

# Der Lebenslauf der Sterne

**Dass auch Sterne geboren werden und nach einer mehr oder weniger langen Lebensdauer sterben, weiß man erst seit relativ kurzer Zeit. Zwar hatten schon Kant und Laplace erste physikalische Betrachtungen über die Sternentstehung angestellt, jedoch sind die Vorgänge der Sternentwicklung erst etwa seit Mitte des 20. Jahrhunderts im Wesentlichen bekannt.**

Die "praenatale" Phase eines Sterns beginnt mit der Zusammenballung einer Wolke aus Gas, (hauptsächlich Wasserstoff) und Staub. Dabei muss die Mindestmasse der Wolke eine bestimmte Bedingung erfüllen, das sogenannte *Jeans-Kriterium* (siehe diesbezüglichen Beitrag). Dieses besagt, dass eine kosmische Gaswolke nur dann kollabiert, wenn die kontrahierenden Gravitationskräfte größer sind als die stabilisierende Kraft des Gasdruckes. Zumeist bilden sich jedoch nicht kleine, sondern große Molekül-Wolken von bis zu  $10^6$  Sonnenmassen. Sie sind am Himmel als Dunkelwolken erheblichen Ausmaßes (bis zu 150 Lichtjahren Durchmesser) zu erkennen. Durch die eigene Schwerkraft verdichtet sich eine solche Wolke immer weiter, wobei sie durch gravitative Klumpung immer heißer werdende Kerne ausbildet, die dann zu sogenannten *Protosternen* kollabieren.

Ein Protostern ist noch instabil. Er kontrahiert solange immer weiter, bis die Temperatur im Inneren je nach Reaktionskette zwischen 1 und 10 Millionen Kelvin erreicht und das nukleare Wasserstoffbrennen in hohem Maße einsetzt. Dieses erzeugt einen Strahlungsdruck, der einer weiteren Kontraktion des Protosterns durch die Schwerkraft entgegenwirkt und den jetzt geborenen Stern, umgeben von einer Gas- und Staubscheibe, stabilisiert.

Es folgt eine weitere Phase, in der die Strahlung des Sterns seine unmittelbare Umgebung von Staub freibläst und durch Kondensationsprozesse innerhalb des verbleibenden Staubtorus zur Bildung von Planeten führen kann.

Danach durchläuft der Stern eine mehr oder weniger lange, stabile Strahlungsphase (im Herzprung-Russel-Diagramm ist dies die Hauptreihe), in deren Verlauf der Stern seinen Wasserstoffvorrat als nuklearen Brennstoff verbraucht. Die Dauer dieser Phase hängt im Wesentlichen von der Masse des Sterns ab. Je mehr Masse ein Stern hat, um so schneller verbraucht er seinen Wasserstoffvorrat, und zwar nach der Beziehung  $T \cong M^{-2,5}$  ( $T$  = Lebenserwartung,  $M$  = Masse). Das heißt: Je massereicher ein Stern ist, desto kürzer ist seine Lebenserwartung. Unsere Sonne hat eine Lebenserwartung von rund 9 Milliarden Jahren, von der etwa die Hälfte bereits verflossen ist.

Ist dann der Wasserstoff des Sterns verbraucht, d. h. durch Kernfusion zu Helium verschmolzen, beginnt das sogenannte Helium-Brennen. Danach werden weitere Fusionsprozesse ausgelöst, die wiederum je nach Masse des Sterns zu schwereren Elementen, im Extremfall bis hin zum Eisen führen können. Während dieser letzten Phase des nuklearen Brennens wird der Stern schon instabil. Sein endgültiger Tod wird dann durch drei verschiedene, ebenfalls masseabhängige Endstadien besiegelt.

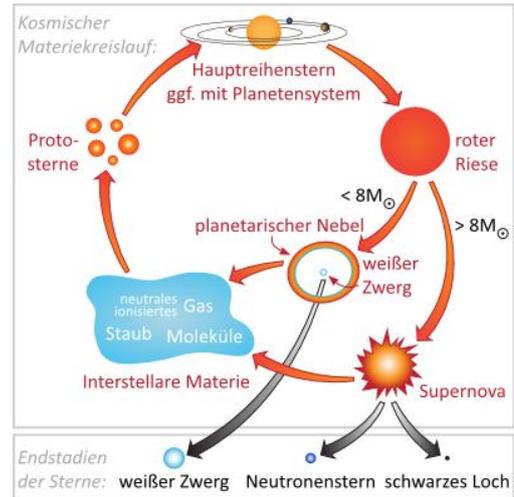
1. Ein relativ massearmer Stern, wie unsere Sonne bläht sich während der Instabilitätsphase zu einem sogenannten *Roten Riesen* auf, d. h. er dehnt sich um das bis zum Hundertfache seines Durchmessers aus. Dieser Vorgang wird dadurch hervorgerufen, dass ein solcher Stern nicht genug Masse hat, um die Kernfusion für schwerere Elemente bis zum Eisen aufrecht zu erhalten. Deshalb erlischt der Prozess zunächst im inneren Bereich, sodass nur noch in den äußeren Zonen des Sterns Wasserstoff zu Helium fusioniert (das sogenannte *Schalenbrennen*) und der sterbende Stern sich dabei aufbläht. Ist auch dieser Prozess erloschen, verringert sich der stabilisierende Strahlungsdruck schnell und die Gravitation gewinnt die Oberhoheit. Dadurch schrumpft der Stern drastisch - er stirbt - und hinterlässt als Leiche einen *Weißen Zwerg*, der dann weiter im Laufe der Jahrmilliarden auskühlt und als toter Materiebrocken im Weltall vagabundiert.

2. Sterne, deren Masse die *Chandrasekhar-Grenze* (siehe diesbezüglichen Beitrag) von 1,46 Sonnenmassen überschreitet, durchlaufen einen anderen Todeskampf. Wenn alle stabilisierenden, d. h. Strahlungsenergie freisetzenden Vorgänge erloschen sind, nimmt die Gravitation derart überhand, dass der Stern unter

der Last der eigenen Schwerkraft so gut wie vollständig kollabiert. Dies vollzieht sich in einer gewaltigen Implosion, einer **Supernova**. Übrig bleibt, je nach Restmasse, entweder ein **Neutronenstern** oder ein **Schwarzes Loch** (siehe diesbezüglichen Beitrag). Während bei Neutronensternen noch die letzte der vier Elementarkräfte der Physik, die starke Wechselwirkung, der Gravitation standhält, wird beim Schwarzen Loch auch noch diese allerletzte Barriere durchbrochen und der Stern kollabiert vollständig zu einer sogenannten **Singularität**, das heißt, zu einem Schwarzen Loch. Neutronensterne bestehen hingegen, - salopp gesprochen, - nur noch aus zusammengepferchten Neutronen, die dadurch entstehen, dass die Elektronen der atomaren Schalen in den Atomkern gepresst werden. Dadurch verschmelzen sie mit den Protonen des Kerns zu Neutronen. Derartige Sternleichen haben dann noch Durchmesser von etwa 15 – 20 km! Ihre Restmasse nach der Implosion beträgt zwischen 1,5 bis etwa 3 Sonnenmassen. Darüber hinaus gibt es nur noch Schwarze Löcher.

Zur Veranschaulichung ist der Lebenslauf der Sterne in der folgenden Abbildung als kosmischer Kreislauf dargestellt:

Abb.:  
Kosmischer Materiekreislauf



Grafik: <https://lp.uni-goettingen.de//get/image/7182>

P. S.