

LEBEN UND STERBEN DER STERNE

89942



MEDIENBEGLEITHEFT zum Video
28 Minuten, Produktionsjahr 2001

KOMMENTARTEXT:

Mit dem bloßen Auge können wir einige Tausend Sterne am Nachthimmel wahrnehmen. Weil sie viele Lichtjahre weit entfernt sind, erscheinen sie uns bloß als kleine Lichtpunkte.

Durch ihre Gravitation sind sie auch auf große Entfernungen miteinander verbunden. Und sie bilden übergeordnete Himmelskörper, die Galaxien.

Unsere Galaxis, die Milchstraße, besteht aus etwa 100 Milliarden Sternen. Genauer: 100 Milliarden Sonnenmassen. Dazu zählt man die Sterne und alle Nebel, die aus Gas und Staub bestehen und über die gesamte Galaxis mit ihrer Ausdehnung von 100.000 Lichtjahren großräumig verteilt sind.

Seit die Menschheit den Kosmos erforscht, beschäftigt sie sich mit dem Wesen der Sterne. Die Wissenschaftler untersuchen dabei den am genauesten, der unserem Planeten Erde am nächsten ist: unsere Sonne. Obwohl sie unveränderlich wirkt, so existiert sie doch nicht ewig. Sie durchläuft einen Lebenszyklus. Sie hat einen Anfang und ein Ende.

Die Sonne ist eine riesige, glühende Gaskugel. Die Oberfläche der Sonne ist nicht fest. Ihre Materie besteht hauptsächlich aus Wasserstoff und Helium. Von gewaltigen Prozessen im Inneren getrieben ist sie ständig in Bewegung.

Und obwohl sie, verglichen mit anderen Sternen, nur ein durchschnittlich großer Himmelskörper ist, hat sie dennoch beeindruckende Ausmaße.

Ihr Durchmesser ist mit ca. 1,5 Millionen Kilometer mehr als 100 Mal größer als der der Erde. Sie hat 1.000 Mal so viel Masse wie alle Planeten zusammen. Die Schwerkraft an ihrer Oberfläche ist fast 28 Mal größer als auf der Erde. Sie ist, wie die Erde, 4,6 Milliarden Jahre alt.

Die Sonne schleudert ihre Gase tief in den Weltraum. Solche Gasausbrüche nennt man Protuberanzen.

Ursache dafür sind gewaltige Energien, die durch physikalische Vorgänge im Inneren entstehen.

Diese Protuberanzen strömen entlang von Magnetlinien. Sie haben ihren Ursprung in Magnetpolen, die in großer Zahl über die gesamte Sonnenoberfläche verstreut sind. Die Kräfte sind so groß, dass die Protuberanzen bis zu 500.000 Kilometer weit ins All reichen.

Manchmal fällt das Material schon nach wenigen Stunden wieder zurück auf die Sonne. Manchmal schwebt es wochenlang im Raum.

Plötzliche Helligkeitsausbrüche werden Flares genannt. Diese Eruptionen sind von größter Energie getrieben. Sie dauern oft nur wenige Minuten und lösen sogar Sonnenbeben aus.

Vom Sonneninneren wird ständig Gas an die oberste Schicht, die Fotosphäre, transportiert. Dort kühlt es ab und sinkt wieder nach unten. Ein Prozess der abläuft wie bei siedendem Wasser. Dabei bilden sich die so genannten Granulen, jede durchschnittlich 1.300 Kilometer groß, aber mit 5 - 10 Minuten sehr kurzlebig.

Störungen im Magnetfeld der Sonnenoberfläche werden Sonnenflecken genannt. Einige sind größer als unsere Erde.

Die Sonne ist kein besonders heißer Stern. Die Temperatur an ihrer Oberfläche beträgt knapp 5.800° Kelvin, das sind ca. 5.500 Grad Celsius. Protuberanzen und Flares weisen weit höhere Werte auf. Auch die Korona ist mit mehreren Millionen Kelvin sehr heiß.

Die höchsten Temperaturen gibt es aber im Inneren der Sonne. Im Kern betragen sie 15 Millionen Kelvin.

