

DMC – Digital Modular Camera: Systemkonzept und Ablauf der Datenverarbeitung*

ALEXANDER HINZ, CHRISTOPH DÖRSTEL & HELMUT HEIER, Oberkochen

Zusammenfassung: Bei Sensoren, Plattformen und Anwendungen finden derzeit grundlegende Veränderungen statt. Die vorliegende Abhandlung beschreibt die aktuellen Entwicklungsaktivitäten sowie künftige Anwendungsaspekte der Datenverarbeitung und Automatisierung im Arbeitsablauf der Digitalen Modulare Kamera DMC von Z/I Imaging.

Jahrzehntelang waren die vom Geschäftsreich für Photogrammetrie bei Carl Zeiss entwickelten Reihenmesskamern als Hochleistungssysteme für Luftaufnahmen weltweit erfolgreich im Einsatz. Dieser gesamte Bereich wurde 1999 von Z/I IMAGING – einem Joint Venture von Intergraph und Carl Zeiss – übernommen.

Zur Zeit werden bei der Entwicklung von digitalen Kamerasystemen zwei verschiedene Ansätze verfolgt, die zum einen auf Zeilensensoren, zum anderen auf Flächensensoren basieren. Die Schlüsselfrage im gesamten photogrammetrischen Prozess ist die geometrische Bildgenauigkeit, die im Allgemeinen vom Kamerasensor selbst definiert wird. Um den hohen Anforderungen der Kartierungsanwendungen gerecht zu werden, hat Z/I Imaging als Basis für die neue DMC einen CCD-Flächensensor gewählt. Bei diesem neuen Konzept wird ein hoher Grad der Geländeabdeckung durch die Kombination mehrerer Kameramodule erreicht, wobei jeder CCD-Sensor über ein eigenes Objektiv verfügt. In ersten Probeflügen bei niedrigen Flughöhen wurde bereits eine hohe Auflösung und eine Genauigkeit im Zentimeterbereich nachgewiesen. Dies ist der elektronischen FMC-Funktion der DMC zu verdanken.

Die vorliegenden Ausführungen geben schließlich einen vollständigen Überblick über die erforder-

Abstract: *DMC – Digital Modular Camera: System Concept and Data Processing Workflow.* At the moment, fundamental changes in sensors, platforms and applications are taking place. The paper describes present development activities and future application aspects of data processing and automation in the workflow of the Digital Modular Camera DMC from Z/I Imaging.

For many decades, Aerial Cameras developed and manufactured by Carl Zeiss Photogrammetry Division have been used successfully all over the world as high performance systems for aerial photography. Since 1999 these activities are completely taken over by Z/I IMAGING, an Intergraph – Carl Zeiss joint venture.

At present, two different approaches of digital camera systems, one based on linear sensors and the other based on matrix sensors, are under development. The key issue of the whole photogrammetric system process is the geometric image accuracy, which is mostly defined by the camera sensor itself. In order to fulfill the high requirements of mapping applications, ZI Imaging has decided to base the new DMC on a CCD-matrix sensor. High ground coverage of this new approach is achieved by a combination of several camera modules, where each CCD sensor is mounted to its own lens. First flight tests with a demonstrator have already shown high resolution and accuracy in the centimeter range at low flying altitudes, due to the electronic FMC function of the DMC.

This paper also gives a complete overview of the needed data processing steps and the integration of DMC imagery into existing photogrammetric workstations. The paper discusses in detail the fully automatic data post-processing steps, to apply sensor normalization for each CCD array, the functional approach of setting up panchromatic image mosaics and finally the generation procedure for color composites. Additional focus is drawn to several image products optionally deliverable directly from the post-processing procedure.

* Überarbeitete Fassung des in englischer Sprache auf dem ISPRS-Kongress 2000 in Amsterdam gehaltenen Vortrags. Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B2, S. 164–167.

derlichen Datenverarbeitungsschritte und die Integration der DMC-Aufnahmen in bestehende photogrammetrische Auswertestationen. Ausführlich behandelt werden ferner die vollautomatischen Schritte der Datennachbearbeitung zur Durchführung der Sensornormalisierung bei jedem CCD-Array sowie das Vorgehen bei der Erstellung panchromatischer Bildmosaik sowie das Verfahren zur Erzeugung von Farbkompositen. Einen weiteren Schwerpunkt bilden verschiedene Bildprodukte, welche der Nachbearbeitungsvorgang direkt liefern kann.

1 Einleitung

Das digitale Kamerasystem DMC wurde in modularer Bauweise konzipiert, um eine hohe geometrische Genauigkeit zu erzielen und eine optimale Systemleistung durch Anpassung an die jeweiligen Erfordernisse zu ermöglichen. Die DMC umfasst eine variable Anzahl synchron betriebener, auf CCD-Flächensensoren basierender Kameras, die je nach Anwendung in verschiedenen Konfigurationen aneinander gekoppelt werden können. Dieses Konzept der Mehrfachkamera erlaubt eine hohe panchromatische Auflösung in Verbindung mit einer multispektralen Funktionsweise.

