Berücksichtigung digitaler Kameras im neuen Normentwurf E DIN 18740-4

CHRISTOPH DÖRSTEL [1], RALF REULKE [2] & REINER SCHWEBEL [3]

Zusammenfassung:
Digitale Luftbildkameras werden derzeit von verschiedenen Anbietern in den photogrammetrischen Markt eingeführt. Direkt erfasste digitale Bilddaten können dem Nutzer vielfache Vorteile bringen. Das sind etwa die zeitgleiche Erfassung multispektraler Daten, die schnelle Verfügbarkeit, ein erhöhter Dynamikbereich durch 12 anstatt 8 Bit Daten sowie ein gutes Signal-Rauschverhältnis.

Diese Vorteile sind vielversprechend. Aber können die neuen digitalen Kameras mit den Anforderungen aus heutigen Projekten auch standhalten? Wie kann der Auftraggeber oder Auftragnehmer schnell und eindeutig überprüfen, ob die geforderten Qualitätskriterien eingehalten sind? Welche Qualitäts- und Abnahmekriterien müssen festgelegt werden? Wie bewertet man die neuen Aufnahmetechnologien, z.B. Zeilensensoren? Die Fragen sind mannigfaltig.

In diesem Beitrag wird das Grundkonzept des Normvorhabens DIN 18740-4 „Anforderungen an das digitale Luftbild“ vorgestellt (z.Zt. in Erarbeitung). Hierbei werden das Spannungsfeld von der Einzelflächenkamera über die Multisensorkamera bis hin zum Zeilensensor beleuchtet und die grundlegenden Anforderungen an Kameras und Bilder festgelegt. Die für ein Bildflugprojekt maßgeblichen Parameter und Qualitätskriterien werden in einer Spezifikation festgelegt und Prüfverfahren zum Nachweis der Qualitätsanforderungen vorgeschlagen.

Der geplante Norm-Entwurf ist Teil der vom DIN-Arbeitsausschuss „Photogrammetrie und Fernerkundung“ erarbeiteten Normreihe 18740 „Photogrammetrische Produkte“.

1 Einleitung

Neue Verfahren und Systeme, die sich in der Phase der Entwicklung und Markteinführung befinden, einer Standardisierung zu unterziehen, ist ein nicht ganz unproblematisches Unterfangen: Einerseits sollten die Normvorgaben so allgemein sein, dass sie für die unterschiedlichen und auch zukünftigen Lösungen gültig sind; andererseits soll eine Norm konkrete Angaben machen, die von praktischem Nutzen sind.

Der Arbeitsausschuss „Photogrammetrie und Fernerkundung“ ist sich dieser Problematik bewusst. Um jedoch zu einem frühen Zeitpunkt dem Praktiker die Kriterien zur Entschei-

[1] Dipl. Ing. Christoph Dörstel, Intergraph GmbH, Ulmerstr. 124, 73431 Aalen, e-mail: christoph.doerstel@intergraph.com
[2] Prof. Dr.- Ing. Ralf Reulke, Institut für Photogrammetrie Universität Stuttgart, Geschwister-Scholl-Str. 24D, 70174 Stuttgart, e-mail: ralf.reulke@ipi.uni-stuttgart.de
[3] Prof. Dr.- Ing. Reiner Schwebel, Reuchlinstr. 32, 73431 Aalen, e-mail: reiner.schwebel@t-online.de

dungsfindung für eine Systembeschaffungen und Qualitätsstandards für das Endprodukt Digitales photogrammetrisches Bild geben zu können, wurde das Normprojekt „Anforderungen an das digitale Luftbild“ in Angriff genommen. Es wird notwendig sein, die Norm entsprechend dem jeweiligen Stand der Technik fortzuführen.

