

Kontrast- und Farbtremessungen mit dem Michelson-Interferometer

Jochen Schneider, F. Zoellner, M. Duparré, R. Kowarschik
Institut für Angewandte Optik, Friedrich-Schiller-Universität Jena
mailto:pdm@uni-jena.de

Zwei wesentliche Qualitätsmerkmale von Digitalkameras sind die Farbauflösung und das Kontrastverhalten der Bildaufnahmesensoren. Zur Bestimmung dieser Parameter wurde eine Messmethode entwickelt, die zur Erzeugung feiner Strukturen Interferenzen des Michelson-IF nutzt.

1 Einführung

Kaum jemand macht sich bei der Benutzung eines Fotoapparats bewusst, welche technische Finesse in dem zumeist kleinen Gerät steckt. Erstaunlich ist vor allem die Entwicklung bei den Digitalkameras, deren Bildaufnahmesensoren immer leistungsstärker werden. Gerade wegen ihrer stetig wachsenden Bedeutung ist eine sichere Qualitätsprüfung der Sensoren ausgesprochen wichtig geworden.

2 Kamerasensoren

In der Praxis werden in handelsüblichen Consumer-Kameras zwei verschiedene Typen von Sensoren eingebaut, der etablierte Bayer-Sensor und der Direkt-Bild-Sensor (Foveon X3). Beide Sensoren bestehen aus dem System CCD- bzw. CMOS-Zelle und RGB-Farbfiler. Der Unterschied liegt in der Filteranordnung.

Beim Bayer-Sensor sind auf einer Filterschicht alle drei Farbkomponenten nebeneinander im Mosaik angeordnet. Der Direkt-Bild-Sensor verwendet drei Schichten übereinander, die das eingestrahelte Licht je nach Wellenlängen in unterschiedlicher Filtertiefe absorbieren. [2]

Die Qualität der Sensoren ist von verschiedenen Parametern abhängig z.B. dem Kontrast und der Farbauflösung als Funktionen der Strukturfeinheit.

3 Kontrast und Farbauflösung

Der Kontrast K wird als Maß für das Hell-Dunkel-Verhalten hier als

$$K = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

definiert.

Für die Farbauflösung wird der aufgenommene Abstand von örtlich und nach RGB-Farben separierten Objekten gemessen (s. Abb. 3). Ein Maß für die Auflösung kann dann wie folgt festgelegt werden

$$\delta = \frac{|x_R - x_B|}{x_G}$$

Aufgrund der spezifischen Filteranordnungen und der endlichen Pixelgröße verringern sich der Kontrast und die Farbauflösung (d.h. feinste Farbumterschiede werden vom Sensor nicht mehr wahrgenommen) mit zunehmender Strukturfeinheit (s. Abb. 2, rechts).

4 Messmethode

Um feine Strukturen scharf und farbig zu erzeugen, wird in der entwickelten Methode das Michelson-Interferometer eingesetzt (s. Abb 1).

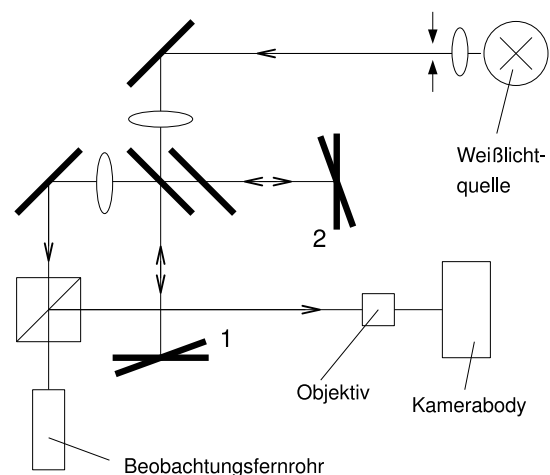


Abbildung 1 Aufbau zur Messung von Kontrast und Farbauflösung von Kamerasensoren

Unter verkippten Spiegeln 1 und 2 entstehen Fizeau-Streifen. Diese sind bei einer Weißlichtquelle dispersiv aufgespalten. (s. Abb. 2, links) Die Interferenzfigur wird über ein Referenzobjektiv auf den Sensor der Kamera projiziert.

Durch die Dispersionserscheinung hat man mit dem Interferogramm nun eine Objektstruktur, in der Farben örtlich separiert sind und deren Feinheit durch Verkipfung der Spiegel variiert werden kann.

Um das Verhalten von Farbauflösung und Kontrast als Funktion der Strukturfeinheit zu erhalten wird eine Bildserie von etwa 30 verschiedenen Spiegelstellungen aufgenommen.

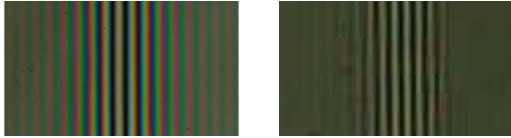


Abbildung 2 Aufnahmen der Interferenzstreifen für unterschiedliche Strukturfeinheit, links 121 LP/H, rechts 756 LP/H

5 Auswertung

Der Kontrast wird aus den in Graustufenbilder umgewandelten Aufnahmen bestimmt. Dazu wird jede Bildzeile nach der angegebenen Formel ausgewertet und anschließend über alle Zeilen gemittelt. Bei der Farbauflösung wird die Aufnahme in die RGB-Teilbilder zerlegt. Für die Zeilenquerschnitte ergibt sich ein Profil wie in Abb. 3 zu sehen ist.