Bei diesen hohen Temperaturen bewegen sich die Atomkerne sehr schnell und verschmelzen zu einem größeren Kern. Aus Wasserstoff wird Helium.

Dieser Fusionsprozess setzt Energie frei, die durch Strahlung nach außen transportiert wird, um dann mit Lichtgeschwindigkeit in nur $5 \frac{1}{2}$ Stunden unser Sonnensystem zu durchqueren - und danach das ganze Universum.

Das sichtbare Licht ist nur ein kleiner Teil dessen, was die Sonne abstrahlt. Mittels Falschfarbendarstellungen können wir auch jene Bereiche der elektromagnetischen Wellen sichtbar machen, die unser Auge nicht wahrnehmen kann.

Die Bandbreite der elektromagnetischen Strahlung erstreckt sich von den kurzwelligen und energiereichen Gammastrahlen, über die Röntgenstrahlen, das ultraviolette Licht, das für uns sichtbare, weiße Licht mit seinen Spektralfarben bis hin zur langwelligen Infrarotstrahlung und Radiostrahlung.

In jeder Sekunde wandelt die Sonne 600 Millionen Tonnen des Wasserstoffs in Helium um. Trotz dieser großen Mengen reicht der Wasserstoffvorrat aber für einen Zeitraum von ca. 10 bis 11 Milliarden Jahren.

Während dieser Zeit sammelt sich das Helium im Kern an. Dort läuft die Kernschmelzung ab. Dort sitzt das Kraftwerk, das die Sonne über den gesamten Zeitraum strahlen lässt.

Wenn der Wasserstoff dann zu Ende geht, verebben die Fusionsprozesse. Der Kern ist jetzt zur Gänze in Helium umgewandelt und enthält keinen Wasserstoff mehr, der fusioniert werden kann.

Wasserstoff gibt es aber noch in den äußeren Schichten, wohin sich die Prozesse nun verlagern.

Wie eine Schale umschließt die Zone des so genannten Wasserstoffbrennens die Kernregion – weshalb es auch Schalenbrennen genannt wird.

Diese Vorgänge stören das Gleichgewicht zwischen dem Gas- und Strahlungsdruck einerseits und der Schwerkraft andererseits. Ein Gleichgewicht, das die Sonne über 10 Milliarden Jahre lang stabil gehalten hat. Jetzt tritt sie in eine neue Phase, in der sich ihr Erscheinungsbild dramatisch verändern wird.

Da sich Gas- und Strahlungsdruck erhöhen, werden die oberen Materieschichten nach außen getrieben – die Sonne beginnt sich aufzublähen.

Sie verschluckt die zwei inneren Planeten: zuerst Merkur, dann die Venus.

Die Sonne verändert ihre Farbe in ein tiefes Rot, denn durch die Expansion kühlt die Temperatur an der Oberfläche um etwa 3.000 Grad ab.

Die Erde ist nun der nächste Planet.

Sie wird den Wandel der Sonne ebenfalls nicht schadlos überstehen.

Da ihr die Sonnenoberfläche immer näher kommt, erwärmt sie sich langsam. Ihre Atmosphäre verglüht ins All. Die Ozeane verdampfen. Jegliches Leben erlischt. Aus unserem Blauen Planeten wird ein glühender Materieklumpen, aufgeheizt auf mehrere 1000 Kelvin, heiß wie Lava.

Die Sonne hat sich in der Zwischenzeit bis zur Erdumlaufbahn ausgedehnt.

Über einen Zeitraum von 500 Millionen Jahren ist sie auf das 100-fache ihrer ursprünglichen Größe angewachsen. Aus einem durchschnittlich großen Himmelskörper ist ein Riesenstern geworden - ein Roter Riese.

Was von unserem Heimatplaneten noch übrig ist, wird von den enormen Energien bald zur Gänze zerstört sein.

Der Rote Riese beginnt immer heftiger zu pulsieren.

Chemische und physikalische Prozesse verändern die Eigenschaften seiner Materie. Dadurch dringt einmal mehr Strahlung nach außen und der Stern bläht sich auf, gefolgt von einer Periode mit geringerer Strahlung, während der der Stern schrumpft.

