

Der DGPF-Test zur Evaluation digitaler Luftbildkameras – Überblick und Testdesign

MICHAEL CRAMER¹

Zusammenfassung: Dieser Artikel konzentriert sich auf grundsätzliche Anmerkungen zum Test von digitalen photogrammetrischen Luftbildkamerasystemen, durchgeführt von der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF). Der Beitrag soll einen Überblick über die Rahmenbedingungen des Tests geben, die verfügbaren Referenz- und Testdaten vorstellen und die Struktur und Organisation der Datenauswertung erläutern. Die detaillierten Ergebnisse der Auswertungen werden in separaten Beiträgen vorgestellt, die ebenfalls im Rahmen der 3-Ländertagung zur Vorstellung kommen werden. Gleichzeitig wird das Projekt auch mit dieser Veranstaltung offiziell zum Abschluss gebracht.

1 Einleitung

Die digitale Bildaufzeichnung ist Praxis in der photogrammetrischen Luftbildanwendung. Die deutschen Landesvermessungsbehörden schreiben Neubefliegungen ausschließlich als digitale Bildflüge aus. Im Jahr 2009 konnte damit die Umstellung auf digitale Befliegungen erfolgreich in allen Bundesländern umgesetzt werden (BALTRUSCH 2010). Ähnliches gilt auch für viele andere europäische Länder. Damit hat sich in deutlich weniger als 10 Jahren und somit schneller als ursprünglich erwartet die digitale Bildaufzeichnung als Standardverfahren für photogrammetrische Bildflüge etabliert. Dennoch werden vor allem von Anwenderseite unabhängige Untersuchungen zur umfassenden Qualitätsabschätzung der digitalen Aufnahmesysteme gefordert, die sowohl die aktuellsten Kameraentwicklungen berücksichtigen und diese nicht nur hinsichtlich geometrischer Qualität der 3D-Objektpunktbestimmung untersuchen, sondern sich auch mit radiometrischen Aspekten und der Genauigkeit von abgeleiteten Produkten wie die automatisch generierten Oberflächenmodelle bzw. Ergebnisse aus dem manuelle Stereoplotting auseinandersetzen. Zwar kann auf Publikationen von z.B. PASSINI & JACOBSEN (2008) oder CRAMER (2007) verwiesen werden, diese beschränken sich aber nur auf die Untersuchung der geometrischen Genauigkeiten und berücksichtigen nicht die letzten Sensorentwicklungen. Untersuchungen zum radiometrischen Potenzial und möglichen Anwendungen im Bereich der Fernerkundung finden sich in MARTÍNEZ ET AL. (2007) und HONKAVAARA ET AL. (2009). Teilweise wurden in diesen Tests hyperspektrale Aufnahmesysteme parallel zu den digitalen Kameras geflogen. Obwohl mit diesen Tests bereits das hohe Potenzial der digitalen Kamerasystem nachgewiesen wurde, hat sich die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) Ende 2007 dazu entschlossen, einen eigenen und unabhängigen Test zur Qualitätsuntersuchung digitaler photogrammetrischer Luftbildkamerasysteme durchzuführen – nicht nur um die früheren Tests zu verifizieren, sondern auch um die aktuellsten Produktentwicklungen berücksichtigen zu

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

können und mit der Analyse von abgeleiteten Produkten auch die Prozesskette einzubeziehen. Aufgrund der stark unterschiedlichen Sensorgeometrien (z.B. Zeilenscanner bzw. Mehrkopf-Flächensysteme) sind sensorspezifische (Vor-)Verarbeitungsschritte erforderlich. Damit existiert für die digitale Bildauswertung eine deutlich engere Verknüpfung zwischen verwendetem Sensor und zugeordneter Prozesskette, als dieses für die analogen Kamerasysteme der Fall war.

Um eine spätere Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse zu garantieren, sollten die erforderlichen Testflüge in einem Testgebiet unter ähnlichen Flugbedingungen durchgeführt werden. Dazu wurde das Testfeld Vaihingen/Enz ausgewählt, welches seit 1995 von dem Institut für Photogrammetrie (ifp), Universität Stuttgart für die empirische Qualitätskontrolle von luftgestützten Sensoren eingesetzt wird (CRAMER 2005). Demzufolge wurde das ifp von der DGPF als verantwortliches Pilotzentrum mit der Leitung der Untersuchung betraut. Dieses beinhaltete auch die Aufbereitung und Auslieferung der Testdaten an die Teilnehmer aus Wissenschaft, Behörden, privaten Firmen und natürlich den Sensorherstellern selber. Für die spätere Produktgenerierung wurden vom ifp zudem für fast alle Sensoren einheitliche Referenzorientierungen bereitgestellt (CRAMER & HAALA 2009).

