

NOLIGCRA - eine Reise durch das All, um der Farbe willen

Harald Tomsik und Peter Riepe

In fast allen Astrofotos von Amateuren wie auch von Berufsastronomen erstrahlen die leuchtkräftigen Nebel wie auch Sterne in reinem Weiß, mit roten oder blauen Rändern. Diese Darstellung ist ein ungewolltes Artefakt, resultierend aus der Hervorhebung schwacher, hintergrundnaher Objektanteile. Wir wollen zeigen, dass unser Algorithmus Nolicra sowohl schwache als auch helle Objekte gleichzeitig im selben Bild ohne das vorgenannte Artefakt darstellen kann. Vor allem aber vermeidet Nolicra Farbverfälschungen, die aus nicht-linearer Skalierung, wie z.B. logarithmischer oder exponentieller Skalierung, resultieren.

Einleitung

Schon im Altertum wurde die Farben von Himmelsobjekten nicht nur beachtet, sondern wie beim rötlichen Kriegsgott Mars ihnen auch eine dem jeweiligen Erkenntnisstand passende Deutung zugeordnet. Der relativ geringen Empfindlichkeit der Farbrezeptoren unserer Netzhaut entsprechend riefen bei Beobachtung des Himmels mit bloßem Auge, aber auch noch mit Teleskopen, nur wenige Objekte einen Farbeindruck hervor. Erst bei Anwendung fotografischer Techniken wurde die Farbvielfalt auch schwacher Objekte offenbar.

Box Dynamik und Gradation

Eine moderne 16-bit-CCD-Kamera liefert $2^{16} = 65536$ Graustufen von 0 bis 65535 ADU. Weder ein Monitor noch ein Papierbild erzeugt auch nur annähernd diese Vielzahl von Intensitätsabstufungen. Meistens interessieren aber, wie zur Wiedergabe schwacher Nebelanteile, nur Abstufungen in einem kleineren Intensitätsintervall, z.B. von 100 bis 2000 ADU. Somit kann der dargestellte Intensitätsumfang (Dynamik) auch auf den Bereich zwischen 100 und 2000 ADU beschränkt werden: Dadurch werden alle ursprünglichen Werte zwischen 0 und 100 ADU auf Schwarz gesetzt, alle oberhalb von 2000 ADU auf Weiß. Zusätzlich können in diesem Dynamikbereich noch hintergrundnahe Anteile wie durch eine geeignete Gradationswahl beim Photopapier gestreckt und helle Objekte gestaucht werden, z.B. durch den Wechsel von einer linearen Beziehung zwischen Lichtintensitäten und Graustufen zu einer logarithmischen Transformation.

Problembeschreibung

Mit den CCD-Rezeptoren in der aktuellen Fotografiertechnik erwuchs ein neues Problem: Die Intensitätsdynamik (siehe Box Dynamik und Gradation) wurde so groß, dass bei weitem nicht alle gemessenen Grauschattierungen in einem Bild wiedergegeben werden können. Der Astronom muss einen Teil der gesamten Dynamik zur bildlichen Darstellung auswählen. Dabei verzichtet er zumeist auf die Farbinformationen der helleren Objekte, die in reinem Weiß dargestellt werden statt in einem physikalisch korrekten Blau oder Rot. Zusätzlich verfälscht er oft die Farben sogar innerhalb des dargestellten Dynamikbereiches: Skaliert er zur Betonung schwacher Objekte logarithmisch oder verschiebt er die Farbgler für Mitteltöne, werden dadurch die ursprünglichen Verhältnisse zwischen den Farbkanälen geändert (siehe Box Nolicra).

Lösungsmöglichkeit

Diese Probleme der CCD-Astronomie soll ein von Harald Tomsik entwickelter Algorithmus lösen.

Er verbindet gleichzeitig Farbkorrekttheit mit nicht linearer Gradation zur Darstellung eines weiten Dynamikbereiches (Noligra: **N**on **l**inear **g**radation **c**olour **r**etrieval **a**lgorithm).

Box Noligra

Das Konzept einer Reise im All hilft uns bei der Erklärung, warum ein Erhalt des Intensitätsverhältnisses zwischen den drei Farbkanälen von grundlegender Bedeutung ist. Aus der umgekehrt proportionalen Beziehung der Lichtintensität zum Quadrat der Entfernung folgt: Wird gedanklich die Distanz zu einem Objekt geändert (oder werden die im Bild dargestellten Lichtintensitäten dieses Objekts über alle Wellenlängen hinweg geändert), ändern sich auch die Objektintensitäten in allen Farbkanälen, aber ihre Verhältnisse zueinander bleiben identisch! Stellen wir uns einen blauen Stern (oder genauer ein blaues Pixel) vor mit 18 ADU im roten Kanal, 27 ADU im grünen und 36 ADU im blauen. Dies entspricht einem Verhältnis von 1,0 : 1,5 : 2,0. Aus der umgekehrt proportionalen Beziehung der Intensität zum Quadrat der Entfernung folgt, dass bei gedanklicher Halbierung der Distanz zwischen der Erde und diesem blauen Stern eine Vervielfachung der Intensitäten zu erwarten ist: 72 ADU im roten, 108 ADU im grünen und 144 ADU im blauen Farbkanal, entsprechend einem unveränderten Verhältnis von 1,0 : 1,5 : 2,0. Verdreifachen wir den Sternabstand, so resultieren 2 ADU im roten, 3 ADU im grünen und 4 ADU im blauen Farbauszug, erneut entsprechend dem bekannten Verhältnis von 1,0 : 1,5 : 2,0. Dieses Gebot einer Konstanz der Farbverhältnisse wird jedoch zum Beispiel beim logarithmischen Skalieren in jedem Farbkanal verletzt, so dass daher eine logarithmische Skalierung in jedem Farbauszug keine geeignete Transformation für eine korrekte Farbdarstellung ist.