Der Gedanke, das Bildfeld durch eine Verbindung mehrerer Objektivsysteme zu vergrößern, ist bereits seit den frühen Tagen der Luftbildfotografie bekannt. Es wurden schon Luftbildkameras mit 2, 4, 7 und sogar 9 Objektiven gebaut (SZANGOLIES 1986), (TALLEY 1938). Im Jahre 1926 konzipierte ASCHENBRENNER ein Kamerasystem mit 9 Objektiven und einer Brennweite von 53,5 mm, welches einen Bildwinkel von 140° erfasste. Diese Kamera verfügte bereits über ein Bildformat von 250 mm \times 250 mm. Zur Wiederherstellung der Bildgeometrie wurden komplizierte Spezialentzerrungsgeräte und Auswertegeräte entwickelt. Diese Instrumente waren allerdings umständlich zu bedienen und das Ende der mehrrügigen Kameras kam dann in den späten vierziger Jahren, nachdem Kamerahersteller wie

Zeiss neue Kameras mit nur einem Objektiv und einem größeren Bildformat entwickelt hatten. Heute kann die Bildverzerrung solcher Mehrfachkameras vollständig von photogrammetrischer Software durchgeführt werden und es eröffnen sich somit neue Möglichkeiten.

2 Luftbildkamerasystem

2.1 Systembeschreibung

Die in der folgenden Abbildung gezeigte typische Anordnung des DMC-Systems in einem Flugzeug ist mit bestehenden Installationen filmgestützter Kameras weitgehend identisch.

Das Bildflugmanagementsystem mit optionaler Pilotenanzeige und einem optionalen inertialen Messsystem kann entweder die DMC oder eine bereits vorhandene filmgestützte Kamera steuern. Der Kamerakopf der DMC entspricht in seinen Abmessungen in etwa der Kamera RMK-TOP und passt somit in die kreiselstabilisierte Plattform T-AS. Die Kamera selbst besteht aus einem Trägerrahmen für die Optik, welcher sich leicht in die Plattformöffnung einsetzen lässt. Das Gehäuse kann bis zu 8 Kameramodule aufnehmen: 4 hochauflösende panchromatische Kameramodule und 4 Multispektralmodule mit niedrigerer Auflösung. Die Kameramodule werden in dem Trägerrahmen montiert. Besonderes Augenmerk

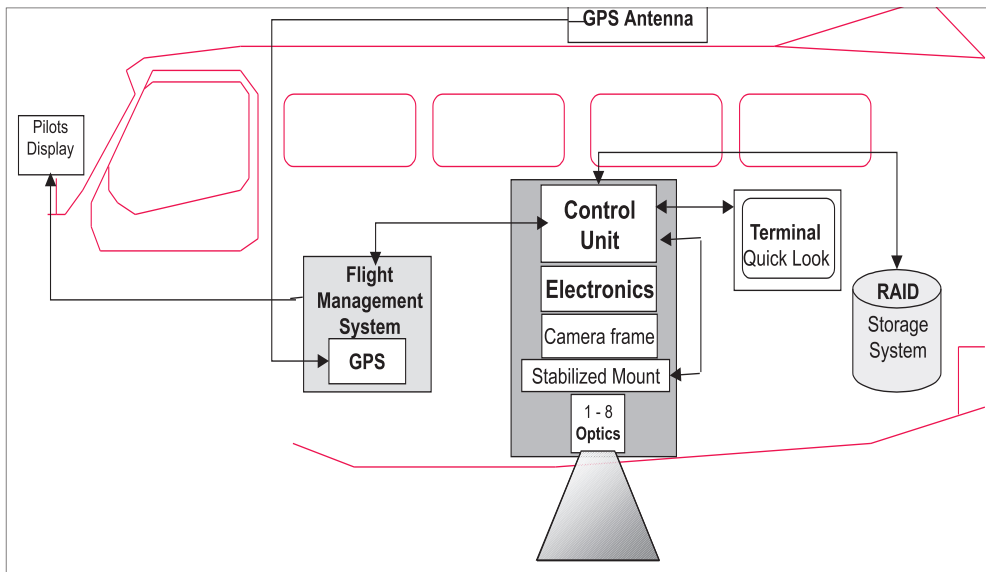


Abb. 1: DMC Konfiguration im Flugzeug.

galt einer starren Montagetechnik für die einzelnen Kameraköpfe, um eine genaue Ausrichtung der optischen Achsen zueinander zu gewährleisten. Die Sensorelektronik der CCDs ist direkt in die einzelnen Kameramodule integriert.

Auf dem Trägerrahmen, über der kreiselstabilisierten Aufhängung, befindet sich die Elektronikbox für die Kamera. Diese enthält die gesamte Kameraelektronik zur Steuerung der Kameramodule, zur Erfassung der Bilddaten und zur Kommunikation mit der Steuereinheit. Die Steuereinheit konfiguriert das Gesamtsystem, kommuniziert mit den externen Systemen, überwacht den Datenfluss und speichert Daten im RAID. Die Versorgungselektronik für die Verschlusseinheiten ist ebenfalls in der Kameraeinheit integriert. Das System kann über ein externes Terminal bedient werden. Eine Schnellanzeige (Quickview) dient zur Betrachtung von Übersichtsbildern zur System- und Qualitätskontrolle.

