

## Wie man einen Stern auf die Waage legt – stellare Zustandsgrößen bestimmen (Teil I)

Stefan Völker, Jena

In diesem Beitrag lernen Ihre Schüler, aus beobachtbaren Größen die physikalischen Eigenschaften (Zustandsgrößen) von Sternen zu ermitteln. Dabei liegt der Fokus auf Hauptreihensternen<sup>1</sup> (Teil I). Die systematische Ordnung der Ergebnisse in einem Hertzsprung-Russell-Diagramm zeigt, dass neben den Hauptreihensternen auch weitere Entwicklungsstadien der Sterne existieren, und vervollständigt so das Bild (Teil II).



Masse, Radius, Temperatur  
und Leuchtkraft  
der Sterne bestimmen!

II/H

### Der Beitrag im Überblick

<p><b>Klasse:</b> 12</p> <p><b>Dauer:</b> ca. 60 Minuten</p> <p><b>Ihr Plus:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Material mit authentischen astronomischen Beobachtungsdaten</li> <li>✓ Selbstständiges Arbeiten der Schüler</li> </ul>	<p><b>Inhalt:</b></p> <p>Stellare Zustandsgrößen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Masse,</li> <li>– Radius,</li> <li>– Temperatur (Spektraltyp) und</li> <li>– Leuchtkraft</li> </ul>
--	--

<sup>1</sup> Die Hauptreihe wird in der Astronomie durch die Sterne gebildet, die ihre Strahlungsenergie durch Wasserstoffbrennen im Kern freisetzen.

## Materialübersicht

⌚ V = Vorbereitungszeit    SV = Schülerversuch    Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt  
 ⌚ D = Durchführungszeit    Fo = Folie    LEK = Lernerfolgskontrolle  
 WH = Wiederholungsblatt

<b>M 1</b>	<b>WH</b>	<b>Astronomische Grundlagen – frischen Sie Ihr Wissen auf!</b>
<b>M 2</b>	<b>Ab</b>	<b>Stammgruppe: Die Zustandsgrößen von Sternen bestimmen</b>
<b>M 3</b>	<b>Ab / SV</b>	<b>Expertengruppe I: Die Masse eines Sterns</b>
		<input type="checkbox"/> Taschenrechner <input type="checkbox"/> Lineal <input type="checkbox"/> Holzstab ( $l = 1 \text{ m}$ , $d = 1 \text{ cm}$ ) <input type="checkbox"/> Ringförmige Massestücke, z. B. von Reifen-Walzen-Apparat ( $2 \times 50 \text{ g}$ , $1 \times 125 \text{ g}$ , $1 \times 200 \text{ g}$ , $1 \times 500 \text{ g}$ ) <input type="checkbox"/> Eventuell: Knete + Stativstab mit Fuß
	⌚ V: 5 min	
	⌚ D: 90 min	
<b>M 4</b>	<b>Ab</b>	<b>Expertengruppe II: Der Radius eines Sterns</b>
	⌚ D: 90 min	<input type="checkbox"/> Taschenrechner <input type="checkbox"/> Lineal
<b>M 5</b>	<b>Ab / SV</b>	<b>Expertengruppe III: Temperatur und Spektraltyp eines Sterns</b>
	⌚ V: 10 min	<input type="checkbox"/> Hg-Dampflampe <input type="checkbox"/> Na-Dampflampe <input type="checkbox"/> Kohlenbrenner <input type="checkbox"/> Kochsalz (NaCl) <input type="checkbox"/> 2 Projektionsschirme <input type="checkbox"/> Spatel o. Ä.
	⌚ D: 90 min	
<b>M 6</b>	<b>Ab / SV</b>	<b>Expertengruppe IV: Die Leuchtkraft eines Sterns</b>
	⌚ V: 10 min	<input type="checkbox"/> CAS-Rechner mit Messwerterfassungsmodul und optischer Sonde <input type="checkbox"/> Stativfuß, kurze Stativstange und Kreuzmuffe <input type="checkbox"/> Leuchtlampe (6 V / 0,4 A) mit Spannungsquelle <input type="checkbox"/> Messschieber <input type="checkbox"/> Schuhkarton
	⌚ D: 90 min	

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 17.

### Tipps

Die Materialien **M 2–M 6** sind Bestandteil eines **Gruppenpuzzles**.

### Minimalpuzzle

Verzichten Sie auf Durchführung des Gruppenpuzzles. Bestimmen Sie gemeinsam mit Ihrer Klasse nur eine Zustandsgröße eines Sterns.

## M 2 Stammgruppe: Die Zustandsgrößen von Sternen bestimmen

Wie legt man einen Stern auf die Waage?