Die Bewegungen werden so heftig, dass Materie ins All geschleudert wird.

Hier das Bild eines Sterns in einer späteren Phase. Jede dieser konzentrischen Kreise ist in Wirklichkeit eine Schale, die durch seine Pulsbewegungen abgeworfen wurde und den Stern umhüllt. Dies geht mehrere Millionen Jahre lang, bis er in einer nächsten Phase die äußeren Materieschichten durch einen noch heftigeren Sternenwind komplett abwirft.

Übrig bleibt der Heliumkern. Sehr heiß und klein wie ein Planet. Seine Bezeichnung: Weißer Zwerg.

Dieser Stern hat die letzte Phase in seinem Lebenszyklus erreicht.

Unsere Sonne wird diesen Wandel zum Roten Riesen und danach zum Weißen Zwerg nach heutiger Schätzung erst in etwa 7 Milliarden Jahren durchlaufen.

Eine Entwicklung, die wir bei anderen Sternen schon heute beobachten können.

Dieses Objekt ist ein Weißer Zwerg. Der Kern einer ehemaligen Sonne. Er hat seine äußere Materiehülle schon abgestoßen. Seitdem breitet sich das Material ungehindert aus. Auch wenn die Hülle wie eine Scheibe wirkt, so hat sie doch Kugelform, denn Sterne stoßen ihr Material in der Regel gleichmäßig nach allen Richtungen ab. Der Name des Objekts: Helix Nebel. Seine Größe: ca. ein Lichtjahr.

Das Gas breitet sich ungehindert aus, da es von keinem anderen Himmelskörper und dessen Schwerkraft gebremst wird. Seine Geschwindigkeit liegt bei 30 Kilometer pro Sekunde, das sind mehr als 100.000 Kilometer pro Stunde.

Welche Dimensionen und Kräfte im Spiel sind, lässt sich erahnen, wenn man weiß, dass jeder dieser tropfenförmigen Globulen etwa doppelt so groß ist wie unser Sonnensystem.

Ihre kometenhaften Schweife haben eine Länge von bis zu 200 Billionen Kilometer – das ist 1.000 Mal die Entfernung Erde Sonne.

Ein anderer Stern wird von seinem Nebel noch dicht umhüllt. Daraus kann man schließen, dass der Abwurf erst vor kurzem stattgefunden hat. Kurz bedeutet im Leben eines Sterns einige 1.000 Jahre.

Bei diesem Objekt, dem Katzenaugen-Nebel, haben die Astronomen die Expansion der Gashülle sichtbar gemacht. Im Abstand von 3 Jahren fotografiert, zeigen die beiden Aufnahmen, wie sich die Gaskugel vergrößert. Ihr Radius ist in diesem Zeitraum um einige Milliarden Kilometer gewachsen.

Wenn der Stern seine Hülle abwirft, verliert er etwa die Hälfte seiner Masse. Was übrig bleibt, hat aber nicht halbe Größe, sondern ein sehr viel kleineres Volumen. Die Materie wurde stark zusammengepresst. Noch im Inneren des Roten Riesen, lange bevor die Hülle abgestoßen wurde, ist sie vom enormen Gewicht der eigenen Masse langsam komprimiert worden. Der übrig gebliebene Kern ist so auf Planetengröße geschrumpft.

Die verschiedenen Farben geben Hinweis auf die Elemente, aus denen die Nebel bestehen. Grün zeigt hier Wasserstoff an.

Rot Stickstoff.

Blau steht hier für Sauerstoff.

Die Formen sind äußerst vielfältig.

Obwohl es sich bei diesen Objekten um Überreste von Sternen handelt, werden sie Planetarische Nebel genannt.

Der Begriff stammt aus einer Zeit, als die Teleskope noch nicht genügend scharfe Bilder lieferten und die Astronomen glaubten, nebelumwobene Planeten zu beobachten.

Je weiter sich der Nebel ausbreitet, desto dünner und durchsichtiger wird er. Übrig bleibt der nackte Weiße Zwerg.

