

Kurzperiodische Pulsationssterne

Dr. Gisela Maintz

Zu den kurzperiodischen Pulsationssternen, gehören Sterne die Perioden bis zu einem Tag und etwas mehr haben. Diese Sterne sind im Gegensatz zu den Bedeckungsveränderlichen tatsächlich physisch veränderlich (s. Abschnitt: Pulsations-Mechanismus). Zwei Stern-Typen der kurzperiodischen Pulsationssterne lassen sich leicht von Amateuren beobachten und zwar RR Lyrae Sterne (RR Lyrs) und die kleine Gruppe der Delta Scuti Sterne. Diese Sterne haben Periode und Amplituden, die eine erfolgreiche Beobachtung sowohl für visuelle als auch photoelektrische bzw. Beobachter mit CCD ermöglichen. Beobachtet wird hier das Helligkeits-Maximum, das wesentlich ausgeprägter ist als das oft sehr lange und breite Minimum. Die BAV veröffentlicht jährlich Vorhersagen (Circular) in denen die zu erwartenden Maxima-Zeiten von RR-Lyrae Sterne angegeben sind. Delta Scuti Sterne haben so kurze Periode von < 0.2 d, dass eine Beobachtungsvorhersage überflüssig ist. Weitere kurzperiodischen Pulsationssterne sind SX-Phoenicis-Sterne, die Perioden von 1 bis 2 Stunden haben und zumindest visuell sehr schwierig zu beobachten sind.

RR Lyrae Sterne

RR Lyrae Sterne (RR Lyrs) sind eine sehr wichtige Gruppe unter den Veränderlichen Sternen. Ihr auffälligste Merkmal ist ihre Helligkeitsvariation. Nach dem Combined General Catalogue of Variable Stars (Samus et al. 2013, GCVS) gibt es 777 RR Lyrs im unserer Milchstraße, deren visuelle Helligkeit im Maximum ≤ 12.5 mag ist, und die mit heutigen Amateur-Teleskopen gut beobachtet werden können. Weitere und lichtschwächere RR Lyrs werden noch ständig entdeckt, sodass die Zahl der bekannten RR Lyrs weiter ansteigt. RR Lyrae Sterne sind benannt nach dem hellsten Vertreter ihrer Art: RR Lyrae; dem veränderlichen Stern RR im Sternbild Leier. RR Lyrae Sterne sind definiert als radial pulsierende Riesensterne der Spektraltypen A bis F mit Perioden von 0.21 bis 1.2 Tagen und Amplituden nicht größer als 1 bis 2 v mag.

Lichtkurven der RR-Lyrae Sterne

Das auffälligste Merkmal der RR Lyrs ist ihre Helligkeitsvariation. Sie entsteht durch eine radiale Pulsation der Sterne, bei der Radius und Temperatur der Sterne regelmäßig variieren (s. Abschnitt Pulsations-Mechanismus). Heute unterscheidet man bei den RR Lyrs 2 Haupttypen, die RRab Sterne und die RRc Sterne.

Die RRab Sterne weisen asymmetrische Lichtkurven auf mit einem schnellen kurzen Helligkeitsanstieg und einer langsamen längerdauernden Abnahme der Helligkeit. Ihre Perioden liegen zwischen 9 und 22 Stunden in seltenen Fällen dauern sie bis zu 28 Stunden. Die Amplitude liegt im visuellen bei 0.5 - 2 Magnituden. Sie pulsieren im Grundton. Seltener sind die RRc Sterne, die im 1. Oberton pulsieren. Sie machen $\simeq 10$ % der RR Lyrs aus. Ihre Lichtkurve ist meistens sinusförmig. Die Amplitude ist geringer. Sie beträgt 0.4 bis 0.5 v mag und die Periode ist mit nur 5 bis 10 Stunden wesentlich kürzer als die der RRab Sterne. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Lichtkurven eines RRab Sterns (V1962 Cyg, links) und eines RRc Sterns (V1640 Ori, rechts). Deutlich erkennbar sind die Unterschiede in den Amplituden und der Asymmetrie der Lichtkurven. Ein weiterer sehr seltener Typ sind die RRd Sterne (circa 30 Sterne) die in 2 Moden pulsieren; im Grundton

