

# Die Physik der RR-Lyrae-Sterne

Gisela Maintz

## Pulsationsmechanismus der RR-Lyr-Sterne

Das auffälligste Merkmal der RR-Lyrae Sterne ist ihre Helligkeitsvariation. Bereits 1873 schlug August Ritter als Ursache für die Helligkeitsvariation der RR-Lyr-Sterne eine radiale Pulsation vor, obwohl zu der Zeit allgemein angenommen wurde, dass ein noch nicht verstandener Bedeckungslichtwechsel vorlag (Smith 1995). Erste Studien über eine radiale Pulsation kamen von Shapley (1914), der die RR-Lyr-Sterne aber zu den Cepheiden zählte. King & Cox (1968) erkannten sie als radial pulsierende Riesensterne und fanden damit die Ursache für die Helligkeitsvariation dieser Sterne.

RR-Lyr-Sterne liegen im Farben-Helligkeitsdiagramm auf dem Horizontalast (s. Abb. BAV Rundbrief 3-2011, S. 196), und zwar dort wo dieser den sogenannten Instabilitätsstreifen schneidet. Bei Sternen in diesem Instabilitätsstreifen liegen besondere Verhältnisse von Druck und Temperatur vor, so dass es bei ihnen zu Pulsationen kommt.

Die Ionisationszonen des Heliums II und in geringerem Maße auch die des Wasserstoffs liegen bei den RR-Lyr-Sternen so, dass es in ihnen zum sogenannten Kappa-Mechanismus kommt, der ihre Pulsation antreibt. Dieser Anregungsmechanismus wird deswegen nach dem Absorptionskoeffizienten  $\kappa$  benannt, weil durch dessen Änderung dieser Zyklus in Gang gesetzt wird.

In einer Sternschicht, in der ein häufig vorkommendes Element ionisiert wird, kann der Absorptionskoeffizient  $\kappa$  - anders als im Normalfall - bei steigendem Druck zunehmen. Bei stärkstem Druck ist die Sternatmosphäre am stärksten strahlungsundurchlässig (King & Cox 1968).

Deswegen spielt die Ionisation bei den Pulsationsveränderlichen (und zwar bei allen, also auch bei delta-Scuti-Sternen, Cepheiden, Miras usw.) eine entscheidende Rolle. Während der Kompressionsphase wird Strahlung zurückgehalten. Sie erhöht aber nicht die Temperatur in der entsprechenden Sternschicht, sondern sie wird zur Ionisierung des Stern-Gases verwandt. Dadurch steigt der Druck an, nicht aber die Temperatur und bewirkt so das anormale Verhalten des Absorptionskoeffizienten. Wenn alles Gas ionisiert ist, expandiert der Stern wieder und es kommt zur Rekombination des ionisierten Gases. Die Ionisationsenergie wird wieder frei und gelangt als zusätzliche Energie in die äußeren Sternschichten, die damit heißer werden und sich über die Gleichgewichtslage hinaus ausdehnen.

Wenn diese Ionisationsenergie ausbleibt, da fast alle Atome rekombiniert sind, fallen die äußeren Schichten wieder zusammen und erhöhen damit den Druck in der Ionisationszone, sodass der Zyklus von neuem beginnt. Diese Schwingung wird aufrechterhalten, solange in den Ionisationszonen die entsprechenden Bedingungen für Temperatur und Druck erhalten bleiben.

## Temperatur- und Radiusvariation der RR-Lyr-Sternen

Für meine Doktorarbeit hatte ich das Glück, 3 mal 8 Tage lang auf dem Observatorium Calar Alto mit dem 2.2m Spiegelteleskop RR-Lyr-Sterne beobachten zu können. Es gelang mir von 12 dieser Sterne Lichtkurven über die ganze Periode aufzunehmen. Dazu wurden sehr schmalbandige Strömrgren Filter mit einer Bandbreite von 20 nm benutzt. Abb.1 zeigt diese Lichtkurven am Beispiel von RR Gem und SY Ari.