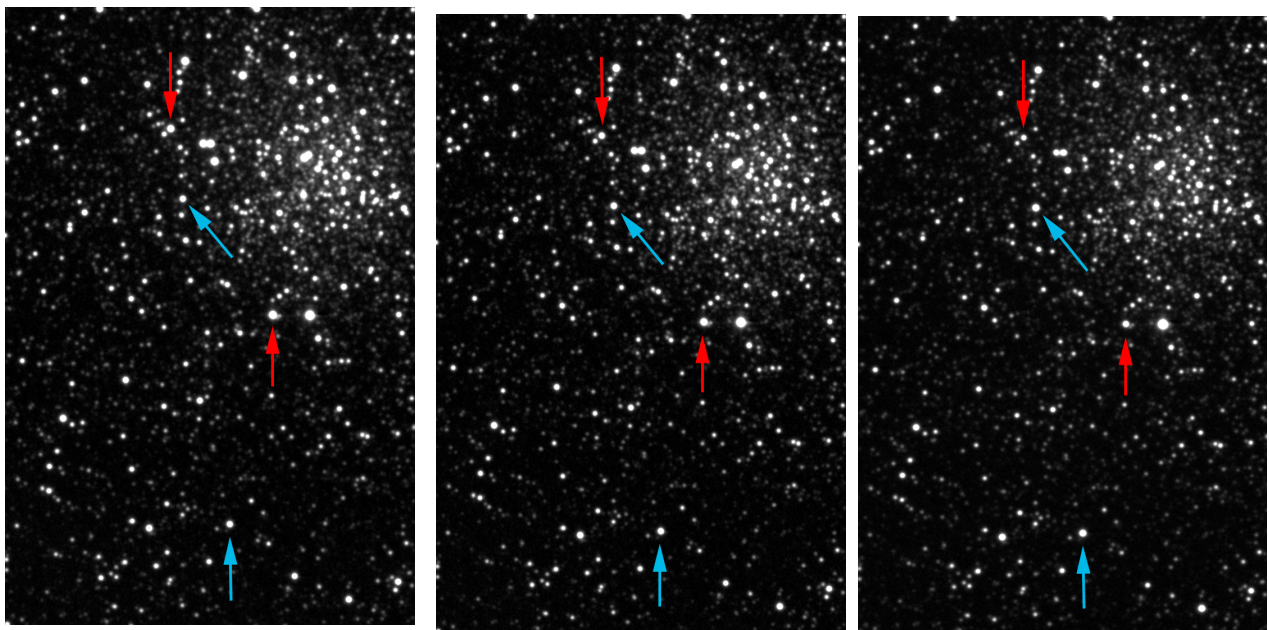


Abb. 1a-c

Aufnahme des Kugelsternhaufens M 71. Die 20 Einzelbilder des Rot- und Grünkanals wurden je 20 s belichtet, die 20 Einzelbilder des Blaukanals je 40 s. Aufnahmeteleskop war der 1.12-m-Newtonreflektor der Astronomischen Gesellschaft Bochum/Melle bei $f = 5000$ mm und einer 16-bit-Kamera (MegaTEK von OES) mit einem backside-illuminated-Chip (TK1024 von Tektronix). Nach der Farbkalibration an einem G2-Stern im Gesichtsfeld gibt Abb. 1a die Intensitäten des Rot-, Abb. 1b des Grün- und Abb. 1c des Blaukanals wieder. Abgebildet werden Intensitäten zwischen 85 und 1000 ADU mit linearer Gradationskurve. Die Pfeile zeigen auf die unterschiedlichen Intensitäten roter und blauer Sterne in den drei Farbkanälen.

