

## Ein Stern (fast) zum anfassen

Natalie Fischer

Der Blick in den nächtlichen Sternenhimmel lässt den unbedarften Beobachter kaum erahnen, in welchen teilweise dramatischen Lebensphasen sich die hellen Lichtpunkte am Himmel gerade befinden können. Hat man sich aber schon einmal mit Sternentwicklung und den Zustandsgrößen der Sterne auseinandergesetzt, so wird man den Himmel von nun an mit ganz anderen Augen sehen. Allein ausgehend von der Anfangsmasse eines Sterns ist seine gesamte Entwicklung vorherbestimmt. Wahllose Kombinationen seiner Zustandsgrößen treten in der Natur nicht in Erscheinung. Die Sonne leistet als unser nächster Stern in diesem Zusammenhang bei Tage einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der Sterne.

Übersicht der Bezüge im WiS!-Beitrag		
Astronomie	Sterne	Sternentwicklung, Schwarze Löcher, Weiße Zwerge, Rote Riesen, Hertzsprung-Russell-Diagramm,
Physik	Gravitation, Erhaltungssätze	Kinetische Energie, Potentielle Energie, Gravitationsgesetz, 3. Keplersches Gesetz, Schwerpunktsatz, 2. kosmische Geschwindigkeit
Fächerverknüpfung	Astro-Physik	Spektrum, Spektralfarben

### Die Sterne bei Nacht

Winternächte eignen sich besonders gut für einen Himmelsspaziergang: es ist früh dunkel und die kühle Luft ermöglicht einen klaren Blick auf viele Himmelsobjekte.

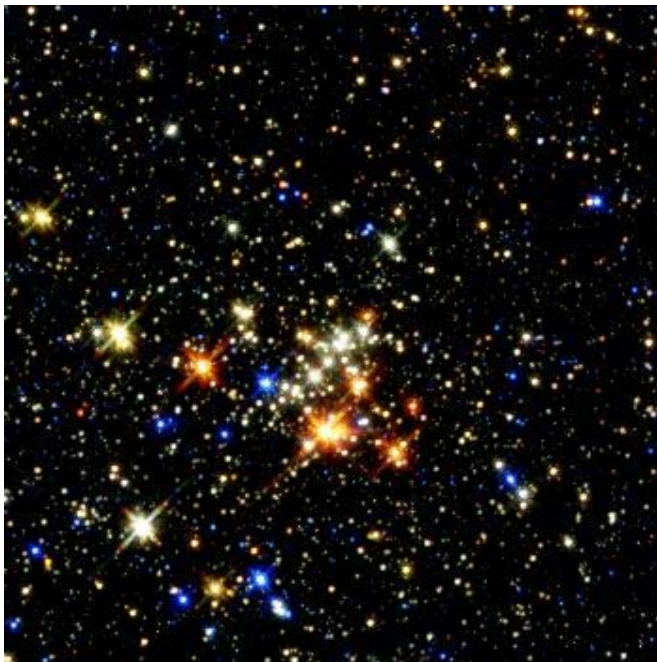


Foto: Nasa, HST

Beim genaueren Hinsehen erkennen wir, dass nicht alle Sterne gleich aussehen: sie unterscheiden sich offensichtlich in ihrer Helligkeit und (eher verhalten) in ihrer Farbe.

#### Aufgabe:

Lassen Sie Ihre Schüler vor Beginn dieses Unterrichts selbst Sterne beobachten! Das können die Schüler alleine, in Zweiergruppen oder als Klassenverband machen. Geben Sie markante Sternbilder vor (z.B. bietet sich der Orion oder der Große Wagen an). Sie sollen etwa fünf bis zehn Sterne genauer betrachten und ihre Helligkeit (im Vergleich zum Polarstern) und die Sternfarbe notieren.

