

# Das Einmaleins der Sterne

Auf den ersten Blick sehen sie bloß aus wie Lichtpunkte, doch es gibt sie in allen Größen, Farben und Altersklassen.

>> Joseph V. Maugeri

**W**enn die Sonne bei diesigem Wetter in milchigem Glanz untergeht, wird mir immer bewusst, dass für mich auch andere Sterne ganz ähnlich aussehen würden – vorausgesetzt, ich könnte sie aus vergleichbarer Entfernung betrachten. Weil die Sonne uns so nahe steht, vergessen wir häufig, dass sie nur ein Stern unter vielen ist. Ihre Sonderstellung in unserem Bewusstsein rührt zum Teil sicherlich daher, dass wir kein anderes Gestirn sehen, solange sie am Firmament steht. Mit ihrer überwältigenden Helligkeit überstrahlt sie einfach alle anderen Himmelskörper. Und weil sie so hell leuchtet, ist es unmöglich, ja sogar gefährlich, sie anzuschauen.

Nur wenn der Himmel nebel- oder dunstverhangen ist, können Sonnenanbeter einen direkten Blick riskieren. In solchen Momenten gerate ich immer ins Staunen über ihre Leuchtkraft und Ausdauer. Kaum zu glauben, dass diese gigantische Kugel schon seit Jahrmilliarden gleißendes Licht verbreitet und die Energie für das Leben auf unserem Planeten liefert.

Die Sonne ist mit einer Entfernung von 150 Millionen Kilometern der einzige Stern, den wir im Detail untersuchen können. Der zweitnächste, Proxima Centauri, ist 270 000-mal weiter entfernt; seine Distanz zu uns beträgt 40 Billionen Kilometer! Durchs Fernrohr betrachtet – selbst durchs Weltraumteleskop Hubble –, erscheint Proxima Centauri lediglich als winziges Lichtpünktchen.

Bislang haben die Astronomen das meiste, was sie über Sterne wissen, aus Untersuchungen der Sonne abgeleitet.

Doch in den letzten zwanzig Jahren wandten sie sich immer mehr auch den anderen 300 Milliarden Sternen der Milchstraße zu. Das liegt hauptsächlich daran, dass wir die Sonne nur während eines sehr kurzen Moments ihres langen Daseins erleben. Untersuchen wir auch die anderen Gestirne unserer Heimatgalaxie, dann finden wir darunter viele, die sich gerade in völlig anderen »Lebensabschnitten« befinden. Die Geheimnisse dieser faszinierenden Himmelsobjekte begreifen wir erst, wenn wir uns darüber klar werden, wie Sterne geboren werden, reifen und vergehen.

Heute ist die Sonne etwa 4,6 Milliarden Jahre alt und befindet sich quasi in der Blüte ihrer Jahre. Ihr Leben lässt sich in drei Abschnitte gliedern: Geburt (sie dauerte dreißig Millionen Jahre!), Erwachsenenendasein (eine lang anhaltende, stabile Phase, in der sich unser Zentralstern gerade befindet) und Tod (eine Abfolge heftiger Veränderungen, die sich über etwa eine Milliarde Jahre erstrecken wird). Wenn all dies vorbei ist, wird unsere Sonne nur noch als toter, langsam auskühlender Schlackehaufen durchs All fliegen.

Diese drei Phasen gelten nicht allein für unsere Sonne, sondern für die meisten Sterne. Dabei gibt es lediglich unwesentliche Abweichungen. Um zu verstehen, wie ein Stern entsteht, ist es gut, die stellaren Lebensabschnitte im Einzelnen zu betrachten.

Eine Sterngeburt beginnt mit einer riesigen Wolke aus Gas und Staub, die einen Durchmesser von mehreren hundert >



**Blau, rot oder weiß** Die Farbe eines Sterns verrät viel über seine Geschichte, denn diese folgt einem festen Kreislauf des Entstehens, Reifens und Vergehens.

