

Einsatz, Möglichkeiten und Grenzen digitaler Mittelformatsysteme zur hochgenauen Fernerkundung

Görres GRENZDÖRFFER

Zusammenfassung

Der Beitrag informiert schwerpunktmäßig über den aktuellen Stand des EuroSDR-Projekts „Medium Format Cameras“. Der Beitrag beinhaltet die mehrere Punkte, unter anderem eine Kategorisierung digitaler Mittelformatsysteme im Sinne professioneller Systeme. Einen Vergleich von Mittelformatkameras mit großformatigen Kameras. Die geometrischen Eigenschaften sind mit den großformatigen Kameras durchaus vergleichbar, während die radiometrische Eigenschaften und der radiometrischer Workflow sehr speziell ist. Die Anwendungsanalyse verdeutlicht, dass es sowohl spezielle Marktsegmente gibt, in denen Mittelformatkameras exklusiv eingesetzt werden und andere Märkte auf denen sie mit großformatigen Kamerasystemen konkurrieren. Während bei den kleinen Consumerkameras der Wettlauf um immer mehr Pixeln langsam beendet ist, ist dieser Trend bei den digitalen Mittelformatsystemen noch ungebrochen so verfügen die aktuellen Kameraversionen schon 60 Megapixel Sensoren.

1 Einleitung

Abseits der öffentlichen Wahrnehmung sind mehr digitale Mittelformatkameras im Einsatz, als die allseits bekannten großformatigen Kamerasysteme. Das haben mittlerweile auch die Hersteller großformatiger Kameras festgestellt und im Jahr 2008 eigene Mittelformatsysteme wie die RMK-D¹ und die UltraCamL² auf den Markt gebracht. Aus diesem Grunde hat EuroSDR³ ein Projekt initiiert, das eine Marktübersicht bieten soll und in dem das radiometrische und geometrische Potenzial von digitalen Mittelformatsystemen untersucht werden soll. Zugleich sollen aktuelle und zukünftige Trends beleuchtet werden.

Mittelformatsysteme werden für verschiedenste Anwendungen eingesetzt. Einige davon sind eher spezifisch und bei anderen Anwendungen treten die Mittelformatsysteme in Konkurrenz zu großformatigen Systemen. Zum Beispiel werden bei Laserscanning- oder Korridorbefliegungen fast ausschließlich Mittelformatkameras für die Bilderzeugung eingesetzt. Bei Bildflügen von kleinen Gebieten, bei Projekten mit mittleren Genauigkeitsanforderungen, bei „Rapid Response“-Anwendungen und der Schrägbilderfassung haben Mittelformatsysteme ebenfalls einen großen Marktanteil. Der Markt für Mittelformatsysteme wächst ständig, allerdings unterscheiden sich die verschiedenen am Markt befindlichen Systeme im Hinblick auf die Performance, Zuverlässigkeit, Preis und Genauigkeit teilweise erheblich.

¹ http://www.aerial-survey-base.com/pdfs/Cameras_PDF/Intergraph/RMK%20D%20INTERGRAPH%20Product%20Sheet.pdf (25.04.2009)

² <http://www.microsoft.com/ultracam/ultracaml/default.mspx> (25.04.2009)

³ <http://www.eurosd.net/> (25.04.2009)

2 Kategorisierung digitaler Mittelformatsysteme

Die Definition eines Mittelformatsystems und deren Abgrenzung zu klein- oder großformatigen Systemen wandeln sich im Laufe der Zeit, vor allem wenn man die technischen Spezifikationen der Kameras zugrunde liegt. Die in der Literatur zu findenden Kategorisierungen, z.B. CRAMER, 2004, PETRIE & WALTER, 2007, GIM INTERNATIONAL, 2008 konzentrieren sich auf die technische Spezifikationen. Im Kontext der vorliegenden Betrachtungen sind digitale Mittelformatsysteme als professionelle digitale Luftbildsysteme definiert.