Auch wenn der DGPF-Test von vielen als ein direkter Vergleich verschiedener Sensorsysteme gesehen wird und dieses sicher auch eine wesentliche Motivation für den Test war, so soll doch eindrücklich darauf hingewiesen werden, dass es sich hier eher um das Herausarbeiten von sensorspezifischen Stärken und ggf. Schwachpunkten handelt. Der direkte Vergleich ist auch deswegen kaum möglich, da trotz des identischen Testgebiets die Flüge zwangsläufig an verschiedenen Tagen mit unterschiedlichen Aufnahmebedingungen erfolgen mussten. Zudem musste das eigentlich vorgesehene Befliegungsfenster von 2 Wochen letztlich wetterbedingt auf ein deutlich längeres Intervall von Juli bis September 2008 gestreckt werden. Dieses wird auch nachfolgend genauer dargestellt. Im Abschnitt 2 werden die Referenzdaten vorgestellt, anschließend folgen in Kapitel 3 die empirischen Testflüge. Sowohl Referenzdaten als auch Testflugdaten liefern die Basis für die späteren Genauigkeitsuntersuchungen. Kapitel 4 geht schließlich auf die Organisation der Auswerteteams und die beteiligten Institutionen ein.

2 Referenzdaten

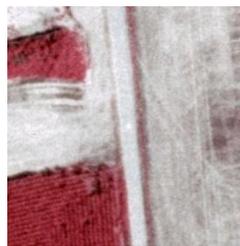
2.1 Testfeld Vaihingen/Enz

Für die Befliegungen im Rahmen des DGPF-Projekts wurden im Testfeld Vaihingen/Enz ca. 200 Punkte mit Farbmarkierungen signalisiert und mit statischen GPS-Basislinienmessungen eingemessen. Die Genauigkeit der Referenzpunkte (Koordinatenfehler, Std.Abw.) kann mit 1 cm für die horizontale und 2 cm für die vertikale Komponente angegeben werden. Diese Genauigkeiten sind bei den späteren Genauigkeitsvergleichen zu berücksichtigen. Vor allem für die hochauflösenden Befliegungen (Bodenpixelgröße (GSD) 8 cm), für die entsprechende Genauigkeiten im Sub-Pixelbereich zu erwarten sind, erscheint die obige Genauigkeit der Referenzpunkte als nicht hinreichend um wirklich als Referenz dienen zu können. Dieses ist aber ein grundsätzliches Problem, das vor allem durch den deutlichen Trend nach immer höher aufgelösten Bildflügen ($GSD \leq 10$ cm) verschärft wird. Dieses bedingt zwangsläufig auch höhere Anforderungen an die Genauigkeit der eigentlichen Referenzdaten und damit auch mehr Aufwand, was die Bestimmung von Referenzdaten für operationelle Projekte betrifft.

Die empirischen Testflüge wurden mit nominellen GSD-Werten von 20 cm bzw. 8 cm geplant, wobei die höherauflösenden Bildflüge nur im zentralen Bereich des Testfelds erfolgten. Die Signalisierung der Referenzpunkte erfolgte mit weißen, quadratischen 60 x 60 cm² Farbmarkierungen, die im zentralen Testfeldbereich um eine mittig angeordnete 30 x 30 cm² schwarze Markierung ergänzt wurden (Abb. 1). In dieser Abbildung sind exemplarisch auch die Ausschnitte aus den quasi zeitgleich aufgenommenen Bildern der DMC bzw. RMK-Befliegungen für die beiden realisierten Flughöhen dargestellt. Beide Kameras waren in einem Doppelkameraloch-Flugzeug installiert, damit kann auch die Bildqualität direkt miteinander verglichen werden. Für die 20 cm GSD-Flüge ist der signalisierte Punkt aufgrund der größeren Bodenpixel deutlich schlechter zu identifizieren, und das obwohl aufgrund von Überstrahlungseffekten das Signal deutlich größer als die nominell 3 x 3 pix im Bild erscheint. Rein visuell wird auch schon die bessere radiometrische Qualität der DMC und allgemein digital aufgenommener Bilder ersichtlich. Dennoch erscheint für den 8 cm GSD Flug das analog aufgenommene RMK Bild schärfer zu sein, was anhand weiterer Untersuchungen zum geometrischen Auflösungspotenzial am Siemensstern zu verifizieren ist (Abb. 2). Die korrekte Identifikation und Messung der Bildpunkte, die vor allem für die Passpunkte i.d.R. manuell zu erfolgen hat, ist mitentscheidend für die resultierende Genauigkeit der Georeferenzierung. Die Variation in manuellen Bildpunktmessungen von unterschiedlichen Operateuren unter Verwendung des gleichen Bildmaterials wird in JACOBSEN ET AL. (2010a) untersucht. Während für fast alle digitalen Bilddatensätze die Übereinstimmung der manuellen Messung im Bereich von 0,2 pix (RMS) liegt, fallen vor allem bei den RMK 20 cm GSD Bildpunktmessungen größere Differenzen zwischen 0,3 – 0,45 pix (RMS) auf. Dieses kann bereits ein Hinweis auf die unterschiedliche radiometrische Qualität der gescannten Analogbilder im Vergleich zu den digitalen Bildern sein, die natürlich auch schon die Bildpunktmessung beeinflusst.



