

Evaluierung des digitalen photogrammetrischen Luftbildkamarasystems UltraCamX der Firma Vexcel Imaging GmbH

MAGDALENA LINKIEWICZ¹ & MICHAEL BREUER²

Zusammenfassung: Mit Luftbildern der UltraCam-X des Testgebiets Vaihingen/Enz bei Stuttgart wurden mit der Software ORIMA für LPS der Firma Leica Geosystems verschiedene Bündelblockausgleichungen durchgeführt. Ziel war die vergleichende Analyse der Ergebnisse, die bei unterschiedlichen Ausgangsszenarien erzielt wurden. Die Untersuchung ist Teil des von der DGPF initiierten Projektes „Evaluierung digitaler photogrammetrischer Luftbildkamarasysteme“, Arbeitsgruppe „Geometrie“.

Unter Berücksichtigung der vorgegebenen Parameter des Luftbildblocks werden die verschiedenen Ausgangsszenarien beschrieben. Sie unterscheiden sich z.B. durch die Anzahl und Verteilung der verwendeten Passpunkte.

Sämtliche Ergebnisse der einzelnen Tests werden übersichtlich dargestellt.

1 Einleitung

Die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) konzipierte Ende 2007 einen Test zur Evaluierung verschiedener zurzeit kommerziell verfügbarer Kamerasysteme. Das Potenzial der Kamerasysteme sollte mit den Auswerteschwerpunkten Geometrie, Radiometrie, Höhenmodelle und Stereoauswertung untersucht werden [CRAMER, 2009].

In diesem Beitrag werden Ergebnisse einer Bachelorarbeit präsentiert, die sich mit dem Auswerteschwerpunkt Geometrie beschäftigt hat. Sie wurde im Juli 2009 an der Beuth Hochschule für Technik Berlin eingereicht.

2 Problemstellung

Die Aufgabe bestand darin, die geometrische Genauigkeit der Kamera UltraCamX der Firma Vexcel Imaging GmbH (Microsoft) zu untersuchen. Als Datengrundlage diente ein Luftbildblock des Testgebietes Vaihingen/Enz (bei Stuttgart) der mit einer geometrischen Auflösung 20 cm aufgenommen worden war.

¹ Magdalena Linkiewicz, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Robotik und Mechatronik, Optische Informationssysteme, Rutherfordstraße 2, 12489 Berlin; E-Mail: Magda.link@gmx.net

² Michael Breuer, Beuth Hochschule für Technik Berlin, Luxemburger Str. 10, 13353 Berlin; E-Mail: breuer@beuth-hochschule.de

Die UltraCam X ist eine Weiterentwicklung der UltraCam D und gehört zu den optoelektronischen Flächenkameras [ALBERTZ, 2007:50]. Sie besteht aus acht optischen Systemen mit unabhängigen Objektiven. Vier Objektive dienen panchromatischen Aufnahmen und vier weitere multispektralen Aufnahmen (RGB und NIR). Die panchromatischen Bilder haben eine Größe von 9420·14430 Pixel [SANDAU, 2010:314].

Die Untersuchung erfolgte mit Software der Firma ERDAS (www.erdas.com). Folgende Produkte und Versionen wurden dabei verwendet:

- ERDAS IMAGINE 9.3.2
- ORIMA-LPS-TE/GPS Rel. 9.30
- CAP-A als Teil von ORIMA

Die Befliegung wurde im Auftrag der Firma Vexcel Imaging GmbH (Microsoft) von der Luftbildfirma BSF Swissphoto GmbH am 11.9.2008 durchgeführt. Die Aufnahme dauerte von 11:53:03 bis 12:14:48 MESZ. Die absolute Flughöhe betrug ~3200 m und die Höhe des Flugzeuges über die Erdoberfläche ~2900 m. Die effektive Größe eines Pixels in Geländeeinheiten variiert zwischen 20cm in den höher liegenden Geländebereichen und 21cm in den tiefer liegenden. 20cm wird als nomineller Wert für die geometrische Auflösung verwendet.

Das Testgebiet Vaihingen/Enz wurde von 3 Längsstreifen (jeweils 12 Bilder) und 2 Querstreifen (jeweils 8 Bilder) bedeckt (Geometriestreifen). Die Längsüberlappung beträgt ~75% und die Querüberlappung ~70%. Darüber hinaus wurden auch noch Radiometriestreifen aufgenommen. Sie spielen in der hier präsentierten Untersuchung keine Rolle.

