Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft

Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft

Band: 36 (1978)

Heft: 167

Artikel: Dreifarben-Astrophotographie als Ergänzung der Dreifarben-Photometrie

Autor: Wiedemann, Doris

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-899493

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: 15.07.2025

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

Dreifarben-Astrophotographie als Ergänzung der Dreifarben-Photometrie[1])

von DORIS WIEDEMANN,
Astronomisches Institut der Universität Basel

Die Dreifarben-Astrophotographie schliesst sich an die Dreifarben-Photometrie an, da sie sich wie diese auf die Auswertung photographischer Aufnahmen in drei verschiedenen, genau definierten Spektralbereichen nach JOHNSON (UBV) oder BECKER (RGU) stützt. Diese Spektralbereiche werden durch die Kombination entsprechend sensibilisierten Negativmaterials mit geeigneten Filtern selektioniert, wobei die Belichtungszeiten und die Gradationen der einzelnen Aufnahmen einander angepasst werden müssen. Fig. 1 zeigt, welche Negativmaterialien und Filter im Fall der RGU-Photometrie nach BECKER zur Anwendung gelangen.

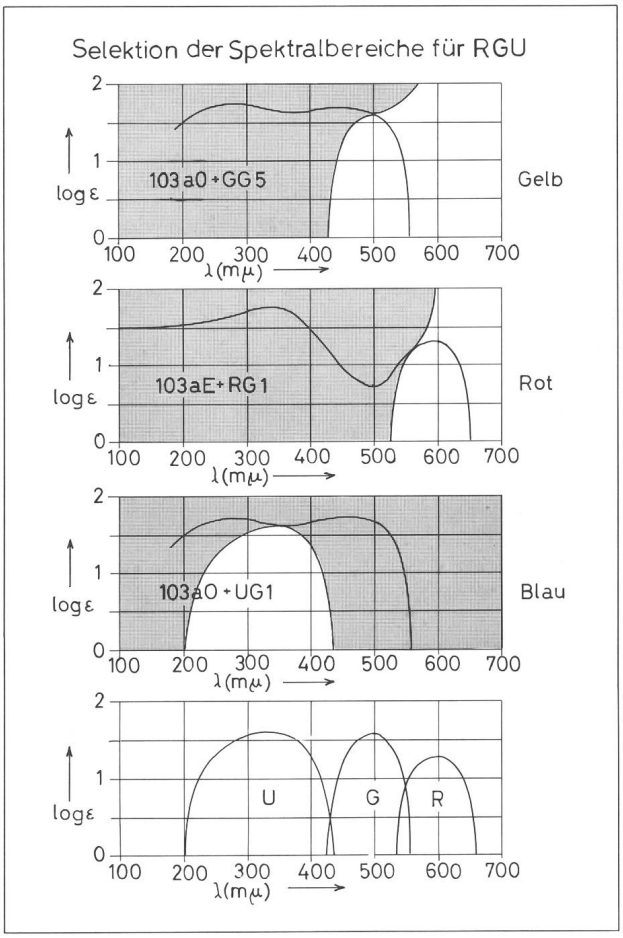

Fig. 1: Spektrale Selektionen beim RGU-System nach BECKER und deren Ergebnis. (Prinzipielle Darstellung).

Die Dreifarben-Astrophotographie benützt ebenfalls das Prinzip dreier Aufnahmen in drei definierten Spektralbereichen (unter Verzicht auf eine Kompensation der interstellaren Verfärbung und Absorption, die bei der Dreifarben-Photometrie nicht ausser Acht gelassen werden dürfen). Sie gewinnt damit den grossen Vorteil, auch sehr lichtschwache Objekte, wie ferne Spiralnebel, in den natürlichen Farben abbilden zu können (siehe Titelbild). Sie reicht damit erheblich weiter als die Sehkraft des menschlichen Auges, dessen Stäbchenschicht zwar sehr empfindlich ist, aber nur Helligkeitseindrükke vermitteln kann, während seine Zäpfchenschicht, die nach YOUNG und HELMHOLTZ mittels dreier Rezeptoren auf die Grundfarben Blau (380—500 nm), Gelbgrün (450—600 nm) und Rot (550—780 nm) anspricht, viel weniger empfindlich ist, so dass eine Erkennung von Farben auf das Tagsehen beschränkt bleibt.

