

## Genauigkeitsuntersuchung von Kameras mit Foveon-Farbsensoren

JÜRGEN PEIPE<sup>1</sup>, DIRK RIEKE-ZAPP<sup>2</sup> & WERNER TECKLENBURG<sup>3</sup>

*Zusammenfassung: Die neu entwickelte digitale Spiegelreflexkamera Sigma SD14 wird auf ihre Eignung für photogrammetrische Messzwecke hin untersucht. Das Besondere an dieser Kamera ist der eingebaute Foveon X3 Sensor, der die Bestimmung der RGB-Grundfarben direkt für jedes Pixel ermöglicht. Für die Testmessungen wird ein Prüfkörper benutzt, der nach den Vorgaben der VDI/VDE-Richtlinie 2634 hergestellt wurde.*

### 1 Einleitung

Angesichts der Vielzahl verfügbarer digitaler Kameras unterschiedlicher Bauweise, Handhabung und Qualität ist der Photogrammeter gehalten, das für seine Messaufgabe geeignete Aufnahmesystem und dessen Genauigkeit durch eigene Untersuchungen zu ermitteln, in der Regel durch Kalibrierung und/oder andere Testmessungen. Dies gilt insbesondere für neu auf den Markt gekommene Systeme. Dabei führt die Weiterentwicklung derameratechnik u.a. zu neuen Sensoren (Art des Sensors, Größe, Pixelzahl, Pixelabstand), Objektiven (spezielle "digitale" Objektive, optische Bildstabilisierung), Bildgenerierungsmethoden (Interpolation, Rauschunterdrückung, Datenkomprimierung) und Bildübertragungstechniken (z.B. W-LAN).

In den letzten Jahren hat sich gezeigt, dass digitale Kameras den auf Film aufzeichnenden, analogen Kameras in vielen Bereichen überlegen sind, in mancher Hinsicht jedoch nicht. Hier ist vor allem die Abbildungsqualität der generierten Farbaufnahmen zu nennen. "Normale" Digitalkameras nehmen mit Hilfe des Sensors die Intensität des Lichtes auf, sie sind helligkeitsempfindlich, aber nicht farbeempfindlich. Die Farbtöne werden mit Hilfe von Filtern und Interpolationsberechnungen erzeugt. Dies kann zu Farbverfälschungen, Farbsäumen und leichter Unschärfe führen.

Auf der Suche nach einem Konzept zur direkten Farbermittlung - d.h. jedes Pixel ist in der Lage, grünes, rotes und blaues Licht zu erkennen - hat die Fa. Foveon vor einigen Jahren einen Sensor entwickelt, der in drei übereinander liegenden Schichten farbeempfindliche Elemente aufweist. Dieser Sensor, eingebaut in die Spiegelreflexkameras Sigma SD9 und SD10, hatte eine vergleichsweise geringe Pixelzahl. Inzwischen steht die Kamera Sigma SD14 zur Verfügung, ausgestattet mit einem neuen Foveon-Sensor mit 2652 x 1768 Pixeln. Mit dieser Kamera wurden erste Testmessungen an einem Prüfkörper durchgeführt, über die im Folgenden berichtet wird.

---

<sup>1</sup> Jürgen Peipe: Universität der Bundeswehr München, Institut für Photogrammetrie und Kartographie, Werner-Heisenberg-Weg 39, D-85577 Neubiberg, e-mail: j-k.peipe@unibw-muenchen.de

<sup>2</sup> Dirk Rieke-Zapp: Universität Bern, Institut für Geologie, Baltzerstraße 1+3, CH-3012 Bern, e-mail: zapp@geo.unibe.ch

<sup>3</sup> Werner Tecklenburg: Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Ofener Str. 16/19, D-26121 Oldenburg, e-mail: tecklenburg@fh-oldenburg.de

## 2 Sigma-Kameras mit Foveon-Farbsensor

Vor gut vier Jahren wurde mit der Spiegelreflexkamera Sigma SD9 die erste, mit einem Foveon X3 Farbsensor ausgerüstete Kamera auf den Markt gebracht. Dieser Sensor, wegen seiner speziellen Eigenschaften in der Fachpresse bzw. vom Hersteller auch als Vollfarbsensor, Direkt-Bildsensor etc. bezeichnet, ist ähnlich wie ein Farbfilm in drei Schichten aufgebaut und gestattet so die Aufzeichnung der Rot-, Grün- und Blau-Information an jeder Pixelposition. Im Unterschied hierzu ermöglichen "übliche" Sensoren, die mit einem sogenannten Bayer-Filter ausgerüstet sind, lediglich die Erfassung *einer* Farbe pro Pixel. RGB-Werte pro Bildelement entstehen im Nachhinein durch Interpolation aus den Nachbarpixeln. Diese Vorgehensweise kann Unschärfen und Farb-Artefakte hervorrufen und dadurch die Bildqualität mindern.