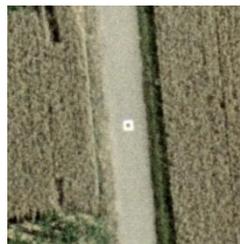
Punkt Nr. 3006 signalisiert mit Farbmarkierung auf Feldweg im zentralen Testfeldbereich.



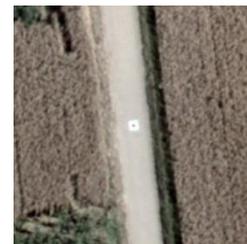
RMK 20cm GSD CIR



DMC 20cm GSD CIR



RMK 8cm GSD RGB



DMC 8cm GSD RGB

Abb. 1: Signalisierter Referenzpunkt im zentralen Bereich des Testfelds Vaihingen/Enz und die korrespondierenden Bildpunkte in den zeitgleich aufgenommenen DMC und gescannten RMK Bildern.

2.2 Weitere Referenzdaten

Neben den etwa 200 permanent signalisierten Referenzpunkten wurde das Testfeld an den Befliegungstagen um temporäre Signale ergänzt, die für die Untersuchungen zur geometrischen Auflösung und radiometrischen Qualität der Bilddaten Verwendung finden. Die Abb. 2 zeigt die verwendeten Farbtafeln und Auflösungsmuster. Der große Siemensstern hat einen Radius von 8 m, die beiden kleineren Siemenssterne sind $2 \times 2 \text{ m}^2$ groß. Diese Größe haben auch die vier Farbtafeln. Der kontinuierliche Graukeil hat eine Abmessung von $2 \times 3 \text{ m}^2$.

Parallel zu den Bildflügen wurden von den Bodenteams Spektrometermessungen auf den Farbtafeln und anderen natürlichen Oberflächen durchgeführt um die spektrale Charakteristik zu ermitteln. Mittels Sonnenphotometer wurde zeitgleich die optische Dichte der Atmosphäre bestimmt. Diese Referenzmessungen lieferten die Grundlage für die spätere radiometrische Analyse der Sensordaten (SCHÖNERMARK 2010), wobei sich letztlich die Farbtafeln aufgrund starker richtungsabhängiger Reflexion und zu geringer Größe als nicht optimal herausstellten.



Abb. 2: Vaihingen/Enz Radiometrie Testtafeln aufgenommen aus der Luft (links) und das Bodenteam bei den parallel zu den Bildflügen durchgeführten Spektrometermessungen an den Farbtafeln (rechts).

Neben den beschriebenen Bodendaten wurden weitere Referenzdaten aus der Luft erfasst (siehe Tab. 1, unterer Teil). Teile des Testgebiets wurden durch hyperspektrale Scanner überflogen. Insbesondere der AISA+ Datensatz, der parallel mit einer DMC in einem Flugzeug mit Doppelkamerainstallation aufgezeichnet wurde, ermöglicht eine radiometrische inter-sensorale Kalibrierung. Diese Untersuchungen werden in JUNG ET AL. (2010) vorgestellt. Für die Erstellung eines Referenzhöhenmodells wurde eine Laserscannerbefliegung mit dem ALS 50 System durchgeführt. Der Flug beschränkte sich ebenfalls auf den zentralen Testfeldbereich. Die Punkte wurden mit einer Dichte von $\geq 5 \text{ Punkte/m}^2$ erfasst. Obwohl die Prozessierung der ALS 50 Daten vom Hersteller direkt vorgenommen wurde, haben die Auswertungen der TU Wien gezeigt, dass noch ein gewisses Potenzial zur Verbesserung der Georeferenzierung vorhanden war. Dieses wird auch in HAALA ET AL. (2010a) diskutiert.

