Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 8 (1963)
Heft: 79

Artikel: Der Farbenfilm in der Astronomie
Autor: Greuter, E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-900188

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 05.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

DER FARBENFILM IN DER ASTRONOMIE *

Von E. GREUTER, Herisau

1. FARBE UND FARBMETRIK

Noch kein Auge hat die wirklichen Farben galaktischer und extragalaktischer Himmelsobjekte direkt wahrnehmen können, weil es für schwache Lichteindrücke farbenblind ist. Als William C. MILLER seine ersten farbigen Himmelsaufnahmen in The National Geographic Magazine im Jahre 1959 veröffentlichte, löste er damit grosse Bewunderung aus, und noch heute gehören sie zu den ansprechendsten Bildern des gestirnten Himmels. Es ist bekannt, dass die Aufnahmen das Ergebnis langer Forschungsarbeit über das Verhalten des Farbfilms unter den für die Astrophotographie geltenden Bedingungen sind. Technische Einzelheiten sind nur spärlich mitgeteilt worden.

Das Verhalten des Farbenfilmes kann erst beschrieben werden, nachdem einige Grundlagen über die Begriffe der Farbe und der Farbmetrik mitgeteilt worden sind.

Farbe entsteht nur durch die Wirkung des Lichtes auf einen Farbkörper, oder eine Lichtstrahlung kann farbig empfunden werden. Das Licht im physikalischen Sinn hat Wellennatur und kann durch eine ihm zugeordnete Wellenlänge charakterisiert werden. Das Zusammenwirken der Strahlung aller Wellenlängen zwischen etwa 400 bis 700 mμ wird vom Auge als weisser Lichteindruck empfunden, z.B. Sonnenlicht. Weisses Licht kann durch geeignete Mittel, z.B. durch ein Prisma in sein Spektrum aufgeteilt werden als eine Aneinanderreihung der Strahlungen aufeinanderfolgender Wellenlängen, die vom Auge als verschiedenfarbig empfunden wird. Die Reihenfolge der Farben des Spektrums weissen Lichtes ist: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett. Die Hauptanteile sind die Grundfarben Rot, Grün und Blau.

Das Licht eines Strahlers, das sich aus allen Wellenlängen des sichtbaren Spektrums von ca. 400 bis 700 mμ richtiger Intensität enthält, wird als weiss empfunden. Fehlt im Licht dieses Bereichs irgendein Wellenlängenanteil, wird die Strahlung buntfarbig empfunden.

Weisses Licht, das auf einen Körper auffällt, kann von diesem ganz oder teilweise reflektiert werden; der nicht reflektierte Anteil wird absorbiert. Vollständige Reflexion über den gesamten Spektralbereich

---

* Vortrag gehalten am Kolloquium über Farbenphotographie (Carona, 29.–30. September 1962).

haben weisse, teilweise graue und vollständige Absorption schwarze Körper. Selektive Absorption weissen Lichtes lässt Körper (Farbkörper) farbig erscheinen. Bei Fehlen des reflektierten Spektralanteiles im den Körper beleuchtenden Licht erscheint dieser schwarz. Körperfarben sind somit ein Zusammenwirken der Eigenschaften von Farbkörper und bestrahlendem Licht.

Das Auge empfindet stets den *totalen* Farbeindruck und es ist nicht in der Lage, eine spektrale Aufteilung vorzunehmen. Um das Farbensehen des Auges erklären zu können, sind einige Angaben über die Farbmischung notwendig, die sich auf die Grundfarben beschränken sollen.

Einzelne Grundfarben können durch Mischung vereint werden, und es entsteht ein neuer Farbeindruck. Diese *additive* Farbmischung ergibt beispielsweise aus Rot und Grün Gelb, aus Grün und Blau Blaugrün. Die Entfernung einzelner Grundfarben aus dem Spektrum weissen Lichtes ergibt ebenfalls Farbeindrücke. Durch diese *subtraktive* Farbmischung entsteht beispielsweise nach Entfernung von Grün Purpur oder nach Entfernung von Rot Blaugrün.

