

Das 100-jährige Rätsel der RR-Lyrae-Sterne

Die Lichtkurve dieser veränderlichen Sterne wirft noch viele Fragen auf

VON ELISABETH GUGGENBERGER UND KATRIEN KOLENBERG

Manche pulsierende Veränderliche verhalten sich recht merkwürdig: Ihre Pulsationsperiode ist periodischen Veränderungen unterworfen. Dieses Phänomen, seit hundert Jahren als Blashko-Effekt bekannt, ist bis heute nicht verstanden. Sind zusätzliche, nichtradiale Schwingungen des Sterns die Ursache? Oder wird der Effekt nur durch eine spezielle Beobachtungsgeometrie vorgetäuscht? Ein internationales Forschungsprojekt geht der Sache auf den Grund.

Sterne strahlen nur so lange mit konstanter Helligkeit, wie sie sich in einem stabilen Gleichgewicht befinden. Doch in manchen Stadien ihrer Entwicklung geraten die Temperatur- und Druckverhältnisse in ihren äußeren Schichten durcheinander: Mal zieht sich der Stern etwas zusammen, weil der Gravitationsdruck überwiegt, mal dehnt er sich etwas aus, weil die Temperatur gestiegen ist und die darüberliegenden Gasmassen nach außen gedrückt werden. Infolgedessen variiert der Radius: Der Stern pulsiert.

Während dieses Vorgangs ändern sich neben dem Radius auch andere Zustandsgrößen wie Leuchtkraft, Oberflächentemperatur und Spektralklasse. In der Regel erfolgt die Pulsation periodisch: Die Lichtkurve – der zeitliche Verlauf der Helligkeit – weist Extremwerte auf, und der zeitliche Abstand zwischen je zwei benachbarten Maxima oder Minima ist gleich (Abb. 1).

Zu den bekanntesten Pulsationsveränderlichen gehören die Cepheiden und die RR-Lyrae-Sterne (nach ihren Prototypen δ Cephei und RR Lyrae benannt). Die Helligkeitsamplituden ändern sich bei beiden Gruppen um 0.1 bis 2 mag, doch die RR-Lyrae-Sterne schwingen mit Perioden zwischen etwa 0.2 und 1.2 Tagen schneller als die Cepheiden, die für eine Schwingung zwischen etwa einem und fünfzig Tagen brauchen.

Aber nicht alle pulsierenden Sterne schwingen mit konstanter Amplitude und Periode. Diese Eigenheit entdeckte Sergej Nikolajewitsch Blashko von der Moskauer Universitätssternwarte vor genau hundert Jahren, als er den Veränderlichen RW Draconis (damals Var. 87.1906 Draconis genannt) beobachtete, der zu den RR-Lyrae-Sternen gehört. In einer Mitteilung vom 26. April 1907 schrieb er in der Zeitschrift »Astronomische Nachrichten« (Band 175, S. 325):

»Schon die ersten Beobachtungen des Veränderlichen im Juli 1906 haben gezeigt, dass ... die Periode nicht sehr von $10^{\text{h}6}$ verschieden ist; aber aus den weiteren Beobachtungen erwies es sich, dass die Momente der Maxima durch keine konstante Periode dargestellt werden können, und dass es notwendig ist, eine periodische Veränderung der Periode anzunehmen.«

Die Pulsation dieses Sterns ließ sich also nur mit Hilfe einer periodischen Änderung der Schwingungsdauer beschreiben. Seitdem ist das Phänomen der periodischen Amplituden- und Phasenänderungen in RR-Lyrae-Sternen nach seinem Entdecker benannt – und bis heute nicht vollständig geklärt.

Viele Versuche wurden unternommen, das hartnäckige Rätsel um den Blashko-Effekt zu lösen. Unter anderem arbeitet seit einigen Jahren ein internationales Forscherteam mit Basis in Wien an der Aufklärung dieses Phänomens. Hier wollen wir anlässlich des 100-jährigen Jubiläums von Blashkos Entdeckung einen Überblick über den aktuellen Wissensstand geben.

Radiale Schwingungen der Sterne

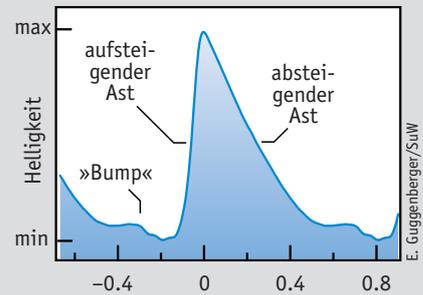
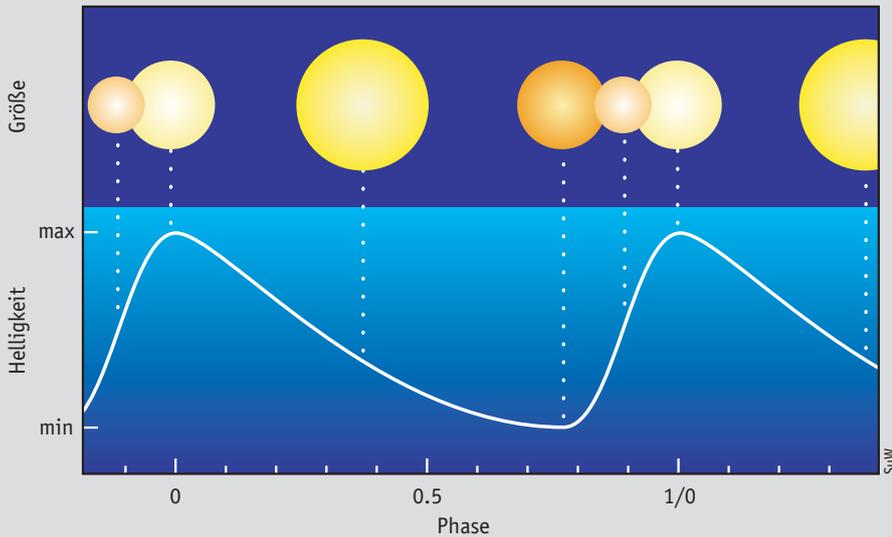
RR-Lyrae-Sterne zählen aufgrund ihrer großen Amplituden zu den ältesten bekannten Typen veränderlicher Sterne. Sie gehören der Population II an, sind also alte, entwickelte Sterne. Im Hertzsprung-Russell-Diagramm sind sie auf dem Horizontalast zu finden. Ihre Temperaturen können 6000 bis 7400 Kelvin betragen, und sie sind etwa vier- bis sechsmal größer als die Sonne, haben aber nur rund 70 Prozent ihrer Masse. Ihre Lichtkurve ähnelt mit ihrer asymmetrischen Form der von Cepheiden.