3 Bildflüge

Die Bildflüge wurden an 6 verschiedenen Flugtagen in einem Zeitraum von 10 Wochen erfasst (siehe Tab. 1). Das ursprünglich geplante Zeitfenster von 2 Wochen konnte aufgrund ungünstiger Witterungsverhältnisse nicht eingehalten werden. Damit mussten signifikante Änderungen der Beleuchtungsbedingungen (durch Variation Sonnenhöchststand) als auch in der Vegetation (Reflexionsverhalten Objekt Oberfläche) in Kauf genommen werden. Dieses sollte aufgrund der angestrebten vergleichbaren Aufnahmebedingungen eigentlich vermieden werden. Durch die Vegetationsänderungen wurden wiederholte Feldbegehungen erforderlich (WASER ET AL. 2010).

Tab. 1: Zusammenstellung der beteiligten Kamerasysteme, Firmen und realisierte Flugtage

System	Systemanbieter/ Hersteller	Flugfirma	Flugtag(e)	Anmerkungen
DMC	Intergraph/ZI	RWE Power	24.07.2008 & 06.08.2008	Paralleler Flug mit RMK-Top15 8 cm GSD mit p=60%
ADS40, SH52	Leica Geosystems	Leica Geosystems	06.08.2008	
JAS-150	Jenaoptronik	RWE Power	09.09.2008	
Ultracam-X	Vexcel Imaging Graz	bsf Swissphoto	11.09.2008	
RMK-Top15	Intergraph/ZI	RWE Power	24.07.2008 & 06.08.2008	Paralleler Flug mit DMC 8 cm GSD mit p=60%
Quattro DigiCAM	IGI	Geoplana	06.08.2008	
AIC-x1	Trimble/ Rolleimetric	Alpha Luftbild	11.09.2008	nur 8 cm GSD, keine Querstreifen
AIC-x4	Trimble/ Rolleimetric	Vulcan Air	19.09.2008	Daten nicht im Projekt verfügbar
DLR 3K- camera	DLR München	DLR München	15.07.2008	nur 20 cm GSD, keine Querstreifen
AISA+ hyper-spektral	specim FH Anhalt	RWE Power	02.07.2008	Paralleler Flug mit DMC
ROSIS hyper-spektral	DLR München	DLR München	15.07.2008	
ALS 50 Laserscanning	Leica Geosystems	Leica Geosystems	21.08.2008	

Wie bereits erwähnt wurden die Bilddaten mit GSD Werten von 20 cm bzw. 8 cm erfasst, wobei die 20 cm GSD Flüge das gesamte Testfeld abdecken, die 8 cm GSD Flüge sich nur auf den inneren Bereich beschränkten. Die 20 cm GSD Bildverbände wurden mit 60/60 Überdeckungsverhältnissen geflogen, für die 8 cm GSD Blöcke wurde eine 80% Längsüberdeckung angestrebt, für beide Flughöhen jeweils mit zwei Querstreifen am Blockanfang bzw. -ende. Aufgrund der unterschiedlichen Sensorgeometrien und der festgelegten Ausdehnung des Testfelds Vaihingen/Enz musste die Querüberdeckung sensorspezifisch auf die realisierte Bildabdeckung im Gelände angepasst werden, was sich auf die Blockgeometrie und damit auch die spätere Vergleichbarkeit auswirkt. Hinzu kommt, dass nicht alle Testflüge gemäß den Vorgaben ausgeführt werden konnten (siehe Anmerkungen in Tab. 1) und Befliegungen z.T. nur in einer Flughöhe bzw. ohne Querstreifen durchgeführt wurden. Wettertechnische Veränderungen während der Befliegung bzw. zwischen den unterschiedlichen Bildflugtagen sind ebenfalls zu berücksichtigen.

