

## Gasnebel und ihre korrekte Farbdarstellung

*Ionisierte Wasserstoffwolken zwischen Lachsrot und Purpur, Sauerstoffnebel zwischen Moosgrün und Dunkelblau – das ist die alltägliche Realität dessen, was uns Astrofotografen täglich präsentieren. Nicht selten liefern solche Fotos Zündstoff für ausgiebige Diskussionen darüber, was denn nun eigentlich die »richtige« Farbe sei. Wie also lassen sich schmalbandige Emissionsnebel auf Astrofotos möglichst korrekt wiedergegeben?*



▲ Der Rosettennebel aufgenommen mit einer Kamera vom Typ ALccd-QHY 10 und  $10 \times 30$  min Belichtungszeit. Die Darstellung ist photometrisch korrekt, wie im Artikel beschrieben. Foto: Markus Langlotz

**S**ucht man beispielsweise auf dem Astrofotoportal Astrobin nach Aufnahmen des Rosettennebels, findet man ein und dasselbe Objekt in einer Vielzahl von Farbvarianten – selbst dann, wenn man Falschfarbendarstellungen wie die Hubble-Palette explizit ausklammert. Dass dies eigentlich nicht korrekt sein kann, sollte jedem sofort klar sein: Man stelle sich vor, jemand fotografiert ein rotes Auto mit zehn verschiedenen Kameras bei identischen Weißabgleichseinstellungen und erhalte zehn Fotos, auf denen das Auto irgendwo zwischen orangerot und violett – auf jedem Foto aber in unterschiedlicher Farbe – dargestellt würde. Die digitale Fotografie hätte sich so bestimmt nie durchsetzen können. Diese in der Astrofotografie jedoch alltäglichen unterschiedlichen Farbdarstellungen beruhen zum einen auf der Charakteristik der eingesetzten Kamerasensoren und Farbfilter, wie es Mario Weigand in seinem Artikel »Die tatsächliche Farbe des Hantelnebels« in Ausgabe 04 eingehend erläutert hat, entspringen zum anderen aber auch dem persönlichen Geschmack und der Vorstellung des jeweiligen Astrofotografen. Nicht zuletzt in der Astrofoto-Community und in internationalen Fachforen führt dies nicht selten zu engagierten und bisweilen ausufernden Diskussionen. Dieser Artikel soll daher eine allgemeingültige und analytische Lösung dieses bis dato offenen Problems aufzeigen.

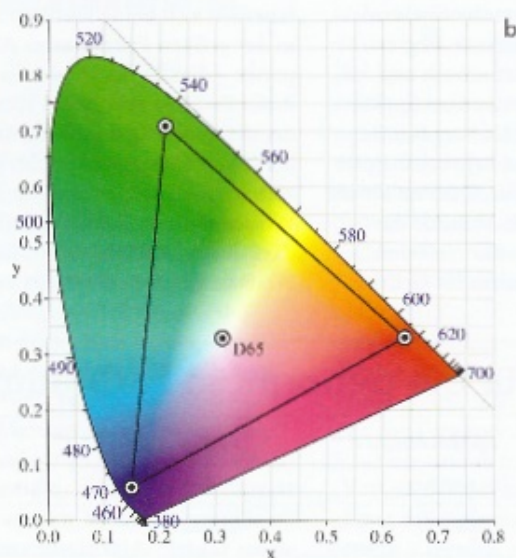
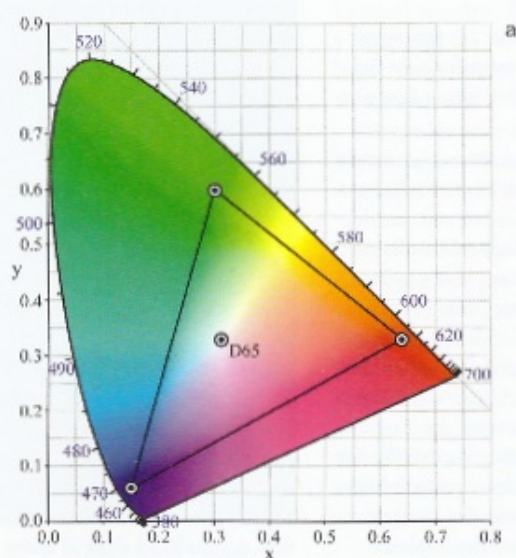
### Gesucht: Farbmanagement