Zur Verfügung stehen also jeweils 52 panchromatische und multispektrale Luftbilder. Diese Daten waren mit der Methode des Pan-Sharpenings in farbige Bilder umgewandelt worden. Sie liegen in derselben geometrischen Auflösung (20cm) und Größe (9420·14430 Pixel) vor, wie die ursprünglichen panchromatischen Bilder. Die für diese Bilder gegebenen Parameter der Inneren Orientierung werden im Folgenden verwendet. Ansonsten basiert die vorliegende Untersuchung auf den hochauflösenden Farbbildern.

Die Parameter der Inneren Orientierung sind im Kalibrierungsprotokoll der UltraCamX vom 8.6.2007 dokumentiert. Die Kameranummer beträgt UCX-SX-1-50810149. Die Koordinaten des Bildhauptpunktes betragen bezogen auf das panchromatische Gesamtbild: $PPA(x, y) = (0,000\text{mm}; 0,144\text{mm})$.

Die übrigen Werte lauten:

- Kamerakonstante $c = 100,5 \text{ mm}$,
- die radiale Verzeichnung wird bei der Kamera UltraCamX kompensiert und wird für ein Gesamtbild mit $0,0 \mu\text{m}$ angegeben (verzeichnungsfreie Abbildung),
- die Pixelgröße beträgt in der Bildebene $7,2 \mu\text{m}$.

Für die Absolute Orientierung liegt eine Text-Datei mit den GPS/INS-Daten vor. Die Pass- und Kontrollpunkte sind in zwei separaten Text-Dateien gespeichert. Insgesamt stehen 110 Passpunkte und 77 Kontrollpunkte zur Verfügung, wobei die genauen Koordinaten von den Kontrollpunkten nicht bekannt sind.

2.1 Untersuchungsmethode

Die Orientierung der Luftbilder erfolgte nach der Methode der Bündelblockausgleichung. Dabei sollte der Luftbildblock unter verschiedenen Ausgangsbedingungen orientiert werden. Folgende Fälle wurden behandelt und verglichen:

- Fall 1: Bündelblockausgleichung mit 4 Passpunkten
- Fall 2: Bündelblockausgleichung mit 1/3 aller zur Verfügung stehenden 110 Passpunkte (=31 Passpunkte)
- Fall 3: Bündelblockausgleichung mit 2/3 aller zur Verfügung stehenden 110 Passpunkte (=75 Passpunkte)
- Fall 4: Bündelblockausgleichung mit allen 110 zur Verfügung stehenden Passpunkten

In einer späteren Analyse, die nicht Teil der vorliegenden Untersuchung ist, soll die Qualität der Ergebnisse der verschiedenen Bündelblockausgleichungen mit Hilfe unabhängiger Kontrollpunkte bestimmt werden. Ihre Geländekoordinaten lagen nur als Näherungswerte vor, sodass sich die Punkte zwar gut identifizieren ließen, die Punktmessung aber unabhängig und individuell erfolgen konnte. Anschließend nahmen sie – ohne Zwang auf die Gesamtgeometrie auszuüben – an der Berechnung teil. Auf diese Weise wurden die Koordinaten der Kontrollpunkte für jeden der oben genannten Fälle bestimmt. Sie stehen nun für einen Vergleich mit den Ergebnissen anderer Arbeitsgruppen des Teams Geometrie zur Verfügung.

Bei der Reduzierung der Passpunktanzahl, ausgehend von den insgesamt zur Verfügung stehenden 110 Punkten, wurde darauf geachtet, dass auch die reduzierte Anzahl eine gute räumliche Verteilung über den gesamten Block aufwies. Im Fall 1 befinden sich die verbleibenden 4 Passpunkte in den Blockecken.

Die hier dokumentierten Ergebnisse basieren auf den jeweils nicht verwendeten Passpunkten, deren Koordinaten mit einer Standardabweichung von $\sigma=0,01\text{m}$ angegeben sind. Sie nehmen – ohne Zwang auf die Berechnung auszuüben – an der Berechnung teil und übernehmen hier die Rolle unabhängiger Kontrollpunkte.

Für die Fälle 1-3 werden so deren Residuen analysiert. In den Fällen 1, 2 und 3 liegen jeweils 106, 76 und 33 nicht verwendete Passpunkte vor. Da ihre Koordinaten mit $\sigma=1\text{cm}$ bekannt sind,

kann mit Hilfe der Residuen an den nicht verwendeten Passpunkten die Genauigkeit der einzelnen Bündelblockausgleichungen beurteilt werden.