Wie misst man Größe und Temperatur eines Sterns ohne Maßband und Thermometer?

### Merke

Ein **Stern** ist eine selbstleuchtende, heiße Gaskugel großer Masse, in deren Innerem **Kernfusionen** stattfinden. Sterne bestehen zu etwa zwei Dritteln aus Wasserstoff und etwa einem Drittel aus Helium. Schwerere Elemente machen nur einen sehr kleinen Bruchteil aus. Physikalisch wird ein Stern durch Zustandsgrößen wie **Masse, Radius, Temperatur** und **Leuchtkraft** beschrieben. Die Kenntnis dieser Größen ist die Voraussetzung für das Verständnis der **Eigenschaften eines Sterns** sowie für dessen Entstehung und Entwicklung.

In den nächsten Unterrichtsstunden erarbeiten Sie die Thematik der stellaren Zustandsgrößen im Rahmen eines Gruppenpuzzles mit den Expertengruppen:

1. Masse,
2. Radius,
3. Temperatur und Spektraltyp,
4. Leuchtkraft.

Der Ablauf des Puzzles ist in der Abbildung unten dargestellt.

Finden Sie sich zu Expertengruppen zusammen. Informieren Sie sich dort über Ihr Expertenthema und erstellen Sie ein **Handout** (max. eine Seite). Für die Arbeit in der Expertengruppe haben Sie **90 Minuten Zeit**. In der anschließenden Unterrichtsstunde kehren Sie in Ihre Stammgruppe zurück und informieren Ihre Gruppenmitglieder über Ihr Expertenthema. Teilen Sie sich die Zeit der Vortragsseinheit gut ein, sodass alle Experten zu Wort kommen.

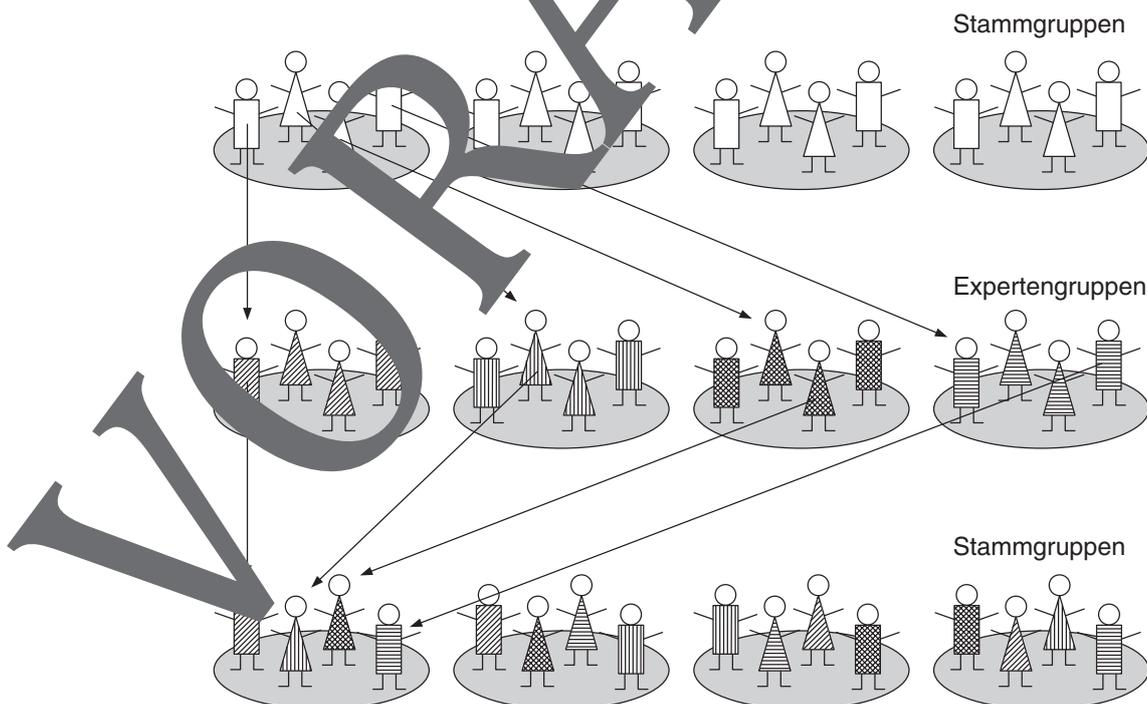


Abbildung M 2-1: Ablauf des Gruppenpuzzles

## M 6 Die Leuchtkraft eines Sterns – Fortsetzung

### Aufgaben

- Untersuchen Sie experimentell das quadratische Abstandsgesetz für Strahlung.
  - Starten Sie die Messwertaufnahme der optischen Sonde am CAS-Rechner.
  - Nehmen Sie Messwerte der Helligkeit im Bereich von  $d=3\text{ cm}$  bis  $d=10\text{ cm}$  mit einer Schrittweite von  $1\text{ cm}$  auf.
  - Stellen Sie Ihre Messwerte in einem  $F(d)$ -Diagramm graphisch dar.
  - Überprüfen Sie den quadratischen Zusammenhang, indem Sie  $F(d)$  in einem zweiten Diagramm über  $1/d^2$  auftragen.