Ausgangspunkt sei ein Satz von vier Bilddateien: Drei 16-bit-Dateien für den Rot-, Grün- und Blaukanal (Abb. 1a-c) mit noch jeweils linearer Gradation, die farblich so auf einander abgestimmt sind (Farbkalibration), dass sie den Himmelshintergrund grau wiedergeben und G2-Sterne weiß [1]. Eine vierte Datei, errechnet als arithmetisches Mittel aus diesen drei Farbkanälen, repräsentiert dann die von der Erde aus gesehene relative Helligkeit aller fotografierten Objekte (Abb. 2a). Diese „Helligkeitsdatei“ kann mit den bekannten Mitteln der Bildverarbeitung wie logarithmischer

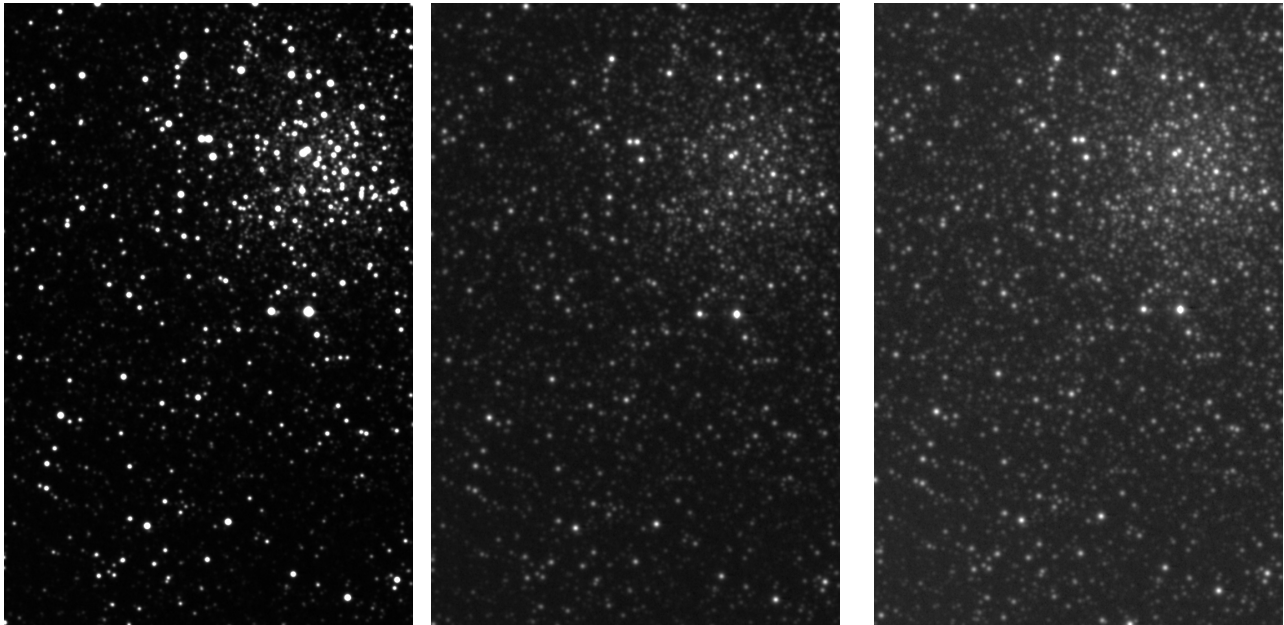


Abb. 2a

Die „Helligkeitsdatei“ wurde durch Mittelwertbildung von Abb. 1a-c errechnet und repräsentiert die relativen Helligkeiten im Integrallicht.

Abb. 2b und 2c

Durch Transformation mit einer Exponentialfunktion ($\text{ADU}^{0.4}$ in Abb. 2b und $\text{ADU}^{0.3}$ in Abb. 2c) zwischen 85 und 8000 ADU wurden „adaptierte Helligkeitsdateien“ errechnet, die eine viel größere Intensitätsdynamik darstellen als die ursprüngliche Helligkeitsdatei (Abb. 2a).

Skalierung oder DDP (digital development process) zu einer „adaptierten Helligkeitsdatei“ (AH) transformiert werden, um Graustufen von interessierenden Objektanteilen wie Nebeln oder Galaxien zu strecken und um gleichzeitig Intensitätsdifferenzen anderer Dynamikbereiche (heller Sterne) zu stauchen (Abb. 2b und 2c). Diese Transformation der Intensitäten ähnelt dem Blick aus einem Schiffsfenster: Die Intensitäten schwacher Objekte werden angehoben wie bei einer Reise zu den Objekten hin und die Intensitäten heller Objekte werden abgeschwächt, wie bei einer Reise weiter von ihnen weg. Da die physikalischen Eigenschaften eines Sterns nicht von der Beobachtungsentfernung abhängen, sollte dabei ein typisches Charakteristikum in seiner Farbe existieren, das ebenfalls invariant ist gegenüber der Beobachtungsdistanz.

Folgen wir diesem Vergleich, ergibt sich als Schlüsselfrage: Was geschieht mit den roten, grünen und blauen Farbanteilen während dieser Reise für jeden Stern, oder genauer, für jedes Pixel? Aus der umgekehrt proportionalen Beziehung der Intensität zum Quadrat der Entfernung resultiert, dass bei Distanzverminderung zum Objekt die Intensitäten aller drei Farben um einen gemeinsamen Faktor zunehmen. Dabei bleiben aber die Verhältnisse zwischen diesen Farben konstant. Andererseits werden bei Vergrößerung der Distanz zu einem anderen Bildobjekt die Intensitäten der

drei Farbkanäle um einen gemeinsamen Faktor abgeschwächt. Erneut werden hierdurch die Farbverhältnisse nicht verändert (siehe Box Noligra). Daher ist das gesuchte Farbcharakteristikum, das gegenüber der Beobachtungsdistanz invariant bleibt, das feste Verhältnis zwischen den Intensitäten der zu einem Stern (genauer: zu einem Pixel) gehörenden drei Farbwerte R, G und B!

