Astronomie: Scheinbare und absolute Helligkeit

Description

Gehört zu: [Astronomie](#)

Siehe auch: [Grenzgrößen](#), [Lichtverschmutzung](#), [Entfernungsbestimmung](#), [SI-Einheiten](#), [Emissionsnebel](#), [SQM](#), [Hertzsprung-Russel-Diagramm](#)

Benutzt: [Latex-Plugin für WordPress](#)

Stand: 05.12.2022 (Pogson, Flux, Flächenhelligkeit, Parsec)

Die Helligkeit von Sternen

Sterne werden physikalisch als sog. "punktförmige Lichtquellen" behandelt im Gegensatz zu flächigen Objekten (dazu siehe unten).

Die (scheinbare) Helligkeit von Sternen misst der Astronom in "Größenklassen", auch "Magnituden" (*mag*) genannt.

Das geht auf die Babylonier zurück und wurde von **Hipparch (190-120 v.Chr.)** für seinen berühmten Sternkatalog übernommen.

Die hellsten Sterne sind "Größenklasse 1" z.B. Antares, Regulus, ...

Die dunkelsten, gerade noch sichtbaren Sterne sind "Größenklasse 6".

Noch **dunklere** Sterne, die nur noch in Teleskopen sichtbar sind, haben also Größenklassen wie 7, 8, 9, ...

Es gibt aber auch **hellere** Sterne z.B.

- Wega 0,0 mag
- Sirius -1,45 mag
- Venus (max.) -4,3 mag
- [Vollmond](#) -12,7 mag
- Sonne -26,8 mag
- **Die ISS: -2,0 mag bis -4,7 mag** (siehe: [Internationale Raumstation](#))

In der Neuzeit wurde für die Helligkeiten eine **logarithmische** Skala definiert, weil das Auge Helligkeiten nach dem Weber-Fechner'schen Gesetz logarithmisch wahrnimmt. Es war der britische Astronom **Norman Robert Pogson (1829 - 1891)** der 1856 die Helligkeitsskala der Sterne standardisierte, indem er das bereits von Hipparchos eingeführte System der Größenklassen in ein **logarithmisches** Verhältnis setzte:

$\Delta m = m_1 - m_0 = -5 \cdot \log_{10} \frac{\Phi_1}{\Phi_0} \log_{10}(100)$
(auch im Folgenden ist immer der 10er Logarithmus gemeint)

Wobei Φ der **Lichtstrom** (gemessen in Lumen) ist, der von einer punktförmigen Lichtquelle ausgeht, was ich in meinem Artikel über die [physikalischen Maßeinheiten](#) näher erläutere.

Erhalten bleibt der klassische Helligkeitsunterschied von 5 Magnituden, der einen Helligkeitsunterschied vom Faktor 100 bedeutet. Ursprünglich wollte man die Helligkeitsskala so positionieren, dass der Polarstern genau 2,0 mag hat.

Ein Stern, von dem ein Lichtstrom Φ_v (in Lumen) ausgeht, erscheint in einer scheinbaren Helligkeit (gemessen in Magnituden) von:

$$m = -14.2064 + 2.5 \log \Phi_v \quad [\text{mag}]$$

Der Faktor 2,5 ergibt sich aus der Skalierung: $\frac{5}{\log 100}$. Die -14,2064 sind erforderlich, um den Nullpunkt so zu positionieren, dass die Zahlen von Hipparchos wieder herauskommen.

Nicht zu verwechseln ist das mit $100^{\frac{1}{5}} = 2,512$, was den Intensitätsunterschied zwischen zwei Größenklassen ausmacht.

Von einem Stern der scheinbaren Helligkeit m (gemessen in Magnituden) geht ein **Lichtstrom** (gemessen in Lumen) aus von:

$$\Phi_v = 10^{(-m-14.2064)/2.5} \quad [\text{Lumen}]$$

Einfacher wird dieser Zusammenhang, wenn man statt der SI-Einheit Lumen für den Lichtstrom, den in der Astronomie häufig verwendeten $\text{Flux} = 10^{-\frac{m}{2.5}}$ nimmt. Damit gilt:

$$m = -2.5 \log \text{Flux}$$

Lichtstrom heisst auf englisch: **luminous flux**. Der Begriff "Flux" alleine wird sehr vielfältig (z.B. auch in der Photometrie) verwendet und ist verschieden definiert; man muss so einen Flux immer umrechnen in andere definierte physikalische Größen. In diesem Falle beispielsweise:

$$\Phi_v = 10^{\frac{14.2064}{2.5}} \cdot \text{Flux}$$

Die scheinbare Helligkeit eines Objekts beeinflusst auch seine Eignung als [Beobachtungsobjekt](#) (z.B. Grenzgröße, [Lichtverschmutzung](#) etc.).