> oder tausend Lichtjahren besitzt und fast vollständig aus Wasserstoff besteht. Wird sie an irgendeiner Stelle gestört, beginnt die Wolke sich nach einiger Zeit zusammenzuziehen. Hat dieser Kollaps erst einmal eingesetzt, kommt eine ganze Kettenreaktion von Ereignissen in Gang.

Zunächst bilden sich innerhalb der zusammenstürzenden Gaswolke einzelne Bereiche, die eine höhere Dichte besitzen als die Umgebung – so genannte Wolkenkerne. Je dichter sie sind, umso größer ist die Wirkung ihrer Schwerkraft. Dadurch fällt weiteres Material nach: Die Wolkenkerne werden immer dichter – ein sich selbst verstärkender Prozess.

### Vom Proto- zum Hauptreihenstern

Bald bildet sich im Zentrum jedes Wolkenkerns ein Protostern. Auf Grund seiner eigenen Masse und der damit verbundenen Gravitation zieht er sich immer weiter zusammen. Das Gas, aus dem er besteht, verdichtet und erhitzt sich unaufhörlich. Wenn die Temperatur im Zentrum mehrere Millionen Grad erreicht

## Ein Sonnenleben



Zu diesem Beitrag stehen Ihnen auf unserer Internetseite [www.wissenschaft-schulen.de](http://www.wissenschaft-schulen.de) kostenlos didaktische Materialien zur Verfügung, mit deren Hilfe folgende Themen im Unterricht behandelt werden können: Auffinden von Sternen in unterschiedlichen Lebensabschnitten sowie grundsätzliche Betrachtungen zur Sternentwicklung. Wichtige Zustandsgrößen der Sterne lassen sich unter vereinfachenden Annahmen berechnen. Thema ist auch der Lebensweg der Sonne – unseres nächsten Sterns –, warum es in ihrem Innern eigentlich dunkel ist und auf welche Größe sie hypothetisch schrumpfen müsste, um ein Schwarzes Loch zu werden.

Unser Projekt **Wissenschaft in die Schulen!** führen wir in Zusammenarbeit mit der Landesakademie für Lehrerfortbildung in Donaueschingen durch. Es wird von der Klaus Tschira Stiftung gGmbH großzügig gefördert.

**Beteigeuzes Konterfei** wurde vom Weltraumteleskop Hubble im Jahr 1995 aufgenommen. Es war die erste Fotografie, die Strukturen auf einem Stern außerhalb des Sonnensystems zeigte.



NASA / ESA / A. DUPRÉE, CFA & R. GILLILAND, STSCI

hat, setzt die Verschmelzung von Wasserstoff- zu Heliumkernen ein – die so genannte Kernfusion – und der Protostern verwandelt sich in einen echten Stern.

Obwohl die Kernfusion häufig als Wasserstoffbrennen bezeichnet wird, hat sie mit einer chemischen Verbrennung nichts zu tun. Bei einer »normalen« Flamme, etwa bei einem Lagerfeuer, verbinden sich Atome zu Molekülen (oder Moleküle zu anderen Molekülen), die Atome selbst bleiben erhalten. Bei der Kernfusion hingegen verschmelzen Atomkerne miteinander, um gänzlich andere Atome zu formen. Wenn im Innern eines Sterns eine gewisse Zahl Wasserstoffkerne zu Heliumkernen fusionieren, dann wird vier Millionen Mal so viel Energie frei, wie wenn die gleiche Menge Wasserstoff »normal« (das heißt, mit Sauerstoff in einer Flamme) verbrennen würde.

Zehn Millionen Jahre benötigte die Sonne, um sich von einem Proto- zu einem echten Stern zu entwickeln. Aus menschlicher Sicht mag das lang erscheinen, aber es entspricht gerade einmal 0,1 Prozent der gesamten Lebensdauer unseres Zentralgestirns. Sterne reifen also sehr schnell und verbringen den weitaus größten Teil ihres Lebens im Stadium des »Erwachsenendaseins«.