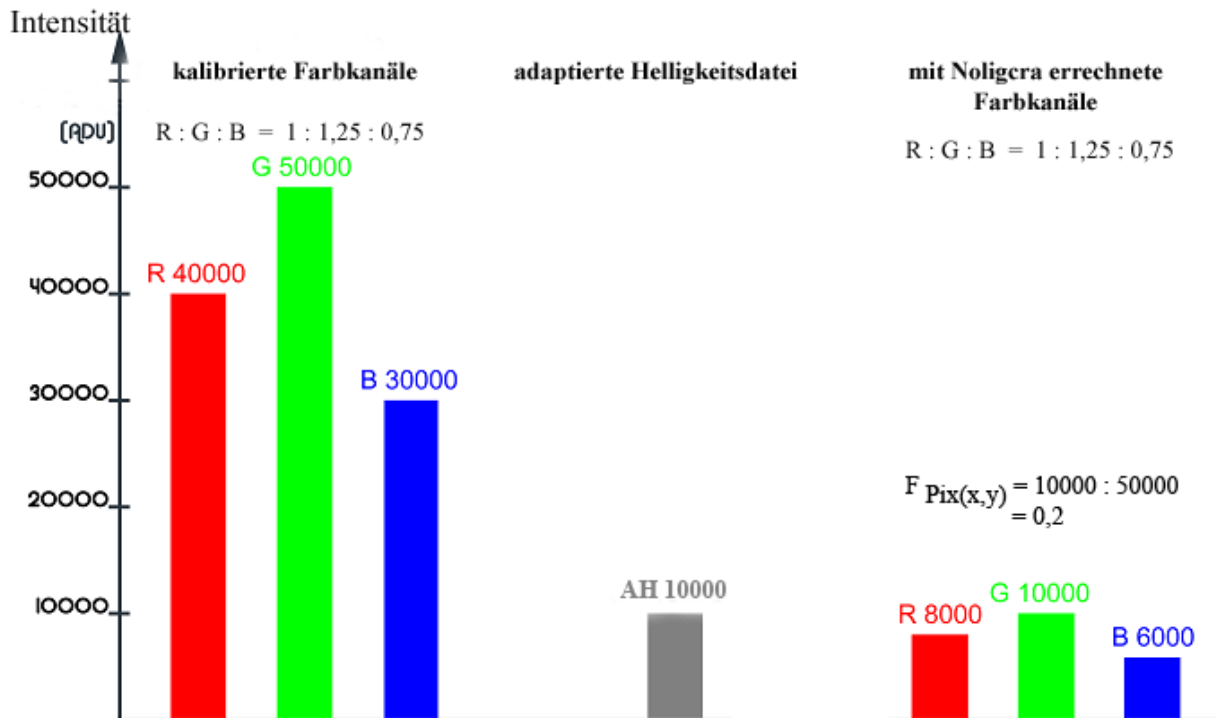


Diagramm 1

Beispiel eines hellen Pixels an der Chipkoordinate x,y . Aus den Intensitäten der drei Farbkanäle ($R = 40000$ ADU, $G = 50000$ ADU und $B = 30000$ ADU) resultiert durch arithmetische Mittlung ein Pixelwert in der Helligkeitsdatei von 40000 ADU (nicht dargestellt). Nach Helligkeitsminderung (entsprechend einer Reise von diesem Stern weg) sei der Wert in der adaptierten Helligkeitsdatei auf 10000 ADU gestaucht. Aus dem Wert der adaptierten Helligkeitsdatei und dem höchsten Farbwert errechnet Noligra für dieses helle Pixel den Stauchungsfaktor $F_{\text{Pix}(x,y)} = \frac{10000 \text{ ADU}}{50000 \text{ ADU}} = 0,2$. Mit diesem Faktor werden anschließend alle Farben multipliziert zu $R = 40000 \text{ ADU} \cdot 0,2 = 8000$ ADU, $G = 50000 \text{ ADU} \cdot 0,2 = 10000$ ADU sowie $B = 30000 \text{ ADU} \cdot 0,2 = 6000$ ADU. Dabei bleibt das Verhältnis zwischen den Farbkanälen vor und nach der Multiplikation konstant ($R : G : B = 40000 : 50000 : 30000 = 8000 : 10000 : 6000 = 1 : 1,25 : 0,75$).

