

Neue Perspektiven in der Fotogrammetrie durch eine innovative großformatige digitale Luftbildkamera

Rainer KALLIANY & Gerhard PFAHLER & Harald MEIXNER

Dipl.-Ing. Rainer Kalliany, Dr. Harald Meixner: Meixner Vermessung, 1060 Wien, Linke Wienzeile 4, www.meixner.com,
Dipl.-Ing. Gerhard Pfahler: AGIS GmbH, 1060 Wien, Linke Wienzeile 4, www.agis.at

1 EINLEITUNG

Seit Jahrzehnten sind großformatige Senkrecht-Luftbilder die wichtigste Informationsquelle für die detaillierte Erfassung von Siedlungsgebieten und Landschaftsräumen. Mit den geometrischen Methoden der Fotogrammetrie und einschlägigem thematischen Fachwissen können daraus Karten und Pläne bzw. GIS-Datensätze für die verschiedensten Aufgabenstellungen erstellt werden. Der detaillierte Bildinhalt kann in maßstabsgerechte Orthofotos umgebildet und zu dreidimensionalen Modellen ergänzt werden. Voraussetzung dafür ist die Digitalisierung des analogen Bildmaterials in speziellen Scannern, die das großformatige (23x23 cm) Filmmaterial geometrisch exakt mit hoher Auflösung (bis zu 10 µm) erfassen.

Da das Scannen relativ zeit- und kostenintensiv ist besteht aus operationellen Gründen schon lange der Wunsch diesen Arbeitsschritt durch die digitale Aufnahmetechnik zu ersetzen, die bis vor kurzem auf dem zivilen Sektor jedoch nur in Satelliten eingesetzt wurde. Deren Auflösung ist inzwischen zwar bis auf beachtliche 60cm gesteigert worden ist, was aber – abgesehen von der Frage der Verfügbarkeit und der Kosten der Daten – für viele Anwendungen nicht ausreicht. Daher war die Entwicklung von digitalen optischen Sensoren für photogrammetrische Anwendungen durch die bekannten Firmen Leica (ehemals Wild) und Z/I Imaging (Zeiss/Intergraph) eine logische Entwicklung; die Markteinführung dieser Systeme ist aber noch immer in den Anfängen.

Während die Zeilenkamera ADS-40 von Leica einerseits sowie die Kombination von 4 Frame-Kameras in der DMC von Z/I Imaging sehr unterschiedlichen Konzepte mit speziellen Abbildungseigenschaften sind, wurde von Vexcel Imaging Austria das bewährte geometrische Konzept der klassischen Fotogrammetrie weiterentwickelt. Die neue UltraCam_D verspricht als „Digitalkamera der 2.Generation“ den Durchbruch zur operationellen Anwendung der digitalen Aufnahmetechnik zu schaffen - was nicht nur für die Fotogrammetrie sondern auch alle ihre Anwender große Vorteile verspricht.

In diesem Artikel werden das technische Grundkonzept der Kamera und seine Leistungsfähigkeit, die damit verbundenen Verarbeitungsmethoden, sowie mögliche neue Anwendungen vorgestellt.

2 CHARAKTERISTIK DER ULTRACAMD

2.1 Das technische Konzept

Derzeit – und aus verschiedenen Gründen sicher auch nicht in absehbarer Zukunft – gibt es keine digitale Flächensensoren die auch nur annähernd das 23x23cm große Bildformat der „klassischen“ Luftbildkameras in einer mit Filmmaterial vergleichbaren Auflösung abdecken. Daher arbeitet das System von Leica mit Zeilensensoren, die das Bild im Zuge des Fluges aufbauen. Dieses Konzept erfordert allerdings eine genaue Registrierung aller Bewegungen des Flugzeuges und eine entsprechende nachträgliche Entzerrung. Z/I hingegen verwendet die größten auf dem Markt verfügbaren Flächensensoren, wobei aber 4 divergent ausgerichtete Kameras in einem Block zusammengefaßt werden, um gemeinsam eine mit dem klassischen Luftbild vergleichbare Auflösung zu erzielen.