Die erflogenen Sensordaten wurden i.d.R. von den Systemherstellern direkt an das Pilotzentrum übergeben. Alle Hersteller hatten dafür Zugriff auf die Koordinaten von 19 Passpunkten, um die auszulieferenden Datensätze auf Konsistenz und Vergleichbarkeit mit anderen Projekten zu prüfen. Einige der Sensorhersteller haben diese Informationen aber offensichtlich auch zur tiefergehenden Analyse ihrer Datensätze genutzt. Daher muss unter Umständen davon ausgegangen werden, dass die hier analysierten Testdaten ggf. eine andere Qualität haben, wie die ansonsten in operationellen Projektbefliegungen zur Verfügung stehenden Daten. Die Aussagen der im Rahmen des DGPF-Projekts entstandenen Beiträge beziehen sich immer nur auf diese empirischen Testdaten. Dieses muss beachtet werden, sollten Schlussfolgerungen aus diesem Test auf die spätere operationelle Anwendung übertragen werden.

4 Projektorganisation und Auswerteteams

Das DGPF-Kameraevaluierungsprojekt wurde offiziell im Frühjahr 2008 während der DGPF-Jahrestagung in Oldenburg präsentiert. Über 100 Experten überwiegend aus dem deutschsprachigen Raum bekundeten daraufhin ihr Interesse an diesem Projekt und haben sich auf dem Projektverteiler eingetragen. Über 30 Institutionen haben sich letztlich aktiv an den Auswertungen beteiligt, die offizielle Projektvereinbarungserklärung unterschrieben und damit konkrete Datensätze zur Analyse angefordert. In Abb. 3 sind diese aktiven Teilnehmer nach Schwerpunkten gruppiert. Wie zu erwarten war, stammen knapp 50% aus dem wissenschaftlichen Umfeld. Weitere 40% der Teilnehmer repräsentieren kommerzielle Firmen, darunter auch die Herstellerfirmen. Etwa 15% stammen aus dem behördlichen Vermessungswesen, im Wesentlichen den Landesvermessungsämtern, einem der Hauptanwender von Daten digitaler Kamerasysteme. Eine Liste aller Projektteilnehmer findet sich in CRAMER (2009) bzw. auf der Projektinternetpräsenz (DGPF 2010).

In der Projektvereinbarung mussten die erforderlichen Daten, Arbeitsschwerpunkte und ein grober Arbeitsplan spezifiziert werden. Das Pilotzentrum hat ab Spätherbst 2008 die Datensätze an die aktiven Institutionen ausgeliefert. Wie aus Abb. 3 ersichtlich wurden 110-mal Datensätze ausgeliefert. Schwerpunkt lag ganz klar auf den flächenbasiert arbeitenden Mehrkopfkamerasystemen DMC, Ultracam und DigiCAM, deren Daten 60% der Datenanfragen

ausmachten. Demgegenüber wurden die ADS und JAS Zeilenkameradaten nur in 18% der Auslieferungen angefragt. Diese Verteilung reflektiert die aktuelle Situation (zumindest hier im deutsch-sprachigen Raum), dass flächenhaft aufzeichnende Digitalkameras momentan auch in aktuellen Projektbefliegungen einen deutlich größeren Anteil haben als die zeilenhaft aufzeichnenden Systeme. Die gescannten RMK-Bilder wurden 15-mal zu Vergleichszwecken ausgeliefert. Die Daten der mit kleineren Bildformaten arbeitenden 3K-Kamera und des AIC-x1 Systems wurden nur in unter 10% der Anfragen berücksichtigt.

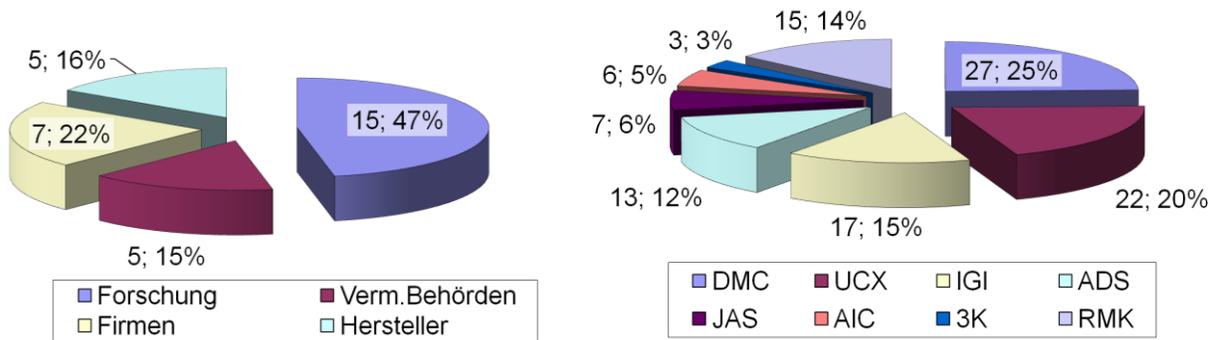


Abb. 3: Beteiligte Institutionen (links) und vom Pilotzentrum ausgelieferte Datensätze (rechts), Stand 1. Oktober 2009.