Dieses nennen die Forscher auch Hauptreihenphase (nach der Hauptreihe im Hertzsprung-Russel-Diagramm, siehe AH 5/2004, S. 26). Während dieser Zeit verändert sich der Stern kaum. Das Gas in seinen äußeren Schichten drängt stets nach innen. Die Fusionsprozesse im Zentrum des Sterns produzieren jedoch einen gewaltigen, nach außen gerichteten Druck, der dem Gewicht der Hülle entgegenwirkt. Es entsteht eine Pattsituation: Einwärts und auswärts gerichtete Kräfte kompensieren sich gegenseitig, sie stehen im Gleichgewicht; der Stern hört auf zu kontrahieren und seine Größe ändert sich fortan nur noch geringfügig.

Interessant an diesem Zustand ist, dass er sich selbst stabilisiert: Der zentra-

le »Brennofen« passt sich stets so an, dass die Balance erhalten bleibt. Wird der Druck von innen zu groß, dann bläht sich der Stern auf; dadurch nehmen Dichte und Temperatur im Kern ab und die Fusionsprozesse verlangsamen sich, sodass weniger Energie erzeugt wird. Lässt der Druck von innen nach, dann zieht sich der Stern zusammen; Dichte und Temperatur im Kern nehmen zu und die Kernfusionsvorgänge laufen schneller ab – die Kontraktion kommt zum Erliegen.

Die Helligkeit eines Hauptreihensterns hängt fast nur von seiner Masse ab. Massereiche Sterne haben eine große Schwerkraft, hohe Temperaturen im Kern und »verbrennen« den Wasserstoff schneller. Die strahlend blaue Wega, um ein Beispiel zu nennen, hat zweieinhalbmal so viel Masse wie unsere Sonne und ist vierzigmal so hell. Sie ist am Winterhimmel in Horizontnähe zu sehen, im Sommernächten steht sie hoch oben am Himmel.

### Wie hell ist ein Stern?

Im Gegensatz dazu besitzt Proxima Centauri ein Achtel der Masse unserer Sonne und bringt nur ein Zehntausendstel ihrer Leuchtkraft auf. Wie Sie an diesen Zahlen sehen können, ergeben kleine Unterschiede in der Masse bereits beträchtliche Differenzen in der Helligkeit.

Sterne wie Proxima Centauri sind viel häufiger zu finden als solche, die der Wega ähneln. Wegen ihrer geringen Lichtstärke sind sie jedoch sehr leicht zu übersehen. Das zeigt sich zum Beispiel darin, dass Proxima erst 1915 entdeckt wurde und Astronomen noch heute immer neue unbekannte Sterne in unserer unmittelbaren Nachbarschaft finden, die ähnlich schwach strahlen.

Beim Anwenden der Begriffe »hell« und »schwach« auf Sterne ist jedoch Vorsicht geboten. Wie lichtstark uns ein Stern erscheint, hängt von zwei Dingen ab: seiner wirklichen, absoluten Helligkeit (der Leuchtkraft) und seiner Entfernung von

uns. Ein Autoscheinwerfer in einem Kilometer Entfernung erscheint weniger hell als eine Taschenlampe einige Schritte vor Ihrem Gesicht. In ähnlicher Weise wirken Sterne mit hoher Leuchtkraft, die sich in großer Entfernung befinden, schwächer als solche mit geringer Leuchtkraft, die recht nah stehen. Unerfahrene Sterngucker unterliegen immer wieder der Täuschung, dass zwei eng beieinanderstehende Sterne mit ähnlicher Helligkeit zusammenzugehören scheinen. In Wahrheit können sie jedoch hunderte Lichtjahre voneinander entfernt sein!