Abb. 1: Digitale Luftbildkamera UltraCam_D. Zur Funktion der 8 Objektiv-Koni: Siehe Abb.2. (Vexcel Imaging Austria, 2003)
 Von Vexcel Imaging Austria wird hingegen ein ganz anderer Weg beschritten: Die UltraCam_D verwendet CCDs nach dem neuesten Stand der Sensortechnik, welche für die allgemeine professionelle Digitalphotographie in relativ großen Serien produziert werden. Im Gegensatz zu den kleineren „Chips“ in den Consumer-Kameras sind diese Sensoren entsprechend dem klassischen Kleinbildformat 24 x 36mm dimensioniert und liefern bei 9µm Pixelgröße digitale Bilder mit 4008 x 2672 Pixel (also ca. 10 Mpixel). In der UltraCam werden für den panchromatische (Schwarzweiß-)Kanal 9 dieser CCDs zu einem hochauflösenden Bild kombiniert.

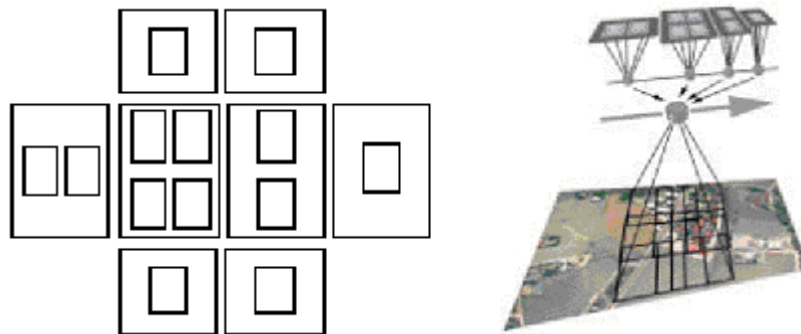


Abb. 2: Sensoranordnung (schematisch) in der UltraCam. Links: 9 Panchromatische (mittlere Reihe) und 4 Farb-CCDs (oben und unten); Rechts: Geländeüberdeckung mit den 9 panchromatischen Sensoren (Vexcel Imaging Austria, 2003)

Da CCDs naturgemäß nicht lückenlos aneinandergesetzt werden können müssen die 9 Chips auf 4 verschiedene Kamera-Koni aufgeteilt werden. Diese sind parallel senkrecht zur Erdoberfläche ausgerichtet und mit demselben Objektivtyp (5,6/100mm) bestückt, sodaß alle Aufnahmen dieselben Abbildungseigenschaften haben. Der in Flugrichtung gesehene zweite Konus, welcher 4 CCDs in den Bildecken enthält, dient als „Master Konus“ und definiert somit die Geometrie des Bildes. Die geringfügig überlappenden Aufnahmen der CCDs der anderen Koni werden darauf eingepaßt, sodaß auf synthetischem Weg ein 11500 x 7500 Pixel großes Bild entsteht, das dieselbe geometrischen Eigenschaften aufweist wie ein (fiktiver) 85 Megapixel-Sensor.