Farbmanagement heißt das Zauberwort für diesen Lösungsansatz in der klassischen Fotografie. Um aber im astrofotografischen Sinne ein funktionierendes Farbmanagement betreiben zu können, ist es unabdingbar, das Phänomen Farbe und deren Wahrnehmung mathematisch objektiv darzustellen. Dann und nur dann ist es möglich, Farben im Farbraum des Ausgabegeräts – typischerweise wird dies primär ein Monitor oder eine Druckmaschine sein – möglichst wirklichkeitsgetreu mit minimalen Abweichungen wiederzugeben. Denn im Gegensatz zur Tageslichtfotografie, wo sämtliche fotografierten Objekte, seien es Landschaften, Gegenstände oder Menschen, breitbandiges Licht reflektieren, hat es die Astrofotografie mit extrem schmalbandigen Linienstrahlern zu tun. Wer schon einmal Bühnenfotografie unter farbigem LED-Licht gemacht hat, kennt sehr ähnliche Problem auch aus der konventionellen Fotografie.

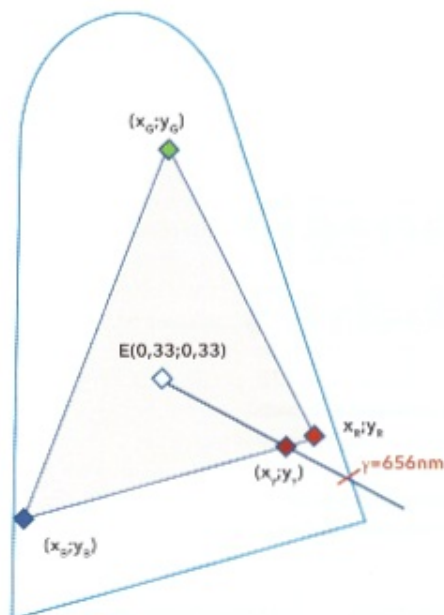
### Farbe mathematisch beschreiben

Farben werden im sogenannten CIE-1931-Normalvalenzsystem dargestellt. Hierbei wird die

durchschnittliche Wahrnehmung des inneren Augengesichtsfelds von zwei Grad Durchmesser als Referenz herangezogen, da hier die Dichte der Farbrezeptoren im menschlichen Auge am höchsten ist. Dieser »2°-Normbeobachter« ist die Grundlage aller visuellen Farbräume. Der gesamte visuell wahrnehmbare Farbraum kann gemäß CIE 1931 in einem Koordinatensystem dargestellt werden. Alle Farben werden so über ein Wertepaar (x,y) exakt beschrieben. Die dritte Komponente z ist redundant und wird stets weggelassen, da für alle Farben gilt:  $x+y+z=1$ . Dieser Zusammenhang ist wichtig für die später nötige



« Der gesamte visuell wahrnehmbare Farbraum nach CIE 1931, die sogenannte »Farbschuhsohle«, mit den eingezeichneten Farbräumen für einen sRGB (a) und AdobeRGB (b) Monitor. Grafik: Wikipedia (CC-SA 3.0)



▲ Grafische Darstellung der Herleitung für die optimale Bildschirmdarstellung am Beispiel der Ha-Linie. Grafik: Markus Langlotz

Farbmatrizenrechnung. Betrachtet man die Hufeisenform des CIE-1931-Farbraums genauer, so befinden sich an der äußeren, gebogenen Begrenzungslinie alle monochromatischen, voll gesättigten Farben. Aus diesem Grund steht auch genau dort die Nanometer-Skala für die korrespondierenden Wellenlängen. Je weiter man nach innen geht, desto weniger gesättigt werden die Farben. Weniger Sättigung bedeutet nicht heller oder gar dunkler, sondern einfach blässer, weniger farbintensiv. Bei  $(x=1/3; y=1/3)$  befindet sich der Äquivalenzpunkt oder Unbuntpunkt E: Dies ist ein ideales Weiß mit konstanter Spektraldichteverteilung. Die gerade Begrenzungslinie zwischen dem roten und dem blauen Ende des visuellen Spektrums bezeichnet man als Purpurlinie. Diesen Mischfarben ist keine dedizierte Wellenlänge zuordenbar. Der von einem handelsüblichen sRGB-Monitor darstellbare Farbraum spannt ein Dreieck auf, genauso der vor allem im Grünen

größere AdobeRGB-Farbraum. Die Ecken dieser Farbdreiecke werden von den jeweiligen Grundfarben Rot, Grün und Blau gebildet. Diese beiden Farbräume werden für die weitere Betrachtung von entscheidender Bedeutung sein, denn vom Farbraum des Monitors ist es abhängig, wie eine Farbe korrekt berechnet werden muss.