Vergleichen Sie die Ergebnisse untereinander und mit der Literatur. (Siehe auch *Beobachtungshinweise.pdf*)

Erst seit etwa 100 Jahren ist bekannt, dass Sterne nicht für alle Zeiten unveränderlich am Himmel stehen. Sie werden geboren, entwickeln sich und sterben. Wie sieht das Leben eines Sterns aus? Erleiden alle Sterne das gleiche Schicksal? Da ein Menschenleben im Vergleich zur Lebensdauer eines Sterns nicht mehr als ein Wimpernschlag ist, können wir den Lebensweg eines Sterns nicht von seiner Geburt an bis zu seinem Lebensende begleiten. Wir können aber die Tatsache ausnutzen, dass wir beim Blick in den Sternenhimmel verschiedene Sterne in verschiedenen Abschnitten ihres Lebens beobachten können. Wir sehen ihre Kinderstube (Sternentstehungsregionen) und ihre Überreste (z.B. Planetarische Nebel, Reste von Supernova-Explosionen). (Siehe auch *Beobachtungshinweise.pdf*)

## **Die Zustandsgrößen eines Sternes**

Wie erkennen wir nun, in welchem Lebensstadium sich die einzelnen Sterne befinden? Dazu müssen wir uns erst einmal bewusst werden, was ein Stern überhaupt ist:

Im astronomischen Sinn sind Sterne selbstleuchtende Gaskugeln, in deren Inneren Kernfusionsprozesse Energie erzeugen, die nach außen abgestrahlt wird. Dazu zählen aber auch Sterne in ihren Endstadien, z.B. Weiße Zwerge, die nur noch auf Grund ihrer thermischen Abstrahlung leuchten.

Als nächstes müssen wir Ordnung in die Vielfalt der Sterne bringen und uns Gedanken darüber machen, wie wir einen Stern als Ganzes charakterisieren können. Dazu haben sich die Astronomen auf einige Kenngrößen, die sogenannten *Zustandsgrößen*, geeinigt. Diese Zustandsgrößen lassen sich beobachten oder aus Beobachtungen ableiten.

### **Aufgabe:**

Die Schüler sollen sich überlegen, welche Größen sie dazu verwenden würden (ähnlich der Beschreibung von Personen durch Größe, Haarfarbe, Fingerabdruck usw.).

Die wichtigsten Zustandsgrößen sind:

*(Helligkeit), Leuchtkraft, Farbe, Spektraltyp, Masse, Radius, Dichte, Temperatur, Schwerebeschleunigung, Rotation, Magnetfeld, chemische Zusammensetzung*

Die wichtigste Kenngröße eines Sterns ist seine *Masse*. Von ihr hängt alles ab: wie hoch die Temperatur im Sterninnern ist, wie hell er leuchtet, wie lange er leben wird und als was er einmal enden wird: als weißer Zwerg oder vielleicht doch als schwarzes Loch.

Die Helligkeit ist streng genommen keine echte Zustandsgröße, da sie von der Entfernung des Sterns abhängt! Damit die Schüler nun ein Gefühl für diese Größen erhalten, gibt es in der Datei *Zustandsgrößen.pdf* entsprechende Aufgaben und Texte, sowie Analogien zu Alltagsphänomenen.

## Wie hängen diese Zustandsgrößen zusammen?

Es sind nicht alle Zustandsgrößen unabhängig voneinander, sondern teilweise miteinander verknüpft. Ein ganz einfaches Beispiel ist die Masse-Radius-Dichte-Beziehung:

$$\rho = M / \left( \frac{4}{3} \pi R^3 \right).$$

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts entdeckten die Astronomen E. Hertzsprung aus Dänemark und H.N. Russel aus den Vereinigten Staaten von Amerika unabhängig voneinander folgende wichtige Zusammenhänge: Trägt man alle Sterne in ein Diagramm ein, bei dem die Spektralklasse und die Leuchtkraft eines jeden Sterns gegeneinander aufgetragen wird, dann liegen die meisten Sterne auf einem Band, das sich von links oben nach rechts unten erstreckt. Dieses Band wird *Hauptreihe* genannt. Außerhalb der Hauptreihe gibt es noch weitere Regionen im Diagramm, an denen es Sternanhäufungen gibt: es sind besondere Sterne wie Weiße Zwerge, Rote Riesen und Überriesen. Es zeigt sich somit, dass nicht jede beliebige Kombination der Größen Leuchtkraft, Temperatur und Spektralklasse in natura möglich ist.

