

Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Band: 107 (2009)

Heft: 9

Artikel: Photogrammetrie mit Shift und Tilt : Nahbereichsanwendungen aus den
Geowissenschaften

Autor: Rieke-Zapp, Dirk / Ebert, Andreas

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-236631>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.11.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Photogrammetrie mit Shift und Tilt

Nahbereichsanwendungen aus den Geowissenschaften

Im Bereich der Erdwissenschaften werden Standardmethoden sowohl aus der Nahbereichsphotogrammetrie als auch aus Luftbildphotogrammetrie angewendet. In vielen Fällen bilden Digitale Höhenmodelle (DHM) die Grundlage für weiterführende Analysen. Für solche Anwendungen ist ein Kamerasystem mit grossem Bildsensor und hoher geometrischer Stabilität von grossem Vorteil, da weniger Aufnahmen vom Objekt gemacht und später analysiert werden müssen. Eine grosse Anzahl Pixel vereinfacht ausserdem die Generierung hochauflösender DHM durch Bildkorrelation. Spezialanwendungen, wie das Arbeiten mit versetzter Hauptpunktlage (Shift) oder die Schärfendehnung nach Scheimpflug (Tilt), erlauben zum einen eine optimale Ausnutzung der Sensorfläche, zum anderen den Einsatz der Photogrammetrie unter nicht-alltäglichen Bedingungen. Es werden Beispiele für Shift- und Tilt-Anwendungen gezeigt. Eine Genauigkeitsuntersuchung der Alpa 12 Metric schliesst diesen Bericht ab.

Dans le domaine des sciences de la terre on emploie des méthodes standard utilisées aussi bien en photogrammétrie rapprochée qu'en photogrammétrie aérienne. Dans beaucoup de cas les Modèles numériques de terrain (MNT) constituent la base pour des analyses plus poussées. Pour de telles applications on utilisera d'avantage un système de caméra disposant d'un grand senseur d'image et garantissant une stabilité géométrique élevée ce qui nécessitera moins de prises de l'objet et moins d'analyses par la suite. En plus, un grand nombre de pixels simplifiera la génération de MNT à haute résolution par des corrélations d'images. Des applications spéciales telles que les travaux de déplacement des points principaux (shift) ou d'extension du champ d'acuité selon Scheimpflug (tilt) permettent d'une part une utilisation optimale de la surface du senseur et d'autre part l'emploi de la photogrammétrie dans des conditions non ordinaires. On montrera ci-après des exemples d'applications shift et tilt. En fin d'exposé figurera une analyse de précision de l'Alpa Metric 12.

Nel campo delle scienze della Terra si applicano delle metodologie standard sia della fotogrammetria di prossimità come pure dalla fotogrammetria aerea. In molti casi i modelli digitali del terreno (DHM) fungono da base per analisi approfondite. Per questo tipo di applicazioni conviene disporre di un sistema di telecamera professionale con grande sensore delle immagini e elevata stabilità geometrica, che consente di fare pochi scatti dell'oggetto per avere in seguito meno immagini da analizzare. Un gran numero di pixel semplifica anche l'allestimento dei modelli digitali del terreno ad alta risoluzione, tramite correzione dell'immagine. Speciali applicazioni – come il lavoro con posizione spostata dei punti principali (Shift) o l'estensione della messa a fuoco secondo Scheimpflug (Tilt) – consentono, da una parte, l'uso ottimale della superficie del sensore e dall'altra l'impiego della fotogrammetria in condizioni non quotidiane. Si mostrano degli esempi per le applicazioni Shift e Tilt. Il rapporto si chiude con un'indagine di precisione dell'Alpa 12 Metric.