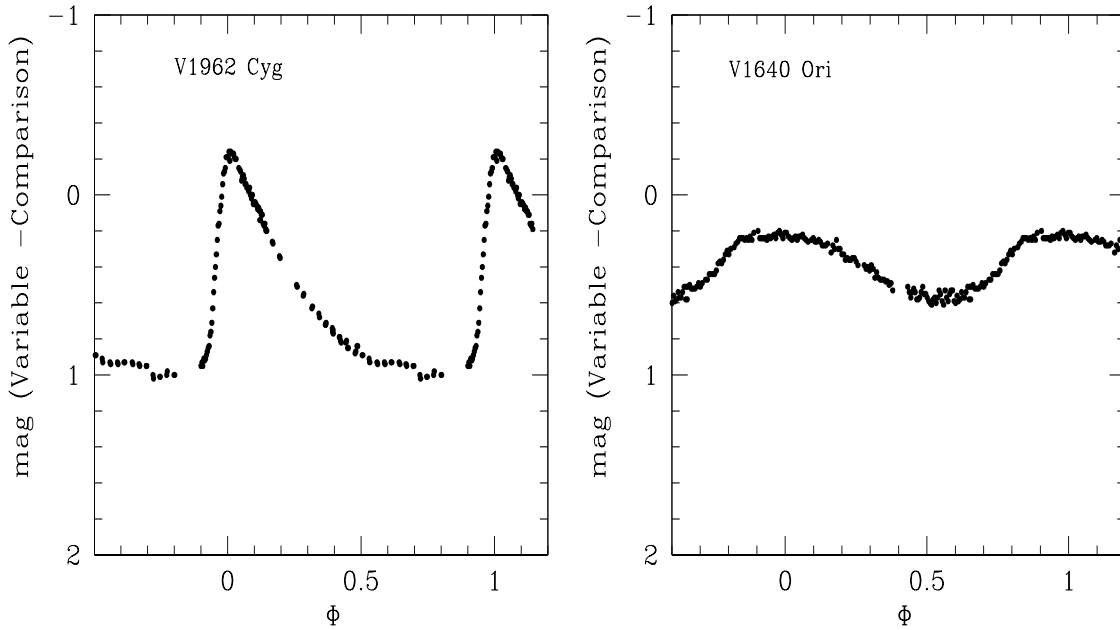


Abbildung 1: Lichtkurven eines RRab- und eines RRC-Sterns.

und im 1. Oberton. Das Verhältnis der Perioden der Grundschwingung (P_0) und der 1. Oberschwingung (P_1) beträgt $\frac{P_1}{P_0} \approx 0.744$

Nicht nur die Typen der RRLyrs sind unterschiedlich, auch die Lichtkurven der individuellen Sterne unterscheiden sich deutlich voneinander. Einige weisen kurz vor dem Minimum einen kurzen Helligkeitsanstieg (Buckel) auf andere einen Hubbel im Aufstieg. Abb. 2 zeigt Beispiele dieser Lichtkurven. Auch Perioden-Änderungen sind bei RRLyrs nicht selten.