Je nach Schwerpunkt der geplanten Arbeiten wurden die aktiven Institutionen einzelnen Auswerteteams zugeordnet, auch um die Arbeiten zu koordinieren und interne Diskussionen schon während der Datenprozessierung zu fördern. Vier Auswerteteams mit je einem Themenschwerpunkt wurden definiert, die jeweils von einem ausgewiesenen Experten geleitet wurden: Karsten Jacobsen, Leibniz Universität Hannover (Auswerteteam Geometrie), Maria von Schönermark, DLR Oberpfaffenhofen (Auswerteteam Radiometrie), Norbert Haala, Universität Stuttgart (Auswerteteam Höhenmodelle) und Volker Spreckels, RAG Deutsche Steinkohle (Auswerteteam Stereoplotting). Da viele der aktiven Teilnehmer eher aus dem photogrammetrischen Umfeld stammen, wurden die Themen Geometrie und Höhenmodelle detaillierter untersucht. Die ursprüngliche Absicht, in allen Bereichen redundante Auswertungen verschiedener Institutionen miteinander vergleichen zu können, konnte vor allem für die Auswertungen des Radiometrieteils nicht erfüllt werden. Hinzu kommt, dass nicht alle der ausgelieferten Datensätze von den Teilnehmern auch prozessiert wurden bzw. deren Ergebnisse an die Auswerteteams oder das Pilotzentrum berichtet wurden. Die Gründe dafür waren Zeitmangel und kurzfristig verschobene Prioritäten. Deutlich mehr als $\frac{3}{4}$ der Firmen, die ursprünglich Daten angefragt und geliefert bekommen hatten, haben letztlich keine Ergebnisse zurückgeliefert. Bei den beteiligten Personen und Institutionen aus Wissenschaft und Behörden waren es 40% bzw. 20%, die trotz Datenlieferung keinen Beitrag zu den Ergebnissen liefern konnten.

Damit kann auch mit Projektabschluss im Rahmen der 3-Ländertagung in Wien noch nicht für alle Aspekte des DGPF-Kameraevaluierungsprojekts eine umfassende Auswertung präsentiert werden. Dennoch liefern die im Rahmen dieser Tagung präsentierten Fachvorträge und Berichte

einen umfassenden Einblick in das Potenzial der aktuellen digitalen Kamerasysteme und der vorhandenen Prozessketten. Im Einzelnen ist auf die Beiträge von JACOBSEN ET AL. (2010b), HAALA ET AL. (2010b), SPRECKELS & SCHLIENKAMP (2010), JUNG ET AL. (2010), HIRSCHMÜLLER & BUCHER (2010) und KÖLBL (2010) zu verweisen. Einige dieser Beiträge sind bereits in z.T. ausführlicherer Fassung und englischer Sprache in der Zeitschrift PFG, Heft 2, 2010 publiziert worden. Das trifft auch für den hier vorliegenden Beitrag zu. Darüber hinaus muss auf die Veröffentlichungen im Rahmen der letztjährigen DGPF-Jahrestagung in Jena (März 2009) verwiesen werden. Alle bisherigen im Projekt entstandenen Publikationen sind auch über die Projektinternetpräsenz verlinkt (DGPF 2010).