2 Normenreihe DIN 18740

Das hier vorgestellte Normungsvorhaben für digitale photogrammetrische Bilder, hergestellt mit digitalen Luftbildkameras, ist der vierte Teil der neuen Normreihe DIN 18740 „Photogrammetrische Produkte“. Ziel der Normreihe ist es, für die wichtigsten photogrammetrischern Kernprodukte Qualitätsstandards zu erstellen. Als Kernprodukte gelten hier unverarbeitete und verarbeitete bildhafte Informationen, also analoge und digitale Bilder sowie digitale Orthophotos. Die Normreihe konzentriert sich auf messtechnisch verwertbare Luftbilder, da diese den wesentlichen kommerziellen Bereich der praktischen Photogrammetrie ausmachen, und umfasst:

Teil 1 „Anforderungen an Bildflug und analoge Luftbilder“ (Norm November 2001)
Teil 2 „Anforderungen an das gescannte Luftbild“ (Normentwurf Mai 2004)
Teil 3 „Anforderungen an das Orthophoto“ (Norm Oktober 2003)
Teil 4 „Anforderungen an das digitale Luftbild“ (Norm-Entwurf in Erarbeitung)

Eine Kurzbeschreibung der Teile 1 bis 3 und die zugehörigen Formblätter für die Projektspezifikationen sind im Internet unter www.dgpf.de im Bereich Normungsvorhaben aufgeführt.

Das Konzept der Normreihe enthält:
- grundsätzliche Anforderungen an Verfahren und Produkte
- projektspezifische Parameter und Qualitätskriterien

Es bietet dem Anwender ein umfassendes und flexibles Werkzeug zur Qualitätsplanung und Qualitätssicherung.

Generell gilt, dass Normen Empfehlungen sind und in der Regel nicht per Gesetz, sondern auf Grund von Verwaltungsvorschriften oder von Verträgen zwischen Auftraggebern und Auftragnehmern angewendet werden. Dabei können Normen nicht nur als Ganzes, sondern auch Teile davon zur Anwendung kommen. Die Anwendung als Ganzes wird durch die weitgehende Parametrisierung ermöglicht.

3 Stand der Technik

Seit etwa zwei Jahren stehen digitale photogrammetrische Kamerasysteme zur Verfügung, die in der Lage sind, herkömmliche filmbasierte Kameras abzulösen. Damit wird der schon lange vorhandene digitale Auswerteansatz auf photogrammetrische Arbeitsstationen mit der digitalen Aufnahme verbunden.
Photogrammetrische Kameras bedeutet hier, dass neben der hohen Auflösung und einer großen Schwadbreite auch eine ausreichende Genauigkeit der Kalibrierung und der Lagemessung sichergestellt sind, um damit den heute üblichen Scanprozess von Filmvorlagen, gewonnen aus Aufnahmen der filmbasierten Luftbildmesskammern, überflüssig zu machen.
Inzwischen kann man davon ausgehen, dass die räumliche Auflösung und die erzielte Genauigkeit digitaler Kamerasysteme vergleichbar mit denen der klassischen Ansätze sind. Ent-

scheidender Unterschied zu den analogen photobasierten Aufnahmesystemen ist das signifikant bessere Signal zu Rausch Verhältnis (SNR) und die absolute Radiometrie der panchromatischen und multispektralen Kanäle.
Das entscheidende Problem besteht darin, gleichzeitig eine hohe räumliche Auflösung und eine große Schwadbreite (Flugökonomie) zu erzielen. Prinzipiell stehen zwei Sensortechnologien zur Verfügung: die matrixbasierten und die zeilenbasierten Aufnahmesysteme.
Während Matrixsysteme auf eine stabile Geometrie verweisen können, haben Zeilensysteme den Vorteil, mit einem Detektorarray den gesamten Aufnahmebereich zu erfassen. Im Folgenden werden an Beispielen die wesentlichen Kameratechnologien erläutert. (Abbildung 1).

