

RR-Lyrae-Sterne und der Blazhko-Effekt;

Dr. Gisela Maintz

Argelander Institut Universität Bonn

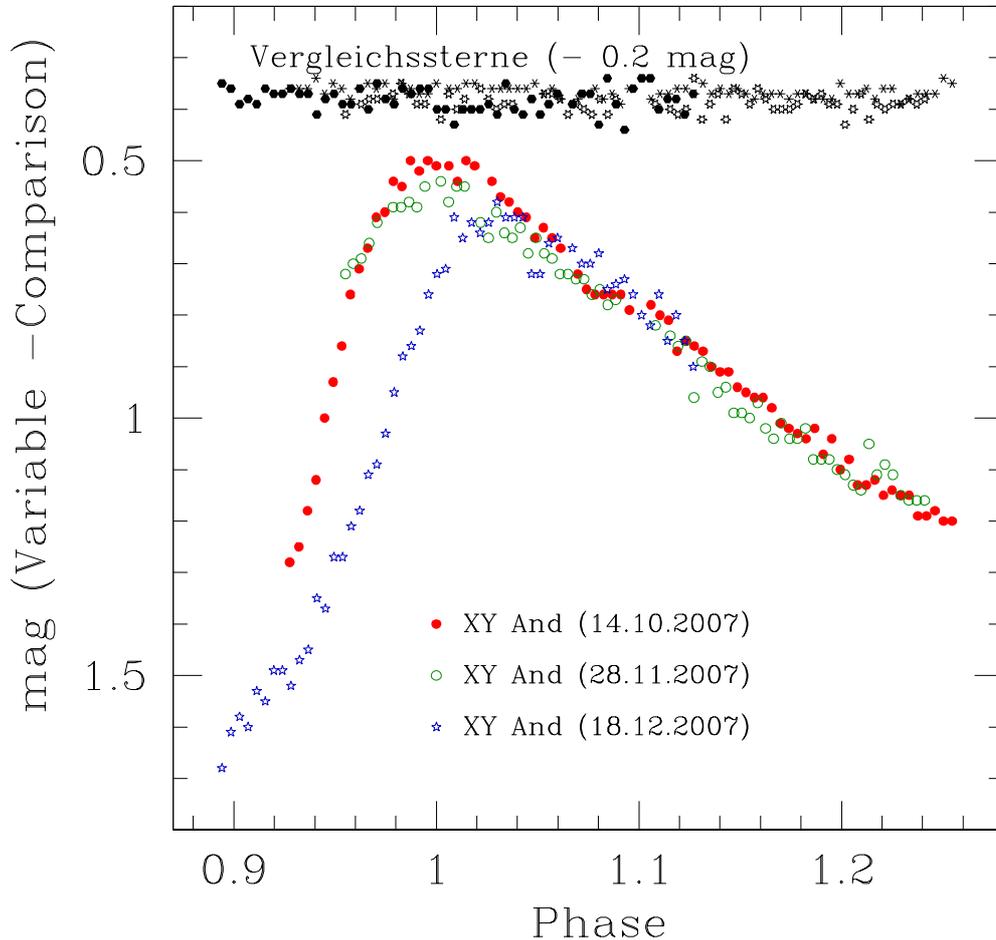


Abbildung 1: Drei Lichtkurven von XY And aus dem Herbst 2007.

Inhalt

- RR Lyrae Sterne.
- Blazhko-Effekt bei RRab Sternen.
- Blazhko-Effekt bei RRC Sternen mit "auffälligen" Lichtkurven.

Die Lage der RR Lyrs im Farben-Helligkeitsdiagramm

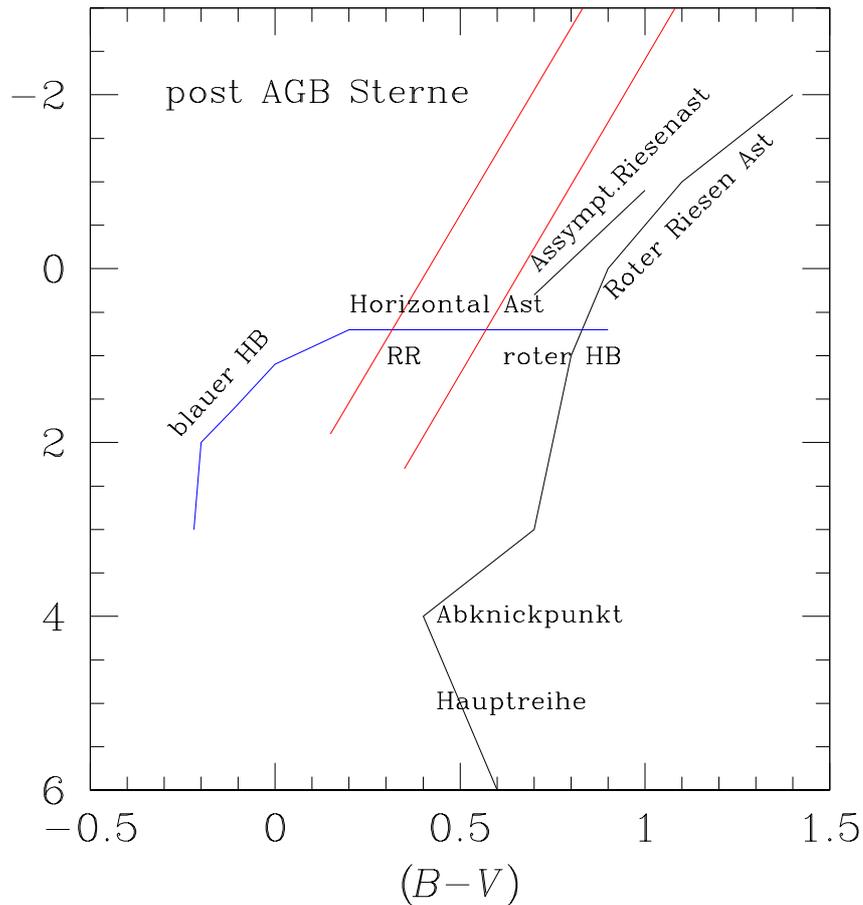


Abbildung 2: Das Farben-Helligkeitsdiagramm der Sterne nach dem Asymptotischen Riesenast (post-AGB Sterne). Die Hauptreihe mit dem Abknickpunkt zum Riesenast sowie der asymptotische Riesenast sind angegeben. Die Abbildung zeigt auch die Verteilung der roten und blauen Horizontalast Sterne sowie der RR Lyrs (RR) auf dem Horizontalast. Abbildung nach de Boer et al. (1998). Horizontalast Sterne haben ihren Wasserstoffvorrat bereits aufgebraucht. Sie erhalten ihre Energie aus der Fusion von Helium zu Kohlenstoff dem sogenannten 3-alpha Brennen.

Lichtkurve des RR-Lyrae Sterns AS Cnc.

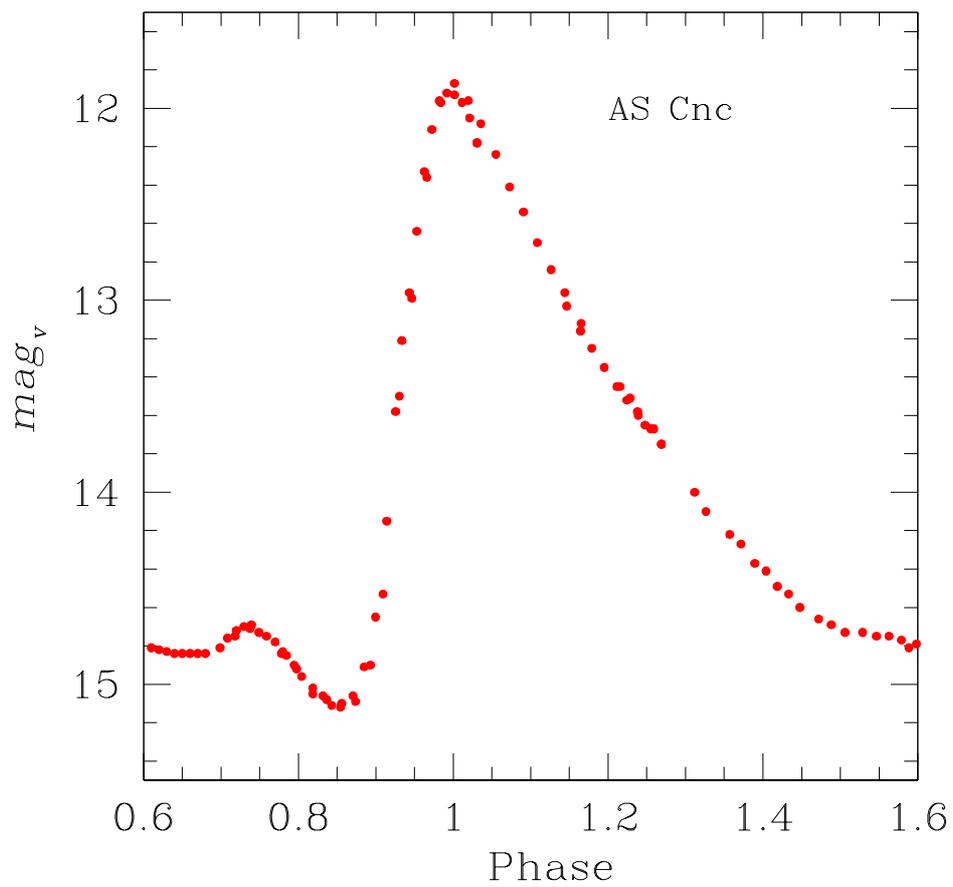


Abbildung 3: Die Lichtkurve von AS Cnc. Pulsationsmechanismus wird aufrechterhalten durch den Kappa-Mechanismus, benannt nach dem Absorptionskoeffizienten κ .

2 Typen von RR-Lyrae Sternen: RRab und RRc Sterne

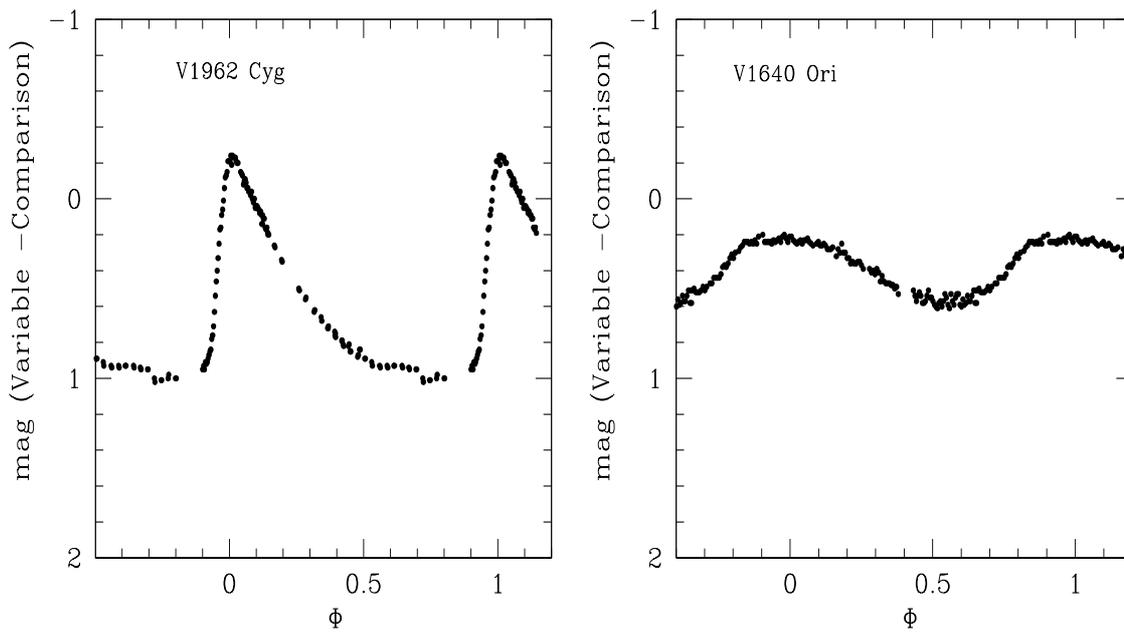


Abbildung 4: Die Lichtkurven eines RRab- (V1962 Cyg links) und eines RRc-Sterns (V1640 Ori rechts). Die Abbildung zeigt die stark asymmetrische Lichtkurve des RRab Sterns im Vergleich zur sinusförmigen Kurve des RRc Sterns. Die Amplitude des RRab Sterns (V1962 Cyg) beträgt 1.15 mag die des RRc Sterns (V1640 Ori) 0.4 mag. Die Perioden betragen 12.2 beziehungsweise 5.4 Stunden. Beide Sterne wurden auf dem privaten Observatorium von G. Mainz mit einem 25 cm Schmidt-Cassegrain-Teleskop und ST7-Kamera (SBig) mit IR-Sperrfilter beobachtet.