Die in der Photographie verwendeten sensibilisierten Bromsilberschichten sind überdies dem Auge dadurch überlegen, dass sie die Lichteindrücke summieren. Dieser günstige Umstand ermöglichte schliesslich die allgemein bekannten direkten Farbaufnahme-Verfahren; diesen liegt das Prinzip zugrunde, auf einem Träger (Film) drei für die drei Grundfarben sensibilisierte Schichten übereinander anzuordnen und die durch die Entwicklung entstandenen Silberbilder durch Farbstoffbilder in den drei Grundfarben oder ihren Komplementärfarben zu ersetzen, womit man im ersten Fall ein Farbdiapositiv, im zweiten Fall aber ein Bild in den Komplementärfarben erhält, von dem Kopien in den natürlichen Farben hergestellt werden können. Zwei etwas unterschiedliche Verfahren sind in den heute gebräuchlichen Farbfilmen vertreten: Beim *Kodachrome*-Verfahren (L. MANNES und L. GODOWSKI, 1935) werden die Silberbilder nach ihrer Entfernung durch selektive Diffusion der entsprechenden Farbstoffe in die einzelnen Schichten ersetzt, während beim *Agfacolor*-Verfahren (G. WILLMANNS und W. SCHNEIDER, 1941) die Schichten nach Entfernung der Silberbilder noch Azo-Kuppler enthalten, die sich in alkalischer Lösung mit einer Azo-Komponente zu den entsprechenden Azofarbstoffen verbinden. Hierbei entstehen also die drei Farb-Teilbilder gleichzeitig durch einen chemischen Prozess, weshalb das Agfacolor-Verfahren einfacher als das Kodachrome-Verfahren ist. Anfangs war das Agfacolor-Verfahren durch eine ungenügende Farbsättigung und eine mangelhafte Haltbarkeit der Azofarbstoffe im Nachteil. Verbesserungen dieses Verfahrens konnten diese Nachteile inzwischen weitgehend beheben.

Die Erreichung dieses Standes der Phototechnik erweckte begreiflicherweise grosse Hoffnungen, nun auf einfachste Weise auch Farbaufnahmen von Himmelsobjekten erhalten zu können. Es gelang auch sehr bald, von hellen Objekten, wie dem Mond und den Planeten Mars, Jupiter und Saturn schöne Farbbilder zu erhalten. Versuche, lichtschwächere Objekte ebenfalls in Farben aufzunehmen, scheiterten jedoch daran, dass

einerseits die Empfindlichkeit photographischer Schichten mit zunehmender Expositionsdauer exponentiell abnimmt und dass andererseits diese Abnahme für verschiedenen sensibilisierte Emulsionen unterschiedlich verläuft. Dadurch entstehen schon bei Expositionszeiten von 30 Sekunden Farbverfälschungen, die mit zunehmender Expositionszeit immer deutlicher werden und damit eine Wiedergabe lichtschwacher Objekte in ihren natürlichen Farben völlig verunmöglichen.

Die ungleiche exponentielle Abnahme der Schwärzung photographischer Schichten bei Langzeitbelichtungen wurde zuerst von SCHWARZSCHILD erkannt und nach ihm *Schwarzschild*-Effekt genannt. Da er von allen bei photographischen Schichten auftretenden Effekten bei weitem der wichtigste ist, sei er an Hand der Fig. 2 erläutert.

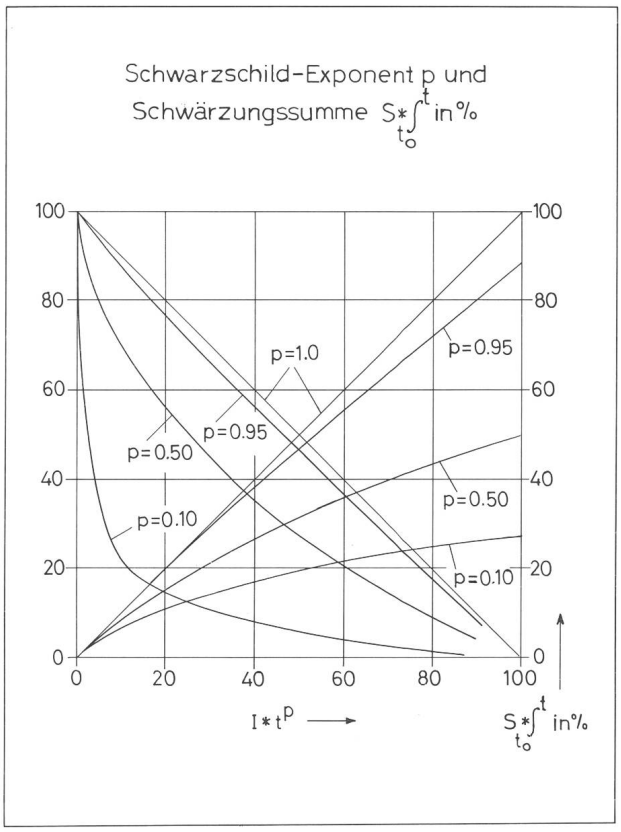

Fig. 2: Zustandekommen und Auswirkung des SCHWARZSCHILD-Effekts (Prinzipielle Darstellung).