Zum weiteren Verständnis ist nun nur noch ein Sachverhalt ausschlaggebend: Zeichnet man vom Unbuntpunkt  $(x=1/3; y=1/3)$  eine Linie zu einer Wellenlänge am Rand des CIE 1931-Farbraums, so haben wir auf dieser Linie stets dieselbe Farbe (Farbton, hue). Zum Unbuntpunkt hin nimmt die Sättigung (saturation) jedoch von 100% bis auf 0% ab. Die Helligkeit (luminance) ist eine hiervon komplett unabhängige Größe und spielt nur bei der Farbmischung eine Rolle. Wir befinden uns somit eigentlich in einem HSL-Farbsystem (Hue, Saturation, Luminance). Ergänzend soll hier bemerkt werden, dass das HSL-Farbsystem, welches in der Bildbearbeitung benutzt wird, zwar prinzipiell vergleichbare Eigenschaften besitzt, die HSL-Werte aber nicht mit den xyz-Farbkordinaten übereinstimmen. Dieses xy-Farbsystem gilt es nun in ein klassisches RGB-Farbsystem (Rot, Grün, Blau) umzurechnen. Dazu benötigt man als Erstes die Farbkordinaten und den Weißpunkt des zu betrachtenden Zielfarbraums. Die Daten für die genormten Farbräume sRGB und AdobeRGB sind in einer Tabelle zusammengefasst. Wie man sieht, unterscheiden sich beide Farbräume lediglich in der grünen Primärfarbe. Als Weißpunkt – dies ist der Punkt für  $R=G=B=255$  – wurde ein Wert gewählt, der der Farbtemperatur des Sonnenlichts von 6500 K entspricht. Man spricht hier von der Normlichtart D65. Wird auf einem (kalibrierten!) AdobeRGB- oder sRGB-Monitor die Farbe Weiß ausgegeben ( $R=255, G=255,$

$B=255$ ), so stellt der Monitor ein Weiß mit einer Farbtemperatur von 6500 K dar. Im Übrigen ist durch die Normierung aller Farbräume auf die Normlichtart D65 bei der Astrofotografie mit konventionellen (DSLR)-Kameras der Weißabgleich stets fest auf 6500 K einzustellen. Jeder andere Wert wäre nur eine rein subjektive Wahl und würde eine korrekte Farbdarstellung astronomischer Objekte nur erschweren. Man kann nun mithilfe einer linearen Matrizentransformation die normierten RGB-Werte, welche auf einem Display dargestellt werden, in die zugehörigen  $(x,y,z)$ -Farbkordinaten umrechnen:

$$(x;y;z) = B_y(R;G;B)_y \quad \text{mit } R_y = R', G_y = G', \text{ und } B_y = B', \text{ wobei für moderne Monitore gilt: } \gamma = 2,2.$$

Durch Lösung des Gleichungssystems mittels sämtlicher Randbedingungen (Rot-, Grün-, Blau- und Weißfarbort des Monitors, sowie weiterer photometrischer Normierungen) lassen sich die neun Komponenten der Transformationsmatrix für jeden Monitor rechnerisch ermitteln. Mit der inversen Transformation lassen sich dann  $(x,y)$ -Werte in die gesuchten  $(R,G,B)$ -Werte umrechnen.

Für den sRGB-Farbraum ergibt sich somit folgende finale Transformation:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,4124 & 0,3576 & 0,1805 \\ 0,2126 & 0,7152 & 0,0722 \\ 0,0193 & 0,1192 & 0,9505 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Für den AdobeRGB-Farbraum ergibt sich eine hiervon abweichende Transformation:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,5767 & 0,1856 & 0,1882 \\ 0,2973 & 0,6274 & 0,0753 \\ 0,0270 & 0,0707 & 0,9913 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Für die Lösung des hier beschriebenen Problems muss also diejenige  $(x,y)$ -Farbkordinate ermittelt werden, mit

## Daten für die genormten Farbräume sRGB und Adobe RGB

Farbraum	Farbkordinate R	Farbkordinate G	Farbkordinate B	Weißpunkt
sRGB	(0,64;0,33)	(0,30;0,60)	(0,15;0,06)	(0,3127;0,3290)
Adobe RGB	(0,64;0,33)	(0,21;0,71)	(0,15;0,06)	(0,3127;0,3290)