5 Zusammenfassung

Das DGPF-Kameraevaluierungsprojekt ist zweifellos einer der wichtigen Beiträge zur Untersuchung des Potenzials der digitalen Kameratechnologien im photogrammetrischen Anwendungsfeld. Obwohl der Test lt. Titel eigentlich nur die Qualität der jeweiligen Kamerasysteme untersuchen und deren Eignung für spätere Anwendungen darstellen sollte, wurde im Rahmen der Auswertungen deutlich, dass es nicht nur der Sensor selber sondern vor allem auch die anschließende Prozesskette ist, die wesentlichen Einfluss auf die zu erzielende Genauigkeit hat. Es ist daher nur logisch, dass im Nachgang des DGPF-Projekts die Qualität der aktuellen Prozessierungssoftware weiter zu untersuchen ist. Ein erstes internationales Projekt zum Vergleich von verschiedenen Programmen zur automatischen Generierung von digitalen Oberflächenmodellen aus digitalen Bildern wird gerade vom IGN Paris im Rahmen der EuroSDR (European Spatial Data Reserach, www.eurosd.net) initiiert (IGN 2010). Es beruht direkt auf den Erfahrungen des DGPF-Projekts. Derartige Untersuchungen werden die bisherigen Ergebnisse des DGPF-Tests daher zukünftig wirkungsvoll ergänzen.

Die im Rahmen des DGPF-Projekts erfassten empirischen Datensätze sind wissenschaftlich wertvoll und wie bereits angedeutet für weitere, tiefere Untersuchungen prädestiniert (z.B. auch im Rahmen der Arbeiten von Arbeitsgruppen der ISPRS oder sonstiger wissenschaftlicher Organisationen). Eine Weiterverwendung der Daten in diesem Sinne wird auch vom DGPF-Vorstand unterstützt und gefördert. Konkrete Anfragen sind an den DGPF-Vorstand zu richten. Es bleibt zu hoffen, dass sich dieser Datensatz als ein möglicher Referenzdatensatz für die nächsten Jahre etabliert.

Auch wenn es letztlich nicht möglich war in der gut 2-jährigen Projektlaufzeit alle Aspekte in der ursprünglich geplanten Breite und Tiefe zu untersuchen, so konnten die erzielten Ergebnisse dennoch das hohe Potenzial der digitalen Bildaufzeichnung und anschließenden Auswertung nachhaltig untermauern und damit frühere Untersuchungen ergänzen. Die kontinuierliche Verbesserung der Aufnahmesysteme und auch der zugeordneten Software wird das Potenzial dieser Systeme zukünftig noch weiter verbessern.

6 Danksagung

Mit der 3-Ländertagung in Wien im Juli 2010 findet das DGPF-Kameraevaluierungsprojekt nun seinen offiziellen Abschluss. Daher gilt es Dank zu sagen an alle diejenigen, die dieses Projekt ermöglicht, fortwährend getragen und durch vielfache Beiträge jeglicher Art unterstützt haben, vor allem vor dem Hintergrund, dass alle diese Arbeiten ohne finanzielle Vergütungen durchgeführt wurden. Namentlich sollen erwähnt werden Frau Cornelia Gläßer und Herr Herbert Krauß für die Unterstützung im DGPF-Vorstand, Frau Maria von Schönermark und die Herren Karsten Jacobsen, Norbert Haala und Volker Spreckels als Leiter der Auswerteteams und insbesondere Herr Werner Schneider, der für die Koordinierung der Arbeiten im Testfeld Vaihingen/Enz und die Aufbereitung und Verteilung der Testdaten an die Teilnehmer verantwortlich war. Allen diesen Personen gilt ausdrücklicher Dank für ihr unermüdliches Engagement im Sinne des Projekts!

7 Literaturverzeichnis

- BALTRUSCH, S., 2010: Niederschrift über den 3. AdV Workshop „Digitaler Bildflug“ am 16. und 17. März 2010 am LGN Niedersachsen, Hannover, Vorbericht zur 23. Tagung AK Geotopographie in Schwerin, AK GT Unterlage 945, 7 Seiten.
- CRAMER, M. & HAALA, N., 2009: DGPF project: Evaluation of digital photogrammetric aerial based imaging systems – overview and results from the Pilot Centre, in Proceedings ISPRS Workshop High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, Leibniz Universität Hannover, June 2-5, 2009, digital auf CD, 8 Seiten.
- CRAMER, M., 2009: Digital Airborne Camera Performance – The DGPF Test, in Fritsch (ed.): Photogrammetric Week '09, Wichmann, Heidelberg, S. 51–68.
- CRAMER, M., 2007: The EuroSDR performance test for digital aerial camera systems, in Fritsch (ed.): Photogrammetric Week '07, Wichmann, Heidelberg, S. 89–106.
- CRAMER, M., 2005: 10 Years ifp Test Site Vaihingen/Enz: An Independent Performance Study, in Fritsch, D. (Ed.): Photogrammetric Week '05, Wichmann Verlag, Heidelberg, S. 79–92.
- DGPF, 2010: Projekt-Internetpräsenz, www.ifp.uni-stuttgart.de/dgpf/, letzter Zugriff 8. Juni 2010.
- HAALA, N., HASTEDT, H., WOLFF, K., RESSL, C. & BALTRUSCH, S., 2010a: Digital photogrammetric camera evaluation - generation of digital elevation models, *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation (PFG)*, 02/2010, S. 99–116.
- HAALA, N., HASTEDT, H., RESSL, C. & WOLFF, K., 2010b: DGPF Projekt: Evaluierung digitaler photogrammetrischer Luftbildkamerasysteme – Themenschwerpunkt Höhenmodelle, In Proceedings 3-Ländertagung Wien, Juli 2010, diese Ausgabe.
- HIRSCHMÜLLER, H. & BUCHER, T., 2010: Evaluation of Digital Surface Models by Semi-Global Matching, In Proceedings 3-Ländertagung Wien, Juli 2010, diese Ausgabe.

