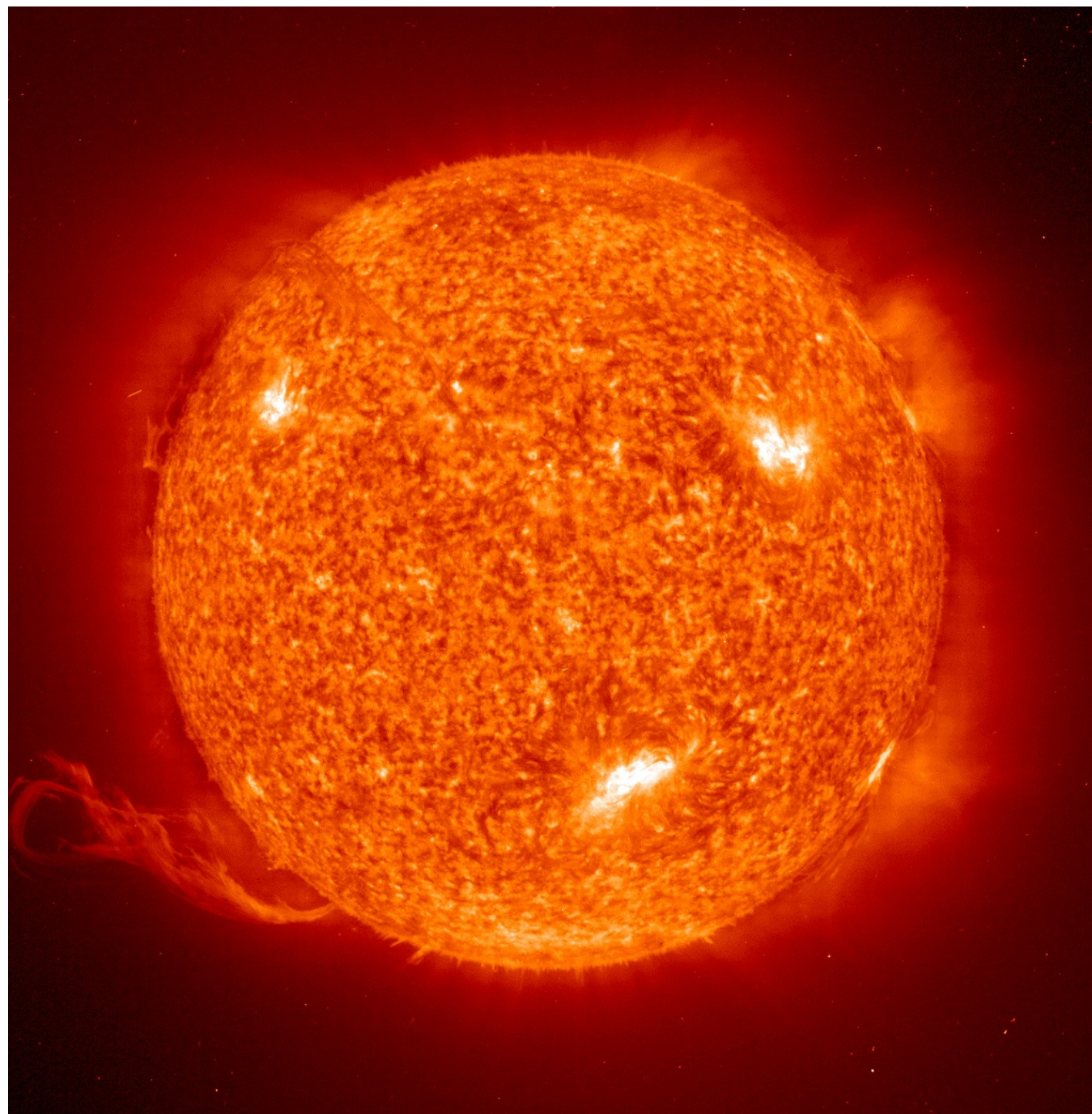


DIE SONNE

Steckbrief

- mittlere Entfernung: 150 Millionen Kilometer
- Durchmesser: 1,4 Millionen Kilometer
- Rotationsdauer: ca. 26 Tage
- Masse: $2 \cdot 10^{30}$ Kilogramm
333.000 Erdmassen
- Zusammensetzung: 75 % Wasserstoff
23 % Helium
2 % schwerere Elemente
- Temperatur: 5.500 Grad (Oberfläche)
15 Millionen Grad (Kern)
- Druck im Kern: 200 Milliarden Atmosphären
- Materieumwandlung: 564 Millionen Tonnen Wasserstoff werden pro Sekunde zu 560 Millionen Tonnen Helium
- Energieabstrahlung: $3,8 \cdot 10^{23}$ kW insgesamt oder 63.290 kW pro Quadratmeter der Oberfläche
- Alter: 4,57 Milliarden Jahre
- restliche Lebensdauer: ca. 5 Milliarden Jahre

