

Das DGPF-Projekt zur Evaluierung digitaler photogrammetrischer Kamerasysteme

MICHAEL CRAMER¹, HERBERT KRAUß², KARSTEN JACOBSEN³, MARIA VON SCHÖNERMARK⁴, NORBERT HAALA⁵ & VOLKER SPRECKELS⁶

Zusammenfassung: Während der DGPF-Jahrestagung 2008 wurde das DGPF-Projekt zur Evaluierung digitaler photogrammetrischer Kamerasysteme erstmals öffentlich in größerem Rahmen vorgestellt. Ein Jahr nach dieser Vorstellung sind die Testdaten erfasst. Die Auswerteteams haben sich gefunden, und die nach Schwerpunkten durchgeführten Auswertungen finden aktuell statt. Dieser Beitrag versucht eine zusammenfassende Darstellung der wesentlichen Projektparameter, erste Ergebnisse und Erfahrungen werden vorgestellt. Allerdings kann auf die Detailauswertungen nicht eingegangen werden. Die große Resonanz, die schon jetzt durch das Projekt hervorgerufen wurde, belegt seine Bedeutung und Relevanz für die aktuellen Arbeiten im Bereich der digitalen Photogrammetrie.

1 Hintergrund

Digitale Luftbildkamerasysteme werden zunehmend für kommerzielle Anwendungen genutzt. Verschiedene europäische Landesvermessungsinstitutionen haben bereits vollständig auf die digitale Bilddatenerfassung umgestellt. Sieht man von wenigen Ausnahmen ab, fehlen aber noch immer neutrale auf breiter Basis durchgeführte Tests, die fundierte Qualitätsbeurteilungen der unterschiedlichen Kamerasysteme in ihren aktuellen Versionen erlauben.

Der im Rahmen der EuroSDR durchgeführte internationale Test zur Kamerakalibrierung und Validierung beruht auf z.T. recht alten Bildflugdaten (Testflüge in 2003/04). Die neuen Systementwicklungen (Ultracam-X, ADS40 2nd generation) sind nicht berücksichtigt worden, da nicht vorhanden. Außerdem musste mangels anderweitiger Daten auf zwei verschiedene Testgebiete zurückgegriffen werden. Nur für einen Flug war qualitativ ausreichendes GPS/inertial Datenmaterial vorhanden. Die geflogenen Blockgeometrien waren außerdem sehr unterschiedlich, sodass Vergleiche des kameraspezifischen Potenzials nur bedingt möglich waren. Fokus dieser Untersuchungen lag zudem ausschließlich auf der Analyse der

¹ M. Cramer, Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, Geschwister-Scholl-Str. 24D, 70174 Stuttgart, E-Mail: michael.cramer@ifp.uni-stuttgart.de

² H. Krauß, RWE Power AG, Abt. PBT-P Geobasisdaten/Photogrammetrie, Stüttgenweg 2, 50935 Köln, E-Mail: herbert.krauss@rwe.com

³ K. Jacobsen, Institut für Photogrammetrie und Geoinformation, Leibniz Universität Hannover, Nienburger Str. 1, 30167 Hannover, Email: jacobson@ipi.uni-hannover.de

⁴ M. von Schönemark, Institut für Raumfahrtsysteme, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart, E-Mail: schoenermark@irs.uni-stuttgart.de

⁵ N. Haala, Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, Geschwister-Scholl-Str. 24D, 70174 Stuttgart, E-Mail: norbert.haala@ifp.uni-stuttgart.de

⁶ V. Spreckels, RAG AG Deutsche Steinkohle, Geschäftsbereich Geoinformation / Vermessung BG G, Shamrockring 1, 44623 Herne, Email: volker.spreckels@rag.de

geometrischen Genauigkeit der Objektpunktbestimmung (CRAMER 2007). Parallel dazu wurden vergleichbare Tests auf nationaler Ebene z.B. in Finnland unter Regie des Finnischen Geodätischen Instituts (FGI) (HONKAVAARA et al. 2006) und im Rahmen einer Kooperation zwischen BAE Network Systems und der Leibniz Universität Hannover (JACOBSEN 2008) durchgeführt. In diesen Untersuchungen wurden neben geometrischen Fragestellungen auch radiometrische Aspekte untersucht. Zwischenzeitlich koordiniert das FGI in Zusammenarbeit mit dem Institut Cartographic de Catalunya, Barcelona ein im Mai 2008 eingerichtetes neues EuroSDR Projekt zur Untersuchung der radiometrischen Qualität digitaler Luftbildkameras (HONKAVAARA et al. 2009).

Aufgrund der sehr heterogenen Systemkonfigurationen digitaler Luftbildkameras werden empirische Flugtests in kontrollierten Umgebungen fester Bestandteil zukünftiger Systemzertifizierungen und Validierungen werden. Nur so sind mit standardisierten Prozessen kameraspezifische Qualitätsaussagen möglich. Die bislang geforderten Kalibrierzertifikate, die in gewisser Weise auch den Nachweis über die korrekte Systemfunktion erbracht haben, werden an Bedeutung verlieren. Die neu angewandten Verfahren der Systemkalibrierung digitaler Kameras durch die Hersteller sind (noch) nicht unabhängig zertifiziert. Vor allen Dingen ist aber eine allgemeine Verlagerung von Labor- zu in-situ Kalibrierungen festzustellen. So genannte „burn-in flights“ sind fester Bestandteil der herstellereitigen Kalibrierung für DMC, Ultracam und ADS. Im Falle der ADS werden zur geometrischen Kalibrierung keine klassischen Labormessungen durch Goniometer mehr durchgeführt. Die Verzeichnungsparameter der Optik werden ausschließlich durch in-situ Kalibrierung gewonnen, ausgehend von den für die Produktion spezifizierten Optikparametern (TEMPELMANN & HINSKEN 2007). Das Verfahren der in-situ Kalibrierung ist für Kameras die auf kleineren Aufnahmeformaten basieren (z.B. Mittelformatsysteme) fast unumgänglich. Im Regelfall kann nicht davon ausgegangen werden, dass a priori bestimmte Kameraparameter auch für die jeweils aktuellen Flugumgebungen Gültigkeit besitzen.