D. Rieke-Zapp, A. Ebert

Für die Quantifizierung von Prozessen an der Erdoberfläche oder die Erfassung von geologischen Aufschlüssen verwenden Geowissenschaftler ganz unterschiedliche Messsysteme. Verschiedene optische 3D-Messverfahren wie Photogrammetrie, Laserscanning, und hybride Systeme kommen zum Einsatz. Die Photogrammetrie hat hierbei den Vorteil, dass neben den geometrischen Daten auch die Bildinformation zur Verfügung steht und, dass mit einem Kamerasystem ganz unterschiedliche Objektgrössen erfasst werden können. Kameras lassen sich zudem terrestrisch oder aus der Luft einsetzen. Am Institut für Geologie der Universität Bern wird die digitale Photogrammetrie seit einigen Jahren für Messaufgaben eingesetzt. Für die Quantifizierung von Prozessen werden in der Regel Digitale Höhenmodelle (DHM) mit semi-metrischen Kameras erzeugt. Für solche Auswertungen sollen die Kameras nicht nur eine möglichst gute geometrische Genauigkeit besitzen, sondern auch eine möglichst grosse Anzahl Pixel aufweisen. Dies reduziert nicht nur die Anzahl der zu orientierenden Aufnahmen, sondern ist auch bei der Verwendung von Bildkorrelationsverfahren zur DHM-Generierung von Vorteil. Experimentiert wurde in den letzten Jahren zudem mit versetzter Hauptpunktlage (Shift) sowie mit Verschwenken des Objektivs zur Sensorebene zur Schärfendehnung nach Scheimpflug (Tilt).

Verschieben der Hauptpunktlage

Die photogrammetrische Aufnahmetechnik hat sich von jeher an den Techniken der Fotografie orientiert. In der Pionierzeit der analogen Photogrammetrie wurden von Meydenbauer und Pulfrich bereits Kameras mit Shiftmöglichkeit – Verschieben der Hauptpunktlage – für die Aufnahme terrestrischer Objekte verwendet (Meydenbauer [1]: «Methode Pulfrich»; Abb. 1). Solche Kameras wurden

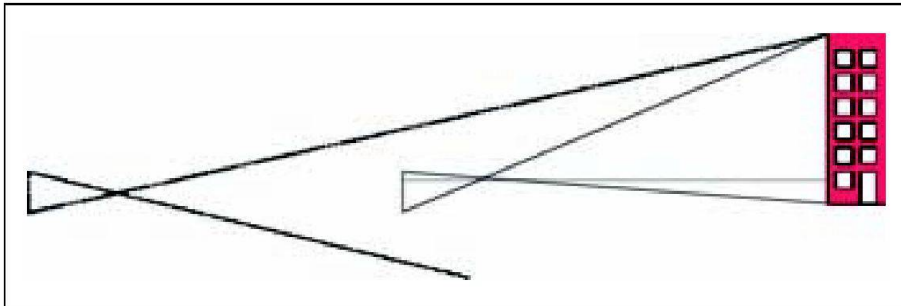


Abb. 1: Eine Kamera mit versetzter Hauptpunktlage (Mitte) ermöglicht eine optimale Ausnutzung der Sensorfläche bei der Aufnahme von hohen Objekten und Ausrichtung des Sensors parallel zur Fassade. Der effektive Bildmassstab ist grösser als bei einer normalen Kamera. Auf diese Art lassen sich terrestrisch Hausfassaden, geologische Aufschlüsse oder ähnliche Objekte erfassen.

später oft als «terrestrische» Aufnahmekammern bezeichnet. Bekannt sind vor allem die Wild-Kameras P31 und P32 aus den 1970er Jahren. Als Tilt wird das Verschwenken des Objektivs relativ zum Aufnahmesensor bezeichnet. In der Nahbereichsphotogrammetrie werden heute fast ausschliesslich Kameras verwendet, die nicht speziell für photogrammetrische Aufgaben vorgesehen sind. Nur sehr wenige dieser fast ausschliesslich digitalen Kameras erlauben das Arbeiten mit Shift oder Tilt.