Lichtkurven von SY Ari mit 5 Filtern

Lichtkurven von Pulsations-Variablen vom Typ RR-Lyrae

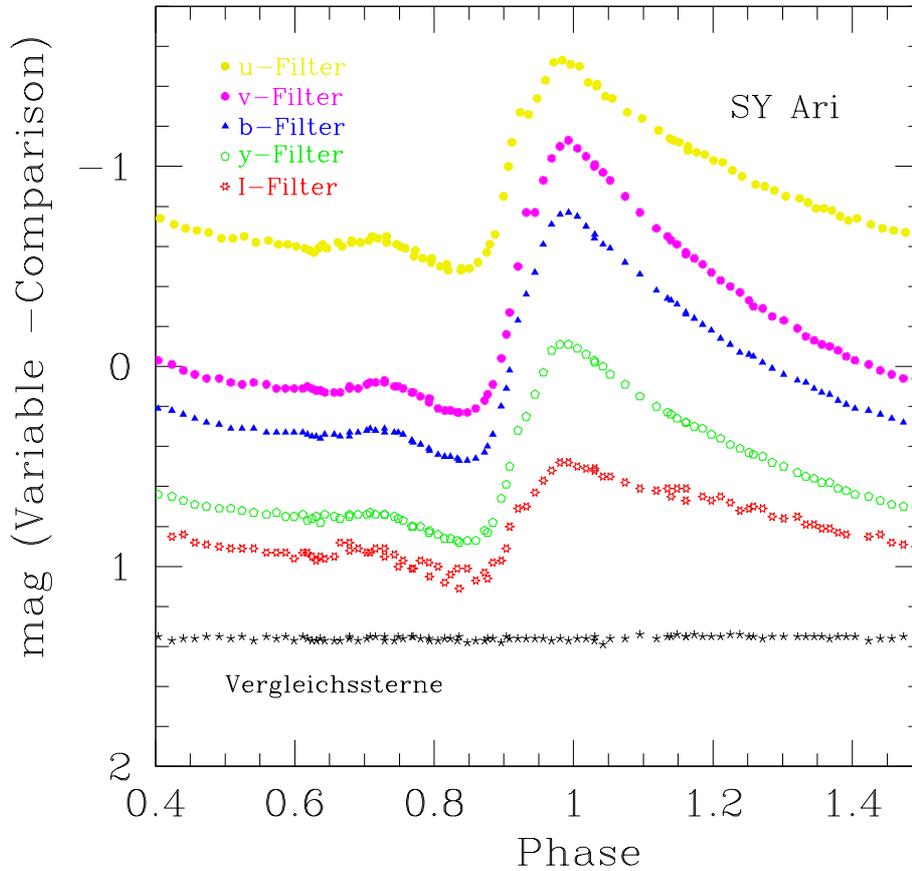


Abbildung 5: Die Lichtkurve von SY Ari (Periode 13,5 Std) zeigt die Helligkeitsänderungen des Sterns in verschiedenen Wellenlängen (Stroemgren Filtern u,v,b,y und im Infraroten). Klar zu erkennen ist, dass die Amplitude der Helligkeitsvariation wellenlängenabhängig ist. (Aufgenommen mit der simultan Kamera Busca und dem 2.2 m Spiegelteleskop auf dem Observatorium Calar Alto)

Lichtkurven und Kurven der Farbindices

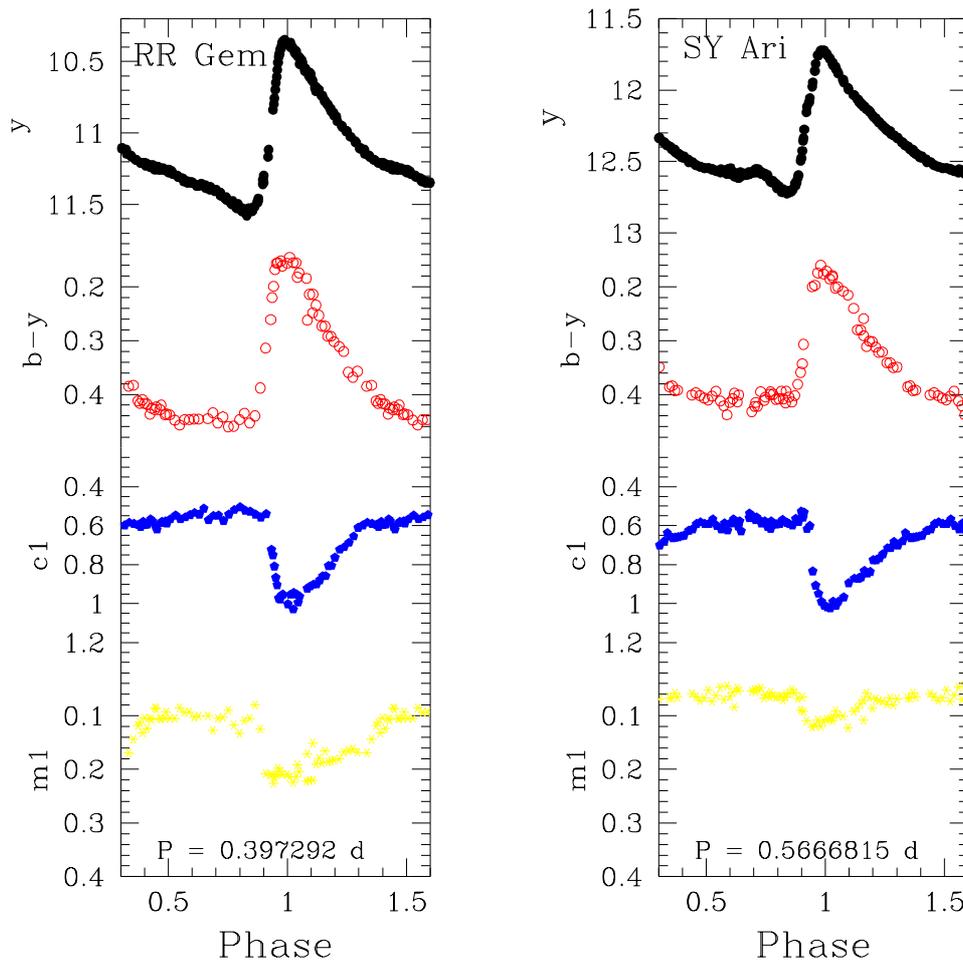


Abbildung 6: Die Lichtkurven mit y -Filter und Kurven der Farbindices $b - y$, c_1 und m_1 der RRLyrs RR Gem und SY Ari.

Der Farbindex $b - y$ ist ein Maß für die Temperatur, c_1 zeigt den Balmer Sprung-Index und ist ein Maß für die Dichte des Sterns. Der Farbindex m_1 zeigt die Helligkeit des Sterns im Bereich vieler Metallabsorptionslinien. Er gibt den Metallgehalt eines Sterns an. Es ist allerdings zu beachten, dass sich der Metallgehalt eines RRLyrs während seiner Pulsationsperiode nicht ändert; die Änderung des Farbindex m_1 beruht auf geänderten Anregungen der Absorptionslinien aufgrund der Variation von Temperatur und Dichte des Sterns.

Leuchtkraft Temperatur und Radius der RR-Lyrae-Sterne.

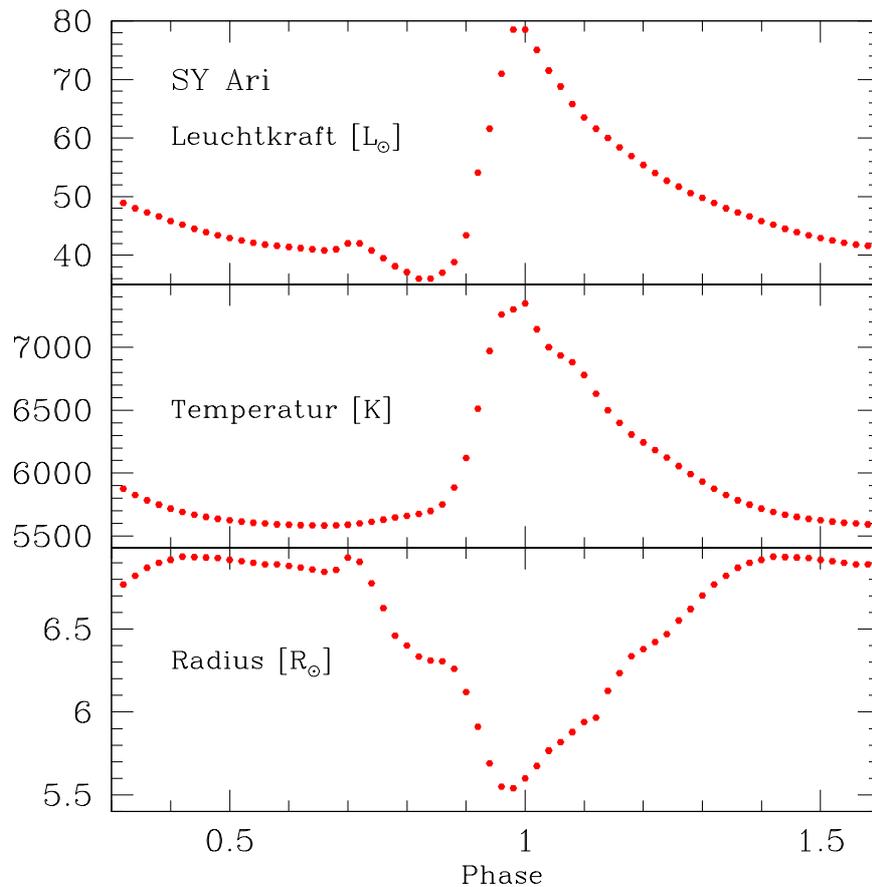


Abbildung 7: Leuchtkraft Temperatur und Radius ändern sich stark während der Pulsation von SY Ari in 13.5 Std. Temperatur und Leuchtkraft ändern sich synchron, d. h. der Stern ist am hellsten wenn die Temperatur am höchsten ist. Der Radiusverlauf ist gegenäufig. Allerdings liegt der Zeitpunkt des kleinsten Radius bei Phase 0.94 bis 0.96 (je nach Stern) also zeitlich relativ kurz vor dem der höchsten Temperatur und dem Helligkeitsmaximum.
(Umrechnung nach Clem et al. (2004))

Mit Hilfe des Entfernungsmoduls

$$m - M = 5 \cdot \log(r) - 5; \quad \text{mit } r \text{ in pc} \quad (1)$$

wurde die absolute Helligkeit der Sterne mit y -Filter bestimmt.

