

Grundlagen zur Fotometrie mit JPG-Bildern - Teil 1

Untersuchung der kamerainternen Bildbearbeitung

Carsten Moos

In dieser Untersuchung geht es darum, ein JPG-Bild auf die Eignung zur Fotometrie zu untersuchen. Für die Fotometrie müssen die Tonwerte proportional zu den Sternhelligkeiten sein und deshalb dürfen die linearen Sensordaten nicht durch eine Gammafunktion in einen anderen Maßstab transformiert werden. Dazu wurde ein Testbild von einer Graukarte neben einer Kalibriertafel von Dicom mit einer Canon EOS 350D DSLR im Sonnenlicht aufgenommen und von der Kamera je als Rohbilddatei (Format cr2) und als Bilddatei (Format JPG) abgespeichert. Der Vergleich der Tonwerte in diesen beiden Formaten liefert Erkenntnisse über die kamerainterne Bildbearbeitung. Damit wird im zweiten Teil die Verwendung von JPG-Bildern zur Fotometrie bewertet und der Frage nachgegangen, ob durch eine Prozessumkehr das JPG-Bild gegebenenfalls linearisiert und für fotometrische Messungen verwendet werden kann.

Vorgehen

Geeignete Felder der in Abb. 1 gezeigten Kalibriertafel werden sowohl im CR2 als auch im JPG-Format softwaremäßig ausgemessen. Zusätzlich wurde noch auf die gleiche Art je ein Resultat aus dem Zoner Photo Studio 10, dem Canon Zoom Browser und dem RawShooter von Pixmantec vermessen.

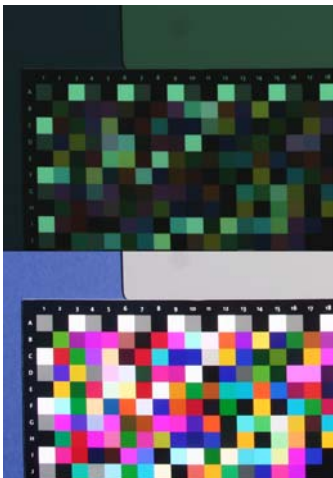


Abb. 1 Testbild: lineares Rohbild (oben) und JPG.

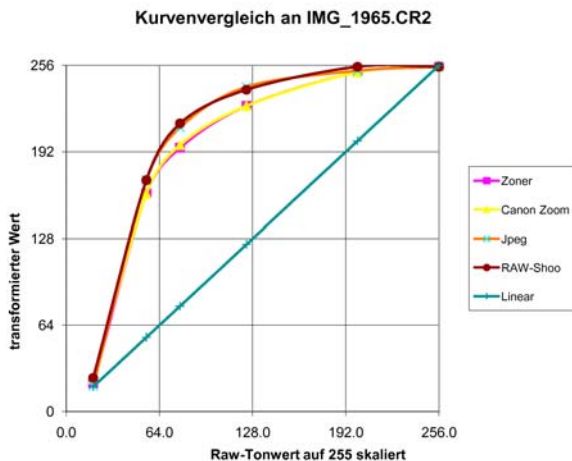


Abb. 2 Vergleich der Messwerte bezogen auf die linearen Tonwerte im Rohbild, Gammakurven von JPG, Canon Zoom Browser, Zoner Photostudio 10 und Rawshooter.

Die wichtigsten Aufnahmeparameter zeigt die Tabelle 1:

Belichtungszeit	1/250 s
Blende	10
Brennweite	18.00 mm
ISO	100
Lichtquelle	Tageslicht
Modell	Canon EOS 350D DIGITAL
Farbpräsentation	YCbCR
Farbraum	sRGB

Tabelle 1 Exif-Daten zum Graukartenbild

Messdaten

Eine erste Datenübersicht zeigt die Tabelle 2:

Farbe	Rohwert	auf 255 normiert	Zoner	ZoomB	RawShoot	JPG
Schwarz	296	18.5	21	24	25	19
grau1_(16)	880	55.0	161	161	171	171
mittelgrau	1250	78.1	195	197	213	210
grau3_(15)	1980	123.8	226	226	238	240
weiß	3200	200.0	184	251	251	252

Tabelle 2 Messdaten in rot

Einzelne Felder der Dicom-Tafel werden erst mit IRIS [1] im Rohbild (das Bild wurde nur in ein Farbbild ohne weitere Korrekturen umgewandelt) und dann jeweils dasselbe Feld im JPG ausgemessen. Der Vergleich berücksichtigt nur den roten Kanal, weil IRIS hier einer Beschränkung unterliegt.

Eine zweite Datenübersicht in Tabelle 3 enthält die Messwerte in allen drei Farben (RGB). Als Bildbasis dient dasselbe Bild wie oben.

