

# Die Entwicklung vom Hauptreihenstern zum RR-Lyrae-Stern

Gisela Maintz

RR-Lyrae-Sterne gehören zu den Horizontalast-Sternen, d.h. es sind Sterne, die sich schon weiter entwickelt haben und gealtert sind.

Sterne bilden sich durch Kontraktion interstellarer Gaswolken. Ihre Masse besteht zu Beginn des Sternlebens aus 75% Wasserstoff und 23% Helium mit 2% Beimengungen schwererer Elemente (wie z.B. Sauerstoff, Stickstoff etc.). Diese schwereren Elemente wurden alle in Sternen fusioniert und durch Supernovae aber auch Sternwinde in das interstellare Gas gebracht, aus dem neue Sterne entstehen. Somit ist der Gehalt an schweren Elementen von Alter und Entstehungsort der Sterne abhängig (alle Elemente schwerer als Helium werden von den Astronomen übrigens pauschal als "Metalle" bezeichnet).

Das erste Entwicklungsstadium eines Sterns ist das T-Tauri-Stadium. Wenn er soweit kontrahiert ist, dass das Kernbrennen stabil eingesetzt hat und er sich im thermodynamischen Gleichgewicht befindet, hat er die Hauptreihe des Farben-Helligkeits-Diagramms (FHD) erreicht. Der Name Hauptreihe besagt, dass sich die Sterne in dem Farben-Helligkeits-Diagramm dort ansammeln, da sie die längste Zeit ihres Lebens in diesem Stadium verbringen.

Ein Hauptreihen-Stern erzeugt die Energie für seine Strahlung aus der Fusion von vier Wasserstoffatomen zu einem Heliumatom. Da das Heliumatom ein klein wenig leichter ist als vier Wasserstoffatome, wandelt sich diese Massendifferenz (nach der bekannte Formel von Einstein  $E = m \cdot C^2$ ) in Strahlung (und einige Neutrinos). Die Fusionsrate des Stern ist abhängig von seiner Temperatur und dem Druck in seinem Inneren. Diese beiden Werte hängen nur von der Anfangsmasse des Sterns ab. Je mehr Anfangsmasse ein Stern hat, umso höher ist seine Fusionsrate und damit seine Leuchtkraft und Temperatur, um so schneller verbraucht er seinen Brennstoff.

Massenarme Sterne, die weniger Anfangsmasse haben als 0.7 Sonnenmassen, fusionieren so langsam, dass bis heute keiner dieser roten Zwergsterne das Hauptreihen-Stadium verlassen hat. Sterne wie unsere Sonne mit einer Sonnenmasse bringen es immerhin auf 10 Milliarden Jahre Hauptreihenstadium. Sterne mit einer Anfangsmasse von 10 Sonnenmassen verweilen dort aber nur circa 60 Millionen Jahre (de Boer & Seggewiss 2008). Ein Hauptreihen-Stern befindet sich im thermalen Gleichgewicht, d.h. der Gravitationsdruck seiner Masse, der den Stern zusammendrückt, ist gleich groß wie der Strahlungsdruck aus dem Inneren, der ihn auseinander treiben will.

Wenn ein Stern seinen Wasserstoffvorrat im Kern verbraucht hat, erlischt die Wasserstofffusion im Inneren und damit auch das thermale Gleichgewicht. Es gibt keine Strahlung mehr, die der Gravitation entgegen wirkt. Der Kern des Sterns wird weiter zusammengedrückt. Dabei wandelt sich aber Gravitationsenergie in Wärme um; der Kern wird dichter und heißer. Die äußeren Schichten des Sterns sehen die Strahlung des jetzt viel heißeren Kerns und dehnen sich aus. Der Stern wird zum Roten Riesen. Er erzeugt noch Energie durch Wasserstofffusion in höheren Schichten

über dem Kern, was ebenfalls zur Aufblähung der Hülle beiträgt. Im Farben-Helligkeits-Diagramm steigt er jetzt den Riesenast hinauf. Während der Kern durch die Kontraktion heißer und dichter wird, werden die äußeren Schichten kühler und ihre Dichte nimmt ab.