»Sterne und Weltraum« im Physik-Unterricht



Zu diesem Beitrag stehen Ihnen auf unserer Internetseite unter der URL www.wissenschaft-schulen.de didaktische Materialien zum kostenlosen Herunterladen zur Verfügung. Hier wird ein interessanter Praktikumsversuch vorgestellt, bei dem man aus der Auswertung von Sonnenfleckenanzahlungen etwas über

den Lebensrhythmus der Sonne erfährt. Unser Projekt »Wissenschaft in die Schulen!« führen wir in enger Zusammenarbeit mit der Landesakademie für Lehrerfortbildung in Donaueschingen, Baden-Württemberg, durch. Es wird von der Klaus Tschira Stiftung gGmbH großzügig gefördert.



Anhand der Form der Lichtkurve werden RR-Lyrae-Sterne in drei Bailey-Typen unterteilt (benannt nach dem US-Astronomen Solon I. Bailey, der diese Sterne intensiv untersuchte): RRab, RRC und RRd. Von diesen Typen sind die RRab-Sterne diejenigen mit den steilsten Lichtkurven und den höchsten Amplituden von ein bis zwei Magnituden (Abb. 2). Die RRC-Sterne hingegen zeigen beinahe sinusförmige Variationen mit kleineren Amplituden von weniger als einer halben Magnitude. Außerdem weisen sie etwas kürzere Perioden auf: Während RRab-Sterne etwa einen halben Tag für eine Schwingung benötigen, haben RRC-Sterne Perioden von 0,2 bis 0,4 Tagen.

Ferner unterscheiden sich die drei Bailey-Typen in der Art ihrer Schwingung. RRab-Sterne pulsieren nämlich in der radialen Grundschwingung, die RRC-Sterne hingegen in der ersten Oberschwingung. In RRd-Sternen wiederum findet sich sowohl die Grundschwingung als auch die erste Oberschwingung; beide sind also gleichzeitig zu beobachten. Prinzipiell sind all diese genannten Schwingungen radial, das heißt, die sphärische Symmetrie des Sterns bleibt dabei erhalten. Ob auch nicht-radiale Schwingungen vorhanden sind, ist eine brandaktuelle Frage. Die meisten theoretischen Modelle benötigen jedenfalls nicht-radiale Pulsationen, um den Blashko-Effekt erklären zu können.

Da es bei RR-Lyrae-Sternen wie bei Cepheiden einen Zusammenhang zwischen ihrer Pulsationsperiode und ihrer Leuchtkraft gibt, werden sie oft als Entfernungskennindikatoren benutzt. Umso wichtiger ist es, diese Sterne genauer zu verstehen und ein so markantes und weit verbreitetes Phänomen wie den Blashko-Effekt nicht einfach zu ignorieren.

Wenngleich es die Periodenänderung war, die ursprünglich zur Entdeckung des Blashko-Effekts führte, ist es in den meis-

ten Fällen doch die Änderung der Amplitude, die als erstes ins Auge sticht. Eine besonders extreme Modulation weist der Stern UV Octantis auf, der einen der Schwerpunkte des Wiener Blashko-Projekts bildet (Abb. 3).

Alte und neue Methoden

Jahrzehntlang war die gängigste Methode, Periodenänderungen zu untersuchen, die so genannte O-minus-C-Analyse. Dafür benötigt man keinen Computer – eine genaue Zeitmessung der Helligkeitsmaxima und Kopfrechnen genügen. Hat ein Forscher mehrere Maxima gemessen, kann er daraus die Schwingungsperiode bestimmen und die Zeitpunkte der nächsten Maxima vorhersagen. Dieser berechnete Wert wird mit C (für *Calculated*) bezeichnet.

Den gemessenen, wahren Wert desselben Maximums nennt man O (für *Observed*), und O-C ist demnach die Abweichung der Berechnung von der Realität und kann dazu benutzt werden, Systematiken zu finden. So deutet ein ständig steigender O-C-Wert auf eine zu kurze Periode hin, da der gemessene Wert O systematisch größer als der berechnete Wert C ist und O-C daher mit jeder Schwingung wächst. Umgekehrt ist eine abfallende Kurve ein Zeichen für eine zu lange angenommene Periode. Phasenänderungen wie sie beim Blashko-Effekt auftreten, zeigen sich als Schwankungen in der O-C-Kurve.

Auch die Lichtkurve von RRab-Lyrae-Sternen ist asymmetrisch. Bevor die Helligkeit ihr Minimum erreicht, ist gelegentlich ein Buckel (engl. *bump*) zu sehen. Manche Sterne dieses Typs weisen in der Mitte des aufsteigenden Astes einen kurzzeitigen Stillstand (engl. *hump*) auf.