▲ Der Orionnebel Messier 42, aufgenommen mit einer Kamera vom Typ ALccd-QHY 10 und 9 × 25 min Belichtungszeit in konventioneller Bearbeitung (a) sowie auf H $\alpha$  und [OIII] farbkorrigiert (b). Foto: Markus Langlotz

der ein gesuchter Schmalbandemitter mit der geringsten Abweichung auf einem Monitor dargestellt werden kann. Mit oben beschriebener Matrixtransformation muss dann die so ermittelte Farbkoordinate noch in einen (R;G;B)-Wert umgerechnet werden, der dann in der Bildbearbeitung die Farbe des entsprechenden Nebelteils einer Aufnahme definiert.

Wir erinnern uns: Auf einer Geraden, die durch den Unbuntpunkt führt, haben wir stets dieselbe Farbe mit nach vom Unbuntpunkt weg steigender Sättigung. Am Rand des CIE-1931-Farbraums erreicht die jeweilige Farbe eine

Sättigung von 100%, was einer schmalbandigen, monochromatischen, reinen Farbe entspricht. Und ganz genau hier liegen auch die Emissionsnebel: auf der Umrandung des Normfarbraums. Zieht man nun eine Linie von der gesuchten Wellenlänge zum Unbuntpunkt, so schneidet diese das Farbdreieck des Monitors in genau dem Punkt, der die am stärksten gesättigte Farbe mit dem gesuchten Hue (Farbton) repräsentiert, die dieser Monitor darzustellen in der Lage ist. Und genau diese Farbe muss in der Bildbearbeitung für diese Nebelteile eingestellt werden. Somit ist ganz klar: Jedem Schmalbandstrahler ist für einen

adobeRGB- oder sRGB- jeweils exakt ein R,G,B-Farbtort zuweisbar. Hier ist anzumerken, dass sich die Farbe nicht ändert, wenn ein Bereich abgedunkelt wird. Die Farbwerte (r;g;b) liefern genau denselben Farbtort, wenn sie mit einem Faktor skaliert werden:

$B_i(r,g,b) = B_i(\mu r, \mu g, \mu b)$ , wobei  $\mu$  ein beliebiger Skalierungsfaktor ist.

Die Farbe bleibt also gleich, sofern sich das Verhältnis der einzelnen R,G,B-Werte zueinander nicht verändert. So hat ein Orange mit R=255; G=100; B=0 dieselbe Farbe wie ein Orange mit R=127;G=50;B=0, nur ist hier die Helligkeit auf 0,5<sup>er</sup>, also ca. 22% abgesunken, weil die einzelnen Farbwerte halbiert wurden. Die Potenzierung mit  $\gamma=2,2$  trägt dem logarithmischen Helligkeitsempfinden des Auges Rechnung und ist für alle Anzeigesysteme mittlerweile ein Standardwert. Früher wurde in der Apple-Mac-Welt ein abweichender Gammawert von 1,8 benutzt.

#### Beispiel: Ha-Emissionslinie

Anhand eines grafischen Beispiels soll nun der Lösungsweg am Beispiel der Ha-Emissionslinie erläutert werden: Alle Punkte auf der Halbgeraden vom Punkt E(0,33;0,33) zur Wellenlänge 656 nm repräsentieren denselben Farbton, allerdings mit nach von E weg steigender Sättigung. Die am stärksten gesättigte Farbe mit dem Farbton der Ha-Emissionslinie, welche der durch das eingezeichnete Farbdreieck charakterisierte Monitor noch darstellen kann, ist der Schnittpunkt der Halbgeraden [E; $\lambda$  mit der Geraden [( $x_b; y_b$ );( $x_r; y_r$ )]. Der so gewonnene Schnittpunkt ( $x_s; y_s$ ) repräsentiert exakt den Farbwert, der die geringste Abweichung zum realen Stimulus der Ha-Emissionslinie mit diesem Monitor erreicht. Anhand der Farbtransformation aus der Gleichung für den sRGB Monitor kann somit der optimale (R;G;B)-Wert für die Darstellung der Ha-Emissionslinie errechnet werden. Für einen AdobeRGB-Monitor ist die andere Gleichung zu verwenden. Aus der Farbkoordinate des jeweiligen Strahlers und dem Punkt E (X=0,33;Y=0,33) kann die Geradengleichung des Farbtons der Emissionslinie ermittelt werden. Gleichsetzen mit der