Die Sonne - ein Stern wie viele Andere



Im einem Arm der Milchstraße, dem sog. Orion-Arm befand sich vor ca. 4,7 Milliarden Jahren eine Gaswolke. Sie enthielt hauptsächlich Wasserstoff und Helium. Zeitgleich gab es in unmittelbarer Nähe eine Sternexplosion, also eine Supernova, deren Überreste ebenfalls in der Gaswolke blieben. In einigen Bereichen dieser Wolke begann sich die Materie zu verdichten. Aus einem dieser Keime ist die Sonne entstanden. Sie ist das Zentralgestirn unseres Planetensystems.

Was geht in der Sonne vor?

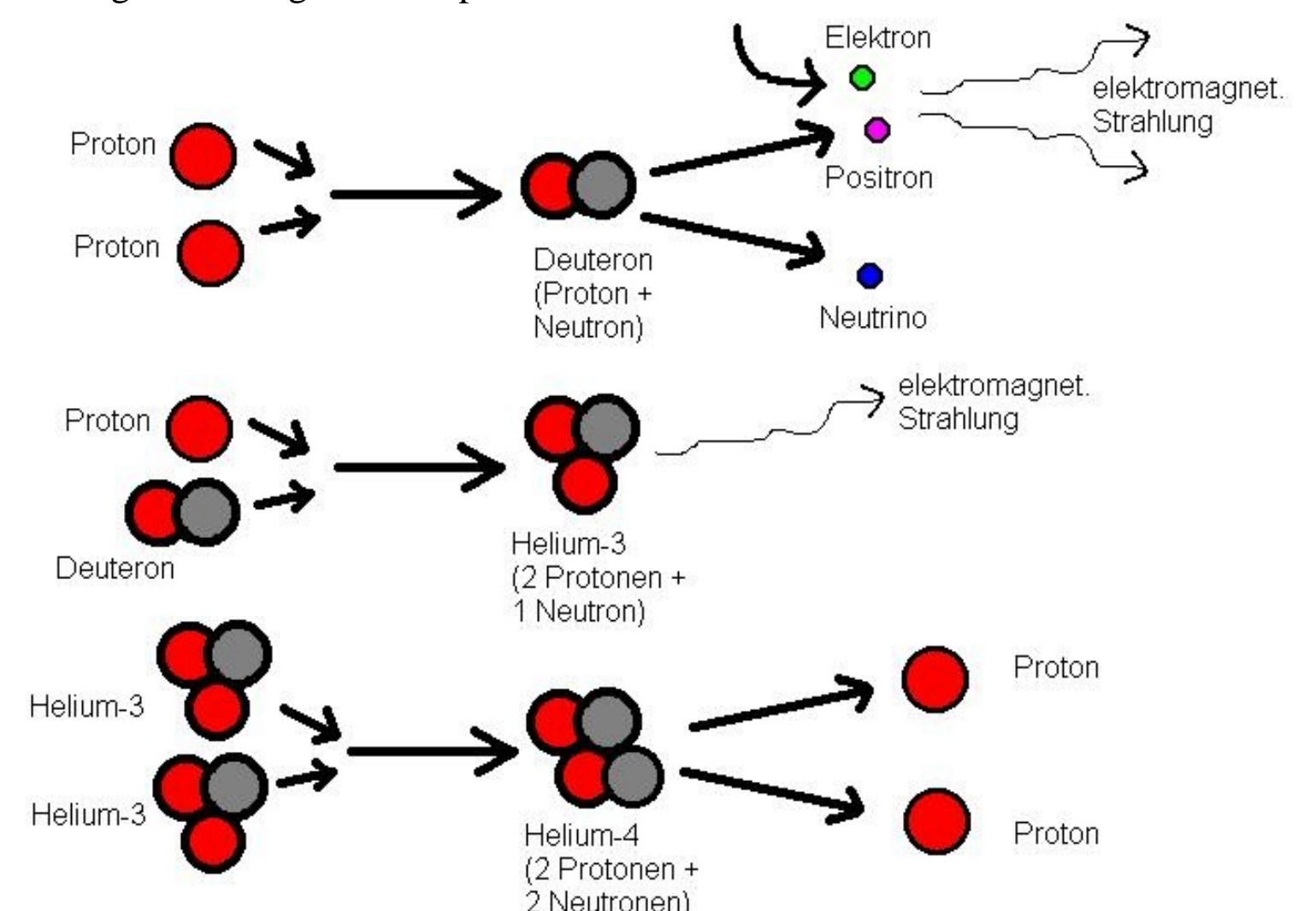
Die Sonne ist nichts anderes als ein riesiger Fusionsreaktor. Das heißt: tief im Kern der Sonne wird durch die Verschmelzung von Wasserstoff zu Helium Energie gewonnen.

