idealfall für den Einsatz (digitaler) photogrammetrischer Auswerteverfahren kann in der Regel wie folgt beschrieben werden: Geometrisch und radiometrisch gutes Bildmaterial von Messkameras als Originalprodukt (Film), Kalibrierungszertifikat, genaue und gut verteilte Passpunkte bzw. Orientierungsdaten via GPS oder aus einer Blockausgleichung, leistungsstarke Hard- und Software usw.

Nun gibt es eine Reihe von Fachgebieten, Anwendern oder auch Gegenden auf der Erde, in denen die tatsächliche Situation aus unterschiedlichen Gründen mehr oder weniger stark vom Idealfall abweichen kann. Des Weiteren wird der Einsatz der Photogrammetrie auch heute noch vereinzelt durch die Kosten und die erforderlichen Kenntnisse erschwert. Einige Beispiele mögen dies verdeutlichen:

- (Potentielle) Anwender aus Geographie, Geologie, dem Forstwesen und anderen Fächern, in denen photogrammetrische Methoden eher selten sowie oft nur in kleineren Projekten eingesetzt werden. Vertiefte Fachkenntnisse sind ebenso wie größere finanzielle Möglichkeiten selten vorhanden. Ähnliches gilt häufig für Entwicklungsländer.
- In Entwicklungsländern kommt hinzu, dass die Hardwareausstattung meist sehr einfach ist (PC, Standardkomponenten) und aus Gründen wie fehlender Wartungsmöglichkeit, häufigem Stromausfall usw. auch einfach und robust sein muss.
- Bildmaterial aus verschiedenen außereuropäischen Gebieten: Hier sind oft nur weniger maßhaltige Papierabzüge erhältlich, die Kalibrierung ist zumeist nicht verfügbar, auch Passpunkte sind nur schwer zu beschaffen und müssen zur Not aus kleinmaßstäbigen Karten abgegriffen werden.
- Historisches Bildmaterial (z.B. Kriegsluftbilder) zeigt oft insgesamt eine eher mäßige Qualität. Ungünstige Radiometrie, Lichtabfall zu den Rändern, geringe Maßhaltigkeit als Folge langer Lagerung, mehrfachen Kopierens und/oder schlechter Papierqualität sowie i. d. R. keinerlei Informationen über Rahmenmarken, Kammerkonstante usw. sind hier häufig anzutreffen.
- Bilder von einfachen Amateurkameras (analog wie digital) weisen oft recht hohe geometrische Verzerrungen auf. Diese wirken sich negativ auf die Genauigkeit aller Folgeprodukte aus.

Unter anderem aus den genannten Gründen wurde vom Autor im Laufe der letzten Jahre in Kooperation zwischen dem Geographischen Institut (Universität Düsseldorf) und dem

Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (Universität Hannover) ein Programm entwickelt, das eine einfache digitale Arbeitsstation in der Tradition der (semi-)analytischen Auswertegeräte 2. Ordnung darstellt und vor allem für den Einsatz in den oben genannten Fällen, aber auch für die Ausbildung gedacht ist und der Photogrammetrie neue Anwendungen erschließen soll.

Die Grundzüge dieses Programms sowie einige der auf die erwähnten Probleme besonders abgestimmten Optionen werden im folgenden erläutert, ferner einige Ergebnisse beispielhaft präsentiert.

2 Grundaufgaben der digitalen Photogrammetrie

Neben den selbstverständlichen Standardfunktionen wie Import-/Exportfilter, innere und äußere Bildorientierung usw. sollten digitale Stereoarbeitsstationen folgende Funktionalitäten aufweisen (u. a. nach HEIPKE 1995):

- Bildkoordinatenmessung für ATM, manuell bzw. automatisch
- Aerotriangulation / Blockausgleichung
- Objektkoordinatenmessung Mono oder Stereo, optional mit angekoppeltem DGM
- Automatische Ableitung eines DGMs
- Erzeugen von Orthobildern und Mosaiken

Alle genannten Optionen wurden realisiert. Dabei nehmen die letzten beiden Punkte eine besondere Stellung ein, zumal Orthobildmosaiken mit überlagertem Höhenbild und einfacher Situationsdarstellung nach wie vor eine gute (zumindest vorläufige) Alternative zu mittel- bis großmaßstäbigen topographischen Karten darstellen.