Die Eigenschaft des Foveon-Sensors, vollständige Farbinformation an jeder Pixelposition zu liefern, beruht darauf, dass Licht unterschiedlicher Wellenlänge unterschiedlich tief in den Silizium-Chip eindringt. Es kommt also darauf an, die Lichtintensität in drei Ebenen des Sensors zu erfassen und anschließend in RGB-Werte umzuwandeln. Diese direkte Bestimmung der Farbinformation führt zu einer hohen Auflösung von Helligkeits- und Farbkontrasten. Als Nachteil des X3 Sensors wird die relativ geringe Zahl der - allerdings dreifach registrierten - Pixel der Bildmatrix gewertet. Zudem tritt relativ starkes Rauschen bei der Datenerfassung und Datenumrechnung auf, das durch geschickte Bildverarbeitung minimiert werden muss (FOTOMAGAZIN 2007).

Nachdem die Sigma SD9 schon bald durch eine in wenigen Einzelheiten verbesserte Version SD10 abgelöst worden war, wurde bei der Photokina 2006 ein wesentlich erweitertes Modell vorgestellt, die SD14 (Abb. 1). Vergleicht man die technischen Daten der beiden Kameras (Tab. 1), so zeigen sich als wichtigste Neuerungen die bei gleicher Sensorgröße erhöhte Pixelzahl, die Möglichkeit der Datenausgabe im JPEG-Format (zusätzlich zum bisherigen RAW-Format, das es auch weiterhin gibt) und ein in die Kamera eingebauter Blitz.



Abbildung 1: Sigma SD14 Spiegelreflexkamera (SIGMA 2007)

Kamera	Sigma SD10	Sigma SD14
Sensor	Vollfarb-CMOS; 20.7 x 13.8 mm 3 x 3.4 Mio. Pixel (eff.)	Vollfarb-CMOS; 20.7 x 13.8 mm 3 x 4.7 Mio. Pixel (eff.)
Dateiformat	RAW	RAW, JPEG
Gehäuseblitz	nein	ja
Abmessungen, Gewicht	152 x 120 x 79 mm; 858 g	144 x 107.3 x 80.5 mm; 700 g

Tabelle1: Technische Spezifikationen von Sigma SD10 und SD14 (FOTOMAGAZIN 2007)

Erste Testberichte in Fotozeitschriften weisen darauf hin, dass die Qualität der JPEG-Bilder der SD14 noch zu wünschen übrig lässt (FOTOMAGAZIN 2007). Hier ist wohl Spielraum für Verbesserungen der kamera-internen Bildverarbeitungssoftware.

Für den Photogrammeter kann die Sigma SD14 eine interessante Alternative zu üblicherweise eingesetzten Spiegelreflexkameras mit "normalem" Sensor bieten, falls trotz geringerer Pixelzahl bei der SD14 eine bessere Bildqualität entsteht, die zu einer gesteigerten Bildmessgenauigkeit führt.

### 3 Photogrammetrische Untersuchungen

Für die Testmessungen an einem Prüfkörper nach VDI/VDE 2634 standen eine Sigma SD10 und zwei SD14 mit 14 mm, 18 mm und 20 mm Weitwinkelobjektiven zur Verfügung. Mehrere Bildverbände mit je etwa 90 Bildern wurden erzeugt. Konvergente Aufnahmen in drei Höhenstufen deckten das Objekt vielfach überbestimmt ab. Auch gewälzte Aufnahmen von mehreren Standpunkten waren im Verband enthalten, um die Bestimmung der Parameter der inneren Orientierung durch Simultankalibrierung sicherzustellen. Die Bilder wurden als verlustfreie RAW-Daten registriert (2640 x 1760 Pixel; je Bild ca. 13.3 MB), aus denen per Sigma-Software TIFF-Daten und JPEG-Daten (2640 x 1760 Pixel; je Bild ca. 3.3 MB) abgeleitet wurden.