Wie hier, wo sich gleich mehrere Weiße Zwerge in unmittelbarer Nachbarschaft befinden. Sie kühlen ab und ziehen ihre Bahnen durch die unendlichen Weiten der Galaxis.

Rote Riesen, Planetarische Nebel und Weiße Zwerge sind also nicht unterschiedliche Sterntypen, sondern stellen verschiedene Phasen im Leben eines Sterns dar. Wie verhält es sich mit den zahlreichen anderen Sternarten, die es gibt?

Eines der rätselhaftesten Objekte wurde von den Astronomen erst in den 60iger Jahren des 20. Jahrhunderts entdeckt. Es war ein Stern im Zentrum des Krebsnebels. Er strahlt sein Licht nicht gleichmäßig ab, sondern wechselt zwischen kurzen Phasen, in denen er aufleuchtet und wieder verschwindet. Dies in Bruchteilen einer Sekunde. Seine Strahlung setzt sich aus pulsartigen Signalen zusammen, die sich so präzise wiederholen, dass man schon glaubte, auf Botschaften außerirdischen Lebens gestoßen zu sein. Doch man erkannte, dass der Stern die Strahlungsquelle ist.

Er strahlt seine Energie nicht gleichmäßig nach allen Seiten ab, sondern kegelförmig an den Polen. Trifft einer der Strahlenkegel die Erde, registrieren wir einen Puls. Davon abgeleitet bekam er seinen Namen: Pulsar.

30 Pulse in der Sekunde bedeuten, dass der Stern 30 Mal in der Sekunde rotiert. Da er nicht von den enormen Fliehkräften zerfetzt wird, muss seine Materie besondere Eigenschaften aufweisen. Ein solch bizarres Himmelsobjekt wurde von Physikern bereits Jahrzehnte zuvor theoretisch berechnet und vorher gesagt.

Sie gingen davon aus, dass die Sternentwicklung von einem Faktor dominiert wird: der Schwerkraft. Schon für die Geburt eines Sterns ist sie von entscheidender Bedeutung. Sterne entstehen in riesigen Nebeln, die sich an einigen Stellen unter dem Einfluss der Schwerkraft zusammenziehen. Das ist der Beginn eines mehrere Millionen Jahre dauernden Prozesses, während dem sich mehr und mehr Material ansammelt und eine immer größere Gaskugel heranwächst.

Mit wachsender Masse wächst auch die Schwerkraft. Sie presst das Gas im Inneren des Protosterns zusammen, worauf es sich erhitzt und zu leuchten beginnt. Ist die Innentemperatur auf 15 Millionen Kelvin gestiegen, setzen die Fusionsprozesse ein und der Wasserstoff wird in Helium umgewandelt. Ein Stern ist geboren.

Wie sich ein fertiger Stern weiter entwickelt, hängt von der Größe seiner Masse ab. Riesensterne, und es gibt welche, die ein Vielfaches der Masse unserer Sonne besitzen, haben einen derart hohen Gravitationsdruck, dass sie die Kernregion mit ihrem Gewicht auf kleinsten Raum zusammen pressen. Die Innentemperatur steigt dabei auf Werte von mehreren Milliarden Kelvin.

Jetzt bewegen sich die Atomkerne so schnell, dass sie ihre Abstoßungskräfte überwinden und verschmelzen. Es bilden sich immer komplexere Kerne und damit auch Elemente mit höherer Ordnungszahl.

Unter dem Druck der Schwerkraft wird die Kernregion kleiner. Die Atomhüllen werden zerstört. Übrig bleiben Neutronen, die einander plötzlich so nahe rücken, dass der Kern kollabiert. Eine Implosion, die eine Schockwelle auslöst und den Stern zerreißt – eine Supernova.

Übrig bleibt der Kern, der so stark verdichtet ist, dass selbst die extremen Fliehkräfte bei 30 Rotationen pro Sekunde ihn nicht sprengen können: ein Pulsar oder Neutronenstern.