Die zur DGM-Erzeugung verwendete Methodik soll nachstehend kurz erläutert werden.

3 Automatische Bildzuordnung (matching)

DGMs werden traditionell aus zwei oder mehr sich überlappenden Bildern durch automatische Bildzuordnung (matching) gewonnen. Bezüglich der grundsätzlichen Vorgehensweise sind zwei Wege denkbar:

„Von oben nach unten“: Die gegenseitige Bildbewegung und -zuordnung erfolgt im *Bildraum* (Such- bzw. Mustermatrix), das Ergebnis sind *Bildkoordinaten* homologer Punkte. Diese müssen sodann via räumlichem Vorwärtsschnitt in Objektkoordinaten umgewandelt werden. Das Verfahren entspricht der Vorgehensweise in der analogen und analytischen Photogrammetrie: Korrespondierende Punkte werden mit der jeweiligen Messmarke eingestellt, die Strahlen [Projektionszentrum → Bildpunkt] bestimmt und zum Schnitt gebracht.

„Von unten nach oben“: Die gesamte Steuerung erfolgt im *Objektraum*. Die momentane Position sowie die beiden Projektionszentren des Stereomodells spannen eine Epipolarebene auf, durch Variieren der Höhe (z-Wert) verändern sich die Durchstoßpunkte in den Bildern (räumlicher Rückwärtsschnitt). Das Ergebnis sind *Objektkoordinaten*. Dieser auch

vertical line locus genannte Ansatz liegt dem hier vorgestellten Programm zugrunde.