Die Entwicklung von neuen Standards und Zertifizierungsverfahren für digitale Luftbildkameras ist aktuelles Thema in verschiedensten Organisationen. Die seitens des DIN Normenausschusses Bauwesen, Arbeitsausschuss Photogrammetrie und Fernerkundung, verfasste Normenreihe 18740 „Photogrammetrische Produkte“ wurde im September 2007 um einen Teil 4 „Anforderungen an digitale Luftbildkameras und an digitale Luftbilder“ (DIN 18740-4) erweitert. Diese Norm scheint zumindest für Europa einzigartig zu sein und könnte somit auch Grundlage für weitere nationale und internationale Normungsvorhaben werden. Die DIN 18740-4 verweist explizit auf die Möglichkeit einer so genannten Validierungsprüfung über einem signalisierten Testfeld, um „die erreichte Genauigkeit zum Überprüfungszeitpunkt mit der erreichten Lage- und Höhenmessgenauigkeit des Kamerasystems unmittelbar nach der Herstellerkalibrierung (Referenzmessung)“ zu ermitteln, lässt die anzuwendenden Methoden und Anforderungen an das Testfeld aber offen. Auch vor diesem Hintergrund sind empirische Praxistests und daraus abzuleitende Testmethoden von hoher Relevanz.

2 Projektorganisation

Auf Nachfrage verschiedener Photogrammetriefirmen und Anwender nach herstellerunabhängigen Tests hat die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) Ende 2007 erste Konzepte zur Durchführung eines Evaluierungstests möglichst aller zurzeit kommerziell verfügbaren digitalen Luftbildkamarasysteme entwickelt. Dabei soll das Potenzial der Kamerasysteme umfassend untersucht werden, d.h. neben den Analysen zur geometrischen Genauigkeit und dem räumlichen Auflösungsvermögen, sollen auch die radiometrische Qualität der Bilddaten und die Genauigkeit von abgeleiteten Produkten aus der automatischen Höhenmodellgenerierung und dem Stereoplotting analysiert werden. Das Ziel liegt nicht im Vergleich der Systeme untereinander, sondern im Aufzeigen des jeweiligen Genauigkeitspotenzials und dem Herausarbeiten systemspezifischer Anwendungsfelder. Diese gibt Praxisanwendern Hinweise für die Auswahl von Systemen für bestimmte Anwendungen. Die Testflugdaten der beteiligten Systeme wurden im Sommer 2008 unter möglichst vergleichbaren Bedingungen in einer kontrollierten Testfeld-Umgebung (Testfeld Vaihingen/Enz) erfasst.

Um die Auswertungen wissenschaftlich auf eine möglichst breite Basis zu stellen sind verschiedene Institutionen, hauptsächlich unabhängige Forschungseinrichtungen, mit den Evaluierungen beschäftigt. Dazu wurden institutionsübergreifende Auswerteteams gebildet, mit den Auswerteschwerpunkten Geometrie, Radiometrie, Höhenmodelle und Stereoauswertung. Die verschiedenen Institutionen in diesen Auswerteteams arbeiten sehr eng zusammen. Arbeitsfortschritte und Zwischenergebnisse werden teamintern und an die Gesamtprojektleitung mitgeteilt. Diese Tätigkeiten werden durch die Projektleitung und die jeweiligen Leiter der Auswerteteams koordiniert (Kontaktinformation siehe Autorenliste). Koordinierungstreffen der Projektteilnehmer bzw. Mitglieder eines Auswerteteams haben bereits stattgefunden.

Die Daten der Befliegungen wurden von den Bildflugfirmen über die Hersteller dem Projekt zur Verfügung gestellt. Die weitere Verteilung an die Projektbeteiligten erfolgt zentral über die Projektleitung (Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart). Die Datennutzung unterliegt einer speziellen Vereinbarung, die vom DGPF-Vorstand bereitgestellt, veröffentlicht und von jedem Datennutzer vorab rechtsverbindlich zu unterzeichnen ist. Mit dieser Projektvereinbarung definiert der Teilnehmer auch seine Arbeitsschwerpunkte und den vorgesehenen Auswertzeitplan. Im Abschnitt 8 sind alle Institutionen aufgeführt, die zum Zeitpunkt der Berichtserstellung eine entsprechende Projektvereinbarung vorgelegt haben und an die zum großen Teil auch schon Datensätze ausgeliefert wurden.

Alle Untersuchungen werden in enger Absprache mit den Kameraherstellern durchgeführt. Die Teams stehen untereinander in engem Austausch. Über die Testabläufe und -stati wird projektintern über Emailaustausch und in der PFG berichtet. Auf der DGPF-Jahrestagung 2008 wurde das Projekt erstmals öffentlich präsentiert, die Jahrestag 2009 bietet die Möglichkeit erste Projektergebnisse in größerer Runde zu veröffentlichen und zu diskutieren.

3 Testdaten

Für die Durchführung der Testflüge wurde das vom Institut für Photogrammetrie (ifp) der Universität Stuttgart eingerichtete Testfeld Vaihingen/Enz ausgewählt. Dieses Testfeld existiert seit 1995 und wurde bereits für verschiedenste Evaluierungen genutzt (CRAMER 2005). Das Gebiet verfügt über knapp 200 signalisierte Punkte, die sich auf eine Fläche von 7,5 x 5,0 km² verteilen. Zusätzliche Testtargets zur Bestimmung der geometrischen und radiometrischen Auflösungen wurden für die DGPF-Befliegungen im Testfeld ausgebracht. Es handelt sich hierbei um bedruckte LKW-Planen der Größe 2x2m², die z.T. monochrom eingefärbt bzw. mit einem Siemensstern versehen sind. Diese Planen wurden von der RAG Deutsche Steinkohle zur Verfügung gestellt. Weiterhin verfügt das Referenzfeld noch über einen Siemensstern mit 8m Durchmesser. Parallel zu allen Flügen wurden Bodenreferenzmessungen mit Spektrometern bzw. Sonnenphotometern mit z.T. mehreren Systemen durchgeführt.

