Chaos bei den Veränderlichen

Klaus Bernhard

Abstract: *This article is a summary about chaotic behaviour among variable stars. GSC 752-542 is a possible candidate for short period chaotic pulsations.*

Einleitung

Im BAV-Rundbrief sowie im BAV-Forum werden häufig Themen wie die Berechnung der Minima von Bedeckungssternen oder der Maxima von pulsierenden Veränderlichen diskutiert.

Daher habe ich mich gefragt, ob denn jede Lichtkurve eines Veränderlichen auf Grund vorhandener Beobachtungsdaten in die Zukunft extrapolierbar ist, oder ob es grundsätzliche Grenzen der Berechenbarkeit gibt, also die Helligkeit eines Sterns sich auch "irregulär" oder "zufällig" ändern kann.

Was ist der Zufall?

Laut Definition in Wikipedia handelt es sich beim Zufall um den Übergang aus einer Ausgangssituation, die mehrere Endsituationen ermöglicht, in genau eine dieser Endsituationen, wobei keine erkennbare Ursache für das Zustandekommen dieser einen Endsituation vorliegt. Bei wiederholtem Vorliegen derselben Ausgangssituation können auch die anderen Endsituationen eintreten.

Ein praktisches Beispiel für diese etwas sperrige Definition ist die aus dem Fernsehen bekannte "Lottomaschine", bei der die anfangs geordnet nebeneinander gereihten Lottokugeln durch einen Luftstrom herumgewirbelt werden. Nach einer gewissen Zeit bewegen sich die Kugeln nach vielen gegenseitigen Stößen völlig unvorhersehbar, und fallen daher "zufällig" in die Öffnung für die gezogenen Lottozahlen.

An dieser Stelle könnten Sie natürlich argumentieren, dass die Bewegung der Lottokugeln und somit letztendlich die gezogenen Zahlen grundsätzlich den bekannten physikalischen Gesetzen folgen. Es müsste daher im Prinzip möglich sein, die gezogenen Zahlen vorherzuberechnen, wenn die Massen der Lottokugeln, die genaue Geometrie der Lottomaschine und der Luftstrom nur unendlich genau bekannt sind.

Wie kommt der Zufall ins Universum?

Der Clou an der Sache ist, dass die Heisenberg`sche Unschärferelation aus der Quantenphysik eine absolute Grenze vorgibt, wie genau Ort und Impuls eines mikroskopischen Teilchen bestimmt werden können. Mit einer enormen Vergrößerung würde sozusagen jedes Teilchen "verschmiert" aussehen. Bei geeigneten Bedingungen, wie sie beispielsweise in der Lottomaschine herrschen, schaukeln sich dann geringste, grundsätzlich nicht mehr feststellbare Unterschiede in Ort und Geschwindigkeit von Teilchen auf, sodass letztendlich zufällige Ergebnisse auf makroskopischer Ebene entstehen. Derartige Systeme werden als chaotische oder nichtlineare Systeme genannt.

Ein in der öffentlichen Diskussion häufig genanntes analoges Beispiel für ein derartiges Phänomen ist der sogenannte Schmetterlingseffekt, wonach theoretisch der Flügelschlag eines Schmetterlings in Brasilien einen Tornado in Texas auslösen könnte.

Die Wege ins Chaos
Bei vielen makroskopischen Systemen können in Abhängigkeit von einem Kontrollparameter sowohl periodische wie auch chaotische Zustände vorherrschen. Dies soll am Beispiel eines tropfenden Wasserhahns erläutert werden, wobei der Parameter die Stellung des Wasserhahns ist.

Ist der Wasserhahn nur geringfügig geöffnet, das heißt ein geringer Wasserfluss vorhanden, fallen Tropfen regelmäßig z.B. alle 3 Sekunden vom Hahn herab, es macht also tropf - - - tropf - - -tropf - - - (wobei die Bindstriche die Zeitabstände zwischen den Tropfen symbolisieren). Wenn der Wasserfluss langsam erhöht wird, bleibt die Tropfenabfolge regelmäßig, aber die Periode wird kürzer.

Bei einer ganz bestimmten Hahnstellung tritt dann ein sehr interessantes Phänomen ein, nämlich dass die Taktabfolge der Tropfen zwei abwechselnde unterschiedliche Zeitdifferenzen aufweist: tropf - - tropf - tropf - - tropf - tropf usw.

Dieses Phänomen wird Bifurkation genannt. Bei noch größerem Wasserfluss fallen die Wassertropfen letztendlich völlig unvorhersagbar bzw. chaotisch ins Wasserbecken.

