

Zertifizierung von Software zur Bündelausgleichung in der Nahbereichsphotogrammetrie

THOMAS LUHMANN¹, JÜRGEN PEIPE² & WERNER TECKLENBURG³

Zusammenfassung: Es wird vorgeschlagen, Softwaretests auf der Grundlage simulierter Daten vorzunehmen, um die Leistungsfähigkeit kommerzieller Programme zur Bündelausgleichung in der Nahbereichsphotogrammetrie zu untersuchen. Der Beitrag soll eine Diskussion über die Notwendigkeit und sinnvolle Vorgehensweisen einer Zertifizierung dieser Software in Gang setzen.

1 Einleitung

Zur Abnahme und Überwachung optischer 3D-Messsysteme hat sich in den letzten Jahren die VDI/VDE-Richtlinie 2634 bewährt. In Blatt 1 werden Messsysteme mit punktförmiger Antastung behandelt. Sie bestehen in der Regel aus einer oder mehreren Digitalkameras, einem Rechner mit Software zur Bildmessung, Bildorientierung und 3D-Objektrekonstruktion sowie Systemmaßstäben u.ä.. Als Messobjekt wird in der Richtlinie ein räumlicher Prüfkörper vorgeschlagen, der eine Mindestzahl von kalibrierten Testlängen in einer empfohlenen Anordnung zur Verfügung stellt. Weitere Einflussfaktoren wie zum Beispiel Zahl und Anordnung der Aufnahmen, Messalgorithmen und Automatisierungsgrad des Messablaufs bleiben dem Hersteller des Messsystems vorbehalten. Als Ergebnis und damit als Kriterium für die Güte eines Messsystems werden Längenmessabweichungen als Differenzen der kalibrierten Testlängen und der aus der photogrammetrischen Messung abgeleiteten Werte bestimmt.

Während in der VDI/VDE-Richtlinie das Messsystem insgesamt betrachtet wird, kann man natürlich auch allein die Qualität der 3D-Berechnungssoftware und der mit ihr bestimmten Daten untersuchen. Dies kann sinnvoll sein, wenn man z.B. die durch Simultankalibrierung innerhalb einer Bündelausgleichung ermittelten Parameter der inneren Orientierung einer Kamera in einer anderen Software weiter verwenden will. Untersuchungen zu diesem Thema wurden in letzter Zeit durchgeführt (PEIPE & TECKLENBURG, 2006; REMONDINO & FRASER, 2006). Ausgehend von einem realen Bilddatensatz wurden die Kalibrierparameter einer bestimmten Kamera durch Simultankalibrierung mit mehreren kommerziellen photogrammetrischen Bündelausgleichungsprogrammen berechnet und miteinander verglichen (Kap. 2).

Erweitert man den Softwaretest auf die Bestimmung von 3D-Objektkoordinaten, so erhält man eine klare Aussage zur Leistungsfähigkeit der untersuchten Programme. Im folgenden sollen Möglichkeiten und Bedingungen für eine Überprüfung und eventuelle Zertifizierung von Software zur Bündelausgleichung in der Nahbereichsphotogrammetrie diskutiert werden. Wesentliche Grundlage hierfür ist ein geeigneter Satz von Beobachtungen. Dies können zum Beispiel simulierte Daten sein, basierend auf realen Datensätzen, die bestmögliche Voraussetzungen für die Bündelausgleichung bieten (Aufnahmekonfiguration, Zahl der Bilder, Datum, Maßstäbe etc.). Zum Schluss dieses Berichts werden Vorschläge zum organisatorischen Ablauf einer möglichen Zertifizierung gemacht.

¹ Prof. Dr.-Ing. Thomas Luhmann, Fachhochschule Oldenburg/Ostfr./Whv., Institut für Photogrammetrie und Geoinformatik, e-mail: luhmann@fh-oldenburg.de

² Dipl.-Ing. Jürgen Peipe, Universität der Bundeswehr München, Institut für Photogrammetrie und Kartographie, e-mail: j-k.peipe@unibw-muenchen.de

³ Dipl.-Ing. Werner Tecklenburg, Fachhochschule Oldenburg/Ostfr./Whv., Institut für Photogrammetrie und Geoinformatik, e-mail: tecklenburg@fh-oldenburg.de