3.1 Matrixbasierte Systeme

Da keine ausreichend großen flächenhaften Detektorarrays zur Verfügung stehen, muss bei matrixbasierten Systemen ein Bild aus mehreren Detektorflächen zusammengesetzt werden. Das Problem besteht darin, die Detektoren lückenlos aneinander zu fügen. Dafür wurden technologisch zwei Ansätze umgesetzt. Die Digital Mapping Camera (DMC) von ZI-Imaging kippt die einzelnen Sensorflächen zueinander und löst die Bilder zeitsynchron aus (HINZ, 2000, DÖRSTEL, 2003). Der Vorteil ist die reproduzierbare Abbildungsgeometrie; der Nachteil ist, die theoretisch mögliche, jedoch vernachlässigbare Abhängigkeit der Umbildung von der Geländehöhe (ZEITLER, 2002).
Die UltraCam von Vexcel verwendet 9 Flächenarrays auf 4 Fokalebenen (LEBERL, 2003). Die entstehenden Lücken auf der zentralen Fokalebene werden dadurch geschlossen, dass entsprechend der Fluggeschwindigkeit die verbleibenden Arrays so ausgelöst werden, dass lediglich ein Projektionszentrum einer virtuellen Fokalebene entsteht. Dem Vorteil des einheitlichen Projektionszentrums stehen die aufwendige Synchronisation und mögliche Fehler bei der Nachbearbeitung entgegen. Problematisch sind weiterhin die Eigenbewegung des Trägers, sowie der Fall sich bewegender Objekte, die zu verschmierten Abbildungen und Farbsäumen führen.

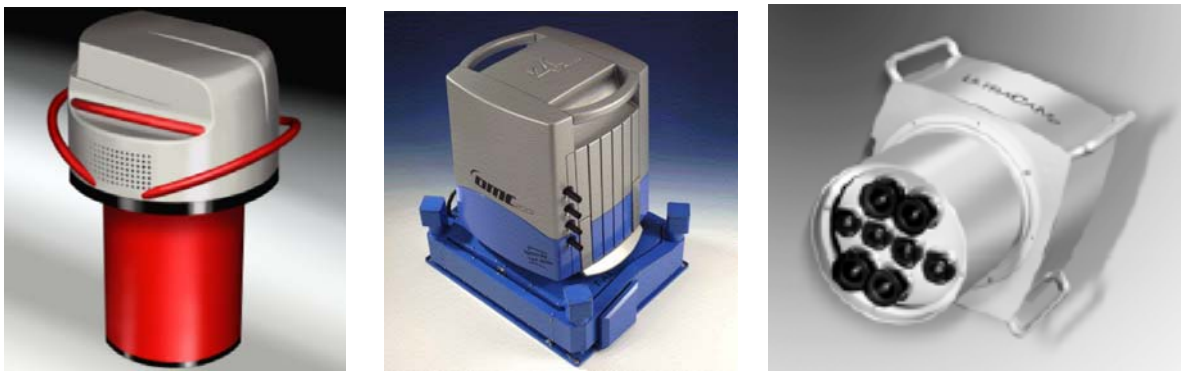

Abb. 1: ADS40 (Leica), DMC (ZI-Imaging), UltraCam (Vexcel)

3.2 Zeilenbasierte Systeme

Als zeilenbasiertes System ist die ADS 40 der Firma Leica realisiert worden (SANDAU, 2000, REULKE, 2003). Der Vorteil ist die große Schwadbreite sowie die Verwendung nur einer Optik für alle Zeilen. Der Nachteil ist die aufwendige Messung der äußeren Orientierung mittels Inertialer Messeinheiten (IMU).

Generell gelten für zeilen- und flächenbasierte digitale Kamerasysteme, dass die Benutzer nicht die originalen Aufnahmeinformationen erhalten. Um aus den Rohbilddaten geeignete Bilder für die photogrammetrischen Weiterverarbeitungsprozesse zu generieren, werden die Daten sowohl radiometrisch nachbearbeitet als auch geometrisch umgebildet. Dies erfolgt mit Bildverarbeitungsmethoden in einem sogenannten „Post-Processing-Schritt“.

