

Projektbericht DGPF-Kameraevaluierung

Evaluierung digitaler photogrammetrischer Luftbildkamerasysteme

Projektstatus September 2008

Über das im Rahmen der diesjährigen Jahrestagung in Oldenburg unter großer Beteiligung vorgestellte DGPF-Projekt zur Evaluierung digitaler Kamerasysteme wurde in der PFG 4/2008 erstmals ausführlich berichtet. Dieser Bericht soll nun den Fortgang der Projektarbeiten mit Stand September 2008 dokumentieren.

Bilddatenerfassung

Wie auf der Jahrestagung vereinbart wurden die Testdaten im vom Institut für Photogrammetrie (ifp), Universität Stuttgart eingerichteten photogrammetrischen Testfeld Vaihingen/Enz erfasst. Aufgrund der in diesem Jahr sehr ungünstigen Wettersituation hat sich die Datenerfassung jedoch deutlich verschoben und konnte auch nicht in einem zeitlich beschränkten Fenster von etwa 2 Wochen erfolgen. Ursprünglich war vorgesehen, sämtliche Daten inklusive der Referenzdaten durch Feldbegehungen im Juni zu erfassen. Letztlich konnten bis September noch nicht alle Systembefliegungen erfolgreich abgeschlossen werden. Die **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die aktuelle Situation bezüglich der absolvierten Bildflüge (Stand 11.9.08).

Der weiterhin für das Projekt geplante und zugesagte Bildflug mit der Rolleimetric AIC-x4 Kamera soll in KW 42 geflogen werden. Danach wird das Testfeld geschlossen.

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 (Kodak AC III Infrarotfilm 1443) verwendet, für den großmaßstäbigen Block GSD 8cm Color-Negativ-Film

(Agfa Avicolor X100).

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.

Die DLR 3K-Kamera hat nur die Flüge GSD 20cm realisiert. Mit der AIC-x1 konnte nur der GSD 8cm Block erfasst werden.

System	Flugfirma	Flugtag
DMC	RWE Power	24.7.08 6.8.08
ADS 40, 2nd	Leica Geosystems	6.8.08
JAS-150	RWE Power	9.9.08
Ultracam-X	bsf Swissphoto	11.9.08
RMK- Top15	RWE Power	24.7.08 6.8.08
DigiCAM, 4-Kopf	Geoplana	6.8.08
AIC-x1	Alpha Luftbild	11.9.08
DLR 3K-Kamera	DLR	15.7.08

Tabelle 1, Bildflugübersicht

Es bleibt 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 Längsüberdeckungen wurden für die Flüge GSD 20cm mit $p=60\%$ und GSD 8cm mit $p=80\%$ definiert. Die ursprünglich vereinbarte Querüberdeckung von $q=60\%$ musste systemspezifisch leicht angepasst werden. Je nach Sensorgeometrie ergeben

sich unterschiedliche Streifenbreiten. Daraus resultieren unter Berücksichtigung der Testfeldquerausdehnung die in Tabelle 2 und Tabelle 3 aufgeführten realen Querüberdeckungen.

Ebenfalls in den Tabellen angegeben ist die maximale Bodenpixelgröße, die sich aufgrund der Geländehöhenvariationen ergibt. Da die Planung auf den maximalen Bezugshorizont erfolgt ist können für die GSD keine kleineren Werte als die nominellen 20cm bzw. 8cm auftreten. Der Einfluss der perspektiven Verzeichnung auf die Objektpixelgröße ist hierbei berücksichtigt. Die unterschiedlichen Blockgeometrien erlauben keine sensorübergreifenden Vergleiche, sodass der Schwerpunkt der Untersuchungen, wie vereinbart, auf dem Herausarbeiten der spezifischen Anwendungsgebiete liegen wird.