Verglichen mit den großformatigen Kameras digitale Mittelformatsysteme weisen einige technologische Unterschiede auf, die in der Tabelle 1 zusammengefasst sind

Tabelle 1: Wesentliche Unterschiede zwischen mittel- und großformatigen Kamerasystemen

	Mittelformat	Großformat
	Technologie	
Kamera	Einzelkamera	Mehrkamerasystem
Bildgröße	Max. 60 MegaPixel	Max. 196 MegaPixel
Farbe	Entweder RGB oder (CIR)	Separate Kameraköpfe, (Pan, R, G, B, NIR) Image Fusion
Objektive (Brennweite)	Austauschbar	Fix
	Bildflugsystem	
FMC	Nur mechanisch	TDI
System Kosten	Gering	Teuer
System Gewicht	Leicht	Schwer
Energieverbrauch	Gering (20-200 W)	Hoch (500-700 W)
Flugzeug	Ein- und zweimotorige Flugzeuge	I.d.R. zweimotorige Flugzeuge

Neben den technischen Unterschieden ist auch die Fertigungstiefe bei Mittelformatsystemen und bei den großformatigen Kameras recht unterschiedlich. Während bei den großformatigen Kameras die meisten Komponenten für den Einsatz im Bildflugzeug selbst hergestellt und kalibriert werden, nutzen die Hersteller von Mittelformat eher am Markt verfügbare Komponenten einschließlich der dazugehörigen Software und ergänzen diese um speziellen Funktionalität für den Bildflug.

Ein großer Vorteil der Mittelformatsysteme ist deren geringerer Systempreis und die Möglichkeit auch kleine und preiswerte Flugzeuge einzusetzen. Auch in der Bildvorverarbeitung sind wesentlich weniger Arbeitsschritte notwendig, um zu einem Farbbild zu gelangen. Bei der Orthophotoherstellung müssen diese Vorteile den zusätzlichen Aufwand, der durch eine größere Anzahl von Bildern gegeben ist, d.h. bei der Datenprozessierung, den Passpunkten, und der Mosaikierung kompensieren.

Ein weiterer wichtiger Vorteil der Mittelformatkameras ist die Möglichkeit über den Wechsel der Objektive Bildflüge mit Brennweiten von 35 mm bis 210 mm zu realisieren. Das bedeutet z.B. das bei Befliegungen mit mehreren Sensoren, wie z.B. Laserscanning und digitale Kamera entweder alle die gleiche Streifenbreite abdecken oder die Erde mit der gleichen Bodenauflösung abtasten. Außerdem kann über die Brennweite die Stereobetrachtung bzw. die DGM-Genauigkeit beeinflusst werden oder auch Abschattungen von Gebäuden reduzieren.

2.1 Geometrisches Potenzial digitaler Mittelformatsysteme

Das erreichbare geometrische Potenzial einer digitalen Kamera hängt von ihren geometrischen Eigenschaften ab, d.h. einer hochgenau bestimmbaren und reproduzierbaren inneren Orientierung. Unter Laborbedingungen, d.h. im Nahbereichsfall haben Mittelformatsysteme ihr hohes Genauigkeitspotenzial von bis zu 1:200.000 unter Beweis gestellt, z.B. SHORTIS et al. 2006. Allerdings lässt die raue Bildflugumgebung mit ihren Vibrationen etc. solche Genauigkeiten in der Aerophotogrammetrie nicht zu. Dennoch haben die Hersteller in den letzten Jahren viel unternommen, z.B. die Fixierung der digitalen Chips und der Objektive, um die Stabilität der inneren Orientierung unter Bildflugbedingungen zu stabilisieren. Im Ergebnis ist die Stabilität der inneren Orientierung durchaus mit einer großformatigen Kamera vergleichbar, vgl. z.B. LADSTÄTTER UND KAUFMANN, 2009.

2.2 Minimale Bodenauflösung

Die Kunden verlangen nach einer immer höheren Bodenauflösung. Die größte mögliche Bodenauflösung (GSD) einer photogrammetrischen Befliegung mit einer Standardlängsüberlappung von 60 % wird von mehreren Faktoren beeinflusst. Wobei die minimale Bildfolgezeit Δt der Kamera und die Bewegungsunschärfe die am meisten limitierenden Faktoren sind.