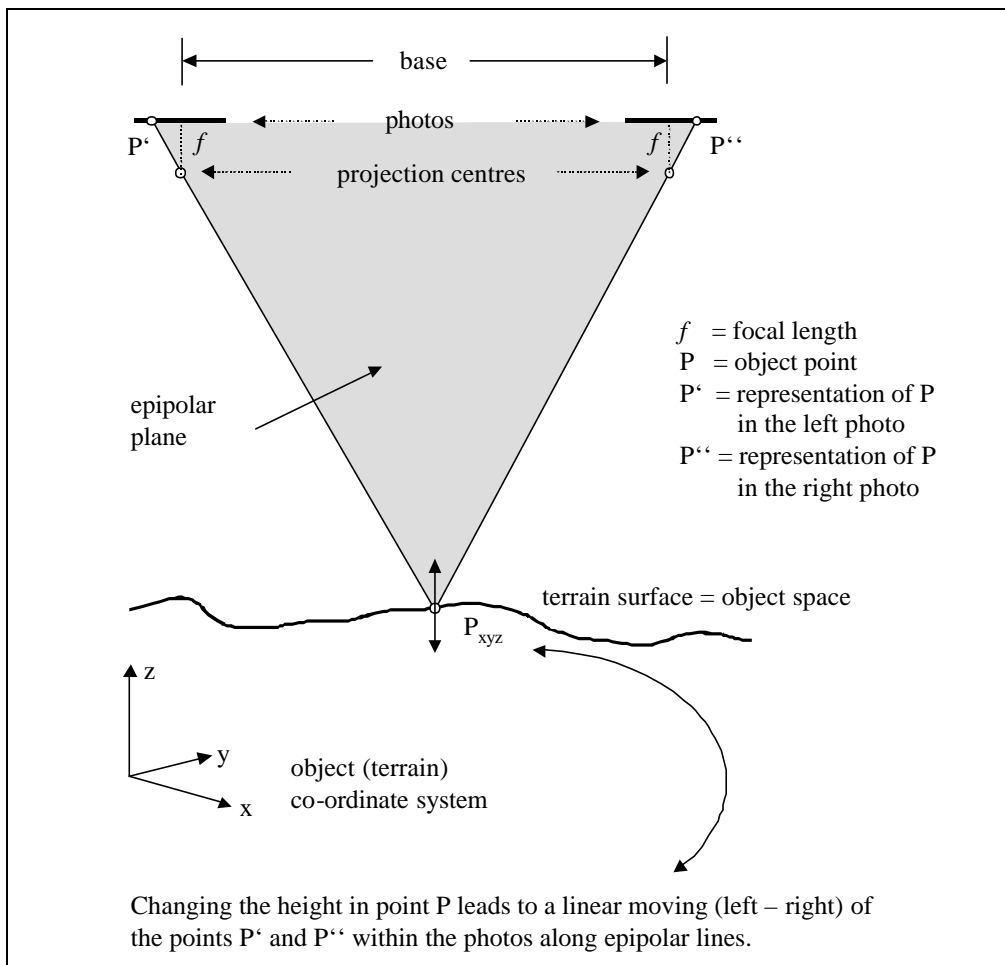


Abb. 1: Strahlengang im Stereomodell. Durch Verändern der Höhe bewegen sich die Durchstoßpunkte in den Bildern aufeinander zu bzw. voneinander weg. Aus LINDER (2003).

Die Festlegung der optimalen Position von z und damit der Durchstoßpunkte erfolgt über das bekannte *area based matching*, also durch einen reinen Vergleich von Grauwerten in Fenstern einstellbarer Größe – das Maximum des Korrelationskoeffizienten bestimmt dann die korrekte Höhe.

Der geschilderte Ansatz „von unten nach oben“ wird neben der Generierung von DGMs z.B. auch bei der Stereomessung (stereo plotting, feature extraction) sowie zur Erzeugung von Orthobildern verwendet. Trotz hohem internen Rechenaufwand – jede Positions-

änderung im Objektraum (x, y, z) erfordert das Aufstellen der Kollinearitätsgleichungen – konnte im Stereodisplay u. a. durch Verwendung eines Hochleistungs-Fortran-Compilers und Inline-Programmierung ein Echtzeit-Bewegen bei gleichzeitigem Echtzeit-Zugriff auf ein DGM zur korrekten Höheneinstellung erreicht werden.

4 Einige Spezialfälle

4.1 Luftbilder 23 x 23 cm, A4-Scanner

Da für die innere Orientierung von Luftbildern die an den Rändern eingespiegelten Rahmenmarken mit erfasst werden müssen, sind die weit verbreiteten preiswerten Büros Scanner mit Vorlagenformat A4 für die dann vorhandene Größe von ca. 23 x 23 cm nicht geeignet. Da schon aus Gründen geometrischer Genauigkeit auf höherwertige Geräte zurückgegriffen werden sollte und für die Verarbeitung von Filmmaterial ein Durchlichtaufsatz erforderlich ist, stellt der Scanner schon einen gewissen Kostenfaktor dar. Ordentliche Geräte, die eine Genauigkeit im Bereich von 50 μm und weniger erreichen, sind ab ca. 3000 Euro erhältlich. Eine Reihe von Untersuchungen zu geometrischer und radiometrischer Genauigkeit einfacher Scanner können ggf. zur Entscheidungsfindung dienen (vgl. z.B. BALTSAVIAS, P.B. & WAEGLI, B., 1996).

Was aber, wenn aus welchen Gründen auch immer nur ein A4-Gerät zur Verfügung steht? Das Programm bietet die Möglichkeit, Teilbilder automatisch im Stapelbetrieb hochgenau zusammenzufügen. Die Voraussetzungen sind:

- Das Einscannen der Bilder erfolgt in jeweils zwei Teilen. Hierzu wird zunächst der linke Bildteil in maximaler Breite gescannt, dann der rechte Bildteil ebenfalls in maximaler Breite. Es ergibt sich dadurch eine Überlappung von rund 80%.
- Die beiden Teile sind in einem gängigen Format (BMP, PCX, TIFF) abzuspeichern, wobei die Namensgebung an folgendem Beispiel deutlich wird: Bild Nr. 136 wird abgelegt unter 136_L.BMP (linker Teil) bzw. 136_R.BMP (rechter Teil).

Nach dem Import aller BMP-Dateien in das programmeigene IMA-Format (automatisch / Stapelbetrieb) kann dann ebenfalls im Stapelbetrieb das automatische Zusammenfügen der jeweiligen Bildteile durchgeführt werden. Im Überlappungsbereich werden gut verteilt bis zu 400 homologe Punkte gesucht und der rechte Bildteil über eine ebene Affintransformation an den linken angehängt.

Selbstverständlich ist die Genauigkeit etwas geringer als beim Scannen des gesamten Bildes mit einem A3-Scanner, dennoch bietet das beschriebene Verfahren eine Möglichkeit, dem hier verfolgten Grundsatz „Wenig ist mehr als nichts“ zu folgen.