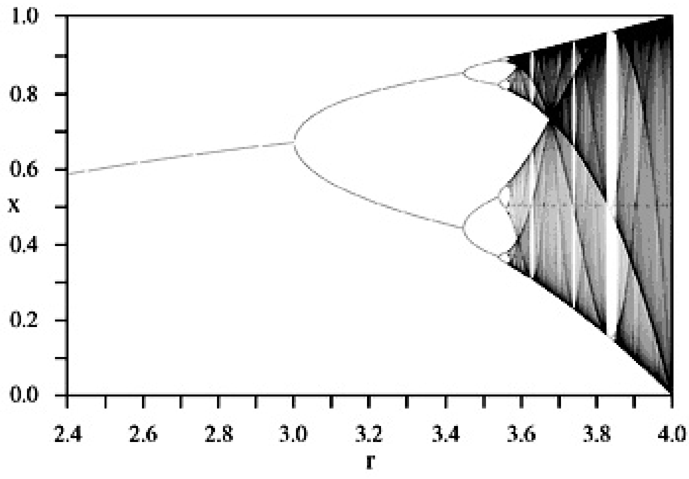

Abbildung 1: Bifurkationsdiagramm (entnommen aus Wikipedia).

In Abbildung 1 ist das Beispiel des tropfenden Wasserhahns als Bifurkationsdiagramm dargestellt. Dabei stellen die Häufungspunkte (y-Achse) ein Maß für den Zeitabstand zwischen zwei Wassertropfen dar, in Abhängigkeit vom Kontrollparameter r (=Wasserfluss). Eindeutig zu sehen ist, dass bei geringen Wasserflüssen (bis r ~ 3) die Tropfen in regelmäßigen Zeitabständen ins Becken fallen. Bei höheren Wasserflüssen kann eine Periodenverdopplung beobachtet werden (abwechselnde unterschiedliche Zeitabstände), die bei noch größeren Wasserflüssen (ab r > 3.6) völlig "irregulär", also chaotisch werden. In diesem Bereich kann trotz dem Bekanntsein aller Eigenschaften des Systems das Verhalten grundsätzlich nicht mehr vorher berechnet werden.

Sie können dies selbst an einem möglichst gut regelbaren Kaltwasserhahn (um nicht Energie zu verschwenden) einfach ausprobieren, wobei Sie den Wasserhahn in ganz kleinen Schritten weiter öffnen. Meine Familie hat sich nur gewundert, dass ich mich ausnahmsweise nicht mit Fernrohren, sondern mit Wasserhähnen beschäftigt habe.

Was hat dies mit den veränderlichen Sternen zu tun?

Besonders interessant ist nun, dass ähnlich wie beim zunehmenden Wasserfluss auch im Bereich der Veränderlichen bei zunehmender Leuchtkraft chaotische Phänomene zu beobachten sind (Kiss & Szatmary, 2002). Sterne mit großer Leuchtkraft bezogen auf die Masse sind insbesondere im Riesenstadium und Überriesenstadium zu finden. Dabei sind ähnlich wie beim Wassertropfenbeispiel alle Übergangsformen von (einigermaßen) regelmäßigen Pulsationen von vielen Mirasternen über halbregelmäßige Sterne bis hin zu völlig irregulären Pulsationen (irreguläre Veränderliche) zu finden.

Sogar die Bifurkation mit abwechselnden Zeitabständen der Wassertropfen hat ihre Entsprechung am Sternenhimmel, wie etwa am Stern R Cygni zu sehen ist (entnommen aus Kiss & Szatmary, 2002). Bei diesem Stern sind die Maxima abwechselnd stärker und weniger stark ausgeprägt.

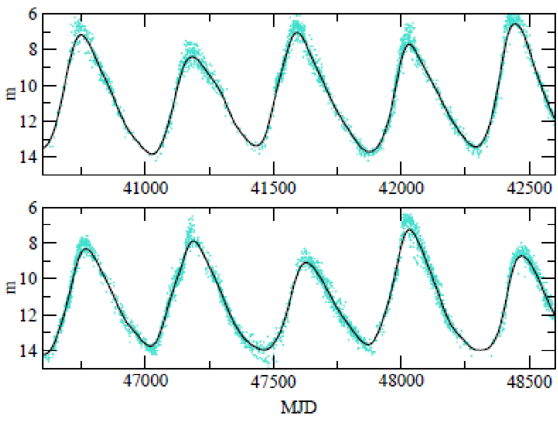

Abbildung 2: Bifurkation am Beispiel des Sterns R Cygni

Chaotische Phänomene treten neben diesen Beispielen auch bei vielen anderen Gruppen von veränderlichen Sternen auf, wie etwa bei dem Flickering von Akkretionsscheiben kataklysmischer Sterne sowie den irregulären Helligkeitsschwankungen mancher T-Tauri-Sterne. Auch die Lichtkurven von Fleckensternen (=chromosphärisch aktiven Sternen) scheinen längerfristig nicht vorhersagbar zu sein.

