

DGPF Projekt: Evaluierung digitaler photogrammetrischer Kamerasysteme – Themenschwerpunkt Geometrie

**KARSTEN JACOBSEN¹, MICHAEL CRAMER², RICHARD LADSTÄDTER³, CAMILLO RESSL⁴,
VOLKER SPRECKELS⁵**

Zusammenfassung: Das geometrische Potential digitaler Luftbildkameras, auch unter Berücksichtigung der direkten Sensororientierung, wurde im Rahmen eines Tests der DGPF untersucht. Dieser Test schließt folgende Kameras ein: die großformatigen Kameras Z/I Imaging DMC, Vexcel Imaging UltraCamX und die Zeilenkameras Leica Geosystems ADS40 (2. Generation) und Jena Optronik JAS-150, sowie die Mittelformatkamera Rolleimetric AIC-x1 und die Kombination von vier Mittelformatkameras IGI Quattro-DigiCAM.

Die hier präsentierten Ergebnisse wurden von einer Gruppe wissenschaftlicher Mitarbeiter verschiedener Universitäten mit unterschiedlichen Datenerfassungsprogrammen, unterschiedlichen Blockausgleichsprogrammen, unterschiedlichen Konfigurationen der Ausgleichungen (mit/ohne Verwendung von Projektionszentrumskordinaten bzw. Winkelinformation) und unterschiedlicher Passpunktconfiguration erzeugt. Diese Ergebnisse geben daher einen Überblick über die Variation der Lösungen und Genauigkeiten, die auch in operationeller Anwendung gegeben ist. Bei den einzelnen Bündelblockvarianten ist die erreichte Lagegenauigkeit durchweg besser als die Objektpixelgröße. Selbst die Höhengenaugigkeit bleibt meist unter diesem Wert. Diese hohen Genauigkeiten sind in der Bündelblockausgleichung möglich, da dort jeder Punkt über eine Vielzahl von Bildern bestimmt wird.

1 Einleitung

Digitale Luftbildkameras haben analoge Kameras bereits weitgehend ersetzt. Die ersten eingeführten Kameras, die Zeilenkamera Leica Geosystems ADS40 und die großformatigen Flächenkameras Z/I Imaging DMC und Vexcel Imaging UltraCam wurden bereits modifiziert. Als weitere Mehrfachzeilenkamera kam die Jena Optronik JAS-150 hinzu. Digitale Mittelformatkameras als Einzelkopf- oder Mehrkopfsysteme, wie die Rolleimetric AIC-x1 (Einkopfsystem) oder die IGI Quattro-DigiCAM (4-Kopfsystem), haben bereits einen Marktanteil erobert. Das geometrische Potential dieser Kameras wurde im Rahmen des Kameratests der DGPF (Cramer 2010) durch Bündelblockausgleichung untersucht, wobei die ganze Bandbreite der Praxisanwendungen eingesetzt wurde, wie nur auf Passpunkten basierend, mit Kombination von Koordinaten der Projektionszentren oder auch mit Kombination von

1)Dr.-Ing. KARSTEN JACOBSEN, Leibniz Universität Hannover, Institut für Photogrammetrie und Geoinformation, D-30167 Hannover, Nienburger Str. 1, e-mail: jacobsen@ipi.uni-hannover.de

2)Dr.-Ing. MICHAEL CRAMER, Universität Stuttgart, Institut für Photogrammetrie (ifp), D-70174 Stuttgart, Geschwister-Scholl-Straße 24 D, e-mail: michael.cramer@ifp.uni-stuttgart.de

3)Dr.-techn. RICHARD LADSTÄDTER, Vexcel Imaging GmbH / Microsoft Photogrammetry, Anzengruebergasse 8/4, A-8010 Graz, e-mail: rladstae@microsoft.com

4)Dr.-techn. CAMILLO RESSL, Technische Universität Wien, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, A-1040 Wien, Gußhausstraße 27-29, e-mail: car@ipf.tuwien.ac.at

5)VOLKER SPRECKELS, RAG Deutsche Steinkohle, BG G2 Geodatenmanagement, D-44623 Herne Shamrockring 1, e-mail: volker.spreckels@rag.de

Winkeln und Projektionszentren, bestimmt durch relative kinematische GPS-Positionierung und integrierte Sensororientierung.

Bislang wurde eine Reihe von Untersuchungen der geometrischen Leistung der digitalen Kameras durchgeführt und publiziert. Es gibt aber nur wenige Untersuchungen, die das Genauigkeitspotential verschiedener Kameras vergleichen, wie Passini & Jacobsen 2008, die die DMC, UltraCamD, UltraCamX, ADS40 und RC30 Bilddaten mit einer Objektpixelgröße von etwa 5cm untersuchen. Der Test der DGPF umfasst auch die JAS-150, eine Mittelformatkamera (AIC-x1) und eine Kombination von Mittelformatkameras (Quattro-DigiCAM). Für alle Systeme liegen Bilddaten mit nominellen Objektpixelgrößen von 8cm und mit Ausnahme der AIC-x1 auch 20cm vor.

Es werden hier nur die durch Blockausgleichung und kombinierte Blockausgleichung ermittelten Objektkoordinaten mittels unabhängiger Vergleichspunkte untersucht. Sie basieren auf einer Vielzahl von Bildern und dürfen damit nicht mit der Objektpunktgenauigkeit einer Modellmessung, die jeweils nur auf zwei Bilder beruht, verwechselt werden.