Die Beziehung, die sich aus dem Gesetz von Stefan-Boltzmann ergibt

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

kann dann zur Bestimmung der Radien verwendet werden, wenn die Sonnenwerte als Vergleichswerte genommen werden.

Spektroskopie mit dem 1 m Spiegel auf dem Hohen List.

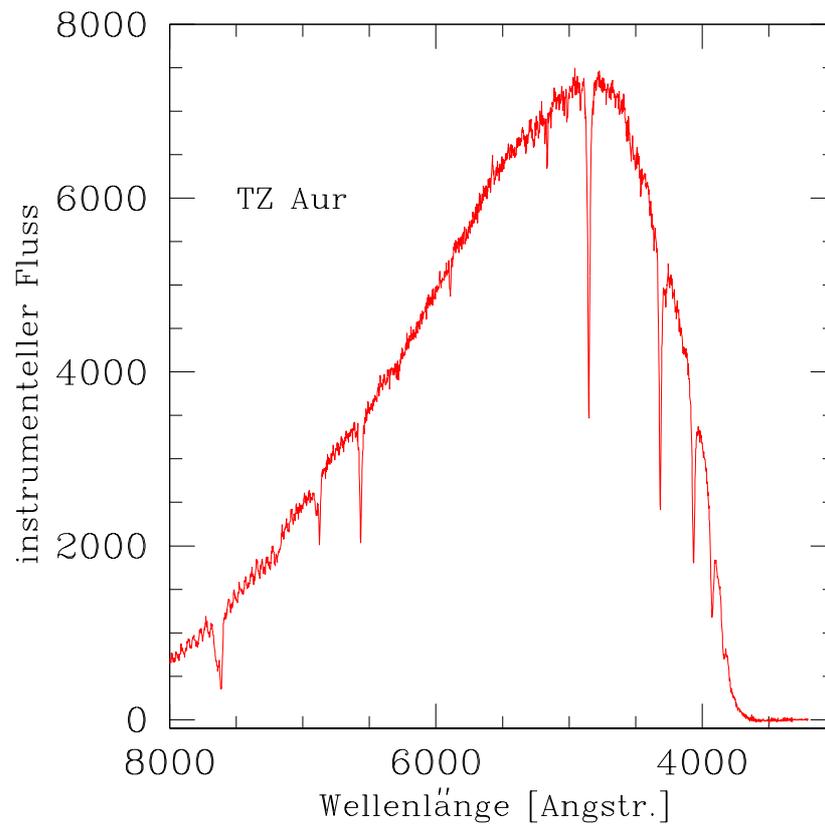


Abbildung 8: Oben: Spektrum von TZ Aur im Maximum der Helligkeit aufgenommen auf dem Hohen List mit dem 1 m Spiegel mit Fokalreduktor und dem Grism S300. Unten: Sonnenspektrum nach Fraunhofer auf einer Briefmarke von 1987.

Die tiefen Einsenkungen im oberen Spektrum zeigen, dass an diesen Stellen weniger Licht vorhanden ist. Sie entsprechen den dunklen Linien im unteren Spektrum.

Variation der Linienstärken im Verlauf der Periode.

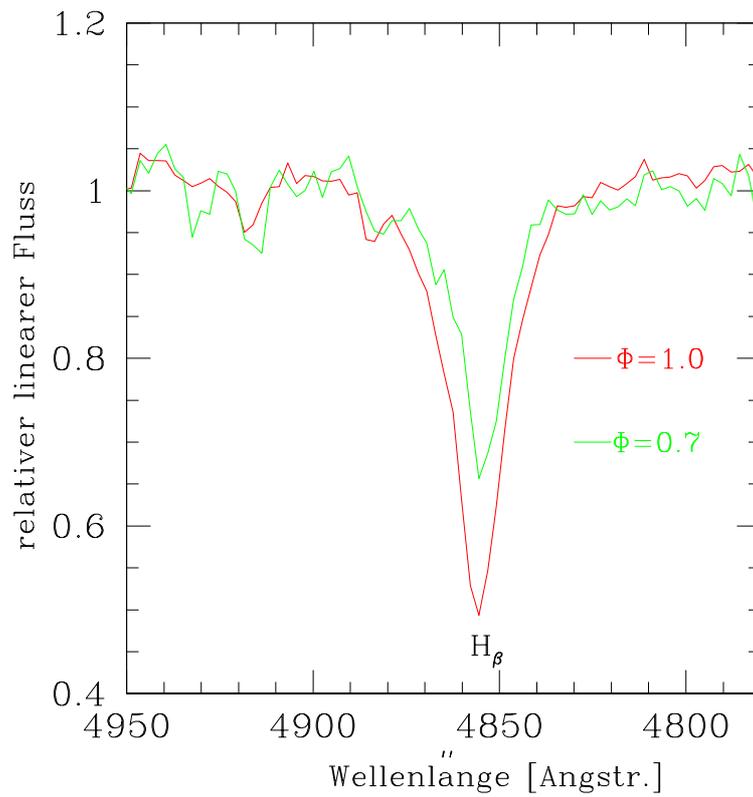


Abbildung 9: Die Wasserstoffabsorptionslinie H_β-Linie im Maximum und Minimum der Helligkeit bei Phase $\Phi = 1.0$ und $\Phi = 0.5$ in Spektren von RR Gem. Man beachte die größere Tiefe und Breite der Linie im maximalen Licht im Vergleich zu der im minimalen Licht.

Variation der Linienstärken im Verlauf der Periode.

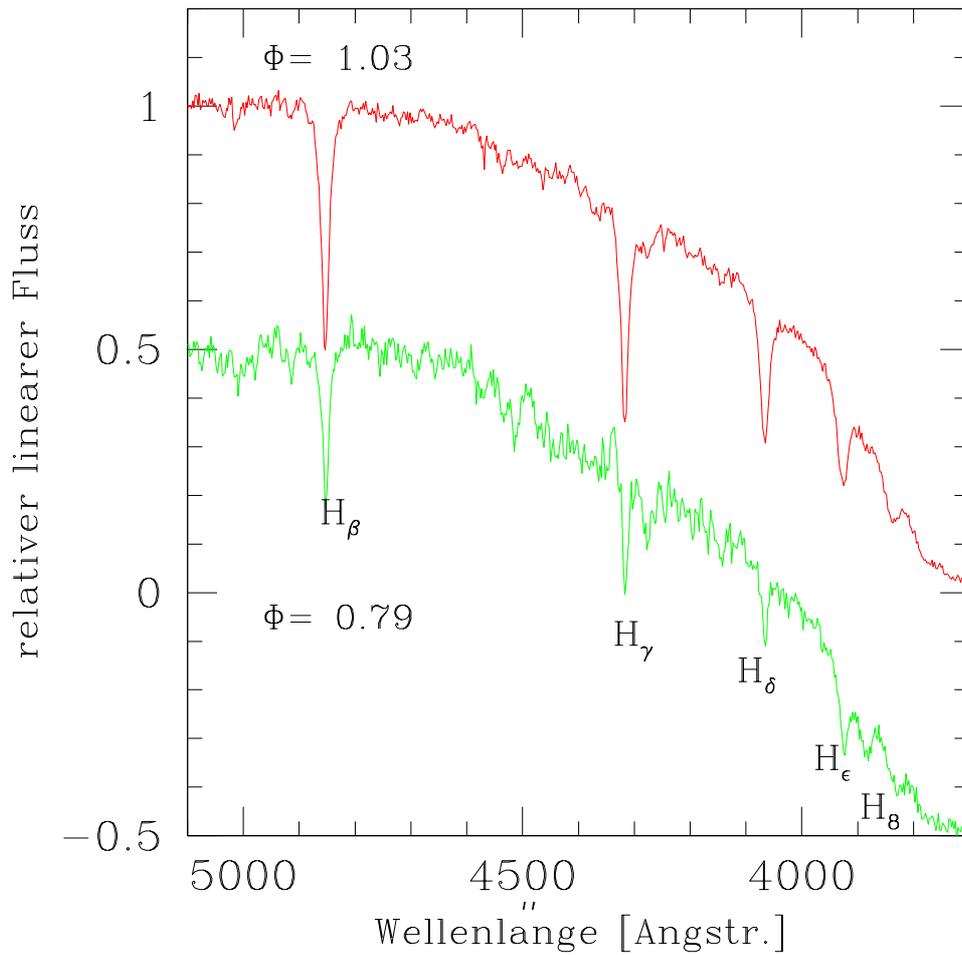


Abbildung 10: Die Variation der Balmerlinien von H_β bis H_8 während der Periode in Spektren von TZ Aur. Die Spektren sind im relativen Fluß verschoben, um Überdeckungen zu vermeiden. In dieser Abbildung ist die Änderung der Linien-Stärken der Wasserstoffabsorptionslinien an mehreren Balmerlinien gezeigt, aber auch die Variation der Stärke der Metallabsorptionslinien (sichtbar an der größeren "Unruhe" im Spektrum). Diese Metalllinien sind im Minimalen Licht wesentlich stärker als im Maximum, was auch die Änderung des Farbindex m_1 bewirkt (s. Abb. 6).

Spektroskopie mit dem 1 m Spiegel auf dem Hohen List.