Feld	Rohdaten			JPG-Daten wie Kamera		
	x	y	z	R	G	B
J18	270	300	290	18	18	21
C7	604	373	309	222	28	54
F8	284	389	581	50	47	196
H20	284	395	489	29	52	156
F12	304	586	355	2	149	43
G18	314	1044	1091	23	203	236
Grau	708	1240	915	209	207	208
H18	1091	1275	387	255	206	41
H15	700	1626	910	184	243	189
J20	1400	2115	950	255	242	170

Tabelle 3 Messdaten in RGB

Vergleich der Messwerte

Bei den JPG-Bildern werden die vom Sensor gelieferten Tonwerte nach einer sogenannten Gammakurve (oder auch Gradationskurve genannt) transformiert. Um diese Gammakurve näher zu bestimmen, werden die Messwerte nun grafisch dargestellt, indem der gemessene lineare Tonwert im Rohbild normiert auf 255 auf der x-Achse und der zugehörige Tonwert im JPG auf der y-Achse aufgetragen werden. Erkennbar wird, dass hier jeder Hersteller eine etwas andere Transformation verwendet. Für die Bestimmung der Gammakurve wird im Folgenden nur noch das kamerainterne JPG zugrunde gelegt.

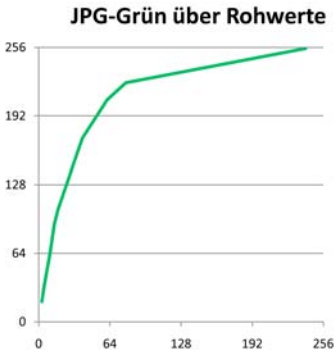


Abb. 3 Canon Gammakurve des grünen Kanals (0 bis 4095, auf 255 normiert)

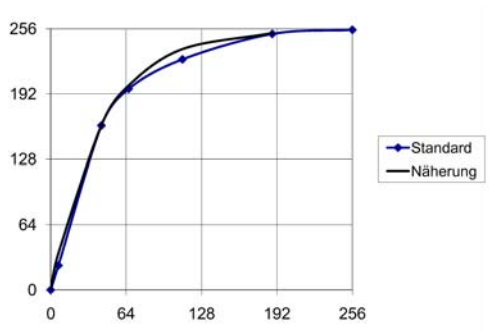


Abb.4 Kurvenverlauf der Exponentialfunktion nach der Gleichung (1), Standard = Canonkurve, Näherung = Exponentialfunktion nach Gleichung (1)

Was macht die Kamera intern?

Auswertung: Gammakurve bei Betrachtung des vollen Histogramms (0 bis 4095)

Der Verlauf der in Abb. 3 gezeigten Gammakurve kann recht gut mit folgender Gleichung mit einer Exponentialfunktion nachgebildet werden:

$$y = a \cdot \left(1 - e^{-\frac{x}{b}} \right) \quad (1)$$

mit $a=255$, $b=43$

Diese Transformation kann einfach programmiert werden. Sie wurde in den picgrad-Tools [2] für IRIS implementiert und experimentell bestätigt. Problematisch ist der fast lineare, steile Anstieg der Transformationskurve, der sich auch nicht durch eine Potenz- oder Logarithmusfunktion darstellen lässt. Das Resultat dieser Transformation ist sehr anfällig für zu starkes Rauschen in den Schatten, weil der Schwarzpunkt immer bei 0 liegt, also dem niedrigsten Tonwert (=Schwarzpunkt). Eine ergänzende

Offset-Korrektur lieferte brauchbare Tiefen. Insgesamt ist das daraus entstehende Bild dem JPG sehr ähnlich, allerdings werden unterbelichtete Bilder, wie sie in der Astrofotografie vorkommen, zu dunkel und weisen flauere Farben auf.

Farben

Bei dieser Untersuchung treten einige Fragen zur Farbbalance des Sensors auf. Eine Messung mit IRIS ergibt : (je auf eine Fläche der Graukarte bezogen)

Das Kommando

white: 1.7 : 1: 1.34

ermittelt aus einer markierten grauen Fläche die korrekte Farbbalance für ein neutrales Grau.

Macht man vorher noch eine Offset-Korrektur auf ein schwarzes Feld mit dem Kommando

black : -17, -19 -19

dies subtrahiert den jeweiligen Hintergrund pro Farbkanal, und dann dieses Kommando erneut ergibt sich eine RGB-Farbbalance für die abfotografierte Grautafel von: white: 2.1 : 1: 1.5.