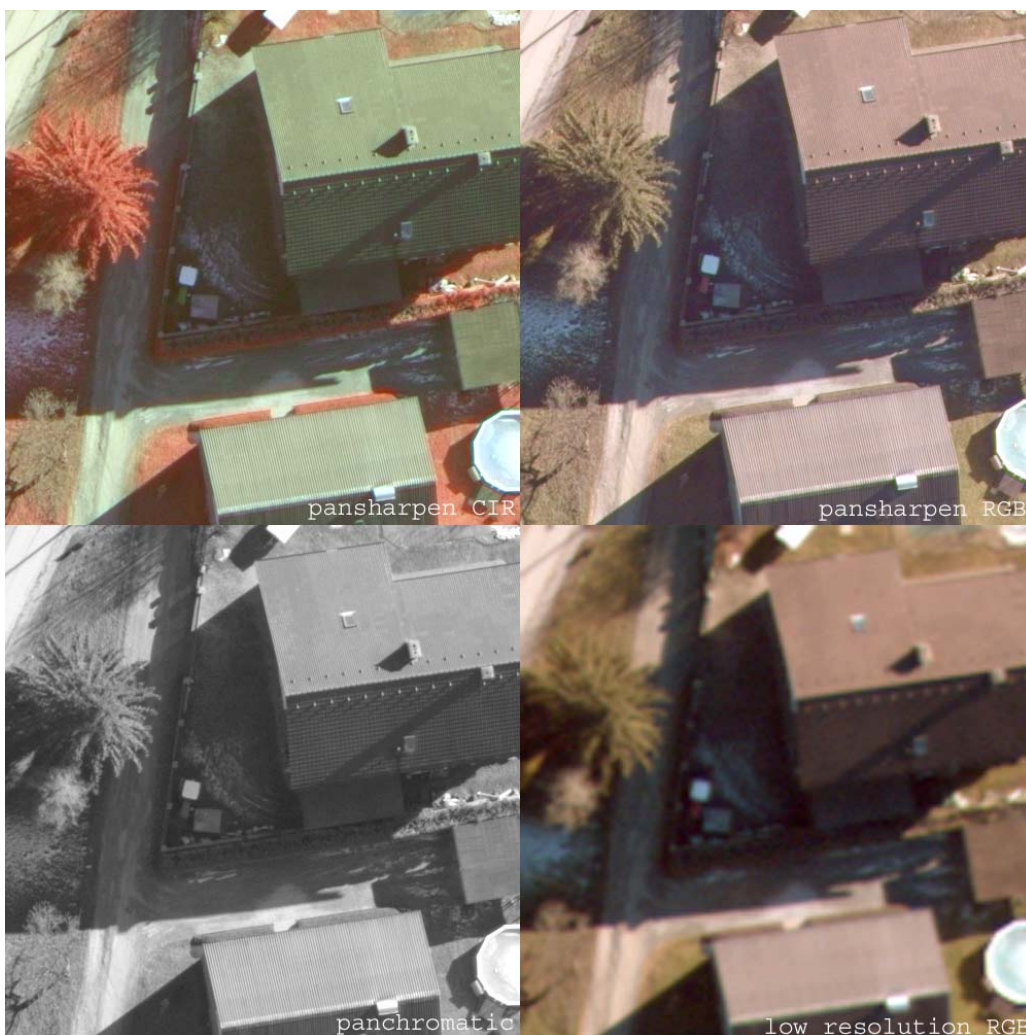


Abb.3: Gegenüberstellung eines Bildausschnittes (500x500 Pixel in der hohen Auflösung) von „gemergten“ Falsch- und Echtfarben (li u. re. oben) mit dem originalen hochauflösenden Pan-Kanal (li unten) und dem Echtfarbenbild in der tatsächlichen Auflösung der R/G/B-Sensoren Die Farbinformation stammt von 4 weiteren Kamera-Koni mit 28mm-Objektiven und je einem CCD für Rot (R), Grün (G), Blau (B) und das nahe Infrarot (NIR). Diese Sensoren decken – mit einer gegenüber dem hochauflösenden panchromatischen Sensorblock etwa um den Faktor 3 verminderten Auflösung – dasselbe Gebiet ab. Durch digitale Überlagerung („Merging“) mit dem panchromatischen Daten können daraus hochauflösende Bilder in Echtfarben (RGB) oder „Falsch“-Farben („Color Infrared“ CIR) erstellt werden. Diese Möglichkeit 4 Spektralkanäle und ein hochauflösendes panchromatisches Bild beliebig zu kombinieren gab es bisher nur bei satellitengestützten Sensoren, die allerdings eine um mindestens den Faktor 20 schlechtere Auflösung haben.