Für diese Methode wurden jahre- und jahrzehntlang Messungen fast nur während des aufsteigenden Astes der Lichtkurve durchgeführt und nach Erreichen des Helligkeitsmaximums abgebrochen. Leider führt das dazu, dass all diese an

IN KÜRZE

■ RR Lyrae-Sterne sind veränderliche Sterne, bei denen sich die Leuchtkraft, die Oberflächentemperatur und die Spektralklasse durch Pulsieren der äußeren Schichten periodisch verändern. In manchen von ihnen sind die Amplitude und die Periode der Lichtkurve wiederum periodisch veränderlich. Dieses Phänomen hat Sergei N. Blashko als Erster beobachtet.

■ Der Blashko-Effekt ist darauf zurückzuführen, dass der Grundperiode der Pulsation Schwingungen mit wesentlich größerer Periode, aber geringerer Amplitude überlagert sind.

■ Die Entstehung dieser zusätzlichen Schwingungen ist weitgehend ungeklärt. Ursache könnten Resonanzeffekte bei nicht-radialer Pulsation sein. Im Modell des schiefen Rotators liegen Magnetfeldachse und Rotationsachse der Sterne nicht parallel zueinander, sodass der Effekt nur durch die Beobachtungsgeometrie verursacht würde.

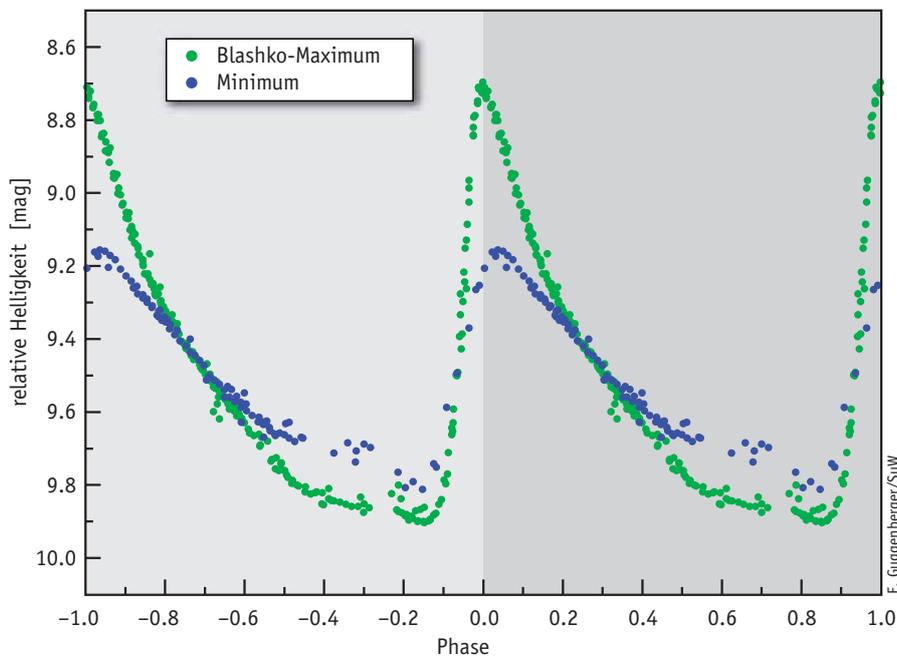


Abb. 3: Mit der Periodenänderung geht oft eine Änderung der Amplitude einher. Der Stern UV Octantis zum Beispiel zeigt während des Blashko-Maximums, also während der maximalen Schwingungsdauer, eine große Veränderung der Helligkeit, während des Blashko-Minimums hingegen eine weit geringere Amplitude.

Wie sieht die mysteriöse nichtradiale Schwingung aus?

Entsprechend ihrer Geometrie werden nichtradiale Pulsationen durch unterschiedliche Quantenzahlen beschrieben. Der harmonische Grad l gibt dabei die Gesamtzahl der Knotenlinien wieder, die azimutale Ordnung m sagt uns, wie viele dieser Knotenlinien durch die Pole verlaufen. (Weitere Details sind im Artikel »Neue Blicke in das Innere der Sonne« in SuW 8/2004, S. 24, zu finden.) Bei der bereits erwähnten radialen Pulsation der RR-Lyrae-Sterne sind sowohl l als auch m gleich null, da es bei rein radialer Pulsation keine Knotenlinien gibt. Die Schwingungsmode, die im Fourierspektrum unmittelbar neben der Hauptfrequenz zu sehen ist, ist aber mit großer Wahrscheinlichkeit eine nichtradiale Mode. Eine Kenntnis ihrer Geometrie, also ihrer Quantenzahlen, wäre von großem Interesse, da sie Rückschlüsse auf die innere Struktur des Sterns ermöglichen würde. Es gilt also, die Mode zu identifizieren! Dazu sind für andere veränderliche Sterne bereits Methoden entwickelt worden.

Eine davon funktioniert über Mehrfarbenphotometrie. Dabei wird die Helligkeit des Sterns über einen möglichst langen Zeitraum durch mehrere Filter gemessen. Die Amplituden und Phasen der Schwingung sind je nach Farbe ein wenig anders, und man kann aus dem Verhältnis der Amplituden und der Differenz der Phasen auf die Geometrie der Schwingung schließen.

Dazu benötigt man allerdings präzise Sternmodelle. Solche wurden bereits für andere Pulsationsveränderliche wie zum Beispiel δ -Scuti-Sterne entwickelt und erfolgreich angewendet. Für RR-Lyrae-Sterne fehlen diese Berechnungen aber noch – ihr extrem nichtlineares Verhalten hat das Erstellen eines solchen Modells bis jetzt fast unmöglich erscheinen lassen. Zudem galten RR-Lyrae-Sterne lange Zeit als rein radiale Pulsatoren, die Entwicklung einer photometrischen Methode zur Modenidentifikation schien daher nicht nötig.

