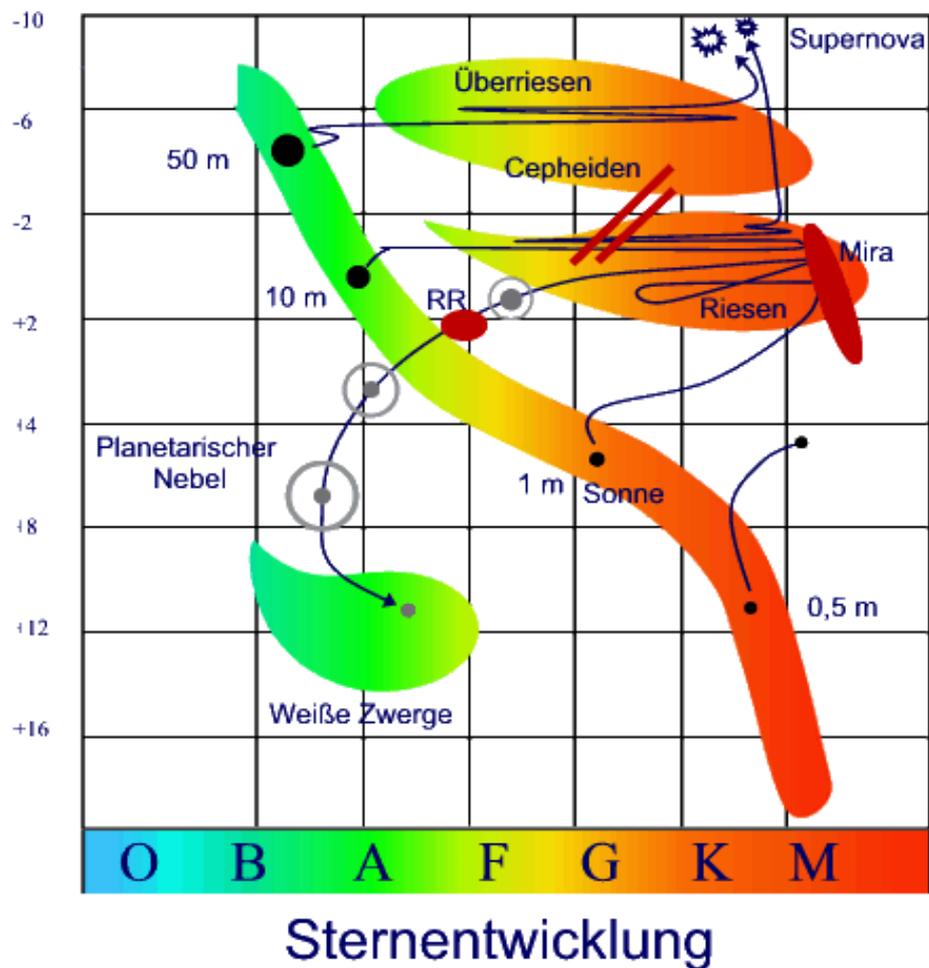


# Sternentstehung und Sternentwicklung

## Sternentwicklung nach dem Hauptreihenstadium

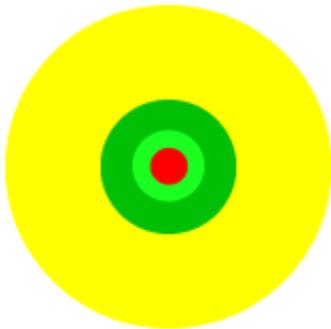
Mit der Zeit bildet sich im Zentrum ein Kernbereich aus Helium, gewissermaßen die Asche des Wasserstoffbrennens. Die Wasserstoffbrennzonen wandern nach außen, es setzt Schalenbrennen ein. Die Gravitation bringt den Kern zum Kollabieren, die Temperatur steigt auf 100 Millionen Kelvin an und das Heliumbrennen, genannte Salpeter-Prozess beginnt. Dabei wird Helium zu Kohlenstoff fusioniert. Der Stern verfügt jetzt über zwei Energiequellen, im Zentrum das Heliumbrennen, weiter außen die Zone des Wasserstoffbrennens. Wenn die Wasserstoffbrennschale nach außen wandert, ändert sich auch die Größe und die Oberflächentemperatur des Sterns. Der Stern bläht sich auf, die Oberflächentemperatur sinkt, er wird zu einem **Roten Riesen**. Der Stern rückt nach rechts von der Hauptreihe ab. Bei einer gewissen Größe des Heliumkerns kann es zu einem Heliumflash kommen, der Stern wird dann zu einem Überriesen. In diesen Gebieten bleibt der Stern bis sein Heliumvorrat erschöpft ist.



