

# Ethik in der Astrofotografie

Jochem Berlemann

## Einleitung

In den ersten Jahren der Fotografie (1825 - 1890) galt ein Foto als ein Dokument, ein unbestechliches Abbild der Wirklichkeit. Auch bei den Astronomen wurde die Fotografie um 1880 als eine große Hoffnung gesehen "... visuelle Dokumente herzustellen, die es ihnen ermöglichen würden, den sichtbaren Himmel mit mathematischer Präzision zu beschreiben ..." [1]. Der Triumphzug der Fotografie in die Observatorien war eine Technik, so schien es, ... gepaart mit der Entwicklung mechanischer Druckmethoden, ... die eine von Ansichten und Intervention unabhängige Vervielfältigung versprach." Leider wurde daraus nichts: "Fotografien sollten zwar realistische und von menschlicher Hand unberührte Bilder sein, technische Schwierigkeiten verhinderten jedoch, dass sie vollständig von Maschinen wiedergegeben werden konnten" [1]. Briefwechsel aus den Archiven des Lick-Observatoriums mit diversen Druckereien in New York, Chicago und Kalifornien enthüllen, dass "Bildnisse geboren wurden und in Säurebädern und unter dem Werkzeug des Retuschierers starben". Graveure versuchten ihr Bestes, "schöne" Bilder zu machen, auf Kosten der Realität. 1908 versuchten z.B. Graveure der Photogravur & Color Company in einer Tafel des Orion-Nebels die Sterne hervorzuheben. Der Direktor des Observatoriums - W. W. Campbell - "war rasend vor Wut". So hat auch damals schon die Wissenschaftlichkeit gegen die Ästhetik gekämpft. Der Einzug der digitalen Fotografie in die Astronomie war sicher einer der großen Meilensteine, der Manipulation wurde hierdurch jedoch Tür und Tor geöffnet. In diesem Beitrag soll diskutiert werden, was heute der Maßstab in der digitalen Astrofotografie für Naturgetreue und Wissenschaftlichkeit sein sollte, was man bei der Verwendung der heute häufig verwendeten DSLR-Kameras vermeiden sollte, welche Schwierigkeiten sich speziell beim Einsatz dieser Kameras auftun und wie man sie umgehen kann.

## Richtlinien

Es sollten nach Meinung des Verfassers alle Verfahren und Techniken erlaubt sein, die eine naturgetreue Abbildung ermöglichen. Naturgetreu heißt, wie das menschliche Auge es sehen würde, wenn es empfindlicher wäre. Dieses gilt für

- die Orientierung (Zenit oben, nicht gespiegelt)
- scheinbare Helligkeiten der Sterne untereinander korrekt
- Farbton der Sterne gemäß Strahlungsklasse (Farbe eines Temperaturstrahlers)

Da schwächere Objekte, wie Nebel und Galaxien sonst nicht sichtbar wären und die Dynamik der Technik begrenzt ist, dürfen solche Objekte gegenüber den Sternen während der Postproduktion in der Helligkeit angehoben werden.

Erlaubt sind

- Beseitigung von Gerätefehlern, wie Vignettierung und Chiprauschen durch Flats und Darks
- Beseitigung von Himmelsrauschen durch Mehrfachbelichtungen
- Beseitigung von Lichtverschmutzung durch lineare Operationen