3.1 Bildflüge

Die Testflüge sollten ursprünglich in einem 2-Wochen Zeitraum ab 26. Mai 2008 durchgeführt werden, aufgrund der ungünstigen Witterungsbedingungen haben die Befliegungen aber letztlich in einem deutlich größeren Zeitfenster von ca. 10 Wochen (2.7. – 19.9.2008) stattgefunden. Die bisher für Auswertungen im Projekt vorgesehenen Bilddaten wurden an 6 verschiedenen Flugtagen erfasst. An zwei weiteren Flugtagen erfolgte die Erfassung der AISA+ Hyperspektral- bzw. ALS50 LiDAR-Daten. Die Flugplanungen wurden von der Projektkoordination in Absprache mit den Herstellern durchgeführt, wobei die spezielle Testfeldgeometrie zu berücksichtigen war. Die zu testenden Kamerasysteme sind mit vergleichbaren Bodenauflösungen (GSD 20cm bzw. GSD 8cm) und Überdeckungsverhältnissen in im Regelfall zwei Flughöhen geflogen worden. Eine parallele Aufzeichnung von GPS/inertial-Daten liegt für die meisten Systeme vor. In jeder Flughöhe wurden sogenannte Geometriestreifen (ost-west/west-ost Flugstreifen mit zwei optionalen Querstreifen) und Radiometriestreifen (nord-süd und süd-nord, über die Testtargets) realisiert. Die Tabelle 1 dokumentiert die in der Kampagne durchgeführten Testflüge. Details zu den Flugplanungen und Datenerfassungen sind auch CRAMER (2008a), CRAMER (2008b) und DGPF (2009) zu entnehmen. Ebenfalls angegeben sind die beteiligten Flugfirmen und der Zeitpunkt der Datenübergabe seitens der Hersteller an das Projekt.

Der RMK-Flug wurde parallel zu der DMC-Befliegung als echter Doppelkameraflug durchgeführt. Die Fluggeometrie wurde dabei durch die DMC-Flugplanung festgelegt. Für den Block GSD 20cm wurde CIR-Filmmaterial verwendet, für den großmaßstäbigen Block GSD 8cm Color-Negativ-Film. Beide DMC-Bildblöcke sind entgegen der Planungen mit ca. 60/60 Überdeckungen geflogen. Für den DMC Datensatz GSD 8cm wurde ein Korrekturgitter (Collocation Grid) zur Kompensation verbleibender systematischer Bildfehler bestimmt und in den Bildern angebracht. Dieses Gitter wurde projektbezogen direkt aus den Flugdaten abgeleitet. Dieses Korrekturgitter wurde aber nicht in den GSD 20cm Bildern angebracht. Für den Ultracam-X Datensatz liegen derartige Bildkorrekturen optional ebenfalls vor. Die JAS-150 wurde zweimal über dem Testfeld geflogen. Der zweite Flug war notwendig, da die Daten des ersten Fluges wegen nicht optimaler Lichtverhältnisse und nicht korrekter Kommandierung der

Kamera für die Zwecke der geplanten Auswertung nicht zu verwenden waren. Der Datensatz der DigiCAM quattro ist durch Defokussierung eines Kamerakopfes beeinträchtigt. Ein Sensorkopf war bei der Befliegung auf 70m fokussiert. Dieser Fehler wirkt sich nicht bei der Triangulation der Bilddaten aus. Mit der AIC-x1 konnte nur der GSD 8cm Block erfasst werden. Von ursprünglichen Planungsvorgaben wurde abgewichen. Beim späteren Flug mit der AIC-x4 wurden nur drei der vier Kameraköpfe ausgelöst. Dieser Datensatz soll als 3-Kopf-Flug in den weiteren Auswertungen berücksichtigt werden. Beide Bilddatensätze liegen der Projektleitung momentan noch nicht vor. Die DLR 3K-Kamera hat nur die Flüge GSD 20cm realisiert.

System	Hersteller	Flugfirma	Flugtag(e)	Datenübergabe an Projektleitung
DMC	Intergraph/ZI	RWE Power	24.07.08 06.08.08	08.10.08
ADS 40, 2nd	Leica Geosystems	Leica Geosystems	06.08.08	29.10.08
JAS-150	Jenaoptronik	RWE Power	09.09.08	08.12.08
Ultracam-X	Vexcel Imaging Graz	bsf Swissphoto	11.09.08	15.12.08
RMK-Top15	Intergraph/ZI	RWE Power	24.07.08 06.08.08	19.08.08 12.09.08
DigiCAM quattro	IGI	Geoplana	06.08.08	16.09.08
AIC-x1	Rolleimetric	Alpha Luftbild	11.09.08	steht noch aus
AIC-x4	Rolleimetric	Vulcan Air	19.09.08	steht noch aus
DLR 3K-Kamera	DLR München	DLR München	15.07.08	03.09.08
AISA+ hyperspektral	specim-FH Anhalt	RWE Power	02.07.08	28.10.08
ROSIS hyperspektral	DLR München	DLR München	15.07.08	12.11.08
ALS 50 LiDAR	Leica Geosystems	Leica Geosystems	21.08.08	29.10.08

Tabelle 1: Beteiligte Kamerasysteme und Flugtermine

In Ergänzung ist weiterhin anzumerken, dass die Flüge nicht unter vollkommen identischen Bedingungen durchgeführt werden konnten. Einige Datensätze sind durch Wolkenschatten beeinträchtigt, bzw. mussten unter einer Hochbewölkung geflogen werden. Um überhaupt noch eine realistische Chance auf Flugtage zu haben, musste mit fortschreitender Zeit von dem geforderten Kriterium Flug bei 0/8 Bewölkung abgewichen werden. Die Vorgabe, die Radiometriestreifen zum Zeitpunkt des Sonnehöchststandes zu befliegen, konnte nicht in allen Fällen eingehalten werden. Parallel zu den Flügen aufgezeichnete Bilder einer Webcam im Befliegungsgebiet dokumentieren ebenfalls die aktuelle Wettersituation.