Da die meisten Passpunktmarken gut signalisiert sind, wurde a priori die theoretisch maximal erreichbare Bildpunktmessgenauigkeit mit $1/3$ Pixel (σ) angenommen. Sie entspricht in der Bildebene einem Wert von $\sigma=2,4\mu\text{m}$ und in Bezug auf das Gelände $\sigma=6,6\text{cm}$. Die mit $\sigma=1\text{cm}$ angegebene Passpunktgenauigkeit liegt also um den Faktor 6,6 unterhalb dieser Grenze. Dadurch ist ihre Verwendung als unabhängige Kontrollpunkte gerechtfertigt.

Um die Passpunkte als Festpunkte in die Bündelblockausgleichung einzuführen, wurden ihre Koordinaten mit den Standardabweichungen a priori $\sigma=0,6\text{cm}$ (Fälle 2-4) bzw. $\sigma=2\text{cm}$ (Fall 1) definiert. Im Fall 1 war die Definition eines größeren Wertes notwendig, weil die Bündelblockausgleichung bei $\sigma=0,6\text{cm}$ grobe Fehler identifizierte, die sich aber nicht als solche verifizieren ließen. Bei $\sigma=2\text{cm}$ lief die Berechnung problemlos durch. Da dieser Wert immer noch um das Dreifache kleiner ist, als die theoretisch maximal erreichbare Bildpunktmessgenauigkeit (s.o.), gelten die Passpunkte auch in diesem Fall als „festgehalten“.

Alle 110 Passpunkte waren bei jedem Berechnungslauf in ein und derselben Eingabedatei gespeichert. Ihre Verwendungsart (als Passpunkt oder als Kontrollpunkt) wurde über die unterschiedlich definierten Standardabweichungen gesteuert. Anschließend wurden mit dem Programm ORIMA für alle Passpunkte die Residuen (RMS-Werte, RMS=root mean square) bestimmt. Passpunkte, die als Kontrollpunkte verwendet werden sollten, erhielten eine Standardabweichung a priori von $\sigma=500\text{m}$. Durch diese Einstellung wurde sichergestellt, dass die nicht verwendeten Passpunkte keinen Einfluss auf das Berechnungsergebnis hatten. Anschließend konnten die für sie berechneten Residuen als Qualitätsmaß verwendet werden. Die Ergebnisse sind in Abb. 1 dargestellt.

Die Daten der Absoluten Orientierung waren mit dem GPS/INS System AEROcontrol der Firma IGI (www.igi-systems.com) bestimmt worden. Da dessen Positionierungsgenauigkeit im Vorhinein nicht bekannt war, wurde für die Standardabweichung a priori der Objektkoordinaten der Projektionszentren ein Wert von $\sigma=0,5\text{m}$ eingestellt. Das entspricht einer mittleren bis hohen Systemgenauigkeit [KRAUS, 2004:168]. Die drei Raumwinkel ω , ϕ , und κ wurden nur als Näherungswerte, nicht als Beobachtungen verwendet.

808 Verknüpfungspunkte wurden mit ORIMA durch automatische Punktzuordnung generiert. Grobe Fehler waren zuvor mit Hilfe der in ORIMA implementierten Methoden zur automatischen Suche nach groben Fehlern eliminiert worden [HINSKEN, 2008:70 ff]. Für die nur noch mit zufälligen Fehlern behafteten Punkte wurde die bereits erwähnte theoretisch maximal erreichbare Bildpunktmessgenauigkeit angenommen ($\sigma=2,4\mu\text{m}$).

2.2 Ergebnisse

Die methodische Korrektheit der Bündelblockausgleichungen wurde mit der Erfüllung der folgenden Kriterien gewährleistet:

- SIGMA-0 a priori \approx SIGMA-0 a posteriori,
- Nichtauftreten von groben Fehlern (nur noch zufällige Fehler vorhanden),
- annähernde Kreisform der Fehlerellipsen (homogene Fehlerverteilung) und Zuverlässigkeit der Projektionszentren (gute Kontrolliertheit),
- zufällige Verteilung der Residuen der verwendeten Passpunkte (keine Systematik erkennbar).

Im Folgenden werden die Residuen (RMS-Werte) analysiert. Dabei wird zunächst der Mittelwert aller Residuen betrachtet, die zu einer Beobachtungsgruppe gehören. Tab. 1 zeigt die Ergebnisse der einzelnen Bündelblockausgleichungen.