In diesem Roten-Riesen-Stadium, das im Sternleben nur eine vergleichsweise kurze Phase umfasst (die genauen Zeiten hängen auch hier von der Masse des Sterns ab), verliert der Stern durch starke Sternwinde viel von seiner Anfangsmasse. Dieser Massenverlust fällt bei den Sternen individuell unterschiedlich groß aus. Warum das so ist, ist noch nicht endgültig geklärt. Die Entwicklung der Sterne im Farben-Helligkeits-Diagramm führt dann wieder abwärts zum Horizontalast (HB). Den Namen Horizontalast-Sterne erhielten die Sterne, weil sie im Farben-Helligkeits-Diagramm auf einer horizontalen Linie liegen. Wenn nämlich der Kern dicht und heiß genug ist, (ab circa 1 Milliarde Grad) beginnt das Helium-Brennen. Dabei fusionieren drei Heliumatome zu einem Kohlenstoffatom (auch 3-alpha-Brennen genannt). In diesem Stadium hat der Stern wieder eine stabile Energiequelle. Es ist die zweitlängste Phase im Leben eines Sterns.

Alle Horizontalast-Sterne haben einen Helium-brennenden Kern von 0.47 bis 0.5 Sonnenmassen. Sie unterscheiden sich jedoch durch die Stärke der Wasserstoffhülle, die nach dem Massenabstoß während des Riesenast-Stadiums bei dem Stern verblieben ist. Abhängig von dem Ausmaß der Wasserstoffhülle über dem Kern bilden die HB-Sterne verschiedene Sterngruppen.

Es gibt erstens die Roten Horizontalast-Sterne (RHB), zweitens die RR-Lyrae-Sterne und drittens noch die Blauen Horizontalast-Sterne (BHB):

1. Die Roten Horizontalast-Sterne sind kühler als die RR-Lyr-Sterne. Die Wasserstoffhülle über dem Kern umfasst bis zu 0.5 Sonnenmassen. In der Wasserstoffhülle gibt es noch Wasserstoff-Schalenbrennen. Ihre Helligkeit ist konstant.
2. Die RR-Lyr-Sterne liegen auf dem Horizontalast, dort wo der sogenannte Instabilitätsstreifen des Farben-Helligkeits-Diagramms diesen schneidet. Ihre Wasserstoffhülle ist dünner als bei den RHB. Sie beträgt 0.1 - 0.2 Sonnenmassen. Sie haben mittlere Temperaturen zwischen 5500 und 9000 K.
3. Die Blauen Horizontalast-Sterne haben nur sehr dünne Wasserstoffhüllen. Im Fall der "Extremen Horizontalast-Sterne" betragen diese Hüllen nur 0.02 Sonnenmassen. Die Temperaturen der BHB reichen von einer effektiv Temperatur von 7500 K bis 40.000 K bei den Extremen Horizontalast-Sternen.

Abbildung 1 zeigt das Farben-Helligkeits-Diagramm der Sterne nach dem Asymptotischen Riesenast (post-AGB-Sterne). Sie zeigt die Lage der Sterne auf dem Horizontalast (HB) und lässt die unterschiedlichen Farben und damit auch Temperaturen der HB-Sterne erkennen, von den kühlen roten HB-Sternen (RHB), die rechts auf dem Horizontalast liegen, über die RR-Lyrae-Sterne (RR) bis zu den blauen HB-Sternen (BHB). Der Instabilitätsstreifen liegt zwischen den beiden schräg verlaufenden Linien.