3.2 Referenzdaten

Die Referenzdaten spielen eine entscheidende Rolle im gesamten Auswerteprozess. Im Rahmen der DGPF-Evaluierungstests wurden diese Referenzdaten durch Bodenmessungen und aus der Luft erfasst.

3.2.1 Bodenmessungen und Feldbegehungen

Neben den im Testgebiet Vaihingen/Enz koordinierten Passpunkten wurden parallel zu den Befliegungen weitere Referenzmessungen bzw. Begehungen am Boden realisiert. Zeitgleich zum Überflug des so genannten Radiometriestreifens, in dessen Zentrum die bereits oben erwähnten Referenztargets (Farbtafeln und Siemenssterne) lagen, wurden vom Institut für Raumfahrtssysteme (IRS) der Universität Stuttgart Bodenspektrometer-, BRDF- und Sonnenphotometermessungen zur Bestimmung der spektralen Eigenschaften von Objektoberflächen durchgeführt. Die aerosoloptische Tiefe ist ein Maß für die aufgetretene Absorption und Streuung durch die atmosphärischen Aerosole und wird zur Bestimmung der Bestrahlungsstärke und einer eventuellen Atmosphärenkorrektur benötigt. Damit erlauben die Sonnenphotometerdaten zugleich Rückschlüsse auf die aktuelle Bewölkungssituation. Zusätzlich wurden noch die winkelabhängigen Reflexionen im blauen, grünen, roten und nahinfraroten Spektralbereich gemessen. Ergänzt wurden die IRS-Bodemessungen an einigen Tagen durch zusätzliche Messungen durch Mitarbeiter von Leica Geosystems, Heerbrugg, und der Martin-Luther-Universität Halle, Institut für Geowissenschaften. Die spektralen Messungen stellen die Grundlage für den Sensorvergleich dar und können für eine Atmosphärenkorrektur verwendet werden.

Ergänzend zu den Spektrometermessungen wurden durch das Institut für Geowissenschaften der Universität Halle und vor allem auch durch das ehemalige Geographische Institut der Universität Düsseldorf umfassende Feldbegehungen durchgeführt. Die Felderfassung konzentrierte sich räumlich auf den zentralen Testfeldbereich (Block GSD 8cm). Die Arbeiten der Universität Halle fokussierten vor allem auf versiegelte Flächen sowie Bereiche der Steinbrüche. Es wurden Referenzflächen kartiert und spektrometriert. Bereits im Frühjahr wurde seitens EFTAS Münster eine Differenzierung zwischen Feldfrucht bedeckten Flächen und solchen mit offener Ackerkrume vorgenommen. Am Ende der Getreideernte erfolgte eine ergänzende Erhebung durch das IGF der Universität Osnabrück und Zwischenkulturen nach erfolgter Getreideernte wurden durch separate Feldbegehungen durch C+B Technik Markgröningen im September erfasst. Dadurch ergibt sich eine Zeitfolge, die ebenfalls von Interesse sein kann. Die verschiedenen Feldbegehungen sind zwischenzeitlich zusammengeführt und die unterschiedlichen Vegetationsklassifizierungskataloge aufeinander abgestimmt.

3.2.2 Hyperspektralscanner und LiDAR-Befliegungen

Neben den Bodenreferenzmessungen zur radiometrischen Qualitätsanalyse stehen für zwei Flugtage zusätzlich Daten aus Hyperspektralscannerbefliegungen zur Verfügung. Die Befliegung mit dem AISA+ Sensor wurde am 2.7.2008 als Doppelkammerflug mit einer DMC unter vergleichsweise guten atmosphärischen Bedingungen durchgeführt. Das Befliegungsgebiet beschränkte sich auf den inneren Testfeldbereich. Die AISA+ Daten wurden aus einer mittleren Höhe von 1000m ü.G. mit einer Bodenpixelgröße von 0.83m bis 1.1m in 62 spektralen Kanälen

zwischen 397nm - 970nm erfasst. Die ROSIS Hyperspektralscannerbefliegung fand knapp 2 Wochen später in einer Höhe über Grund von ca. 2700m statt. Es wurden 2 Flugstreifen aufgenommen, wobei der sog. Radiometriestreifen zweimal überflogen wurde (einmal von Norden geflogen, einmal von Süden) und ein weiterer Streifen einen Teil des Gebiets der Landnutzungskartierung abdeckt. Die Pixelgröße beträgt 1.5m und das nutzbare Wellenlängenintervall 430–830nm. Es liegen keine parallelen Bilddatenaufzeichnungen vor. Die Hyperspektralscannerdaten dienen als Referenz für die Landnutzungserhebungen.. Der Doppelkammerflug AISA+/DMC ermöglicht direkte Vergleiche der AISA+ Daten mit den von DMC registrierten Grauwerten.