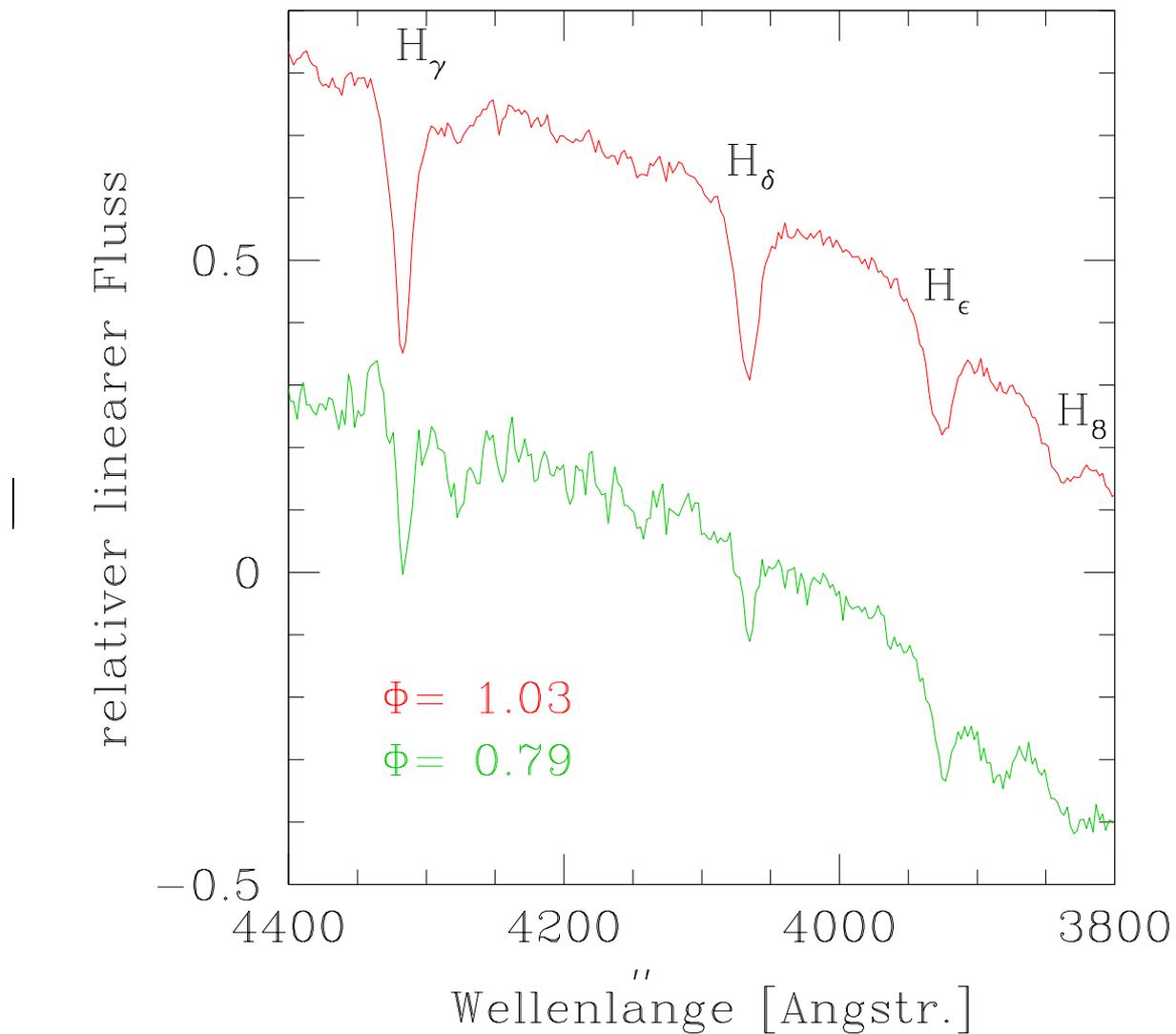


Abbildung 11: Ausschnitt aus dem Spektrum von TZ Aur im Maximum der Helligkeit. In diesem Ausschnitt ist neben der Änderung der Balmerlinien auch die Veränderung der Stärke der Metalllinien gut zu erkennen. Besonders auffällig ist die Stärkenänderung der Linie rechts neben H_γ . Hierbei handelt es sich um das sog. G-Band aus dem Sonnenspektrum. Noch größer ist die Variation der Kalzium K Linie (rechts neben H_ϵ) die im maximalen Licht (rote Kurve) des Sterns kaum zu erkennen ist.

Die Spektren sind im relativen Fluß verschoben, um Überdeckungen zu vermeiden.

Vergleich der Variation der Linienstärken mit Radius und Temperatur.

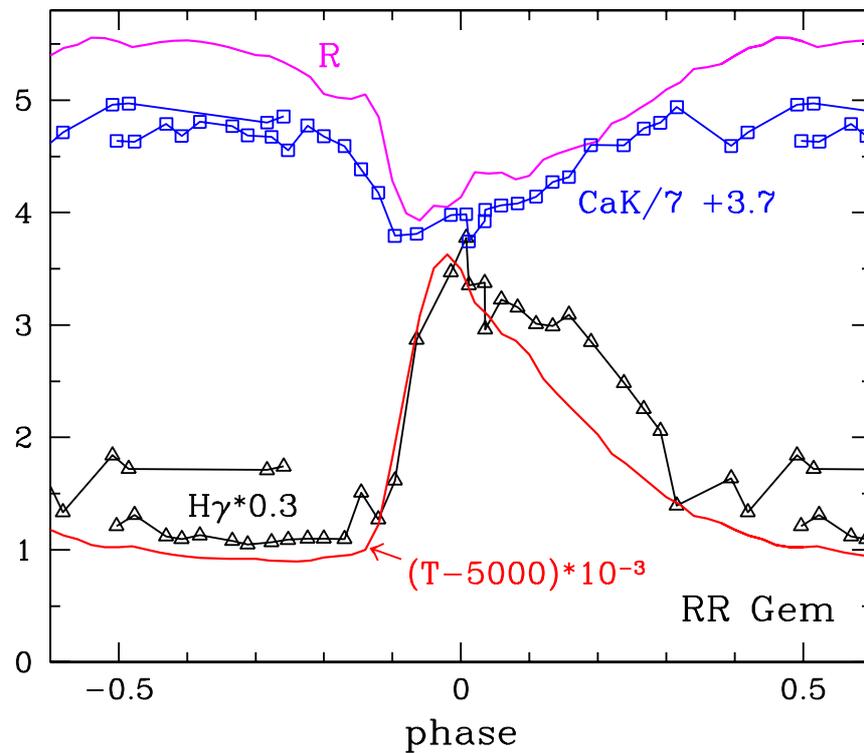


Abbildung 12: Für RR Gem die Variation von Radius und Temperatur und der Äquivalentbreiten von Ca II K und H_γ während des Pulsationszyklus. H_γ verläuft proportional zur Temperatur; Ca K zum Radius (aus: de Boer & Maintz 2010).

Die senkrechte Skala ist in R_\odot , die übrigen Werte sind daran angepasst (T_{eff} in K, W in Angström).

Der Blazhko-Effekt;

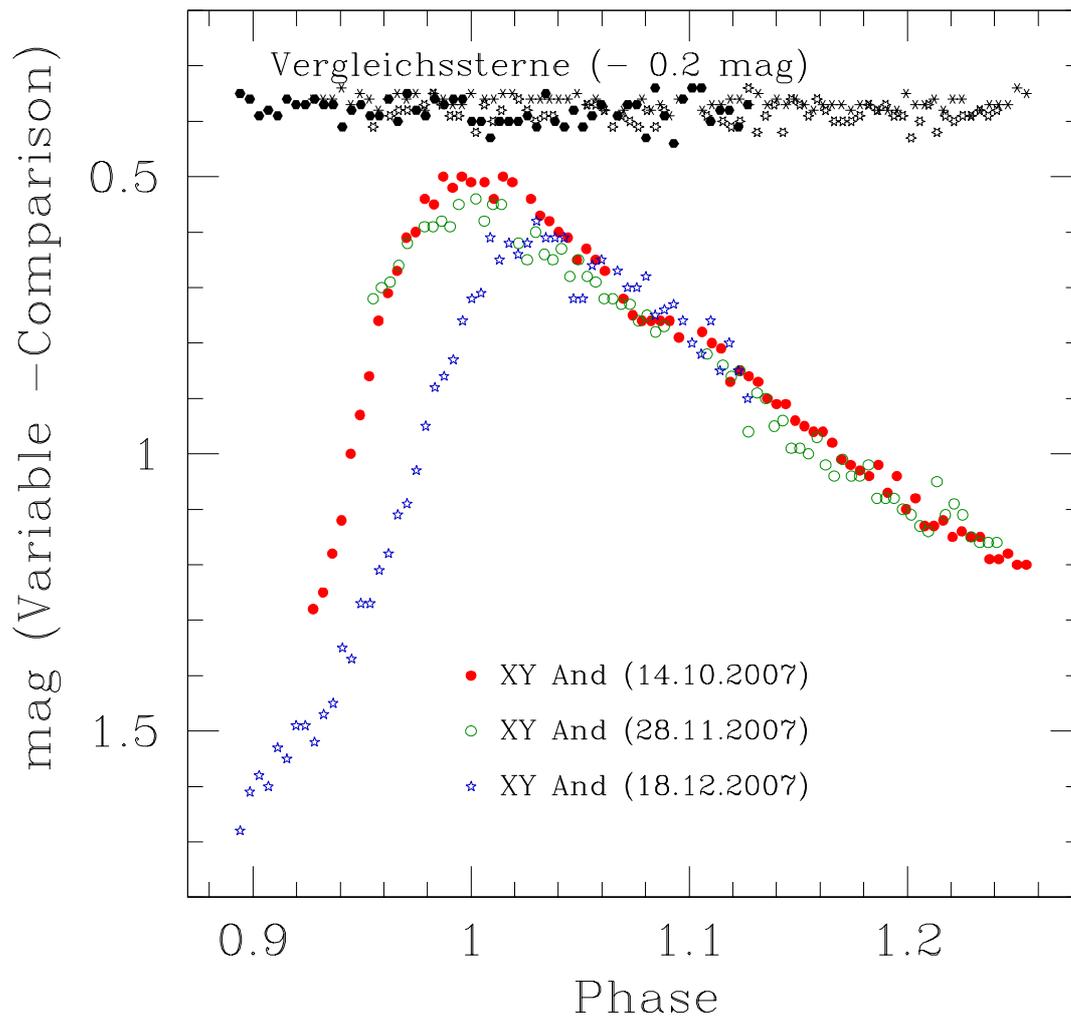


Abbildung 13: Durch den Blazhko Effekt verändert sich sowohl die Periodenlänge als auch die Amplitude und die Helligkeit im Maximum sowie im Minimum des Sterns. Von XY And ist - soweit mir bekannt - die Blazhko-Periode noch nicht ermittelt.

Der Blazhko-Effekt

Der Auslöser dieses Blazhko-Effekts sind Pulsationen mit einer zweiten oder dritten Frequenz, die sehr dicht bei der eigentlichen Pulsations-Frequenz des RR Lyr's liegen. Durch die Überlagerung dieser Frequenzen ergibt sich die Blazhko-Periode

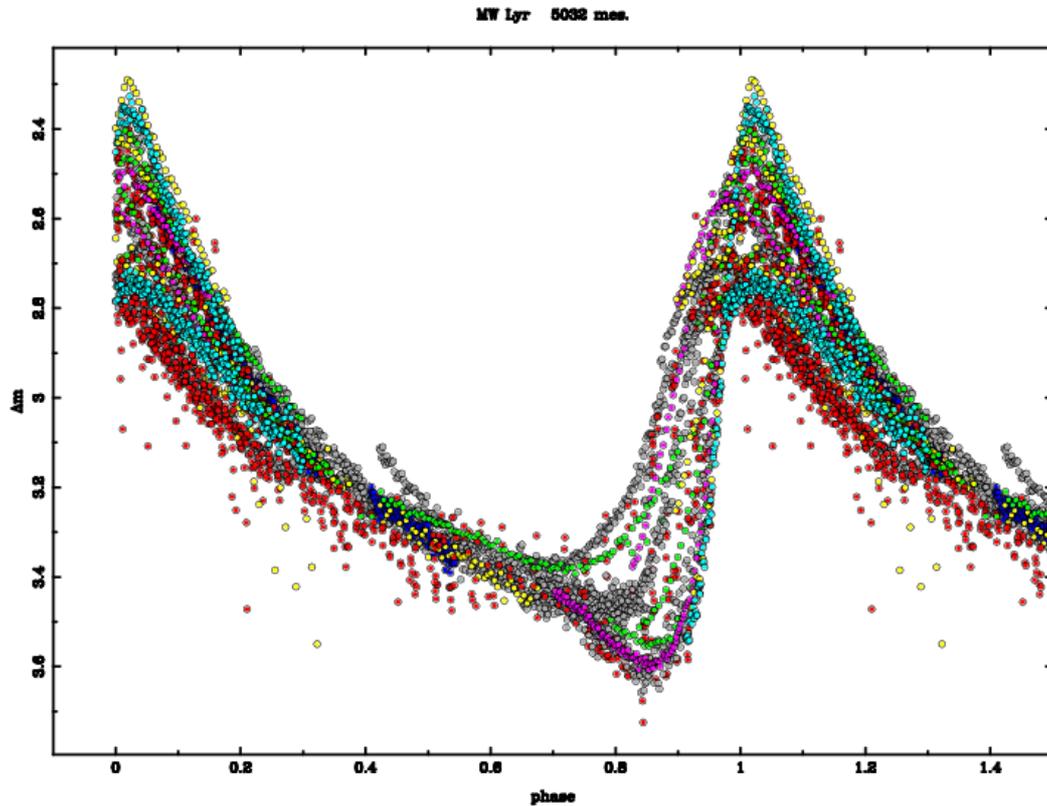


Abbildung 14: Die Lichtkurven von MW Lyr ($P= 0.397718$ d) , eines Sterns mit Blazhko-Effekt über die ganze Blazhko-Periode von 16.57 d. Zusammengestellt von J.F. Le Borgne aus vielen Lichtkurven, die zum großen Teil von Amateurastronomen stammen (2007, private communication). Deutlich erkennbar sind die Variationen der Pulsations-Periode sowie die Schwankungen der Amplitude.