Das Auge hat drei farbempfindliche Organe für die genannten Grundfarben. Der Farbeindruck wird stets durch die Reizung der drei Organe vermittelt, nach den Grundsätzen der additiven Farbmischung. Weitere Sehorgane vermitteln den Helligkeitseindruck. Die Farbsehorgane funktionieren nur bei genügender Intensität der auftreffenden Strahlung.

Körperfarben entstehen, wie schon erwähnt, durch Absorption eines spektralen Anteils des auf sie auftreffenden Lichtes, subtraktiv; der nicht absorbierte Teil wird reflektiert, sofern der Körper nicht durchsichtig ist. Wird beispielsweise der blaue Farbanteil absorbiert und der Rest des Spektrums weissen Lichtes – bevorzugt die Grundfarben Grün und Rot – reflektiert, registriert das Auge die Körperfarbe Gelb. Die teilweise Absorption, respektive Reflexion von Grundfarben führt zu den mannigfaltigsten Farbeindrücken. Wir denken uns den Farbkörper in feinste Körnchen aufgeteilt, die sich mit anderen mischen lassen. Der zweite Farbkörper sei blau. Bei Bestrahlung mit weissem Licht werden von ihm die Grundfarben Rot und Grün absorbiert. Nach erfolgter Mischung der beiden Farbkörper werden von den beiden Komponenten alle Grundfarben absorbiert und der durch Mischung entstandene Körper erscheint schwarz. Zwei Farben, die durch diese Art der Mischung Schwarz ergeben, werden Komplementärfarben genannt. Es ist also Blau die Komplementärfarbe von Gelb, Blaugrün die von Rot und Purpur die von Grün. Ein Filter aus Farbglas lässt seine Eigenfarbe bevorzugt durchtreten und schwächt seine Komplementärfarbe beim Durchtritt je

nach seiner Dichte mehr oder weniger stark ab. Diese Tatsachen sind von grundlegender Bedeutung für den Einsatz von Farbfiltern in der Schwarz-Weiss-Photographie.

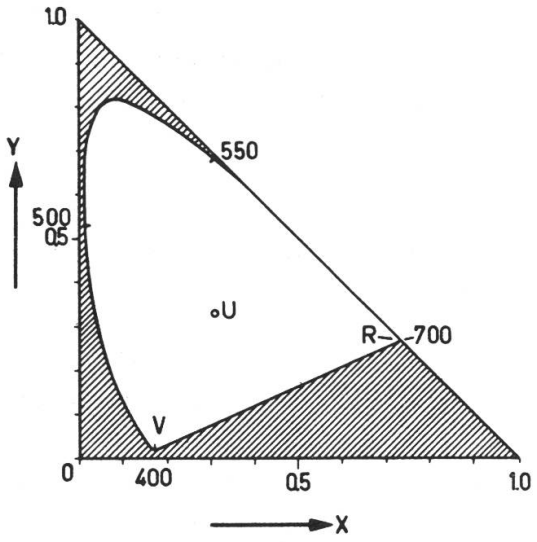
Eine bunte Farbe kann mit Weiss oder Schwarz gemischt werden und es entstehen reine Farben verschiedener Sättigung. Unreine Farben ergeben sich bei Mischung mit Grau.

Farben können empfindungsgemäss beurteilt werden, doch haftet der Methode die Subjektivität an. Die Farbmetrik befasst sich mit der objektiven Messung der Farben und stellt ihren Farbton, ihre Sättigung und ihre Helligkeit fest. Von den verschiedenen Methoden sei nur die üblichste, das CIE-System, kurz beschrieben (CIE = Commission Internationale de l'Eclairage ; Internationale Beleuchtungskommission).