Der am 21.8.2008 durchgeführte ALS50-LiDAR-Flug liefert letztlich die Referenzdaten für die spätere Analyse der Höhenmodellgenauigkeiten. Um den zu erwartenden hohen Punktdichten und Genauigkeiten der automatischen DHM-Generierung aus digitalen Bildern Rechnung zu tragen, wurden die ALS50 Daten mit einer Punktdichte von 5 Punkte/m² und einem mittleren Punktabstand von ca. 70cm in bzw. 45cm senkrecht zur Flugrichtung erfasst. Auch hier beschränkte sich die Datenerfassung auf den zentralen Testfeldbereich.

4 Datenauswertung

Die Auswertungen im Evaluierungsprojekt wurden thematisch gruppiert und in 4 Schwerpunkte gegliedert. Dazu wurden die Auswerteteams Geometrie (Leitung K. Jacobsen, Leibniz Universität Hannover), Radiometrie (Leitung M. von Schönemark, Universität Stuttgart) und Höhenmodelle (Leitung N. Haala, Universität Stuttgart) mit der Arbeitsgruppe Stereoplotting (V. Spreckels, RAG Deutsche Steinkohle) gebildet.

4.1 Auswerteteam Geometrie

Im Rahmen der Geometrieuntersuchungen soll das Genauigkeitspotential der digitalen Bilder und die optimale Handhabung von Blockausgleichungen untersucht werden. Dieses schließt Blockausgleichungen mit unterschiedlicher Querüberdeckung, unterschiedlicher Passpunktconfiguration und die Selbstkalibrierung mit zusätzlichen Parametern ein. Die Auswirkung der systematischen Bildfehler auf die Einzelmodellauswertung, besonders auf die Höhenermittlung, ist ebenfalls von Bedeutung.

Die Bildkoordinaten der Datensätze werden dabei von mindestens zwei Teilnehmern parallel erfasst und auch an andere Teilnehmer zur Analyse abgegeben. Eine erste Zuordnung der zu untersuchenden Datensätze auf interessierte Projektteilnehmer erfolgte im Rahmen der Projektsitzung im November 2008 in Hannover. Da die JAS-150 Datenauswertung auf spezieller Software beruht, die z.T. nur nach Schulung anzuwenden ist, musste die Datenauswertung von einer unabhängigen Institution aber vor Ort in Jena durchgeführt werden. Diese Erstauswertung ist zwischenzeitlich durch zwei Vertreter der RAG Deutsche Steinkohle erfolgt. Die Fragen der praktischen Anwendung digitaler Kameras stehen bei dem DGPF-Kamerateam im Vordergrund, aus diesem Grund soll die Auswertung primär mit den Standardprodukten der Kameras durchgeführt werden – bei der DMC und der Ultracam-X sind das die virtuellen Bilder (zusammengefügte Bilder), die standardmäßig aufbereitet sind. Weitere ergänzende Untersuchungen z.B. mit a priori von systematischen Restfehlern befreiten Bildern sind ebenfalls denkbar.

4.2 Auswerteteam Radiometrie

Im Auswerteteam Radiometrie gibt es zwei Schwerpunktrichtungen: Die Untersuchungen der radiometrischen Qualität, i.W. basierend auf den Spektrometermessungen natürlicher bzw. künstlicher Referenzflächen, werden ergänzt durch die fernerkundlichen Fragestellungen im Bereich der Landnutzungsklassifikation. Für den ersten Schwerpunkt müssen zunächst die gemessenen Bodendaten aufbereitet und analysiert werden. In der weiteren Auswertung sollen die gemessenen Boden- und Atmosphärendaten genutzt werden, um die radiometrischen Eigenschaften der Kameras einzuschätzen. Da die Sonnenphotometermessungen deutlich Zeiten mit Bewölkung vor der Sonne ausweisen, soll der Fokus zunächst auf die Flüge bzw. Flugabschnitte mit wolkenfreien Messungen gelegt werden.

Die bereits unter den Referenzdaten vorgestellten Feldbegehungen ermöglichen Vegetationsdifferenzierungen basierend auf automatischen Klassifizierungen, wobei die Variabilität der Flächen über den Befliegungszeitraum zu beachten ist.

4.3 Auswerteteam Höhenmodelle / Stereoplotting

Innerhalb dieses Auswerteschwerpunkts soll für die erfassten Bilder das Potenzial der Höhenmodellgenerierung mittels automatischer Bildzuordnung untersucht werden. Zudem soll evaluiert werden, welche Qualität bei der stereophotogrammetrischen Auswertung dieser Bilder an digitalen Stereo-Auswertestationen durch Photogrammetrie-Operateure erreichbar ist. Der Schwerpunkt der Untersuchungen zur automatischen Generierung von Höhenmodellen bzw. zum Stereoplotting liegt zunächst im zentralen Bereich des Testfelds, für den die Blöcke mit einer GSD von nominell 8cm erfasst wurden. Eine möglichst zeitnahe Bearbeitung und eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse soll durch Verwendung einer einheitlichen Orientierung (sog. Soll-Orientierung) der für die Höhenmodellgenerierung genutzten Bilder erreicht werden. Zu Vergleichszwecken stehen die 3D Punktwolken der LiDAR-Befliegung zur Verfügung, des Weiteren kann auf die im Rahmen der Feldbegehung erfasste Klassifizierung zurückgegriffen werden, um den Einfluss von Vegetation zu berücksichtigen. Um die Qualitätsanalyse und den Vergleich der Höhendaten für unterschiedliche topographische Situationen und Landbedeckungen zu ermöglichen, wurden vom Auswerteteam geeignete Regionen für die automatische DHM-Generierung und das Stereoplotting definiert. In diesen Gebieten sind demnach auch Vergleiche beider Verfahren möglich. In HAALA & WOLFF (2009) werden die Untersuchungen und erste Ergebnisse der automatischen Höhenmodellgenerierung vorgestellt.

