

## Einige Bemerkungen zum $(B-R)$ -Diagramm von SW Bootis

H. Achterberg

Im BAV Rundbrief 1/2004 [1] hat Dr. Husar den gegenwärtigen Stand der Kenntnisse über den RR Lyrae-Stern SW Bootis (Untertyp RRab) dargestellt, der einige noch ungeklärte Besonderheiten aufweist. Auf Seite 4 dieser Publikation ist auch ein  $(B-R)$ -Diagramm der Maximumzeiten dieses Sterns mit Beobachtungen zwischen  $JD = 2421840$  (3.09.1918) und  $JD = 2452385$  (21.04.2002) angegeben. Dieser Veränderliche soll nach Smith ([2], p.105) auch einen Blazhko-Effekt mit einer Periode  $P_B = 13,0^d$  zeigen. Aus dem erwähnten  $(B-R)$ -Diagramm und auch aus der in Abb. 3 des Artikels [1] angegebenen reduzierten Lichtkurve geht hervor, dass sich der Blazhko-Effekt, wenn überhaupt, nur wenig auf die Maximumzeiten und damit auf die  $(B-R)$ -Werte auswirkt. Über längere Zeiträume schwanken jedoch die mit einer linearen Formel ( $E_0 = 2426847,5$ ,  $P = 0,51351108$ ) berechneten  $(B-R)$ -Werte etwa sinusförmig ganz beträchtlich. Die Amplitude  $(B-R)_{\max} - (B-R)_{\min}$  dieser Schwankungen beträgt etwa  $0,3^d$  und die Periode  $P_{B-R}$  dieser Schwankung liegt bei etwa  $90^a$  (zweimal der zeitliche Abstand zwischen dem Maximum und Minimum der  $(B-R)$ -Werte). Einschränkend muss aber darauf aufmerksam gemacht werden, dass nur eine knappe Periode dieser Schwankungen durch vorliegende Beobachtungen mit erheblichen zeitlichen Lücken abgedeckt ist. Ob die Schwankungen der  $(B-R)$ -Werte über längere Zeiträume wirklich periodisch verläuft, ist also keineswegs sicher.

Da der zeitliche Verlauf der  $(B-R)$ -Werte, soweit er bis jetzt bekannt ist, sich durch eine näherungsweise sinusförmige Kurve darstellen lässt, liegt die Vermutung nahe, dass die beobachteten Schwankungen dieser Werte durch variable Lichtlaufzeiten hervorgerufen werden. Solche Laufzeiteffekte sind in der Astronomie seit langem gut bekannt. Schon der dänische Astronom O. Römer hat 1675 Unregelmäßigkeiten in den Verfinsterungszeiten der Galileischen Jupitermonde auf Laufzeiteffekte infolge einer endlichen Lichtgeschwindigkeit zurückgeführt. Laufzeiteffekte, die durch den Umlauf der Erde um die Sonne entstehen, sind in Kreisen von Veränderlichenbeobachtern wohlbekannt und werden durch die heliozentrische Korrektur eliminiert, wodurch die Maximum- bzw. Minimumzeiten auf den Ort der Sonne bezogen werden.

Im vorliegenden Fall könnten die beobachteten Schwankungen der  $(B-R)$ -Werte von SW Boo dadurch entstehen, dass dieser Veränderliche eine Komponente eines Doppelsternsystems ist und sich durch den Umlauf die Entfernung zu diesem Stern periodisch verändert. Entfernt sich der Stern vom Sonnensystem, verspäten sich die Maxima, nähert er sich, verfrühen sich die Ereignisse. Zur Prüfung der aufgestellten Hypothese muss nun geprüft werden, ob diese mit den anderen Beobachtungsbefunden vereinbar ist oder diesen in irgendeiner Weise widerspricht.

Die beobachtete Amplitude der  $(B-R)$ -Schwankungen  $\Delta(B-R) = (B-R)_{\max} - (B-R)_{\min}$  hängt in dem angenommenen Szenarium vom Radius der Bahn des RR Lyrae-Sterns um den Schwerpunkt des Doppelsternsystems, von der Periode  $P_{B-R}$  der  $(B-R)$ -Schwankungen sowie von der Exzentrizität und Lage der Bahn im Raum ab. Zur Überprüfung der Hypothese reicht es aus, eine Lage und Exzentrizität der Bahn zu wählen, bei der sich ein maximaler Wert der  $(B-R)$ -Amplitude ergibt, denn kleinere

Werte von  $\Delta(B-R)$  lassen sich immer durch eine weitgehend freie Wahl von Exzentrizität und Bahnlage erreichen. Maximale Werte der  $(B-R)$ -Amplitude treten auf, wenn die Bahn kreisförmig ist und die Bahnebene in der Sichtlinie liegt. Der Bahnradius und damit die  $(B-R)$ -Amplitude hängen auch noch von den Massen  $M_1$  des RR Lyrae-Sterns und  $M_2$  des Begleiters ab. Für die eben definierte maximale  $(B-R)$ -Amplitude gilt

$$\Delta(B-R) = (B-R)_{\max} - (B-R)_{\min} = \frac{2M_2}{c} \left( \frac{P_{B-R}}{M_1 + M_2} \right)^{2/3},$$

wobei  $c = 173 \text{ AE/d}$  die Lichtgeschwindigkeit ist. Um  $\Delta(B-R)$  in Zeiteinheiten von Tagen zu erhalten, müssen  $M_1$  und  $M_2$  in Sonnenmassen und  $P_{B-R}$  in Jahren eingesetzt werden.