2 Softwaretest: Untersuchungen zur Kamerakalibrierung

Photogrammetrische Kamerakalibrierung wird heutzutage in der Regel als Selbstkalibrierung (Simultankalibrierung) zusammen mit der Objektrekonstruktion durchgeführt, d.h. die Parameter der inneren Orientierung (Kamerakonstante, Hauptpunktlage) und Bildfehler beschreibende Funktionen (Verzeichnung etc.) werden innerhalb der Bildtriangulation durch Bündelausgleichung simultan mitbestimmt. Allerdings ist Simultankalibrierung nicht immer möglich, vor allem wenn die Aufnahmeconfiguration hierfür nicht geeignet ist. In diesem Fall sind vorab ermittelte Daten der inneren Orientierung (zum Beispiel aus einer Testfeldkalibrierung) für die photogrammetrische Auswertung erforderlich. Auch kann es sinnvoll oder notwendig sein, die mit einer Software berechneten Kalibrierdaten innerhalb einer anderen Software zu verwenden.

Für den Vergleich verschiedener Softwarepakete, mit denen Simultankalibrierung möglich ist, kann man einen realen, unter optimalen Bedingungen erzeugten Bilddatensatz oder simulierte Daten verwenden. In PEIPE & TECKLENBURG (2006) wurde ein räumliches Testfeld mit kreisförmigen Zielmarken benutzt, das nach den Vorgaben der VDI/VDE-Richtlinie 2634/Blatt 1 für die Überprüfung optischer 3D-Messsysteme mit punktförmiger Antastung eingerichtet wurde (VDI/VDE, 2002). Der erzeugte Bildverband enthielt 60 konvergente, teilweise um die Aufnahmeichtung gewälzte Aufnahmen. Als Kamera kam eine Rollei d7 metric⁵ zum Einsatz. Diese 5 Megapixel Kamera weist einige Eigenschaften metrischer Kameras auf, zum Beispiel feste Brennweite, feste Fokussierung und eine stabile Verbindung zwischen Objektiv und Sensor. Damit ist für bestmögliche Stabilität der Kalibrierparameter während einer Aufnahmeserie gesorgt (PEIPE & STEPHANI, 2003).

Die zur Kamerakalibrierung eingesetzten vier Bündelausgleichungsprogramme basieren alle auf dem gleichen mathematischen Modell (Kollinearitätsbedingung mit zusätzlichen Beobachtungen/Parametern) und erlauben die Berechnung der Kamerakonstante, der Lage des Bildhauptpunkts im Bildkoordinatensystem sowie der radial-symmetrischen und der tangentialen bzw. Dezentrierverzeichnung. Als Ergebnis der Simultankalibrierungen wurden Übereinstimmungen bei der Kamerakonstante und der Lage des Bildhauptpunktes und geringe Abweichungen bei den Verzeichnungsparametern festgestellt (PEIPE & TECKLENBURG, 2006).

3 Softwaretest: Simulierte Daten und Aufnahmeconfiguration

Die in Kap. 2 genannten Tests zur Kamerakalibrierung wurden mit realen Bildern und Messdaten durchgeführt. Dies kann unter Umständen zu fehlerhaften Ergebnissen und Schlüssen führen, da lediglich ein Spezialfall untersucht wird - andere (reale) Datensätze können durchaus zu unterschiedlichen Resultaten führen. Bei simulierten Daten hingegen besteht die Gefahr, dass nicht alle Faktoren mitberücksichtigt sind, die bei Aufgabenstellungen in der Praxis auftreten. So bietet es sich an, die Simulation auf der Grundlage einer realen, optimierten Aufnahmeanordnung vorzunehmen (EL-HAKIM et al., 2003; HASTEDT et al., 2005). Ein geeignetes photogrammetrisches Netzwerk lässt sich zum Beispiel bei der Vermessung von Prüfkörpern nach VDI/VDE 2634/Blatt 1 realisieren. Es ist gekennzeichnet durch eine große Anzahl konvergent auf das Objekt gerichteter Aufnahmen, so dass jeder Objektpunkt - gut definierte Zielmarke - in mindestens fünf Bildern erscheint, und ergänzende Aufnahmen, die eine präzise und zuverlässige Simultankalibrierung der Kamera ermöglichen. Dabei kommt es nicht so sehr auf die Zahl der Bildpunkte an, sondern mehr auf ihre geeignete Verteilung in den Bildern und auf die Abbildungsqualität. Im übrigen kann hier auf Erfahrungen aus einem

Vergleichstest aus dem Jahre 1996 zurückgegriffen werden, bei dem die Leistungsfähigkeit verschiedener digitaler Punktmessalgorithmen anhand synthetischer und realer Bilder untersucht wurde, und zwar durch Analyse im Bildraum und - nach Bündelausgleichung - im Objekttraum (LUHMANN, 1996).