Neben der hohen geometrischen (Pixelgröße) und spektralen (Anzahl der Kanäle) Auflösung der UltraCam stellt die weitgehende Rauschfreiheit und große radiometrische Bandbreite der CCD-Sensoren einen entscheidenden Vorteil dar. Abb.4 zeigt deutlich die Kornfreiheit der Digitalaufnahme im Vergleich mit herkömmlichen Filmmaterial.



Abb. 4: Auf Filmmaterial (links) bzw. mit der UltraCam_D (rechts) aufgenommene Echtfarben-Bilder (Vexcel Imaging Austria)

Die hohe radiometrische Bandbreite, welche die Kodierung der von den Pixel-Sensoren aufgezeichneten Grauwerte mit 12 bis 14 Bit erfordern, bedeutet einen deutlich größeren Belichtungsspielraum als bei Filmmaterial möglich ist. Dadurch kann ein wesentlich breiterer Kontrastbereich abgebildet werden und es ist die Durchzeichnung sowohl der hellsten Flächen wie auch der Schattenpartien auf einer Aufnahme möglich. Das ergibt wesentlich bessere Voraussetzungen zur Bildwiedergabe und Auswertung in Stadtgebieten, wo sowohl helle Dachlandschaften als auch im Schatten liegende Straßenschluchten und Innenhöfe nebeneinander vorkommen.

Technische Daten

In Tab.1 sind die wichtigsten technischen Daten der UltraCam_D zusammengefaßt. Das gesamte System (Kamera und Datenregistriereinheit) benötigt eine Stromversorgung von 850 Watt.

Sensor Einheit SU

Panchromatisches Bildformat	11500 x 7500 Pixel @ 9µm, 103,5 x 67,5 mm
Objektivbrennweite und Apertur	100 mm, f 1/5,6
Gesichtsfeld in / quer zur Flugrichtung	55° / 37°
Multi-Spektral (R/G/B/NIR)	4008 x 2672 Pixel @ 9µm
Verschußzeiten	1/500 – 1/60 Sek.
Bewegungskompensation	TDI Steuerung
Bildwiederholrate	bis 1,3 Bilder pro Sekunde
Radiometrische Auflösung	12 – 14 bit (mt 16 bit registriert)
Dimensionen	45 cm x 45 cm x 60 cm
Gewicht	ca. 30 kg

Speicher- und Recheneinheit (Storage & Computing Unit, SCU)

Speichervolumen	> 1 TB
Bildkapazität (alle Kanäle)	> 2775 Bilder
Dimensionen	55 cm x 40 cm x 65 cm
Gewicht	ca. 35 kg

Tab.1: Die wichtigsten technische Daten der UltraCam_D (nach Gruber et.al., 2003)

Unter den vielen innovativen technischen Lösungen in der UltraCam soll besonders auf zwei Merkmale hingewiesen werden:

Die softwaremäßige Bildwanderungskompensation, die durch Verschiebung der Adressen beim Auslesen der Pixelzeilen während der Belichtung erfolgt. Auf diese Weise kann eine lineare Bewegung von bis zu 50 Pixelzeilen vollständig kompensiert werden (was allen denkbaren Befliegungssituationen genügt)

Die potentiell hohe Bildwiederholfrequenz von unter 1 Sekunde, welche eine extrem hohe Überdeckung von bis zu 96% erlaubt. Das ergibt besonders hohe Redundanzen für die Stereo-Auswertung und eröffnet völlig neue Perspektiven für die Automatisierung von Matching-Verfahren und Methoden der Objekt-Erkennung (siehe 4.1.)

3 AUFNAHMEN MIT DER ULTRACAM_D

3.1. Operationelle Rahmenbedingungen

Für die Aufnahmepraxis gestaltet sich die Flugplanung mit der UltraCam_D wie bei einer „klassischen“ Luftbildkamera mit 21cm Brennweite und 23x23cm Bildformat. Der einzige Unterschied ist das rechteckige Format im Seitenverhältnis 3:2, welches im Prinzip für eine 60%-Überdeckung um die Hälfte mehr Aufnahmen innerhalb jedes Streifens erforderlich macht. Da jedoch bei der UltraCam_D in der Regel ohnedies mit einer Überdeckungen von mehr als 80% geflogen wird spielt das in der Praxis keine Rolle.