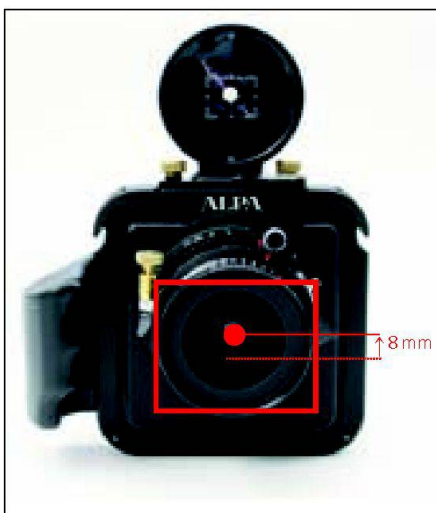


Abb. 2: Alpha 12 TC mit Schneider Apo-Digital 47 mm und Leaf Aptus 75 Digitalrückteil. Der Hauptpunkt des Objektivs wurde fix um 8 mm nach oben gesetzt. Die Sensorfläche wurde mit einem roten Kasten dargestellt, die Lage des Hauptpunkts mit einem roten Punkt.

wird. Im Alpha 12 System (Abb. 2) stehen solche Objektive zur Verfügung, die auch für digitale Sensoren optimiert sind. Der Versatz der Hauptpunktlage erlaubt die volle Ausnutzung des Bildformats bei einheitlichem Bildmassstab. Die parallele Ausrichtung zum Objekt ist optimal geeignet, wenn mit Bildkorrelationsverfahren gearbeitet wird oder Aufnahmen zur Texturierung von Oberflächen gemacht werden. Die Tiefenschärfe der Aufnahmen bereitet zudem weniger Probleme als bei schräggestellter Kamera. Mit einer solchen Kamera lassen sich nicht nur Gebäude und Aufschlüsse ohne Schrägstellung der Kamera erfassen, im Zweibildfall lässt sich mit einem Versatz der Hauptpunktlage ein auch grösserer Stereobereich erreichen, ohne dass die Basis verkürzt werden muss (Abb. 3, Tab. 1).

Grundvoraussetzung für das Verschieben der Hauptpunktlage sind Objektive, die einen Bildkreis erfassen, der gross genug ist, damit der Aufnahmesensor auch nach dem Verschieben noch voll abgedeckt