Aufgrund der neuen Erkenntnisse, durch ein tieferes Verständnis der Vorgänge in Sternen, und nicht zuletzt durch bessere Computer ist die Entwicklung

sich wertvollen alten Daten nicht für moderne Analysen genutzt werden können, denn die heutige Methode der Wahl ist die Fourieranalyse kombiniert mit einem Fit an die Daten.

Dazu benötigt man Daten, die idealerweise die gesamte Lichtkurve abdecken sollten. Bei der Fourieranalyse wird dann die Lichtkurve des Sterns als Summe mehrerer Sinusschwingungen beschrieben, und die Ergebnisse werden im Fourierspektrum dargestellt, das heißt, die Amplitude wird gegen die Frequenz aufgetragen.

Im Falle eines RR-Lyrae-Sterns erhält man dabei als Schwingung mit der höchsten Amplitude die offensichtliche Periode von etwa einem halben Tag, zusätzlich aber auch – da es sich um eine höchst asymmetrische Lichtkurve handelt – ganzzahlige Vielfache derselben. Diese so genannten Harmonischen deformieren die Sinusschwingung der Hauptperiode zu der beobachteten Sägezahnform. Ist ein Blashko-Effekt vorhanden, so findet sich unmittelbar neben der Hauptfrequenz ein weiteres Signal mit kleiner Amplitude (siehe Abb. 5 für ein Fourierspektrum). In vielen Fällen sind diese Nebenspitzen beiderseits der Hauptfrequenz zu sehen.

Bei dieser weiteren Frequenz neben der Grundschwingung könnte es sich um eine nichtradiale Schwingung handeln, die durch Schwebung mit der Hauptfrequenz zu der beobachteten Modulation der Lichtkurve führt. Andererseits erscheint an dieser Stelle aus mathematischen Gründen fast zwangsläufig eine Spitze, wenn man eine Lichtkurve analysiert, deren Amplitude sich ändert. Das wäre auch der Fall, wenn nicht eine Schwebung, sondern ein anderer Effekt

zu der veränderlichen Amplitude führt. Dann wäre das Signal neben der Hauptfrequenz ein mathematisches Artefakt und nicht im Stern zu finden. Allein aus dem Vorhandensein dieses Signals lassen sich also noch keine Schlüsse über den Stern ziehen.

Ein weiteres Rätsel sind die Spitzen links von der Hauptfrequenz und vor allem deren Amplitude (Abb. 5). Typischerweise sind sie deutlich kleiner als ihre Gegenstücke auf der rechten Seite der Hauptfrequenz.

Eine Erklärungsmöglichkeit dafür beschreibt die Kombinationsfrequenz-Hypothese. Das Phänomen der Kombinationsfrequenzen kennt man aus vielen pulsierenden Sternen: Zwei Frequenzen interagieren, und im Fourierspektrum findet sich auch ein Signal bei ihren Linearkombinationen. Beispielsweise findet sich auch ihre Summe, ihre Differenz oder eine Kombination mit ihren Vielfachen. Diese Kombination hat dann immer eine kleinere Amplitude als die Schwingungen, die für sie verantwortlich zeichnen.

Die beobachteten Spitzen im Fourierspektrum eines RR-Lyrae-Sterns ließen sich mit dieser Methode folgendermaßen erklären: Wenn wir die Grundschwingung als f_1 bezeichnen, ihre Vielfachen als $2f_1$, $3f_1$ und so weiter, und die nichtradiale Schwingung unmittelbar neben f_1 als f_B , dann könnte man die linke Nebenspitze der Hauptfrequenz als $2f_1 - f_B$ beschreiben, den rechts neben $2f_1$ als $f_1 + f_B$, den links neben $2f_1$ als $3f_1 - f_B$ und so weiter. Auch bezüglich der Amplituden könnte das einiges erklären, denn die Amplituden der Kombinationsfrequenzen sind erwartungsgemäß kleiner als die der anderen Schwingungen.

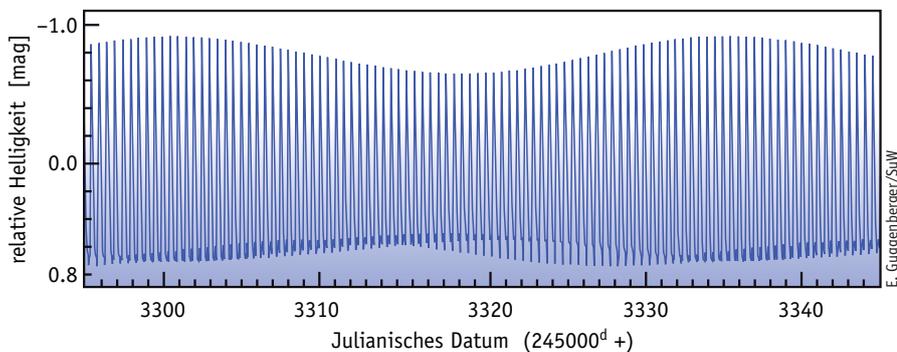


Abb. 4: Über mehrere Tage hinweg äußert sich die Amplitudenänderung als Schwebung, die der Lichtkurve aufgeprägt ist.

einer solchen Methode heute nicht nur wichtig, sondern auch machbar geworden. Man darf also hoffen, dass es in näherer Zukunft Ansätze geben wird, auf diese Weise der Lösung des Blashko-Effekts näher zu kommen.