Das CIE-System wählte drei Grundfarben – die sehr gesättigten Spektralfarben mit den Wellenlängen 435,8, 546,1 und 700,0 mμ und stellt fest, wie alle übrigen Farben sich aus diesen durch additive Mischung aufbauen lassen. Alle Spektralfarben – Strahlungen bestimmter Wellenlänge – werden durch die gewählten Grundfarben bewertet. Ohne näher auf die Theorie einzutreten, die in der einschlägigen Literatur ([1]) ausführlich beschrieben ist, seien nun gleich einige Hinweise zur Praxis der Farbmetrik gegeben.

Aus den drei Grundfarben sind drei sogenannte Normalspektralwertkurven hypothetischer Farben berechnet worden. Eine zahlenmässige Beurteilung der Farbe nach Farbton und Sättigung ist gewonnen, wenn auf Grund ihrer gemessenen spektralen Energieverteilung mit Hilfe der sogenannten Auswahlordinaten ihre Koordinaten eines Dreikörper-Systems bestimmt worden sind. Da die Summe der drei Farbkoordinatenwerte stets 1 ist, genügt die Angabe von zweien, der x- und y-Werte. Die Darstellung erfolgt im rechtwinkligen, gleichschenkligen Farbdreieck. In seinen Ecken liegen die nicht realisierbaren Farben. Die Farben höchster Sättigung – reine Spektralfarben – liegen auf einer gekrümmten Linie, die im Dreieck verläuft, mit einem Bereich von 400 bis 700 mμ. Innerhalb der von der Linie eingeschlossenen Fläche liegen alle Farben verschiedener Sättigung bis zum Weiss (in der Abbildung 1 mit U – Unbunt – bezeichnet), jedoch gleicher Helligkeit. Farbgleiche Punkte liegen auf einer Verbindungsgeraden zwischen der gesättigten Spektralfarbe und Weiss. Die Verbindungsgeraden von Komplementärfarben gehen durch den Unbuntpunkt. Alle aus zwei Farben mischbaren Farben liegen auf ihrer Verbindungslinie. Für verschiedene Helligkeitsstufen sind verschiedene Dreiecke notwendig und es ergibt sich eine räumliche Anordnung in Form eines Prismas, der Farbraum.

Abbildung 1 – CIE-Farbendreieck.



Eine transparente Farbe, z. B. eines Farbfilmes, wird gemessen durch Aufnahme ihrer spektralen Absorptionskurve. Mit Hilfe der Auswahlordinaten, deren Werte der einschlägigen Literatur ([1]) zu entnehmen sind, werden die Farbkoordinaten bestimmt, und die Farbe liegt zahlenmässig im Farbdreieck fest.

Die wenigen Hinweise zur Farbmetrik zeigen ihr Prinzip und weisen den Weg der Praxis andeutungsweise. Ihr Zweck ist, zu zeigen, dass eine objektive Messung der Farbe möglich ist mit Hilfe eines geeigneten Photometers. Eine subjektive Methode, mit der ein geschultes Auge bemerkenswerte Ergebnisse erreichen kann, ist der Farbvergleich mit der Farbtafel, z. B. der von OSTWALD.

2. DER FARBFILM

Um das Verhalten des Farbenfilmes in der Astrophotographie verstehen zu können, müssen einige Grundlagen der Schwarz-Weiss-Photographie vorangestellt werden.

Die photographische Emulsion enthält in Gelatine eingebettet das lichtempfindliche Bromsilber, dessen Kristalle durch auftreffendes Licht so verändert werden, dass es durch einen Entwickler zu elementarem Silber reduziert wird. Das fein verteilte Silber absorbiert auf das Negativ auffallendes Licht, und die bedingte optische Dichte oder Schwärzung ist abhängig von der wirksam gewesenen Lichtmenge. Sie ist das Produkt aus Lichtintensität und Zeit ihrer Einwirkung auf die Emulsion.