2 Aerotriangulation - Datenerfassung

Im Rahmen des DGPF-Projekts wurden die Verknüpfungspunkte mittels verschiedener Programme der automatischen Aerotriangulation bestimmt und die Bildkoordinaten der Pass- und Vergleichspunkte unabhängig manuell gemessen. Die Kamerahersteller hatten Zugriff auf 19 Passpunkte um ihre Datensätze zu kontrollieren, bevor die Daten an die Teilnehmer des Tests weitergegeben wurden. Damit war eine Optimierung der Nachbearbeitung der Sensordaten und der virtuellen Bilder durch die Kamerahersteller möglich. Dieses ist normalerweise für kommerzielle Projekte nicht der Fall und sollte bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

2.1 Teilnehmende Institutionen und untersuchte Datensätze

| Kamerasystem | Universität Hannover (UH) | Universität Stuttgart (US) | TU Graz (TUG) | TU Wien (TUW) | RAG Herne (RAG) |
|-----------------|---------------------------|----------------------------|---------------|---------------|-----------------|
| RMK | X | X | X | X | |
| DMC | X | X | | X | |
| UltraCamX | X | X | | X | |
| Quattro-DigiCAM | X | X | X | | |
| ADS40 | X | X | | | |
| JAS-150 | | | | | X |
| AIC-x1 | X | X | | | |

Tab. 1: Von den teilnehmenden Institutionen untersuchte Datensätze

Die vorgestellten Ergebnisse wurden durch die Leibniz Universität Hannover (UH), Universität Stuttgart (US), Technische Universität Graz (TUG), Technische Universität Wien (TUW) und die RAG Deutsche Steinkohle (RAG) in Herne (JAS-150 Bündelblockausgleichung) untersucht. Das schließt Datensätze ein, die durch die Universität Düsseldorf (Uni D), die Bayerische

Vermessungsverwaltung LVG München (LVG M) und die Firma C+B Technik Markgröningen erfasst wurden.

2.2 Manuelle Bildkoordinatenmessung

Die Bildkoordinaten der Pass- und Vergleichspunkte wurden unabhängig von verschiedenen Teilnehmern gemessen. Ihre Genauigkeit ist von der Erfahrung des Operateurs abhängig und bestimmt wesentlich die durch Ausgleichung erzielten Ergebnisse. Abbildung 1 zeigt die Quadratmittel der Widersprüche der Bildkoordinaten ermittelt durch jeweils 2 verschiedene Teilnehmer, die durch 1.414 dividiert wurden um auf die Standardabweichung der Einzelmessung zu kommen. Da einige Datensätze häufiger unabhängig voneinander gemessen wurden, ergeben sich für einige Kameras mehrere Werte. Im Wesentlichen wird die Punkteinstellgenauigkeit von der Bildqualität und der Erfahrung des Auswerter, aber auch der Kenntnis des Testfeldes bestimmt. Die Punktidentifizierung in den RMK-Bildern, besonders mit 20cm Objektpixelgröße, ist schwieriger als in den digitalen Bildern. Die geringfügig höheren Werte für die DigiCam konzentrieren sich auf einen Auswerter, während die Erklärung der Messungsergebnisse für die UltraCamX schwierig ist – der gleiche Auswerter erzielte mit anderen Kameras bessere Ergebnisse, es kann sich aber auch um einen Lernprozess handeln. Diese Variationen der Bildkoordinatenmessungen beeinflussen auch die durch Blockausgleichung erzielten Ergebnisse.

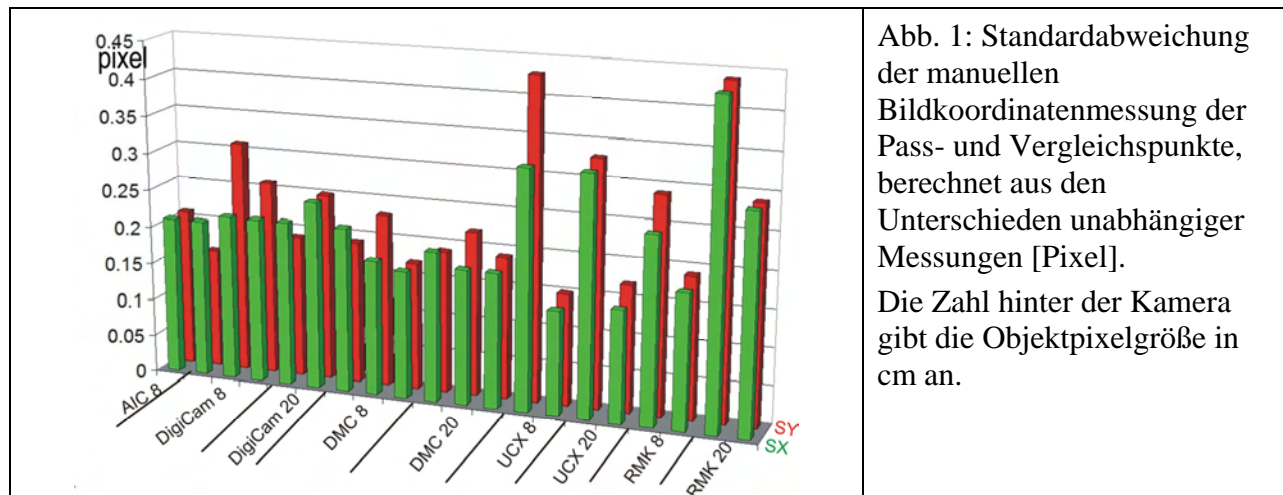


Abb. 1: Standardabweichung der manuellen Bildkoordinatenmessung der Pass- und Vergleichspunkte, berechnet aus den Unterschieden unabhängiger Messungen [Pixel].