Bei der Berechnung der Simulationsdaten werden die tatsächlich gemessenen Bildkoordinaten durch neu berechnete ersetzt. Dies geschieht auf der Basis der 3D-Koordinaten des zugehörigen Objektpunktes, der äußeren Orientierung des Bildes sowie der inneren Orientierung der Kamera durch Nutzung der Kollinearitätsgleichungen. Der berechnete Bildpunkt wird anschließend um einen zufälligen Fehler (t-Verteilung), innerhalb der angenommenen Messgenauigkeit, verschmiert. In diesem Prozess können auch die Parameter der inneren Orientierung für jedes Bild variiert werden, wenn eine Instabilität der verwendeten Kamera angenommen wird. Dies geschieht wiederum auf der Basis t-verteilter Zufallswerte (HASTEDT et al., 2005).

Für den Test von Softwarepaketen zur Bündelausgleichung durch Vergleich der ermittelten 3D-Objektkoordinaten signalisierter Punkte mit den Sollkoordinaten dieser Punkte werden zwei Aufnahmekonfigurationen vorgeschlagen. Zum einen ein Bildverband, wie bereits mehrfach benannt, bestehend aus von allen Seiten konvergent auf das Objekt gerichteten Aufnahmen. Verschiedene Aufnahmehöhen und gewälzte Aufnahmen (ca. 10 % der Gesamtzahl) sollten enthalten sein. Die Zahl der Bilder und Bildpunkte könnte bei ca. 100 angesetzt werden. Ein ähnlicher Bildverband mit einer wesentlich geringeren Zahl von Bildern und Punkten wäre zusätzlich denkbar. Ein kalibrierter Maßstab - oder auch mehrere, z.B. in den drei Koordinatenrichtungen angebracht - könnte mitgeführt werden. Zum anderen wird die photogrammetrische Bestimmung eines völlig ebenen Objekts vorgesehen.

Die Bündelausgleichung sollte in jedem Fall als freie Netzausgleichung bzw. durch zwangsfreie Einpassung auf die minimal notwendige Objektinformation (3-2-1 Methode) geschehen. Der Vergleich der resultierenden 3D-Objektkoordinaten der verschiedenen Rechenprogramme mit den Sollwerten erfolgt durch räumliche Ähnlichkeitstransformation.

Es ist sicher nicht möglich, alle Funktionalitäten der untersuchten Bündelprogramme abzufragen. Eine "Grundmenge" ist zu wählen, die allen Programmen gemeinsam ist. Dies betrifft im Wesentlichen den Lösungsalgorithmus zur Bestimmung der 3D-Objektkoordinaten, inklusive der Kamerakalibrierung mit einem festgelegten Satz von Parametern. Weitere zusätzliche Beobachtungen bzw. Parameter in Bild- und Objekttraum werden nicht eingeführt. Die simulierten Daten sollen keine groben Fehler enthalten - Maßnahmen zur Fehlersuche bleiben in dieser ersten Phase der Untersuchung ausgeklammert. In späteren Tests könnten auch grobe Fehler im Datensatz enthalten sein - oder es wird zum Beispiel ein Bildverband mit stark verzeichnenden Objektiven erzeugt, wie sie in digitalen Kompaktkameras vorhanden sein können.

4 Softwaretest: Zertifizierung ?

Die Bewertung der Leistungsfähigkeit kommerzieller Software ist sicher sinnvoll, zugleich aber ein heikles Thema. Der hier als "Zertifizierung" bezeichnete Vorgang - was auch immer letztlich im Detail darunter zu verstehen ist - muss von Herstellern und Käufern einer Software anerkannt sein und Vertrauen genießen.