Schließlich werden die Bilddaten auf einem RAID-Festplattensystem mit entnehmbaren Speichereinheiten gespeichert. Das RAID-System befindet sich in einem getrennten Gehäuse und ist über eine schnelle FDDI-Schnittstelle an die Kameraelek-

tronik angeschlossen. Auf Grund der konsequent modularen Bauweise können übliche Speichereinrichtungen leicht an das System angepasst werden. Je nach Anwendung und Erfordernissen kann eine entsprechende Anzahl Speichereinheiten in das System eingesteckt werden.

Das Gesamtsystem lässt sich über das Terminal und/oder das Bildflugmanagementsystem bedienen. Eine inertielle Messeinheit (IMU) kann optional in das System integriert werden und ermöglicht das Arbeiten ganz ohne oder mit einer reduzierten Anzahl an Passpunkten.

2.2 Optisches Konzept

Kernstück des Systems ist der Kamerakopf mit dem CCD-Flächensensor als Schlüsselement. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen ist es nicht möglich die Ideallösung zu realisieren, d.h. einen einzigen, großflächigen CCD-Chip in der Größe einer „Silziumpizza“, der in etwa den bestehenden Filmformaten entspricht. Das wäre eine extrem teure Lösung.

Für die Bildauswertung ist es jedoch wesentlich, bei jeder Aufnahme eine möglichst große Geländefläche zu erfassen. Dies

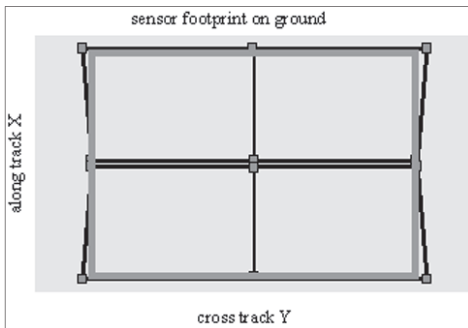


Abb. 2: Geländeerfassung eines Kamerasystems mit 4 Köpfen.

wird durch den parallelen Einsatz mehrerer kompakter Kameraköpfe erreicht, wobei jeder CCD-Sensor über ein eigenes Objektiv verfügt. Die Module werden in leicht zueinander versetzten Bildwinkeln auf das Aufnahmegebiet gerichtet. Abb. 2 zeigt die Flächenerfassung mit vier dieser Kameraköpfe. Dieses modulare Konzept erlaubt eine problemlose Skalierung des Gesamtsystems.

Das Prinzip der parallelen Bildregistrierung wird in Kleinreihenbildnern wie KS-153 und Dronenkameras wie KRb 8/24 schon seit über 30 Jahren eingesetzt und hat sich dort bewährt.

Die hochauflösende Version der DMC ist mit vier $7k \times 4k$ großen Chips und Hochleistungsobjektiven mit einer Blende von 1:4 und einer Brennweite von 120 mm im panchromatischen Kanal ausgestattet. Besonderer Wert wurde auf eine homogene, flache Reaktion der MTF (Modulation Transfer Function) im gesamten Bildfeld der Objektiv gelegt.

Abb. 3 zeigt die Anordnung der 4 panchromatischen Kanäle im Trägerrahmen für die Optik. Daraus ergibt sich eine Geländeauflösung des Systems von > 13.500 Pixel quer zur Flugrichtung und ca. 8.000 Pixel in Flugrichtung. Der Bildwinkel des Systems quer zur Flugrichtung beträgt 74° . In seinen mechanischen Abmessungen entspricht der Trägerrahmen in etwa dem Objektivkonus der RMK und ist somit kom-



Abb. 3: Panchromatische Kanäle in der kreiselstabilisierten Aufhängung.

patibel mit der serienmäßigen kreiselstabilisierten Aufhängung T-AS.

Das System kann zusätzlich mit bis zu vier Bildkanälen ausgestattet werden, die am äußeren Rand des Trägerrahmens für die Optik montiert werden. Dies ermöglicht z.B. die Bilderfassung im Rot-, Grün-, Blaukanal sowie in einem separaten Infrarotkanal zur gleichzeitigen Aufnahme von Bildern in Echt- und Falschfarben.

Um eine hohe Qualität beim Farbauszug zu gewährleisten, verfügt jeder Farbkanal über ein eigenes Objektiv, einen CCD-Chip und einen leistungsstarken Farbfilter aus anorganischem Material. Im Vergleich zum panchromatischen Kanal weisen die Farbkanäle eine verringerte Geländeauflösung auf und die Objektive blicken zentralperspektivisch nach unten. Ein Hochleistungs-Weitwinkelobjektiv mit einer großen Öffnung von 1:4 und einer Brennweite von 25 mm ist mit einem $3k \times 2k$ CCD-Chip 2 kombiniert. In Abb. 2 ist die dadurch entstehende Überlappung der Spektralkanäle (fett grau umrandetes Rechteck) und des panchromatischen Kanals (dünne schwarze Linien) dargestellt.