Wie SCHWARZSCHILD gefunden hat, kann der Verlauf der Schwärzung einer photographischen Schicht durch die Formel $I * t^p$ dargestellt werden, wobei I die Lichtintensität (in Lux), t die Belichtungszeit und p einen Exponenten darstellen, dessen Idealwert = 1 ist. Für eine konstante Lichtintensität ergeben sich dann für verschiedene angenommene p-Werte die links fallend eingezeichneten Kurven. Die tatsächliche Schwärzung der Schicht ergibt sich dann durch Integration (Summation) der Schwärzungen über die Zeit, wie sie in den nach rechts ansteigenden Kurven dargestellt ist. Man erkennt, dass nur bei p = 1 die Schwärzungssumme 100% erreicht. Bei p-Werten kleiner als 1 ist die Schwärzungssumme entsprechend kleiner. Handelsübliche Photoschichten (Kodak Panatomic-X, Kodak Tri-X, aber auch die Schichten von Farbfilmen) sind durch p-Werte zwischen 0.4 und 0.7 gekennzeichnet, während die noch zu besprechenden Langzeit-Emulsionen für wissenschaftliche Zwecke, wie Kodak 103aO, p-Werte um 0.9 besitzen. Bedenkt man, dass verschieden sensibilisierte Emulsionen in den Mehrschichten-Farbfilmen unterschiedliche p-Werte aufweisen, so wird verständlich, dass bereits Aufnahmen noch relativ heller Himmelsobjekte, wie beispielsweise des Orion-Nebels (M 78) durch Farbverfälschung gestört sein müssen.

Da der SCHWARZSCHILD-Exponent p temperaturabhängig ist, machte schon 1960 A. A. HOAG[2]) den Vorschlag, ihn durch Unterkühlung der Farbfilme auf —40° C gegen den Wert 1 zu verschieben. Versuche dieser Art (mit Farbfilmen in Kühlkassetten) haben dann 1966 H. D. ABLES und J. W. CHRISTY[3]) im U. S. Naval Observatory in Flagstaff mit Erfolg durchgeführt. Ihre Aufnahme des grossen Orion-Nebels (M 78) galt lange Zeit als die beste Farbaufnahme dieses Objekts. In der Folge zeigte sich jedoch, dass mit Objekten dieser Helligkeit bereits die Grenze des Möglichen erreicht war. Farbtreue Aufnahmen lichtschwächerer Objekte waren nicht zu erzielen.

Da die exponentielle Abnahme der Schwärzung photographischer Schichten mit p-Werten im Bereich von 0.5 die Belichtungszeiten bei Langzeitaufnahmen auf etwa das Doppelte verlängert, war schon lange vor der Aufnahme der Versuche, Farbaufnahmen auch lichtschwacher Objekte mit dem Dreifarben-Verfahren zu erhalten, von den Fachastronomen der Wunsch nach Negativmaterialien mit SCHWARZSCHILD-Exponenten von nahezu = 1 erhoben worden. In Zusammenarbeit mit den grossen amerikanischen Sternwarten, insbesondere mit W. C. MILLER[4]) gelang es schliesslich Kodak, derartige Emulsionen herzustellen. Sie sind unter der Bezeichnung «Spectroscopic»-Platten und -Filme mit der Typenbezeichnung 103a erhältlich. Ihre wichtigsten Sensibilisierungen sind: 103aO für Blau, 103aG für Grün und 103aE für Rot, die zusammen mit den Filtern UG 1, GG 5 und RG 1 selektive Aufnahmen in den drei Spektralbereichen ermöglichen (vergl. Fig. 1). Da sie zugleich einen SCHWARZSCHILD-Exponenten von nahezu = 1 aufweisen, also die relativ kürzesten Belichtungszeiten erlauben, stellen sie gegenwärtig das bestmögliche Aufnahmematerial für astrophotographische Zwecke dar. Es lag somit nahe, «Spectroscopic»-Filme unter den Bedingungen gleicher Schwärzungen und gleicher Gradationen zur Erstellung von Farbauszügen zu verwenden und auf diese Weise farbtreue Bilder auch beliebig schwacher Himmelsobjekte zu erhalten. E. BRODKORB, E. ALT, K. RIHM und H. RUSCHE[5]) haben dies als erste wie folgt verwirklicht: Von dem gewählten Himmelsobjekt wurden hintereinander drei Aufnahmen gemacht, deren Belichtungszeiten für gleiche Schwärzungen gewählt wurden und deren Gradationen durch Steuerung der Entwicklung einen passenden, gleichen Verlauf erhielten. Dafür wird in der Mitteilung der Autoren[5]) das folgende Beispiel gegeben:

Blauauszug-Aufnahme: Film 103aO, Filter KV 389, Exposition: 20 Min.