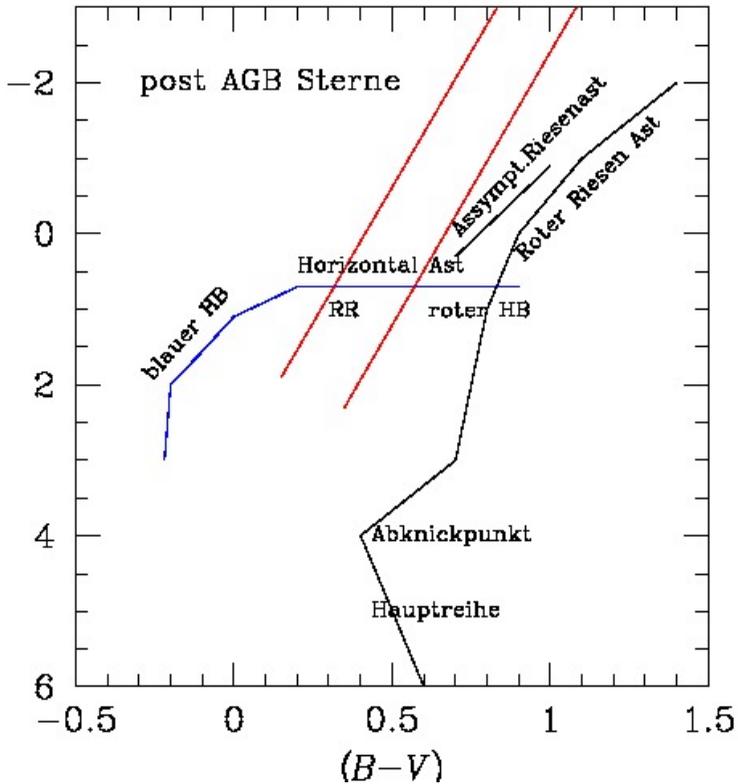


Abb. 1: Das Farben-Helligkeitsdiagramm der Sterne nach dem Asymptotischen Riesenast (post-AGB-Sterne). Die Hauptreihe mit dem Abknickpunkt zum Riesenast sowie der asymptotische Riesenast sind angegeben. Die Abbildung zeigt auch die Verteilung der roten und blauen Horizontalast-Sterne sowie der RR-Lyrae-Sterne (RR) auf dem Horizontalast. Abbildung nach de Boer et al. (1998).

Sterne, die ihre Entwicklung mit einer Masse von 0.8 - 2.5 Sonnenmassen beginnen, können sich zu Horizontalast-Sternen entwickeln und damit auch zu RR-Lyrae-Sternen werden. Das bedeutet aber, dass die RR-Lyrae-Sterne sehr unterschiedlich alt sein können. Ein Stern, der seine Entwicklung mit 0.8 Sonnenmassen beginnt, braucht weit mehr als 10 Milliarden Jahre um ein HB-Stern zu werden, ein Stern mit einer Anfangsmasse von 2.5 Sonnenmassen aber nur circa 1 Milliarde Jahre (Kippenhahn & Weigert 1990). Daraus folgt, dass die RR-Lyr-Sterne zwar alle in der gleichen Entwicklungsphase sind, aber sehr unterschiedliche absolute Alter haben können. Es gibt RR-Lyr-Sterne, die sehr alt und metallarm sind, es gibt aber auch solche, die wesentlich jünger sind als die Sonne und mehr schwere Elemente enthalten als sie.

RR-Lyrae-Sterne sind also pulsierende Sterne von 0.6 bis 0.7 Sonnenmassen mit Helium-Kernbrennen. Diese beiden Eigenschaften unterscheiden sie von anderen Pulsations-Veränderlichen. Cepheiden entwickeln sich z.B. aus Sternen mit einer Anfangsmasse  $> 2.5$  Sonnenmassen, die während ihrer Entwicklung auch Schleifen in den blauen Bereich des Farben-Helligkeits-Diagramms bilden und dabei (teilweise sogar mehrfach) in den Instabilitätsstreifen gelangen können. W-Virginis-Sterne bewegen sich vom Horizontalast weg zum Asymptotischen Riesenast und sind wesentlich leuchtstärker als RR-Lyr-Sterne. Delta-Scuti-Sterne sind wasserstoff-brennende Hauptreihensterne zwischen 1.5 und 2.5 Sonnenmassen und damit viel massiver als RR-Lyr-Sterne, während die langperiodischen Pulsationssterne sich alle im Stadium der Roten Riesen befinden.

Ich möchte diesem Artikel noch zwei weitere folgen lassen, einen der sich mit den Eigenschaften der RR-Lyr-Sternen wie die Ursache ihrer Pulsation, Temperatur, Radiusvariation etc. und Besonderheiten wie z.B. den Blazhko-Effekt befasst und einen zweiten über ihre Verteilung und Kinematik in der Milchstraße.

Reference:

De Boer & Séggewiss 2008, Stars and Stellar Evolution  
Kippenhahn & Weigert 1990, Stellar Structure and Evolution  
Voigt 1988, Abriss der Astronomie  
Scheffler & Elsasser 1984, Physik der Sterne und der Sonne

Gisela Maintz,  
53121 Bonn, Römerweg 39  
E-mail: [gmaintz@astro.uni-bonn.de](mailto:gmaintz@astro.uni-bonn.de)