## Schmalbandstrahler auf sRGB- oder AdobeRGB-Monitor

Emissionslinie	H $\alpha$	H $\beta$	[OIII]	[SII]
Wellenlänge	656,28 nm	486,13 nm	501 nm / 496 nm	672 nm
CIE 1931-Farbort	(0,729;0,271)	(0,064;0,2175)	(0,020;0,438)	(0,732;0,268)
( $x_i$ ; $y_i$ ) in sRGB	(0,577;0,295)	(0,211;0,281)	(0,235;0,366)	(0,574;0,294)
( $x_i$ ; $y_i$ ) in AdobeRGB	(0,577;0,295)	(0,169;0,263)	(0,180;0,385)	(0,574;0,294)
Farbe in sRGB	R=255, G=000, B=082	R=000, G=216, B=255	R=000, G=255, B=225	R=255, G=000, B=083
Farbe in AdobeRGB	R=255, G=000, B=096	R=000, G=206, B=255	R=000, G=255, B=220	R=255, G=000, B=097

Geraden, die durch die benachbarten Punkte des Farbdreiecks definiert wird, ergibt als Lösung den gesuchten Farbwert ( $x_i$ ;  $y_i$ ). Der CIE-1931-Normfarbraum liefert die Farborte für die gängigsten, in der Astrofotografie relevanten Schmalbandstrahler, in der Tabelle finden sich die ähnlichsten, auf einem sRGB- oder AdobeRGB-Monitor erzeugbaren Farben. Die jeweiligen Farborte ( $x_i$ ;  $y_i$ ) können nun anhand der Gleichungen für sRGB- oder AdobeRGB-Monitore in die für die Färbung in der Bildbearbeitung relevanten,

korrekten RGB-Werte konvertiert werden. Das Endergebnis dieser Farbwertumrechnungen findet sich gleichfalls in der Tabelle. Da die Farben maximaler Sättigung, die ein Ausgabegerät (Monitor oder Drucker) generieren kann, stets am Rand des Farbdreiecks des Ausgabefarbraums liegen, ist der Stimuluswert der dieser Kathete gegenüberliegenden Farbe stets null. Die der Emissionslinie am nächsten liegende Primärfarbe erhält den Maximalwert 255, wodurch der hellstmögliche Farbton erreicht wird, der über den

Luminanzkanal dann entsprechend nach unten skaliert werden kann. Im tiefen Rot ist eine Unterscheidung von Farben auf Monitoren oder im Druck so gut wie nicht möglich, daher unterscheiden sich die Farbtripel für H $\alpha$  und [SII] praktisch nicht. Das Bild des Rosettennebels, vom Autor aufgenommen, zeigt eine Bearbeitung, bei der der Farbton des roten H $\alpha$ -Nebels auf die in der Tabelle aufgeführten, photometrisch korrekten Farbwerte für 656 nm gesetzt wurde. Vergleicht man dies mit Darstellungen



▲ H $\alpha$ -RGB-Komposit des Kaliforniennebels in farbrichtiger Darstellung. Bilddaten: Astrobin Public Data Pool, astro alex80

beispielsweise aus Ergebnissen aus der Suche von Astrobin, wird sofort ersichtlich, dass kaum eine der dort gefundenen Aufnahmen die Farbe der H $\alpha$ -Emission auch nur annähernd korrekt darstellt.

### Korrekte Farbgebung in der Nachbearbeitung

Wie nun vorhandenes Bildmaterial beim Postprocessing behandelt werden muss, um die korrekte Farbgebung zu erreichen, wird nachfolgend exemplarisch anhand der Möglichkeiten von Adobe Photoshop skizziert:

Bei einem fertigen Farbbild (z. B. RGB oder auch aus einer Farbkamera) ist es am einfachsten, über den Menüpunkt »Bild  $\rightarrow$  Korrekturen  $\rightarrow$  Farbe ersetzen« die zu optimierende Farbe mit der Pipette im Bild auszuwählen und im Dialogfeld für die neue Farbe die RGB-Werte aus der Tabelle einzutragen. Gegebenenfalls kann man hier mehrere Ebenen anlegen und dies für jede Emissionslinie getrennt bearbeiten. Über den Schieberegler »Toleranz« kann man noch festlegen, wie groß das zu ersetzende Farbspektrum sein darf.