2.3 CCD-Sensoren

Bei den CCDs handelt es sich um hochempfindliche Full-Frame-Sensoren mit hohem optischem Füllfaktor, die von Philips in Eindhoven hergestellt werden. Die Pixelgrö-

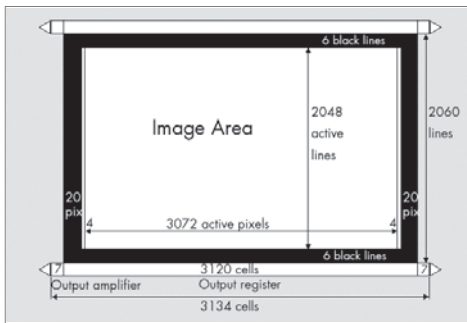


Abb. 4: Aufbau des Philips FTF 3020 CCD Sensor.

ße beträgt $12 \mu\text{m} \times 12 \mu\text{m}$ und bietet einen großen linearen Dynamikbereich von > 12 bit. Die Architektur der CCDs beinhaltet 4 Ausleseregister an jeder Ecke des Chip (Abb. 4), wodurch hohe Ausleseraten erreicht werden. Dies ist wesentlich für ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis und für die Erzielung einer Wiederholfrequenz von 2 Sekunden pro Bild. Die Sensorelektronik, welche die Taktsignale zur CCD-Steuerung generiert und die Schaltkreise für die digitale Signalausgabe sind direkt hinter dem CCD-Gehäuse installiert, um eine rauscharme Leistung des Systems zu gewährleisten. Die Digitalisierung der CCD Signale erfolgt mit einer Auflösung von 12 bit.

Ein elektromechanisches Verschlusssystem dient zur Belichtungssteuerung der CCDs. Jedes optische Modul ist mit solch einem Verschluss versehen, der sich in der Mitte des Objektivs befindet. Der Vorteil dieser Lösung liegt in einem nahezu zeichnungsfreien Bild, da sämtliche Bildpunkte zum gleichen Zeitpunkt und über denselben Strahlengang belichtet werden. Ein Schlitzverschluss, wie er in praktisch allen üblichen Spiegelreflexkameras eingesetzt wird, verursacht im Bildfeld eine geometrische Verzerrung, da sich das Flugzeug während der Belichtung bewegt.

Ein Hauptziel bei der Entwicklung des Verschlusses war die genaue Synchronisation aller Objektivs, um eine Belichtung aller Bilder in genau demselben Zeitintervall

zu gewährleisten und somit geometrische Fehler auszuschließen.

Die CCD-Elektronik kann während der Bildbelichtung im verlängerten Integrationsmodus (TDI – Time Delayed Integration) betrieben werden. Dadurch wird die Vorwärtsbewegung des digitalen Bildes elektronisch vollständig ausgeglichen (HINZ 1999). Bildunschärfen in Anwendungen mit niedrigen Flughöhen und hohen Auflösungen werden somit vermieden, wie dies bei filmgestützten Kameras schon seit 1982 standardmäßig der Fall ist.

2.4 Testergebnis

Im Januar 2000 wurden gemeinsam mit der Firma Terra Bildmessflug aus Elchingen Probeflüge mit einem Demosystem, das aus einem einzelnen Kameramodul bestand, durchgeführt. Die Kamera wurde in eine zweimotorige Cessna installiert; geflogen wurde in verschiedenen Höhen und mit einer Geschwindigkeit von 70 m/sec. Das folgende Bild zeigt das Carl Zeiss-Werk in Oberkochen, aufgenommen während eines Probefluges in einer Flughöhe von 300 m über dem Boden. Der vollkommen symmetrisch aufgelöste Siemens-Stern (Durchmesser 6 m) beweist den vollständigen Ausgleich der durch die Vorwärtsbewegung verursachten Bildunschärfe, die unter den Testbedingungen 7 Pixel betrug. Die Pixelgröße am Boden betrug 7 cm und ergab sich aus der Pixelgröße von $12 \mu\text{m}$ und der Verwendung eines 50 mm Objektivs.

3 DMC Software

Dieses Kapitel beschreibt den gesamten Ablauf zur Bearbeitung von Bilddaten der DMC. Hierbei werden die Einzelkomponenten von der Bedienung der DMC-Kamera im Flugzeug über die Nachbereitung der Daten bis hin zur Übergabe der Bild- und Zusatzinformationen in ein Auswertesystem vorgestellt. Besonders wird auf die Schnittstelle zur ImageStation und den Auswertepaketten anderer Hersteller eingegangen; die verschiedenen Bildprodukte werden kurz erläutert.