Grünauszug-Aufnahme: Film 103aG, Filter KV 470, Exposition: 28 Min.

Rotauszug-Aufnahme: Film 103aE, Filter OG 590, Exposition: 36 Min.

Zur Erzielung eines gleichen Gradationsverlaufs un-

ter Anpassung an den Kontrast des Objekts ist eine Maschinenentwicklung unter Einhaltung genauer Zeiten und einer auf 0.2° C konstanten Temperatur erforderlich. Densitometrische Kontrollen zeigen dann, wie weit die Teilnegative in ihrer Deckung übereinstimmen und bis zu welchem Grad der Gamma-Wert dem Kontrastumfang des Objekts entspricht.

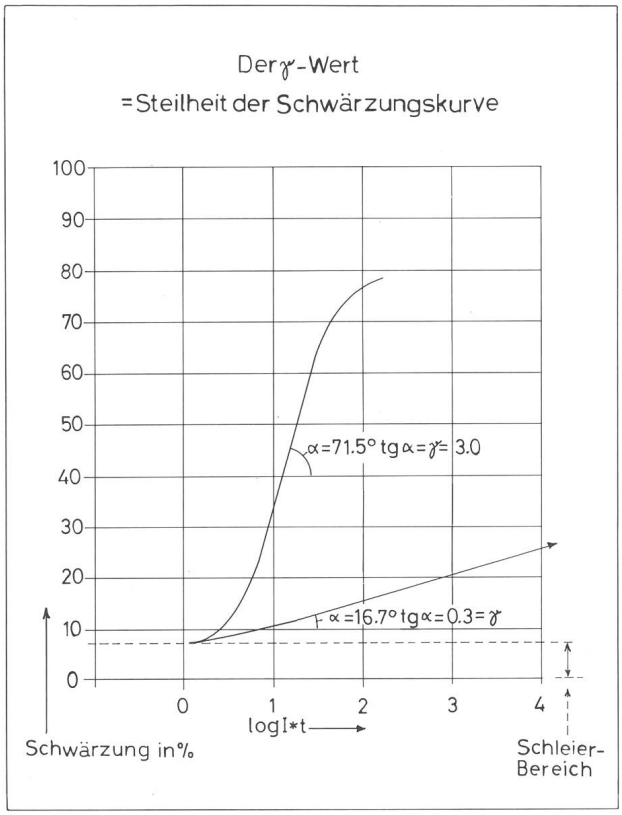

Fig. 3: Zur Erklärung des Gamma-Wertes photographischer Schichten (Prinzipielle Darstellung).

Der Gamma-Wert ist ein Mass für die Steilheit der Schwärzungskurve; mit ihm wird der Tangens des Winkels bezeichnet, den der geradlinige Teil dieser Kurve mit der X-Achse (log I * t) bildet. Der Gamma-Wert kann durch die Entwicklung gesteuert und zwischen 0.3 und 3 variiert werden. Sinngemäss erfordern kontrastreiche Objekte einen niedrigen und kontrastarme Objekte einen hohen Gamma-Wert. Der bei jeder Entwicklung unvermeidliche Entwicklungs-Grauschleier ist in der Fig. 3 mit etwa 8% Schwärzung eingetragen.

Um eine der Farbempfindlichkeit des menschlichen Auges möglichst genau entsprechende Farbwiedergabe zu erreichen, ist der Spektralumfang der Aufnahmen jenem des Auges anzupassen. Bei den Blau-Aufnahmen ist daher zusätzlich ein UV-Sperrfilter erforderlich, um die bei Emissionsnebeln vorhandene UV-Strahlung des einfach ionisierten Sauerstoffs bei 3727 Ångström zu unterdrücken, für die das menschliche Auge nicht empfindlich ist. Diese O II-Strahlung entsteht indirekt durch eine He-Strahlung, die ihrerseits eine N-Strahlung und diese dann die O II-Strahlung anregt, da deren Energiesprünge (Niveau-Differenzen) gleiche Werte haben.