System	h_g [m]	q real [%]	GSD max [cm]
DMC	2000	64.1	21.3
ADS 40, 2nd	1929	67.4	21.3
JAS-150	4615	67.4	20.6
Ultracam-X	2791	67.7	20.9
DigiCAM, 4-Kopf	2411	65.2	21.1
DLR 3K-Kamera	1350	64.5	22.9
AIC-x4	2117	68.2	21.2
AIC-x1	1382	61.9	21.9

Tabelle 2, Flugplanung (GSD 20cm)

System	h_g [m]	q real [%]	GSD max [cm]
DMC	800	62.8	9.3
ADS 40, 2nd	771	62.7	9.3
JAS-150	1846	62.7	8.6
Ultracam-X	1116	65.4	8.9
DigiCAM, 4-Kopf	964	63.6	9.1
AIC-x4	847	63.5	9.2
AIC-x1	552	62.4	9.9

Tabelle 3, Flugplanung (GSD 8cm)

Die Daten werden der Projektleitung direkt von den Systemherstellern zur Verfügung gestellt (ab Mitte September), und dann gegen unterzeichnete Projektvereinbarung mit Angabe der geplanten Untersuchungsziele auf Anforderung an die Projektbeteiligten weitergeleitet. Zur internen Plausibilitätskontrolle des Datenmaterials wurden den Systemherstellern vor Auslieferung 19 Passpunkte zur Verfügung gestellt.

Referenzdaten

Ein wichtiges Charakteristikum dieser Evaluierungskampagne ist die parallele bzw. zeitnahe Erfassung von Referenzdaten, sowohl aus der Luft als auch am Boden. Dazu wurden neben einem Leica ALS50 Laserflug auch zwei Flüge mit Hyperspektralscannern durchgeführt, wobei nur mit dem specim AISA+ System betrieben von der Hochschule Anhalt das gesamte Blockgebiet GSD 8cm erfasst wurde. Die Befliegung mit dem DLR Scanner ROSIS beschränkte sich auf den eigentlichen Radiometriestreifen und einen weiteren N-S Streifen.

System	Flugfirma	Flugtag
AISA+ Hyperspektralscanner	RWE Power	2.7.08
ROSIS Hyperspektralscanner	DLR	15.7.08
ALS 50 Laserflug	Leica	21.8.08

Tabelle 4, Flüge mit Referenzsystemen

ROSIS Hyperspektraldaten

Die ROSIS Befliegung wurde im Zeitraum 12:20–12:55 Uhr MESZ in einer Höhe über Grund von ca. 2700m durchgeführt. 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, die spektrale Bandbreite 4.0nm und das nutzbare Wellenlän-

genintervall 430–830nm (100 Spektralkanäle, siehe Abbildung 1 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

ROSIS wurde vor und nach der Kampagne auf der Calibration Home Base (CHB) des DLR radiometrisch kalibriert. Die spektrale Kalibration erfolgte an Bord durch im Sensor integrierte Spektrallampen. Die geometrische Korrektur umfasst die Synchronisation der Bilddaten mit Daten eines Kreiselkompasssystems und GPS-Daten und die anschließende Orthorektifizierung mit einem am DLR entwickelten Softwarepaket. Dazu wird das vorliegende Laser-DGM verwendet und die Ergebnisse mit den ermittelten Kontrollpunkten evaluiert. Die Atmosphärenkorrektur und Umrechnung der Strahldichte- in Reflexionsspektren erfolgt ebenfalls. Optional kann hierbei eine sog. „vicarious calibration“ unter Zuhilfenahme von am Boden eingemessenen Referenzspektren durchgeführt werden. Die Quicklooks der ROSIS-Bilddaten sowie nähere Informationen sind unter www.opairs.aero zu finden.

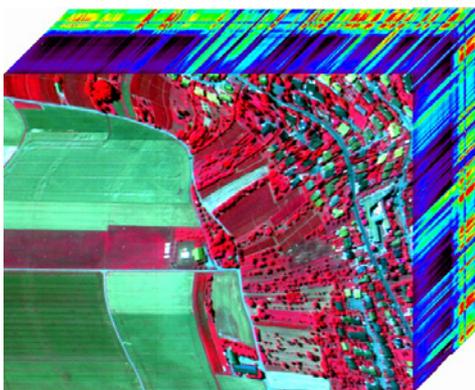


Abbildung 1, ROSIS Datenwürfel

AISA+ Hyperspektraldaten

Die Befliegung mit dem abbildenden Spektrometer AISA+ fand am 2.7.2008 zwischen 10:59 UTC und 12:06 UTC bei einem Bedeckungsgrad zwischen 1/8 bis 2/8 statt. Es wurden 12 Streifen aus einer mittleren Höhe von 1000m mit 62 spektralen Kanälen zwischen 397nm - 970nm, Bandbreite zwischen 8.7nm bis 9.6nm, geflogen.