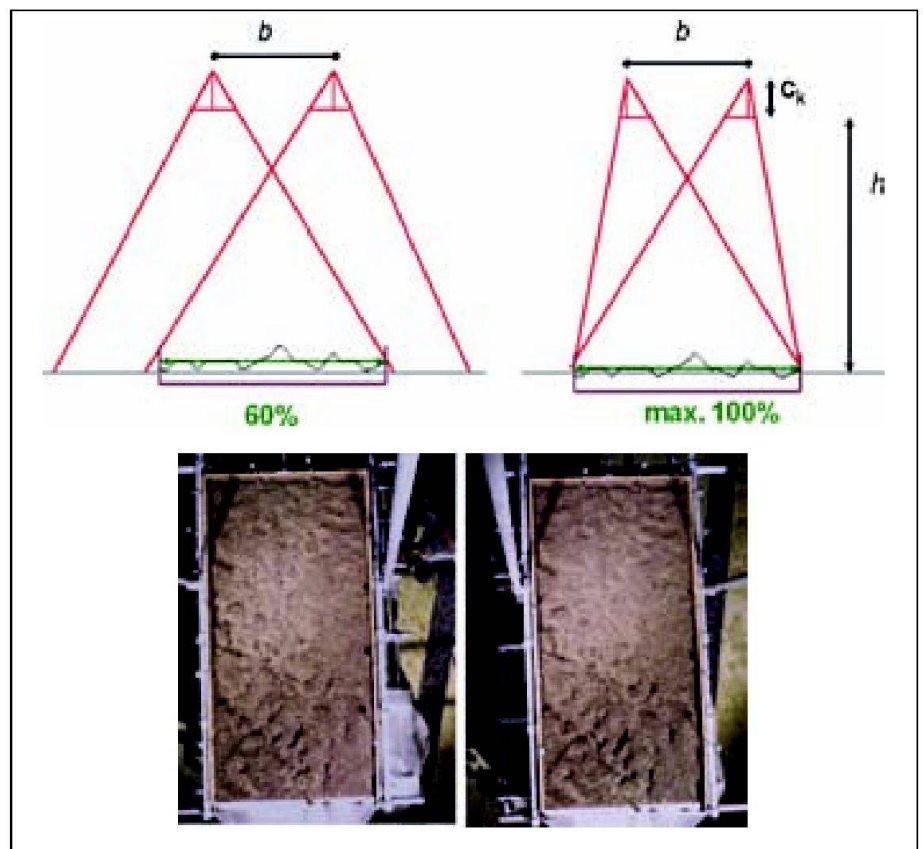


Abb. 3: Durch Verschieben der Hauptpunktlage lässt sich im Zweibildfall eine Stereoüberlappung von bis zu 100% erreichen (Grafik oben). Auf diese Art wird der Sensor optimal ausgenutzt. Die Basis (b) zwischen den Kameras kann dabei erhalten bleiben, Kammerkontante (c_k) und Flughöhe (h) werden nicht beeinflusst. Im Bildbeispiel (unten) wurde durch einen Versatz der Hauptpunktlage um 8 mm der Stereobereich von 60 auf 77% erweitert.

	Konstante Höhe & Basis ohne/mit Versatz		Maximale Überlappung verschiedene Digitalrückteile	
Geforderte Stereo- abdeckung (m ²)	1,3 x 2,3*	1,3 x 2,3*	1,3 x 2,3*	1,3 x 2,3*
Versatz der Haupt- punktlage (mm)	0	8	8	8
Stereoüberlappung (%)	60	77	100	100
Kammerkonstante (mm)	47	47	47	47
Digitalrückteil	Leaf Aptus 75	Leaf Aptus 75	Leaf Aptus 75	Leaf Aptus II-10
Sensor (mm ²)	36 x 48	36 x 48	36 x 48	36 x 56
Pixelanzahl	5040 x 6666	5040 x 6666	5040 x 6666	6000 x 9334
Pixelabstand (µm)	7,2	7,2	7,2	6
Massstabszahl	61	61	36	36
Höhe (m)	2,9	2,9	1,7	1,7
Basis (m)	0,9	0,9	0,6	0,6
Auflösung (mm/Pixel)	0,44	0,44	0,25	0,22

* Für den rechteckigen Sensor wurde mit einer Überlappung in Richtung der kürzeren Sensorseite gerechnet.

Tab. 1: Aufnahmeplanung für ein Beispielprojekt und unterschiedliche Aufnahmeszenarien.

Stereoüberlappungen von 100% sind theoretisch möglich (Tab. 1).

Das Verhältnis der Sensorbreite bei einem 36 mm breiten Sensor ändert sich von 18 mm : 18 mm für die beiden Halbseiten zu 26 mm : 10 mm bei einem Versatz der Hauptpunktlage um 8 mm. Dies führt zu einem asymmetrischen Bildfeld, welches Probleme bei der Kamerakalibrierung bereiten kann. Ausserdem nimmt die optische Qualität der Objektive zum Rand des Bildkreises ab, so dass es nicht ratsam ist, mit extremen Versatzdistanzen zu arbeiten. Eine Kalibrierung einer Alfa 12 TC nach VDI/VDE 2631 Blatt 1 [2] ergab ohne Versatz der Hauptpunktlage eine maximale Längenmessabweichung von 0.056 mm. Bei Versatz der Hauptpunktlage um 8 mm ergab sich mit dem gleichen Testaufbau eine maximale Längenmessabweichung von 0.070 mm [3]. Der Unterschied dieser beiden Messwerte ist in der Praxis wenig relevant. Ausserdem wiegen

die Vorteile, welche sich durch die Verschiebung des Hauptpunktes ergeben, den leichten Genauigkeitsverlust in den meisten Anwendungsfällen wieder auf. Die Bildanordnung mit 77% Stereoüberlappung (Tab. 1) wurde in Bodenerosionsexperimenten an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft in Birmensdorf eingesetzt, um die Veränderungen von Bodenoberflächen in Regensimulationsversuchen zu untersuchen. Die Erfassung der gesamten Fläche mit nur zwei Bildern hat Aufnahme- und Auswertzeit erheblich verringert. Die Auflösung der Bilder war für die Generierung von DHM mit Rasterweiten von 3 mm durch Bildkorrelation ausreichend. Ohne Versatz der Hauptpunktlage wären in diesem Fall 40% der Sensorfläche ungenutzt geblieben und die Bildauflösung wäre zu gering gewesen, um ein so dichtes DHM aus zwei Bildern zu erstellen.