Aus diesen Überlegungen resultiert für jedes Pixel $\text{Pix}(x,y)$ die folgende Vorgehensweise: Man finde für ein zu betrachtendes Pixel die hellste Intensität der drei Farbwerte, beispielsweise im Roten $R_{\text{Pix}(x,y)}$. Anschließend lese man seine Intensität in der adaptierten Helligkeitsdatei $AH_{\text{Pix}(x,y)}$ aus. Für dieses Pixel $\text{Pix}(x,y)$ wird dann ein geeigneter Stauchungsfaktor (Diagramm 1) oder Streckungsfaktor (Diagramm 2) $F_{\text{Pix}(x,y)}$ errechnet. Geeignet bedeutet, dass sich bei der Multiplikation der hellsten der drei Farbtintensitäten (in diesem Beispiel Rot) mit diesem Faktor $F_{\text{Pix}(x,y)}$ die Intensität der adaptierten Helligkeitsdatei ergibt zu: $F_{\text{Pix}(x,y)} \cdot R_{\text{Pix}(x,y)} = AH_{\text{Pix}(x,y)}$. Anschließend werden die beiden verbleibenden Farben (in diesem Beispiel Grün und Blau) ebenfalls mit diesem Faktor multipliziert. Es resultiert somit ein Satz aus drei Farbtintensitäten

$F_{\text{Pix}(x,y)} * R_{\text{Pix}(x,y)}$, $F_{\text{Pix}(x,y)} * G_{\text{Pix}(x,y)}$ und $F_{\text{Pix}(x,y)} * B_{\text{Pix}(x,y)}$. Dieser Satz weist wie gewünscht folgende Eigenschaften auf (Abb. 3a-c): a) Die hellste Farbintensität ist gleich der des korrespondierenden Pixels aus der adaptierten Helligkeitsdatei $AH_{\text{Pix}(x,y)}$, b) nach Multiplikation aller drei Farben mit demselben Faktor $F_{\text{Pix}(x,y)}$ bleibt ihr ursprüngliches Verhältnis untereinander unverändert! Um jetzt ein RGB-Bild zu erhalten (siehe Box RGB-Bild), muss dieser Vorgang für alle Pixel durchgeführt werden und abschließend nur noch die drei neu errechneten Farbkanäle mit einem Bildverarbeitungsprogramm wie GIMP oder Photoshop zu einem RGB-Bild kombiniert werden (Abb. 4).