4.2 Keinerlei Kamerainformation vorhanden

Zur Festlegung der inneren Orientierung werden (zumindest) die Sollkoordinaten der Rahmenmarken sowie die Kammerkonstante benötigt. Diese und weitere Angaben erhält man üblicherweise aus dem Kalibrierungszertifikat. Für den Fall, dass letzteres nicht verfügbar

ist und die Daten auch anderweitig nicht beschafft werden können, werden zwei Möglichkeiten angeboten:

- Zurückgreifen auf eine der angebotenen Standard-Kameradefinitionen (u. a. für Zeiss-RMK- und Wild-RC-Typen), dann mit der häufigsten Kamerakonstante von 153 mm beginnen, diese bei Bedarf ändern (z.B. auf 305 mm).
- Erstellen einer Pseudo-Kameradefinition mit Hilfe einer speziellen Option. Mindestens ein Paar gegenüberliegender Rahmenmarken müssen symmetrisch zum Bildhauptpunkt sein, ferner wird angenommen, dass die Koordinatenachsen senkrecht aufeinander stehen. Die Rahmenmarken sind dann zu messen. Unter Berücksichtigung der Scanauflösung werden sodann die Bildkoordinaten der Rahmenmarken ermittelt.

Das soeben beschriebene Verfahren sollte in mindestens zwei Bildern durchgeführt und die Ergebnisse gemittelt werden. Verbleibende Fehler können dann z.B. in einer anschließenden Blockausgleichung mit Hilfe zusätzlicher Parameter minimiert werden.

4.3 Höhere geometrische Verzeichnungen

Sowohl mittels Verwendung einfacher Büros Scanner digitalisierte Bilder als auch Aufnahmen von Amateurkameras weisen z. T. recht hohe geometrische Verzerrungen auf. Dies gilt etwa auch für Bilder von Digitalkameras, die mittlerweile immer häufiger für Nahbereichsanwendungen eingesetzt werden. Selbst höherwertige Geräte zeigen zum Bildrand hin Verzeichnungen (Parallaxen) von 5 Pixeln und mehr.

Solche Verzerrungen sind sowohl bei manueller Stereomessung als auch bei der automatischen Bildzuordnung hinderlich, können jedoch relativ leicht rechnerisch minimiert werden. Hierzu benötigt man eine gewisse Anzahl „sicherer“ Punkte – dieses können die zur äußeren Orientierung der Bilder verwendeten Passpunkte sein, manuell oder automatisch gemessene homologe Punkte, deren Objektkoordinaten nach einer Blockausgleichung bekannt sind, oder im orientierten Stereomodell manuell gemessene Punkte.

Je nach Anzahl dieser Punkte wird mit Hilfe einer ebenen Affintransformation oder Polynom 2. Ordnung sodann ein Parallaxenausgleich bestimmt. Bei hinreichender Punktzahl und guter Punktverteilung lassen sich die y-Parallaxen ohne weiteres auf weniger als ein Zehntel Pixel reduzieren.

5 Benutzerfreundlichkeit

Das hier präsentierte Programm soll, wie schon erwähnt, photogrammetrische Auswertemethoden auch in Kreise tragen, in denen diese Verfahren bislang aus unterschiedlichen Gründen nicht eingesetzt werden. Dies zu erreichen, sind eine Reihe von Punkten zu beachten, die letztlich zum Ziel haben, auch bei ungünstiger Ausgangslage (Bildmaterial usw.) und geringer Fachkenntnis schnell und sicher gute Ergebnisse zu erzielen. Im einzelnen wurde folgenden Aspekten besondere Aufmerksamkeit gewidmet:

- Hohe Fehlertoleranz in Bezug auf die Eingabedaten

- Umfangreiche Logiktests und Kontrollmöglichkeiten, aussagekräftige Fehlermeldungen
- Sinnvolle, individuell berechnete Vorgabewerte für Eingabeparameter
- Reduzierung der Eingabeparameter auf das notwendige Minimum
- Einsatz adaptiver Parameter
- Ausschließliches Verwenden von Standardhardware
- Didaktisch gut aufbereitetes Tutorial
- Mehrsprachigkeit (z. Zt. deutsch, englisch, spanisch verfügbar)
- Preisgestaltung: Programm und Updates gratis im Internet
- Support über Internet in deutsch, englisch oder spanisch