Aber die Sonne explodiert nicht wie eine Bombe, weil sich die Kräfte im Gleichgewicht halten. Die Sonne wird durch ihre eigene Schwerkraft zusammengehalten, und die Atome im Kern der Sonne werden so dicht zusammengepreßt, daß es zur Kernfusion kommen kann.

Die dabei entstehende elektromagnetische Strahlung, also Licht, kompensiert die Gravitation exakt. Die Sonne ist für lange Zeit in einem stabilen Gleichgewicht der Kräfte. Diese Gleichgewicht wird insgesamt ca. 10 Milliarden Jahre erhalten bleiben.

Energieproduktion durch Kernfusion

4 Protonen (Wasserstoffkerne) verbinden sich zu einem Heliumkern. Er ist insgesamt um 0,7 % leichter als die 4 Protonen. Diese Massendifferenz wird gemäß $E = mc^2$ umgesetzt. Die Formel besagt, daß die „Masse m“ und die „Energie E“ einander äquivalent sind, wenn man die Masse mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit multipliziert. Die Startreaktion sehen Sie in der Skizze:



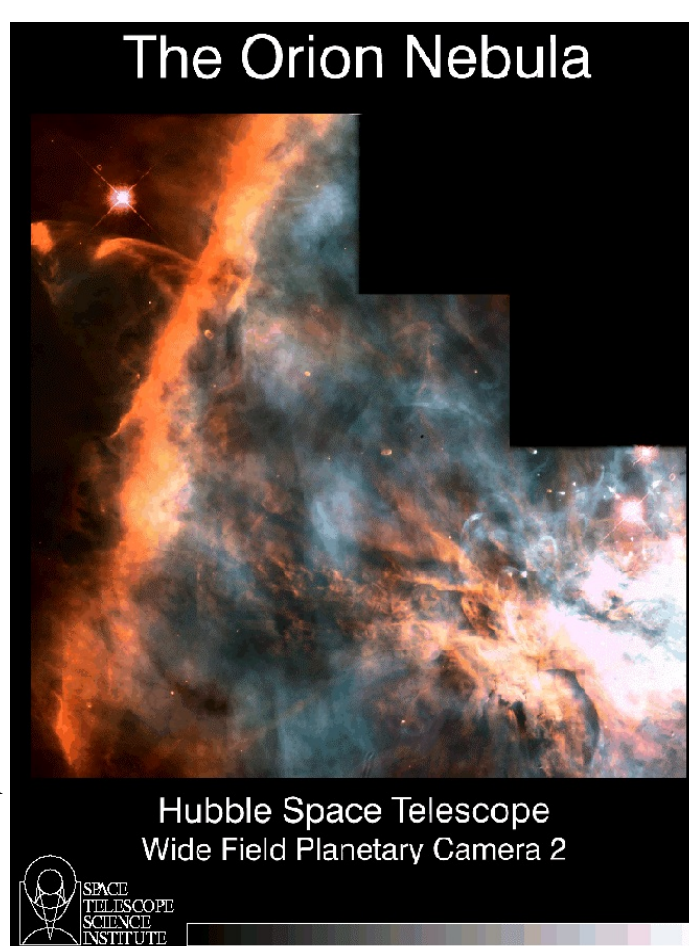
Lebenszyklus der Sterne

Die Umgebung

Das Weltall ist größtenteils leer. Typischerweise befindet sich im Durchschnitt etwa 1 Atom in einem Kubikzentimeter Raum. Zum Vergleich: in einem Kubikzentimeter Luft sind etwa 6 Milliarden Milliarden Atome enthalten.