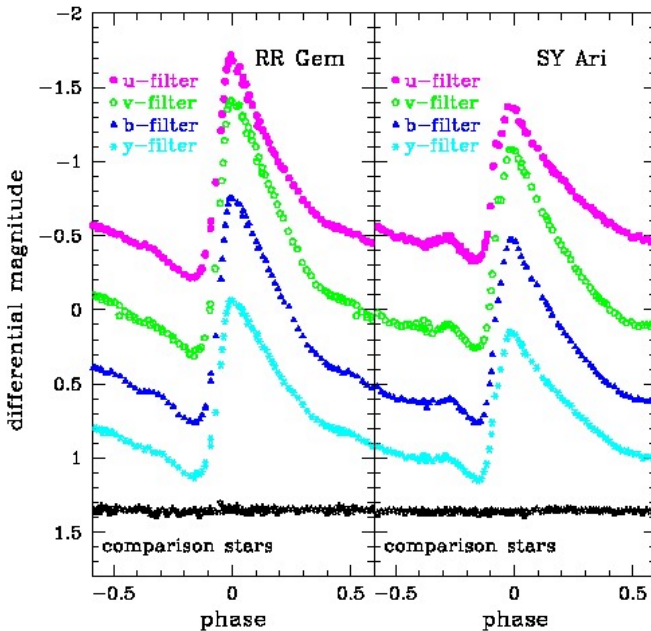


Abb. 1: Die Lichtkurven von RR Gem und SY Ari im Strömrgren-Filter-System (u = UV; v = violet; b =blau; y = visueller Filter). Die Amplitude der Lichtkurve ist je nach Farbbereich unterschiedlich groß.

Durch die Beobachtung mit diesen schmalen Filtern konnte die Temperatur und die Gravitation der Sterne festgestellt werden und ihre Variationen über die ganze Pulsationsperiode bestimmt werden.

Durch einfache Berechnung folgte daraus auch die Bestimmung der jeweiligen Radien und Leuchtkräfte.

Abbildung 2 zeigt die Leuchtkraft-, Temperatur- und Radiusvariation am Beispiel von SY Ari.

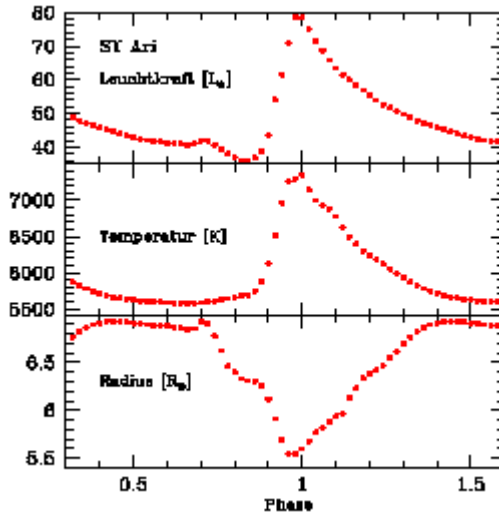


Abb. 2: Leuchtkraft, Temperatur und Radius ändern sich stark während der Pulsation von SY Ari in 13.5 Std. (Umrechnung nach Clem et al (2004)).

Die Leuchtkraft ist selbst im Minimum wesentlich höher als die der Sonne und schwankt zwischen 40 und 80 Sonnenleuchtkräften. Die Temperatur an der Oberfläche des Sterns beträgt zwischen 5600 K - Werte wie sie auch die Sonne aufweist - und 8000 K. Die Temperatur-Kurven entsprechen in ihrem Verlauf dem der Lichtkurven. Der Zeitpunkt der höchsten Temperatur des Sterns ist auch der des Lichtmaximums.

Ganz anders ist der Verlauf der Radiusvariation. Der Stern hat seinen größten Radius im Minimum bei den niedrigen Temperaturen. Das erklärt sich damit, dass die Leuchtkraft proportional der 4. Potenz der Temperatur ist, aber nur linear mit der Fläche wächst (Gesetz von Stefan-Boltzmann). Der kleinste Radius fällt aber nicht mit dem Helligkeitsmaximum zusammen, sondern wird schon kurz davor um die Phase 0.96 erreicht.