Nicht erlaubt sind

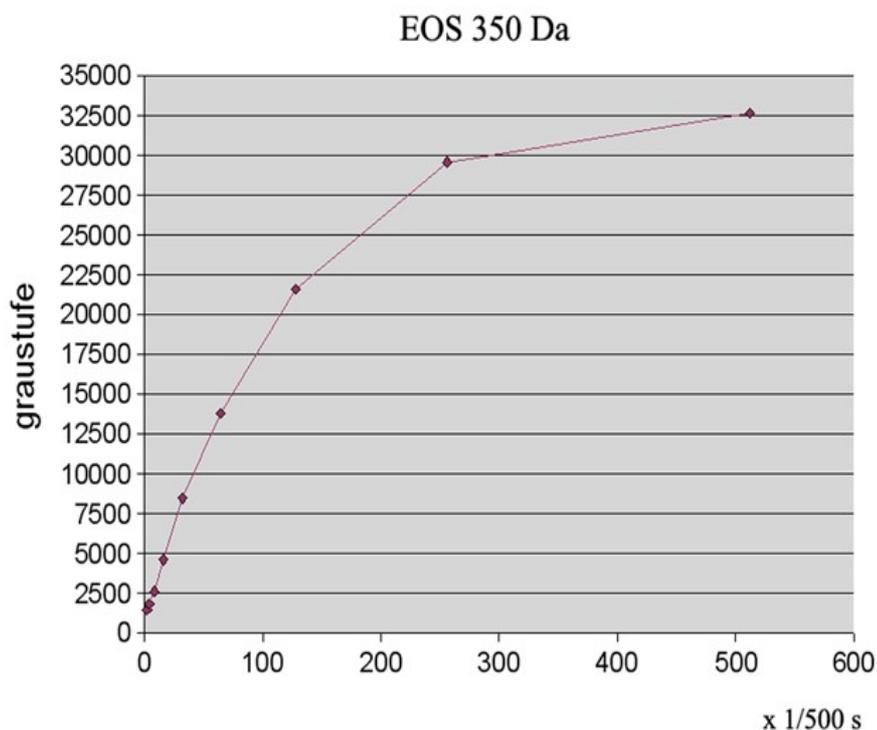
- Änderung der scheinbaren Helligkeiten der Sterne untereinander
- Änderung des Farbtons der Sterne gegenüber der natürlichen Wahrnehmung
- nichtlineare Operationen und übermäßige digitale Nachbearbeitung, die Artefakte hervorrufen (Artefakt: Gegenstand, der im Gegensatz zur Naturalie seine Form durch menschliche Einwirkung erhielt).

## Praktische Probleme bei DSLR-Kameras

Das Hauptproblem in der Astrofotografie ist die Nichtlinearität der häufig verwendeten DSLR-Kameras wie z.B. der Canon EOS 350 D, der begrenzte Dynamikbereich, das Fehlen von Blooming als Warnzeichen von Übersteuerung bei solchen Kameras sowie die verlockenden Möglichkeiten in der digitalen Nachbearbeitung, "die Regler noch etwas aufzudrehen", damit das Bild schöner wird. Bei der Verwendung des empfehlenswerten RAW-Formats ergibt sich das Problem der fehlenden Referenz im Farbton - speziell beim Austausch des Originalfilters, da die Bilder der Bayer-Matrix ohne automatischen Weißabgleich gespeichert werden.

## Fehlende Dynamik

Abb. 1 zeigt die Helligkeits-Kennlinie einer EOS 350 Da im RAW-Modus mit einer Auflösung von 12 bit pro Kanal. Gewarnt sei hier vor einer Verwendung des JPG-Formats, hier verschenkt man durch die geringe Auflösung von 8 Bit pro Kanal viel Dynamik. Tabelle 1 zeigt den großen Vorteil, bei DSLR-Kameras das RAW-Format zu nutzen. Außer dem erheblich umfangreicheren Dynamikbereich entfallen die JPG-Artefakte und der automatische, jedoch "fremdbestimmte" Weißabgleich.



**Abb. 1 :**

**Kennlinie der EOS350 Da mit einem Flatfield-Aufbau. Auf der Abszisse sind Vielfache von 1/500 s Belichtungszeit aufgetragen, auf der Ordinate die Photoshop -Werte der Infopalette bei 16 bit Auflösung (die Photoshop-Werte der Infopalette sind zur Ermittlung der echten ADU-Werte der Kamera bei Canon-RAW's durch 8 zu teilen, da PS intern im 16-bit-Modus mit 15 bit rechnet, dh. angezeigter Maximalwert = 32768 entspricht hier 4096 ADU in der Kamera); ASA:800; Offset im Nullpunkt durch fehlenden Dark-Abzug.**

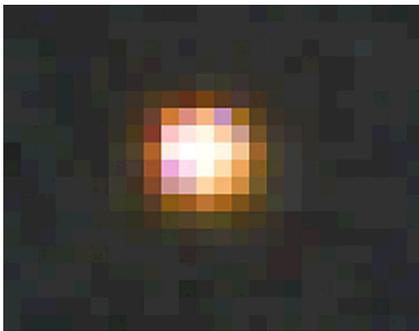
**Im Arbeitsbereich kann diese Kennlinie durch eine entsprechende inverse Kennlinie in Photoshop linearisiert werden (Abb. 2 im Anhang).**

Wenn während der Aufnahme Sättigungseffekte auftreten, kann man diese nicht mehr korrigieren. Abb. 3 sieht erst einmal nicht schlecht aus. Bei einer Vergrößerung sieht man jedoch in Abb. 4a, dass die hellen Sterne bereits durch die lange Belichtungszeit in der Sättigung sind, da für die korrekte Belichtung des Nebels die Belichtungszeit zu hoch angesetzt war:

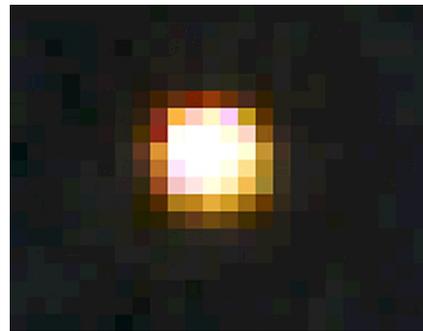
- der Helligkeitswert ist am Grenzwert (255/255/255)
- der Farbton ist im Kern weiß, die Farbe ist nur noch als Hof zu sehen.



**Abb. 3:**  
NGC 1499, aufgenommen mit Takahashi FSQ 106 und Canon EOS350DA;  
10 x 240 s bei 800 ASA; Dark und Flat-Abzug sowie Sigma-Combined in REGIM;  
Nachbearbeitung in PS.



**Abb. 4a:** leicht gesättigte Aufnahme



**Abb. 4b:** nach der Bearbeitung in PS



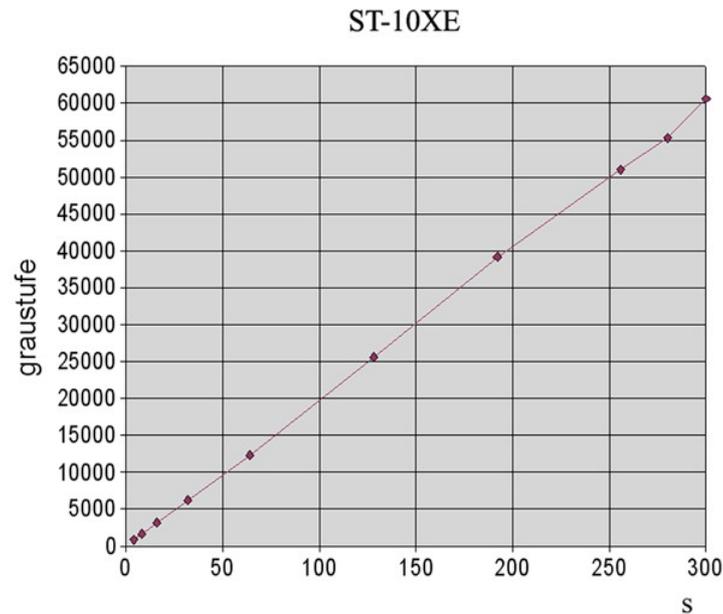
**Abb. 4c:** 120s Belichtungszeit



**Abb. 4d:** 240s Belichtungszeit

Fast alle Aufnahmen werden dann in der Nachbearbeitung durch zu intensive Anwendung von "Curves" und "Levels" in Photoshop weiter verdorben (Abb. 4b). Hinzu kommt, dass durch längere Belichtungszeiten der Durchmesser der hellen Sterne vergrößert wird, was eine nachträgliche Korrektur erschwert. Abb. 4c zeigt eine Aufnahme mit 120 s, Abb. 4d mit 240 s Belichtungszeit. Deutlich erkennt man im rechten Bild die vergrößerten Sterndurchmesser durch die Sättigung des Chips, aber auch das geringere Hintergrundrauschen.

Bei NABG-CCD-Kameras (NABG = No-Antiblooming) kann das bei der Aufnahme nicht passieren. Die Kennlinien dieser Kameras sind linear (Abb. 5), eine Übersteuerung zeigt sich sofort als Blooming (Abb. 6).



**Abb. 5:**  
**Kennlinie der ST10XE, aufgenommen mit Flatfield-Aufbau und H-Alpha-Filter.**  
**Ab ca. 52000 ADU setzt Blooming ein, da die "Full-Well-Capacity" von 77000 e-**  
**(und 1,5 e- pro ADU-Wert) den linearen Bereich begrenzt, nicht der ADU.**



**Abb. 6:**  
**Gamma-Cas mit SAC IC 63; Einzelaufnahme mit 360 s und**  
**Astronomik H-Alpha-Filter, o. Dark.**

Nach Veröffentlichung in [2] haben auch ABG-CCD-Kameras ein lineares Verhalten im Arbeitsbereich bis ca. 80 - 90% der Maximalamplitude, das Blooming als Warnzeichen fehlt jedoch hier auch. Bei NABG-Kameras kann man bis zum Blooming der hellsten Sterne bedenkenlos belichten. Schwierigkeiten ergeben sich dabei bei der Verwendung von kurzen Brennweiten unter 800 mm, da hier häufig ein zu heller Stern im Blickfeld ist, der Blooming-Effekte zeigt. Hilfreich sind lange Brennweiten, die Vermeidung von zu hellen Sternen durch einen geeigneten Ausschnitt sowie die Verwendung von Schmalbandfiltern (z.B. H-Alpha).