Schärfendehnung nach Scheimpflug

Durch Verkipfung der Sensorebene zur Objektivenebene lässt sich die Schärfenebene im Objektraum verlagern. Das Vorgehen wird auch als Scheimpflug-Verstellung oder Tilt bezeichnet. Nur wenige Kameras erlauben eine solche Verstellung, die für Sonderanwendungen in der Photogrammetrie sehr nützlich sein kann. Für ein Projekt zur Herkunftsanalyse von Marmoren wurden ebene, polierte Marmoroberflächen aufgenommen und anschliessend die Korngrenzen der Kalzit-Kristalle digitalisiert, um Korngrössen- und Kornformverteilungen für Marmore aus verschiedenen Gebieten vergleichen zu können. Da es sich in diesem Fall um polierte, ebene Flächen auf den Handstücken handelte, wurden die Bilder projektiv entzerrt (Einzelbildphotogrammetrie). Aufgenommen wurden die Bilder mit einer Combo-Ultima-23-Kamera, an welche ein Leaf-Digitalrückteil und ein 100-mm-Schneider-Kreuznach-Objektiv angeschlossen wurden. Der Bildkreis des Objektivs und die Verstellmöglichkeiten der Kamera waren gross genug, um mit extremen Scheimpflugwinkeln arbeiten zu können (Abb. 4). Gearbeitet wurde mit einem Scheimpflugwinkel von 20°, die Pixelweite am Objekt betrug 0,036 mm. Die Handstücke hatten eine durchschnittliche Grösse von 20 x 20 cm². Bei einem Bildmassstab von 1:5 hätte die Tiefenschärfe ohne Tilt ungefähr 7 mm betragen. Mit dem Scheimpflugaufbau wurde die gesamte Fläche scharf abgebildet. Auf den Handstücken wurden Passpunkte markiert, deren 2D-Koordinaten vorab mit einer Genauigkeit von 0,05 mm ermittelt wurden. Die Handstücke mussten von mehreren Seiten aufgenommen werden, da je nach Ausrichtung der Beleuchtung und variierendem Reflexionsgrad der Kalzit-Kristalle andere Kristalle auf dem Handstück zu erkennen waren (Abb. 5). Die RMSE-Abweichungen der Passpunktkoordinaten aus der Einzelbildentzerrung lagen bei maximal 0,05 mm. Dies entspricht ungefähr 1,5 Pixeln im Bildraum und reichte für das Projekt aus, da die

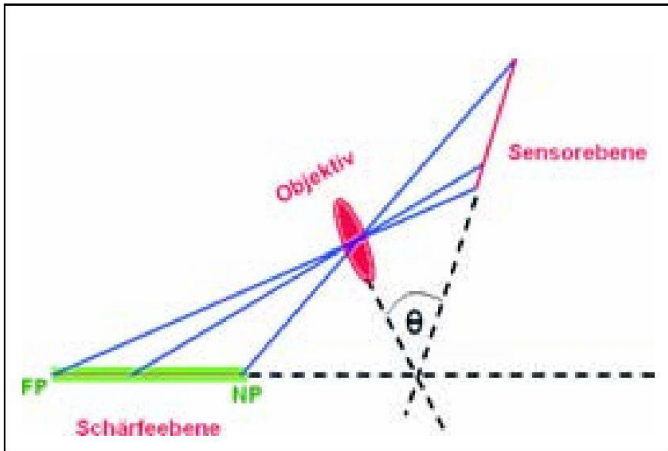


Abb. 4: Durch Verschenken der Objektivenebene zur Sensorebene reicht die Schärfeebene im Objektraum von Nah(NP)- bis Fernpunkt (FP) auf dem aufzunehmenden Handstück. Der Scheimpflugwinkel (θ) betrug in diesem Fall ungefähr 20° . Schärfeebene, Objektivenebene und Sensorebene schneiden sich in einem Punkt in der Abbildung.