4 Normenvorhaben DIN 18740-4

Da ein photographischer Film ein anderes Sensitivitätsverhalten als ein CCD hat, können die Anforderungen an gescannte Bilder nicht auf direkt digital erfasste Bildinformation übertragen werden. Des Weiteren kann bei einem Zeilensensor keine Forward Motion Compensation (FMC) realisiert werden. So ergibt sich also mit der Einführung der neuen digitalen Kameratechnologie ein neuer Bedarf in der Normenreihe.

Das Normenvorhaben DIN - 18740-4 *„Anforderungen an das digitale Luftbild“* wird z.Zt. erarbeitet und behandelt vier Schwerpunktthemen, die im Weiteren kurz vorgestellt werden:

- Anforderungen an digitale photogrammetrische Kameras
- Anforderungen an Bildflüge mit digitalen Kameras
- Anforderungen an das digitale Luftbild
- Prüfung der digitalen Bilder

Ergänzend dazu werden in einem Anhang die spezifischen Parameter für ein Bildflugprojekt mit digitalen Kameras in Form einer Prüfliste beschrieben. Die Norm wird so gestaltet, dass entsprechend der Anwendung Spielraum für die Festlegung von Qualitätsanforderungen und besonderer Projektparameter gegeben ist.

4.1 Anforderungen an digitale photogrammetrische Kameras

In diesem Teil werden zuerst die grundlegenden Anforderungen an die Kamera und deren Komponenten festgelegt. Das ist etwa die Fähigkeit panchromatische und mutispektrale Bilder zeitgleich zu erzeugen sowie Echtfarbenbilder wiedergeben zu können. Da hierzu in allen Systemen mehrere flächen- oder zeilenartige Sensoren eingesetzt werden, müssen diese zeitsynchron ausgelesen werden oder die Zeitabstände zwischen den Auslösungen der verschiedenen Sensoren sehr präzise bekannt sein. Nur so kann garantiert werden, dass die für eine gute Flugdurchführung notwendige Auslösegenauigkeit und GPS Referenz sicher hergestellt werden kann. Im Allgemeinen wird dazu eine Genauigkeit der Auslösezeit von besser +/- 0,2 [ms] benötigt.

Des Weiteren werden die radiometrischen Eigenschaften der Sensoren festgelegt. Im Unterschied zu analogen photographischen Kameras ermöglichen digitale Systeme eine reproduzierbare Messung von Grauwerten, wenn der gemessene Grauwert mit physikalisch relevanten Umgebungsparametern in Verbindung gebracht wird. So wird in der Norm gefordert, dass alle Sensoren radiometrisch kalibriert werden müssen und die Multispektralen Kanäle absolut radiometrisch kalibriert sein sollen. Natürlich ist bei dem heutigen Stand der Technik die Forderung nach einem 12 Bit Dynamikbereich realisierbar und durch entsprechende Kalibrie-

rung müssen eine hohe Stabilität und ein gutes Signal zu Rausch Verhältnis (SNR) erreicht werden können. Die Kalibrierung muss deshalb mindestens die Dunkelstromkorrektur (DSNU, Dark Signal Non Uniformity) sowie eine Kalibrierung der pixelabhängigen Empfindlichkeit (PRNU, Pixel Response Non Uniformity) enthalten.