Die 103a-Schichten sind relativ grobkörnig, weshalb es bei der Erstellung von Farbdiapositiven und Farbkopien zweckmässig ist, diese nach dem Komposit-Verfahren von G. BRÜCKNER und G. NEMEC[6]) herzustellen. Hierbei werden jeweils mehrere gleiche Negative pro Farbauszug übereinanderkopiert. Die Vorteile dieses Vorgangs sind 1) die Summierung schwächster Lichteindrücke, 2) eine Steigerung des Informationsgehalts, 3) eine weitgehende Unterdrückung des Negativkorns und 4) eine Beseitigung der unvermeidlichen kleinen Negativ-Fehler. Aus diesen Gründen wird das Komposit-Verfahren seit etwa 10 Jahren allgemein angewendet.

Bei der Herstellung der Farbpositive werden die drei Farbauszüge über entsprechende Filter und in genauer Deckung auf Farbpositivmaterial kopiert oder vergrössert, und zwar der Blauauszug über das Filter U 499 Blau, der Grünauszug über das Filter U 531 Grün und der Rotauszug über das Filter L 622 Rot. Die Reihenfolge der Auszüge ist beliebig, die Belichtungszeiten müssen aber sehr genau darauf ausgerichtet werden, dass in einem Testversuch mit einem Graukeil der Hintergrund rein grau bis rein schwarz gedeckt erscheint. Nur dann wird der Informationsgehalt der Farbauszüge bzw. ihrer Kompositen unverfälscht wiedergegeben. Als Farbpapier kann das Kodak RC-Papier und als Farbfilm der Agfacolor-Positivfilm M dienen.

Das hier kurz beschriebene Dreifarben-Verfahren, wie es von den Autoren E. BRODKORB, E. ALT, K. RIHM und H. RUSCHE[5]) entwickelt wurde, hat inzwischen seine hervorragende Leistungsfähigkeit vielfach unter Beweis gestellt, so dass es heute ungeachtet seiner nicht unerheblichen Schwierigkeiten nicht nur von prominenten Astroamateuren, wie H. VEHRENBERG[7]), sondern auch an grossen Sternwarten in den U.S.A. und Australien ausgeübt wird. Wie es das Titelbild dieser Nummer zeigt, das in einer Aufnahme von D. MALIN[8]) mit dem 2.8 m-Teleskop von Siding Spring den Spiralnebel M 83 (NGC 5236) in Hydra darstellt, tragen solche Bilder wesentlich zum Verständnis dieser aufregenden Objekte bei. Es darf angenommen werden, dass farbtreue Bilder von Himmelsobjekten, auch wenn ihnen von Fachastronomen ein wissenschaftlicher Wert abgesprochen wird, ihre Berechtigung in einer anschaulichen Darstellung haben, die beispielsweise die Verteilung von kosmischem Staub und ionisierten Gasen (Wasserstoff) auf einen Blick erkennen lässt, wofür viele Objekte, besonders aber M 20 (Trifid-Nebel)[9]) als Beispiele angeführt werden können. Vielleicht werden sich in Zukunft auch andere Teilgebiete der beschreibenden Astronomie, wie beispielsweise die Sternspektroskopie, diese Vorteile zunutze machen wollen.

Literatur:

1) Gekürzte Fassung eines Referates, vorgetragen im Astronomischen Institut der Universität Basel am 29. Mai 1978.
2) A. A. Hoag, Publ. Astr. Soc. Pacific *72,* 352 (1960); *73,* 301 (1961); Sky and Telescope *28,* 332 (1964); vergl. auch: H. Eggeling, Sky and Telescope *34,* 400 (1967).
3) H. D. Ables and J. W. Christy, Publ. Astr. Soc. Pacific *78,* 495 (1966).
4) W. C. Miller, Publ. Astr. Soc. Pacific *76,* 433 (1964).
5) E. Brodkorb, Sterne und Weltraum *11,* 347 (1972); E. Alt, E. Brodkorb, K. Rihm und H. Rusche, Sky and Telescope *48,* 120 (1974); E. Alt und H. Rusche, ORION *33,* 67 (1975); E. Brodkorb, E. Alt, K. Rihm und R. Mehrmann, ORION *33,* 152 (1975).
6) G. Brückner, Sterne und Weltraum *4,* 200 (1965); G. Nemec, Sterne und Weltraum *5,* 94 (1966).
7) H. Vehrenberg, Sky and Telescope *55,* 295 (1978).
8) D. Malin, Siding Spring Observatory, 1978. Aufnahmen liegen vor von: M 83, M 20, Carina-Nebel, Doradus-Nebel und Centaurus A.
9) vergl. hierzu: ORION *33,* 202—203 (1975).