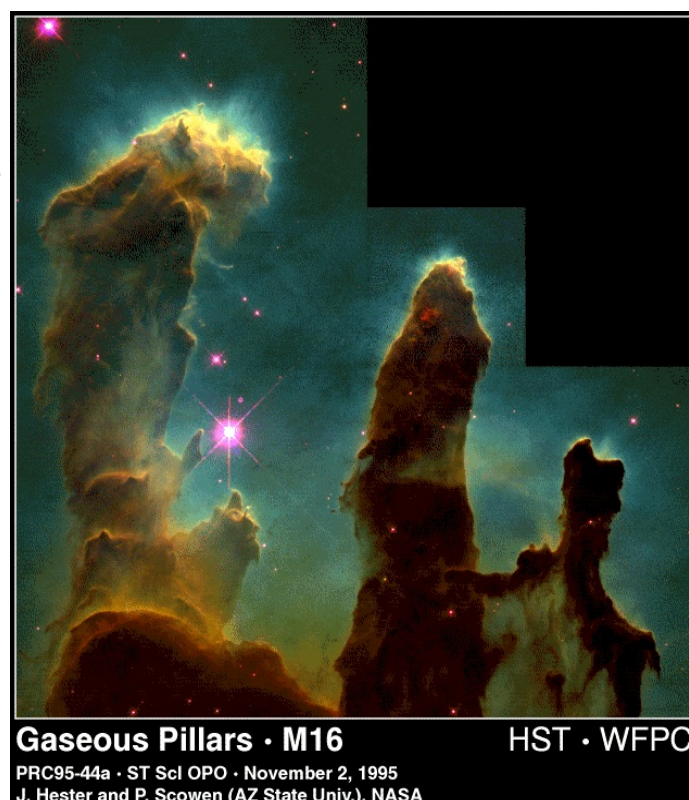
Der Brutkasten

In einigen Bereichen gibt es etwas mehr Gas. Es ist hauptsächlich Wasserstoff (72 %) und Helium (25 %). Die Zahl der Atome und Moleküle steigt dort auf ca. einige Tausend pro Kubikzentimeter. Diese Gebiete haben zuweilen eine Ausdehnung von bis zu 300 Lichtjahren (ein Lichtjahr = 9,5 Billionen Kilometer). Der Orion-Nebel ist eine solche Region.



Der Kollaps

Steigt die Dichte der Atome und Moleküle in diesen Gaswolken weiter (über 30.000 pro cm^3), beginnt die Schwerkraft über den Gasdruck zu dominieren. Es bilden sich Zentren erhöhter Materiedichte, die mit der Zeit immer weiter anwachsen. Immer mehr Materie stürzt in diese Zentren, die dadurch immer schwerer werden. Dieser Prozeß ist im Bild rechts zu sehen.

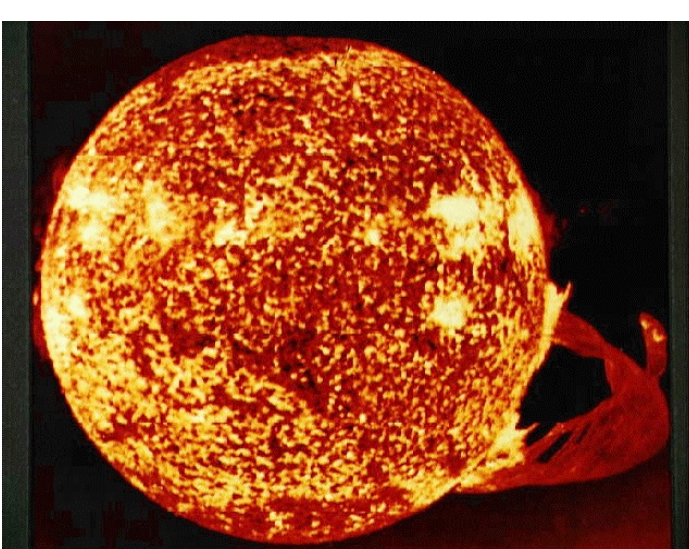


Die Geburt

Während die Wolke immer weiter in sich zusammenstürzt, heizt sich das Gas auf. Irgendwann ist die Temperatur so hoch, daß die Fusion der Atome beginnt.