Diese Anforderungen werden ergänzt durch Hinweis auf ein entsprechendes Optikdesign, um eine gute Abstimmung zwischen der räumlichen Grenzfrequenz des optischen Systems und dem Pixelabstand zu erhalten. Anders als dies beim analogem Film üblich ist, können in der digitalen Kameratechnik je nach verwendetem CCD, Objektive mit geringerer Grenzfrequenz (Auflösungsvermögen) eingesetzt werden. Das Kriterium zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines digitalen Systems ist zwar immer noch die Grenzfrequenz, diese bekommt aber eine andere Bedeutung. So muss im digitalen System, um eine gute Abbildung zu ermöglichen, die Grenzfrequenz des optischen Systems auf den Sensor abgestimmt sein. Wurden beim Film Grenzfrequenzen von 100 Linienpaaren pro mm (Einheit, [lp/mm]) gefordert, würde ein digitaler Sensor mit dem gleichen Objektiv ausgerüstet einen Pixelabstand von maximal 5 [µm] benötigen. Für flächenhafte CCD ist dieses Forderung derzeit technisch nicht erfüllbar und auch nicht notwendig, denn es darf weder eine Über- noch eine Unterabtastung entstehen, um Kontrastwechsel oder Abtastfehler zu vermeiden. Deshalb muss das optische System das einfallende Signal in Abhängigkeit vom Pixelabstand des diskretisierenden Elements (CCD) so filtern, dass keine Abtastfehler entstehen. Dieser Effekt wird durch die Punktbildverschmierungsfunktion (PSF) des optischen Systems beschrieben und bedeutet eine Beeinträchtigung der Bildqualität. Eine unnötige Verschlechterung des Signals bewirken Redundanzen in der Abtastung (oversampling).

$$\text{Grenzfrequenz [lp/mm]} \geq \frac{1000}{2 \cdot \text{Pixelabstand [µm]}}$$

Formel 1: Bestimmung der optischen Grenzfrequenz

In Formel 1 wird beschrieben, wie der Zusammenhang zwischen Pixelabstand und optischer Grenzfrequenz ist. Der Begriff Pixelabstand für CCD Sensoren wird in Abbildung 2 sowohl für konventionelle CCD Technik oder sogenannte „gestaggerte Detektorarrays“ erläutert und gleichzeitig gegenüber dem Begriff der Pixelgröße abgegrenzt.

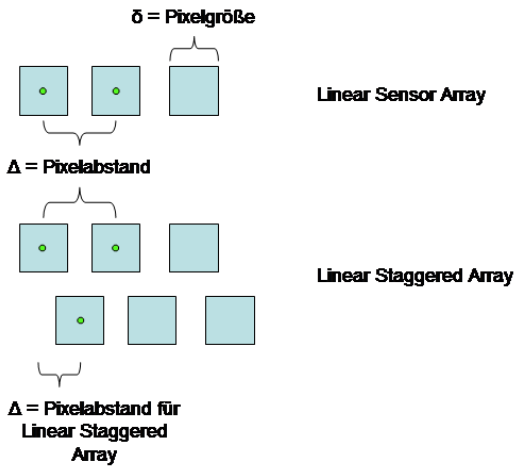

Abbildung 2: Lineare und gestaggerte Detektorarrays

Die räumliche Grenzfrequenz ist erreicht, wenn charakteristische Strukturen, z.B. das Airforce Pattern oder Siemensstern (siehe Abbildung 3) nicht mehr klar identifiziert werden können.

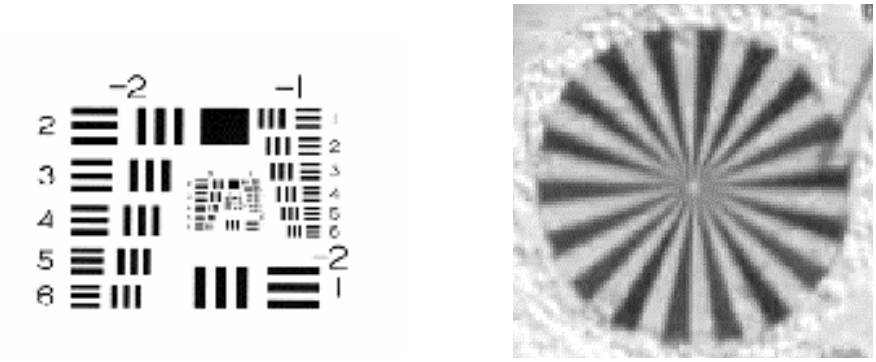

Abbildung 3: Strukturen für den Auflösungstest; links - Airforce Pattern, rechts – Siemensstern