Die Datenaufnahme betrug 60 Hz. Dies entspricht bei einer Fluggeschwindigkeit von 50m/s - 66m/s einer räumlichen Auflösung in Flugrichtung von ca. 0.83m bis 1.1m.

Eine Boresight-Kalibration wurde unmittelbar vor der Befliegung im Testgebiet durchgeführt, um die Abweichung der Achsen zwischen dem abbildenden Spektrometer und dem Trägheitsnavigationssystem (Donner C-Migits III) zu erhalten. Die Daten wurden kalibriert, rektifiziert und georeferenziert.

Von den insgesamt 12 Flugstreifen konnten 8 Flugstreifen georeferenziert werden. Bei 4 Flugstreifen traten Probleme mit den Navigationsdaten auf. Ob diese noch auswertbar sind wird derzeit geprüft.

Eine Laborkalibration wurde kurz vor der Befliegung nicht durchgeführt. Die Gerätekalibration wurde durch die Herstellerfirma Specim vier Monate zuvor getätigt. Gemäß den Angaben ist die Genauigkeit im gesamten Spektralintervall besser als 10% und die spektrale Genauigkeit besser als 1nm.

Abgeleitet wurden Strahldichten und Reflexanzen. Eine Atmosphärenkorrektur wurde bislang nicht durchgeführt. Nach Rücksprache mit der „Radiometriegruppe“ kann dies aber noch erfolgen. Die Abbildung 2 zeigt beispielhaft ein kalibriertes, rektifiziertes und georeferenziertes Strahldichtebild.

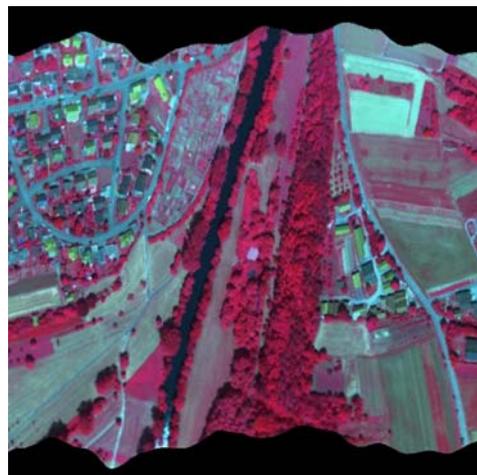


Abbildung 2, AISA+ georeferenziertes

Strahldichtebild in CIR-Darstellung

Bodenreferenzmessungen

Referenzfeld

Für jede der durchgeführten Testbefliegungen wurden Referenzplanen zur späteren Kontrolle der geometrischen und radiometrischen Systemeigenschaften signalisiert. Es handelt sich hierbei um bedruckte LKW-Planen der Größe $2 \times 2 \text{ m}^2$, die z.T. monochrom eingefärbt bzw. mit einem Siemensstern versehen sind (siehe Abbildung 3 oben). Diese Planen wurden von der RAG Deutsche Steinkohle zur Verfügung gestellt. Weiterhin verfügt das Referenzfeld noch über einen Siemensstern mit 8m Durchmesser. Vor dem ersten Auslegen wurden die Planen im Labor des DLR mittels eines ASD FieldSpec gemessen.

Spektrometermessung

Bestandteil eines jeden Testflugs war ein separater Radiometriestreifen, in dessen Zentrum obiges Referenzfeld lag. Zeitgleich zu den Befliegungen des Radiometriestreifens wurden vom Institut für Raumfahrtssysteme (IRS) der Universität Stuttgart Referenzmessungen am Boden durchgeführt. Mittels Bodenspektrometer und Sonnenphotometer können die spektralen Eigenschaften von Objektflächen bestimmt werden (siehe Abbildung 3 unten). 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. Zusätzlich wurden noch die winkelabhängigen Reflexionen im blauen, grünen, roten und nahinfraroten Spektralbereich gemessen.