Das nach seinen Entdeckern benannte *Hertzsprung-Russel-Diagramm* ermöglicht es Astronomen, den Lebensweg eines Sterns als Weg durch das HR-Diagramm darzustellen und Vorhersagen über sein Schicksal zu treffen.

### Aufgabe:

Erstellen eines eigenen HR-Diagramms mit Temperatur (x-Achse) und absoluter Helligkeit (y-Achse) anhand von Literaturdaten (z.B. <http://jumk.de/astronomie/index.shtml>)

### Lösung:

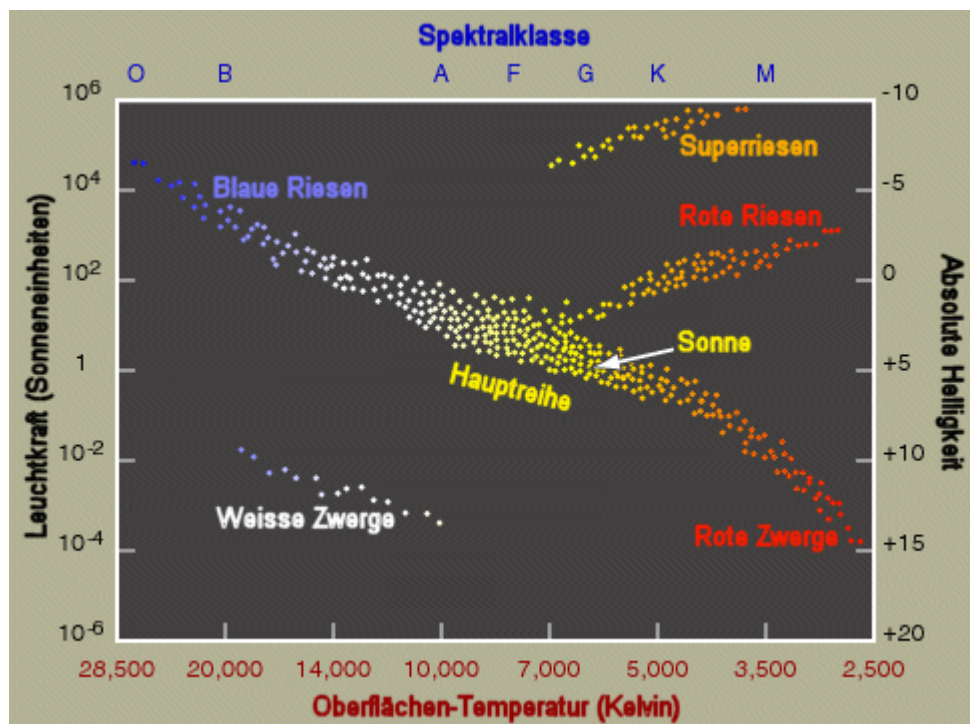


Abbildung: Das HR-Diagramm ermöglicht es, die Sterne in physikalisch sinnvolle Gruppen einzuteilen.

## Die Sonne als nächster Stern

Die Sonne ist ein ganz gewöhnlicher Stern, der seit etwa 4,5 Milliarden Jahren ohne Zwischenfälle leuchtet. Er ist der größte und schwerste Himmelskörper in unserem Sonnensystem und ohne ihn gäbe es kein Leben auf unserer Erde. Mit ihr haben die Astronomen einen echten Stern direkt vor ihrer Haustüre. Viele Eigenschaften, die sich an der Sonne beobachten lassen, können direkt auf die sehr weit entfernten anderen Sterne übertragen werden.