Anzahl der verwendeten Passpunkte	Koordinate	RMS der verw. Passpunkte [m]	RMS der nicht verwendeten Passpunkte [m]	RMS der Kontrollpunkte [m]
Fall 1: 4 Passp.	X	0,012	0,030	0,599
	Y	0,008	0,039	0,594
	Z	0,003	0,109	0,503
Fall 2: 31 (1/3 Passp.)	X	0,001	0,026	0,599
	Y	0,001	0,028	0,582
	Z	0,000	0,076	0,525
Fall 3: 75 (2/3 Passp.)	X	0,001	0,032	0,599
	Y	0,001	0,040	0,580
	Z	0,000	0,072	0,517
Fall 4: 104 (alle Passp.)	X	0,001	-	0,600
	Y	0,001	-	0,580
	Z	0,000	-	0,519

Tab. 1: Übersicht der Ergebnisse der Bündelblockausgleichungen

Die RMS-Werte sind die Differenzen zwischen den ausgeglichenen und den ursprünglich gemessenen Werten (Beobachtungen). „Verwendete“ Passpunkte sind „festgehaltene“ Passpunkte. Sie sollen sich nicht bewegen. Daher sind die Werte in Spalte 1 nahezu Null. Spalte 2 gibt mit den mittleren RMS-Werten der nicht verwendeten Passpunkte Aufschluss über die Qualität des Ergebnisses. In der Lage sind die Werte kleiner als der theoretisch erwartete Wert von $\sigma=6,6\text{cm}$ (s.o.: theoretisch maximal erreichbare Bildpunktmessgenauigkeit). Eine Erklärung ist, dass die meisten Punkte in vier und mehr Bildern gemessen wurden und so ausreichend Überbestimmungen vorhanden sind. Das erhöht die Genauigkeit. In Z sind die Werte ungefähr um den Faktor 2 größer als in der Lage. Hierfür liefert das Basis-Höhenverhältnis von 1/3,9 die Erklärung (mittlere Basislänge $\sim 750\text{m}$, mittlere Flughöhe über Grund $\sim 2900\text{m}$) [KRAUS, 2004:31]. Spalte 3 zeigt die RMS-Werte der Kontrollpunkte. Gut zu sehen ist, dass die ursprünglichen Koordinaten systematisch um einen halben Meter verfälscht wurden.

Wie bereits erwähnt, werden die nicht verwendeten Passpunkte als Kontrollpunkte für die Beurteilung der Genauigkeit der Bündelblockausgleichungen verwendet. Da es für den Fall 4 keine nicht verwendeten Passpunkte gibt, kann dieser nicht betrachtet werden. Die RMS-Werte der X- und Y-Koordinaten der nicht verwendeten Passpunkte betragen ca. 0,04m für die Fälle 1, 2 und 3. Die RMS-Werte der Z-Koordinaten sind größer und nehmen Werte von 0,08m bis 0,10m an. Hier nimmt die Genauigkeit mit steigender Anzahl verwendeter Passpunkte zu. Vermutlich liegt die Ursache darin, dass die geometrische Stabilität des Gesamtblocks mit zunehmender Passpunktanzahl gesteigert wird. Insgesamt bleibt anzumerken, dass die Genauigkeit in Z-Richtung relativ am geringsten unter allen Koordinatenrichtungen ist. Absolut ist sie aber immer noch hoch. Zum Vergleich: sie liegt in der Größenordnung eines halben Pixels.