Vergleichsbilder zwischen Kamera-JPG und entsprechend farbgewichtetem Bild nach manueller Korrektur mit dem o.g. Farbverhältnis, liefern zwar ein neutrales Grau, jedoch sehr abweichende Farben bei der Dicam-Tafel. Eine Referenz zu diesem Thema ist das Farbgewicht der Kamera-Software, welches in den Metadaten der CR2 Datei abgelegt ist und mit dem Programm ddraw [3] ausgelesen werden kann. Die RGB-Balance im CR2 lautet:

Daylight multipliers: 2.467797 0.917149 1.164814

Camera multipliers: 2248.000000 1016.000000 1532.000000 1022.000000

Normiert man diese auf Grün = 1.0 ergibt sich:

Daylight multipliers: 2.68 1.0 1.26

Camera multipliers: 2.21 1.00 1.51 1.01 für RGBG

Eine weitere Recherche ergibt, dass in diesem Forum [4] eine fundierte Aussage gemacht wird, darüber, dass die Farbkorrektur auf neutrales Grau bereits vor der Farb-Interpolation (Demosaicing, Debayer) durchzuführen ist. Weitere Infos findet man unter o.g. Adresse. Dieser Einfluss bleibt hier unberücksichtigt.

Auswertung: Gammakurve bei Verwendung von Schwarz- und Weißpunkt im Histogramm

Die oben gewonnene Näherungs-Kurve (1) und die Lösung als picgrad ist auffällig in Bezug auf die Kurvenform. Die o.g. Farbabweichung und Rauschproblematik legen ebenfalls nahe, dass die interne Verarbeitung der Kamera komplexer ist.

Bisher wurde das Histogramm des linearen Bildes lediglich für den Schwarzpunkt (Offset-Korrektur) verwendet. Diese greift aber nicht weit genug. Eine intensive Recherche im Internet bringt hervor, dass bereits 1990 eine Standard-Gammakurve der International Telecommunication Union (ITU) für HD-TV (hoch auflösendes Fernsehen) und digitale Kamerasensoren festgelegt worden ist: BT.709 [5]. Dies führt wiederum zu ddraw, welches in der 9.x Version ebenfalls eine Gamma-Korrektur ermöglicht: die o.g. BT.709 aber auch die sRGB – Kurve. Weiterhin findet man bei der

näheren Betrachtung von Farbräumen (xyz, L*a*b) [6] , dass die Transformation in andere Farbräume zwei separate Teiltransformationen machen: eine lineare für die Tiefen und eine exponentielle für die Mitten und Lichter. Nun scheint es also verständlich, weshalb die ersten Versuche mit einer reinen Gamma-Kurve keine brauchbaren Resultate liefern.

Nehmen wir nun an, dass Canon das Rad nicht neu erfindet und sich an diesen Standard anlehnt (was ja mit ddraw auch unterstrichen wird), ergeben sich nun ganz andere Wege:

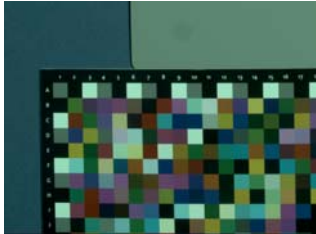


Abb. 5 Ergebnis der Transformation mit der sRGB-Gammakurve bei einem Weißpunkt von 4095

Wendet man die sRGB-Gammakurve auf das lineare Rohbild an, ist das Ergebnis viel dunkler und flauer als das kamerainterne JPG. Der Grund liegt darin, dass die Kamera das Histogramm auswertet. Der obere Wert, der Weißpunkt liegt nicht wie bisher angenommen, beim höchsten Tonwert (bei 12 Bit, 4095) (= saturation Point), sondern es wird ein Weißpunkt definiert. In ddraw wird der 99% Weißpunkt eingesetzt. Das ist der Wert, bei dem 99% aller Pixel dunkler sind.

Setzt man also nun im Rohbild den Schwarzpunkt auf 16 (= technischer Kamera-Offset auf 255 normiert), die RGB-Balance wie im CR2 hinterlegt, den Weißpunkt auf 99% (hier bei Tonwert 156 im 8 Bit Maßstab) und wendet nun die sRGB Gamma-Kurve auf das Bild an, so erhält man das gleiche Ergebnis wie mit ddraw.