Die Masse  $M_1$  eines RR Lyrae-Sterns liegt bei etwa 0,7 Sonnenmassen, während die Masse  $M_2$  des Begleiters unbekannt ist. Der minimale Wert dieser Masse lässt sich jedoch mit Hilfe der oben angegebenen Gleichung abschätzen. Bei der beobachteten Periode  $P_{B-R} \approx 90^{\text{a}}$  ergibt sich mit einer Masse  $M_2 \approx 3,3$  Sonnenmassen gerade die beobachtete Amplitude  $\Delta(B-R) \approx 0,3^{\text{d}}$ . Mit größeren Werten von  $M_2$  erhält man auch größere Werte von  $\Delta(B-R)$ , jedoch kann durch eine geeignete Lage und Form der Umlaufbahn  $\Delta(B-R)$  immer auf den beobachteten Wert verkleinert werden.

Da Sterne mit  $\geq 3,3$  Sonnenmassen existieren, könnten also tatsächlich Laufzeiteffekte in einem Doppelsternsystem die großen beobachteten  $(B-R)$ -Schwankungen bei SW Boo verursachen. Zur weiteren Prüfung der Hypothese muss aber noch der beobachtete Helligkeitshub herangezogen werden, der bei SW Boo bei 1,1 mag liegt. Je größer die konstante Helligkeit des Begleiters ist, um so kleiner wird der beobachtete Hub der Gesamthelligkeit des Doppelsternsystems. Geht man von einem maximalen Helligkeitshub des RR Lyrae-Sterns als Einzelobjekt von 2,0 mag aus, der gelegentlich vorkommt, so muss der Begleiter um 1,2 mag schwächer sein als der RR Lyrae-Stern im Maximum, damit der tatsächlich beobachtete Helligkeitshub von 1,1 mag auftritt. Genügend massereiche Sterne auf der Hauptreihe scheiden als Begleiter aus, weil sie eine zu große Helligkeit haben. Hauptreihensterne mit 3,3 Sonnenmassen sind etwa um 1 mag heller als ein RR Lyrae-Stern. Außerdem sind RR Lyrae-Sterne sehr alte Sterne, so dass auch der Begleiter ein entsprechend hohes Alter haben dürfte und dieser ein Weißer Zwerg, ein Neutronenstern oder ein Schwarzes Loch sein kann ([2], p.89). Weiße Zwerge und Neutronensterne kommen als Begleiter nicht in Frage, da bei diesen Sterntypen obere Massengrenzen von 1,4 bzw. 1,8 Sonnenmassen existieren. Es bleibt als möglicher Begleiter nur ein Schwarzes Loch, das zwar nicht unmöglich, aber wenig wahrscheinlich erscheint. Eine Vorbedingung für die Erklärung der  $(B-R)$ -Schwankungen durch Laufzeiteffekte ist, dass die  $(B-R)$ -Kurve keine Knicke durch Periodensprünge haben darf, sondern vollkommen kontinuierlich verläuft. Diese Prüfung lässt sich aus Mangel an Daten z.Z. leider nicht umfassend durchführen.

Die großen Schwankungen der  $(B-R)$ -Werte von SW Bootis dürften also höchstwahrscheinlich eine andere Ursache haben und werden vermutlich durch noch wenig er-

forschte Vorgänge im Sterninneren hervorgerufen ([2], pp. 94). Die Messwerte im erwähnten (*B-R*)-Diagramm von SW Bootis [1] lassen sich übrigens auch durch drei Geradenstücke recht befriedigend darstellen. Die Übergänge von einer Geraden auf die nächste, die mit einer entsprechenden Periodenänderung verknüpft sind, fallen in die ziemlich großen Beobachtungslücken und es bleibt daher ungeklärt, ob sich dort die Pulsationsperiode sprunghaft oder mehr oder weniger kontinuierlich verändert hat.

Um genauere Erkenntnisse über diese Periodenänderungen von SW Bootis zu erhalten, sind weitere Beobachtungen notwendig, die sich allerdings über Jahrzehnte erstrecken müssen. Zur Untersuchung des Blazhko-Effektes, den SW Boo mit einer Periode von  $13,0^d$  zeigen soll, sind dagegen möglichst viele Beobachtungen in einem kürzeren Zeitraum von einigen Monaten erforderlich. An dieser Stelle soll deshalb der in [1] erschienene Beobachtungsaufruf von SW Boo noch einmal in Erinnerung gerufen werden. Wichtig ist, dass nicht nur die Maximumzeiten, sondern auch die Maximumhelligkeiten gegenüber dem in [1] genannten Referenzstern ermittelt und veröffentlicht werden. Es wäre sehr zu begrüßen, wenn in nächster Zeit dieser RRab-Stern häufiger beobachtet werden würde.

**Literatur:**

[1] Husar, D.: Aufruf zu einer Beobachtungskampagne: SW Bootis, ein RRab Stern mit Periodenschwankungen und Blazhko-Effekt gibt Rätsel auf, BAV Rbf. 53(2004) S.1 ff.

[2] Smith, H.: RR Lyrae Stars, Cambridge University Press 1995

Herbert Achterberg, Liegnitzer Str. 12, 22850 Norderstedt