Flughöhe über Grund	Pixelgröße am Boden	Breite des Flugstreifens	Aufgenommene Fläche pro Bild	Aufnahmeabstand bei 85% Überd.	Aufnahmeintervall bei 85% Überd.	Bilder pro 30km-Streifen	Daten für 30km-Streifen
5500 m	50 cm	5750 m	22,0 km ²	560 m	5,6 sek.	54	~ 14 GB
3700 m	33 cm	3800 m	9,6 km ²	370 m	3,7 sek.	81	~ 21 GB
1100 m	10 cm	1150 m	0,9 km ²	110 m	1,1 sek.	273	~ 71 GB

Tab.2: Kenndaten typischer Varianten für die Befliegung eines 30 km langen Streifens

Aus Tab.2 sind die wichtigsten Parameter für einen 30 km langen Streifen bei einer Befliegung mit 360 km/h (100m/sek.) und 85% Längsüberdeckung in unterschiedlichen Flughöhen ersichtlich. Die Datenmenge für den gesamten 30km-Streifen ergibt sich aus der Anzahl der Bilder mal den 265 MB (13 CCDs mit je 4008 * 2672 Pixel * 16 Bit/Pixel) die für jedes Bild an Rohdaten anfallen. (Wobei in der Realität aus Sicherheitsgründen an Bord die doppelte Datenmenge auf unabhängigen Festplatten aufgezeichnet wird !). Da heutzutage 1 GB Speicherplatz auf einer Festplatte weniger als 1 € kostet stellen die hier ausgewiesenen Datenmengen kein Problem dar; vor allem sind die Kosten im Vergleich zu den mindestens 20 € die man pro Luftbild für Film, Entwicklung und Scannen veranschlagen muß vernachlässigbar.

3.2. Praktische Beispiele

Ein Beispiel für 6 aufeinanderfolgende Aufnahmen eines Flugstreifens der am 14.1.2004 im Stadtgebiet von Graz geflogen wurde ist in Abb. 5 ersichtlich. Die Aufnahmen erfolgten um die Mittagszeit mit der Cessna 206 von Bildflug Fischer (Klagenfurt) mit einer Geschwindigkeit von 120 kn (215 km/h bzw. 60m/sek) aus 850 m über Grund bei einem Aufnahmeintervall von 1,5 sek.

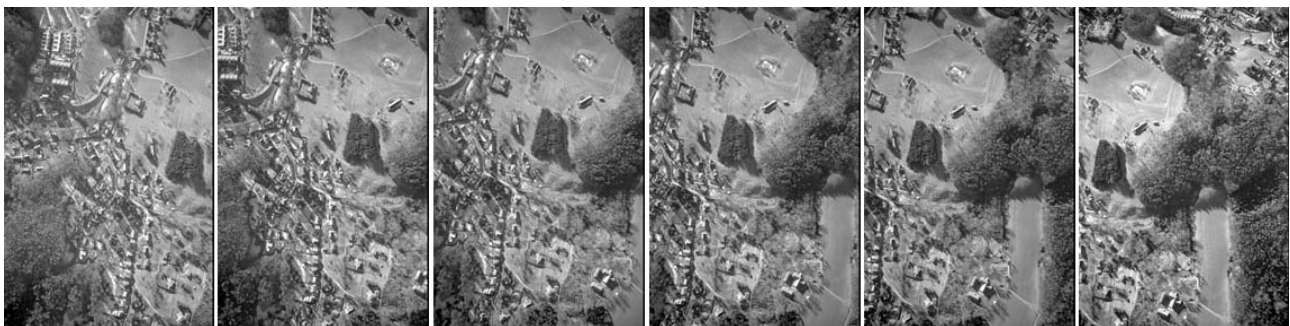


Abb. 5: „Quick-Views“ der Aufnahmen 247 bis 252 aus dem Flug „Graz 14.1.2004“ (Bildgröße am Boden je ca. 860 x 560 m)