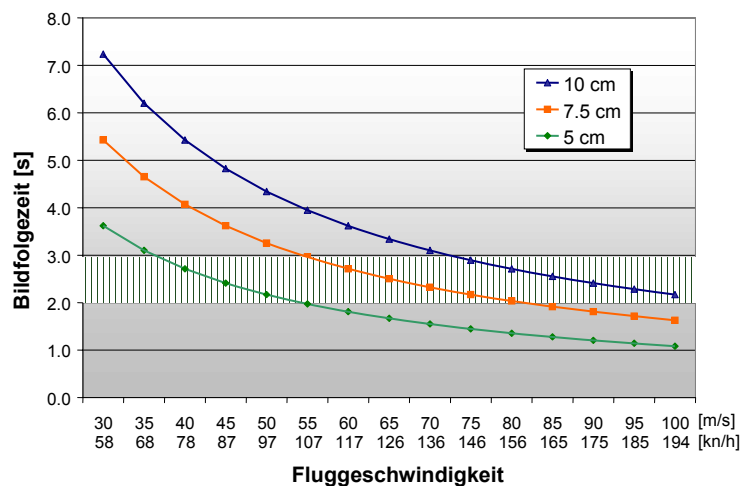


Abb. 1: Notwendige Bildfolgezeit von digitalen Mittelformatsystemen (60 % Längsüberlappung) in Abhängigkeit des GSD und der Fluggeschwindigkeit

Um die Begrenzungen der minimal möglichen Bodenauflösung durch die Bildwanderung zu verstehen, muss ein bisschen ausgeholt werden. Die Bildwanderung u ist abhängig von der der Geschwindigkeit des Flugzeugs über Grund v_g , der Belichtungszeit t_e , der Kammerkonstante c , der Flughöhe über Grund h_g und der Größe eines Pixels s_p (vgl. Formel 1).

$$u \approx \frac{u_{th}}{2} = \frac{1}{2} * v_g * t_e * s_p * \frac{c}{h_g} = \frac{1}{2} * \frac{v_g * t_e * s_p}{GSD} \quad (1)$$

wobei nur 50 % der theoretischen Bildwanderung u_{th} tatsächlich in den Bildern zu beobachten ist. Die Bildwanderung sollte bei digitalen Bildern 0.5 Pixel nicht überschreiten.

Da die Fluggeschwindigkeit und die GSD in der Regel vorgegeben sind, bleibt in der Regel nur die Belichtungszeit, um die Bewegungsunschärfe zu minimieren. Abbildung 2 verdeutlicht das Problem bei einem GSD von 5 cm.

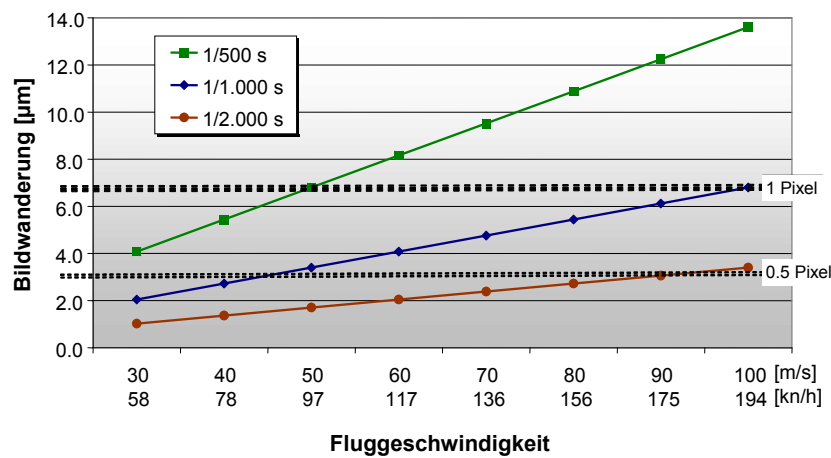


Abb. 2: Bildwanderung u für ein GSD von 5 cm bei verschiedenen Fluggeschwindigkeiten