Bei DSLR-Kameras gibt es 3 Maßnahmen, die Sättigungseffekte zu verringern:

1. Statt weniger "tiefer" Aufnahmen sollte man viele Aufnahmen mit kürzeren Belichtungszeiten machen und stacken (d.h. mitteln).
2. Die unerwünschten Effekte der Nachbearbeitung kann man umgehen, indem man die Sterne im Bild vor der Bearbeitung auswählt, dann die Auswahl umkehrt und die Sterne somit von der weiteren Bearbeitung ausspart.
3. Zusätzlich kann man nach der Bearbeitung des Bildes nach Punkt 2 die ausgebrannten Sterne durch die Sterne einer zusätzlichen Aufnahme ersetzen, bei der alle (oder fast alle) Sterne des Sichtfeldes im linearen Bereich des Chips sind - das sind natürlich weniger als bei Übersteuerung.

So ein Bild sollte man Komposit nennen und nicht mehr Foto. Hilfreich sind hierbei die Photoshop-Werkzeuge "Modify - Selection", "Feather", "Edit - Fade" und "Filter - Others - Minimum". Die Anwendung dieser Werkzeuge in der Nachbearbeitung findet sich in [3].

Abb. 7 zeigt ein Beispiel, in dem die Sterne aus Abb. 4d durch die aus Abb. 4c ersetzt wurden.



**Abb. 7:**  
**Komposit aus Bild 4c und 4d**

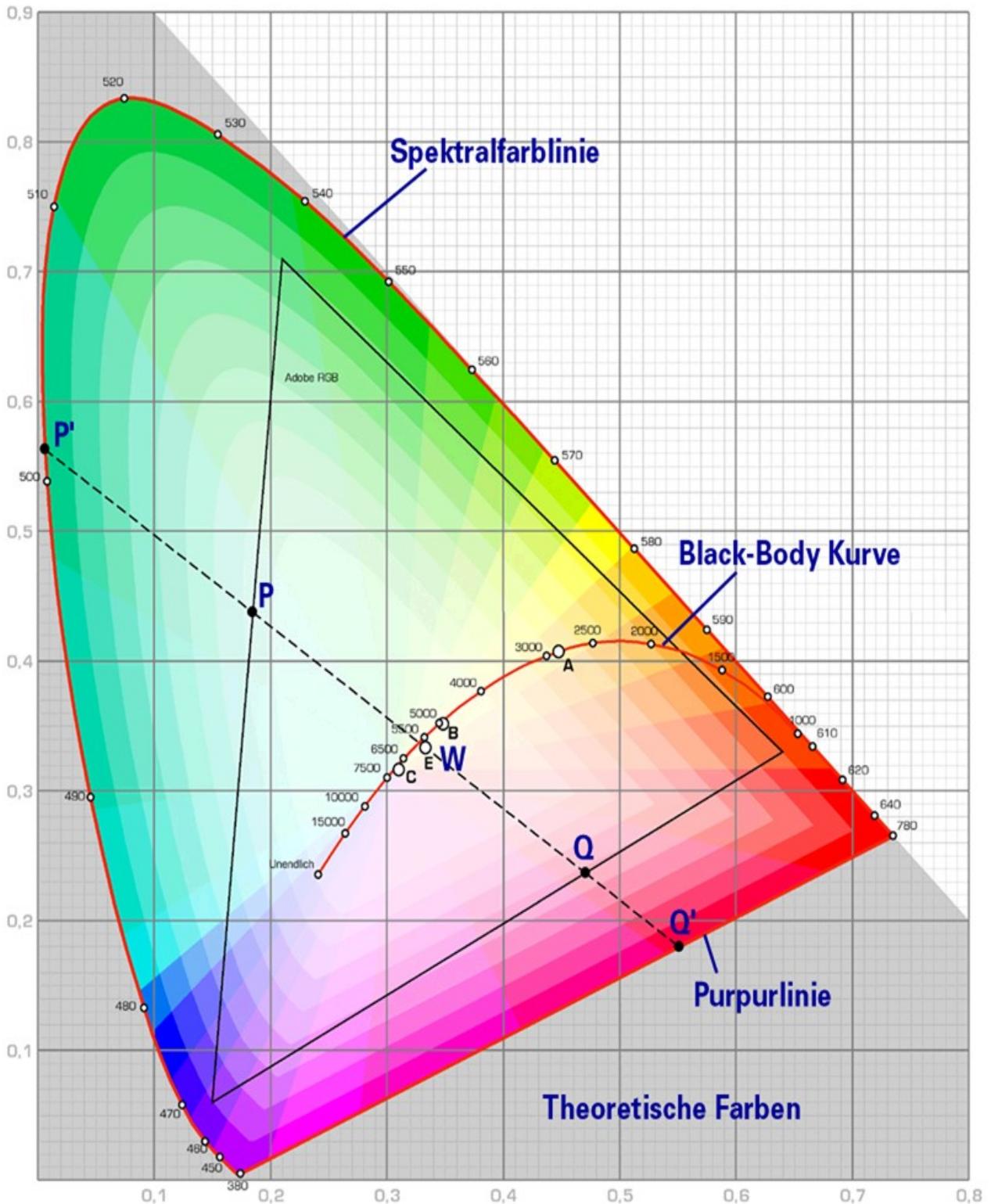
Wenn helle Sterne im Aufnahmebereich sind, muss man in Kauf nehmen, dass schwächere Sterne im Komposit nicht mehr sichtbar sind. Die begrenzte Dynamik der Technik lässt leider kein Ergebnis zu, das alle vorhandenen Helligkeiten linear darstellt. Die Verwendung von HDR-Aufnahmen ist als unnatürlich abzulehnen (wie auch in der Tageslichtfotografie). Das übliche "Stretchen" durch "Curves" und "Levels" in Photoshop darf man bei den Stern-Layern natürlich nicht einsetzen.