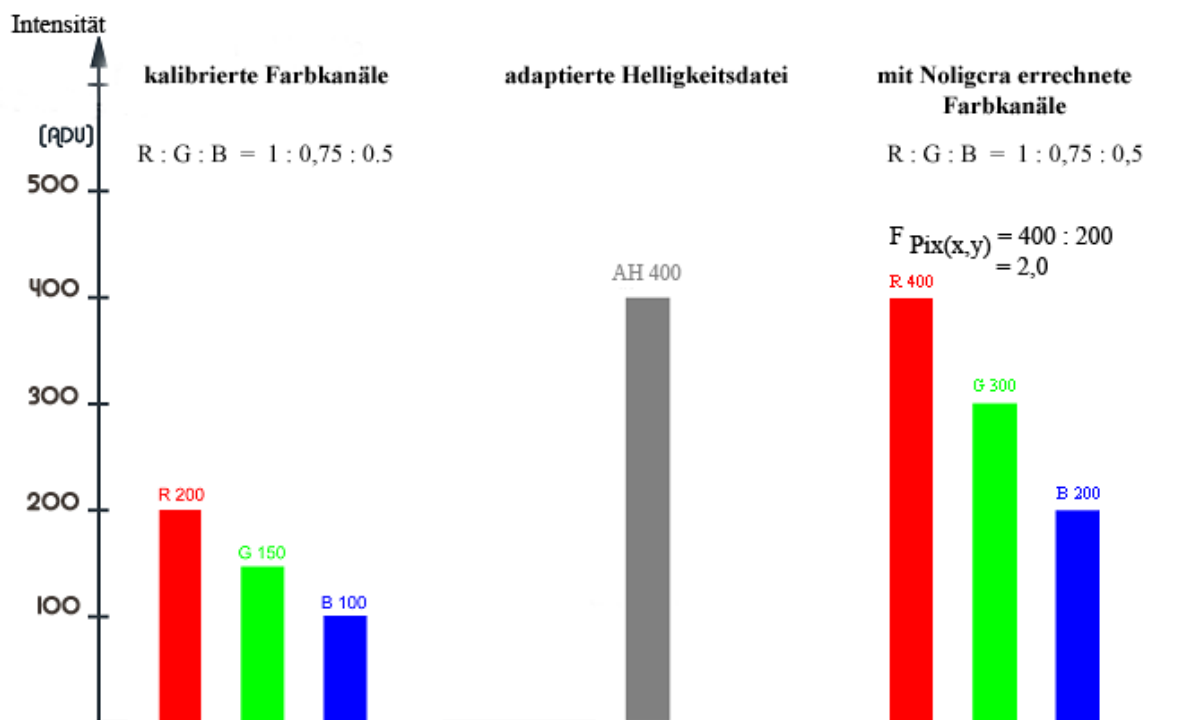


Diagramm 2

Beispiel eines dunklen Pixels an der Chipkoordinate x,y . Aus den Intensitäten der drei Farbkanäle ($R = 200$ ADU, $G = 150$ ADU und $B = 100$ ADU) resultiert durch arithmetische Mittlung ein Pixelwert in der Helligkeitsdatei von 150 ADU (nicht dargestellt). Nach Helligkeitsanhebung (entsprechend einer Reise auf diesen Stern zu) sei der Wert in der adaptierten Helligkeitsdatei auf 400 ADU gestreckt. Aus dem Wert der adaptierten Helligkeitsdatei und dem höchsten Farbwert errechnet Nologra für dieses helle Pixel den Streckungsfaktor $F_{\text{Pix}(x,y)} = 400 \text{ ADU} : 200 \text{ ADU} = 2$. Mit diesem Faktor werden anschließend alle Farben multipliziert zu $R = 200 \text{ ADU} * 2 = 400 \text{ ADU}$, $G = 150 \text{ ADU} * 2 = 300 \text{ ADU}$ sowie $B = 100 \text{ ADU} * 2 = 200 \text{ ADU}$. Dabei bleibt das Verhältnis zwischen den Farbkanälen vor und nach der Multiplikation konstant ($R : G : B = 200 : 150 : 100 = 400 : 300 : 200 = 1 : 0,75 : 0,5$).

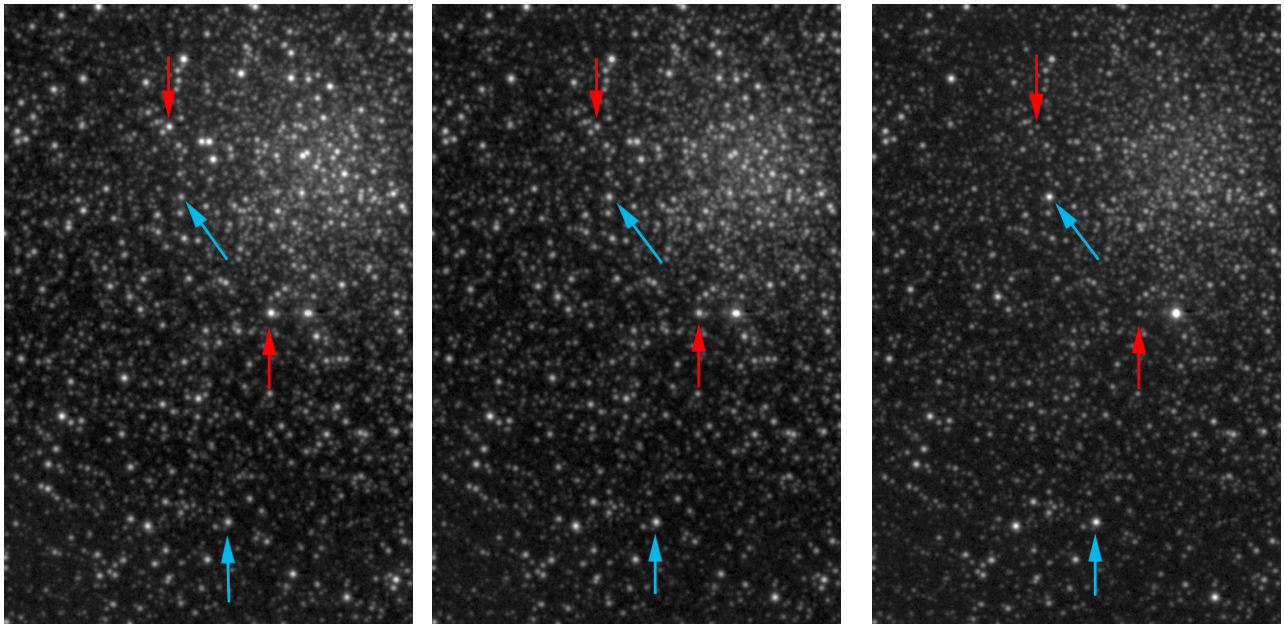


Abb. 3a, 3b und 3c

Nach Ermittlung eines pixelspezifischen Faktors für jedes einzelne Pixel $F_{\text{Pix}(x,y)}$ (s. Diagramme 1 und 2) wurde jedes Pixel in allen drei Farbkanälen mit diesem seinem Faktor multipliziert. Die aus dieser Nologra-Skalierung resultierenden finalen Rot-, Grün- und Blaukanäle werden hier gezeigt, erneut mit Markierung der unterschiedlichen Intensitäten roter und blauer Sterne in den drei Farbkanälen.

