

# Periode und Amplitude der Radialgeschwindigkeitsvariation des Cepheiden Polaris



© Roland Bücke

11. April 2006

Anna-von-Gierke-Ring 147, 21033 Hamburg, rb@buecke.de

## Zusammenfassung

Polaris ( $\alpha$  Ursae Minor) ist der hellste Cepheid mit einer Periode von 3,97 Tagen und einer sehr kleinen Radialgeschwindigkeitsamplitude von gegenwärtig etwa  $\pm 1$  km/s sowie einer photometrischen Variabilität von etwa 0,05 mag. Mit einer einfachen Amateurausrüstung gelang der Nachweis dieser schwachen Periodizität durch spektroskopische Messungen im Zeitraum von April 2005 bis Februar 2006. Die Ergebnisse bestätigen die Tendenz der Vergrößerung der Schwingungsamplitude seit den 1990er Jahren.

## 1. Einführung

Polaris ( $\alpha$  Ursae Minor) gehört nicht nur aufgrund seiner exponierten Position nahe des Himmelspols seit über 100 Jahren zu den photometrisch und spektroskopisch intensiv beobachteten Sternen. Als Cepheid und Mitglied eines Mehrfachsystems mit einer spektroskopischen Komponente zieht er durch seine ungewöhnlichen Eigenschaften nach wie vor die Aufmerksamkeit von Fachastronomen auf sich. Eine Vielzahl von Publikationen bis in die jüngste Vergangenheit belegt dies überzeugend.

Polaris ist der hellste und zugleich uns am nächsten stehende Cepheid. Die Variabilität seiner Helligkeit wurde schon in der Mitte des 19. Jahrhunderts registriert (Seidel 1852, Schmidt 1856). 1911 wies Hertzsprung eine photometrische Periodizität von 4 Tagen nach und bereits 1913 erfolgte durch Pannekoek die Identifikation als Cepheid. Die Helligkeitsvariation nahm seither stetig ab und hat gegenwärtig mit  $\Delta V_{\text{vis}} \approx 0.05$  mag die kleinste bekannte Amplitude eines Cepheiden. Die Radialgeschwindigkeitsvariation von Polaris beobachtete als erster Campbell (1899). Diese ist ebenfalls von 5 – 6 km/s in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts auf weniger als 2 km/s in den 1990er Jahren zusammengeschrumpft. Ferro (1983) und Dinshaw et. al. (1989) hielten sogar das gänzliche Verlassen der Instabilitätsphase mit der Einstellung der Pulsation für möglich. In den 1990er Jahren registrierte man

ein Verharren bei ca. 1.5 km/s und neueste Beobachtungen (Engle et. al. 2004) belegen die gegenläufige Tendenz einer langsamen Zunahme der photometrischen Schwingungsamplitude, die sicher mit einer Vergrößerung der Radialgeschwindigkeitsvariation korreliert.

Die in diesem Beitrag vorliegende Auswertung von Radialgeschwindigkeitsmessungen im Zeitraum von April 2005 bis Februar 2006 bestätigt diese Tendenz. Eine Anpassung an eine Sinusfunktion ergab folgende Ephemeriden: Radialgeschwindigkeitsminimum  $JD_{RV_{\text{min}}} = 2453484.82 \pm 0.04$ , Periode  $P = 3.9738 \pm 0.0009$  Tage, Amplitude (Peak-to-Peak)  $A = 1.87 \pm 0.06$  km/s.

## 2. Beobachtung

In der Zeit vom 21. April 2005 bis 05. Februar 2006 wurden 29 Radialgeschwindigkeiten (RV) gemessen (Tab. 1). Im Spektralbereich von 6050 bis 6600 Å (Abb. 1) wurden hierfür die Linienzentren von 6 Fe I-Linien (6065.494, 6191.571, 6230.736, 6393.612, 6400.009 und 6411.658 Å), 3 Ca I-Linien (6102.723, 6122.217 und 6162.173 Å) sowie von der  $H_{\alpha}$ -Linie bei 6562.808 Å durch die Anpassung einer Gaußfunktion bestimmt.

Jede RV ist durch Mittelwertbildung aus mehreren Einzelmessungen (Spalte 2, Tab. 1) errechnet worden. Die Wellenlängenkalibrierung erfolgte mit dem Spektrum einer Neon-Glimmlampe. Zur Reduzierung des Fehlers durch das thermisch bedingte Abdriften des Spektrums während der gesamten Beobachtungsdauer wurde jede Einzelaufnahme mit Neonspektren kalibriert, die jeweils vor und nach dieser aufgenommen wurden. Die Unsicherheit der RV-Werte (Spalte 4, Tab. 1) resultiert dann aus der Standardabweichung der  $n$  Einzelmessungen.

Zur Beobachtung stand ein Newton-Reflektor mit 20 cm Öffnung zur Verfügung. Die Ankopplung des Gitterspektrographen mit einer Auflösung von 1.9 Å an das Teleskop erfolgte mit einem 200 µm Lichtleiter (Bücke 2005).