Wie der Ausschnitt in Abb.6 zeigt ist die Qualität der 7,5cm Bodenauflösung aufweisenden panchromatischen Daten hervorragend. Da bei der Befliegung böiger Wind herrschte sind allerdings einige wenige der mit 1/250 sek Belichtungszeit und Kamera-interner Bewegungskompensation (die den konstanten Anteil der Flugbewegung kompensiert) aufgenommenen Bilder leicht verwackelt. Im konkreten Fall ist dies wegen der hohen Überdeckung kein Problem und es liegen mehr als ausreichend viele sehr gute Bilder vor.

Für die beste Bildqualität in jeder Situation empfiehlt sich jedoch der Einsatz einer kreiselstabilisierten Plattform wie z.B. CCNS4 von IGI, welche auch alle irregulären Rollbewegungen des Flugzeuges kompensiert. Durch die integrierte Navigation mittels GPS/IMU kann dieses System überdies den Piloten entsprechend einer vorgegebenen Flugplanung führen, die Kameraauslösung steuern sowie

exakte Aufnahmeorte und -Richtungen registrieren und für die Auswertung der Daten zur Verfügung stellen. All diese Funktionen unterstützen wesentlich die Bedienungssicherheit der Kamera und den Automatisierungsgrad der Verarbeitung der Aufnahmen.



Abb. 6: Ausschnitt (900 x 700 Pixel) aus dem Flug „Graz 14.1.2004“ (Pixelgröße am Boden 7,5 cm)

Beim vorliegenden Flug, von dem es selbverständlich auch sehr schöne Farb- und Farbinfrarotbilder gibt (siehe die Beispiele in Abb.3) wurde in einem Bereich von zwei einander zu mehr als 60% quer-überlappenden Streifen eine Aerotriangulation vorgenommen. In insgesamt 11 Bildern wurden automatisationsgestützt mehr als 800 Punkte gemessen. Der auf die Sensorebene bezogene interne mittlere Fehler der Messungen war $\pm 1,8 \mu\text{m}$ (also 20% der Pixelgröße). Die Restfehler an den Geländepunkten beliefen sich auf bis zu $\pm 4 \text{ cm}$ in der Lage bzw. $\pm 11 \text{ cm}$ in Höhe.

4. EINSATZMÖGLICHKEITEN DES SYSTEMS

Hoch-redundante Stereoskopie und „True“ Orthofoto

Die hervorragenden radiometrischen Eigenschaften der Kamera liefern auch in schwierigen beleuchtungstechnischen Situationen rauschfreie Bilder. Auch bei Flächen mit wenig Detailinhalt (versiegelte Flächen, abgeerntete Äcker etc.), wo bei Filmmaterial nur mehr die Körnung zu sehen ist, findet sich ausreichend Textur um einem Stereo-Operator (oder aber auch einem automatischen Matching-Programm !) die Korrelation der Bildpaare und somit die dreidimensionale Auswertung der Daten zu ermöglichen.



Abb. 7: „Hoch-redundanter“ Stereo-Ausschnitt (je 160 x 370 Pixel) aus 6 aufeinanderfolgenden Bildern

Der hohe Überdeckungsgrad den die UltraCamD ohne nennenswerten Mehraufwand liefern kann und durch den jedes Objekt am Boden typischerweise 5-8 mal abgebildet ist, ermöglicht hoch-redundante und somit sehr robuste Stereo-Verfahren für die detaillierte Erfassung von Oberflächen und 3D-Modellierung von Objekten. Abb.7 zeigt die bei einem niedrigen Haus ziemlich subtilen Änderungen der stereoskopischen Perspektive zwischen aufeinanderfolgenden Aufnahmen. Das bietet sehr günstige Voraussetzung für die Bildkorrelation zwischen den benachbarten (recht ähnlichen) Bildern, während die Höheninformation mit optimaler Genauigkeit aus den am extremsten auseinanderliegenden Aufnahmen abgeleitet werden kann.