### **Korrektur Farbton**

Verwendet man die auf die spektralen Empfindlichkeiten der Chips abgestimmten Faktoren für R, G, und B bei S/W-CCD-Kameras mit Filterrad, ergibt sich der Farbton aller Objekte automatisch korrekt. Bei RAWs von DSLR-Kameras besteht das Problem, zunächst keinen zuverlässigen Anhaltspunkt für den korrekten Farbton zu haben (speziell, wenn das Originalfilter ersetzt wurde). Hier kann eine physikalische Betrachtung helfen:

Wenn man einen Stern identifiziert hat und seine Strahlungsklasse kennt, kann man sich aus der

spektralen Verteilung seines Lichtes in guter Näherung das Verhältnis von R zu G zu B berechnen. Natürlich darf der Stern nicht durch zu lange Belichtungszeiten oder übermäßige Nachbearbeitung in der Sättigung sein, da dort alle Farben Richtung Weiß ausbrennen. Hierzu ermittelt man im CIE-Farbraum (Abb. 8) die x/y-Koordinaten des Temperaturstrahlers aus der "Black-Body-Kurve".



**Abb. 8:**  
**CIE-Normfarbtafel; Abszisse: Wert x, Ordinate: Wert y. [4]**

Die x/y-Werte müssen dann in zwei Schritten mithilfe der Matrizenrechnung in RGB-Werte umgerechnet werden [5]. Wer sich nicht in die Theorie und Mathematik der Farblehre einarbeiten

möchte, benutzt den einfach zu bedienenden "Color-Calculator" [6]. Tabelle 2 zeigt die RGB-Werte verschiedener Temperaturstrahler. Ein anderer Y-Wert ändert nur die Helligkeitswerte und nicht das Verhältnis von R zu G zu B. Somit muss in einer Farbkorrektur in Photoshop anhand eines Sterns mit einer bekannten Farbtemperatur nur das Verhältnis von R zu G zu B eingehalten werden. Man erkennt, dass nur Sterne mit einer Farbtemperatur von ca. 6500 K annähernd weiß sind (143/138/142). Alle anderen haben einen mehr oder weniger großen Farbstich. Sterne der Klassen G, K und M sind gelblich bis rötlich, Sterne der Klassen O, B, A und F blau bis weißlich/bläulich. Verwiesen sei zur Farbe der Sterne auch auf den Beitrag von P. Riepe und H. Tomsik [7].