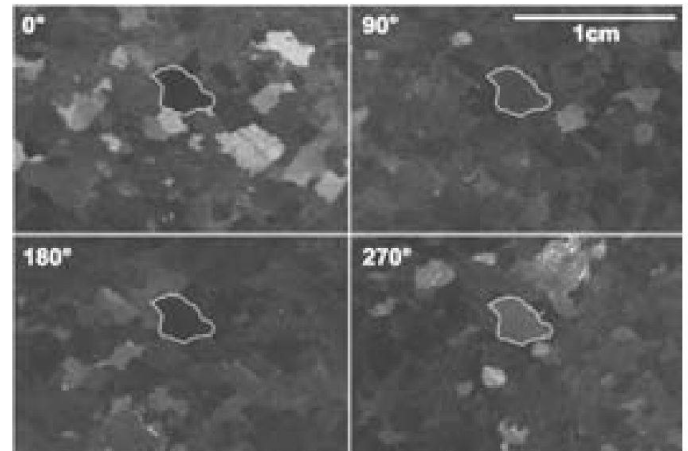


Abb. 5: Von jedem Handstück wurde die Marmoroberfläche aus vier verschiedenen Blickrichtungen aufgenommen, da je nach Richtung der Beleuchtung bzw. Aufnahmeblickwinkel die Reflexion der einzelnen Kalzit-Kristalle unterschiedlich ist.

Korngrenzen schwer zu identifizieren waren und von Hand digitalisiert wurden. Die Erfassung der Handstücke mit einer Fachkamera ermöglichte es, auch grosse Kristalle zu erfassen, die mit etablierten Verfahren, wie der Lichtmikroskopie, nicht mehr ausgewertet werden können [4].

Genauigkeitsuntersuchungen

Die grössten digitalen Sensoren finden sich in digitalen Kamerarückteilen für Mittelformatkameras. Pro Bild stehen hier weit mehr Pixel zur Verfügung und die Bildqualität ist meist besser als bei kleinformatigen Systemen, die in der Regel auf 35-mm-Systemen beruhen. Kleinformatige Systeme sind dagegen häufig kompakter und erlauben das Arbeiten mit hohen ISO-Empfindlichkeiten. Digitale Mittelformatkameras besitzen mehr austauschbare Teile als kleinformatige Kameras. An Mittelformatkameras können meist sowohl das Rückteil als auch das Objektiv ausgetauscht werden. Die wechselbaren Teile sind zudem schwerer und die Brennweiten der Objektive länger als bei Systemen mit kleineren Sensoren. Das hat zur Folge, dass auf die Verbindungen der Einzelteile stärkere Kräfte wirken als bei Kameras mit kleineren Sensoren, was

einen negativen Einfluss auf die geometrische Genauigkeit dieser Kameraklasse hat. Untersuchungen zur Genauigkeit verschiedener Kameras haben gezeigt, dass das Genauigkeitspotenzial digitaler Mittelformatsysteme oft nicht vollständig ausgenutzt werden kann [5]. Damit die Vorteile von digitalen Mittelformatkameras genutzt werden können, müssen diese Kameras geometrisch stabilisiert werden. Aus diesem Grund wurde durch Zusammenarbeit mit der Firma Alpa aus Zürich eine Alpa-12-Kamera an den me-

chanischen Schnittstellen mit Schrauben fixiert (Abb. 6). Digitalrückteil und Objektiv wurden nicht modifiziert, damit Garantiebestimmungen nicht eingeschränkt werden und alle Teile des Alpa-Systems verwendet werden können, inklusive Shift- und Tilt-Lösungen. Die erreichbare Genauigkeit am Objekt wurde nach VDI/VDE 2634 Blatt 1 [2] getestet. Der Prüfkörper hatte Ausmasse von $2 \times 2 \times 1,5 \text{ m}^3$. Messlinien wurden in dem Volumen nach VDI/VDE Vorgaben platziert. Rund 90 Aufnahmen im Rundumverband



Abb. 6: Alpa 12 Metric mit 35-mm-Rodenstock-Objektiv und Leaf Aptus 75 Digitalrückteil. An den rot markierten Stellen wurde die Kamera mit Schrauben stabilisiert. Das Rückteil wird von hinten an den Kamerakörper angedrückt.