Umrechnungen

Die Wikipedia gibt für einen "sternklaren Nachthimmel" eine Leuchtdichte (also Flächenhelligkeit) von $0,001 \text{ cd m}^{-2}$ an. Nach der unten stehenden Umrechnungsformel wären das $20,08 \text{ mag/arcsec}^2$.

Wobei "mag" für **Größenklassen** (Magnituden) der klassischen [astronomischen Helligkeitsskala](#) steht.

Formeln:

- $1 \text{ cd/m}^2 = 12,58 \text{ mag/arcsec}^2$
- Allgemein gilt: Astronomische Leuchtdichte in $\text{mag/arcsec}^2 = 12,58 \cdot 2,5 \cdot \lg(L_v)$ (wobei L_v : Leuchtdichte in cd/m^2 und $\lg$ der 10er Logarithmus ist)
- Umgekehrt erhalten wir die SI-Leuchtdichte in cd/m^2 durch: $L_v = 10^{\frac{-12,58 \cdot 2,5}{2,5}}$

Addition von Scheinbaren Helligkeiten (Magnituden)

Wir betrachten als Beispiel die Große Konjunktion von Jupiter und Saturn, wo am 21.12.2020 die beiden Planeten sich bis auf ca. 6 Bogenminuten nahe kamen.

Bei **punktförmigen Lichtquellen** muss man zur Addition der Scheinbaren Helligkeiten die [Lichtströme](#) (in Lumen) addieren!

Die Helligkeit des Jupiters war: $-1.97 \text{ mag} = 1.2748 \cdot 10^{-5}$ Lumen

Die Helligkeit des Saturns war: $0,63 \text{ mag} = 0.1163 \cdot 10^{-5}$ Lumen

In der Summe also $1.3911 \cdot 10^{-5}$ Lumen, was einer scheinbaren Helligkeit von zusammen -2.06 mag entspricht.

So können wir also die Gesamthelligkeit aus den Einzelhelligkeiten mehrerer punktförmiger Lichtquellen (z.B. enge Konjunktion, Doppelstern etc.) ermitteln.

Allgemein gilt für die Gesamthelligkeit von mehreren punktförmigen Lichtquellen:

Wenn ich n punktförmige Lichtquellen habe mit den scheinbaren Helligkeiten in Magnituden von: $m_1, m_2, \dots, m_n$ so habe ich Lichtströme wie folgt:

Hinweis: Wenn ich statt in SI-Einheiten wie Lumen mit dem **Flux** rechne, wird das alles viel einfacher. Ich wollte aber hier in vielen, kleinen Schritten zeigen, dass mit SI-Einheiten das gleiche bekannte Ergebnis heraus kommt.

$$\Phi_k = 10^{\frac{-m_k - 14,2064}{2,5}}$$

Aufsummiert ergibt das einen Lichtstrom von:

$$\Phi_{\text{ges}} = \sum_{k=1}^n \Phi_k = \sum_{k=1}^n 10^{\frac{-m_k - 14,2064}{2,5}}$$

Nun kann man eine Konstante aus dem Exponenten herausziehen und vor die Summe schreiben:

$$\Phi_{\text{ges}} = \sum_{k=1}^n 10^{\frac{-m_k}{2,5}} \cdot 10^{\frac{-14,2064}{2,5}} = 10^{\frac{-14,2064}{2,5}} \cdot \sum_{k=1}^n 10^{\frac{-m_k}{2,5}}$$

Dieser Gesamtlichtstrom entspricht einer scheinbaren Gesamthelligkeit von:

$$m_{\text{ges}} = -14,2064 - 2,5 \cdot \lg \left(10^{\frac{-14,2064}{2,5}} \cdot \sum_{k=1}^n 10^{\frac{-m_k}{2,5}} \right)$$