Die Zahl hinter der Kamera gibt die Objektpixelgröße in cm an.

3 Selbstkalibrierung, systematische Bildfehler

Das mathematische Modell der Bündelblockausgleichung basiert auf perspektiven Bildern. Die tatsächliche Bildgeometrie weicht davon geringfügig ab. Die geometrischen Abweichungen werden üblicherweise durch Selbstkalibrierung mit zusätzlichen Parametern bestimmt. Das setzt voraus, dass die benutzten zusätzlichen Parameter in der Lage sind, die geometrischen Abweichungen ausreichend genau zu modellieren. Die stark verknüpften Testblöcke erlauben die

Abschätzung der systematischen Bildfehler oder der verbliebenen Beträge aus der Überlagerung und lokalen Mittelung der Residuen der Bildkoordinaten einer Bündelblockausgleichung.

Es wurden verschiedene Sätze zusätzlicher Parameter verwendet. Diese können rein mathematisch gerechtfertigt werden, wie die 12 Ebner-Parameter (EBNER 1976), die systematische Bildfehler in einem Gitter von 3 x 3 Bildpunkten beseitigen und die 44 Grün-Parameter (GRÜN 1976), die den Ansatz auf 5x5 Bildpunkte erweitern oder physikalisch begründet sein. Die Ebner-Parameter haben sich für digitale Bilder als nicht ausreichend erwiesen (WU 2007). Die Grün-Parameter führen zu besseren Ergebnissen, haben aber eine recht hohe Anzahl von Unbekannten. Die TU Wien erweiterte den Ebner-Ansatz um 2 radialsymmetrische und 2 tangentielle zusätzliche Parameter, die im Folgenden mit Ebner+4 bezeichnet sind. Brown führte 1971 physikalisch begründete Parameter ein (BROWN 1971), sie wurden 1976 durch Jacobsen im Programmsystem BLUH erweitert (JACOBSEN 2007). Physikalisch begründete Parameter sind auch in den Programmen DGAP (Universität Stuttgart), Orient (TU Wien) und PhoBA (TU Graz) vorhanden. Eine Erweiterung der zusätzlichen Parameter für Systemkameras, wie die DMC und UltraCam und zusätzlich auch für großflächige CCDs erfolgte in BLUH (JACOBSEN et al. 2010).

Anstelle von zusätzlichen Parametern können auch Korrekturgitter verwendet werden, die auf überlagerten und in Teilflächen gemittelten Residuen einer vorangegangenen Bündelblockausgleichung beruhen. Diese Korrekturgitter sollten gefiltert werden um den Einfluss individueller Fehler zu vermeiden. Diese Vorgehensweise ist mit BLUH und der Intergraph Software (DÖRSTEL 2007) möglich. Die Methode eignet sich gut zur Untersuchung von Bildern unbekannter Geometrie, ist aber wegen der hohen Anzahl von Unbekannten für den praktischen Einsatz nicht unproblematisch.

Die Stabilität der Bildgeometrie innerhalb eines Blockes lässt sich durch Aufteilung der Bilder in zwei nach der Aufnahmezeit sortierten Gruppen untersuchen, für die die Selbstkalibrierung mit zwei Gruppen zusätzlicher Parameter berechnet wird. Es zeigten sich innerhalb der untersuchten Datensätze keine signifikanten Unterschiede, womit von unveränderten systematischen Bildfehlern innerhalb der Datensätze ausgegangen werden kann (JACOBSEN U.A. 2010).

4 Bündelblockausgleichungen

Die Tabellen 2 und 3 geben einen Überblick über die von den Teilnehmern benutzten Auswertestrategien. Für die verschiedenen Kamerasysteme wurden verschiedene Sätze zusätzlicher Parameter und unterschiedliche Passpunktkonfigurationen benutzt, wie auch Blockausgleichungen ohne Zusatzinformationen, mit Koordinaten der Projektionszentren und auch integrierte Bündelblockausgleichungen mit der vollständigen Information der Sensororientierungen. Die Ergebnisse dieser Varianten sind in Kurzform den graphischen Darstellungen (Abb. 2 – 7) beigelegt.

Die Leibniz Universität Hannover führte die Blockausgleichungen ohne Zusatzinformationen durch um die Einflüsse der Bildgeometrie nicht mit den Einflüssen der direkten Sensororientierung zu vermischen. Die Zeilenscanneraufnahmen müssen allerdings immer unter Verwendung der GPS/inertial Daten ausgewertet werden. Dieses bringt auch große Vorteile für die nicht zu einem virtuellen Bild vereinigten Teilkameras der Quattro-DigiCAM.