Die Belichtungszeit wiederum ist andererseits abhängig von der Blende und der Sensitivität des Sensors, d.h. dem ISO-Wert. Höhere ISO-Werte bedeuten gleichzeitig mehr Rauschen. Die Blende kann ebenfalls nicht beliebig verändert werden, da weit geöffnete Blenden zusätzliche chromatische Abberationen verursachen. Zusammengefasst gilt: Die Bildwanderung limitiert die minimal mögliche Bodenauflösung im Mittelformatbereich auf 5-8 cm, je nach Fluggeschwindigkeit, da die Belichtungszeit nicht beliebig verkürzt werden kann.

2.3 Radiometrische Genauigkeit und Kalibrierung

Die "radiometrische Genauigkeit" und die radiometrische Kalibrierung digitaler Luftbildkameras wird immer wichtiger. Das erste Ziel einer solchen radiometrischen Kalibrierung ist die Einflüsse des Objektivs und des Sensors zu minimieren und somit für einheitliche Sensitivität aller Bildelemente zu sorgen. Analog zur geometrischen Kalibrierung gibt es

eine herstellerseitige „innere“ Kalibrierung, die z.B. defekte Pixel identifiziert, die Dark Signal Non Uniformity (DSNU) behebt sowie einen Teil des Helligkeitsrandabfalls der Optiken korrigiert. Das sogenannte White-Balancing ist der zweite Kalibrierungsschritt bei dem Look-Up-Tabellen (LUT) individuell für jedes Projekt erstellt werden. Anhand von mehreren Testbildern wird eine Weiß- und Farbbalance erstellt und auf die weiteren Bilder des Projekts übertragen. Zusätzlich kann mit geeigneter Software der Helligkeitsrandabfall, der vor allem bei weit geöffneter Blende auftreten kann, korrigiert werden. Allerdings ist eine absolute radiometrische Kalibrierung aufgrund verschiedener Sachverhalte schwierig, da die Software im Mittelformatbereich in der Regel für professionelle Photographen entwickelt wurden, und nicht für fernerkundlich/photogrammetrische Nutzer, für die z.B. eine Atmosphärenkorrektur oder die Linearität des Sensors im Vordergrund steht. Grundsätzlich ist anzumerken, dass die resultierenden Farben der Bilder immer nach dem subjektiven Farbempfinden des Bearbeiters bzw. des Kunden optimiert werden.

Allerdings ist die Radiometrie großformatiger Kameras, aufgrund der notwendigen Image Fusion ebenfalls nicht perfekt (z.B. SCHROTH, 2007, SOUCHON et al., 2006).

3 Aktuelle Trends

Die aktuellen Trends im Bereich digitaler Mittelformatkameras sind unter anderem:

1. Beim Katastrophenmanagement, Sicherheitsanwendungen etc. ist ein hoher Bedarf an einer Nah-Echtzeit Generierung digitaler Orthophotos vorhanden. Dies ist nur durch eine direkte Georeferenzierung möglich und erfordert einige systemseitige Voraussetzungen wie z.B. ein hochgenaues GPS/INS mit L1/L2-Echtzeitkorrekturen, eine konstante Innere Orientierung verbunden mit einem stabilen Bore-site-Alignment und einem sehr performanten Datenmanagement bzw. schneller Datenprozessierung. Verglichen mit großformatigen Kameras verfügen digitale Mittelformatsysteme über zwei entscheidende Vorteile: zum einen sind keine zeitaufwendigen Zwischenschritte wie die Image-Fusion notwendig um zum digitalen Farbbild zu kommen und zum anderen ermöglichen die kleineren Dateigrößen auch eine schnellere Prozessierung eines einzelnen Orthophotos.
2. Mittelformatsysteme stoßen durch Mehrkameralösungen in das Marktsegment der großformatigen Kameras vor und bieten die gleiche Bodenabdeckung zu deutlich niedrigeren Preisen.
3. Die Kundennachfrage nach Bodenauflösungen von 3-5 cm nimmt zu. Die dafür notwendige Forward-motion compensation (FMC) wird bei den Mittelformatsystemen nicht elektronisch (TDI) sondern mechanisch gelöst.
4. Ein weiterer Trend geht in Richtung kombinierter Systeme die gleichzeitig Senkrecht- und Schrägaufnahmen z.B. für die Texturierung von 3D-Stadtmodellen machen. Schließlich müssen Schrägaufnahmen aus den vier verschiedenen Himmelsrichtungen aufgenommen werden, um ein Objekt aus allen Perspektiven Betrachten zu können. Allerdings sind Schrägaufnahmen für großformatige Kamera schwierig. Nur Mehrkameralösungen, wie z.B. das Schrägbildsystem AOS von Swissphoto⁴ oder das