Eine weitere wichtige Methode der Modenidentifikation, die Linienprofilanalyse, funktioniert nicht über Photometrie, sondern über den anderen wichtigen Zweig der Beobachtung: die Spektroskopie. Dabei wird das Licht des Sterns wie ein Regenbogen aufgefächert, und dunkle Linien werden sichtbar, bei deren Wellenlänge die Sternatmosphäre Licht absorbiert hat. Bei genauerer Betrachtung sind diese Linien nicht so dünn und scharf, wie sie auf den ersten Blick scheinen, sondern unterschiedliche Effekte wie zum Beispiel die Rotation des Sterns haben sie verbreitert.

Diese Spektrallinien und vor allem ihre Form können eine wahre Fundgrube für Informationen über den Stern sein. Ihr Studium lohnt sich also. Während der radialen Pulsation des Sterns bewegt sich seine Oberfläche auf uns zu und von uns weg. Das äußert sich in einer seitlichen Verschiebung der Spektrallinien durch den Dopplereffekt (Abb. 7). Auch auf die-

se Weise lässt sich die Schwingungsperiode eines Sterns bestimmen.

Interessant für die Identifikation der Schwingungsgeometrie sind aber kleine Strukturen in der Form der Linie und ihre zeitliche Entwicklung. So wandern zum Beispiel kleine Buckel durch das Linienprofil, die auf nichtradiale Schwingungen hinweisen. Durch ihre genaue Analyse kann man auf die Bewegung der Sternoberfläche zurückschließen und die Quantenzahlen der Schwingung finden. Dies ist zurzeit die Methode der Wahl, um die Natur der mysteriösen Nebenspitzen im Fourierspektrum zu entschlüsseln.

Wer hat ihn, wer hat ihn nicht? Versuch einer Phänomenologie

Um dem Grund für die Modulation auf die Schliche zu kommen, stellt sich gleich zu Beginn die Frage, in welchen Sternen oder Sternsystemen der Blashko-Effekt zu sehen ist und in welchen nicht. Deutliche Unterschiede werden zum Beispiel zwischen Sternen des Milchstraßensystems und denen in der Großen Magellanschen Wolke gefunden. So sind im Kern unserer Galaxis etwa 23 Prozent der RRab-Sterne betroffen, während in der Großen Magellanschen Wolke nur etwa

14 Prozent eine Schwankung ihrer Amplitude zeigen. Wiederum völlig anders zeigt sich der Kugelsternhaufen M3 mit 32 Prozent modulierten RRab-Sternen. Könnte es also vom Gehalt an schweren Elementen, der Metallizität der Sterne abhängen, ob es zu einem Blashko-Effekt kommt oder nicht?

Markant ist auch der Unterschied zwischen Sternen unterschiedlicher Bailey-Typen. Während RRab-Sterne die oben genannten Häufigkeiten des Blashko-Effekts aufweisen, zeigen RRc-Sterne ihn nur in etwa fünf Prozent der Fälle. Ist es hier die unterschiedliche Temperatur, die zu dem anderen Verhalten führt? Oder ist es die Tatsache, dass RRc-Sterne im ersten Oberton schwingen? Oder handelt es sich um einen beobachtungstechnischen Auswahleffekt, da die kleinen Amplitudenänderungen bei den sinusförmigen Kurven der RRc-Sterne leichter zu übersehen sind?

Zudem stellt sich die Frage, ob die genannten Prozentwerte vielleicht nur Untergrenzen darstellen, denn ein Blashko-Effekt kann auch sehr schwach ausgeprägt sein. Die Amplitude könnte sich auch nur sehr wenig ändern, sodass die genauesten vorhandenen Messungen nicht ausreichen, um die Änderungen nachzuweisen – und gerade RR-Lyrae-Sterne mit ihren überwältigenden Amplituden verlocken dazu, auf gute Genauigkeit zu verzichten! Vielleicht gibt es also noch eine viel größere Anzahl von Sternen mit modulierten Amplituden, und der Übergang zwischen Sternen mit und ohne Blashko-Effekt wäre fließend. So gesehen müsste die Frage nicht lauten: Wann kommt es zu einem Blashko-Effekt und wann nicht, sondern vielmehr: Welche Faktoren beeinflussen seine Stärke?

Natürlich wurde auch bereits nach einem möglichen Zusammenhang zwischen der Blashko-Periode und der Periode der Pulsation gesucht. Es konnte