Ein langes Leben

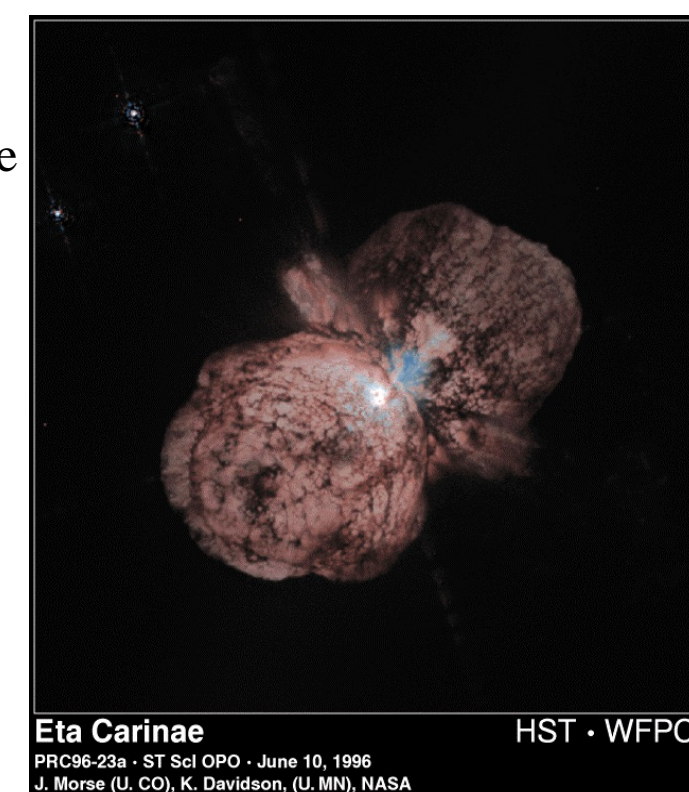
Sterne gehen in die stabile Phase über, wenn sie mit der Energieproduktion beginnen. Wasserstoff wird zu Helium verbrannt. Ein Heliumkern ist um 0,7 % leichter als 4 Wasserstoffkerne. Diese Massendifferenz wird in Energie umgewandelt. Wir sehen sie als Sternlicht. Ein durchschnittlicher Stern bleibt über mehrere Milliarden Jahre in dieser Phase.



Sternentod

Schließlich geht den Sternen der Brennstoff aus. Sie dehnen sich langsam aus und werfen die äußeren Schichten ab. Der Kern schrumpft zu einem weißen Zwerg, der langsam ausglüht, bis alle Energie verbraucht ist.

Ist die Masse des Sterns etwas größer, ist auch die Schwerkraft stärker. Der Kern stürzt sehr schnell in sich zusammen. Durch die Schockwelle wird die Hülle explosionsartig abgestoßen, wie im Bild rechts erkennbar. Wir sehen das am Nachthimmel als Supernova. Der Kern des Sterns wandelt sich zu einem Neutronenstern oder fällt als Schwarzes Loch in sich zusammen.



Recycling

Die abgestoßene Sternenhülle dehnt sich langsam aus. Sie kann sich mit Gaswolken in der näheren Umgebung vermischen. Das in ihr enthaltene Material kann dann bei der Geburt neuer Sterne wieder eingebracht werden.

Das Sonnensystem

Unsere Sonne ist nicht allein. Während sich die Wolke aus Gas und Staub, aus der später die Sonne werden sollte, zusammenzog, erhöhte sich ihre Rotationsgeschwindigkeit. Dadurch wurde kondensierter Staub, also Kohlenstoff, Eisen, Silicium und andere schwerere Elemente nach außen geschleudert.

Diese Materie umkreist das Zentrum der Wolke auf elliptischen Bahnen.

Durch viele Zusammenstöße sammeln sich die Staubeilchen zu großen Klumpen, aus denen später die Planeten werden:

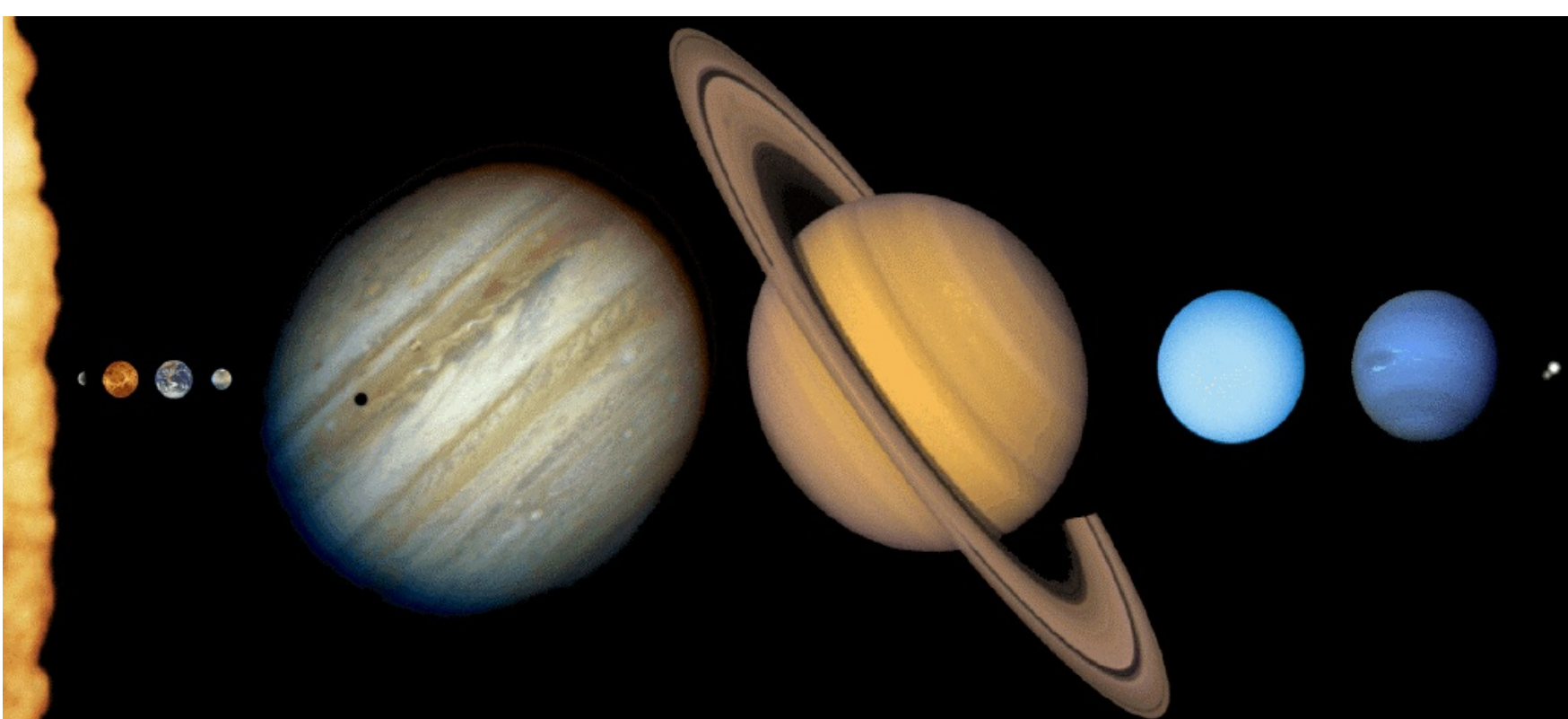
Erdähnliche Planeten:

Merkur umkreist die Sonne in 88 Tagen mit einem Abstand von 58 Millionen km, seine Masse beträgt $3,3 \cdot 10^{23}$ kg (0,055 Erdmassen). Merkur besitzt keinen Mond.

Venus umkreist die Sonne in 243 Tagen mit einem Abstand von 108 Millionen km, ihre Masse beträgt $4,9 \cdot 10^{24}$ kg (0,82 Erdmassen). Venus besitzt keinen Mond.

Erde umkreist die Sonne in 365 Tagen mit einem Abstand von 150 Millionen km. Diesen Abstand bezeichnet man als „Astronomische Einheit“, die Masse der Erde beträgt $6,0 \cdot 10^{24}$ kg. Die Erde hat einen Mond.

Mars umkreist die Sonne in 687 Tagen mit einem Abstand von 228 Millionen km, seine Masse beträgt $6,4 \cdot 10^{23}$ kg (0,11 Erdmassen). Mars wird von 2 Monden begleitet.



Gasriesen:

Jupiter umkreist die Sonne in 11,86 Jahren mit einem Abstand von 778,4 Millionen km, seine Masse beträgt $1,9 \cdot 10^{27}$ kg (318 Erdmassen). Jupiter besitzt 16 Monde und einen schwachen Staubring.

Saturn umkreist die Sonne in 29,46 Jahren mit einem Abstand von 1.423,6 Millionen km, seine Masse beträgt $5,7 \cdot 10^{26}$ kg (95 Erdmassen). Saturn besitzt mindesten 19 Monde und ein ausgeprägtes Ringsystem.