Der Krebsnebel-Pulsar ist solch ein Neutronenstern. Er ist im Jahre 1054 explodiert, was wir aus Aufzeichnungen von chinesischen Astronomen wissen. Seither breitet sich die abgestoßene Gashülle ungehindert aus und hat bis heute eine Größe von mehreren Lichtjahren erreicht.

Die Nebel expandieren, bis ihre Materie so dünn verteilt ist, dass wir sie nicht mehr wahrnehmen können.

Entscheidend dafür, wie ein Stern endet, ist also seine Masse und der daraus resultierende Gravitationsdruck. Je größer die Masse, desto stärker wird die Kernregion vom eigenen Gewicht erdrückt. Mittelgroße Sterne wie unsere Sonne hinterlassen einen Weißen Zwerg mit 13.000 – 15.000 Kilometer Durchmesser und ca. halber bis 1,4-facher Sonnenmasse. Ein Sternriese hinterlässt einen Pulsar oder Neutronenstern mit nur 10 – 20 Kilometern Durchmesser, aber 1,4- bis 3-facher Sonnenmasse. Damit ist das Maximum der Materiedichte aber noch nicht erreicht.

Es gibt Sternenreste, die noch kleiner sind. Ihr Durchmesser: 6 Kilometer mit vielfacher Sonnenmasse. Ihre Materie ist so stark komprimiert, dass die Anziehungskraft selbst Licht daran hindert, abzustrahlen.

Ohne Abstrahlung bleibt der Stern unsichtbar – man nennt ihn ein Schwarzes Loch. Was den Ereignishorizont, die Grenze eines Schwarzen Lochs, überschreitet, verschwindet für immer. In seinem Inneren hören Zeit und Raum auf zu existieren.

Sterne sind also sich wandelnde Himmelsobjekte. Da sie unterschiedlich lange Lebenszyklen haben, können wir sie gleichzeitig in allen Lebensphasen beobachten. Auch unsere Sonne wird sich in wenigen Milliarden Jahren vom Energie- und Lebensspender zu einem todbringenden Monster wandeln und alles Leben auf der Erde auslöschen, das damit nur einen kurzen Auftritt in einem Universum gehabt haben wird, das wahrscheinlich auf ewig existiert.

Abspann:

Buch und Regie:
Gerald Kargl

Redaktion:
Mag. Walter Olensky

Wissenschaftliche Beratung:
Univ. Prof. Dr. Franz Kerschbaum
Institut für Astronomie der Universität Wien

Didaktische Beratung:
Prof. Mag. Hertha Craigher

Animationen:
Michael Zlabinger
Eugen Sares
Christoph Letmeier
k-Effects

Archivmaterial:

SOHO
A project of international cooperation between ESA and NASA
NASA/Goddard Space Flight Center

Yohkoh SXT + TRACE

Lockheed Solar and Astrophysics Laboratory, Palo Alto, CA

Big Bear Observatory

Institut für den Wissenschaftliche Film, Göttingen

Institut für Astronomie, Universität Graz
Kanzelhöhe Observatorium

National Optical Astronomy Observatories
National Science Foundation

David Malin
Anglo-Australian Observatory

Eckhard Slawik
Spektrum, Akademischer Verlag

Simon Carroll

Space Telescope Science Institute NASA

Max-Planck-Institut für Radioastronomie
Dr. Rolf Schwartz

Schnitt:
Michael Zlabinger

Musik:
Pogo Kreiner
Hermann Langschwert
Gerald Kargl

Johann Sebastian Bach – Air aus der Suite Nr. 3 BWV 1068
Musikverlag Narholz

Sprecher:
Rolf Schult

Hergestellt von

Gerald Kargl Ges.m.b.H. Filmproduktion

Im Auftrag des
Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur

© 2001

ENDE

Begleitmaterial zu „Das Leben und Sterben der Sterne“ Arbeitsblatt –Lösungen

- 1) Protuberanzen reichen bis zu 500 000 km weit ins Weltall. Die Erde hat einen Radius von 6370 km. Wie oft könnte man die Erde in einer solchen Protuberanz „auffädeln“?

$$\frac{500000}{2.6370} = 39,2 \quad \text{Man könnte die Erde ungefähr 40 mal auffädeln.}$$

- 2) Was kann man aus der dunklen Färbung von Sonnenflecken schließen?