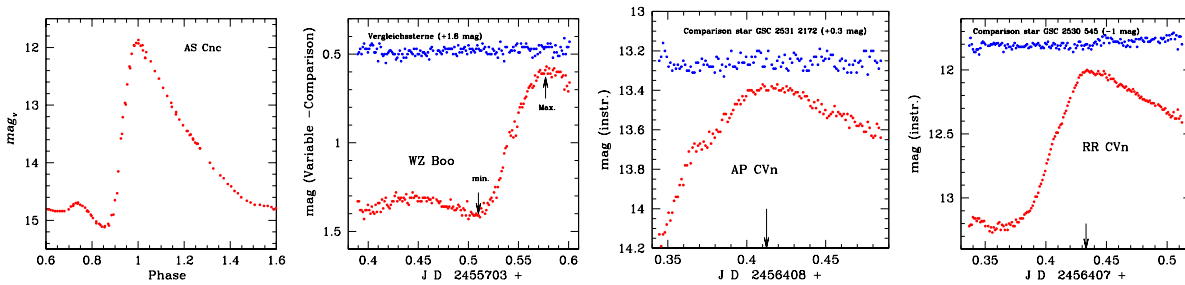


Abbildung 2: Lichtkurven mit Buckel im Minimum (links) und Hubbel im Aufstieg (rechts) Über 3 Lichtkurven ist zum Vergleich die Helligkeit eines mitbeobachteten konstanten Sterns angegeben .

Es gibt auch RRLyrs, deren Lichtkurve sich nicht von Periode zu Periode wiederholt. Dieser Effekt wurde von Blazhko (1907) an dem Stern RW Dra entdeckt, und wird nach seinem Entdecker Blazhko-Effekt genannt. Bei dem Blazhko-Effekt handelt es sich um Änderungen in der Form der Lichtkurve und ihrer Amplitude, sowie um Schwankungen in der Periodenlänge, die sich mit einer sogenannten Blazhko-Periode wiederholen. Die Periodenlängen der Blazhko-Periode reicht von einigen Tagen bis zu mehreren hundert Tagen. Ein Beispiel für einen RRab Stern mit Blazhko-Effekt zeigt Abb. 3 links an 3

Lichtkurven von XY And aus 2007. Bei RRc Sternen kann die Lichtkurve so stark variieren, dass sie zeitweise ein Doppelmaximum zeigt wie in Abb. 3 rechts am Beispiel von 4 Beobachtungen des RRc-Sterns QY Cas zusehen ist. Die beiden Lichtkurven oben haben ein sehr breites Maximum die unteren beiden zeigen Doppelmaxima.

Diese Sterne überraschen den Beobachter immer wieder mit neuen interessanten Lichtkurven. Wenn Sie bei der Beobachtung Überraschungen lieben, diese Sterne sind immer gut dafür.

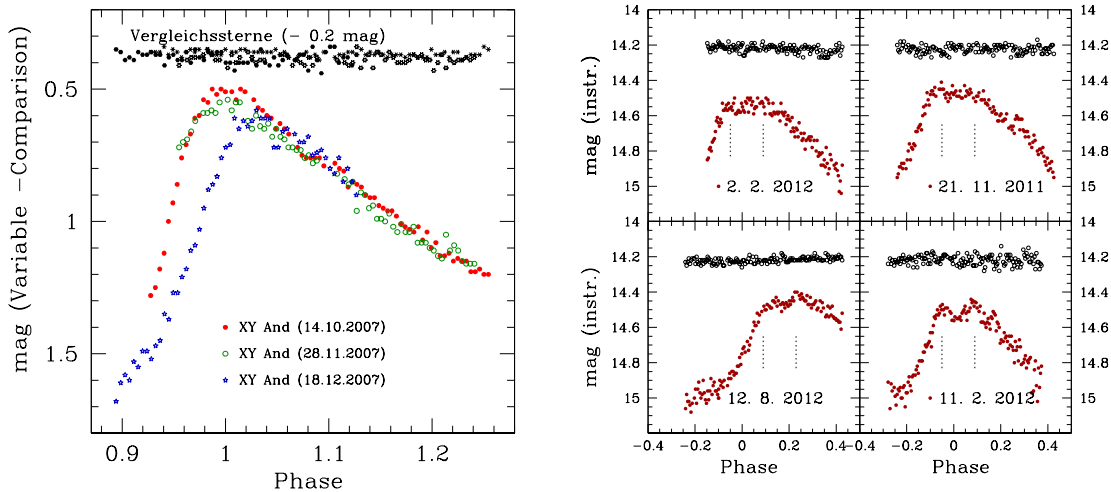


Abbildung 3: Lichtkurven von RR Lyrs mit Blazhko Effekt. Links 3 Beobachtungen von XY And übereinandergelegt, rechts 4 Beobachtungen von QY Cas. Über der Lichtkurve des Veränderlichen ist jeweils die Helligkeit eines konstanten Vergleichssterne angegeben.