Alternativ kann man auch das Bild über die HSI-Regler im Menüpunkt »Filter  $\rightarrow$  Camera Raw-Filter...« sehr farbspezifisch auf die korrekten Zielfarben hin optimieren. Mit einer Kombination dieser beiden Methoden wurde das konventionelle Bild des Orionnebels farbkorrigiert: Der H $\alpha$ -Kanal wurde mittels »Farbe ersetzen« generiert. Diese Methode führte bei der Korrektur der blauen Nebelbereiche zu Artefakten, so dass hier in einer zweiten Ebene die Farbe der blauen Nebelbereiche über die HSI-Regler auf [OIII] hin korrigiert wurde und mit der Ebenfülloption »Farbton« mit der ersten Ebene überblendet wurde.

Da hier sehr selektiv nur die ursprünglichen Farben der zu bearbeitenden Schmalbandstrahler korrigiert werden, ist der Einfluss auf übrige Bildbereiche – also Kontinuumsstrahler – vernachlässigbar. Der Autor konnte mit dieser Methode selbst in Nightscape-Aufnahmen H $\alpha$ -Gebiete photometrisch korrigieren, ohne die Farbbalance des Gesamtbildes negativ zu beeinflussen. Ein Beispiel hierfür ist das Panorama



▲ Panorama der Wintermilchstraße, aufgenommen mit einer nicht astromodifizierten DSLR und auf korrekte H $\alpha$ -Farbgebung korrigiert. Foto: Markus Langlotz

der Wintermilchstraße. Dieses Bild wurde mit einer nicht astromodifizierten DSLR aufgenommen, entsprechend weit ist das Rot in den originalen Rohdaten vom korrekten H $\alpha$ -Farbton entfernt und entspräche bestenfalls einer Wellenlänge von 610 bis 615 Nanometern.

Wenn man im Gegensatz hierzu ein RGB-Bild aus einer monochromen Kamera mit zusätzlichen Schmalbandkanälen vorliegen hat, bietet es sich an, den monochromen Schmalbandkanal als Luminanzwert mit einer den oben gelisteten Farbtripeln entsprechend homogen gefärbten Fläche zu multiplizieren.

Äquivalent dazu ist die Methode des amerikanischen Astrofotografen Bob Franke, der die Ebene über die Erstellung einer Einstellungsebene vom Typ Helligkeit/Sättigung entsprechend einfärbt. Dieser dadurch korrekt gefärbte, farbige Schmalbandkanal kann dann als Ebene direkt in das RGB-Bild eingearbeitet werden. Es empfiehlt sich, die Sterne über eine Luminanzmaske oder eine Sternmaske auszublenden, damit im finalen Bild die Sternfarben nicht über Gebühr verfälscht werden. Der Mischmodus »Aufhellen« führt übrigens zu ganz ähnlichen Ergebnissen, weil hier die per se hellen Sterne nicht durch den H $\alpha$ -Kanal in ihrer Farbgebung beeinträchtigt werden. Anhand des Kaliforniennebels wird ein entsprechend bearbeitetes H $\alpha$ -RGB-Komposit gezeigt. Man beachte, dass hierbei die Farben der Sterne durchwegs korrekt bleiben und

nicht etwa ins Purpurne verschoben werden.

All die genannten Bildbearbeitungsmethoden beeinflussen lediglich die Farbgebung der ausgewählten Schmalbandbereiche. Je weiter eine Farbe im Farbraum von der zu modifizierenden Farbe entfernt ist und/oder je schwächer deren Sättigung ist, desto weniger wird sie von den Korrekturen beeinflusst. Sterne, Sternhaufen, Galaxien oder aber die gezeigte nächtliche Landschaft, wenn im Bild enthalten, werden so de facto von obigen Bildbearbeitungsverfahren nicht verändert.

### Das Ende der Diskussion?

Es gibt somit für jeden Schmalbandemitter genau eine optimale Farbrepräsentation, welche mathematisch herleitbar ist, und somit keinen Grund, Emissionsnebel mehr oder weniger nach Bauchgefühl oder Gutdünken zu färben. Über die hier aufgelisteten Farbwerte können Emissionsnebel unabhängig von der Himmelstransmission und der Charakteristik der verwendeten Kamera korrekt wiedergegeben werden. Vielleicht trägt dieser Artikel dazu bei, dass zukünftig mehr Gasnebel identisch und korrekt dargestellt werden, und erspart manche Diskussion über die »richtige« Farbe der Nebel.

• Markus Langlotz

**Weiterführende Links**  
im Internet unter [asm.li/12s71](http://asm.li/12s71)