Die hervorragenden Eigenschaften der UltraCam zur Erfassung der Höhe von Objekten bieten optimale Voraussetzungen für die Erstellung von genauen Oberflächen- und 3D-Modellen; insbesondere von Stadtlandschaften. Wegen des hohen Detaillierungsgrades der Abbildung sind die Daten insbesondere für „True“ Orthophotos, in denen der Bildsturz von Gebäuden vollständig kompensiert und sichttote Räume durch entsprechende Mosaikierung aus benachbarten Bildern abgedeckt werden, ausgezeichnet geeignet.

Weitere Anwendungsgebiete

Wegen ihrer mit herkömmlichen analogen Luftbildern identen geometrischen Eigenschaften (einheitliche Zentralperspektive über das gesamte Bild) kann die UltraCam_D für alle „klassischen“ Anwendungen der Fotogrammetrie und unter Verwendung derselben Arbeitsabläufe bzw. Programme eingesetzt werden. Typische Einsatzgebiete (bzw. die speziellen Vorteile der UltraCam_D) sind:

- Erstellung von präzisen Gelände- bzw. Geländeoberflächenmodellen (mittels hoch-redundanter Stereoverfahren)
- Herstellung von hochauflösenden Orthofotos (wahlweise in Schwarzweiß; Echtfarbe oder Farb-Infrarot)
- Erstellung von 3D-Stadt- und Siedlungsmodellen (mit optimaler Bildqualität und guten Möglichkeiten zur Mosaikierung)
- Erfassung umfangreicher Basisdaten für Ingenieurprojekte (Detaillierungsgrad der Auswertung je nach den Erfordernissen)
- Fototriangulationen zur präzisen Punktbestimmung (mit Sub-Pixel-Genauigkeit)
- Naturraumdokumentation und –Kartierung (unter spezieller Verwendung des Infrarot-Kanals)
- Winter-Aufnahmen (Bewältigung der extremen Licht-Schatten-Verhältnisse mittels großer Bandbreite der Sensoren)
- Forstwirtschaft (hohe Detaillierungsgrad zur Erfassung der Kronenstrukturen; gute Einsicht in Schattenhänge)
- Planung, Management und Kontrolle in der Landwirtschaft (kostengünstige Herstellung von multitemporalen Aufnahmen)
- Erfassung von Naturkatastrophen (Flug auch bei Schlechtwetter bzw. schlechten Beleuchtungsverhältnissen möglich)
- Befliegungen für reine Dokumentationszwecke (ohne Anfall von Filmkosten; rascher Zugriff auf digitale Archive)

Die neue großformatige digitale Luftbildkamera UltraCam_D wird ab dem Jahr 2004 von Meixner Vermessung Wien betrieben und steht für die beschriebenen Anwendungen wie auch für weitere vom Auftraggeber definierte Aufgaben zur Verfügung. Die Autoren erwarten sich durch die mit dieser Kamera erstmals mögliche voll-digitale Produktionskette eine wesentliche Steigerungen bezüglich Qualität und Wirtschaftlichkeit der Fotogrammetrie, was allen beteiligten Projektpartnern zugute kommen wird.

5. REFERENZEN

Leberl F., Gruber M., Ponticelli M., Bernoegger S. & Perko R. (2003): The UltraCam Large Format Aerial Digital Camera System. Proceedings of the ASPRS Annual Convention, Anchorage / Alaska, USA, May 5-9, 2003 (CD only).

Gruber M., Leberl F. & Perko R. (2003): Paradigmenwechsel in der Fotogrammetrie durch digitale Luftbilddaufnahme ?. Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation PFG 4/2003, S.285-297.

Leberl F. and Gruber M. (2003): Economical Large Format Aerial Digital Camera. GIM International, worldwide magazine for geomatics, June 2003.