Perioden-Variation beim Blazhko-Effekt

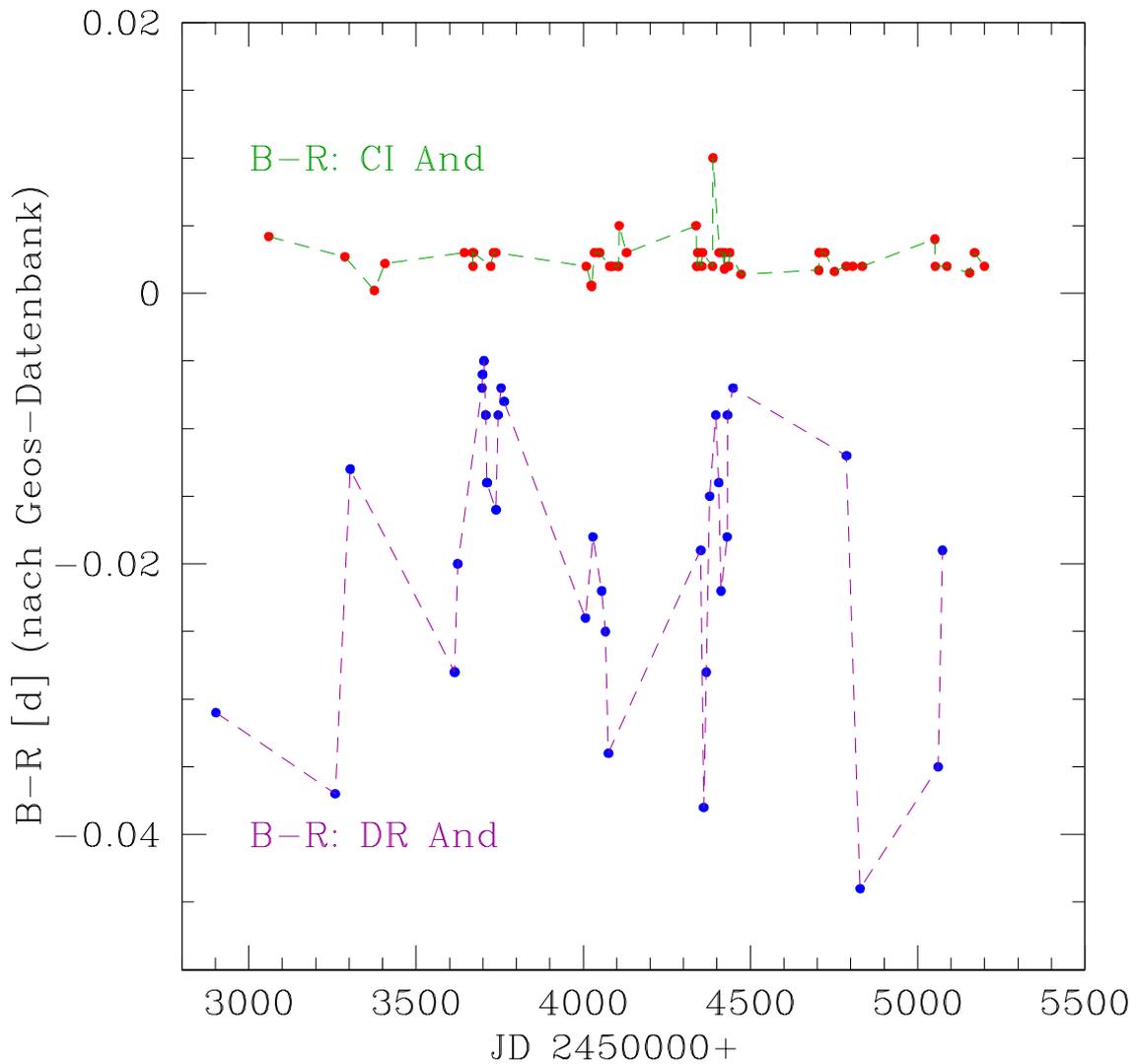


Abbildung 15: Die $B-R$ Werte der Maxima von CI And (oben) und DR And (unten) von 2005 bis 2009, entnommen der Geos-Datenbank. DR And ist ein Stern mit Blazhko-Effekt. Die wesentlich größere Streuung seiner $B-R$ Werte ist sehr auffällig und geht weit über die Streuungen, die auf Beobachtungsungenauigkeiten beruhen können hinaus.

Ursachen des Blazhko-Effekts der RR-Lyrae-Sterne.

This so-called Blazhko effect (Blazhko 1907) is one of the most stubborn unsolved problems of the theory of radial stellar pulsations.

Der sogenannte Blazhko Effekt (Blazhko 1907) ist eines der hartnäckigsten ungelösten Probleme der Pulsations-Theorie der Sterne.

K. Kolenberg et al. (2010)

Es gibt fast so viele Erklärungen wie es Veröffentlichungen gibt!

- Veränderliche magnetische Felder
- Nicht radiale Pulsationsmoden
- Veränderliche Konvektionen in der oberen Hülle
- Effekte auf Grund hoher Sternrotation
- Gezeitenwirkung eines Begleiters
- Lichtlaufzeitenänderung durch einen Begleiter
- Aufspaltung der Pulsationsmoden zwischen Grund- und 1. Oberton
- Resonanzen zwischen radialen Pulsationsmoden und unbeobachtbaren nicht radialen Moden
- Unterschiedlicher Gehalt an schweren Elementen
- **und vieles mehr**

Der Blazhko-Effekt in der Literatur

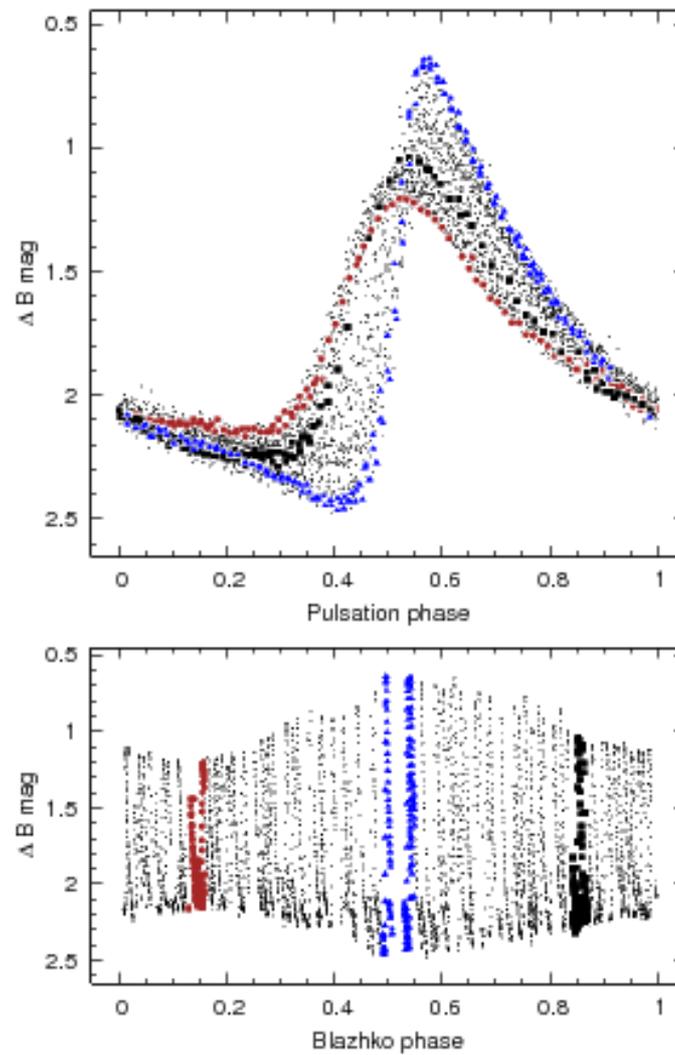


Abbildung 16: Die modulierte Lichtkurve von MW Lyrae von A.Sodor (fig. 1; AN 999, No. 88 2006 bzw. arXiv:0704.3341). Die Abb. zeigt oben die Lichtkurve mit B -Filter mit der Pulsationsperiode, unten die selben Daten gegen die Blazhko-Phase. Drei unterschiedliche Blazhko-Phasen sind hervorgehoben (Minimum, Maximum und die Phase mit mittlerer Amplitude.)

Blazhko-Phasen von V1127 Aql

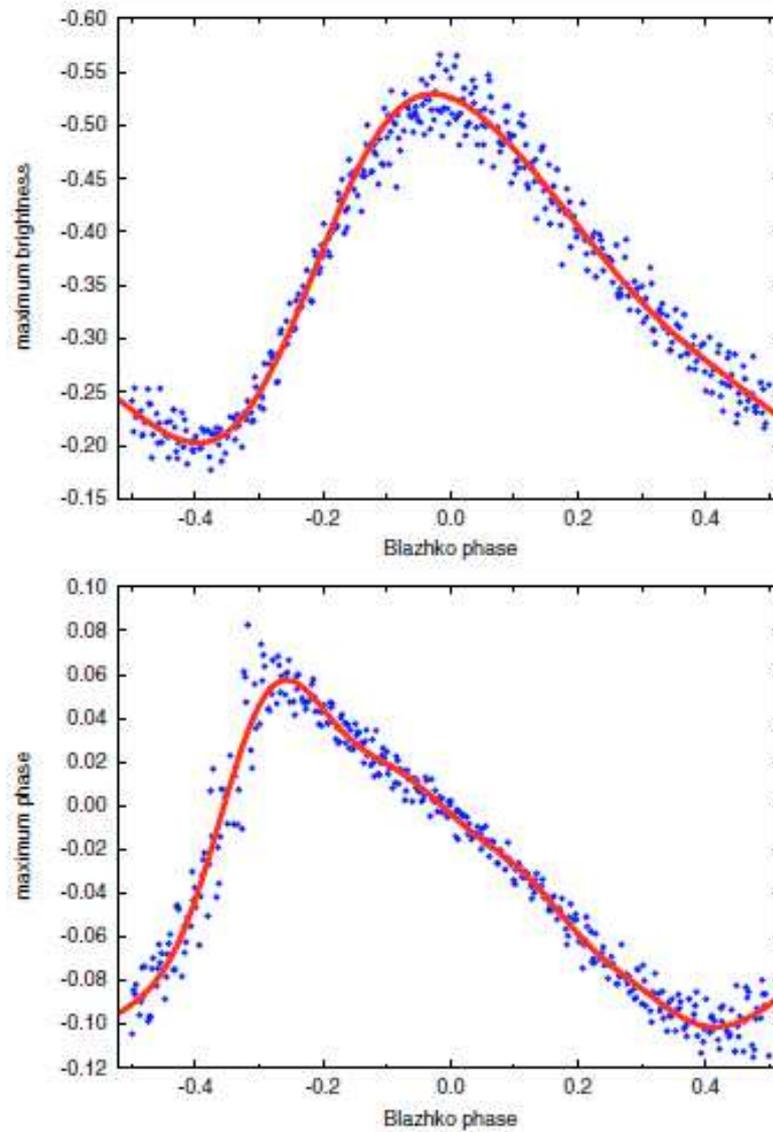


Fig. 13. a) Maximum brightness vs. Blazhko phase b) The same for the maximum phase.

Abbildung 17: Diagramme der Maximums Helligkeit (oben) und der Maximums Zeit gegen die Blazhko-Phase von V1127 Aql aus der Arbeit von Chadid et al. (2010).