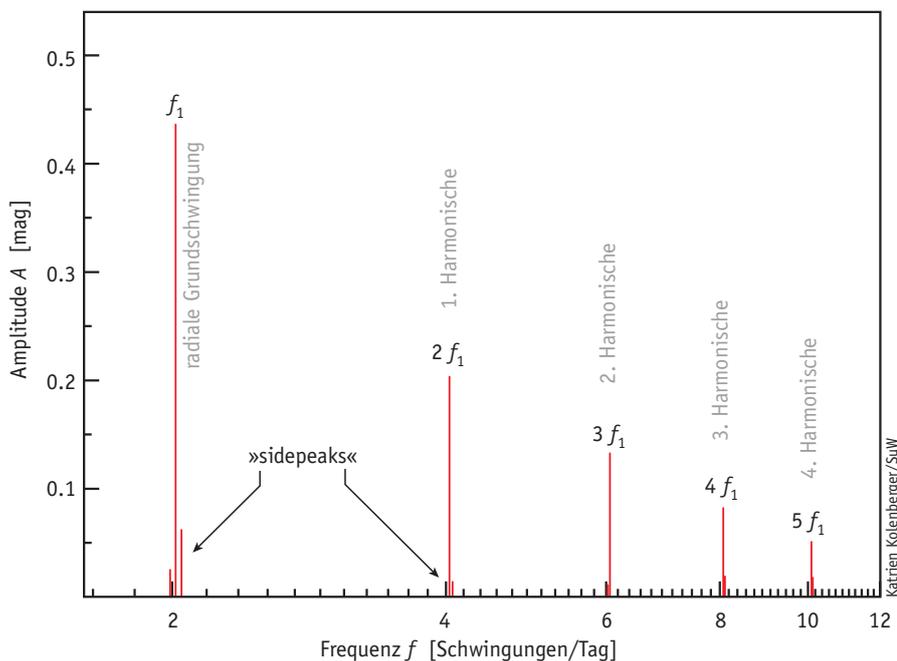


Abb. 5: Das Fourierspektrum eines typischen RRab-Lyrae-Sterns mit Blashko-Effekt enthält mehrere Spitzen: die Grundschwingung bei etwa zwei Schwingungen pro Tag, die ganzzahligen Vielfachen der Grundschwingung, welche die Form der Lichtkurve beschreiben, sowie mehrere Nebenspitzen unmittelbar neben den dominanten Frequenzen. Um die Grundschwingung bilden sie eine Triplet-Struktur.

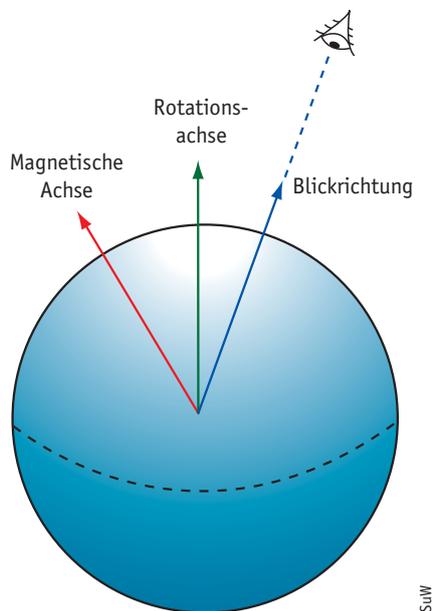


Abb. 6: Im Modell des schiefen Pulsators wird angenommen, dass die Achse des stellaren Magnetfelds (rot) nicht mit der Rotationsachse des Sterns (grün) zusammenfällt. Enthält nun die Schwingung des Sterns eine nichtradiale Komponente, die zur Magnetfeldachse symmetrisch ist, ändert sich mit der Rotation des Sterns der Blickwinkel auf diese Achse und somit die Stärke der wahrgenommenen nichtradialen Komponente. Der Blashko-Effekt wäre dann auf die Beobachtungsgeometrie, nicht auf Vorgänge im Stern zurückzuführen.

aber lange keine Korrelation festgestellt werden. Erst vor Kurzem zeigten neue ungarische Studien mit einer großen Menge von Daten zumindest einen Zusammenhang zwischen dem möglichen Bereich der Modulationsperiode und der Grundschwingung. Bei langperiodischen Sternen scheint es nur lange Modulationsperioden zu geben, während bei kurzperiodischen Sternen sowohl lange als auch kurze Blashko-Perioden vorkommen. Ab und zu treten auch plötzliche Änderungen der Grundperiode auf, die zu schnell verlaufen, um ihren Ursprung in der Entwicklung des Sterns zu haben. Die Ursache dafür ist ungeklärt.

Auch weitere überlagerte Zyklen, teils mit Zeitskalen von Jahren, konnte man in manchen Blashko-Sternen feststellen. Sogar der Prototyp, der Stern RR Lyrae, zeigt eine solche periodische Änderung des Blashko-Phänomens. Die Periode dieser Änderung beträgt etwa vier Jahre und verändert die Stärke des Blashko-Effekts. In einigen seltenen Fällen konnte auch beobachtet werden, dass ein Blashko-Effekt einfach verschwand.

Bisher haben wir festgestellt, dass der Blashko-Effekt die Größe der Amplitude verändert, aber nie gefragt, ob es sich dabei um eine Verstärkung oder eine Abschwächung handelt. Um dies herauszufinden, wurden Diagramme erstellt, welche die Amplitude von nicht modulierten RR Lyrae-Sternen ihrer Pulsationsperiode gegenüberstellten. Trägt man nun Blashko-Sterne in dieses Diagramm ein, so tut man dies mit zwei Punkten: einen für die maximale und einen für die minimale Amplitude. Nun sieht man, dass der modulierte Stern sich am ehesten dann in die Kurve der »normalen« Sterne einfügt, wenn er sich im Blashko-Maximum befindet, also seine größte Helligkeit erreicht. Es scheint sich beim Blashko-Effekt also um ein abschwächendes Phänomen zu handeln.

Magnetfelder und Resonanzen: die Erklärungsversuche

Unterschiedliche Szenarien versuchen eine Erklärung für den Blashko-Effekt zu liefern. Dabei sollten alle oben genannten Eigenschaften des Phänomens berücksichtigt werden – eine Aufgabe, die bis dato nicht vollständig gelungen ist. Zurzeit teilen sich die Modelle der Theoretiker in zwei unterschiedliche Gruppen: Die magnetischen Modelle sehen die Ursache des Phänomens in starken Magnetfeldern im Stern, den anderen zufolge handelt es sich beim Blashko-Effekt um eine Resonanz zwischen zwei oder mehreren Schwingungsmoden. Das könnte zum Beispiel zwischen der Grundschwingung und dem dritten Oberton, oder zwischen Grundschwingung und einer nicht-radialen Schwingung geschehen.

