

Welche Farbe hat der Mond?

A. Donges

1 | Einleitung

Teilt man Schülern mit, dass die Farbe der Mondoberfläche in etwa der eines Stückes Kohle entspricht [1, S. 48], so ruft dies oft ungläubiges Staunen hervor. Dem entsprechend groß ist das Interesse, dies zu überprüfen. In diesem Aufsatz wird gezeigt, wie die Albedo (= Verhältnis von reflektiertem zu einfallendem Sonnenlicht) des Mondes mit einfachen experimentellen Mitteln abgeschätzt werden kann.

Werden Schüler nach der Farbe des Mondes gefragt, so lautet die Antwort meist „hellgelb“ oder „weiß“. Die gleichen Antworten erhält man auch auf die Frage nach der Farbe der Sonne. Da es sich bei dem Licht des Mondes um diffus reflektiertes Sonnenlicht handelt und da Sonne und Mond in etwa die gleiche Farbe haben, kann man davon ausgehen, dass sich die spektrale Zusammensetzung des Sonnenlichts bei der diffusen Reflexion an der Mondoberfläche kaum ändert. Für die weiteren Überlegungen wird daher angenommen, dass (zumindest im sichtbaren Spektralbereich) die Mondoberfläche ein wellenlängenunabhängiges Reflexionsvermögen besitzt. Mit anderen Worten: Die Mondoberfläche ist grau.

Zur experimentellen Bestimmung der Albedo des Mondes werden fotografische Aufnahmen des Mondes und der Sonne angefertigt und miteinander verglichen.

2 | Geometrisch-optische Überlegungen zur Bildhelligkeit

Wir berechnen zunächst die Energieflussdichte in der Filmebene der Kamera, wenn die Sonne fotografiert wird. In der Filmebene entsteht nach den Abbildungsgesetzen das kreisrundes Bild der Sonne mit einer Fläche von

$$A_S = \frac{\pi R_S^2 f^2}{g_{SE}^2} \quad (1)$$

(R_S : Sonnenradius, f : Brennweite der Kamera = Bildweite, g_{SE} : Abstand zwischen Sonne und Erde). Da durch das Kameraobjektiv nur der Bruchteil

$$\frac{\pi \frac{D^2}{4}}{4\pi g_{SE}^2} = \frac{D^2}{16g_{SE}^2} \quad (2)$$

der isotrop emittierten Sonnenstrahlung gelangt (D : Blendendurchmesser des Objektivs), berechnet sich der Energiefluss in der Filmebene zu

$$\Delta P_S = \frac{D^2}{16g_{SE}^2} P_S \quad (3)$$

(P_S : Energiefluss der Sonne). Für die Energieflussdichte in der Filmebene gilt somit (unabhängig vom Abstand zwischen Sonne und Erde)

$$I_S = \frac{\Delta P_S}{A_S} = \frac{D^2 P_S}{16\pi R_S^2 f^2} \quad (4)$$

Als nächstes berechnen wir die Energieflussdichte in der Filmebene der Kamera, wenn der Vollmond fotografiert wird. Auf den Mond trifft nur der Bruchteil

$$\frac{\pi R_M^2}{4\pi g_{SM}^2}$$

des von der Sonne abgestrahlten Energieflusses (g_{SM} : Abstand zwischen Sonne und Mond, R_M : Mondradius). Da der Mond nur den Bruchteil W (sphärische Albedo¹) des einfallenden Sonnenlichts reflektiert, berechnet sich der von der Mondoberfläche reflektierte Energiefluss zu

$$P_M = W \frac{R_M^2}{4g_{SM}^2} P_S \quad (5)$$

Unter der Annahme, dass das reflektierte Licht homogen in den Halbraum (Raumwinkel: 2π) gestrahlt wird, gelangt nur der Energiefluss

$$\Delta P_M = \frac{\pi \frac{D^2}{4}}{2\pi g_{ME}^2} W \frac{R_M^2}{4g_{SM}^2} P_S \quad (6)$$