| Kamera-system | Institution | Datenerfassung | Bündelprogramm | zusätzliche Parameter | GPS / ISO | #PP 8cm/20cm | #VP 8cm/20cm |
|------------------|-------------|------------------|----------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------------|
| DMC | UH | Match-AT (LVG M) | BLUH | 12 | nein | 9/9 | 45/95 |
| | US | Match-AT | Match-AT | 44 (Grün) | ISO | 4/4 | 113/180 |
| | TUW | Match-AT | Orient | Ebner+4 | GPS | 8/8 | 52/99 |
| UCX | UH | Match-AT (LVG M) | BLUH | 12 | nein | 9/9 | 99/99 |
| | US | Match-AT | PAT-B DGAP | 44 (Grün) | ISO | 4/4 | 111/180 |
| | TUW | Match-AT | Orient | Ebner+4 | GPS | 8/8 | 52/99 |
| RMK-Top15 | UH | Match-AT (LVG M) | BLUH | 1: 0 2: 12 | nein | 14/14 | 40/82 |
| | US | Match-AT | Match-AT | 1: 0 2: 12 (Eb.) 3: 44 (Gr.) | nein | 14/14 | 107/172 |
| | TUW | Match-AT | Orient | Ebner+4 | GPS | 8/8 | 49/93 |
| | TUG | ISAT | PhoBA | 5 (Brown subset) | 1+2: GPS 3: nein | 59/82 5/5 5/5 | 56/67 110/77 110/77 |
| Quattro-Digi-CAM | UH | ERDAS | BLUH | 1: 4x12 2: 4x20 | nein | 10/15 | 28/91 |
| | US | Match-AT | Match-AT | 4x12 (Ebner) | ISO | 4/4 | 114/161 |
| | TUG | Match-AT (IGI) | PhoBA | 5 (Brown subset) | 1+2: ISO 3: nein | 57/10 4 5/5 5/5 | 56/69 108/168 108/168 |
| AICx1 | UH | Uni Düsseldorf | BLUH | 1: 0 2: 12 3: 20 | nicht vorhanden | 47/- | 10/- |
| | US | Match-AT | Match-AT | 44 (Grün) | | 60/- | 50/- |

Tab. 2: Konfigurationen der Bündelblockausgleichungen der Flächenkameras; #PP=Anzahl der Passpunkte, #VP=Anzahl der unabhängigen Vergleichspunkte, Eb.=Ebner Parameter, Gr.=Grün Parameter, ISO=integrierte Sensororientierung

Die TU Wien bevorzugte die kombinierte Blockausgleichung mit Koordinaten der Projektionszentren, dieses hatte Vorteile gegenüber der integrierten Sensororientierung (mit Koordinaten der Projektionszentren und der Winkel bestimmt durch GPS und inertielle Meßsysteme (IMU)) der Universität Stuttgart und der TU Graz. Die Blöcke haben eine große Bildüberdeckung, sind so stark verknüpft und nicht groß genug, damit eine Verbesserung durch Einbeziehung der Winkel eintritt. Es sollte berücksichtigt werden, dass die verschiedenen Kamerasysteme auch unterschiedliche GPS-Empfänger und unterschiedliche IMU verwendeten, was die Ergebnisse beeinflusst. Die Universität Stuttgart führte im Gegensatz zu den anderen

Teilnehmern Blockausgleichungen ohne Querstreifen durch, was Anwendungsszenarien entspricht, bei denen keine Querstreifen vorhanden sind.

Der Vorteil der integrierten Sensororientierung ist für die untersuchten Testblöcke, die eine starke Überdeckung und eine eingeschränkte Größe haben, eingeschränkt. Dieses kann für große Blöcke anders sein.

| Kamera-system | Institution | Daten-erfassung | Programm | Zusätzliche Parameter | #PP 8cm/20cm | #VP 8cm/20cm |
|---------------|-------------|------------------------|----------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|
| ADS40 | UH | GPRo | ORIMA | 0 | 9/- | 52/- |
| | US | GPRo | ORIMA | 6 | 4/4 | 121/182 |
| JAS-150 | RAG | Jena Optronik Software | BINGO | 12 | 1: 0/0 2: 4/4 3: 19/19 | 75/105 71/101 56/85 |

Tab. 3: Konfigurationen der Bündelblockausgleichungen der Zeilenkameras

| | | | |
|-----------|----------------------------------|--------|----------------------------------|
| p60 / p80 | 60% / 80% Längsüberdeckung | apE12 | 12 zusätzliche Parameter (Ebner) |
| q20 | 20% Querüberdeckung | apE16 | 12 Ebner + 2 radial + 2 tang. |
| cr0 / cr2 | 0 / 2 kreuzende Streifen | apG44 | 44 zusätzliche Parameter (Grün) |
| nDS | keine direkte Sensororientierung | apB12 | 12 zusätzliche Parameter (BLUH) |
| GPS | Kombinierte Ausgleichung mit GPS | apB20 | (BLUH) apB12+Parameter 81–88 |
| ISO | Integrierte Sensororientierung | apBN12 | 12 zus. Parameter (BINGO) |
| Oap | Keine Selbstkalibrierung | apBRs | Brown subset mit 5 Parametern |