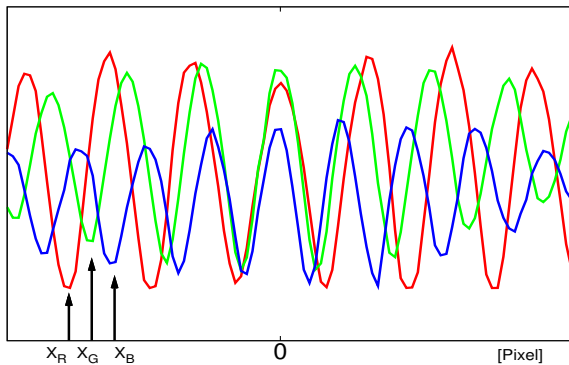


Abbildung 3 Zeilenquerschnitt einer Interferenzaufnahme, nach RGB-Farben getrennt

Jede der drei Grundfarben besitzt aufgrund der Dispersion eine etwas andere Streifen-Interferenz-Wellenlänge.

Wendet man auf die Querschnittprofile die Fouriertransformation an, so erhält man die Frequenz f der Interferenzstreifen, die wiederum in direkter Verbindung zu deren Wellenlänge und somit zu den Orten x_R, x_G, x_B steht. Der δ -Wert für die Farbauflösung lässt sich also folgendermaßen berechnen:

$$\delta = \frac{|1/f_B - 1/f_R|}{1/f_G}$$

Die einzelnen Auswerteschritte werden automatisch durch ein `Matlab`-Programm ausgeführt.

Die schließlich zusammengeführten Werte verschiedener Spiegelstellungen für Kontrast und Farbauflösung sind beispielhaft in Abb. 4 und 5 dargestellt. Die Abszisse ist in Linienpaare pro Bildhöhe [LP/H] skaliert.

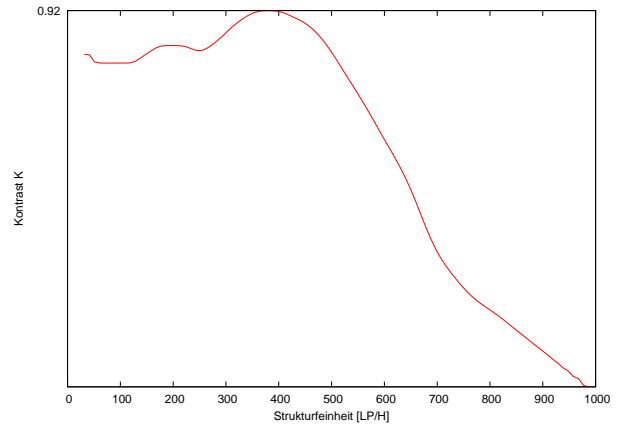


Abbildung 4 Kontrastverhalten K in Abhängigkeit von der Strukturfeinheit LP/H

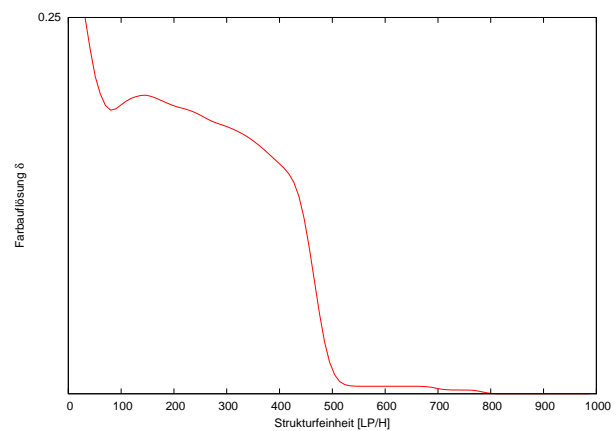


Abbildung 5 Farbauflösung δ in Abhängigkeit von der Strukturfeinheit LP/H

Deutlich zu sehen ist die Kontrastabnahme und der Rückgang der Farbauflösung für größer werdende LP/H. Die Farbauflösung zeigt einen deutlichen Abfall bei etwa 480 LP/H. Die Kontrastfunktion weist ein Maximum auf, das durch eine nachträgliche Kontrastverbesserung in der Kamera hervorgerufen wird.

Für beide Parameter lässt sich schließlich ein theoretischer Grenzwert für 0 LP/H angeben. Der Kontrast ist dort $K_0 = 1$. Für die Farbauflösung ist die Kenntnis der Schwerpunktwellenlängen λ_s des RGB-Filters erforderlich. Es ergibt sich somit $\delta_0 = |\lambda_{sR} - \lambda_{sB}| / \lambda_{sG}$

6 Ausblick

Mit der vorgestellten Methode wurden bislang ausschließlich digitale SLRs untersucht. In Zukunft soll der Versuchsaufbau auch für Bridgekameras angepasst werden.

Literatur

- [1] Max Born: *Optik*; Springer-Verlag 1985
- [2] <http://www.foveon.com>, Abschnitt „X3 Technology“