Der Blazhko-Effekt in der Literatur

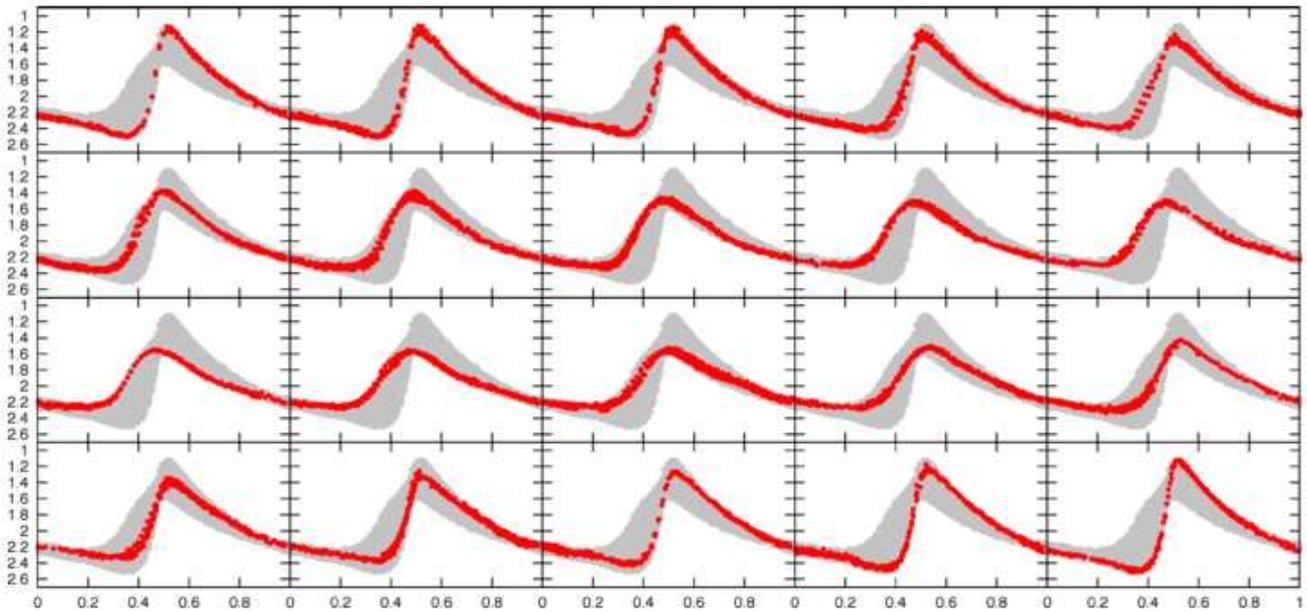


Figure 11. V light curves of MW Lyr in 20 different phases of the Blazhko cycle are shown. The folded light curve of the complete data set is shown in grey colour.

Abbildung 18: Die Lichtkurven von MW Lyr mit V-Filter ($P_{pul} = 0.397718$ d) bei 20 unterschiedlichen Phasen der Blazhko-Periode ($P_{Bla} = 16.57$ d) von Jurcsik et al. (Mon. Not. R. Astron. Soc. 391, 164-177 (2008)). Die Lichtkurven aus allen beobachteten Daten sind in grauer Farbe gezeigt.

Der Blazhko-Effekt bei RRc Sternen

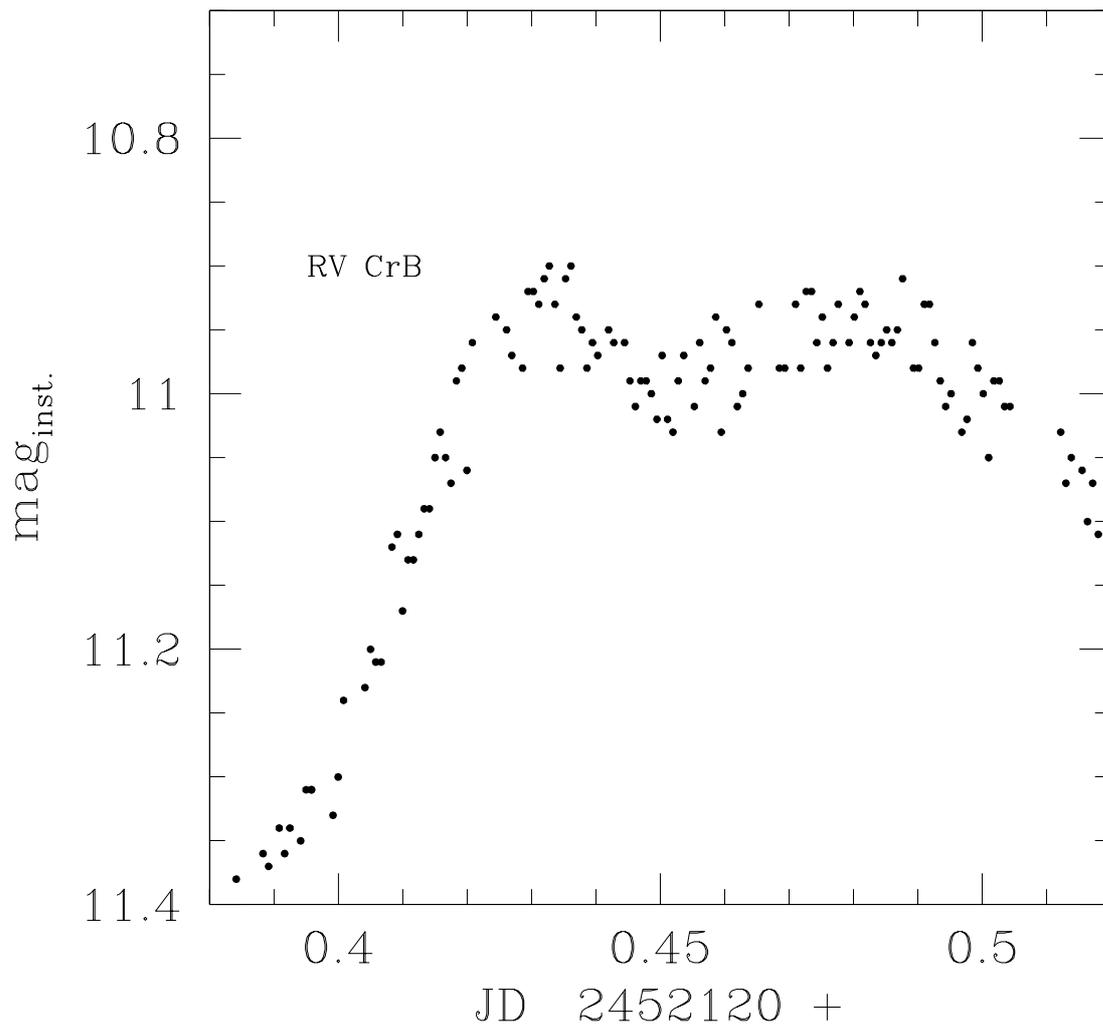


Abbildung 19: Die Lichtkurve von RV CrB von 29.7.2001. Das ist meine älteste Lichtkurve mit Doppelmaximum die mit einer CCD-Kamera aufgenommen wurde.

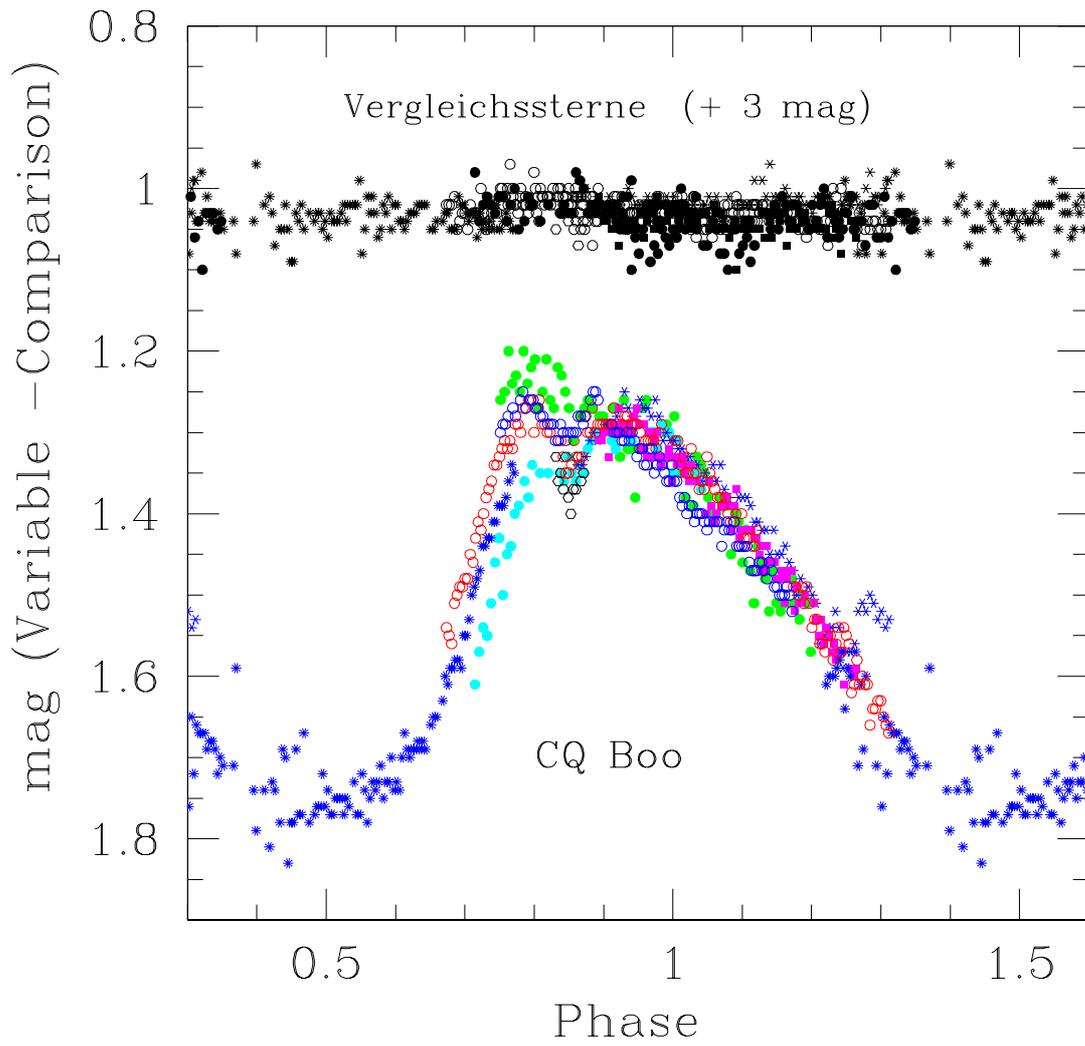


Abbildung 20: 8 Lichtkurven von CQ Boo aus 2007 bis 2010. Die Lichtkurven zeigen 2 Maxima, aber auch die Variation der Lichtkurve durch den Blazhko-Effekt wird deutlich.