Wenn Sie sehr aufmerksam zum Nachthimmel blicken, stellen Sie vielleicht fest, dass viele der hellsten Sterne unterschiedliche Farben besitzen. Mit Feldstechern und Teleskopen erkennen Sie dies sogar ziemlich deutlich. Anders als die bunten Lichter in unserem Alltag schimmern Sterne oft nur leicht in einem bestimmten Farbton, aber ihre Tönung sagt eine Menge darüber aus, was in ihrem Innern passiert.

### Tod als Roter Riese

Erhitzen Sie ein Stück Metall mit einer Lötlampe, wird es sich mit steigender Temperatur zuerst rot, dann gelb, dann weiß und schließlich blauweiß verfärben. Sterne folgen demselben Muster. Die blaue Tönung der Wega verrät, dass ihre Oberfläche sehr heiß ist, nämlich um

die 9400 Grad. Ein kühler, massearmer Stern wie Proxima Centauri (Oberflächentemperatur: zirka 3000 Grad Celsius) leuchtet hingegen rötlich. Die Sonne liegt irgendwo dazwischen – ihre Oberflächentemperatur von etwa 5500 Grad verleiht ihr ein gelbliches Aussehen.

Kommen wir nun zum letzten Abschnitt im langen Dasein eines Sterns – seinem Tod. Was passiert in dieser Phase mit unserer Sonne? Innerhalb der nächsten paar Milliarden Jahre wird ihre Leuchtkraft allmählich zunehmen; irgendwann haben die Kernfusionsprozesse in ihrem Zentrum den Wasserstoff aufgebraucht. Dann kommt dieser Vorgang zum Erliegen. Da nun kein nach außen gerichteter Strahlungsdruck mehr existiert, stürzen die äußeren Hüllen in Richtung des Kerns. Infolgedessen verdichten sich die inneren Bereiche und heizen sich so extrem auf, dass die Fusion nun in jener Schicht zündet, die den Kern umgibt. Es tritt eine paradoxe Situation ein: Der Stern erzeugt pro Zeiteinheit mehr Energie als vorher, obwohl er den Brennstoff in seinem Kern verbraucht hat.

Durch diese zusätzlich Energie blähen sich die äußeren Schichten unseres Zentralsterns auf, bis sie auf das Hundertfache ihrer heutigen Größe angewachsen sind – genug, um den Planeten Merkur zu schlucken. Die Temperaturen auf der Erde werden stark ansteigen, wodurch

alles Wasser auf unserem Heimatplaneten verdampft. Könnten heutige Astronomen die Sonne zu diesem dramatischen Zeitpunkt beobachten, würden sie sie als Roten Riesen klassifizieren.

Sterne bleiben nicht lange in der Phase des Roten Riesen – schätzungsweise zwei Prozent ihrer gesamten Lebenszeit. Unter den Sternen der Milchstraße befindet sich nur etwa einer von fünfzig in diesem Stadium. Weil Rote Riesen aber sehr hell leuchten, sind sie im Gegensatz zu manch anderen Himmelskörpern kaum zu übersehen – was dazu verleitet, ihren Anteil zu überschätzen. In der Tat zählen sämtliche Sterne, die dem unbewaffneten Auge rötlich erscheinen, zu dieser Gruppe oder zu ihren engen Verwandten, den Roten Überriesen.

### Endstation Weißer Zwerg

Nachdem die Sterne dieses Stadium durchlaufen haben, kontrahieren die meisten wieder, gefolgt von einer weiteren Expansion. Das Zusammenziehen und Aufblähen kann sich mehrmals wiederholen, wobei Letzteres jedes Mal schneller und heftiger abläuft. Bei der allerletzten Expansion verlieren sonnenähnliche Sterne einen Großteil ihrer Masse, indem sie ihre äußeren Schichten ins All abstoßen. Diese bilden um den ehemaligen Stern herum einen planetarischen Nebel – eine Hülle aus Gas, die >

**In fünf oder sechs Milliarden Jahren** wird auch aus unserer Sonne ein Roter Riese – und aus unserer Erde ein lebloser Planet, auf dem nur noch verbrannte Steine existieren.