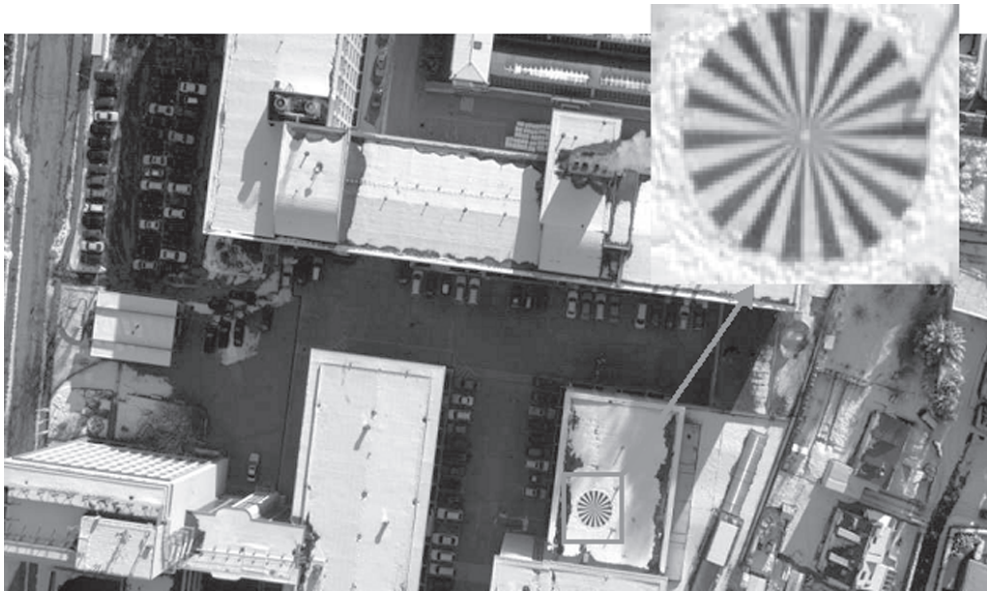


Abb. 5: Probeflug über dem Carl Zeiss Werk in Oberkochen.

Z/I Imaging versteht sich als Komplettanbieter für digitale Systeme und stellt deshalb das Kamerasystem DMC als ein Teilstück eines hochintegrierten Systems von der Bildflugplanung bis zur Erstellung von Endprodukten wie etwa Orthophotokarten oder der Datenerfassung für GIS-Systeme vor.

3.1 Verarbeitungskette

Zur Vorbereitung des Bildfluges sind verschiedene Bildflugmanagementsysteme (FMS) erfolgreich im Einsatz. Im Hangar werden die vorbereiteten Flugplanungsdaten und optional die Kamerakalibrierungsdaten auf das Flugsystem überspielt. Die gesamte Verarbeitungskette wird in Tab. 1 verdeutlicht.

Tab. 1: Verarbeitungskette.

Prozessierungsort	Prozessierungsschritt	Detail
Büro	Vorbereitung	Flugplanung
Flugzeug	Bildflug	Flugmanagementsystem Kamerasteuersoftware Quickview (Qualitätskontrolle während des Fluges) Datenspeicherung
Hangar / Büro	Nachbearbeitung	Wechsel der Datenträger (RAID) Kontrollmöglichkeit (Quickview/Flugreport) Nachbearbeitung Radiometrische Korrektur <ul style="list-style-type: none"> • Geometrische Korrektur • Mosaikbildung (Generierung virtueller Bilder) • Farbbild • Farbkomposit Datenarchivierung und -distribution (z.B. TerraShare/E-Geo)
Büro	Datenerfassung	Auswertung der Daten (z.B. mit ImageStation)

3.2 Bildflug

Während des Bildfluges sind mindestens zwei Softwaresysteme (vgl. Abb. 1) in Betrieb. Dies sind das Flugmanagementsystem (FMS) und die Kamerasteuersoftware. Mit Hilfe des Flugmanagementsystems können zusätzliche Sensoren wie etwa GPS/INS oder Radar-/Lasersensoren betrieben werden. Weitere Komponenten wie etwa ein Navigationsteleskop sind optional erhältlich.

Die Aufgaben der Kamerasteuersoftware sind die Anzeige des Systemzustandes, etwa von Flugparametern wie Geschwindigkeit über Grund (v/h – Wert) oder Kameraparametern wie verfügbarer Plattenplatz oder „aktive Sensoren“. Darüber hinaus bietet die Steuersoftware die Möglichkeit, interaktiv Kameraparameter wie Belichtungszeit oder Blende anzupassen. Die Kamerasteuersoftware kommuniziert mit dem FMS, der Kameraeinheit und dem Quickview.

Der Quickview dient der frühen Qualitätskontrolle (In Flight Quality Check) durch den Navigator und bietet die notwendigen Grundfunktionen zur Visualisierung und Beurteilung der aufgenommen Bilddaten. Durch direkten Zugriff auf spezielle Bilddaten kann bereits im Flug die geometrische und radiometrische Qualität der Aufnahmen beurteilt werden. Fragen wie etwa die erreichte Detailauflösung, Schattenabdeckung von Wolken oder erreichte radiometrische Auflösung etwa im Braunkohleabbau können noch während des Fluges überprüft und eventuell korrigiert werden.