Als ein Beispiel soll kurz auf den zweiten Punkt eingegangen werden: Nach innerer und äußerer Orientierung der Bilder ist das jeweilig zu bearbeitende Stereomodell zu definieren. Neben der oben genannten Korrektur der y-Parallaxen erfolgt u. a. ein Test, ob linkes bzw. rechtes Bild nicht vertauscht sind – ggf. wird eine entsprechende Fehlermeldung ausgegeben. Zusätzlich kann ein Testbild erzeugt werden, welches beide Bilder nebeneinander montiert zeigt und der raschen visuellen Kontrolle dient, ob die Bilder etwa vertauscht oder gedreht sind:

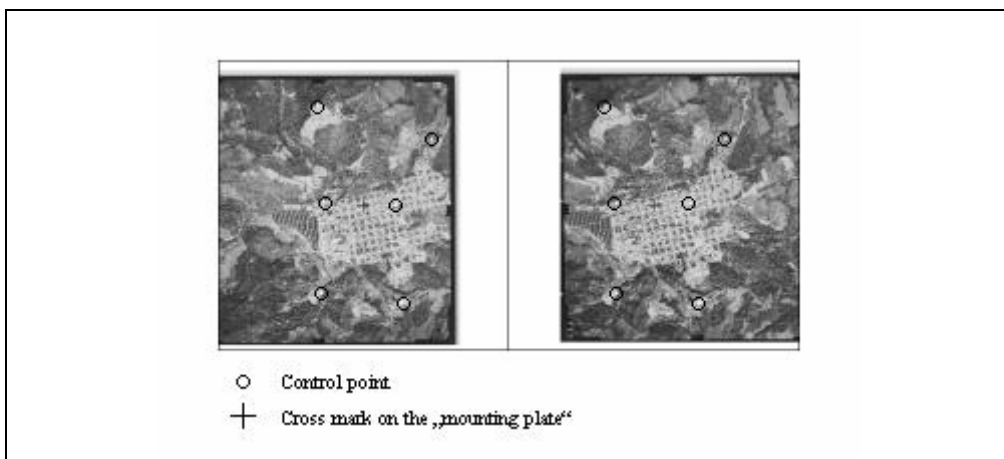


Abb. 2: Testbild eines Stereomodells. Beide Bilder sind so dargestellt, wie man sie auf einer Stahlplatte nebeneinander zur Betrachtung mit einem Spiegelstereoskop montieren würde.

Ein weiteres Beispiel: Um bei der Erstellung von Orthobildmosaiken gute Ergebnisse zu erzielen, muss zunächst ein möglichst genaues, hoch auflösendes DGM existieren. Dieses wird automatisch über Stereokorrelation (matching, s. o.) gewonnen. Die Orthobilder werden sodann Pixel für Pixel über indirektes Resampling („von unten nach oben“) gewonnen, so dass keine Lücken im Orthobild entstehen. Liegen mehrere orientierte Bilder vor (z.B. ein ganzer Block), erfolgt die Orthobild- und Mosaikgenerierung in einem einzigen Durchgang unter Berücksichtigung der Regel „Nächster Nadir“, wodurch von vornherein Objekte aus *dem* Bild genommen werden, in welchem sie geringste radialsymmetrische Ver-

zerrungen aufweisen (vgl. auch MAYR 2002). Ein speziell entwickeltes Verfahren sorgt für einen stufenlosen Grauwertabgleich – Nahtstellen sind nicht sichtbar.

6 Ergebnisse: Einige Beispiele

Nachstehend werden drei Produkte eines Stereomodells präsentiert. Es zeigt ein Gebiet um die Stadt Caicedonia in Kolumbien.