⁴ <http://www.swissphoto.ch/index.php?id=218#> (25.04.2009)

System MIDAS von TrackAir⁵ aus dem Mittelformatbereich liefern die notwendige Flexibilität.

5. Verglichen mit den großformatigen Kameras hat sich die Auflösung digitaler Mittelformatsysteme in den letzten Jahren drastisch erhöht. Von 6 Megapixel im Jahre 2.000 bis über 60 Megapixel heutzutage. Gleichzeitig ist die Größe eines einzelnen CCD-Elements immer kleiner geworden. Er liegt bei den 60 Megapixelsensoren bei 6 µm/Pixel. Dieser Trend kann natürlich nicht ewig so weiter gehen, denn kleinere CCD-Elemente bedeuteten ein schlechteres Signal-Rausch-Verhältnis das sich gerade bei sehr kurzen Belichtungszeiten und ungünstigen Lichtverhältnissen bemerkbar macht. Außerdem muss die Auflösung des Objektivs immer an die Größe der CCD-Elemente angepasst werden.

Fazit: Heutzutage sind digitale Mittelformatsysteme für Luftbildanwendungen ausgereift und sehr zuverlässig. Durch den zunehmenden Bedarf an „Nah-Echtzeit“ Anwendungen werden diese Systeme in Zukunft eher noch attraktiver werden.

Literatur

- CRAMER, M. (2004): Performance of Medium format Digital Aerial Sensor Systems. Proc. of the XX ISPRS Congress, Istanbul. IAPRS VOLUME XXXV-B1, S. 769-774.
- GIM INTERNATIONAL (2008): Digital Aerial Cameras, April 2008, 22 (4), S. 17-19.
- LADSTÄDTER, R. & KAUFMANN, V. (2009): Geometrische Genauigkeitsstudie im Rahmen des DGPF Projekts zur Evaluierung digitaler Kamerasysteme. DGPF Tagungsband, 18. Web: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/dgpf/PDF/JT09-Geometrie-LADSTAEDTER&KAUFMANN.pdf> (25.04.2009)
- PETRIE, G. & WALKER, A. S. (2007), Airborne digital imaging technology: A new Overview. In: The Photogrammetric Record, 22 (119), S. 95-105.
- SCHROTH, R. W. (2007): The digital mapping camera DMC and its application potential. ISPRS Hannover Workshop 2007, IntArchPhRS XXXVI, 1/W51. 7 S.
- SHORTIS, M. R. BELLMANA, C. J., ROBSON, S. JOHNSTON, G. J. A& JOHNSON, G. W. (2006): Stability of zoom and fixed lenses used with digital SLR cameras. Proc. of the Commission V Symposium Image Engineering and Vision Metrology. IAPRS, XXXVI, 5. 6 S.
- SOUCHON, J.-P., PAPANODITIS, N., MARTIN, O., MEYNARD, C. & THOM, C. (2006): Is there an ideal digital aerial camera?. Proc. of the Commission I Symposium "From sensors to imagery". IAPRS, XXXVI, 1. 6 S.

⁵ http://www.aerial-survey-base.com/Bilder2007/midas_brochure.pdf (25.04.2009)