Die Bilder wurden in vier Varianten ausgeglichen, die sich durch die Modellierung des Bildraums unterscheiden. Zunächst sind im Lösungsansatz ein für alle Bilder gleicher Satz von Parametern  $c$ ,  $x_0$ ,  $y_0$  der inneren Orientierung sowie A1, A2, A3 für die radial-symmetrische Verzeichnung und B1, B2 für die tangentielle Verzeichnung enthalten. In der zweiten Variante treten Parameter C1, C2 für Affinität und Scherung hinzu. Die dritte Variante gleicht Variante 1, mit dem Unterschied, dass das Projektionszentrum im Bildraum bildvariant bestimmt wird, d.h. jedes Bild seine eigenen Werte  $c$ ,  $x_0$ ,  $y_0$  hat. Letztlich sind bei der vierten Variante wiederum die Parameter C1, C2 dabei, zusätzlich zur bildvarianten Bestimmung der Projektionszentren.

Zur Beurteilung der Genauigkeit der Objektrekonstruktion werden - nach VDI/VDE 2634 - die Längenmessabweichungen an kalibrierten Testlängen herangezogen (Positive und negative Maximalwerte aus dem Vergleich photogrammetrisch berechneter und kalibrierter Längen bilden die Spanne).

Es sollen nun an dieser Stelle nicht die Ergebnisse aller Rechenläufe tabellarisch vorgeführt werden, sondern zusammenfassend die ersten Erfahrungen mit den untersuchten Kameras genannt werden:

- Sowohl die mit der SD10 als auch die mit der SD14 aufgenommenen Bildverbände führten bei Ausgleichung mit den Bündelprogramm-Varianten 1 und 2 zu großen Längenmessabweichungen (Spanne > 300 - 600  $\mu\text{m}$ , je nach Kamerakörper-Objektiv-Kombination).
- Durch bildvariante Kalibrierung (Variante 3 und 4) wird eine Verbesserung um den Faktor 2 erreicht. Grund hierfür könnte eine nicht ausreichende Stabilität der Verbindung Kamerakörper-Objektiv sein, die sich bei den relativ langen und schweren Sigma-Objektiven fatal auswirkt.
- Die besten Ergebnisse (Spanne: 150  $\mu\text{m}$ ) ließen sich bei der Verbindung SD10 mit dem 18 mm Objektiv (mit Ausgleichungsvariante 3) und SD14 mit dem 20 mm Objektiv (mit Ausgleichungsvariante 4) erzielen.
- Letztlich sind die mit SD10 und SD14 erreichten Resultate ähnlich, d.h. die größere Pixelzahl der SD14 wird nicht in eine Genauigkeitssteigerung umgemünzt. Anders betrachtet: Es sind wohl eine ganze Reihe von genauigkeitsmindernden Einflüssen vorhanden (Instabilitäten von Sensor und Objektivverbindung, Bildverarbeitung ...), was durch die höhere Pixelzahl nicht ausgeglichen werden kann.
- Generell liefert das jeweils längerbrennweitige Objektiv die besseren Ergebnisse. Allerdings ist hier zu bemerken, dass es sich bei den 14 mm und 18 mm Objektiven um etwas ältere Modelle handelt; das 20 mm Objektiv ist relativ neu auf dem Markt.
- Aus RAW-Daten abgeleitete TIFF- und JPEG-Bilder führen zu gleich genauen Ergebnissen.

#### **4 Schlussbemerkungen**

Trotz des Foveon-Sensors mit seinen besonderen Abbildungseigenschaften lassen die Sigma-Kameras SD10 und SD14 keine so hohen Genauigkeitswerte zu, wie sie zur Zeit mit hochauflösenden "normalen" Spiegelreflexkameras wie z.B. der Nikon D2Xs erreichbar sind. Dies liegt wohl an Instabilitäten der Kameras, vielleicht auch an einer noch nicht perfekten Bilderzeugung - das nächste Firmware-Update ist angekündigt.

#### **5 Literaturverzeichnis**

- FOTOMAGAZIN, 2007: Sigma SD14 - Schichtarbeit. fotoMagazin 5/2007: 30-32  
SIGMA, 2007: Produktinformation Sigma SD10 und SD14, [www.sigma.de](http://www.sigma.de) (27.04.07)  
VDI/VDE, 2002: VDI/VDE-Richtlinie 2634. Beuth Verlag, Berlin