Das Auflösungsvermögen eines Sensors kann zum Beispiel aus dem Unschärfekreis eines Siemenssterns (Abbildung 3) nach Formel 2 abgeleitet werden.

$$\delta = 2\pi \cdot r_c / n \quad n \ldots \text{Anzahl der s/w} - \text{Übergänge}$$

Formel 2: Bestimmung Auflösungsvermögen aus Unschärfekreis

Die Größe r_c ist der Verschmierungsradius, δ ist die räumliche Grenze des Auflösungsvermögens, die der Grenzfrequenz entspricht.

4.2 Anforderungen an Bildflüge mit digitalen Kameras

In diesem Abschnitt werden die Anforderungen an den Bildflug beschrieben, die sich teilweise auf DIN 18740-1 „Anforderungen an Bildflug und analoges Luftbild“ (DIN, 2001) abstützen. Sie ist um Abschnitte wie geometrische und radiometrische Auflösung sowie um die Definition geeigneter Abtastmuster ergänzt, die bei Verwendung digitaler Systeme bestimmend für die Produktqualität sind.

Ebenso wird in dieser Norm der Begriff der Bodenauflösung eingeführt, da die bisherige Angabe einer Bildmaßstabszahl im digitalen Bild an Bedeutung verloren hat. Dieser Umstand ist auch für die durchgängige Beurteilung der Bildqualität sinnvoll, denn die im Orthophoto geforderte Bodenauflösung kann nun für den Bildflug direkt geplant oder entsprechend berücksichtigt werden. Mit dem Begriff Bodenauflösung oder Ground Sampling Distance (GSD) ist im digitalen Bild der „Bodenabdruck“ eines Detektorelementes (Pixel) gemeint.

Ein weiterer neuer Abschnitt wird der Integrationszeit gewidmet. Die Anpassung der Integrationszeit eines Sensors an die Belichtungsverhältnisse kann einerseits zur Erweiterung des Dynamikbereiches genutzt werden, andererseits bestimmen die Integrationszeit und Blende

aber auch die Signalstärke und können zu Verschmierungen führen. Deshalb wird bei flächenhaften Sensoren das Verfahren der Time Delayed Integration (TDI) angewandt, um Verschmierungseffekte zu vermeiden. Bei Zeilensensoren kann das TDI Verfahren nicht angewandt werden. Durch den Umstand, dass eine Zeile in ca. 1-2 ms ausgelesen werden kann, wird das teilweise ausgeglichen, und zwar genau bis zu dem Punkt, an dem bei hoher Auflösungsforderung und daraus resultierender geringer Flughöhe die Zeile nicht mehr schnell genug ausgelesen werden kann, oder das Flugzeug nicht mehr langsamer fliegen kann.

4.3 Anforderungen an das digitale Luftbild

In diesem Abschnitt wird das digitale Luftbild als Ergebnis der radiometrischen Korrektur und der geometrischen Umbildung festgelegt. Ein solches Bild kann direkt der Auswertung oder Weiterverarbeitung in digital photogrammetrischen Auswertesystemen zugeführt werden.
Die neuen Aspekte sind hier zum Beispiel, dass, um eine gute Bildqualität sicherzustellen, die digitalen Rohdaten vor der Anbringung der radiometrischen Korrekturen lediglich durch verlustfreie Kompressionsverfahren komprimiert werden dürfen.
Eine Definition der notwendigen Metadaten, die mit den Bildern gespeichert werden müssen, rundet diesen Abschnitt ab.