> immer weiter ins All hinausdriftet und das Baumaterial für neue Sterne liefert.

Nach dem finalen Aufblähen unserer Sonne und dem Abstoßen ihrer äußeren Schichten wird nicht viel mehr von ihr übrig bleiben als ein schwach leuchtendes Objekt von der Größe der Erde – ein Weißer Zwerg. Er enthält die Überreste des ehemaligen Sonnenkerns, verfügt jedoch über keinerlei Wasserstoff mehr. Sein mattes Glühen resultiert nicht aus Fusionsprozessen – die sind vollständig zum Erliegen gekommen –, sondern allein aus der in ihm gespeicherten Wärme. Die Planeten und Monde, die in unserem Sonnensystem dann noch existieren, werden diesen Weißen Zwerg weiterhin umkreisen und allmählich abkühlen.

Irgendwann ist für jeden Stern der Moment gekommen, wo ihm der Brennstoff für die Kernfusion ausgeht. Die Astronomen können diesen Zeitpunkt ziemlich genau vorhersagen, sofern sie die Masse des Himmelskörpers kennen. Je massereicher ein Stern, desto schneller verbraucht er seinen Brennstoff und desto kürzer ist sein Leben. Proxima Centauri zum Beispiel wird noch weitere zehn Billionen Jahre (!) bestehen, während der Untergang der massereicheren Wega schon in einer Milliarde Jahre einsetzt.

### Supernovae und Neutronensterne

Die meisten massereichen Sterne verabschieden sich mit einem großen Knall: Nachdem sie ihr Brennmaterial verbraucht haben, stürzen ihre äußeren Schichten mit einer derartigen Gewalt nach innen, dass diesem Schock nicht einmal die starken Kräfte innerhalb der Atomkerne zu widerstehen vermögen. Unter dem enormen Druck von außen beginnt der Kern des Gestirns zu implodieren. Doch schon nach wenigen Bruchteilen einer Sekunde organisiert er sich in einer extrem dichten Packung neu und hört auf zu schrumpfen. Die Unmenge an Materie, die von außen nachströmt, trifft jetzt unvermittelt auf Widerstand und prallt zurück. Eine riesiger Rückstoß entsteht, der das gesamte Material der äußeren Schichten ins All katapultiert – eine gigantische Explosion und eines der beeindruckendsten Schauspiele im Universum. Astronomen bezeichnen ein solches Ereignis als Supernova. Einige Tage lang strahlt ein solches Feuerwerk heller als sämtliche anderen Sterne in ihrer Galaxie zusammengekommen.