5 Sollorientierung für die Höhenmodellgenerierung

Die Arbeitsgebiete Höhenmodelle / Stereoplotting und in gewissem Maße auch Untersuchungen im Bereich Radiometrie (BRDF-Analysen) setzen auf orientierten Bilddaten auf. Die Georeferenzierung und umfassende Analyse der geometrischen Genauigkeit im Rahmen der AT ist der Schwerpunkt des Arbeitspakets Geometrie (siehe oben). Um aber auch für die DHM-Generierung möglichst bald mit den praktischen Auswertungen beginnen zu können, andererseits aber auch die Vergleichbarkeit der später von unterschiedlichen Institutionen generierten Produkte zu ermöglichen, ist für alle Datensätze eine Soll-Orientierung zur Verfügung zu stellen. Sie beruht auf einer Aerotriangulation mit manuell und automatisch gemessenen Punkten unter

Verwendung aller Passinformationen im Objektraum. Selbstkalibrierung wird mit den klassischen Parametersätzen realisiert. In wie fern andere wie z.B. sensor-spezifisch angepasste Auswertemodelle bessere Ergebnisse liefern, wird in den Arbeiten des Auswerteschwerpunkts Geometrie untersucht.

Aufgrund fehlender standardisierter Schnittstellen können die in der AT bestimmten Zusatzkorrekturen vielfach nicht von den nachfolgenden Programmen übernommen werden. Einige AT-Programme erlauben die Erzeugung von Korrekturgittern, mit denen dann in der vorgesehenen Prozesskette weiter gearbeitet werden kann. Der Übergang in andere Softwarepakete ist meistens nicht vorgesehen. Alternativ besteht die Möglichkeit unter Anwendung der geschätzten Zusatzparameter neue Ausgangsbilder durch Resampling zu generieren, die dann quasi ideale fehlerfreie Bilder repräsentieren. Ein derartiger Ansatz wird z.B. im Nahbereich oder seitens Intergraph für die Berücksichtigung der Kollokationsgitter-Korrekturen in DMC-Bildern angewandt, erscheint hier aber aufgrund der Menge an Bilddaten zum jetzigen Zeitpunkt als nicht praktikabel.

Daher wurde letztlich folgender Ansatz für die Erzeugung der Soll-Orientierung umgesetzt: Zunächst wird eine Aerotriangulation mit Zusatzparametern (hier 44 Parametermodell nach Grün) unter Verwendung aller Passpunkte gerechnet. In dieser AT werden die signifikanten Zusatzparameter und die ausgeglichenen Objektpunkte berechnet. In einem zweiten Schritt wird dann eine AT gerechnet, die keine Zusatzparameter mehr ansetzt, aber um den Einfluss der Zusatzparameter korrigierte Bildkoordinaten verwendet. Als Passpunkte werden alle ausgeglichenen Objektpunkte aus dem ersten Lauf als feste Beobachtung verwendet. Die sich hier ergebenden Orientierungsparameter liefern die zu nutzende Soll-Orientierung für die bildbasierte Generierung der Höhendaten. Teilweise wird dieses Verfahren auch mit dem Begriff einer absoluten Orientierung bezeichnet.

Für die flächenhaft aufzeichnenden Systeme DMC, DigiCAM und Ultracam-X wurde diese Soll-Orientierung vom ifp generiert. Die Bildblöcke GSD 20cm und GSD 8cm wurden jeweils getrennt behandelt. Berücksichtigt sind für jedes Kamerasystem die Geometriestreifen in Ost-West Flugrichtung und die beiden Querstreifen am Blockanfang und -ende gemäß Planungen. Die Tabelle 2 fasst die wesentlichen Ergebnisse der Ausgleichungen zusammen.

Angegeben sind jeweils die Ergebnisse der Ausgleichung, die unter Verwendung aller Passpunkte die signifikanten Parameter des 44-Parameter Korrekturpolynoms und die ausgeglichenen Geländekoordinaten der Objektpunkte liefert. Die Passpunkte sind mit einer Genauigkeit von 2cm eingeführt worden. Die durch die Gruppe der signifikant geschätzten Parameter erfassten maximalen Korrekturen an den 25 gleichmäßig verteilten Gitterpunkten im Bild sind angegeben. Da bei den Auswertungen der DigiCAM quattro Kamera jedes der 4 Teilbilder als Einzelbild betrachtet wurde, ist für jeden Kamerakopf ein eigenes Korrekturpolynom eingeführt worden. Die Angaben zur Redundanz, maximalen Verknüpfung und Anzahl der Blockpunkte erlauben eine Einschätzung der Blockgeometrie. Die größere Anzahl von Punkten und höhere Redundanz bei der DigiCAM wird durch die im Vergleich zu DMC und Ultracam-X deutlich kleineren Bildformate und damit größere Anzahl von Bildern verursacht.

Block	Sigma0		# Blockpunkte	Redundanz	Max. Verknüpfung	# sign. Zusatzparameter	Max. Korrektur im Bild [μm]	
	Bild [μm]	Objekt [m]					DX	DY
DMC GSD 8cm	1,49	0,011	9651	80371	13	44	2,23	1,30
DMC GSD 20cm	1,98	0,036	5432	49366	12	10	5,39	3,54
Ultracam-X GSD 8cm	0,95	0,011	6049	109906	28	6	0,72	0,96
Ultracam-X GSD 20cm	1,07	0,031	4729	43932	12	4	0,49	1,13
DigiCAM quattro GSD 8cm	0,99	0,013	30872	629043	33	3 (1)	1,11	0,94
						9 (2)	1,59	2,32
						3 (3)	0,99	1,40
						4 (4)	1,83	1,51
DigiCAM quattro GSD 20cm	1,28	0,039	20501	192240	18	3 (1)	1,05	1,15
						10 (2)	1,89	2,45
						4 (3)	0,92	1,09
						6 (4)	2,15	1,23