Tab. 4: Abkürzungen zur Erläuterung der Auswertungen

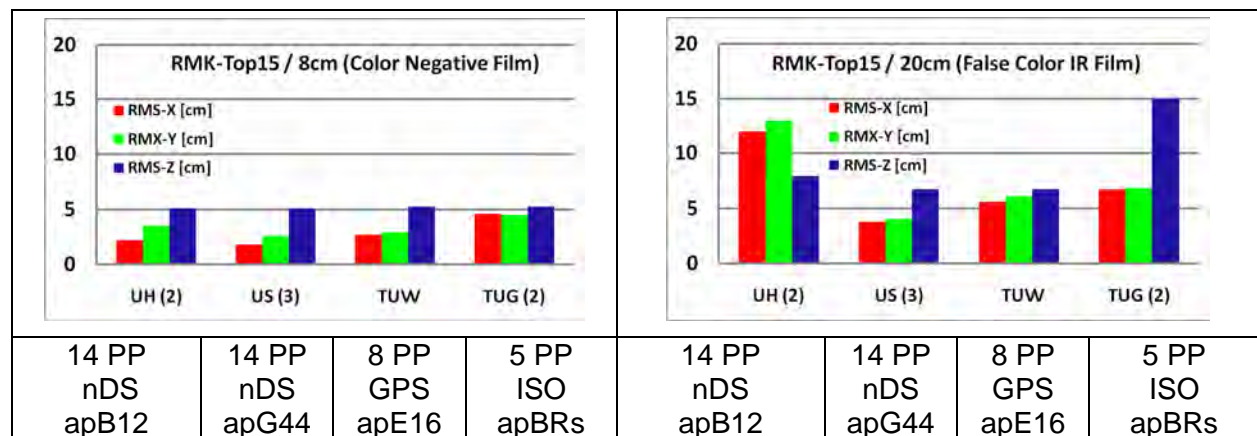


Abb. 2: Quadratmittel der Widersprüche an Vergleichspunkten RMK-Top15 (p60, q60, cr2) Angabe vor / nach der Kamerabezeichnung in Abb. 2 – 7 = Objektpixelgröße

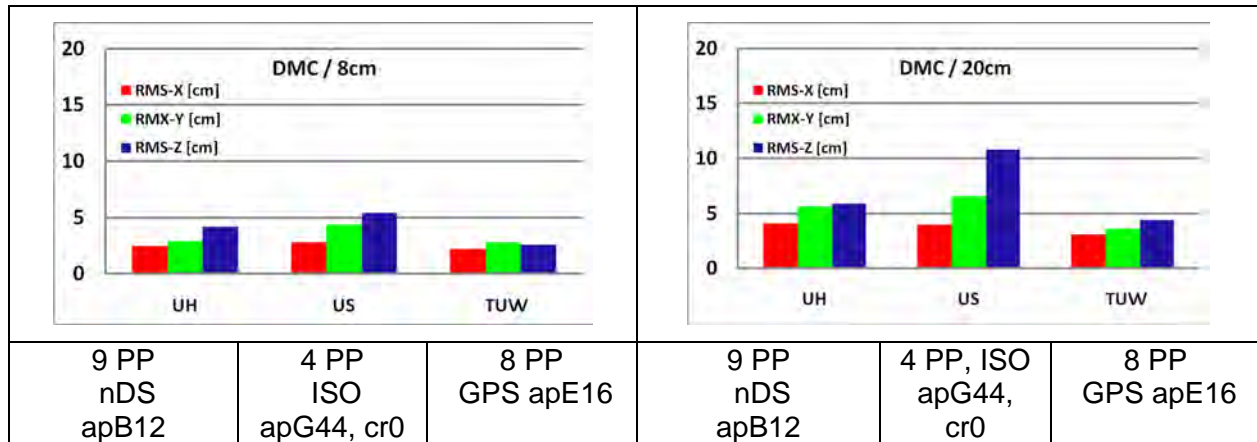


Abb. 3: Quadratmittel der Widersprüche an Vergleichspunkten DMC (p60, q60, cr2)

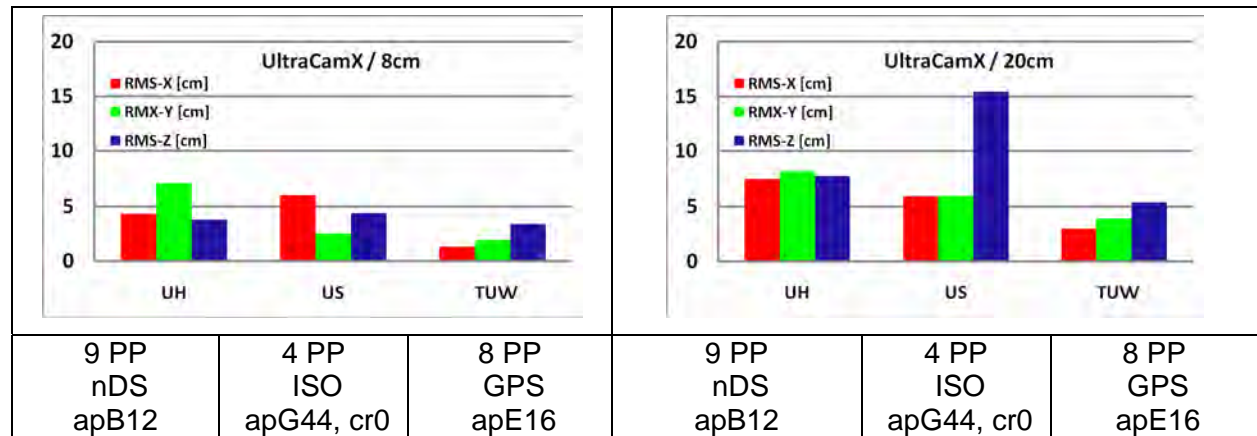


Abb. 4: Quadratmittel der Widersprüche an Vergleichspunkten UltraCamX (p80, q60, cr2)