### Zusatzinformationen:

Werfen wir noch einen Blick in das Innere eines Sterns (der Sonne):

Die Sonne ist kein homogener Gasball, sondern hat einen zwiebelschalenartigen Aufbau: Sämtliche freiwerdende Energie stammt aus einer Zone im Innern der Sonne, dem *Kern*. Die Größe des Kerns liegt bei 25% des Sonnendurchmessers und obwohl der Kern nur einen kleinen Teil des Sonnenvolumens ausmacht, sind hier rund 50 % der Sonnenmasse konzentriert. Bei einer Temperatur von etwa 16 Millionen Kelvin liegt die Materie in Form eines Plasmas vor und es verschmelzen Wasserstoffkerne zu Heliumkernen. Bei dieser Fusionsreaktion werden Gammastrahlung und Elektronenneutrinos erzeugt.

Um den Kern herum liegt die *Strahlungszone* (ca. 70 % des Sonnenradius). Dort stoßen die Gammateilchen (Photonen) immer wieder mit den Teilchen des Plasmas zusammen, werden dabei absorbiert und wieder abgestrahlt. Sie bewegen sich auf einer völlig zufälligen Bahn und diffundieren dabei Richtung Sonnenoberfläche. Bei jedem Zusammenstoß in der Strahlungszone nimmt die Strahlungsenergie des Photons ab und seine Wellenlänge nimmt zu. Die Gammastrahlung wird auf diese Weise in Röntgenstrahlung umgewandelt. Statistisch gesehen benötigt ein ständig absorbiertes und re-emittiertes Photon etwa 10 Millionen Jahre, um die Sonne zu verlassen.

An die Strahlungszone schließt sich die *Konvektionszone* an (sie macht ca. 20% des Sonnenradius aus). Am Grenzbereich zur Strahlungszone beträgt die Temperatur noch etwa 2 Millionen Kelvin. Die Energie wird in dieser Zone nicht mehr durch Strahlung abgegeben, sondern durch Konvektion des Plasmas weiter nach außen transportiert: heiße Materie steigt in gewaltigen Strömen nach außen, kühlt dort ab und sinkt wieder ins Sonneninnere hinab. Das frisch aufgestiegene Plasma ist heißer und damit heller als das absteigende, daher sind die Konvektionszellen mit einem Teleskop als Granulation der Sonnenoberfläche erkennbar.

Oberhalb der Konvektionszone liegt die *Photosphäre*. Sie ist für uns die eigentliche Sonnenoberfläche, die Quelle der Sonnenstrahlung. Diese Kugelschale aus Licht ist nur 300–400 km dick. An der Oberfläche beträgt die Temperatur rund 5800 Kelvin. Die Photosphäre gibt die gesamte vom Sonneninnern erzeugte und aufsteigende Energie als Strahlung ab. Erst hier hat die Energie der Strahlungsquanten soweit abgenommen, dass sie für das menschliche Auge sichtbar sind.

### Aufgabe:

Zeichne einen Querschnitt durch die Sonne und beschrifte ihn. Was passiert in den einzelnen „Zwiebelschalen“?

## **Zusatzmaterial**

Der Beitrag „Das Einmaleins der Sterne“ liefert eine gute Beschreibung des Werdegangs unserer Sonne. Folgende Materialien sollen nun helfen, das Textverständnis noch weiter zu fördern:

### *Zustandsgrößen.pdf*

Die Schüler sollen sich vertraut machen mit den verschiedenen Zustandsgrößen eines Sterns. Warum kann die Sonne trotz ihres gasförmigen Zustandes nicht in Wasser schwimmen?

### *Beobachtungsvorschläge.pdf*

Wo finde ich Sterne in welchen Lebensabschnitten?

### *Aufgaben zum Textverständnis.pdf*

Hier werden Aufgaben vorgeschlagen, die den Text vertiefen helfen. Warum bleibt die Sonne so lange auf der Hauptreihe? Wie groß wäre unsere Erde, wenn sie ein Schwarzes Loch wäre? Ist es im Sonneninneren dunkel oder hell?