3.3 Nachbearbeitung

Nach der Landung können die aufgezeichneten Daten der Nachbearbeitungssoftware zur Verfügung gestellt werden. Hierbei wird das im Flugzeug vorhandene RAID System gegen ein im Hangar stationiertes ausgetauscht. Somit entfallen aufwändige Datentransferzeiten.

Ziel der nun folgenden Bearbeitung ist die Vorbereitung der Originalaufnahmen für die Auswertung mit beliebigen Digitalen Photogrammetrischen Workstations (DPWS). In diesem Arbeitsgang werden die gewonnenen Bilddaten normalisiert, verifiziert, entzerrt, farbcodiert und formatiert zur Weiterverarbeitung bereitgestellt. Nach jedem der genannten Einzelschritte ist ein Datentransfer zu anderen DPWS vorgesehen. Zusatzinformationen zu Bild und Bildflug werden separat bereitgestellt. Die möglichen Zwischenprodukte sind in Tab. 2 dargestellt.

Wegen des hohen Zeitbedarfs für die Nachbearbeitung der Bilddaten wird bei der Entwicklung der Algorithmen und der Arbeitsabläufe besonders die Möglichkeit der Parallelprozessierung und der unbeaufsichtigten Batchbearbeitung unterstützt. Hierbei kann der Benutzer das zu bearbeitende Projekt/Teilprojekt oder eine bestimmte Auswahl von Streifen oder Bildern vorgeben. Zusätzlich erfolgt die genaue Definition der Zielparameter wie etwa Bildprodukt, Datenformat, Kompressionsfaktor, Bildpyramiden und Zusatzinformationen.

Tab. 2: Bildprodukte der DMC Post Processing Software.

Bildprodukt	Name	Beschreibung
Level 1	Normalisierte Originalaufnahme	Radiometrisch (gain/offset) korrigiertes Bild mit Beseitigung defekter Pixel.
Level 1a	Virtuelles Bild	Einzelbilder werden verzeichnungsfrei in virtuelle, zentralperspektive Aufnahme umgebildet.
Level 1b	Farbkomposit oder Farbbild	Farbbild = R + G + B Farbkomposit = panchromatisches Bild + Farbbild
Level 2	Georeferenziertes Bild	Durch GPS/INS-Messungen aus Level 1a oder 1b generierte Daten.

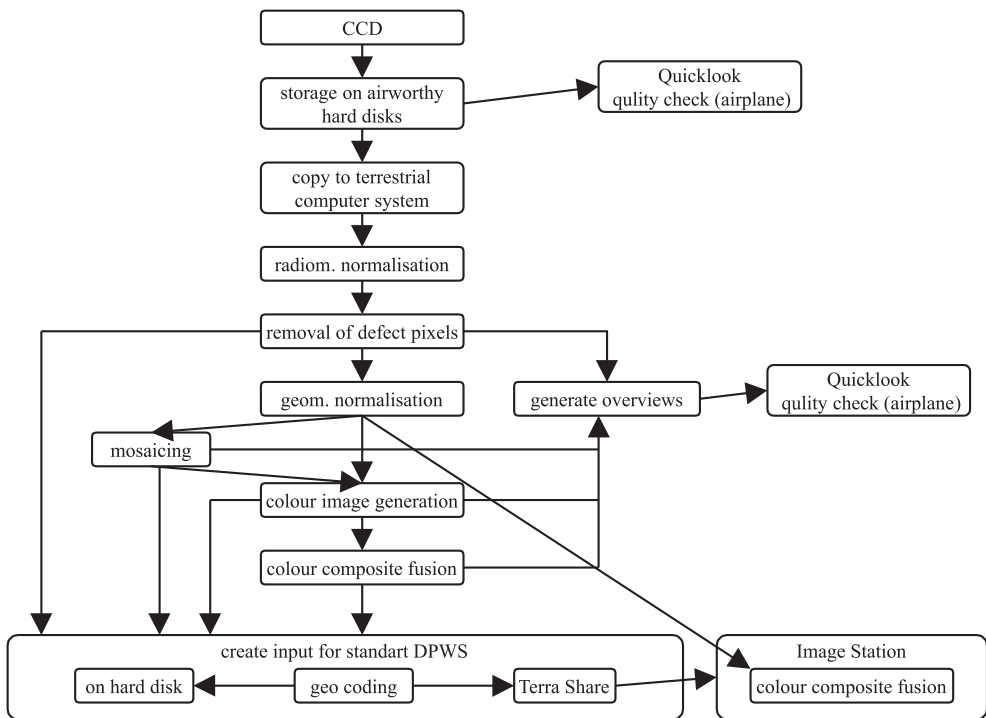


Abb. 6: Arbeitsfluss der Nachbearbeitung.

Das Ausgabeformat der Bilddaten kann vom Benutzer frei gewählt werden. Standardmäßig werden zur Weitergabe von Bilddaten an andere Systeme TIFF – JPEG komprimierte Daten erzeugt.