Die Abb.2 zeigt, wie dynamisch ein RR-Lyr-Stern ist. Innerhalb von 13 % der Periode, d.h. von circa 0.2 d, erfolgt ein Anstieg der Temperatur um fast 3000 K und eine Radiusänderung von fast 3 Sonnenradien. Ähnliche Werte wie der als Beispiel gezeigte SY Ari wiesen auch die übrigen von mir untersuchten RR-Lyr-Sterne auf, wobei AS Cnc mit 9000 K im Maximum der heißeste und BH Aur mit 5100 K im Minimum der kälteste Stern war.

Auch die Spektren der RR-Lyr-Sterne zeigen im Verlauf des Zyklus periodische Veränderungen. Durch die sich ändernde Temperatur werden Spektrallinien unterschiedlicher Elemente angeregt. So zeigt das Spektrum im Maximum der

Helligkeit fast nur starke Wasserstofflinien der Balmerreihe - im Minimum aber mehr Linien von Metallen ähnlich dem Sonnenspektrum.

### **Lichtkurven der RR-Lyr-Sterne**

Von den RR-Lyr-Sternen gibt es in 3 Haupttypen, die sich in ihren Lichtkurven unterscheiden. Das sind die sogenannten RRab-, RRc- und RRd-Sterne. RRab-Sterne haben unsymmetrische Lichtkurven mit steilem Aufstieg und langsamerem Abstieg (s. Abb.1). Sie pulsieren im Grundton. Ihre Perioden betragen zwischen 0.35 und 1 d und ihre Amplituden zwischen 0.5 und 2 Magnituden. Anders als die RRab-Sterne, pulsieren die RRc-Sterne in der 1. Oberschwingung. Dies sind diejenigen mit den höchsten Temperaturen unter den RR-Lyr-Sternen. Außerdem haben sie kürzere Perioden (0.2 - 0.4 d), kleinere Amplituden (bis 0.5 mag) und nahezu symmetrische, sinusförmige Lichtkurven. RRd-Sterne sind sehr selten. Bisher wurden circa 50 von ihnen entdeckt. Diese Sterne pulsieren gleichzeitig in der Grundschwingung und in der 1. Oberschwingung.

Viele RRab-Sterne weisen in ihren Lichtkurven noch weitere regelmäßige Elemente auf. So zeigen viele im Minimum einen Buckel (engl. bump) wie er auch in Abb.1 zu sehen ist. Die Ursache sind Schockfronten, die zu dieser Phase der Periode die Oberfläche des Sterns erreichen. Diese Schockfronten führen dazu, dass die äußeren Schichten der Hülle des Stern für eine kurze Zeit expandieren, ehe sie wieder zusammenfallen und der minimale Radius des Zyklus erreicht wird. Dabei nimmt die Helligkeit um 0.1 bis maximal 0.2 mag zu und fällt anschließend auf den niedrigsten Stand.

Theoretiker (Bono & Stellingwerf (1994)) haben errechnet, dass der Buckel am stärksten bei den RR-Lyr-Sternen in Erscheinung tritt, die weniger hell sind und am roten Rand des Instabilitätsstreifens liegen. Dies wurde bei meinen Untersuchungen für die 12 Sterne bestätigt.

Außerdem zeigen viele RR-Lyr-Sterne im Aufstieg bei der Phase 0.93 einen Höcker (engl. hump). Auch dieser wird durch Schockfronten hervorgerufen. Dies ist der Zeitpunkt des kleinsten Radius. Es stoßen Sternschichten, die noch zusammenfallen, auf solche in denen bereits die Expansion beginnt. Dabei entsteht kurzweilige Strahlung, die diesen Höcker in der Lichtkurve verursacht.

#### Referenz:

De Boer & Seggewiss 2008, Stars and Stellar Evolution  
Kippenhahn & Weigert 1990, Stellar Structure and Evolution  
Voigt 1988, Abriss der Astronomie  
Scheffler & Elsässer 1984, Physik der Sterne und der Sonne  
Maintz 2008, Doktorarbeit  
de Boer & Maintz 2010, Hysteresis of atmospheric parameters of 12 RR Lyrae stars based on multichannel simultaneous Strömgren photometry.

Gisela Maintz, 53121 Bonn, Römerweg 39, E-mail: gmaintz@astro.uni-bonn.de