Uranus umkreist die Sonne in 84 Jahren mit einem Abstand von 2.864 Millionen km, seine Masse beträgt $8,7 \cdot 10^{25}$ kg (14,6 Erdmassen). Uranus wird von 17 Monden begleitet.

Neptun umkreist die Sonne in 164,3 Jahren mit einem Abstand von 4.488,4 Millionen km, seine Masse beträgt $1,0 \cdot 10^{26}$ kg (17,1 Erdmassen). Neptun wird von 8 Monden umkreist.

Das äußere Planetensystem:

Pluto ist der kleinste Planet; er umkreist die Sonne in 248 Jahren mit einem Abstand von 5910 Millionen km, seine Masse beträgt $1,3 \cdot 10^{22}$ kg (0,02 Erdmassen). Pluto wird begleitet von seinem Mond Charon.

Zwischen den Planeten gibt es unzählige kleine Körper: zwischen Mars und Jupiter erstreckt sich der **Asteroidengürtel**, in dem viele Millionen kleiner Brocken aus Gestein und Metall die Sonne umkreisen.

Im Abstand von 10 - 30 Astronomischen Einheiten, außerhalb der Bahn des Neptun und etwa in der selben Entfernung wie Pluto, liegt der **Kuipergürtel**, eine Ansammlung von unzähligen kleinen Eisbrocken. Von hier kommen die Kometen, die mit kurzen Umlaufzeiten von einigen Jahrzehnten in das innere Sonnensystem eindringen.

Die **Oort'sche Wolke** umgibt das Sonnensystem kugelschalenförmig in einem Abstand von 50.000 - 100.000 Astronomische Einheiten. Sie besteht aus unzähligen Stein-, Eis- und Metallbrocken, von denen gelegentlich einer in das innere Sonnensystem gelenkt wird und uns als Komet erscheint.

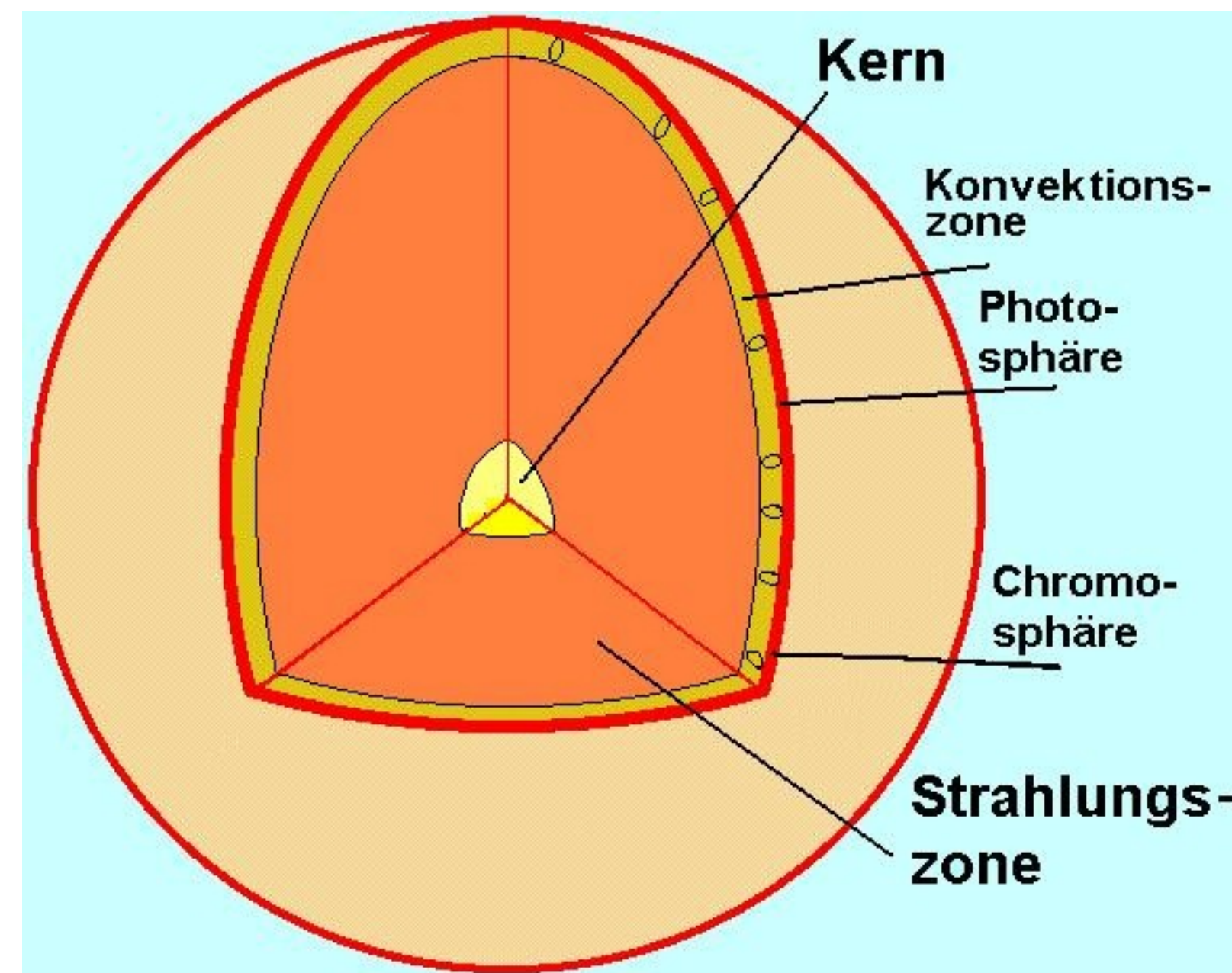
Damit ist der Rand des Sonnensystems erreicht. Die Entfernung der Sonne zum nächsten Nachbarstern (Proxima Centauri) beträgt ca. 4,2 Lichtjahre (das entspricht ca. 265.000 Astronomischen Einheiten oder ca. 40 Billionen Kilometer).