Tabelle 2: Aerotriangulation mit 44 Parameter Modell nach Grün

Die gegebenen Werte für Sigma0 repräsentieren die Genauigkeit der Strahlenschnitte nach der Ausgleichung und sind somit ein Maß für die innere Systemgenauigkeit. Sie lassen zunächst noch keine Aussage über die Absolutgenauigkeit zu. Alle Kamerasysteme erzielten aber sehr ähnliche Werte. Die durch die zusätzlichen Parameter im Bildraum hervorgerufenen Korrekturen sind leicht unterschiedlich. Den größten Einfluss haben die Werte im Block DMC GSD 20cm. Die Korrekturen dort unterscheiden sich deutlich von den kleineren Korrekturen des DMC GSD 8cm Blocks. Diese Unterschiede waren aufgrund der Anwendung einer herstellerseitigen vorab durchgeführten Kollokationsgitterkorrektur auf die Bilder des DMC GSD 8cm Blocks zu erwarten. Die verbleibenden systematischen Effekte in den Bildern sind kleiner. Interessanterweise sind für den GSD 8cm Block im Vergleich zu den anderen Auswertungen deutlich mehr signifikante Zusatzparameter zur Bestimmung der Restsystematik notwendig. Insgesamt sind die Korrekturen für alle Systeme im deutlichen Sub-Pixelbereich.

Wie bereits zuvor beschrieben sind die hier bestimmten Korrekturen an den gemessenen Bildkoordinaten angebracht und als Grundlage für die Ausgleichung zur Schätzung der Soll-Orientierungselemente verwendet worden. Für den DMC Datensatz wurde exemplarisch nachgewiesen, dass die DHM-Generierung unter Verwendung der auf den vorab korrigierten Bildkoordinaten basierenden Orientierungselementen zu besseren Ergebnissen führt, vor allem wenn wie beim DMC GSD 20cm Block durch die Zusatzparameter größere Effekte kompensiert werden.

6 Zusammenfassung

Das von der DGPF initiierte Projekt zur Evaluierung digitaler photogrammetrischer Kamerasysteme bietet eine einmalige Chance quasi alle aktuell verfügbaren Sensoren unter möglichst vergleichbaren Aufnahmebedingungen zu untersuchen. Das Hauptaugenmerk dieser Evaluierung liegt auf dem Herausarbeiten allgemeiner Genauigkeitsaussagen und sensorspezifischen Merkmalen, die bei der Auswahl der Sensoren für die praktische Anwendung von Bedeutung sein können. Letztlich haben genau diese sehr praxisbezogenen Fragestellungen zur Einrichtung des Projekts geführt. Die Systeme sollen möglichst umfassend und auf breiter wissenschaftlicher Basis analysiert werden. Dazu wurden die verschiedenen Arbeitspakete formuliert und ein offenes Expertennetzwerk aus Forschung aber auch Vertretern von kommerziellen Firmen und den Herstellern gebildet.

Die DGPF-Kameraevaluierung ergänzt bereits gelaufene ähnliche Evaluierungstests, kann aber auch als Vorarbeit für die Entwicklung von neuen Standards und Zertifizierungs- bzw. Validierungsprozessen verstanden werden. Es ist mit Sicherheit davon auszugehen, dass die umfassenden Ergebnisse dieser Auswertung weit über den deutschen Sprachraum hinausstrahlen werden.

Weitere Interessenten können sich auch jetzt noch aktiv in die Auswertungen einbringen. Dazu bitte Kontaktaufnahme mit den Auswerteamleitern oder der Projektleitung. Für Herbst 2009 ist ein größeres Treffen in Stuttgart angesetzt. Termin für die ganztägige Veranstaltung ist Dienstag, 6. Oktober 2009. Da die Untersuchungen im Projekt zu diesem Treffen im Herbst in gewissem Umfang abgeschlossen sein sollten, hat dieser Termin den Charakter eines ersten Abschlusstreffens. Aktuelle Informationen über den Projektfortgang können auch der Projektseite www.dgpf.de/neu/projekt/DKEP-Allg.html entnommen werden.

7 Literatur

- CRAMER, M., 2005: 10 Years ifp test site Vaihingen/Enz – an independent performance study, in Fritsch (ed.): Photogrammetric Week 05, Wichmann Verlag, Karlsruhe, Seiten 79-92.
- CRAMER, M., 2007: The EuroSDR performance test for digital aerial camera systems, in Fritsch (ed.): Photogrammetric Week 07, Wichmann Verlag, Karlsruhe, Seiten 89-106.
- CRAMER, M., 2008a: Evaluierung digitaler photogrammetrischer Luftbildkamarasysteme - Projektstatus April 2008, Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation PFG, Heft 4/2008, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart, Seiten 296-298.
- CRAMER, M., 2008b: Evaluierung digitaler photogrammetrischer Luftbildkamarasysteme - Projektstatus September 2008, Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation PFG, Heft 6/2008, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart, Seiten 525-531.
- DGPF, 2009: DGPF Projekt: Evaluierung digitaler photogrammetrischer Kamerasysteme, digital verfügbar unter <http://www.dgpf.de/neu/projekt/DKEP-Allg.html>, letzter Zugriff 22. Januar 2009.

- HAALA, N. & WOLFF, K., 2009: Digitale photogrammetrische Luftbildkamarasysteme – Evaluation der automatischen Generierung von Höhenmodellen, dieser Tagungsband 18 / 2009, Jahrestagung DGPF Jena.
- HONKAVAARA, E., AHOKAS, E., HYYPPÄ, J., JAAKKOLA, J., KARTINEN, H., KUITTINEN, R., MARKELIN, L. & NURMINEN, K., 2006: Geometric test field calibration of digital photogrammetric sensors, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Special Issue on Digital Photogrammetric Cameras, 60(6):387-399.
- HONKAVAARA, E., MARKELIN, L. & ARBIOL, R., 2009: EuroSDR project: Radiometric Aspects of Digital Photogrammetric Images, digital verfügbar unter <http://www.fgi.fi/EuroSDR/> , letzter Zugriff 22. Januar 2009.
- JACOBSEN, K., 2008: Geometrisches Potential und Informationsgehalt von großformatigen digitalen Luftbildkamaras, PFG 2008, Heft 5, pp 325-336.
- TEMPELMANN, U. & HINSKEN, L., 2007: Hardware improvements of the ADS40 sensor heads SH51/52 and how they allow a better camera model for self calibration, in Grün/Kahmen (eds.): Proceedings on Optical 3-D Measurement Techniques VIII, Zürich, Switzerland, Seiten 187-193.