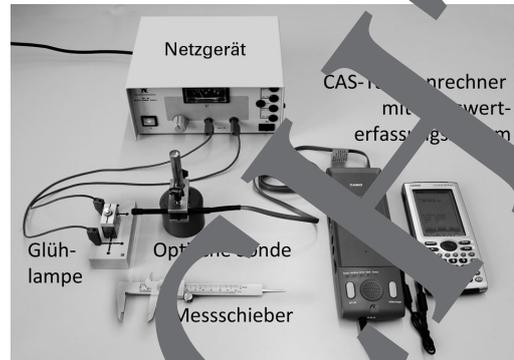


Abbildung M 6: Experiment zum quadratischen Abstandsgesetz. Optische Sonde und Glühlampe müssen während der Messung mit einem Kasten abgedeckt werden, um störendes Umgebungslicht abzuschirmen.

### 2. Die Leuchtkraft der Sonne:

- Berechnen Sie die Leuchtkraft der Sonne aus der Solarkonstanten  $E_0 = 1367\text{ W/m}^2$ . Die Solarkonstante ist der Fluss der Sonne, gemessen am oberen Rand der Erdatmosphäre.
- Berechnen Sie den Fluss durch die Sonnenoberfläche mithilfe des quadratischen Abstandsgesetzes. Der Winkeldurchmesser der Sonne beträgt von der Erde aus betrachtet  $32'$  ( $1' = (1/60)^\circ$ ).
- Berechnen Sie die effektive Temperatur der Sonne.

### 3. Die Leuchtkraft der Sterne:

Bei der Beobachtung von Sternen wird im Gegensatz zur Sonne in der Regel nicht der Fluss, sondern die scheinbare Helligkeit  $m_v$  im visuellen (sichtbaren) Spektralbereich gemessen. Für die scheinbare Helligkeit gilt:  $m_v = -2,5 \cdot \log(F_v) + c_v$ , mit der von der Beobachtungstechnik abhängigen Konstanten  $c_v$ . Wie man am quadratischen Abstandsgesetz sieht, reicht der Fluss bzw. die scheinbare Helligkeit alleine nicht aus, um die Leuchtkraft zu bestimmen. Bei bekannter Entfernung  $d$  kann aber mithilfe des Entfernungsmoduls die absolute Helligkeit  $M_v$  des Sterns berechnet werden. Mithilfe der bolometrischen Korrektur BC erhält man dann die absolute bolometrische Helligkeit  $M_{\text{bol}} = M_v + BC$ , welche ein Maß für die Leuchtkraft ist:

$$M_{\text{bol}} = M_{\text{bol},\odot} - 2,5 \cdot \log\left(\frac{L}{L_{\odot}}\right).$$

Die absolute bolometrische Helligkeit der Sonne beträgt:  $M_{\text{bol},\odot} = 4,73^m$ .

**Tipp:**  $\log(1/x) = -\log(x)$

- Berechnen Sie die Leuchtkräfte der vier Kastensterne des großen Wagens (vgl. Tabelle **M 6-1**) in Einheiten der Sonnenleuchtkraft.

Name	Scheinbare Helligkeit $m_v$ /mag	Parallaxe $p$ /"	Temperatur $T_{\text{eff}}$ /K	Bolometrische Korrektur BC
Dubhe	1,81	$26,38 \cdot 10^{-3}$	4729	-0,45
Merkat	2,34	$41,07 \cdot 10^{-3}$	9105	-0,08
Megrez	3,32	$40,05 \cdot 10^{-3}$	8653	-0,02
Phekda	2,41	$38,99 \cdot 10^{-3}$	8981	-0,06

Tabelle M 6-1: Beobachtungsdaten der vier Kastensterne des Großen Wagens [Hipparchos]

## Der RAABE Webshop: Schnell, übersichtlich, sicher!



### Wir bieten Ihnen:



Schnelle und intuitive Produktsuche



Übersichtliches Kundenkonto



Komfortable Nutzung über  
Computer, Tablet und Smartphone



Höhere Sicherheit durch  
SSL-Verschlüsselung

**Mehr unter: [www.raabe.de](http://www.raabe.de)**