Der Arbeitsfluss der Nachbearbeitungssoftware (vgl. Abb. 6) wird im Folgenden näher erläutert. Der erste Schritt, die Erzeugung von Level 1 Bildern, erfolgt auf Basis der Kamerakalibrierungsdaten. Sie beinhaltet zum einen die Beseitigung defekter Pixel, zum anderen die Normalisierung. Bei der Beseitigung defekter Pixel werden sowohl einzelne elektrisch schwache Pixel oder – falls vorhanden – ausgefallene Einzelpixel korrigiert. Bei der radiometrischen Korrektur werden die Hell- und Dunkelwertkorrekturen zu jedem Pixel berechnet (DIENER et al. 2000). Nachfolgend kann vor Ort die Abnahme der Daten erfolgen. Auch hier unterstützt der Quickview die systematische Kontrolle des gesamten Bilddatensatzes.

Im Weiteren werden die Bilddaten durch das Mosaiking-Modul geometrisch entzerrt

und in ein sog. virtuelles Bild zusammerechnet. Vor der Generierung des virtuellen Bildes erfolgt die geometrische Korrektur der Objektivverzerrung auf Basis der Kamerakalibrierung. Dabei wird die kalibrierte räumliche Lage jeder einzelnen Bildebene berücksichtigt und durch zyklische Kontrollmessungen verifiziert. Das nun entstehende Bild hat eine neue virtuelle Kammerkonstante und kann als ideales photogrammetrisches Bild angesehen werden.

Parallel zur Mosaikbildung der Bilder kann die Zusammenrechnung der einzelnen Spektralkanäle erfolgen. Hierbei wird (DIENER et al. 2000) zuerst durch Farbmatching die Zusammenführung der RGB Kanäle gerechnet. Auch in diesem Schritt wird auf Basis der vorhandenen Kamerakalibrierung und zyklischer Kontrollmessungen ein optimales Ergebnis erreicht. Anschließend wird – falls notwendig – das entstandene Farbbild mit dem panchromatischen Bild zu dem so genannten Farbkomposit zusammengeführt.

Als Ergebnis aus diesen Verarbeitungsschritten kann die Übergabe der erzeugten Bilddaten zur Archivierung an ein Datenmanagementsystem (z. B. TerraShare) oder die direkte Distribution (z. B. über E-Geo) an den vom Bearbeiter definierten oder vom Kunden vorgegebenen Zielort erfolgen. Vorbereitend dazu kann optional auf Basis der vorprozessierten GPS/INS-Daten jedes Bild georeferenziert werden.

3.4 Datenerfassung

Bei der Integration der DMC-Sensordaten in die ImageStation kann mit den Bildern der Level 1a, 1b oder 2 gearbeitet werden. In diesem Fall kann die DPWS im Modus für Messkammern betrieben werden. Wird die ImageStation 2000 als DPWS benutzt, so kann bei Bedarf auf das Farbbild und das Mosaik zugegriffen werden. Beide Bilder können in getrennten Files bereitliegen; es besteht keine Notwendigkeit, das Farbkomposit vorher berechnet zu haben. Dadurch kann der benötigte Plattenspeicherbedarf etwa um den Faktor 2.6 reduziert werden (vgl. Tab. 3).

In Tab. 3 wird der benötigte Plattenplatz für ein Einzelbild mit einer radiometrischen Auflösung von 16 bis 10 bit oder 8 bit berechnet, wobei ausgehend von der aktuellen Kameraspezifikation für die 4 panchromatischen Kanäle ein $7k \times 4k$ Chip und für die 3 Multispektralkanäle je ein $3k \times 2k$ Chip angenommen wurde. Das in der ImageStation online erzeugte Farbkomposit kann bei

Tab. 3: Plattenplatz für unkomprimierte Bilddaten in Form eines Farbkomposit respektive für getrennt abgelegte Farb- und panchromatische Information.

	10–16 bit Bild	8 bit Bild
Farbbild	36 MB	18 MB
Virtuelles Bild	<u>224 MB</u>	<u>112 MB</u>
Summe (Farbbild + virtuelles Bild)	260 MB	130 MB
Farbkomposit (virtuelles Bild aus 3 Farbkkanälen)	672 MB	336 MB

Bedarf auf Basis der ImagePipe™ generiert werden. Die Online-Generierung eines Farbkomposit erfolgt in der gleichen Weise wie etwa bei der Stereoauswertung oder Orthophotogenerierung.

4 Leistungsvergleich

Zur Zeit werden digitale Luftbildkameras auf der Grundlage verschiedener technischer Konzepte entwickelt. Für einen echten, objektiven Leistungsvergleich dieser Entwicklungen ist es unabdingbar, die anwendungsbezogene Kostensituation zu berücksichtigen. Ein sich ausschließlich auf die Pixelanzahl stützender Leistungsvergleich ergäbe ein falsches Bild. Hinsichtlich Geländeauflösung, Genauigkeit, Bodenabdruck der Pixel, Lichtverhältnissen und Systemkompatibilität bietet die DMC die beste Leistung bei der aktuell verfügbaren Technologie.