Die Eigenschaft der Emulsion selbst, die Art, die Einwirkungsdauer und die Temperatur des Entwicklers bedingen einen verschiedenen Zusammenhang zwischen einwirkender Lichtmenge und Schwärzung, was bildlich durch eine Schwärzungs- oder Gradationskurve ausgedrückt wird; auf der Abszisse wird die Lichtmenge und auf der Ordinate die dazugehörige Schwärzung aufgetragen.

Das Reziprozitätsgesetz von BUNSEN sagt aus, dass die Schwärzung S einer photographischen Schicht proportional dem Produkt aus Lichtintensität I und seiner Einwirkungszeit t sei.

$$S = k \cdot I \cdot t \ ,$$

k ist eine Konstante, teilweise gegeben durch die im oberen Abschnitt genannten Faktoren.

Lange Belichtungszeiten, wie sie in der Astrophotographie notwendig sind, lassen deutliche Abweichungen vom Reziprozitätsgesetz erkennen. Der Astronom Karl SCHWARZSCHILD trug dieser Tatsache Rechnung durch Einführung eines Exponenten (Schwarzschildexponent) und die Gleichung lautet nun:

$$S = k \cdot I \cdot t^p \ .$$

Leider ist auch p keine Konstante für beliebige Werte von t, doch trägt sie dem wirklichen Verhalten von Emulsionen weitgehend Rechnung. Ein Zahlenbeispiel möge das Gesetz von Schwarzschild illustrieren: Eine Emulsion werde mit der Zeiteinheit belichtet mit Licht der relativen Intensität 100. Eine Platte gleicher Art werde mit 100 mal geringerer Lichtintensität 100 mal länger belichtet. Der Schwarzschildexponent sei 0,8. Im ersten Fall ist das Produkt $I \cdot t^p = 100$, im zweiten dagegen nur 40, d. h. die Schwärzung wird nur 40 % jener der ersten Emulsion betragen. Die durch das Gesetz von Schwarzschild ausgedrückte Eigenschaft photographischer Emulsionen kompliziert die Farbenphotographie bei langen Belichtungszeiten sehr.

Moderne Farbenemulsionen, die auch für die Astrophotographie eingesetzt werden können, arbeiten nach dem Prinzip der subtraktiven Farbmischung. Auf dem Schichtträger sind drei selektiv farbenempfindliche Emulsionen aufgebracht, die auf die Grundfarben Rot, Grün und Blau ansprechen. Während einer Umkehrentwicklung entstehen an den nicht vom Licht beeinflussten Stellen der Emulsion die Komplementärfarben des aufgefallenen Lichtes. Rotes Licht beispielsweise erzeugt eine latente Schwärzung in der rotempfindlichen Schicht. Nach einer Umkehrentwicklung ist sie frei von Silber, dagegen ist solches in den blau- und grünempfindlichen Schichten vorhanden und an diesen Stellen entstehen bei der Farbentwicklung die Farben Gelb und Purpur. Die subtraktive Mischung von Gelb und Purpur ergibt Rot. In der Mehrzahl aller Fälle werden Mischfarben anstelle der reinen Grundfarben auftreten, die durch eine verschiedene optische Dichte der drei Farbschichten zustande kommen.

Von entscheidendem Interesse ist die Farbwiedergebe des Farbfilmes. Der moderne Dreischichtfilm hat eine hohe Stufe der farbgetreuen Wiedergabe erreicht, nachdem auch noch korrigierende Zwischenschichten (Masken) eingefügt worden sind. Farbfilme sind auf die Farbtemperatur der den Farbkörper beleuchtenden Lichtquelle abgestimmt.