8 Anhang

Die nachfolgenden 24 Institutionen haben bisher die Projektvereinbarung vorgelegt und sind aktiv an den Analysen des Datenmaterials beteiligt. Die Hersteller bekommen die Referenzdaten erst nach endgültiger Übergabe ihrer Datensätze an die Projektleitung ausgehändigt, sofern eine unterschriebene Projektvereinbarung vorliegt. In nachfolgender Auflistung sind neben Ansprechpartnern und Auswerteschwerpunkten auch die ausgelieferten Datensätze angegeben.

- Geografisches Institut, Heinrich Heine Universität Düsseldorf, Prof. Dr. E. Jordan (Radiometrie, Landnutzungserhebungen), ausgelieferte Datensätze: DMC, DigiCAM, RMK
- Institut für Geoinformatik und Fernerkundung, Universität Osnabrück, Prof. Dr. M. Ehlers (Radiometrie, Landnutzungserhebungen), ausgelieferte Datensätze: DigiCAM, DMC, RMK, ADS40, JAS-150, 3K-Kamera
- Institut für Photogrammetrie und Geoinformation, Leibniz Universität Hannover, Dr. K. Jacobsen (Geometrie), ausgelieferte Datensätze: DigiCAM, ADS40
- Institut für Photogrammetrie und Institut für Raumfahrtsysteme, Universität Stuttgart, Dr. M. von Schönemark (Radiometrie, Spektrometer-/BRDF-Messungen), ausgelieferte Datensätze: DigiCAM, DMC, RMK, ROSIS, AISA, JAS-150
- Institut für Fernerkundung und Photogrammetrie, Technischen Universität Graz, Dr. V. Kaufmann (Geometrie), ausgelieferte Datensätze: RMK, DigiCAM

- Labor für Photogrammetrie, Technische Fachhochschule Berlin, Prof. Dr. M. Kähler und Prof. M. Breuer (Geometrie, Höhenmodelle, Stereoplotting), ausgelieferte Datensätze: DigiCAM, DMC
- Institut für Geowissenschaften, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Prof. Dr. C. Gläßer und Dr. A. Jung (Radiometrie, Spektrometermessungen)
- Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung, ETH Zürich, Prof. Dr. A. Grün und Dr. M. Baltsavias (Geometrie, Radiometrie, Höhenmodelle), ausgelieferte Datensätze: 3K-Kamera, DMC, ALS50, JAS-150, ADS40, Ultracam-X
- Institut für angewandte Photogrammetrie und Geoinformation, FH Oldenburg, Prof. Dr. T. Luhmann (Geometrie)
- INSA Strasbourg, Graduate School of Science and Technology, Prof. Dr. P. Grussenmeyer (Geometrie, Höhenmodelle)
- Bundesamt für Geodäsie und Kartographie, Frankfurt/M., Dr. A. Busch (Geometrie), ausgelieferte Datensätze: ADS40, DMC, ALS50
- Amt für Geoinformation, Vermessung- und Katasterwesen Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin, S. Baltrusch (Geometrie, Höhenmodelle), ausgelieferte Datensätze: RMK, DigiCAM, DMC, Ultracam-X
- Landesamt für Vermessung und Geoinformation, München, W. Stöbel (Geometrie, Radiometrie), ausgelieferte Datensätze: RMK, DMC, ADS40, Ultracam-X
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, H. Hastedt (Radiometrie, Landnutzungsklassifizierungen, Höhenmodelle, Stereoplotting), ausgelieferte Datensätze: ADS40, DigiCAM, DMC, JAS-150
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen, S. Holzwarth und Dr. F. Kurz (Geometrie, Radiometrie), ausgelieferte Datensätze: ALS50, Passpunkte
- EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Münster, C. Lücke (Radiometrie, Landnutzungsklassifizierung)
- aphos Leipzig, Dr. Schulz (Geometrie, Stereoplotting)
- C+B Technik Markgröningen, Dr. E. Wild (Stereoplotting), ausgelieferte Datensätze: RMK, DigiCAM, DMC, ALS50
- Geosystems GmbH, Germering/Berlin, R. Schneider (Höhenmodelle), ausgelieferte Datensätze: ADS40, DMC, ALS50, Ultracam-X
- RAG Aktiengesellschaft, Herne, V. Spreckels (Geometrie, Radiometrie, Höhenmodelle, Stereoplotting), ausgelieferte Datensätze: JAS-150, ADS40, DigiCAM, DMC, RMK, Ultracam-X, ALS50
- Intergraph Z/I Imaging Ltd, Aalen, C. Dörstel und K. Neumann (Vergleichsauswertung Hersteller)
- Trimble Holdings GmbH, Metric Imaging Dpt., Braunschweig, T. Tölg (Vergleichsauswertung Hersteller)
- Vexcel Imaging GmbH, Graz, Dr. M. Gruber (Vergleichsauswertung Hersteller), ausgelieferte Datensätze: Ultracam-X, Referenzkoordinaten, ALS50
- IGI mbH, Kreuztal, Dr. J. Kremer (Vergleichsauswertung Hersteller), ausgelieferte Datensätze: DigiCAM, Referenzkoordinaten