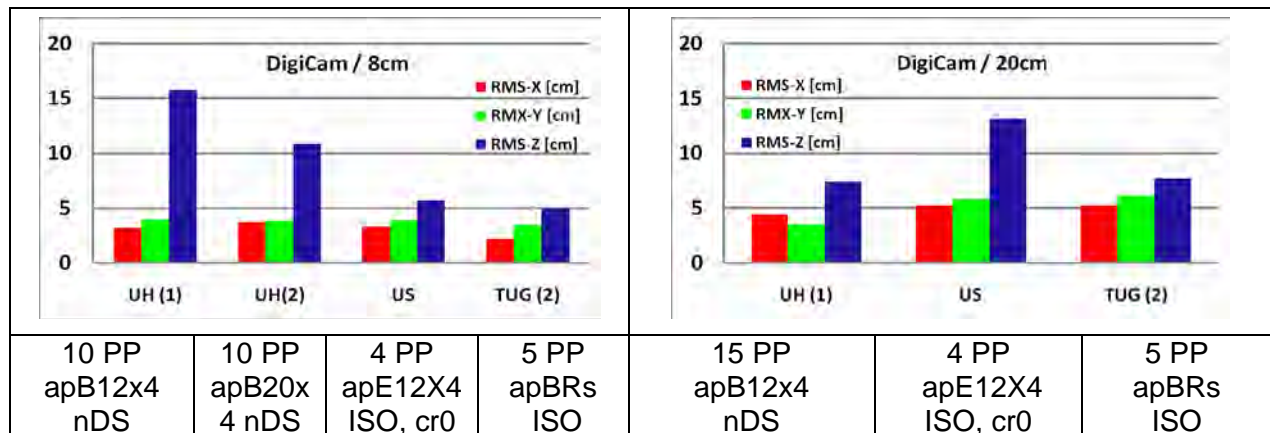


Abb. 5: Quadratmittel der Widersprüche an Vergleichspunkten Quattro-DigiCAM (p60, q60)

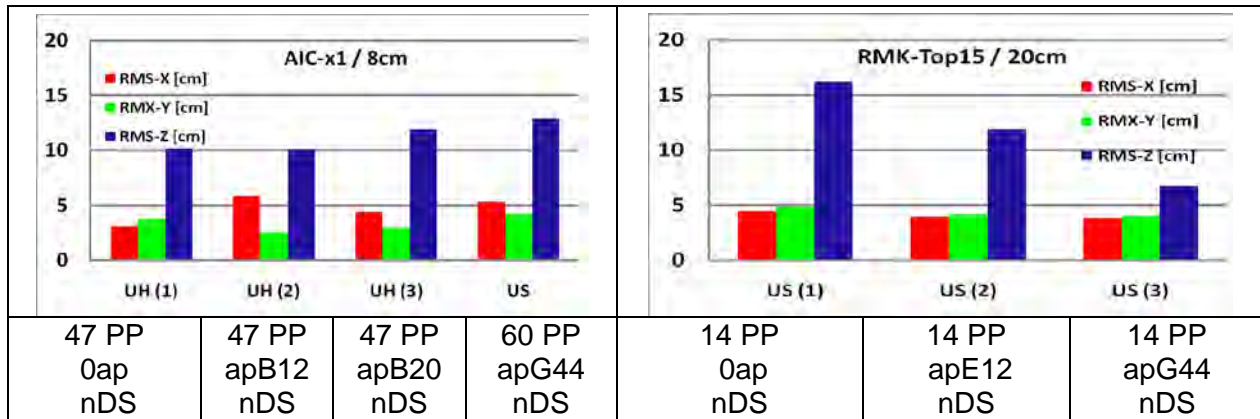


Abb. 6: Quadratmittel der Widersprüche an Vergleichspunkten AIC-x1 (links, cr0) and RMK-Top15 (mit unterschiedlichen zusätzlichen Parametern)

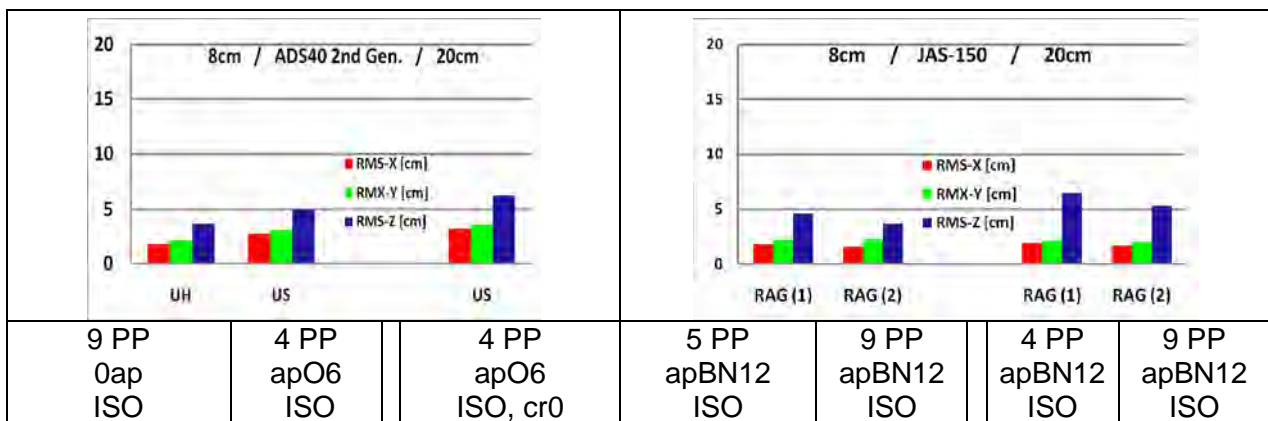


Abb. 7: Quadratmittel der Widersprüche an Vergleichspunkten ADS40 (links) und JAS-150 (rechts) apBN12 = 12 zusätzliche Parameter Programm BINGO