Der Aufbau der Sonne

Stellen wir uns einmal die Frage: „Wie funktioniert die Sonne?“

Will man diese Frage beantworten, so entwickelt man eine Theorie, deren Vorhersagen man mit Beobachtungen und Messungen überprüfen kann.

Dazu beobachtet man die Sonne seit Jahrhunderten mit Fernrohren und beobachtet das Licht, das sie aussendet. Heute werden auch die Schallwellen untersucht, die durch die Sonne hindurchlaufen, oder die Neutrinos, die in ihr entstehen.



Tief in Inneren

Die Sonne ist ein riesiger Ball aus heißem Gas. Sie besteht aus Wasserstoff, Helium und einer kleinen Beimischung schwererer Elemente. In ihrem Zentrum, dem **Kern**, vereinigt sie etwa die Hälfte der gesamten Masse. Dort produziert sie ca. 99 % der Energie, obwohl der Kernradius nur etwa 1/4 des Sonnenradius ausmacht.

Der Kern nimmt also nur 1,5 % des Sonnenvolumens ein.

Um den Kern herum befindet sich die **Strahlungszone**.

Die Energie, die im Kern der Sonne produziert wurde, wird hier durch elektromagnetische Strahlung (hochenergetische Photonen, also nichts anderes als Licht) weitergeleitet.

An der Oberfläche

Bei ca. 85 % des Sonnenradius ist die Temperatur soweit abgesunken, daß die Atome die Photonen dauerhaft absorbieren, also die Energie aufnehmen. Dadurch wird die Materie heißer und sie beginnt, in riesigen Wirbeln aufzusteigen. An der Oberfläche kühlt das Gas wieder ab und sinkt in die Tiefe. Es blubbert wie im kochenden Spinat. Diesen Bereich nennt man die **Konvektionszone**.

Die **Photosphäre** ist nur ca. 400 km dick. Die Temperatur sinkt von 6.000 Grad Celsius auf 4.000 Grad Celsius. Von hier kommt das Licht, das wir als Sonnenlicht täglich wahrnehmen.

Die **Chromosphäre** ist eine unregelmäßige Schicht, die sich einige Tausend Kilometer über die Photosphäre erstreckt. Die Materiedichte ist sehr niedrig, dafür steigt die Geschwindigkeit der Teilchen hier so stark an, daß die Chromosphäre nach außen hin immer wärmer wird (bis zu 1 Millionen Grad Celsius)

Um die Sonne herum erstreckt sich die **Korona**. Sie ist weit und unregelmäßig ausgedehnt und ihre Form ändert sich mit dem 11-Jahres-Rhythmus der Sonnenflecken. Die Materiedichte ist relativ gering und geht kontinuierlich in das interplanetare Vakuum über.