(g_{ME} : Abstand zwischen Mond und Erde) bis zur Filmebene. In der Filmebene entsteht bei Vollmond wieder ein kreisrundes Bild mit einer Fläche von

$$A_M = \frac{\pi R_M^2 f^2}{g_{ME}^2} \quad (7)$$

Für die Energieflussdichte in der Filmebene gilt somit

$$I_M = \frac{W D^2 P_S}{32\pi g_{SM}^2 f^2} \quad (8)$$

Das Verhältnis der Energieflussdichten beträgt damit

$$\frac{I_S}{I_M} = \frac{2}{W} \left(\frac{g_{SM}}{R_S} \right)^2 \quad (9)$$

Mit $g_{SM} = 1,5 \cdot 10^{11}$ m und $R_S = 7 \cdot 10^8$ m folgt schließlich

$$\frac{I_S}{I_M} = \frac{9 \cdot 10^4}{W} \quad (10)$$

bzw.

$$W = 9 \cdot 10^4 \frac{I_M}{I_S} \quad (11)$$

Da die Energieflussdichte in der Filmebene beim Fotografieren der Sonne recht hoch ist, empfiehlt sich die Verwendung eines so genannten Sonnenfilters. Mit einem Sonnenfilter der optischen Dichte d (d. h. die Transmission bezüglich der Energieflussdichte ist 10^{-d}) folgt

$$W = 9 \cdot 10^{-(d-4)} \frac{I_M}{I_S}, \quad (12)$$

wobei \tilde{I}_S die um den Faktor 10^{-d} abgeschwächte Energieflussdichte in der Filmebene beim Fotografieren der Sonne bedeutet.

$$\tilde{I}_S = 10^{-d} I_S \quad (13)$$

Mit einem handelsüblichen Sonnenfilter der optischen Dichte 5 folgt aus Gleichung (12)

$$W = 0,9 \frac{I_M}{I_S} \quad (14)$$

3 | Experimenteller Teil

Hätte der Mond eine Albedo von 0,9, so würden in diesem Fall (Aufnahme der Sonne mit Filter der optischen Dichte 5, Aufnahme des Mondes ohne Filter) die Bilder

¹ Die sphärische Albedo ist das Verhältnis der von einer Kugelfläche nach allen Richtungen gestreuten Lichtmenge zur parallel eingestrahlenen Lichtmenge.

von Mond und Sonne bei gleichen Aufnahmeparametern (gleiche Blende, Belichtungszeit und Entwicklungsdauer, gleicher Film und gleiche Höhe von Sonne und Mond über dem Horizont) die gleiche Schwärzung des Film hervorrufen.

Abb. 1 zeigt je eine Aufnahme des Vollmondes (ohne Sonnenfilter) und der Sonne (mit Sonnenfilter der optischen Dichte 5) mit einer handelsüblichen (kurzbrennweitigen) Digitalkamera bei gleichen Aufnahmebedingungen. Es ist deutlich zu erkennen, dass das Bild des Mondes dunkler ist als das überbelichtete Bild der Sonne, d. h.

$$I_M \ll \tilde{I}_S. \quad (15)$$

Deshalb ist nach Gleichung (14) auch die Albedo des Mondes deutlich kleiner als 0,9. Mit anderen Worten: Der Mond reflektiert kaum Licht, d. h. er ist fast schwarz. Seine scheinbare Helligkeit wird durch den starken Kontrast zum dunklen Nachthimmel nur vorgetäuscht. In der Literatur wird die über die sichtbare Oberfläche des Mondes gemittelte sphärische Albedo mit 0,07 angegeben [z. B. 1, S. 62]. Er hat damit in etwa die Farbe von einem Stück Kohle.

Danksagung

Ich danke meinem Schüler, Herrn *Benjamin Matt*, für die Anfertigung der beiden Aufnahmen.

Literatur

[1] *Dieter Vormholz*: *Astronomie auf Klassenfahrt*. Braunschweig: Westermann Schulbuchverlag (1996)



Abb. 1: Fotografische Aufnahmen (a) der Sonne (mit Sonnenfilter der Dichte 5) und (b) des Mondes (ohne Filter, rechts) bei sonst gleichen Bedingungen (Brennweite: 35,5 mm, Belichtungszeit: 1/1000 s, Blendendurchmesser: 3,4 mm). Es wurde eine Digitalkamera verwendet.

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. *Axel Donges*, Fachhochschule und Berufskollegs nta Prof. Dr. *Grübler gGmbH*,
Seidenstraße 12-35, D-88316 Isny im Allgäu,
E-Mail: donges@nta-isny.de

Welche Farbe hat der Mond?

A. Donges

Mit einfachen geometrisch-optischen Überlegungen und zwei fotografischen Aufnahmen lässt sich zeigen, dass die Mondoberfläche fast schwarz ist.

PdN-PhiS x/57, S. xx