Der Einfluss der zusätzlichen Parameter auf die Blockausgleichung von RMK-Top 15-Aufnahmen ist in Abb. 6 rechts klar erkennbar. Für die digitalen Kameras trifft das auch, allerdings nicht immer ganz so stark, zu. Besonders die Höhe wird durch nicht erfasste radialsymmetrische Bildfehler beeinflusst, die durch die Ebner-Parameter nicht ausreichend kompensiert werden. Mit den 44 Grün-Parametern ist das möglich und führt zu deutlich verbesserten Ergebnissen. Die oben gezeigten Ergebnisse der Universität Stuttgart sind, mit Ausnahme der Quattro-DigiCAM, mit den Grün-Parametern berechnet. Die TU Wien erweiterte die Ebner-Parameter um zwei radialsymmetrische und zwei tangentielle Parameter. Diese Parameter sind im Programm BLUH bereits im Standardsatz der zusätzlichen Parameter enthalten, womit keine entsprechenden Probleme auftreten. Die TU Graz konnte bereits mit 5 Brown-Parametern die Bildgeometrie ausreichend beschreiben. Bei der DigiCAM (Abb. 5 links) ließen sich die Ergebnisse durch spezielle zusätzliche Parameter, die die Geometrie der Bildecken erfassen (JACOBSEN ET AL. 2010), deutlich verbessern.

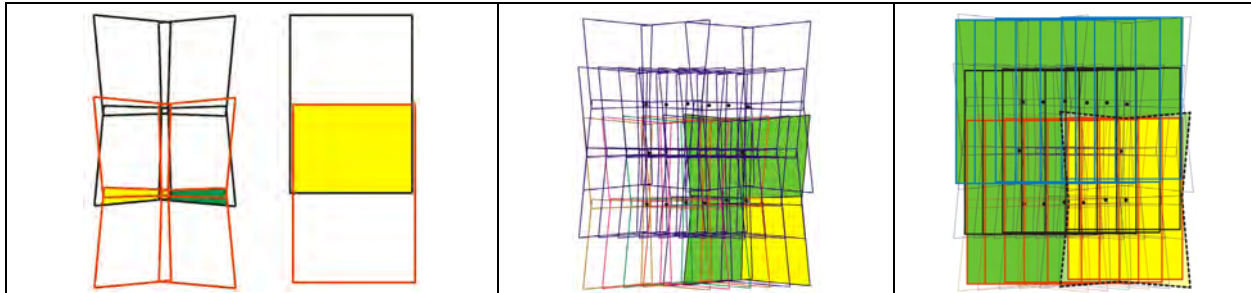


Abb. 8: Überlappung und Bildverknüpfung einer Vierfach-Bildkombination; Links: Verknüpfung einer Vierfach-Bildkombination und von virtuellen Bildern mit 60% System-Querüberdeckung; Mitte: Verknüpfung einer Vierfach-Bildkombination mit 60% Längs- und 60% Querüberdeckung des Kamerasystems; Rechts: Verknüpfung von virtuellen Bildern mit 60% Längs- und 60% Querüberdeckung des Kamerasystems

Der Einfluss der Sensororientierungsparameter ist stark von der Blockkonfiguration und der Anzahl der Passpunkte abhängig. Die simultan aufgenommenen Teilbilder der Quattro-DigiCAM sind nicht zu virtuellen Bildern vereinigt, sondern werden als Einzelbilder gehandhabt. Wie Abb. 8 zeigt, wirkt 60% Querüberdeckung des Kamerasystems nur wie 20% Querüberdeckung der Einzelbilder. Diese Vierfach-Bildkombination ist deswegen auf die Verwendung der GPS/inertial Daten angewiesen, wenn nur eine normale Anzahl von Passpunkten vorhanden ist.

Die Standardabweichung der in Abb. 1 gezeigten manuellen Messung der Pass- und Vergleichspunkte demonstriert den starken Einfluss der Punktidentifizierung in den Bildern, was sich direkt auf die Ergebnisse der Blockausgleichungen auswirkt. Besonders in den RMK Top15-Bilder mit 20cm Objektpixelgröße ist die genaue Identifizierung der Punkte in den Bildern schwierig – hier hatte der Auswerter der Universität Stuttgart den Vorteil der Lagekenntnis. Aus den anderen Datensätzen mussten einige Bildpunkte wegen grober Fehler entfernt werden.

Wegen schlechter Wetterbedingungen konnten mit der Rolleimetric AIC-x1 (jetzt umbenannt in Trimble Aerial Camera) nur Bilder mit 8cm Objektpixelgröße und 60% Querüberdeckung aufgenommen werden. Die vorgesehenen Querstreifen entfielen ebenfalls. Die Aufnahmebedingungen entsprachen gezielt einer Niedrig-Kosten-Version mit einem kleinen Flugzeug ohne Kamerastabilisierung und ohne zusätzliche GPS / IMU-Komponente. Dieses führte zu starken Variationen der Orientierungselemente von +/-4 gon für Phi, +/-11 gon für Omega und +/-5 gon für Kappa. So wurde für den nördlichsten Flugstreifen nur eine Querüberdeckung von 40% anstelle der vorgesehenen 60% erreicht. Wegen der fehlenden Querstreifen und nicht vorhandener Sensororientierung waren viele Passpunkte erforderlich. Die großen systematischen Bildfehler beeinflussen die Blockausgleichung nicht, sondern nur die anschließende Modellauswertung, wenn die systematischen Bildfehler nicht berücksichtigt werden. Für die nicht optimalen Rahmenbedingungen sind die in Abb. 6 dargestellten Ergebnisse zufriedenstellend, sie können aber nicht direkt mit den Resultaten der anderen Kameras verglichen werden. Für einen operationellen Einsatz ist eine bessere Einhaltung des

vorgesehenen Bildfluges und Sensororientierungsparameter – zumindest Koordinaten der Projektionszentren – empfehlenswert.