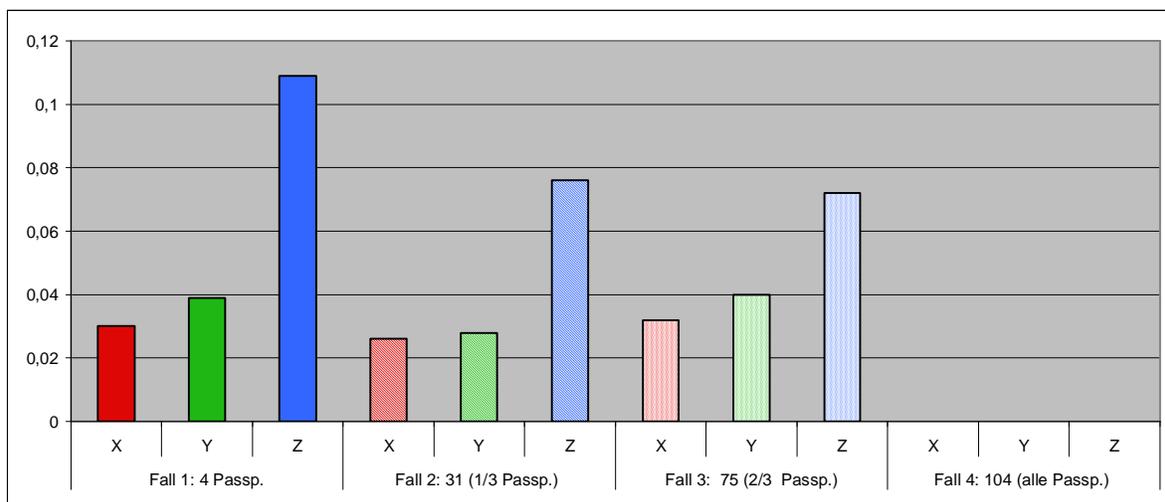


Abb. 1: RMS-Werte für die als Kontrollpunkte verwendeten Passpunkte für die Fälle 1-3 in Metern

Da die RMS-Werte nur Mittelwerte sind, lässt sich anhand der RMS-Werte keine Aussage über die maximalen Abweichungen treffen. Dies ist jedoch mit einer Histogrammanalyse möglich (LINKIEWICZ, 2009). Dort wurde gezeigt, dass die maximalen Abweichungen der nicht verwendeten Passpunkte bei den X- und Y-Koordinaten unter 0,15 m und bei den Z-Koordinaten unter 0,25 m liegen.

2.3 Bewertung der Ergebnisse

Es kann festgestellt werden, dass mit der UltraCam X bei einer Befliegung mit einer geometrischen Auflösung von 20cm eine Punktbestimmung erreichbar ist, die auch noch im ungünstigsten Fall einer Passpunktconfiguration bestehend aus nur 4 Passpunkten in der Lage eine Genauigkeit im Subpixelbereich liefern kann. In der Höhe ist die Genauigkeit aufgrund des Basis-Höhenverhältnisses von 3,9 um den Faktor 2 schlechter. Dies darf als sehr gutes Ergebnis gelten.

Auf der anderen Seite ist es wichtig zu sagen, dass für Praxisprojekte die Querüberlappung eines Blocks in der Regel geringer als ~70% ist und nicht in jedem Fall Querstreifen vorhanden sind. Die vorliegende Blockconfiguration entspricht daher einer Idealkonfiguration, die in der Praxis nicht immer gegeben ist. Unter Umständen ist zu erwarten, dass unter ungünstigeren Bedingungen mit gewissen Abstrichen hinsichtlich der erreichbaren Genauigkeit in Lage und Höhe gerechnet werden muss. Dem nachzugehen könnte Gegenstand einer weiterführenden Untersuchung sein, die die Abhängigkeit zwischen verschiedenen Blockconfigurationen und erzielbaren Genauigkeiten analysiert.

3 Literaturverzeichnis

- ALBERTZ, J. (2007): Einführung in die Fernerkundung. 3. akt. u. erw. Auflage. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 254 S.
- CRAMER, M.; KRAUß, H.; JACOBSEN K.; SCHÖNERMARK VON, M.; HAALA, N. & SPRECKELS, V. (2009): Das DGPF-Projekt zur Evaluierung digitaler photogrammetrischer Kamerasysteme. DGPF-Band 18 zur Tagung vom 24.-26. März 2009 in Jena. S. 9-21.
- HINSKEN, L. (2008): CAP-A Combined Adjustment Program. Handbuch zur Software ORIMA. Erdas Inc., Atlanta USA. 130 S. (als PDF-Datei Teil der Softwareinstallation)
- KRAUS, K. (2004): Photogrammetrie – Band 1 – Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen. 7. Auflage, Walter de Gruyter Verlag, Berlin. 516 S.
- SANDAU, R. (Ed.) (2010): Digital airborne Camera. Introduction and Technology. Springer, Dordrecht, 343 S.
- LINKIEWICZ, M. (2009): Evaluierung des digitalen photogrammetrischen Luftbildkamerasystems UltraCam X der Firma Vexcel Imaging GmbH. Bachelorarbeit an der Beuth-Hochschule für Technik Berlin. 47 Seiten und 1 CDROM. (unveröffentlicht)