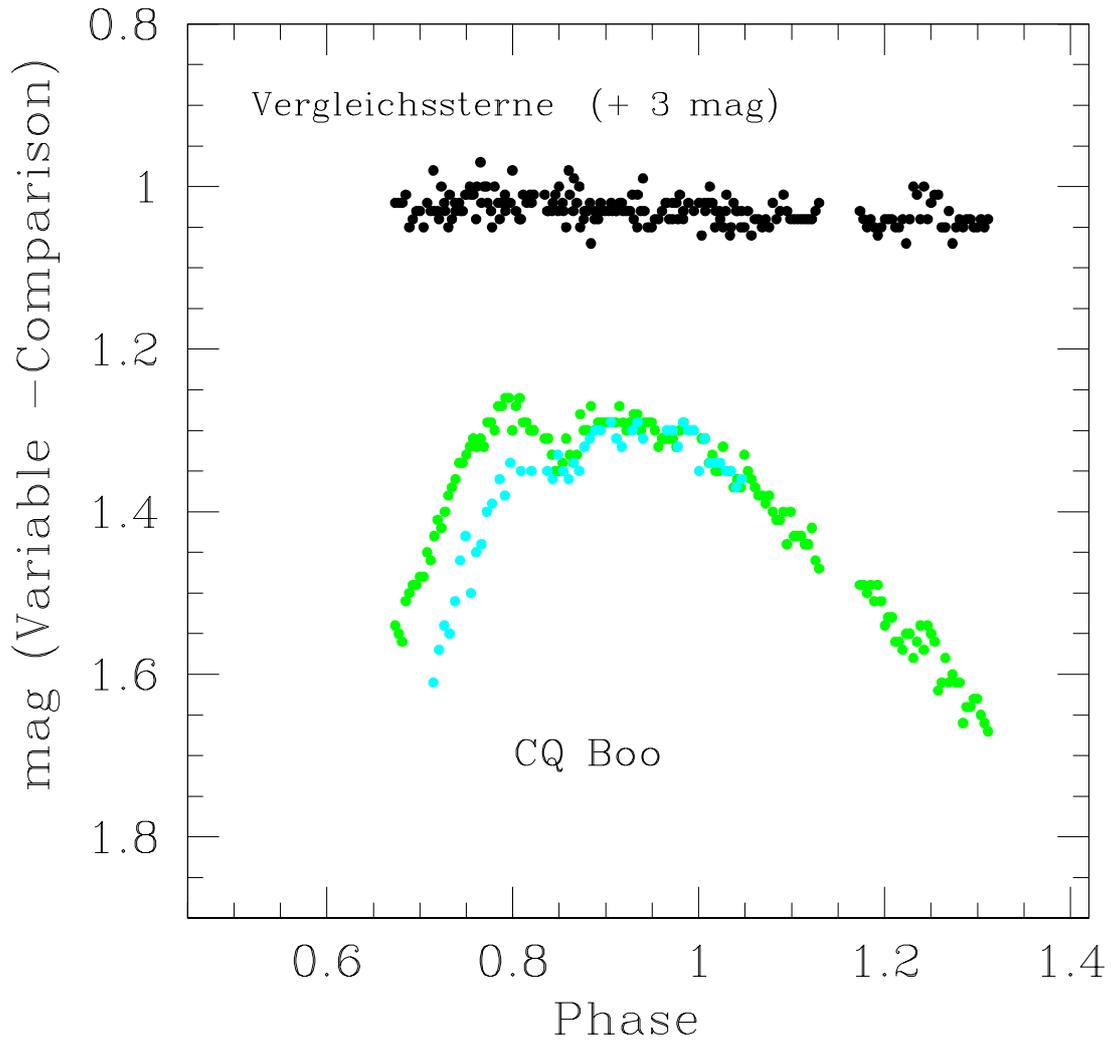


Abbildung 21: 2 Lichtkurven von CQ Boo. Beide Lichtkurven zeigen 2 Maxima. Deutlich zu erkennen ist dass einmal das erste und einmal das zweite Maximum das hellere ist. Diese Variationen der Lichtkurve in den unterschiedlichen Epochen beruhen auf dem Blazhko-Effekt.

Theorie des Blazhko-Effekts bei RRc Sternen

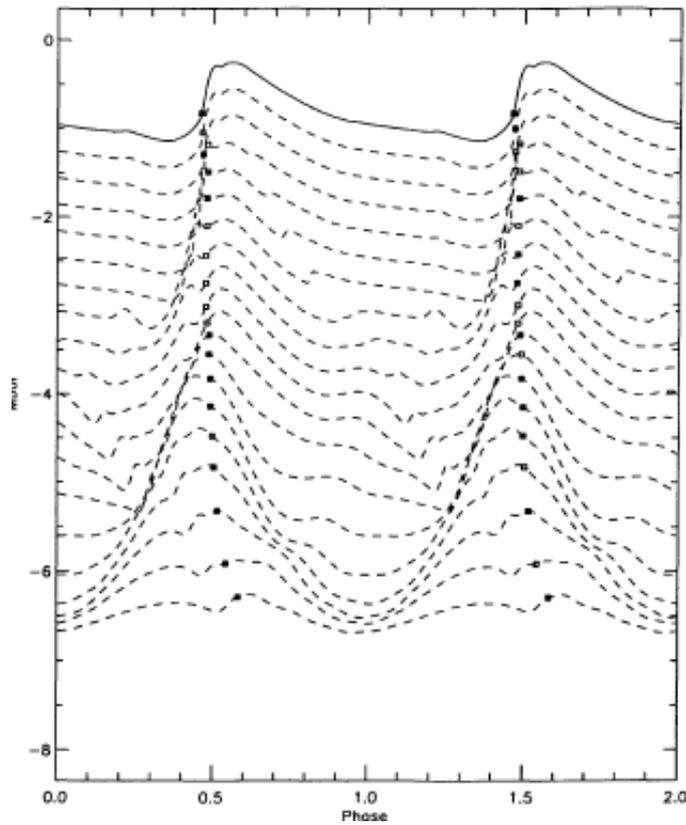


Abbildung 22: Theoretische Berechnungen der Variation der Helligkeit von RRc Sternen in Abhängigkeit von Temperatur und Leuchtkraft. Bei den Berechnungen wurde die Hülle des Sterns in 80 Schichten zerlegt, und für jede wurde die Wirkung von Temperatur- und Dichte-Änderung, wie sie während der Pulsationsperiode vorkommen, berechnet. Daraus ergibt sich die gesamt Helligkeits- und Radius-Variation. Hier sind die Schichten der Sternhülle für einen RRc-Stern mit 7200 K mittlerer Temperatur gezeigt (es ist nur jede 5. Schicht dargestellt) aus denen das Modell berechnet wurde (Bono und Stellingwerf 1994).

Theorie des Blazhko-Effekts bei RRc Sternen

Bei den Sternen ändert sich während der Blazhko-Periode die maximale/minimale Helligkeit und damit auch die maximale/minimale Temperatur.

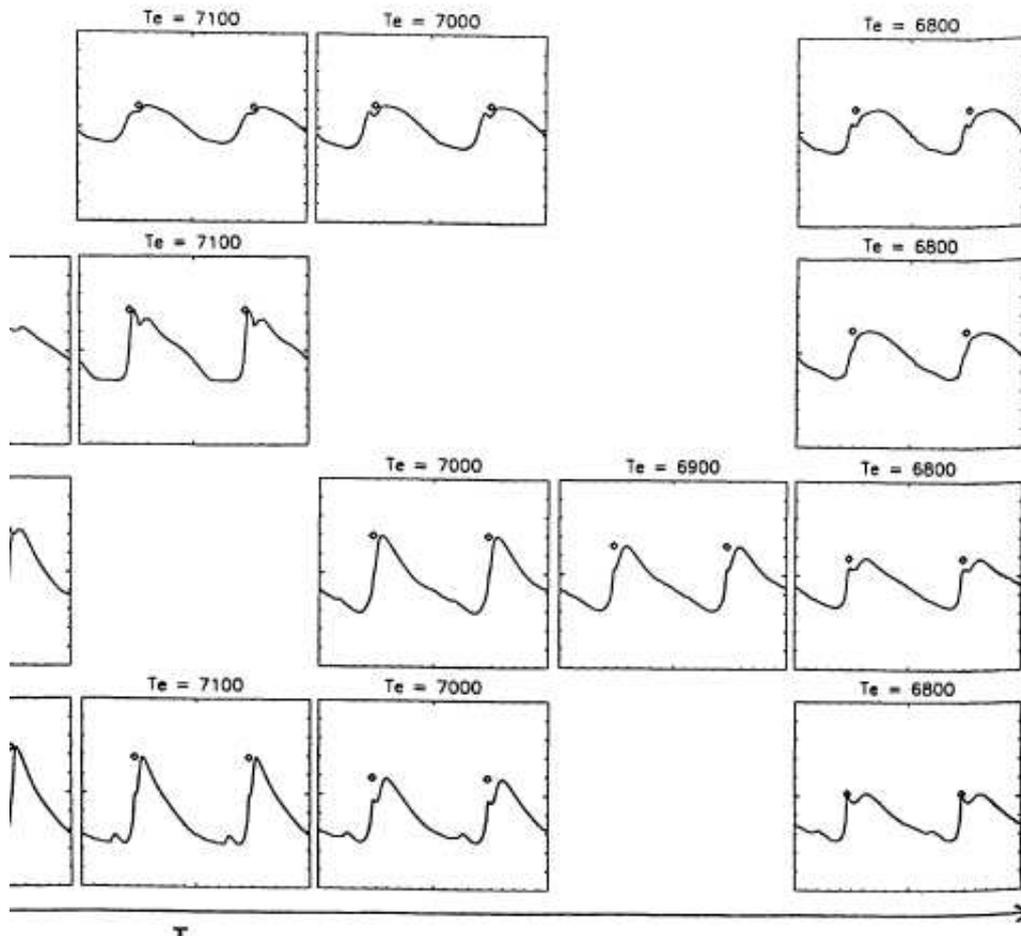


Abbildung 23: Theoretische Berechnungen der Variation der Helligkeit von RRc Sternen in Abhängigkeit von Temperatur und Leuchtkraft. Deutlich sichtbar wird, dass sich bei bestimmten Kombinationen dieser Werte Lichtkurven mit einem oder zwei Maxima bzw. einem Hump im aufsteigenden Ast der Lichtkurve ergeben (aus: Bono und Stellingwerf 1994). Der Punkt in den Abbildungen gibt immer den Zeitpunkt des kleinsten Radius an.