Die Objektpunktbestimmungen mit den Mehrfachzeilenscannern ADS40 und JAS150 ergaben ein sehr gutes Genauigkeitsniveau. Mit beiden Systemen wurden sehr ähnliche Genauigkeiten erzielt (Abb. 7), die auf dem gleichen, teilweise einem höheren, Genauigkeitsniveau liegen wie die großformatigen digitalen Flächenkameras. Mit der JAS-150 und der ADS40 wurden sowohl für die Aufnahmen mit 8cm, als auch 20cm Objektpixelgröße ähnliche Genauigkeiten an unabhängigen Vergleichspunkten erzielt, was so nicht erwartet wurde. Ähnlich wie für die anderen Datensätze, sollten die erzielten Ergebnisse noch durch weitere Testflüge bestätigt werden.

5 Schlussfolgerungen

Es gibt keinen Grund analoge anstelle von original digitalen Luftbildern zu verwenden. Selbst mit der Weitwinkelkamera RMK Top 15 wurde unter vergleichbaren Bedingungen nicht die gleiche Objektpunkthöhen Genauigkeit erreicht, wie mit den großformatigen digitalen Kameras. Zusätzlich bereitete die schlechtere Bildqualität der gescannten analogen Bilder mit 20cm Objektpixelgröße Probleme bei der Identifizierung von Pass- und Vergleichspunkten. Dies ist auch für eine folgende Erstellung von digitalen Höhenmodellen und für Modellauswertungen von Bedeutung.

Die Mehrfachzeilenkameras ADS40 und JAS-150 führten zu guten Ergebnissen. Die Handhabung der Datenerfassung und der Bildorientierung von Zeilenscannerkameras erfordert spezielle Programme, die nicht überall vorhanden sind.

Die großformatigen digitalen Flächenkameras DMC und UltraCamX bestätigten ihr Potential. Die Bildgeometrie ist im Fall der kombinierten oder integrierten Blockausgleichung mit der Qualität der benutzten Sensororientierungen vermischt. Das ist aber auch realistisch für den praktischen Einsatz in großen Blöcken. Die Kombination von Mittelformatkameras in der Quattro-DigiCAM erfordert GPS/inertial Daten, da die Verknüpfung der Einzelbilder im Fall von 60% Querüberdeckung des Kamerasystems nicht ausreichend ist. Auch die Mittelformatkamera AIC-x1 ist für spezielle Anwendungen von Bedeutung; die Auswertung ihrer Bilder ist allerdings zeitaufwändiger als die Auswertung mit größeren Bildformaten.

Allgemein wurde eine Objektkoordinatengenauigkeit kleiner als die Objektpixelgröße erreicht, besonders für die Lagekomponenten, aber auch in den meisten Fällen für die Höhe. Dieses sollte nicht mit der Auswertegenauigkeit im photogrammetrischen Einzelmodell verwechselt werden da für die Blockausgleichung sehr viel mehr Bilder für die Bestimmung eines Objektpunktes benutzt werden. Die Anzahl der Bilder je Punkt variiert zwischen durchschnittlich 3.2 für die AIC-x1 und 10.6 für die UltraCamX, die mit 80% Längsüberdeckung eingesetzt wurde. Zusätzlich sind nicht alle Auswerteprogramme in der Lage die systematischen Bildfehler für die Modellauswertung zu benutzen, was sich besonders auf die Objekthöhen auswirkt.

6 Literaturverzeichnis

- BROWN, D.C., 1971: Close-range camera calibration, *Photogrammetric Engineering* 37(8), pp 855-866.
- CRAMER, M., 2010: Der DGPF-Test zur Evaluation digitaler Luftbildkameras – Überblick und Testdesign, 3-Ländertagung 2010 der DGPF, OVG und SGPBF in Wien
- DÖRSTEL, C., 2007: DMC – (r)evolution on geometric accuracy, in Fritsch, D. (ed.): *Photogrammetric Week '07*, Wichmann Verlag, pp. 81-88.
- EBNER, H., 1976: Self Calibration Block Adjustment, *BuL* 1976, pp. 128-139.
- GRÜN, A., 1976: Die simultane Kompensation systematischer Fehler mit dem Münchener Bündelprogramm MBOP, Presented Paper ISP Congress Helsinki 1976.
- JACOBSEN, K., 2007: Geometric handling of large size digital airborne frame camera images, *Optical 3D Measurement Techniques VIII*, Zürich 2007, pp. 164 – 171.
- JACOBSEN, K., CRAMER, M. LADSTÄDTER, R., RESSL, C., SPRECKELS, V., 2010 DGPF-Project: Evaluation of Digital Photogrammetric Camera Systems - Geometric Performance, PFG 02/2010
- PASSINI, R., JACOBSEN, K., 2008: Accuracy analysis of large size digital aerial cameras, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B1 (WG I/4) pp 507-51
- WU, DUN, (2007): Geometric aspects of large size digital frame cameras and their use for photogrammetric data acquisition, Diplomarbeit, Leibniz Universität Hannover, <http://www.ipi.uni-hannover.de> (letzter Zugriff: Mai 2010)