Für den Logarithmus eines Produkts schreiben wir die Summe:

$$m_{\text{ges}} = -14,2064 - 2,5 \left(\frac{-14,2064}{2,5} + \lg \sum_{k=1}^n 10^{\frac{-m_k}{2,5}} \right)$$

$m_k\{2,5\}$) \\ \)
und schieÄ?lich:

$$\left(\sum_{k=1}^n 10^{\frac{-m_k\{2,5\}}{2,5}} \right)$$

Absolute Helligkeit

Unter der absoluten Helligkeit versteht man in der Astronomie die scheinbare Helligkeit, die ein Stern in einer festgelegten Standardentfernung von 10 [Parsec](#) (32,6 Lichtjahre) haben wÄ¼rde. Das ist eine ZustandsgrÄ¼e, die die Leuchtkraft eines Sterns beschreibt.

Die Differenz zwischen scheinbarer Helligkeit m und absoluter Helligkeit M wird **Entfernungsmodul** genannt, denn sie steht in festem Zusammenhang zur Entfernung r (gemessen in Parsec). Aus der Festlegung der Helligkeitsstufen folgt:

$$m - M = 5 \cdot \lg\left(\frac{r}{10}\right)$$

FlÄ¼chenhelligkeit

Die Helligkeit, die als sog. "Visuelle Helligkeit" angegeben wird, ist immer die **Gesamthelligkeit**. Bei flÄ¼chigen Objekten verteilt sich diese Helligkeit auf die FlÄ¼che des Objekts.

Unter FlÄ¼che des Objekts ist die Ausdehnung des Objekts an der Himmelskugel gemeint, also ein **Raumwinkel**. Einen Raumwinkel misst man in Steradian (sr), wobei der Astronom anstatt gerne Quadratgrad oder als kleinere Einheiten arcmin² oder arcsec² nimmt. Dabei ist ein Quadratgrad:

$$1 \text{ deg}^2 = \left(\frac{2\pi}{360}\right)^2 \text{ sr}$$

und weiter:

$$1 \text{ arcmin}^2 = \left(\frac{2\pi}{360 \cdot 60}\right)^2 \text{ sr} = 8,4616 \cdot 10^{-8} \text{ sr}$$

Da wir spÄ¼ter die FlÄ¼chenhelligkeit eines Objekts immer nur in Relation zur FlÄ¼chenhelligkeit eines anderen Objekts (und dann in gleichen Einheiten gemessen) sehen wollen, spielt so ein konstanter Faktor dafÄ¼r keine Rolle.

Die **FlÄ¼chenhelligkeit** wird dann Ä¼blicherweise in **mag/arcmin²** oder mag/arcsec² gemessen; letzteres kÄ¼rzt der Amerikaner gern als MPSAS (Magnitudes per square arc second) ab z.B. in Artikeln bei [Cloudy Nights](#).

Vergleiche hierzu speziell: [SQM](#), [Zodiakallicht](#)

Bezeichnen wir die Gesamthelligkeit mit H [Lumen] und die FlÄ¼che am Himmel mit F [Raumwinkel Sterad], so erhalten wir als (durchschnittliche) FlÄ¼chenhelligkeit B [Lumen/sr = Candela]:

$$B = \frac{H}{F}$$

Die FlÄ¼chenhelligkeit in Magnituden ist dann:

$$B_{\text{mag}} = 14,2064 - 2,5 \cdot \lg\left(\frac{H}{F}\right)$$

oder auch:

$$B_{\text{mag}} = -14,2054 - 2,5 \log\{H\} + 2,5 \log\{F\}$$

Da die ersten beiden Summanden zusammen einfach H in Magnituden ergeben, was wir mit dem Symbol **m** bezeichnen, erhalten wir schließlich:

$$B_{\text{mag}} = m + 2,5 \log\{F\}$$

CATEGORY

1. Astronomie
2. Sonstiges

POST TAG

1. Helligkeit
2. Magnitude

Category

1. Astronomie
2. Sonstiges

Tags

1. Helligkeit
2. Magnitude