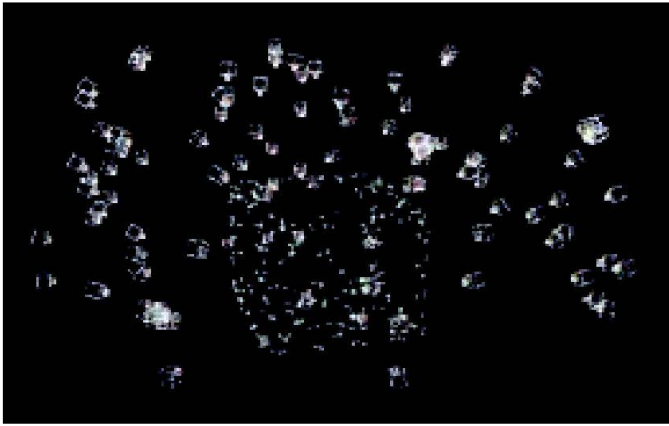


Abb. 7: Das Messvolumen wurde in einem Rundumverband aufgenommen. Im Bild sind die Kamerastandpunkte zu erkennen. In der Mitte des Messvolumens befindet sich der Systemmassstab. Die Kreuze markieren signalisierte Punkte auf dem Messkörper.

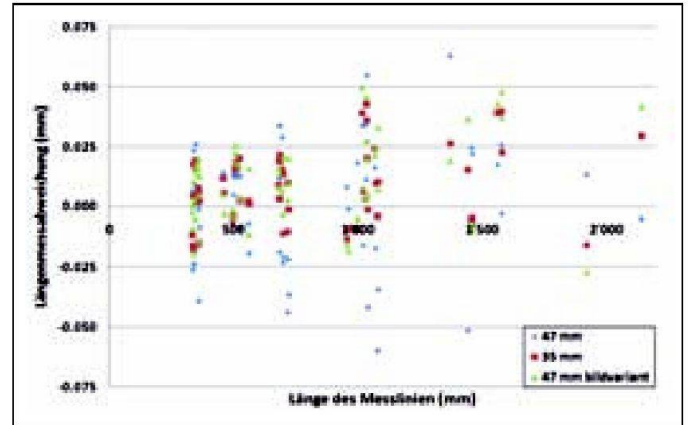


Abb. 8: Längenmessabweichungen der getesteten Objektive. Mit bildvarianter Kalibrierung sinkt die maximale Längenmessabweichung beim 47-mm-Objektiv von 0,063 auf 0,050 mm. Beim 35-mm-Objektiv beträgt die grösste Längenmessabweichung 0,043 mm.