– 1. Auflösung

Auf Grund der Realisierung von FMC bietet die DMC selbst bei großen Bildmaßstäben eine herausragende Geländeauflösung. Eine Geländeauflösung von besser als 6 cm wurde bereits bei einem im Januar 2000 durchgeführten Probeflug nachgewiesen.

– 2. Genauigkeit

Die Genauigkeit der DMC wird definiert durch die Festkörperoberfläche des Silizium-Flächensensors selbst sowie durch die stabile innere Orientierung der hochgenauen Objektive. Optional können differentielle GPS-Messungen und INS-Ergebnisse verwendet werden.

– 3. Bodenabdruck der Pixel

Auf Grund des realisierten Flächenkonzepts liefert die DMC einen quadratischen Bodenabdruck der Pixel. Einflüsse der Flugeschwindigkeit oder plötzlicher Flugzeugbewegungen werden dadurch eliminiert, dass die Bildgeometrie mit der Auslösung einer Belichtung eingefroren wird.

– 4. Lichtverhältnisse – Anzahl der Tage mit akzeptablen Bedingungen

Dank FMC als einem inhärenten Merkmal der digitalen Kamera von Z/I Imaging sind hochaufgelöste Aufnahmen selbst bei ungünstigen Lichtbedingungen möglich. Bei

Verwendung einer Kamera ohne FMC lässt sich der Einfluss der Fluggeschwindigkeit nicht unter bestimmte Grenzwerte drücken.

– 5. Systemkompatibilität

Die DMC basiert auf der zentralperspektivischen Abbildung, die seit nahezu 100 Jahren einen festen Platz in der Photogrammetrie hat. Alle bestehenden Nutzungssysteme können diese Daten verarbeiten.

– 6. Zuverlässigkeit

Das mit einem Frame-Sensor aufgenommene Bild ist selbst dann verwendbar, wenn die GPS-Ergebnisse nicht die erwartete Genauigkeit aufweisen. Wenn hingegen bei einem Zeilensensor die GPS-Ergebnisse nicht zufrieden stellend sind oder aus irgendeinem Grund fehlen, so muss der Flug nochmals durchgeführt werden, da die direkte Sensororientierung unterbrochen ist.

5 Schlussbemerkungen

Die von Z/I Imaging vorgestellte digitale Kamera basiert auf einem CCD-Flächensensor. Dieses Konzept bietet höchste geometrische Genauigkeit bei photogrammetrischen Anwendungen, ohne dass auf inertielle Messungen und GPS-Daten zurückgegriffen werden muss. Die hohe innere Genauigkeit wird durch die zweidimensionalen CCD-Flächensensoren auf einem Siliziumwafer bestimmt. Auf Grund des modularen Aufbaus können mehrere kompakte Kameraköpfe miteinander verbunden werden; die dadurch erreichte Geländeabdeckung liegt im selben Bereich wie bei herkömmlichen Weitwinkel-Luftbildkammern. Die hohe Flexibilität gestattet es, Auflösung und Spektralkanäle auf die Erfordernisse des Kunden abzustimmen. Das so gewonnene digitale Bild weist die übliche zentralperspektivische Geometrie auf, so dass die Anpassung an und Kompatibilität mit beste-

henden Softcopy-Lösungen gewahrt bleibt. In der Erkenntnis, dass die heutigen digitalen Kamerasysteme bestehende filmgestützte Kameras noch nicht ersetzen können, wurde die DMC so konzipiert, dass sie sich ohne weiteres in den aktuellen filmgestützten Arbeitsablauf einfügt. Die Stärken beider Technologien lassen sich so auf wirtschaftlichste Weise miteinander kombinieren. Die DMC kann in Verbindung mit Systemkomponenten der RMK-TOP eingesetzt werden, um die zukünftige Sicherung dieser Investition zu gewährleisten.

Literatur

- DIENER, S., KIEFNER, M. & DÖRSTEL, C., 2000: Radiometric Normalisation and Colour Composite Generation of the DMC. – IAPRS Vol. XXXIII, Amsterdam 2000 (noch nicht veröffentlicht).
- HINZ, A., 1999: The Z/I Imaging Digital Aerial Camera System. – Photogrammetrische Woche '99, Eds.: D. Fritsch / R. Spiller, Wichmann, Heidelberg.
- SZANGOLIES, K. (Hrsg.), 1986: Vierfach Reihenmessbildkammer 4x RMK 13,5 C/1. – In: Kompendium Photogrammetrie Bd. XVIII, S. 113/114. Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, Leipzig.
- TALLEY, B.B., 1938: Multiple-Lens Aerial Cameras. – In: Engineering Applications of Aerial and Terrestrial Photogrammetry. – Pitman Publishing Corporation, New York & Chicago.

Anschrift der Autoren:

Dr. rer. nat. ALEXANDER HINZ,
Dipl.-Ing. CHRISTOPH DÖRSTEL,
Dipl.-Ing. HELMUT HEIER,
Z/I Imaging GmbH
D-73422 Oberkochen,
{A. Hinz, C. Doerstel, H. Heier}@ziimaging.de

Manuskript eingereicht: Januar 2001

Angenommen: Februar 2001