## Die Zwiebschalenstruktur der Sonne

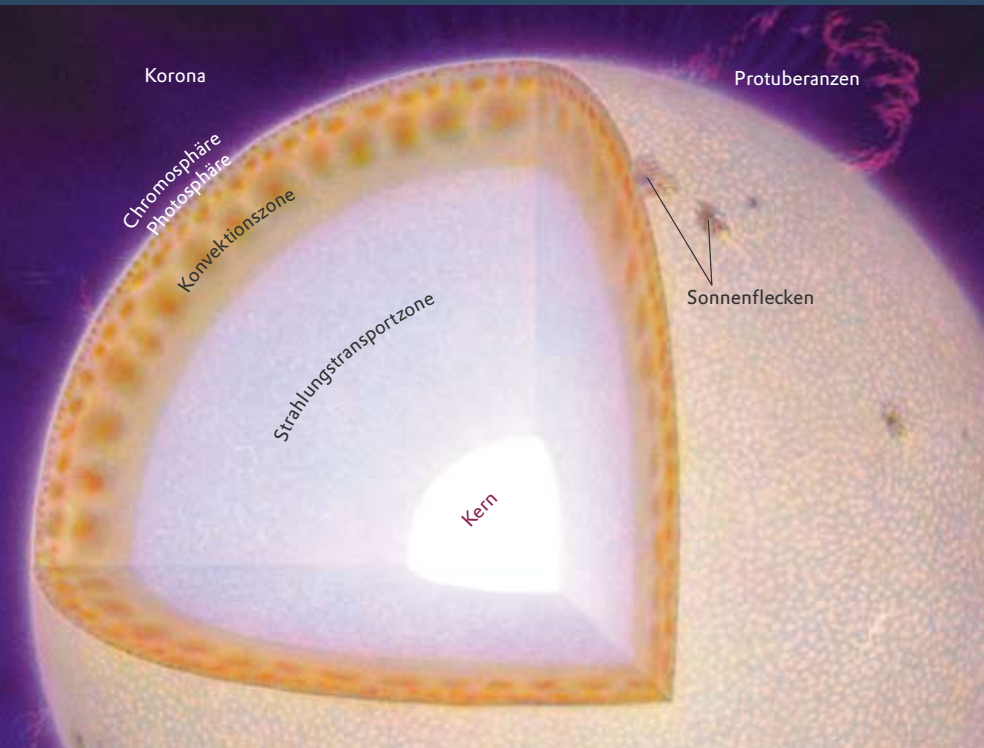


ILLUSTRATION: DON DAVIS / AH

**Nach unserem heutigen Verständnis** vom Sternaufbau findet die Kernfusion im innersten Bereich statt. Die Energie wird von dort langsam nach außen weitergeleitet – zuerst überwiegend durch Wärmestrahlung (das ist die Strahlung, die man spürt, wenn man die Hand in die Nähe einer kalten Fensterscheibe ins Sonnenlicht hält) und im äußeren Drittel durch Konvektion, vergleichbar den Luftströmungen, die sich an einem warmen Heizkörper entwickeln.

Nach der Sternstrukturtheorie hängt die Dicke der Konvektionszone von der Masse des Sterns ab. In Zwergsternen mit etwas weniger als der Hälfte der Sonnenmasse reicht die Konvektionszone bis in den Kern – man nennt solche Sterne deshalb »vollkonvektiv«. In massereicheren Sternen werden die Konvektionszonen immer dünner und bei Riesensternen verschwinden sie schließlich völlig.

Der innere Kern des ehemaligen Sterns hat sich während seiner Implosion in einen Neutronenstern verwandelt, eine Kugel von etwa zwanzig Kilometer Durchmesser, die – wie der Name schon sagt – aus Neutronen besteht und eine extrem hohe Massendichte aufweist. Ein Teelöffel davon würde auf der Erdoberfläche etwa 300 Millionen Tonnen wiegen. (Seit einiger Zeit vermuten die Forscher, dass Neutronensterne zum Teil auch aus Quarkmaterie bestehen könnten, siehe AH 9/2006, S. 12.) Ein Neutronenstern dreht sich mit unvorstellbarer Geschwindigkeit um sich selbst, nämlich typischerweise mehrere hundertmal pro Sekunde. Stünden Sie auf seiner Oberfläche, würde Ihr Körper auf Grund der starken Gravitation zu einem Fladen zerquetscht, der dünner wäre als das Papier,

auf dem diese Zeilen gedruckt sind. Wenn Sie das nächste Mal durch Ihr Teleskop schauen, erinnern Sie sich noch einmal daran, dass Sterne nicht bloß Lichtpünktchen sind, sondern gewaltige Fusionsreaktoren, die seit Millionen oder Milliarden Jahren brennen. Hinsichtlich ihrer Entfernung, Größe, Masse, Temperatur, Leuchtkraft, Farbe und ihres Alters unterscheiden sie sich enorm. Und eines fernen Tages werden sie untergehen und verlöschen – damit ihr Material einem neuen Stern zu neuem Leben verhilft. <<

**Joseph V. Maugeri** ist Amateurastronom und Autor. Als Student fuhr er eine alte Schrottkiste mit dem Spitznamen »Supernova«.

Mehr zu diesem Artikel unter [www.astronomie-heute.de/artikel/857849](http://www.astronomie-heute.de/artikel/857849)