Das bekannteste der magnetischen Modelle ist das des so genannten schiefen Pulsators, das Hiromoto Shibahashi und Masao Takata von der Universität Tokio entwickelten. Hierbei wird angenommen, dass RR-Lyrae-Sterne ein ausreichend starkes Magnetfeld aufweisen, dessen Symmetrieachse zur Rotationsachse des Sterns geneigt ist (Abb. 6). Dadurch wird die an sich radiale Schwingung deformiert und erhält eine nicht radiale Quadrupol-Komponente. Diese besitzt dieselbe Symmetrieachse wie das Magnetfeld. Durch die Rotation des Sterns ändert sich unser Blickwinkel auf diese nichtradiale Komponente, und es scheint sich das Pulsationsverhalten des Sterns periodisch zu ändern. Der Blashko-Effekt wäre in diesem Fall eine reine »Ansichtssache«, sozusagen eine Konsequenz unseres veränderlichen Blickwinkels, und keine tatsächliche Änderung im Schwingungsverhalten des Sterns.

Für das Fourierspektrum sagen die Forscher im Falle des schiefen Pulsators eine Quintuplet-Struktur voraus, also ein Gebilde aus fünf Frequenzen im Fou-

rierspektrum: die Hauptschwingung und links und rechts je zwei weitere Spitzen. Beobachtet werden in der Realität aber nur Triplets, also Strukturen mit drei Bestandteilen. Das ist aber nicht das Hauptproblem des Modells, denn man könnte argumentieren, dass die äußersten Frequenzen wegen geringer Amplituden im Rauschen der Daten untergehen. Vielmehr ist es das Vorhandensein der Magnetfelder, um das eine Kontroverse entbrannt ist.

Verschiedene Messungen des Magnetfelds ein- und desselben Sterns ergaben nämlich völlig unterschiedliche Ergebnisse, und nur die extremsten Messwerte erreichten die erforderliche Stärke von einem Kilogauss, die notwendig wäre, um die radiale Schwingung eines RR-Lyrae-Sterns ausreichend zu deformieren. Diese Messungen konnten aber bei nachfolgenden Untersuchungen nicht bestätigt werden, und die Frage nach dem Vorhandensein von Magnetfeldern in RR-Lyrae-Sternen bleibt strittig.

Außerdem ist im Modell des »schiefen Pulsators« die Blashko-Periode untrennbar mit der Rotationsperiode des Sterns verbunden. Und das ist problematisch, denn erst unlängst wies das Forscherteam um Kolenberg nach, dass sich die Blashko-Periode von RR Lyrae, dem hellsten Prototypen der Blashko-Sterne, signifikant von 40,8 auf 38,8 Tage verkürzt hat. Und es ist mit großer Sicherheit auszuschließen, dass irgendein Effekt die Rotation eines Sterns derart abbremsen kann.

Doch auch die Resonanzmodelle haben ihre Probleme. So sagen sie zum Beispiel stets gleich hohe Signaturen im Fou-

Literaturhinweise

Katrien Kolenberg et al.: The Blashko effect of RR Lyrae in 2003–2004, *A&A* 459, 577 (2006)

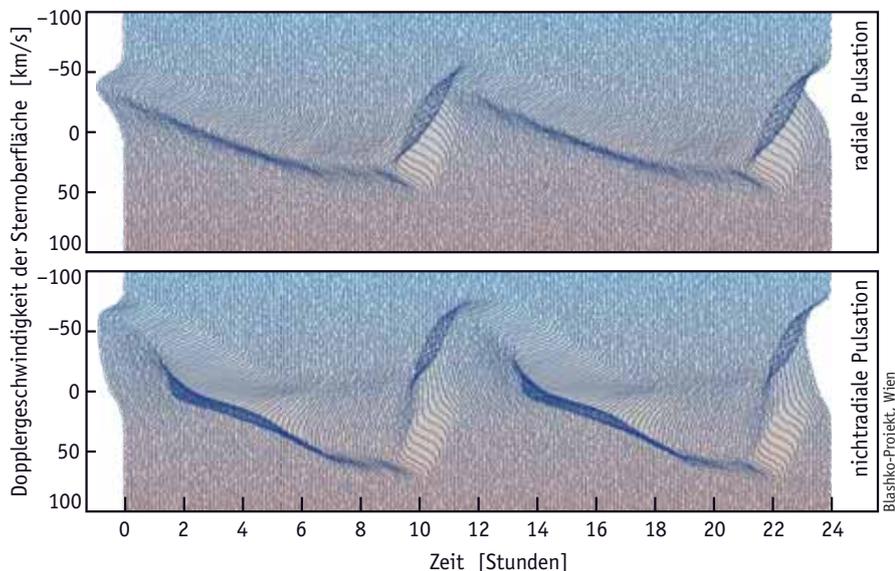
Horace A. Smith: Blashko effect and double mode RR Lyrae stars, *Mem. S. A. It.* 77, 492 (2006)

Michel Breger und Katrien Kolenberg: Equidistant frequency triplets in pulsating stars: the combination mode hypothesis, *A&A* 460, 167 (2006)

J. Jurcsik et al.: On the distribution of the modulation frequencies of RR Lyrae stars, *Acta Astronomica* 55, 303 (2005)

Katrien Kolenberg: The Blashko effect: facts, figures and future work, *Communications in Asteroseismology* 145, 16 (2004)

Weblinks zu diesem Thema finden Sie unter www.suw-online.de/artikel/875313



◀ Abb. 7: In einer Simulation lässt sich die zeitliche Entwicklung einer Spektrallinie verdeutlichen. Oben ist eine rein radiale Pulsation abgebildet. Im Laufe der Zeit (von links nach rechts) ändert die Linie durch den Dopplereffekt ihre Position, ihre Form bleibt dabei aber weitgehend erhalten. Unten ist der radialen eine kleine nichtradiale Schwingung überlagert, die Linie ist stark deformiert, und ihre Form ändert sich mit der Zeit.

rierspektrum voraus. In den realen Daten hingegen ist stets eine der beiden Nebenspitzen deutlich höher als die andere – in etwa drei Viertel aller Fälle ist es die rechte. Es ist rätselhaft, welcher Effekt zu der Ungleichheit der Spitzen führen könnte, nur die bereits erwähnte Hypothese der Kombinationsfrequenzen liefert eine plausible Erklärung.