4.4 Prüfung der digitalen Bilder

In diesem Abschnitt werden Prüfverfahren zur Qualitätssicherung beschrieben und die Lieferung sowie der Lieferumfang so festgelegt, dass in einer angehängten Spezifikation ein Bildflugprojekt für digitale Luftbilder klar und eindeutig festgelegt werden kann. In diesem Abschnitt wird auch auf die Notwendigkeit der Protokollierung der Sensorkalibrierung eingegangen. Hierzu gibt es zum jetzigen Zeitpunkt noch keine klaren Festlegungen. Dennoch sei hier auf die verschiedenen Bemühungen besonders das EuroSDR Projekt zur digitalen Kamerakalibrierung verwiesen (CRAMER, 2004).

5 Zusammenfassung und Ausblick

In dem vorliegenden Dokument wird der zukünftige Norm-Entwurf für digitale photogrammetrische Luftbildkameras und digitale Luftbilder vorgestellt. Hierbei werden die 4 Hauptabschnitte jeweils durch Beschreibung der Besonderheiten der neuen digitalen Luftbildkameras vertieft. Besonders wird auf die erweiterten radiometrischen und veränderten abbildenden Eigenschaften der neunen digitalen Sensoren eingegangen. So werden die Bedeutung der Grenzfrequenz und ein Verfahren zur Messung des Auflösungsvermögen eines digitalen Sensors vorgestellt. Am Beispiel der Integrationszeit werden der Unterschied zwischen Zeilen- und Flächensensor sowie die Notwendigkeit einer differenzierten Betrachtungsweise der beiden Technologien aufgezeigt.

„Es ist nichts beständig als die Unbeständigkeit“ sagte Immanuel Kant (1724-1804) und diese Unbeständigkeit meint in unserem Fall den Fortschritt. In diesem Sinne sind sich alle an der Erarbeitung des zukünftigen Norm-Entwurfs beteiligten Mitarbeiter einig, diesen möglichst schnell, praxisgerecht und zeitnah einführen zu wollen. Um dies erreichen zu können, benö-

tigt der Arbeitskreis Rückmeldungen von den Herstellern und anderen Fachkreisen, die sich mit dem Thema befassen. Erfahrungen aus der Praxis ebenso wie weitergehende wissenschaftliche Aspekte sollen Berücksichtigung in diesem Normvorhaben finden.

6 Literaturverzeichnis

CRAMER, M., 2004: EUROSDR NETWORK ON DIGITAL CAMERA CALIBRATION, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing – Congress 2004 – Istanbul, noch zu veröffentlichen

DIN, 2001: DIN 18740-1 Photogrammetrische Produkte – Teil 1: Anforderungen an Bildflug und analoges Luftbild - Beuth-Verlag, Berlin

DÖRSTEL, C., JACOBSEN, K., STALLMANN, D., 2003: DMC – Photogrammetric accuracy – Calibration aspects and Generation of synthetic DMC images, Eds. M. Baltsavias / A. Grün, Optical 3D Sensor Workshop, Zürich

HINZ, A., DÖRSTEL, C., HEIER, H., 2000: Digital Modular Camera: System Concept and Data Processing Workflow", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B2. pp. 164

LEBERL, F., GRUBER M., 2003: Economical Large Format Aerial Digital Camera, GIM International, June 2003

REULKE, R., 2003: Design and Application of High-Resolution Imaging Systems, GIS Geo-Informationssysteme, Vol 3/2003, p. 30-37

SANDAU, R. BRAUNECKER, B., DRIESCHER, H., ECKARDT, A., HILBERT, S., HUTTON, J., KIRCHOFER, W., LITHOPOULOS, E., REULKE R., WICKI S., 2000: Principles of the LH SYSTEMS ADS40 Airborne Digital Sensor, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B1. Amsterdam 2000, pp.258

ZEITLER, W., DÖRSTEL, C., JACOBSEN, K., 2002: Geometric calibration of the DMC: Method and Results, Proceedings ASPRS, Com. 1, Denver, USA.