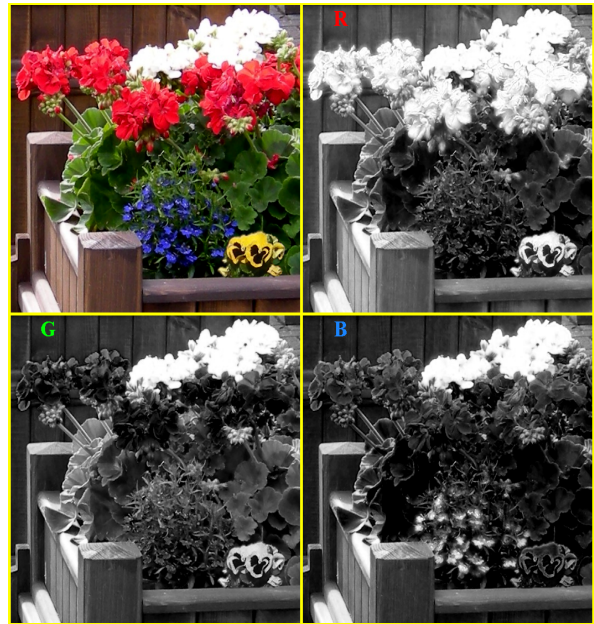


Abb. 4

Das durch Nologra erstellte RGB-Bild entstand durch Kombination der Abb. 3a-c mittels GIMP.

Box RGB-Bild

Der Blumenkasten in nebenstehender Abbildung umfasst oben links weiße, rote, blaue und gelbe Blüten mit grünen Blättern. Das Bild wird nachfolgend in einen Rot-, Grün- und Blauauszug zerlegt. Oben rechts im Rotauszug erkennt man, dass die roten und gelben Blüten fast gleich hell wiedergegeben werden wie die weißen. Die blauen Blüten und die grünen Blätter dagegen erscheinen ziemlich dunkel. Links unten im Grünauszug sind die grünen und auch blauen Farben deutlich heller, das Rot wird jetzt sehr dunkel. Rechts unten im Blauauszug treten die blauen Blüten jetzt sehr hell in Erscheinung, die gelben dagegen sind sehr dunkel. Auffallend ist, dass in allen Farbauszügen das Weiß gleichhell wiedergegeben wird (Weißabgleich innerhalb der Farbkalibration).



Fazit

Verglichen mit einem üblichen RGB-Bild mit rein linearer Gradation (Abb. 5a und 5b) kann dieses Bild bei größerem Dynamikbereich dennoch die interessierenden Intensitätsabstufungen betonen. Verglichen mit einem RGB-Bild mit logarithmischer oder exponentieller Skalierung (Abb. 5c) und daraus resultierender Farbverfälschung wird das mit Nologra errechnete Bild bei demselben Dynamikbereich zusätzlich eine physikalisch korrekte Farbwiedergabe aufweisen durch den Erhalt der ursprünglichen Farbverhältnisse. Hellere oder schwächere Intensitäten im Bild geben von der Erde aus gesehen hellere oder schwächere Sterne wieder. Da jedoch eine nicht lineare Gradation zur Erzeugung der adaptierten Helligkeitsdatei erfolgte (entsprechend einer Gedankenreise zu den Sternen hin oder von ihnen weg), sind diese Resultate natürlich nicht für die Fotometrie geeignet.

Dieser Algorithmus wurde umgesetzt in einem tcsh-Shell-Skript unter Benutzung von Befehlen aus dem professionellen Softwarepaket STARLINK [2]. Inzwischen benutzen wir diesen Algorithmus nicht nur bei breitbandigen Rot-, Grün- und Blaufiltern (RGB), sondern erweitern seine Anwendung auf beliebige Sätze aus drei Farbfiltern, wie z.B. HII-, [SII]- und [OIII]-Interferenzfilter. Weiterhin bemerkten wir einen anfangs unerwarteten, dann aber leicht erklärbaren Vorteil im Vergleich zum LRGB-Verfahren wie auch zur logarithmischen Skalierung: Nicht nur die hellen sondern auch schwächste, zuvor nur graue Sterne zeigen Farben. Welchen Bildeindruck Nologra insgesamt erzeugt, zeigt das komplette Übersichtsbild des Kugelsternhaufens M71 (Abb. 6).

Dieser Text lag leicht modifiziert der Erstveröffentlichung in Sterne und Weltraum 2009, 04: 86-92 zugrunde.

Inzwischen hat Andreas Rörig, wie wir ebenfalls Mitglied der Fachgruppe Astrofotografie der VdS, Nologra als Unterbefehl im Menü Color in sein Programmpaket Regim [3] aufgenommen, das sowohl auf Windows- wie auch Linux-Betriebssystemen lauffähig ist. Somit kann jeder Interessierte auch ohne eigene Programmierkenntnisse sich von den Vorteilen dieses Algorithmus selbst "ein Bild machen".