Abbildung 4 zeigt eine dreidimensionale Darstellung der winkelabhängigen Reflexion (BRDF) um 8:26 UTC über Gras, gemessen im nahen Infraroten am 8.6.08. Sie verdeutlicht, dass bei festem Sonnenstand die reflektierte Strahlung von der Beobachterposition abhängt. Der Mittelpunkt der Kreisfläche gilt für die Nadirbeobachtung.

Ein Maximum der Reflexion in Richtung Sonne ist für Vegetation typisch. Auf der z-Achse sind Strahldichten in $\text{mW}/(\text{m}^2, \text{sr})$ und Bandbreite) aufgetragen. Sie können später in Reflektanzen umgerechnet werden. Weitwinkelkameras werden von der winkelabhängigen Reflexion beeinträchtigt.

Damit sich der Zenitwinkel der Sonne während der Messung möglichst wenig ändert, sollte der Radiometriestreifen möglichst zur Zeit des Sonnenhöchststandes (gegen 13.20h MESZ, $\pm 45 \text{ min}$) befliegen werden. Diese Bedingung konnte jedoch wegen der Wettervoraussetzungen nicht bei allen Bildflügen eingehalten werden.

Parallel zu der AISA+-Befliegung und an einem zweiten Befliegungstag wurden mit dem ASD FieldSpec des Institutes für Geowissenschaften der Universität Halle spektrale Reflektionsmessungen im Bereich 400-2500nm unter unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen durchgeführt. In Verbindungen mit den Labor-Messungen des DLR können sowohl die Varianzen der meteorologischen Bedingungen als auch mögliche Alterungsprozesse der Planen in die Auswertung einbezogen werden.

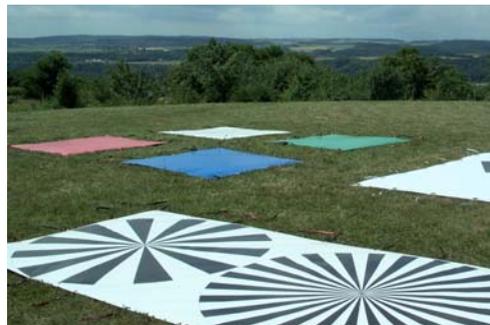


Abbildung 3, Referenzfeld und parallele

**Bodenmessungen mit Spektrometer (li.)
und Sonnenphotometer (re.)**

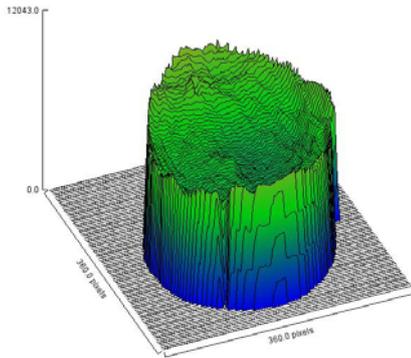


Abbildung 4, Winkelabhängiges Reflexionsverhalten über Gras



Abbildung 5, Feldbegehung durch die Universität Düsseldorf

Zusätzlich zu den Planen erfolgten Messungen an versiegelten Oberflächen, die über den langen Zeitraum der Experimente im Signal robuster sind, als die Vegetationsflächen. Die spektralen Messungen stellen die Grundlage für den Sensorvergleich dar und können für eine Atmosphärenkorrektur verwendet werden.

Feldbegehungen

Ergänzend zu den Spektrometernmessungen wurden im Juni 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 orientierten vor allem auf

versiegelte Flächen sowie Bereiche der Steinbrüche. Es wurden Referenzflächen kartiert und spektrometriert. Die **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die Ausdehnung und Ergebnisse der Flächenkartierung durch die Universität Düsseldorf. Bei der Begehung wurde zwischen mehr als 80 verschiedenen Vegetationsklassen differenziert. Bereits im Frühjahr wurde seitens EFTAS Münster eine Differenzierung zwischen Winter- und Sommergetreide vorgenommen. Weitere Zwischenkulturen nach erfolgter Getreidernte wurden durch separate Feldbegehung durch C+B Technik Markgröningen im September erfasst.