### Zusammenfassung

Die mit digitalen Spiegelreflex-Kameras erstellten Fotos sind in der Regel für wissenschaftliche Zwecke unbrauchbar. Der Grund ist die Nichtlinearität sowie die Sättigung der Chip-Kennlinie sowie die fehlende Farborientierung bei Ersatz der Originalfilters und Verwendung des empfehlenswerten RAW-Formats. Dieser Beitrag zeigt einige Möglichkeiten auf, die Astrofotos im Sinne von Naturgetreue zu verbessern. Wer den Aufwand nicht scheut, wird sicher bald zu anerkannteren Ergebnissen kommen. Was man bei der Aufnahme und Nachbearbeitung auch macht, eine korrekte Beschreibung der Aufnahmedaten und der Verfahren der Nachbearbeitung ist für die Einschätzung des Ergebnisses unerlässlich.

### Referenzen

- [1] Alex Soojung-Kim Pang, Technologie und Ästhetik der Astrofotografie, Reihe Fotografie in Wissenschaft, Kunst und Technologie, Suhrkamp, Frankfurt am Main 2002
- [2] [www.astro-siggi.de/tutorial-ccd-technik](http://www.astro-siggi.de/tutorial-ccd-technik)
- [3] R. Wodaski, The New Astro Zone System for Astro Imaging, New Astronomy Press, 2007
- [4] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [5] <http://farbe.wisotop.de>
- [6] [http://members.aol.colorenginc/color\\_calculator.html](http://members.aol.colorenginc/color_calculator.html)
- [7] P.Riepe, H.Tomsik, Vortrag am Tag der Astrofotografen, Recklinghausen, 2007 sowie VdS-Journal Nr. 25, 53 (1/2008)

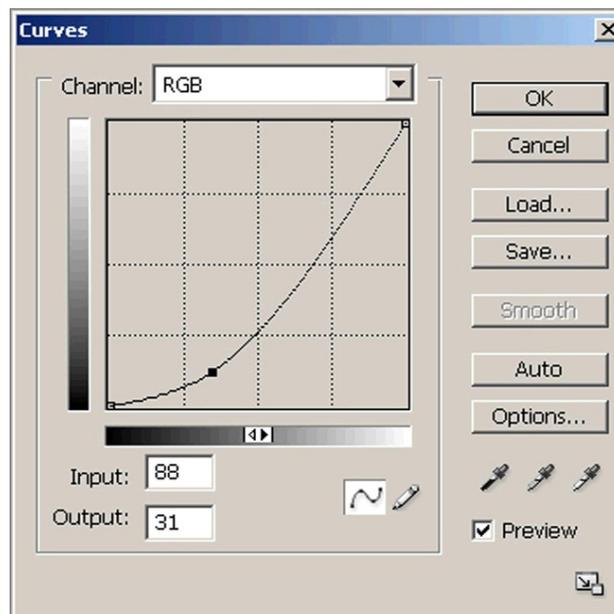
### Anhang:

Auflösung in Bit	Anzahl der Amplitudenstufen	Anzahl linear darstellbarer Magnituden	Kontrastumfang in Blendenstufen
Chemie (Referenz)	ca. 10000	ca. 10	ca. 13
JPG-Format(8 Bit)	256	6	8
DSLR-RAW (12 Bit)	4096	9	12
CCD (16 Bit)	65635	12	16

**Tabelle 1:**  
**Dynamikbereich der verschiedenen Formate mit Chemischer Fotografie als Referenz**

T[K]/Klasse	x	y	R	G	B
2000	0.527	0.395	228	107	29
2500	0.480	0.412	202	121	51
3000	0.438	0.405	186	128	72
4000	0.386	0.378	168	133	100
5000	0.345	0.351	154	136	122
5500	0.33	0.341	147	138	130
6500	0.314	0.323	143	138	142
7500	0.30	0.31	137	138	151
10000	0.283	0.29	131	139	165
15000	0.265	0.27	123	139	180

**Tabelle 2:**  
**Strahlungstemperatur, Strahlungsklasse, x/y-Werte aus CIE-Diagramm sowie RGB-Werte für eine Helligkeit Y=30. Der Temperaturbereich von 2500 bis 40000 K deckt die Spektralklassen M bis O ab, d.h. rote bis blaue Sterne.**



**Abb. 2:**  
**Qualitativer Verlauf in "Curves" zur Linearisierung der Kennlinie.**

**Copyright 2008:**

Prof. Dr.-Ing. Jochem Berlemann, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Fachbereich Medienproduktion, Liebigstr. 87, 32657 Lemgo