Dies ist eine Standardlösung, die sogar per Umkehr-Funktion wieder lineare Tonwerte liefert. Das kamerainterne Bild zeigt aber noch deutlich hellere Werte an (grau 205 statt 150). Es ist also davon auszugehen, dass die Kamera einen steileren Tiefenbereich und höheren Gammawert hat, als sRGB definiert oder der Weißpunkt ist leicht abweichend (98%). Experimente mit ddraw liefern Ergebnisse die noch näher am Kamera-Bild sind:

- S 1900 setzt den Weißpunkt auf 1900 fest
- b 1.9 teilt den Maxwert durch 1.9 [3]

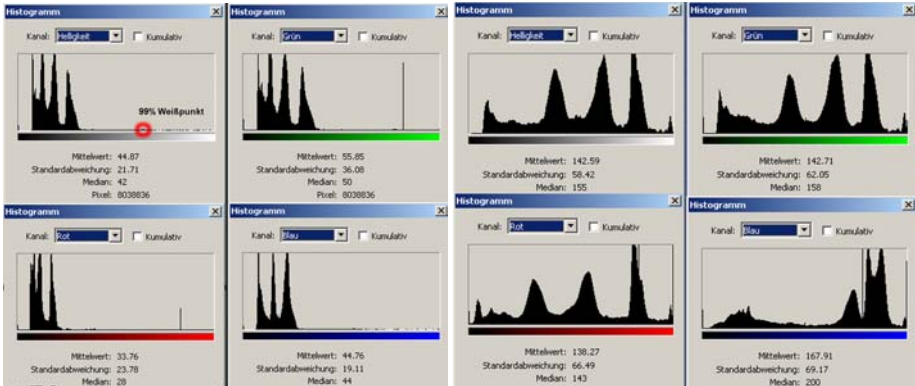


Abb. 6 Histogramm eines Rohbilds

Abb. 7 Histogramm des Kamera-JPG

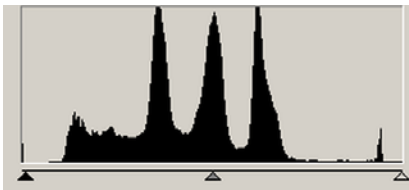


Abb. 8 Histogramm des transformierten Rohbildes nach sRGB bei 99% Weißpunkt, genauso liefert es auch das Programm dcrw.

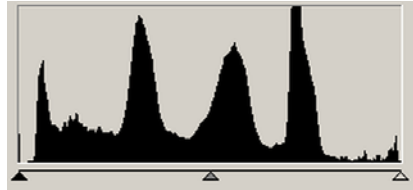


Abb. 9 Histogramm bei leicht korrigierter sRGB-Gammakurve ist dem Kamera-JPG ähnlicher als bei Verwendung der sRGB-Gammakurve.

Reflektion

Eine manuelle Bearbeitung der Rohbilder mit der Standard-Gammakurve liefert der folgende Weg:

- 1.) Rohbild debayern
- 2.) Farbbalance durchführen
- 3.) Schwarzpunkt setzen
- 4.) Weißpunkt setzen
- 5.) Gammakorrektur durchführen

Die Umkehrung von Schritt 5 scheint möglich durch Kompensation der Gammakorrektur in einem JPG. Am besten geht dies, wenn das JPG eine bekannte, Standard-Gammakurve beinhaltet (bekannter Farbraum). Für das Beispiel Canon EOS 350D bleibt eine besonders steile Kurve zu ermitteln und diese umzukehren. Erste Ansätze zeigt die folgende Umkehrung der sRGB-Kurve:



Abb. 10 Umkehrfunktion für Kamera-JPG zur Kompensation der Gammakurve

Aus dieser Untersuchung geht prinzipiell hervor, wie eine DSLR und in vergleichbarer Weise eine digitale Kompaktkamera intern arbeiten. Es kann eine Kompensation der nichtlinearen Tonwerte in einem JPG zur Linearisierung für die Fotometrie abgeleitet werden. Im zweiten Teil geht es um die Fotometrie eines nichtlinearen und eines mit den hier gewonnen Ergebnissen linearisierten JPG Bildes. Die genaue Arbeitsweise der Kameraverarbeitung bleibt offen. Das Ergebnis dieser internen Prozesse ist in fotografischer Sicht jedenfalls sehr hochwertig, für die Fotometrie jedoch problematisch.

Literaturquellen, Softwaredownloads

- [1] IRIS , C. Buil, astrosurf.com/~buil
- [2] picgrad-Tools <http://www.cmoos.de/wordpress/?p=25>
- [3] http://www.cybercom.net/~dcoffin/dcraw/dcraw_de.1.html#lBAI: dcraw man page
- <http://www.libraw.org/blog> : libraw
- [4] <http://www.luminous-landscape.com/forum/lofiversion/index.php/t38898.html>
- <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/vipblks/ref/demosaic.html> : demosaic
- [5] <http://www.itu.int/rec/R-REC-BT.709/en>
- [6] http://www.cybercom.net/~dcoffin/dcraw/dcraw_de.1.html#lBAI: dcraw man page
- <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/vipblks/ref/gammacorrection.html> : gammacorrection
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Lab-Farbraum> : Lab-Farbraum

Carsten Moos, Netphen, cmoos@gmx.de