V862 Her; ein bemerkenswerter RRc Stern

entdeckt von S.V.Antipin, veröffentlicht in IBVS N4360, S.V.Antipin 1996

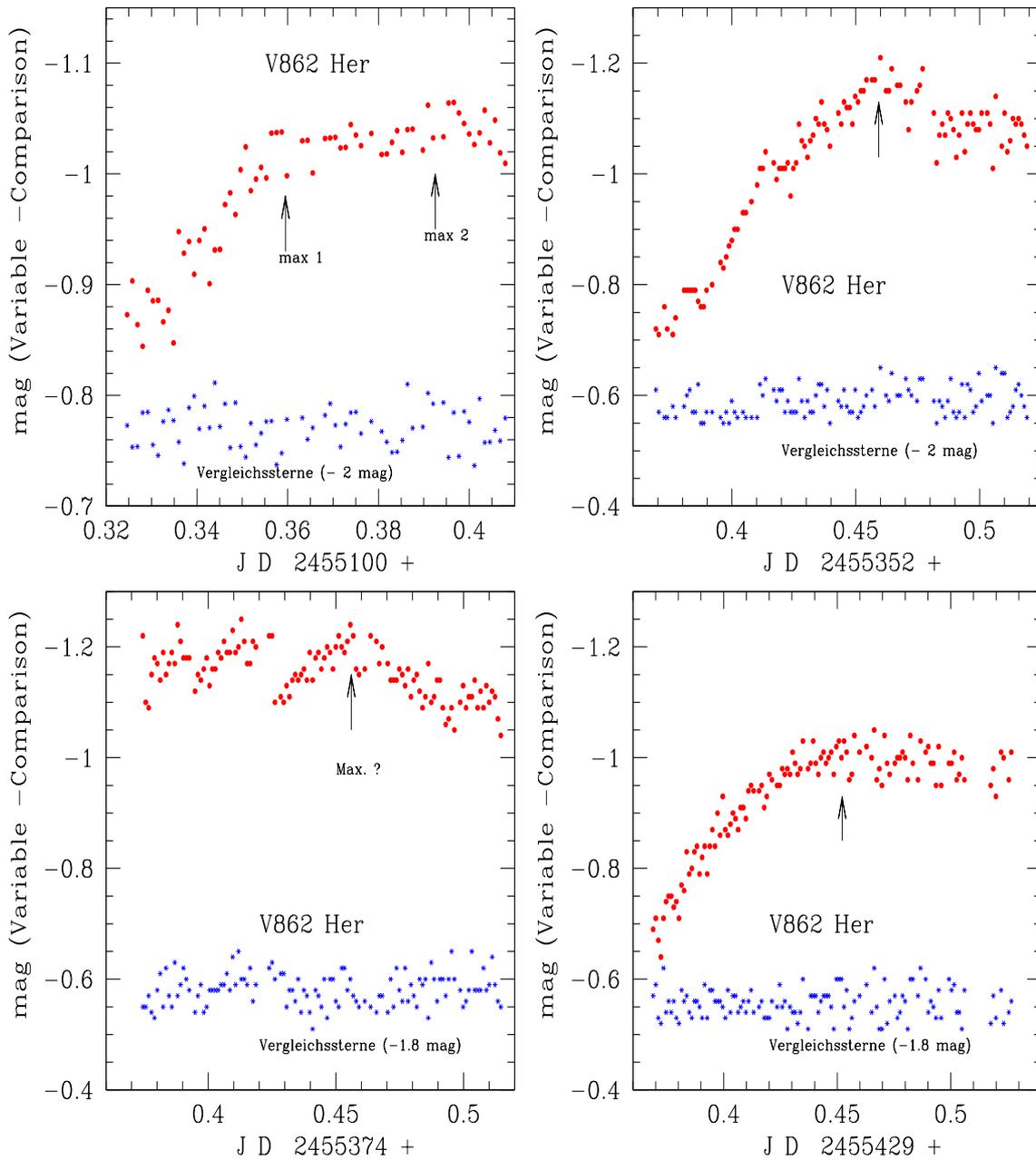


Abbildung 24: Lichtkurven von V862 Her (Per.=0.384886 d) vom 25.9.2009 (oben links), 4.6.2010 (oben rechts) 26.6.2010 (unten links) und 20.8.2010 (unten rechts) zeigen große Unterschiede in Form Amplitude und Helligkeit. Besonders merkwürdig ist das Ergebnis von 26.6.2010. Bei diesem Stern gibt es noch großen Beobachtungsbedarf.

Alle meine Beobachtungen von V862 Her

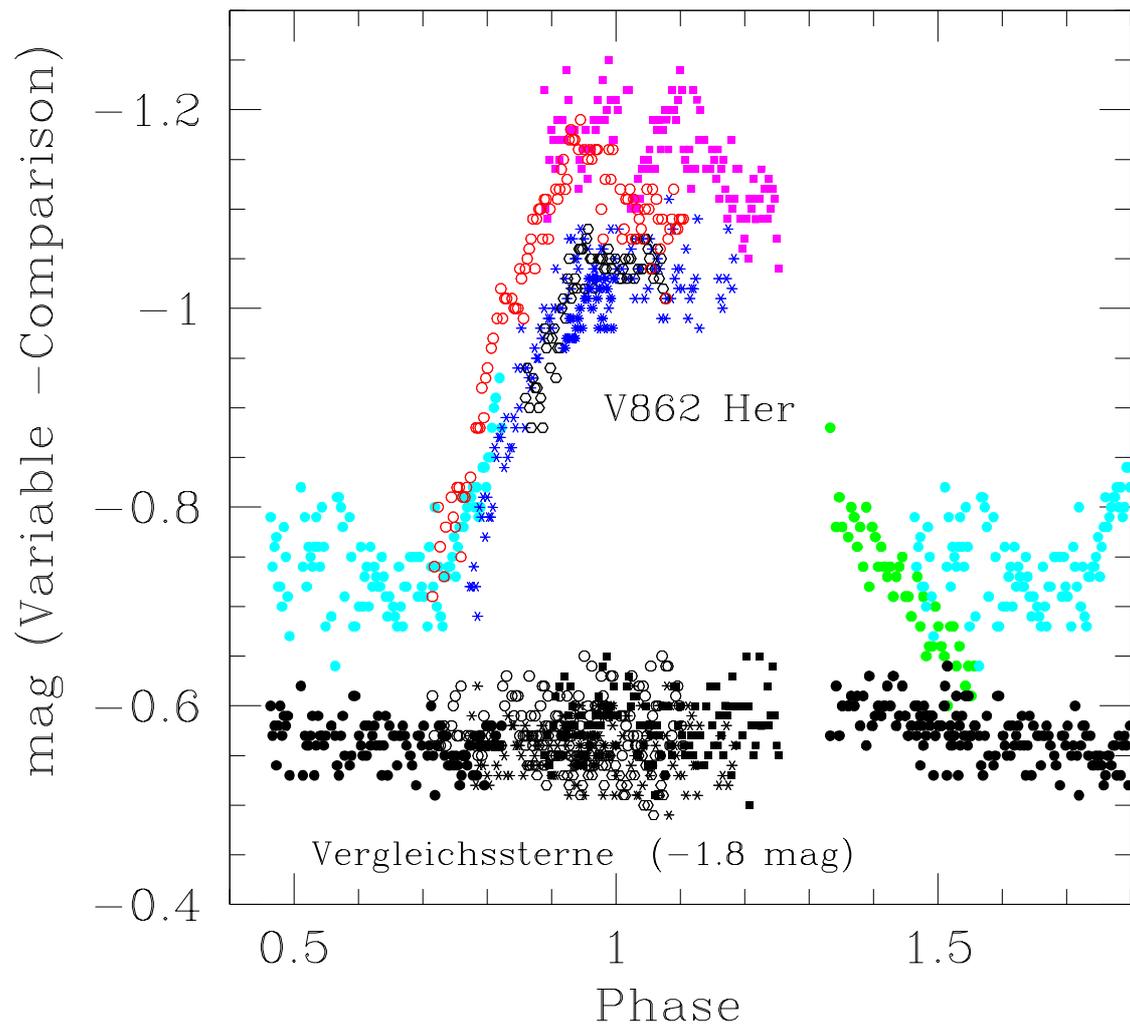


Abbildung 25: Die Lichtkurven von V862 Her übereinandergelegt, zeigen wie stark der Blazhko-Effekt bei diesem Stern ist. Über die Länge der Blazhko-Periode und die genaue Amplituden-Variation dabei ist bisher nichts bekannt.

Vergleich von V862 Her und RZ Cep

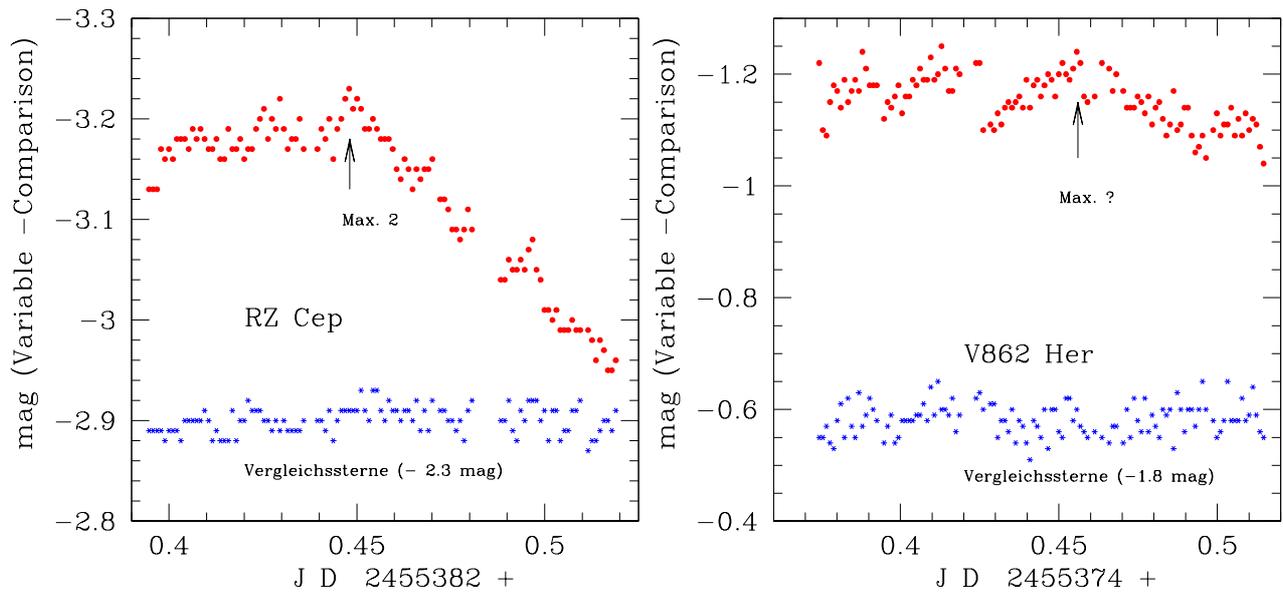


Abbildung 26: Lichtkurve von V862 Her vom 26.6.2010 im Vergleich zur Kurve von RZ Cep vom 4.7.2010. Beide Lichtkurven zeigen einen sehr unregelmäßigen Verlauf.

Was man sicher zu wissen glaubt.

1. RR Lyrs mit Blazhko-Effekt sind häufig

Je nach Autor zeigen 10 bis 50% der RRab-Sterne und mindestens 2 bis 40% der RRc-Sterne Blazhko-Effekt.

2. Immer zeigen sich in der Fourieranalyse 2 oder 3 Peaks in unmittelbarer Nähe der Pulsationsfrequenz

An diesen Nebenfrequenzen ist der Blazhko-Effekt am sichersten zu erkennen.

3. Sterne mit Blazhko-Effekt verändern öfter ihre Periode

Diese Periodenänderungen erfolgen plötzlich und viel schneller als es die Entwicklung der Sterne erwarten läßt (Lee 1991).

4. Der Blazhko-Effekt kann zeitweise verschwinden

RR Gem zeigte in den Jahren 1970 bis 80 keinen Blazhko-Effekt (Sodor 2006, Jurcsik 2009)

5. Blazhkoperioden (BP) haben sehr unterschiedliche Länge

Es gibt BP von 5.309 d (SS Cancri; Jurcsik 2006) bis 532.0 d (RS Bootes; Kovcs 1995).

6. Ihre Amplitudenvariation ist unterschiedlich groß

z.B. < 0.1 mag bei RR Gem; 0.15 mag bei RS Boo und 0.7 mag bei XZ Cyg.

7. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit ist abhängig von der Länge der BP, der Variation der Periodenlänge und der Amplitudenvariation

Für Amateure unentdeckbar z.B. DM Cyg $\Delta V_{max} = 0.08$ mag $\Delta P_{pul} = 0.005$ d (Jurcsik 2009).

Ergebnis der Betrachtung.

Was folgt daraus für den Amateurbeobachter?

- **Für Sterne mit Blazhko-Effekt lassen sich keine genauen Maxima-Zeiten vorhersagen**
Selbst wenn die BP bekannt ist, finden sich in der Literatur fast nie Angaben über die Schwankung der Periodenlänge.
- **Der Blazhko-Effekt von RR Lyrs kann auch von Amateuren entdeckt werden.**
Verdächtige Kandidaten verraten sich (oft) durch wechselnde B–R Werte. Ebenso durch Lichtkurven mit unterschiedlichem Verlauf und unterschiedlicher Maximums bzw. Minimums Helligkeit.
- **Um mehr über einen RR Lyr mit Blazhko-Effekt herauszufinden, ist die Zusammenarbeit mehrerer Beobachter notwendig.**
Es müssen möglichst viele Lichtkurven mit den selben Vergleichssterne in relativ kurzer Zeit und mindestens über eine BP gewonnen werden.