Pass- und Kontrollpunkte

Die insgesamt 187 im Testfeld vorhandenen Pass- und Kontrollpunkte erlauben die genaue Georeferenzierung der Sensordaten und die Abschätzung des geometrischen Genauigkeitspotenzials. Die Punkte sind alle mit Farbmarkierungen der Größe 60x60cm² bzw. zusätzlich 30x30cm² (für GSD 8cm Block) signalisiert und wurden mit differentiellen, statischen GPS-Messungen koordiniert. Die Genauigkeit der Punktbestimmung wurde aus einer Basiswiederholungsmessung wie folgt abgeleitet (Tabelle 5). Die Genauigkeit (Std.Abw.) der Horizontalcoordinate liegt bei 1cm, die Vertikalgenauigkeit bei 2cm (Std.Abw.). Die Basislinie wurde an jedem der 7 Messtage von den zwei Messtrupps jeweils zweimal unabhängig bestimmt, sodass insgesamt 28 Vergleichsmessungen zur Verfügung standen.

	Δ Ost [m]	Δ Nord [m]	Δ Vert. [m]
Std.Abw.	0.008	0.009	0.018
Max.Dif.	0.019	0.018	0.037
Min.Dif.	-0.018	-0.018	-0.034

Tabelle 5, Genauigkeit der GPS-Bodenpunktmessung

110 Punkte stehen den Projektbeteiligten zur Auswertung zur Verfügung, die restlichen 77 Punkte dienen als unabhängige

Kontrollpunkte. Das Koordinatensystem der Auswertung wurde mit WGS84 / ETRS89, UTM-Projektion (Streifen 32) festgelegt.

Auswertelauf

Die Auswertungen im Evaluierungsprojekt sollten in den Auswerteteams nach Schwerpunkten erfolgen. Dazu wurden die 3 Auswerteteams Geometrie (Leitung K. Jacobsen, Universität Hannover), Radiometrie (Leitung M. von Schönermark, Universität Stuttgart) und Höhenmodelle / Stereoplotting (Leitung N. Haala / V. Spreckels, Universität Stuttgart / Ruhrkohle AG) gebildet.

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.

Auswerteteam Radiometrie

Im Auswerteteam Radiometrie werden zunächst die gemessenen Bodendaten aufbereitet und analysiert. In der weiteren Auswertung sollen die gemessenen Boden- und Atmosphärendaten genutzt werden, um die radiometrischen Eigenschaften der Kameras einzuschätzen. Die Feldbegehungen ermöglichen Vegetationsuntersuchungen basierend auf automatischen Klassifizierungen, wobei die Variabilität der Flächen über den Befliegungszeitraum zu beachten ist.

Auswerteteam Höhenmodelle / Stereoplotting

Innerhalb dieses Auswerteschwerpunkt soll für die erfassten Bilder das Potential 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 der für die Höhenmodellgenerierung genutzten Bilder erreicht werden. Die hierfür notwendige Punktmessung und Triangulation wird vom Auswerteteam Geometrie mit hoher Priorität bearbeitet und möglichst zeitnah bereitgestellt. Zu Vergleichszwecken stehen die 3D Punktwolken der Laserbefliegung zur Verfügung, des weiteren kann auf die im Rahmen der Feldbegehung erfasste Klassifizierung zurückgegriffen werden, um den Einfluss von Vegetation zu berücksichtigen.

Weitere Schritte

Zur weiteren Koordinierung der Auswertetätigkeiten ist ein Projekttreffen an der Universität Hannover geplant. Dieses soll Mitte November stattfinden. Zu diesem Zeitpunkt sollte ein Großteil des Datenmaterials vorliegen und Erstauswertungen einen Einblick in die Datenqualität ermöglichen. Es erfolgt separate Ankündigung. Vorab findet ein informelles Projekttreffen am Stand der DGPF im Rahmen der Intergeo in Bremen statt (Mittwoch, 1.10.08, 11.00h, Halle 5, Stand 532).

Im Programm der 29. Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung der DGPF vom 24. bis 26. März 2009 in Jena sind zwei Sitzungen vorgesehen, in denen der aktuelle Status des Gesamtprojekts, die bis dahin erfolgten Untersuchungsschritte sowie erste Zwischenergebnisse der drei Auswerteteams vorgestellt und die geplanten weiteren Schritte diskutiert werden.

Kontakt

MICHAEL CRAMER

Universität Stuttgart, Institut für Photo-
grammetrie (ifp), Geschwister-Scholl-Str.
24D, 70174 Stuttgart
michael.cramer@ifp.uni-stuttgart.de