Geht man davon aus, dass mehrere Sätze simulierter Daten via Website zur Verfügung stehen, dann könnten die Softwarehersteller sie herunter laden und ihre Resultate zurückschi-

cken, wenn sie an dem Test teilnehmen wollen. Stimmen die Ergebnisse mit den Vorgaben überein, so erscheinen Hersteller und Produkt auf der Website unter der Rubrik "Zertifizierte Programme zur Bündelausgleichung". Wenn nicht, wird dies dem Hersteller mitgeteilt, ohne dass ein Eintrag auf der Website erfolgt. Er kann dann erneut Ergebnisversionen einsenden oder auf eine weitere Teilnahme am Test verzichten.

Es ist wünschenswert, dass ein "offizielles" Gremium über das ganze Verfahren wacht und für die Ausstellung des Zertifikats zuständig ist. Hierfür wäre - nach Meinung der Autoren - durchaus einer der beiden Arbeitskreise der DGPF "Internationale Standardisierung" oder "Nahbereichsphotogrammetrie", vertreten durch den jeweiligen Arbeitskreisleiter, geeignet und/oder die DGPF selbst. Die Überlegungen zur Zertifizierung könnten auch innerhalb des FA 3.32, des gemeinsamen Fachausschusses "Optische 3D-Messtechnik" des VDI/VDE und der DGPF stattfinden, der die VDI/VDE-Richtlinie 2634 erarbeitet hat. Eine weitere Möglichkeit ist die Beteiligung bzw. Federführung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig, die sich ja intensiv mit Kalibrierproblemen beschäftigt.

5 Abschließende Bemerkungen

Dieser Beitrag versteht sich als Versuch, eine Ideensammlung und Diskussion zum Thema "Zertifizierung von Software zur Bündelausgleichung in der Nahbereichsphotogrammetrie - oder nicht" zu initiieren.

Die Autoren halten eine Prüfung der Software anhand der ermittelten 3D-Koordinaten für sinnvoll. Aber es sind viele Fragen offen; zum Beispiel:

- Wird eine Zertifizierung der Bündelausgleichungssoftware wirklich benötigt? Genügt nicht die Systemüberprüfung nach VDI/VDE 2634?
- Für welchen Zeitraum kann eine solche Zertifizierung gelten, da doch die Rechenprogramme ständig weiterentwickelt werden?
- Ein simulierter Datensatz enthält eine bestimmte Modellvorstellung - vor allem auch für die Modellierung im Bildraum -, die im Wesentlichen den momentanen Stand der Technik wiedergibt. Was passiert mit neu entwickelten Modellierungsansätzen, die nicht in das Zertifizierungsschema passen, aber vielleicht bessere Ergebnisse liefern, überprüft im Objektraum mit Hilfe der Richtlinie 2634?

6 Literaturverzeichnis

- EL-HAKIM, S.F., BERARDIN, J.-A. & F. BLAIS, 2003: Critical Factors and Configurations for Practical Image-Based 3D Modeling. In: Proceedings "Optical 3-D Measurement Techniques VI" (Hrsg. A. Grün & H. Kahmen), Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, S. 159-167.
- HASTEDT, H., LUHMANN, T. & W. TECKLENBURG, 2005: Simulationsbasiertes Systemdesign für die optische Messtechnik nach VDI/VDE 2634. In: Publ. DGPF, Bd. 14 (Hrsg.: E. Seyfert), Potsdam, S. 319-326.
- LUHMANN, T., 1996: Results of the German Comparison Test for Digital Point Operators. Int. Arch. Photogrammetry & Rem. Sensing, Vol. 31/B5, Wien, S. 324-329.
- PEIPE, J. & M. STEPHANI, 2003: Untersuchungen zur Stabilität und metrischen Qualität einer digitalen 5 Megapixel Messkamera. In: Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik - Oldenburger 3D-Tage 2003 (Hrsg.: T. Luhmann), Wichmann, Heidelberg, S. 51-56.

- PEIPE, J. & W. TECKLENBURG, 2006: Vergleich von Softwaretools zur Kamerakalibrierung.
In: Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik - Oldenburger 3D-Tage
2006 (Hrsg.: T. Luhmann & Ch. Müller), Wichmann, Heidelberg, S. 106-111.
- REMONDINO, F. & C. FRASER, 2006: Digital Camera Calibration Methods: Considerations
and Comparisons. Proceedings ISPRS Commission V Symposium, Dresden, 25.-27. Sept.
2006 (im Druck).
- VDI/VDE (2002): VDI/VDE-Richtlinie 2634. Beuth Verlag, Berlin.