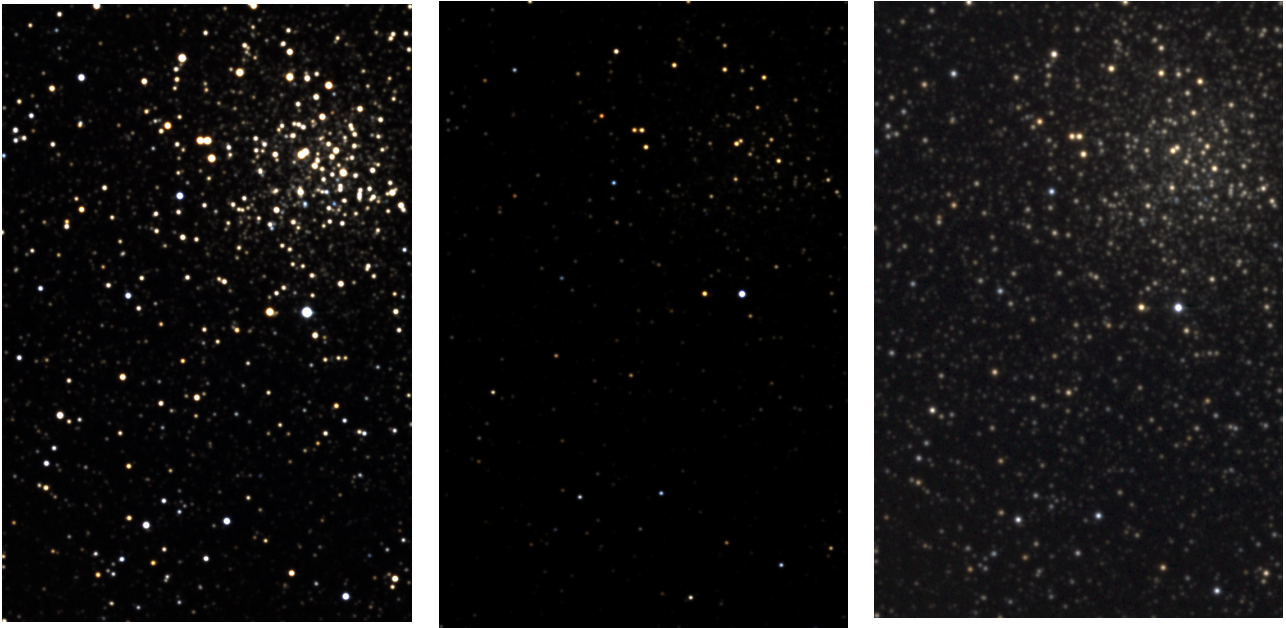


Abb. 5a und 5b

Um das Verhältnis zwischen rotem, grünem und blauem Farbkanal zu erhalten, ist die Verwendung einer linearen Gradationkurve erlaubt. Sollen schwache Sterne gezeigt werden, muss das dargestellte Dynamikfenster bei nicht so hohen Intensitäten bereits begrenzt werden (obere Grenze in Abb. 5a bei 1000 ADU). In dieser Darstellung bleiben jedoch alle hellen Sterne bis auf einen schwachen roten oder blauen Randsaum weiß. Sollen die Farben heller Sterne gezeigt werden, wird die obere Dynamikgrenze bei höheren Intensitäten gewählt (in Abb. 5b bei 8000 ADU). Nun verschwinden jedoch alle schwachen Sterne.

Abb. 5c

Um eine größere Helligkeitsdynamik farblich darzustellen, wird häufig eine logarithmische oder exponentielle Skalierung (hier $\text{ADU}^{0.4}$) in jedem der drei Farbkanäle gewählt. Dadurch aber werden die Farben schwächer wie auch heller Sterne blass und verlieren ihre Nuancen. Das erstaunt auch nicht, denn durch den Term $\text{ADU}^{0.4}$ wird ein Verhältnis von $R : G : B = 1 : 2 : 3$ vermindert auf das Verhältnis $1 : 1,32 : 1,55$ und damit das Farbverhältnis verfälscht. Und verglichen mit den ursprünglichen Farbverhältnissen wirkt bei diesen neuen Verhältnissen der Farbraum komprimiert.



Abb. 6

Darstellung des gesamten mit Nologra bearbeiteten Gesichtsfeldes. Aufnahmedaten siehe Abb. 1a-c.

Autoren

Harald Tomsik arbeitet als Kardiologe in einem akademischen Lehrkrankenhaus in Recklinghausen. Viele seiner freien Nächte verbringt er mit 5 Freunden am 1.12-m-Newtonreflektor der Sternwarte Melle, die als externes Projekt der EXPO 2000 in Deutschland zertifiziert wurde. Zusammen mit dem Koautor Peter Riepe gehört er zu den Fachgruppen Astrofotografie und CCD-Technik der Vereinigung der Sternfreunde (VdS).

- [1] Harald Tomsik und Peter Riepe, Farbkalibration einer CCD-Aufnahme mit Hilfe von G-Sternen (Teil 1 und 2). VdS-Journal für Astronomie, Nr. 25, S. 57 und Nr. 26, S. 50.
- [2] URL zum kostenlosen Bezug des astronomischen Pakets Starlink: <http://www.starlink.rl.ac.uk/>
- [3] URL zum Bezug vom Programmpaket Regim mit darin enthaltenem Nologra:
www.andreasroerig.de/regim/regim.htm