Daher ist es in diesem Zusammenhang nicht verwunderlich, dass die Fleckenaktivität unserer Sonne, an deren Prognose sich Generationen von Sonnenphysikern die Zähne ausgebissen haben, im Sinne von chaotischen Systemen ähnlich schwer vorhersagbar ist. Dies haben ganz neue Forschungen ergeben (Hanslmeier, Brajša, 2009). Im Gegenteil, es scheint sogar so zu sein, dass gebräuchliche Periodensuchprogramme bei "chaotischen" Lichtkurven Perioden ermitteln, die nicht real sind, sodass in solchen Fällen besondere Vorsicht bei der Interpretation geboten ist (Votruba et al., 2009).

Auch bei manchen kurzperiodisch pulsierenden Veränderlichen, wie SX-Phe-Sternen wurden chaotische Veränderungen der Lichtkurve vermutet (z.B. Ambika et.al., 2003).

5 Jahre nach der Veröffentlichung erscheint mir nunmehr auch der Fall des 2004 entdeckten Veränderlichen Brh V39 (=GSC 752-542, Bernhard et al., 2004) in einem neuen Licht. Neben einer klaren primären Periode von 0.71240 Tagen gibt es zweifellos weitere sekundäre Schwankungen, für die sich trotz aller Kunstgriffe keine weitere konsistente Periode finden ließ: Wahrscheinlich existiert keine weitere Periode und die sekundären Schwankungen sind irregulär. Um dies aber eindeutig abzuklären, wären weitere wesentlich detailliertere Untersuchungen durch Spezialisten in diesem Fach notwendig. Zu diesem Zweck wurden bereits eigene Softwarepakete entwickelt, wie TISEAN (http://www.mpipks-dresden.mpg.de/~tisean/).

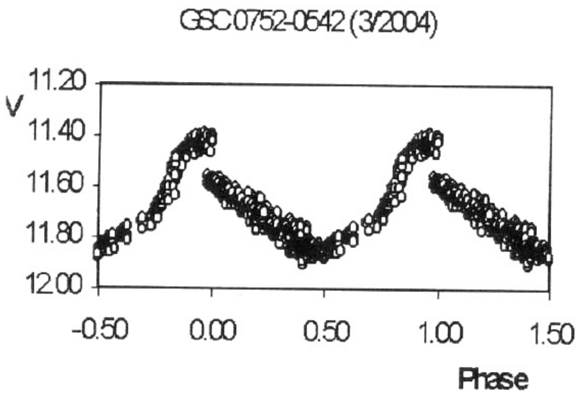

Abbildung 3: Gefaltete Lichtkurve von GSC 0752-0542 mit Daten vom März 2004

Fazit

Wie im täglichen Leben muss man sich damit abfinden, dass es auch im Rahmen der veränderlichen Sterne viele Vorgänge gibt, die nicht vorhersagbar und somit "irregulär" oder "chaotisch" sind.
Wenn Sie das nächste Mal bei Beobachtungsdaten eines Veränderlichen keine mögliche Periode finden, trösten Sie sich damit, dass es ja vielleicht gar keine gibt.

Referenzen:

Bernhard, K., Kiyota, S., Moschner W., 2004, BAV Mitteilung Nr. 153
http://www.bav-astro.de/sfs/mitteilungen/BAVM153.pdf

Hanslmeier, A. , Brajša, R. , 2009, The chaotic solar cycle: I. Analysis of cosmogenic 14C-data, Astronomy and Astrophysics, in press

Kiss, L.L., Szatmary, K., 2002
http://arxiv.org/PS_cache/astro-ph/pdf/0205/0205334v1.pdf

Votruba, V., Koubsky, P., Korcakova, D., Hroch, F., 2009, A&A 496, 1, 217-222
http://arxiv.org/abs/0902.2642

Ambika, G., Takeuti, M., Kembhavi, A.K., 2003, Indian Institute of Technology
http://www.cts.iitkgp.ernet.in/~ncnsd/cd_ncnsd/html/pdf/265-268.pdf

Dr. Klaus Bernhard
Kafkaweg 5
A-4030 Linz
E-mail: klaus.bernhard@liwest.at