Sie sind kühler als ihre Umgebung.

- 3) Wie entstehen die dunklen Sonnenflecken?

An ihrer Stelle sind die Magnetfelder stärker als in der nächsten Umgebung. Dadurch können sich die Gase dort weniger heftig bewegen, was eine tiefere Temperatur zur Folge hat.

- 4) Die Strahlung der Sonne braucht 5,5 Stunden um „an den Rand“ unseres Sonnensystems, also zum Planeten Pluto zu gelangen.

Die Lichtgeschwindigkeit beträgt 300 000 km/s. Berechne den ungefähren Radius des Sonnensystems.

$$300\,000 \text{ km/s} \cdot 5,5 \cdot 3600 = 5,94 \cdot 10^9 \text{ km.}$$

Der Radius des Sonnensystems beträgt ca. 6 Milliarden Kilometer.

Begleitmaterial zu „Das Leben und Sterben der Sterne“ Lehrerbegleitmaterial

1) Ein Vergleich zur Dichte eines Weißen Zwerges bzw. eines Neutronensterns

Da der menschliche Körper zu einem überwiegenden Teil aus Wasser besteht, kann man seine Dichte mit 1g/cm^3 annehmen. Die Dichte eines Weißen Zwerges beträgt 10^6 g/cm^3 .

Wie groß wäre ein Mensch, der bei unveränderter Masse aus Material mit der Dichte eines Weißen Zwerges bestehen würde?

Die Dichte des Weißen Zwerges ist um den Faktor 10^6 mal größer als die Dichte des menschlichen Körpers. Entsprechend der Formel $m = \rho \cdot V$ muss also das Volumen um denselben Faktor kleiner werden. Die Abmessungen verkleinern sich dementsprechend um den Faktor $\sqrt[3]{10^6} = 100$.

Ein Mensch von ca. 170 cm Körpergröße würde daher die Größe 1,7 cm haben.

Neutronensterne haben die Dichte 10^{15} g/cm^3 .

Wie groß wäre ein Mensch, der bei unveränderter Masse aus Material mit der Dichte eines Neutronensterns bestehen würde?

Die gleiche Überlegung wie oben liefert nun den Verkleinerungsfaktor $\sqrt[3]{10^{15}} = 100\,000$.

Ein Mensch von ca. 170 cm Körpergröße würde daher die Größe 0,017 mm haben.

2) Interessantes rund um einen Neutronenstern

Ein Neutronenstern habe die Masse $M = 2 \cdot 10^{30}$ kg und den Radius $r = 10$ km.

- Berechne die Schwerebeschleunigung auf der Oberfläche des Sterns.
- Berechne die Dauer des freien Falls auf diesem Stern aus einer Höhe von 1 m.
- Berechne die Endgeschwindigkeit dieses Körpers in km/h.
- Der fallende Körper soll die Masse einer irdischen Fliege haben (10^{-6} kg).
Berechne die kinetische Energie der Fliege bei ihrem *Aufprall* auf dem Neutronenstern.
- Mit welcher Geschwindigkeit (in km/h) muss ein Auto mit der Masse 1 t fahren, um dieselbe kinetische Energie zu haben?

LÖSUNGEN

$$a) g = \frac{G \cdot M}{r^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{30}}{10^8} = 1,334 \cdot 10^{12} \text{ m/s}^2$$

$$b) t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = 1,22 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$c) m g h = \frac{m v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{2 g h} = 1,63 \cdot 10^6 \text{ m/s} = 5,8 \cdot 10^6 \text{ km/h}$$

$$d) E_{\text{kin}} = \frac{m v^2}{2} = 1,33 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$e) v = \sqrt{\frac{2 E_{\text{kin}}}{m}} = 51,65 \text{ m/s} = 186 \text{ km/h}$$

Die Beispiele im Lehrerbegleitmaterial wurden in Anlehnung an das folgende Buch erstellt:

So interessant ist Physik! – Walter Kranzer – Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1982