Die *Farbtemperatur* bedarf der kurzen Erklärung. Ein Temperaturstrahler – z. B. ein auf Glühtemperatur gebrachter Wolframfaden einer Glühlampe – sendet Licht aus, dessen Spektrum kontinuierlich verläuft, doch sind die Intensitäten der einzelnen Wellenlängen verschieden. Die spektrale Zusammensetzung des Lichtes eines sogenannten schwarzen Temperaturstrahlers ist allein abhängig von seiner Temperatur. Ein glühendes Metall erscheint uns beispielsweise rötlich, bei weiterer Temperaturerhöhung wird es weissglühend. Im ersten Fall wird das Spektrum ein Intensitätsmaximum im Rot aufweisen, das sich bei Temperaturerhöhung in Richtung nach Blau hin verschiebt. Die Farbtemperatur ist die Temperatur des schwarzen Strahlers – Wolfram ist beinahe ein idealer Schwarzstrahler –, der Licht aussendet. Lichtquellen anderer Art können ebenfalls durch die Farbtemperatur charakterisiert werden, indem ihr Licht mit dem eines Schwarzstrahlers verglichen wird. So hat das Tageslicht eine Farbtemperatur von 5800^0 K (^{0}Kelvin), Glühlampen für photographische Zwecke etwa 3000 – 3200^0 K Ein neutrales Grau reflektiert stets alle auftreffenden Strahlen verschiedener Wellenlänge teilweise. Ein Farbfilm kann Grau nur als solches wiedergeben, wenn er auf die Farbtemperatur der Lichtquelle abgestimmt ist. Im Glühlampenlicht von 3000^0 K ist der relative Rotanteil grösser als im Tageslicht von 5800^0 K. Ein für Tageslicht abgestimmter Farbfilm wird ein mit einer Glühlampe beleuchtetes Grau rotstichig wiedergeben.

Galaktische und extragalaktische Nebel sind keine Temperaturstrahler, dagegen die Fixsterne. Sie emittieren in der Regel Licht, das ein Linienspektrum ergibt. Es kann dann nicht mehr von einer Farbtemperatur der Lichtquelle gesprochen werden. Der Dreischichtfilm vermag aus prinzipiellen Gründen Spektralfarben nie voll gesättigt wiederzugeben, doch aber farbtonrichtig.

Die lichtempfindliche Substanz aller drei Schichten eines Farbfilms ist das Bromsilber, und sie befolgt das Gesetz von Schwarzschild. Leider ist der Schwarzschildexponent der drei Schichten verschieden. Die für Astroaufnahmen notwendigen langen Belichtungszeiten ergeben einen grossen Einfluss des Schwarzschildexponenten, und die Folgen sind Farbverschiebungen auf dem Bild gegenüber der Farbvorlage. Eine farbige Astroaufnahme kann nie originalgetreue Farben zeigen. Eine Ausnahme sind Mondaufnahmen, die oft nur kurze Belichtungszeiten erfordern.

Eine weitere Schwierigkeit der Astrophotographie mit Farbfilm bieten die Objekte mit ihren sehr verschiedenen Helligkeiten. Die einen Objekte ergeben zu helle, andere zu dunkle Farben, deren Farbton aus den schon genannten Gründen zudem verschoben ist.

Welche Wege stehen offen, um zu farbrichtigen Astroaufnahmen zu kommen? Zufolge der langen Belichtungszeiten ist das Farbgleichgewicht der Emulsion gestört, und es muss versucht werden, dieses durch Farbfilter wieder herzustellen. Aus Gründen, die hier nicht angeführt werden können, müssen dazu oft noch sogenannte Masken eingesetzt werden. Näheres darüber ist der einschlägigen Literatur ([2]) zu entnehmen. Um die Belichtungszeiten während der Aufnahmen nicht zu verlängern, wird die Filterung vorteilhaft erst später in einem Umkopierprozess vorgenommen.

William C. MILLER verwendete für seine bekannten farbigen Himmelsaufnahmen den Super-Anscochrome-Film. Die Aufnahmen sind durch nachträgliche Filterung korrigiert worden. Für die Aufnahme des Krebsnebels im Taurus waren fast 5 Stunden Belichtungszeit notwendig. Dann mussten Zweidrittel des Blaulichtes und ein Fünftel des Grünlichtes ausfiltriert werden.