- HONKAVAARA, E., ARBIOL, R., MARKELIN, L., MARTINEZ, L., CRAMER, M., BOVET, S., CHANDELIER, L., ILVES, R., KLONUS, S., MARSHAL, P., SCHLÄPFER, D., TABOR, M., THOM, C. & VEJE, N., 2009: Digital airborne photogrammetry – A new tool for quantitative remote sensing? – A state-of-the-art review on radiometric aspects of digital photogrammetric images, *Remote Sens.* 2009, 1(3), 577-605, verfügbar unter <http://www.mdpi.com/2072-4292/1/3/577/>, 29 Seiten, letzter Zugriff 10. Dezember, 2009.
- IGN 2010: Projekt-Internetpräsenz, <http://euosdrbenchmarkofimagematching.ign.fr/>, letzter Zugriff 8. Juni 2010.
- JACOBSEN, K., CRAMER, M., LADSTÄDTER, R., RESSL, C. & SPRECKELS, V., 2010a: DGPF project: Evaluation of digital photogrammetric camera systems – geometric performance, *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation (PFG)*, 02/2010, S. 85–98.
- JACOBSEN, K., CRAMER, M., LADSTÄDTER, R., RESSL, C. & SPRECKELS, V. 2010b: DGPF Projekt: Evaluierung digitaler photogrammetrischer Kamerasysteme – Themenschwerpunkt Geometrie, In Proceedings 3-Ländertagung Wien, Juli 2010, diese Ausgabe.
- JUNG, A., BANNEHR, L., GLÄBER, C., GOETZE, C. & KLONUS, S., 2010: Vergleichbarkeit von zeitlich, radiometrisch und spektral unterschiedlich abbildenden Kamerasystemen, In Proceedings 3-Ländertagung Wien, Juli 2010, diese Ausgabe.
- KÖLBL, O., 2010: Überlegungen zum Dynamikbereich von digitalen, flächenbasierten Luftbildkamerasystemen vom Testflug Vaihingen/Enz, In Proceedings 3-Ländertagung Wien, Juli 2010, diese Ausgabe.
- PASSINI, R. & JACOBSEN, K., 2008: Accuracy analysis of large size digital aerial cameras, in Proceedings ISPRS Congress Beijing 2008, Volume XXXVII, Part B1, Commission I, WG I/4, S. 507–513.
- MARTÍNEZ, L., ARBIOL, R., PALÀ, V. & PÉREZ, F., 2007: Digital Metric Camera radiometric and colorimetric calibration with simultaneous CASI imagery to a CIE Standard Observer based colour space. In Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Barcelona, Spain, 23.-28. Juli.
- SCHÖNERMARK VON, M., 2010: Status report about the evaluation of the radiometric properties of digital photogrammetric airborne cameras, *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation (PFG)*, 02/2010, S. 131–140.
- SPRECKELS, V. & SCHLIENKAMP, A., 2010: DGPF Projekt: Evaluierung digitaler photogrammetrischer Kamerasysteme – Themenschwerpunkt Stereoplotting, In Proceedings 3-Ländertagung Wien, Juli 2010, diese Ausgabe.
- WASER, L. T., KLONUS, S., EHLERS, M. KÜCHLER, M. & JUNG, A., 2010: Potential of digital sensors for land cover and tree species classifications - a case study in the framework of the DGPF-project, *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation (PFG)*, 02/2010, S. 141–152.