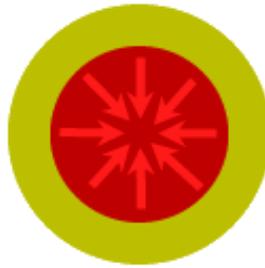
Masseärmere Sterne, etwa bis acht Sonnenmassen, zeigen eine Entwicklung vom Wasserstoffbrennen bis zur Fusion von Kernen zu Sauerstoff.

Der Rote Riese oder Überriese bläst die äußeren Schichten in einem Sternenwind ab. Im Zentrum bleibt eine Kernregion aus Kohlenstoff und Sauerstoff, der frühere Überriese hat einen planetarischen Nebel gebildet. Der Zentralstern wird zum weißen Zwerg, der aus quantenmechanischen Gründen nicht weiter kollabiert. Die Temperatur ist nicht hoch genug, um weitere Fusionsvorgänge zu erlauben.

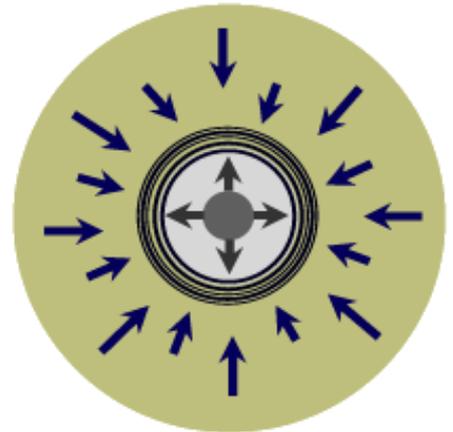
Massereiche Sterne können im Zentrum bei einer Milliarde Kelvin weitere Fusionsprozesse erlauben. Das nukleare Brennen geht weiter. Immer schwerere Kerne entstehen, bis zum Eisen. Nun können keine exothermen Reaktionen mehr ablaufen. Wenn die Masse der Kernregion größer als 1,4 Sonnenmassen ist, kollabiert sie aufgrund der Gravitation. Der Stern endet in einer Supernovaexplosion.



Schalenbrennen  
eines Sterns



Gravitationskollaps  
am Ende des  
Schalenbrennens



einstürzende Sternhülle  
mit Supernovaschockwelle

Rote Riesen im fortgeschrittenen Stadium werden für bestimmte Zeitspannen instabil, sie beginnen zu pulsieren. In der Phase des Heliumbrennens können Sterne anscheinend nicht ohne Schwierigkeiten Energie freisetzen. Die Energieabgabe erfolgt nicht in Gleichgewichtszuständen, die Sterne schwingen daher um ein Gleichgewicht. Ihre Oberflächen schwingen über einen Gleichgewichtszustand hinaus, der Stern bläht sich auf und schrumpft anschließend wieder, sogenannte Pulsationsveränderliche. Diese Veränderungen sind durch Dopplerverschiebungen im Spektrum nachweisbar. Die mit diesem Phänomen verbundenen Helligkeitsänderungen sind an ganz bestimmten Stellen im HRD zu beobachten.

Pulsationsveränderliche:	Mira-Sterne	80 - 1000 Tage	Riesen
	$\delta$ -Cepheiden	3 - 50 Tage	Überriesen
	RR-Lyrae-Sterne	< 1 Tag	Riesen

Diese Typen wurden jeweils nach ihren Prototypen, d.h. den zuerst entdeckten Sterne dieser Art benannt.

Weiterführend: [Sternentwicklung](#)