Im Laufe der Zeit sind Farbfilme verschiedener Marken für Astroaufnahmen eingesetzt worden. Bei Fixsternen fällt allgemein auf, dass die schwächeren Sterne fast ausnahmslos blau erscheinen. Die Markenunterschiede sind teilweise gross, doch kann auf Grund der bisherigen Untersuchungen der bestgeeignete Film noch nicht genannt werden. Die für die Filme angegebenen Empfindlichkeitszahlen sind in der Astrophotographie mit Vorsicht aufzunehmen. So kann ein niedrig-empfindlicher Farbfilm unter gleichen Bedingungen mehr Sterne in einem Himmelsfeld registrieren als ein höher empfindlicher.

Der Umkopierprozess erfordert einige Vorarbeiten, da die vom Film her bedingten Farbverschiebungen durch die langen Belichtungszeiten bekannt sein müssen. Eine Farbvorlage wird so beleuchtet, dass sie mit einer Belichtungszeit, die kürzer als eine Sekunde ist, aufgenommen werden kann. Diese Aufnahme wird als farbtonrichtig angenommen. Dieselbe Farbvorlage wird nun bei wesentlich schwächerer Beleuchtung mit verschiedenen Belichtungszeiten, die die Grössenordnung derjenigen von Astroaufnahmen haben sollen, photographiert. Zu beachten ist, dass für die Beleuchtung stets eine Lichtquelle genau derselben Farbtemperatur benützt wird. Durch photometrische Messung der Diapositive können die Farbkoordinaten der verschiedenen Aufnahmen bestimmt werden. Die Farbverschiebung eines lang belichteten Diapositivs kann nun durch Reproduktion weitgehend korrigiert werden, indem

das für die Beleuchtung des Diapositivs verwendete Licht zweckmässig gefiltert wird. Als Filter eignen sich vor allem die für die Herstellung farbiger Papierbilder verwendeten. Für die Ermittlung der optimalen Filterung ist eine Versuchsreihe notwendig. Nachdem die Filterung zur Korrektur für die durch eine festgelegte Langzeitbelichtung auftretende Farbverschiebung ermittelt worden ist, kann sie nun auf die Reproduktion von Astroaufnahmen übertragen werden unter der Voraussetzung dass Emulsionen derselben Nummer verwendet worden sind und dass die Bedingungen bei der Entwicklung dieselben waren. Das Verfahren würde wesentlich komplizierter, wenn mit Masken gearbeitet werden müsste. Es wäre sehr zu begrüssen, wenn Amateure, die über die notwendigen Mittel und die Zeit verfügen, das vorgeschlagene Verfahren mit Farbfilmen verschiedenster Herkunft auf breiter Basis prüfen würden.

LITERATUR

([1]) BOUMA, Farbe und Farbwahrnehmung. Philips' Technische Bibliothek (1951).

([2]) SCHULTZE, Farbenphotographie und Farbenfilm. Springer-Verlag (1953).

RÉSUMÉ

ASTROPHOTOGRAPHIE EN COULEURS

La photographie en couleurs d'objets célestes (étoiles, nébuleuses, etc.) présente de grandes difficultés dès qu'on veut fixer sur la pellicule les couleurs véritables des astres. Ces difficultés proviennent essentiellement de la brillance apparente extrêmement faible des étoiles et nébuleuses, ce qui nécessite des temps de pose très grands. Or le noircissement des diverses couches sensibles qui constituent l'émulsion des films en couleurs ne dépend pas linéairement du temps de pose (loi de Schwarzschild), d'où un écart appréciable entre la couleur du film développé et celle de la source. Les auteurs proposent aux amateurs intéressés des essais de photographies astronomiques en couleurs pour trouver les émulsions les plus convenables.

Manuskript eingegangen am 19. Dezember 1962.

Adresse des Verfassers:

Erwin GREUTER, Chemiker, Haldenweg 18, Herisau (AR).