Ein weiterer wichtiger Unterschied zwischen den Modellen – und somit eine Möglichkeit, das falsche auszuschließen und das richtige zu wählen – ist die Geometrie der nichtradialen Schwingung, die sie für den Stern vorhersagen. Die magnetischen Modelle verlangen einen harmonischen Grad $l=2$, während in den Resonanzmodellen eine Schwingung mit $l=1$ bevorzugt wäre. Jetzt liegt es an den Beobachtern, mit Hilfe der oben beschriebenen Methoden die Geometrie der Schwingungsmode zu identifizieren und dadurch zu erkennen, welches der beiden Modelle das richtige zur Beschreibung des Blashko-Effekts ist.

Anderer Stern, gleicher Effekt?

Lange Zeit bezog sich der Begriff des Blashko-Effekts ausschließlich auf RR-Lyrae-Sterne. Doch auch in völlig anderen Sorten von veränderlichen Sternen sind mittlerweile periodische Änderungen der Amplituden oder Perioden festgestellt worden. Diese Sterne können von RR-Lyrae-Sternen sehr verschieden sein, handelt es sich doch zum Beispiel um Weiße Zwerge, Veränderliche vom Typ δ Scuti oder Cepheiden. Die Frage drängt sich auf, ob denn der dahinter verborgene Mechanismus derselbe wie bei den RR-Lyrae-Sternen sein könnte. Würde es sich bei diesen ähnlichen Phänomenen in anderen Sternen tatsächlich um denselben Effekt handeln, so könnte man wertvolle Schlussfolgerungen über die Natur des Effekts ziehen, etwa über seine Ab-

hängigkeit von der Temperatur, der Metallizität und anderen Eigenschaften der Sterne. Obwohl diese Frage noch ungeklärt ist, hat es sich mittlerweile eingebürgert, auch bei anderen Sternen von einem Blashko-Effekt zu sprechen.

Da wäre zum Beispiel der Cepheide HR 7308, der eine Modulationsperiode von 1200 Tagen aufweist und in den 1980er Jahren intensiv untersucht wurde. Die Ursache für seine Amplitudenvariationen konnte nie gefunden werden. In der Gruppe der δ -Scuti-Sterne ist der Stern 4 Canum Venaticorum ein beeindruckendes Beispiel für Amplitudenveränderungen. Vergleicht man aktuelle Messungen dieses Sterns mit Archivdaten, so glaubt man, einen völlig anderen Stern vor sich zu haben. Von den vielen Frequenzen, mit denen er schwingt, sind gleich mehrere in ihrer Amplitude veränderlich, und das teilweise so stark, dass die Amplituden in manchen Jahren bis an die Grenze der Detektierbarkeit abfallen. Für den Stern BI Canis Minoris – ebenfalls vom Typ δ Scuti – konnte gezeigt werden, dass es eine Schwebung zweier nichtradialer Frequenzen ist, welche die beobachtete Variation der Amplituden hervorruft.

In den RR-Lyrae-Sternen jedenfalls ist alles offen. Sind überhaupt nichtradiale Schwingungen vorhanden? Ist es eine Schwebung, welche die Modulation verursacht, oder ist es ein ganz anderer Mechanismus? Alles ist möglich: Magnetfelder, der Einfluss der Konvektion, Resonanzen, Stoßwellen, die durch die Sternatmosphäre laufen, all das könnte für den Blashko-Effekt verantwortlich sein.

Viel ist in den vergangenen 100 Jahren geschehen. Zur Zeit der Entdeckung des Blashko-Effekts wusste man noch nicht, dass der Lichtwechsel der RR-Lyrae-Sterne auf eine Pulsation zurückzuführen ist. Heute hingegen werden ausgefeilte Modelle gerechnet, um die Vorgänge im In-

neren der Sterne zu beschreiben, und die Lösung des Blashko-Rätsels scheint nun endlich in greifbare Nähe gerückt.

In Kooperation mit etwa 40 Forschern aus 19 verschiedenen Nationen versucht man derzeit im Wiener Blashko-Projekt dem Phänomen auf die Schliche zu kommen. Dabei wurden bis jetzt knapp sechshundert Stunden an hochpräzisen photometrischen Messungen gesammelt und analysiert, und vom Prototypen RR-Lyrae wurden an sieben verschiedenen Teleskopen weltweit hochaufgelöste Spektren aufgenommen.

In einem nächsten Schritt sollen Methoden zur Modenidentifikation entwickelt und das Innenleben der Sterne modelliert werden. Forscher, aber auch Amateurastronomen sind herzlich eingeladen, an dieser groß angelegten Jagd nach der Lösung des hundertjährigen Rätsels teilzunehmen.

Alles läuft dabei auf die Frage hinaus, die der gesamten Asteroseismologie zugrunde liegt: Was geht in diesen Sternen vor? Nur hochwertige Beobachtungen und ihre Konfrontation mit den Modellen werden uns der Wahrheit näher bringen. □



Elisabeth Guggenberger untersucht an der Universität Wien pulsierende Sterne, insbesondere mit photometrischen Methoden.



Katrien Kolenberg wechselte nach ihrer Promotion 2002 an der Katholischen Universität Löwen, Belgien, an das Institut für Astronomie der Universität

Wien, wo sie das im Herbst 2003 begründete internationale Blashko-Projekt leitet.