Pulsations-Mechanismus

RR Lyrae Sterne sind Horizontalast Sterne, denn sie liegen im Farben-Helligkeitsdiagramm (FHD) auf dem Horizontalast (HB). Horizontalast Sterne sind Sterne, die sich nach dem Verlassen der Hauptreihe, das heißt nach dem Verlöschen des Wasserstoff-Kernbrennens, zu Roten Riesensternen entwickelten. Aber sie haben in ihrer Entwicklung bereits das (erste) Riesenast Stadium verlassen und befinden sich in dem vergleichsweise stabilen Entwicklungszustand mit Helium-Kernbrennen, bei dem 3 Heliumkerne zu Kohlenstoff fusionieren in dem sogenannten 3α -Prozess. Der Horizontalast des Farbenhelligkeits-Diagramms (FHD) enthält Sterne gleicher absoluter Helligkeit (von $\simeq 0.6 M_{\odot}$) von denen aber nur die RR Lyrs pulsieren.

Bereits 1873 schlug August Ritter als Ursache für die Helligkeitsvariation der RR Lyrs 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 Lyrs aber zu den Cepheiden zählte. King & Cox (1968) erkannten sie als radial pulsierende Riesensterne und fanden damit die Ursache für die Helligkeitsvariation der RR Lyrs. Sie liegen im FHD an der Stelle des HB an der dieser den Instabilitätsstreifen kreuzt (s. Abb. 4). In diesem Instabilitätsstreifen liegen besondere Verhältnisse von Druck und Temperatur der Sterne vor.

Die Ionisationszonen des Heliums II und des Wasserstoffs liegen hier so, dass aus der geringsten Kompression, wie sie als kleine Störung stets vorkommen kann, eine dauerhafte

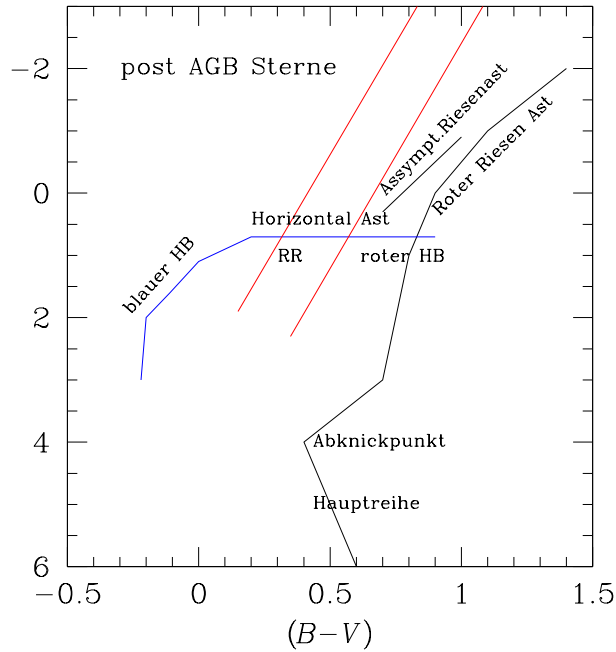


Abbildung 4: Das Farben-Helligkeitsdiagramm der Sterne nach dem Riesenaststadium (post-AGB Sterne). Die Hauptreihe mit dem Abknickpunkt zum Riesenast sowie der asymptotische Riesenast sind angegeben. Die roten Linien geben die Lage des Instabilitätsstreifen an.

(Abbildung nach de Boer et al. (1998))

ungedämpfte Schwingung entsteht. Steigt bei dieser radialen Störung durch eine kleine Kontraktion der Druck und die Temperatur in der Ionisationszone an, so erhöht sich die Ionisationsrate der Atome und damit nimmt die Absorption der Strahlung aus dem Sterninneren zu. Dadurch gelangt weniger Energie zu den weiter außen liegenden Schichten des Sterns und er kontrahiert weiter. Beträgt der Ionisationsgrad nahezu 100%, wird der Strahlungsstrom nicht mehr zurückgehalten. Damit steigen Temperatur und Druck in den äußeren Schichten des Sterns und der Stern expandiert. Durch die Expansion sinkt aber die Temperatur in der Ionisationsschicht, und die Atome rekombinieren wieder. Dadurch wird die Ionisationsenergie wieder frei und gelangt als zusätzliche Energie in die äußeren Sternschichten, die sich damit 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 und die Temperatur 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.