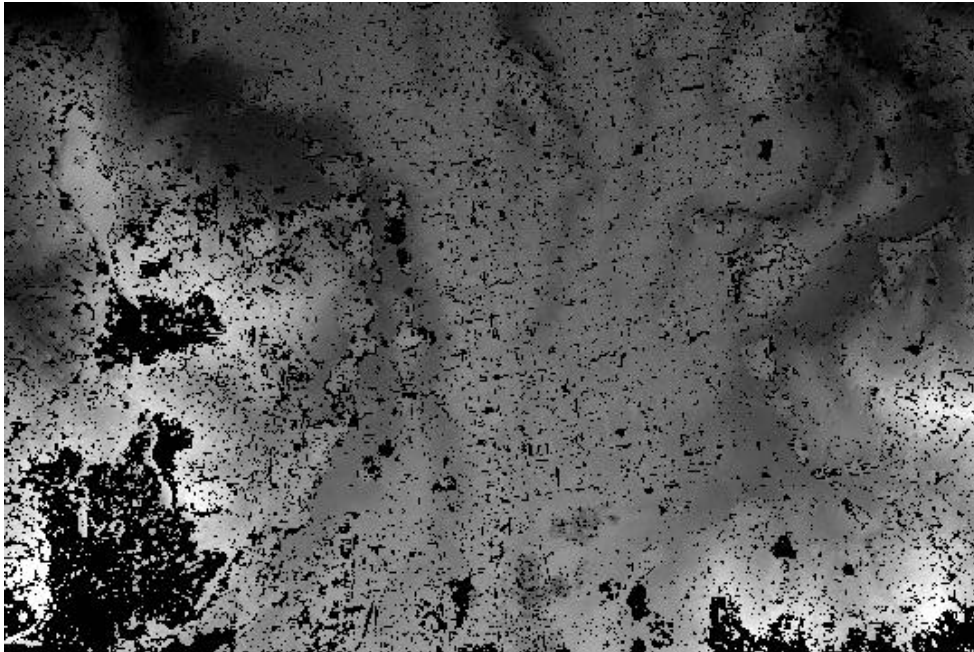


Abb. 3: Durch Stereokorrelation gewonnenes DGM. Insgesamt 155510 Punkte (Pixel im DGM) wurden in 37 Sekunden gewonnen, was einer Rate von ca. 4200 Punkten pro Sekunde entspricht. Das Ergebnis wurde eingefärbt, um die Strukturen zu verdeutlichen (hier in Graustufen wiedergegeben). In den schwarzen Gebieten wurde nicht korreliert (geringer Kontrast usw.)

In den Gebieten, in denen die Korrelation fehlschlug, können gezielt zusätzliche Punkte manuell (z.B. in Gitteranordnung) gemessen werden. Eine anschließende Interpolation erzeugt dann ein vollständiges DGM (genauer: DSM), welches abschließend mit Hilfe eines Mittelwertfilters geglättet werden sollte. Das Endprodukt dient z.B. zur Erstellung eines Orthobildes oder der Ableitung von Höhenlinien, wie die nächste Abbildung zeigt:

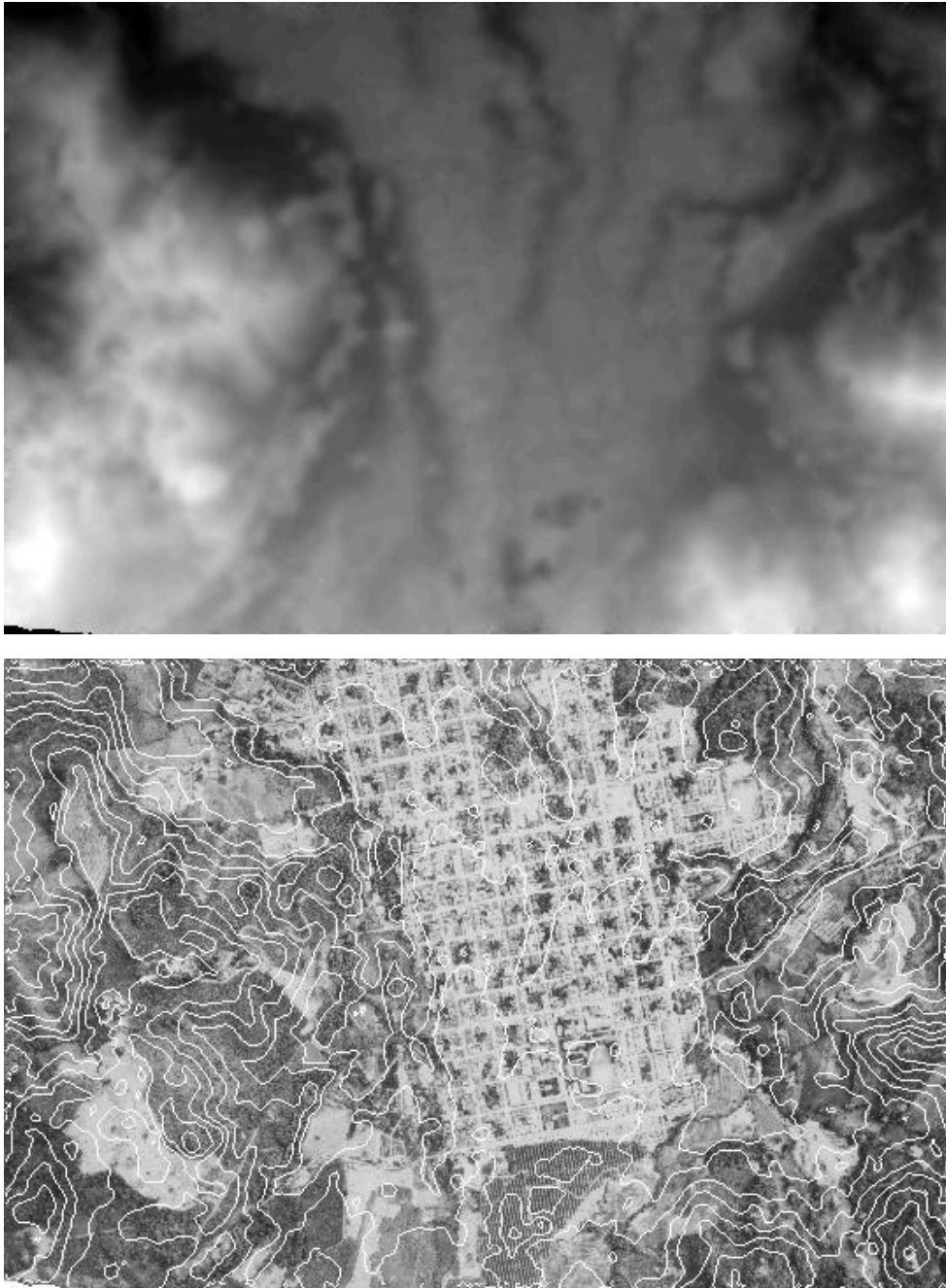


Abb. 4: Oben DGM via Interpolation vervollständigt, unten Orthobild, überlagert mit 10m-Höhenlinien, aus dem DGM gewonnen.

Es sei abschließend darauf hingewiesen, dass durch Stereokorrelation kein eigentliches DGM (= Höhenwerte beziehen sich auf die Erdoberfläche), sondern ein DSM (= Höhenwerte beziehen sich auf die Objektoberfläche) erzeugt wird. Dies ist für die Produktion von Orthobildern optimal, zur Ableitung von Höhenlinien aber hinderlich. Verschiedene Methoden sind entwickelt worden, um aus dem DSM ein DGM zu gewinnen (vgl. JACOBSEN 2001).

7 Literatur

- Baltsavias, P.B. and Waegli, B. (1996): Quality analysis and calibration of DTP scanners. IAPRS, Vol. 31, Part B1, pp 13-19.
- Heipke, C. (1995): State-of-the-art of Digital Photogrammetric Workstations for Topographic Applications. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 61, pp 49-56.
- Jacobsen, K. (2001): New Developments in Digital Elevation Modelling. GeoInformatics No. 4, pp 18 - 21.
- Konecny, G. (1984): Photogrammetrie. 4. Auflage, Berlin, New York, 392 S.
- Linder, W. (2003): Digital Photogrammetry – Theory and Applications. Heidelberg, Berlin, New York. (Im Druck).
- Mayr, W. (2002): Bemerkungen zum Thema „True Orthoimage“. PFG, H. 4, S. 237-244.
- Mustaffar, M. & Mitchell, H.L. (2001): Improving area-based matching by using surface gradients in the pixel co-ordinate transformation. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 56, pp 42-52.
- Schenk, T. (1999): Digital Photogrammetry, Volume I. Terra Science, Laurelville, 428 p.
- Zhang, B. & Miller, S. (1997): Adaptive Automatic Terrain Extraction. Proceedings SPIE Vol. 3072, pp 27-36.