wurden von dem Prüfkörper gemacht, wobei auch Aufnahmen in verschiedenen Kameralagen gemacht wurden (Abb. 7). In einer Bündelausgleichung mit Selbstkalibrierung mit Aicon 3D-Studio-Software wurden 3D-Koordinaten für alle Punkte im Messvolumen berechnet. Skaliert wurden die Messergebnisse durch einen Systemmassstab, der in der Mitte des Messvolumens platziert wurde. Informationen zu den Messlinien gingen nicht in die Ausgleichung ein. Nach der Ausgleichung wurden die berechneten Strecken auf den Messlinien mit den bekannten Strecken auf den Messlinien verglichen. Die grösste absolute Abweichung dieser Längen bezeichnet den maximalen Längenmessfehler des photogrammetrischen Aufnahme- und Auswertesystems. Die Alpha 12 Metric wurde mit zwei verschiedenen Objektiven getestet. Zum einen mit einem 47-mm-Schneider-Kreuznach-Apo-Digitar, bei dem die Entfernungseinstellung mit Klebeband fixiert war, zum anderen mit einem 35-mm-Schneider-Kreuznach-Apo-Digitar, bei dem die Entfernungseinstellung mechanisch fixiert war. Die maximalen Längenmessabweichungen betragen für das 47- und das 35-mm-Objektiv 0,063 und 0,043 mm im Objektraum (Abb. 8). Die innere Genauigkeit der ausgeglichenen 3D-Koordinaten betrug ungefähr 0,008 mm in beiden Fällen. Der schlechtere Wert für das 47-mm-Objektiv lässt sich vermutlich auf mechanisches Spiel in der Entfernungseinstellung zurückführen, welches zu einer weniger stabilen inneren Orientierung führt. Berechnet man die Lage des Hauptpunktes für jedes Bild sepa-

rat, erhält man eine maximale Längenmessabweichung von 0,050 mm (bildvariante Messung in Abb. 8). Das gleiche Vorgehen führt beim 35-mm-Objektiv mit fixiertem Tubus zu keiner Verbesserung der Längenmessabweichung. Das Messvolumen war ursprünglich konzipiert, um Genauigkeiten am Objekt von 0,050 mm belegen zu können. Der positive Trend bei den Längenmessabweichungen für die Kalibrierung des 35-mm-Objektives sowie der bildvarianten Kalibrierung des 47 mm weisen auf einen Skalierungsfehler hin. Die Genauigkeit des Systemmassstabes limitiert in diesem Fall vermutlich die erreichbare Genauigkeit der Kameras. Messlinien und Systemmassstab waren zertifiziert durch den Deutschen Kalibrierdienst (DKD).

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Alpha 12 Metric nicht nur für erdwissenschaftliche Anwendungen eignet, sondern auch für hochgenaue Messaufgaben in der Industrie. Die grosse Pixelzahl verringert die Anzahl Aufnahmen, die man benötigt, um ein Objekt zu erfassen und ist optimal für Bildkorrelationsverfahren geeignet. Die Kamera wurde in den letzten Jahren auch ausserhalb der Geologie für verschiedene Messaufgaben eingesetzt: Zur Dokumentation von Denkmälern (Archäologie), zur Digitalisierung von Stadtmodellen (Informatik), für Handaufnahmen aus dem Helikopter (Vermessungsbüros) oder als Luftbildkamera (Vermessungsbüros).

Literatur:

[1] Meydenbauer, A. (1912): Handbuch der Messbildkunst. Wilhelm Knapp, Halle a S. 245S.

[2] VDI/DE, 2002. VDI/DE 2634 Blatt 1, Optische 3D-Messsysteme – Bildgebende Systeme mit punktförmiger Antastung. Beuth Verlag, Berlin.

[3] Rieke-Zapp, D. H., J. Peipe (2006): Performance evaluation of a 33 megapixel alpha 12 medium format camera for digital close range photogrammetry. Image Engineering and Vision Metrology – Proc. ISPRS Comm. V Symp., 25–27 Sept. 2006, Dresden, Germany.

[4] Ebert, A., D. Rieke-Zapp, M. Herwegh, K. Ramseyer, E. Gnos, D. Decrouez (2009). Microstructures of coarse grained marbles, analyzed using a new technique based on the bireflectance of calcite. Tectonophysics, 463:175–184.

[5] Rieke-Zapp, D., W. Tecklenburg, J. Peipe, H. Hastedt, C. Haig (2009). Evaluation of the geometric stability and the accuracy potential of digital cameras – Comparing mechanical stabilization versus parameterisation. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64(3): 248–258.

Dirk Rieke-Zapp
Institut für Geologie
Universität Bern
Baltzerstrasse 1+3
CH-3012 Bern
zapp@geo.unibe.ch

Andreas Ebert
Geothermal Explorers International LTD
Schlossstrasse 3
CH-4133 Pratteln
andreas.ebert@geothermal.ch