Abbildung 5 zeigt die Variation der Leuchtkraft (Helligkeit) der Temperatur und des Radius am Beispiel von AS Cancri eines RRab Sterns. AS Cnc hat eine Periode von $\simeq 13.5$ Stunden. In der kurzen Phase des Helligkeitsanstiegs (in nur $\simeq 2 \frac{1}{2}$ Stunden) steigt seine Leuchtkraft von 40 facher Sonnenleuchtkraft (L_{\odot}) auf fast $80 L_{\odot}$. Gleichzeitig und synchron damit steigt die Temperatur von Sonnenwerten um 2000° . Der Radiusverlauf ist gegenäufig. Allerdings liegt der Zeitpunkt des kleinsten Radius (von $\simeq 5.5$ Sonnenradien (R_{\odot})) bei Phase 0.94 bis 0.96 (je nach Stern) also zeitlich relativ kurz vor dem der höchsten

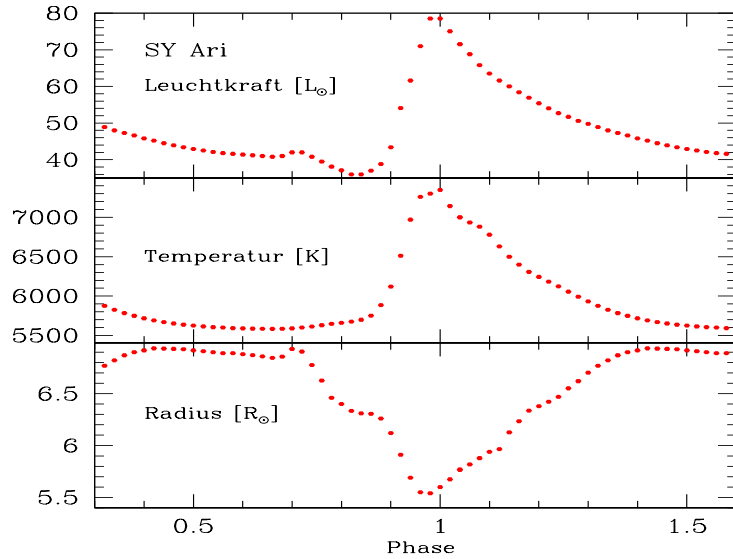


Abbildung 5: Leuchtkraft Temperatur und Radius des RR Lyr-Sterns SY Ari. (Abbildung aus Doktorarbeit G.Maintz 2008)

Temperatur und dem Helligkeitsmaximum. Dass die Temperatur so viel mehr Einfluß auf die Helligkeit des Sterns hat als der Radius, liegt an dem Strahlungsgesetz nach dem die Temperatur mit der 4. Potenz der Radius aber nur mit der 2. Potenz zur Helligkeit beiträgt. Stefan-Boltzmann Gesetz:

$$L = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{eff}}^4 \quad (1)$$

Das Alter der RR-Lyrae Sterne

Sterne, die ihre Entwicklung mit einer Masse von $0.8 < M < 2.5 M_{\odot}$ beginnen, können sich zu Horizontalast Sternen entwickeln. Das bedeutet aber, dass die HB Sterne - auch wenn sie sich alle im selben Entwicklungsstand befinden - sehr unterschiedlich alt sein können. Ein Stern, der seine Entwicklung mit $0.8 M_{\odot}$ beginnt, braucht mehr als 10 Milliarden Jahre um ein HB Stern zu werden, ein Stern mit einer Anfangsmasse von $2.5 M_{\odot}$ aber nur $\simeq 1$ Milliarde Jahre (Kippenhahn & Weigert 1990). Damit ist dieser HB Stern wesentlich jünger als die Sonne. Alte Sterne, wie die alten HB Sterne, werden der Population II zugerechnet und weisen nur einen geringen Metallgehalt auf, während die jungen, zur Population I gehörenden HB Sterne einen höheren Metallgehalt, ähnlich dem der Sonne, haben. Entsprechend der Altersunterschiede der RR Lyrs finden sich diese Sterne in der gesamten Milchstraße. Die alten metallarmen RR Lyrs sind im Halo der Milchstraße und in Kugelsternhaufen. Dort wurden die RR Lyrs auch zuerst entdeckt weshalb sie anfangs auch Haufenveränderliche genannt wurden. Die "jüngeren" RR Lyrs sind in den Spiralarmen der Milchstraße. Wegen dieser Verteilung der RR Lyrs wurden sie auch häufig für Untersuchungen über die Struktur unserer Galaxis herangezogen.

δ Scuti Sterne

δ Scuti Sterne (DSCT) sind Sterne von 1.5 bis $2.5 M_{\odot}$. Sie liegen im FHD dort wo die Hauptreihe den Instabilitäts-Streifen kreuzt. Ihre Perioden reichen von 0.02 bis 0.25 Tagen. Ihre Amplituden sind meistens sehr klein aber mehrere erreichen bis 0.9 v mag und

sind somit gut beobachtbar. δ Scuti Sterne zeigen sowohl radiale wie nicht radiale Pulsationen. Angetrieben werden diese durch den selben Mechanismus wie bei den RR Lyrs (s. Abschnitt: Pulsations-Mechanismus) in der He II Ionisationszone bei Temperaturen von $\simeq 50\,000$ K.

SX-Phoenicis-Sterne

SX-Phoenicis-Sterne (SXPHE) sind den δ Scuti Sternen sehr ähnlich allerdings sind sie sehr metallarm und gehören zur alten Population II. Sie finden sich in Kugelsternhaufen und in der alten Scheibenpopulation. Insgesamt sind nur ungefähr 30 SXPHE bekannt. Ihre Perioden sind noch kürzer als die der DSCT und reichen von 0.04-0.08 d. Die meist kleinen Amplituden können auch bis zu 0.7 v mag erreichen. Ein bekannter Vertreter dieser Sterne ist CY Aqr (s. Abb. 6), der eine Periode von nur 65 Minuten und eine Amplitude von 0.7 v mag hat. Der Aufstieg der Helligkeit vom Minimum bis zum Maximum dauert 15 Minuten. Man kann zusehen, wie dieser Stern heller wird.

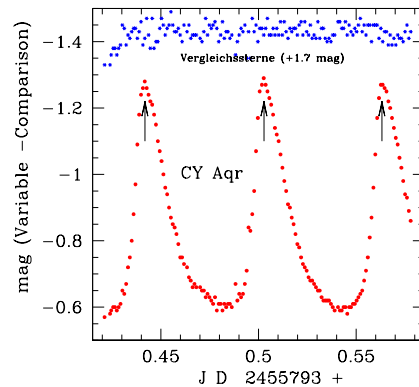


Abbildung 6: Lichtkurve des Sterns CY Aquarii (CY Aqr) vom 19. 8. 2011, aufgenommen auf dem Observatorium Hoher List (60 cm Ritchey-Chretien Teleskope). CY Aqr hat eine Periode von nur 65 Minuten.

Literatur:

- Maintz, G., Doktorarbeit, 2008, und weitere Literatur dort
- De Boer, K.S. & Seggewiss, W., 2008, Stars and Stellar Evolution
- BLazhko, S., 1907, AN, 175, 325
- General Catalogue of Variable Stars (GCVS) (Samus et. al. 2007-2013) Hoffmeister, C., Richter, G. & Wenzel, W., 1984, Veränderliche Sterne
- Kippenhahn, R. & Weigert, A., 1990, Stellar Structure and Evolution
- Smith, H. A., 1995, RR Lyrae Stars, Cambridge University Press