JD 2453000+	n (-)	RV (km/s)	$\sigma/\sqrt{n}$ (km/s)	JD 2453000+	n (-)	RV (km/s)	$\sigma/\sqrt{n}$ (km/s)
482.41	9	-19.002	$\pm 0.240$	634.36	11	-20.234	$\pm 0.226$
484.38	9	-17.537	$\pm 0.265$	636.40	5	-18.340	$\pm 0.262$
485.37	8	-17.092	$\pm 0.296$	674.37	10	-19.776	$\pm 0.271$
503.40	11	-18.482	$\pm 0.231$	675.28	9	-18.730	$\pm 0.357$
518.45	18	-19.246	$\pm 0.165$	706.35	10	-18.440	$\pm 0.160$
519.42	11	-19.148	$\pm 0.260$	717.36	7	-19.964	$\pm 0.500$
612.47	8	-18.501	$\pm 0.195$	750.29	7	-19.250	$\pm 0.230$
613.37	10	-19.756	$\pm 0.155$	750.38	11	-18.293	$\pm 0.216$
613.46	8	-20.094	$\pm 0.242$	750.44	11	-18.182	$\pm 0.175$
614.37	10	-19.969	$\pm 0.234$	751.36	9	-18.426	$\pm 0.271$
617.36	11	-20.011	$\pm 0.220$	752.29	14	-19.320	$\pm 0.548$
619.39	9	-18.825	$\pm 0.287$	758.35	10	-18.417	$\pm 0.276$
627.34	14	-18.038	$\pm 0.211$	771.46	17	-18.159	$\pm 0.139$
630.34	8	-20.222	$\pm 0.130$	772.27	21	-18.960	$\pm 0.131$
631.33	9	-18.837	$\pm 0.177$				

Tabelle 1: Messwerte

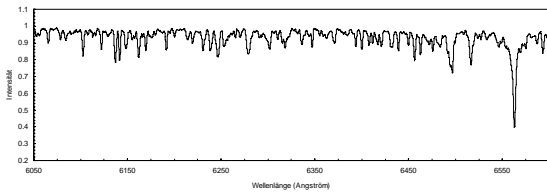


Abb. 1: Spektrum von Polaris

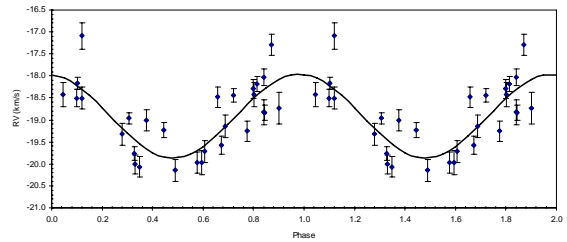


Abb. 3: Anpassung einer Sinusfunktion an die Messwerte

### 3. Datenanalyse

An die Messwerte (Abb. 2) wurde eine Sinusfunktion nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate angefitet (Abb. 3). Diese Anpassung ergab folgende Ephemeriden für die RV-Variation: RV-Minimum  $JD_{RVmin} = 2453484.80 \pm 0.067$ , Periode  $P = 3.9745 \pm 0.0013$  Tage, Amplitude (Peak-to-Peak)  $A = 1.90 \pm 0.09$  km/s. Eine Regression mit einem Polynom 3. Ordnung an den Residuen der RV-Werte zeigt deutlich eine stetige Veränderung der RV im Beobachtungszeitraum (Abb. 4).

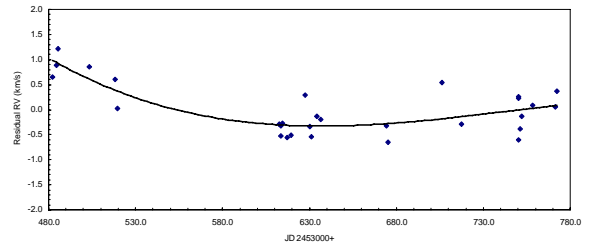


Abb. 4: Residuen der Sinusanpassung an die RV-Variation mit Regressionskurve

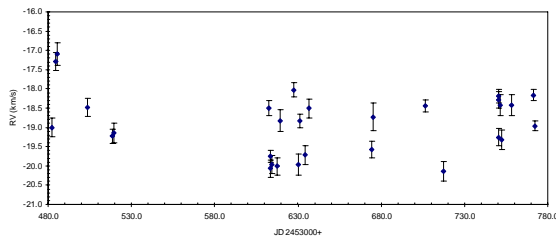


Abb. 2: Radialgeschwindigkeitsmessungen von Polaris

Die RV-Variation resultiert also aus einer Überlagerung einer sinusförmigen Pulsation mit einer Periode  $P \sim 3,97$  Tage und einer langfristigen Veränderung. Diese ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf einen systematischen Fehler, bedingt durch die Dopplerverschiebung aufgrund der Bewegung Erde um die Sonne, zurückzuführen und wurde aus den Messwerten eliminiert. Eine erneute Sinusanpassung ergibt die von diesem langfristigen Trend bereinigten Parameter der Pulsation (Abb. 5):

RV-Minimum  $JDRV_{\min} = 2453484.82 \pm 0.04$ , Periode  $P = 3.9738 \pm 0.0009$  Tage, Amplitude (Peak-to-Peak)  $A = 1.87 \pm 0.06$  km/s 1.

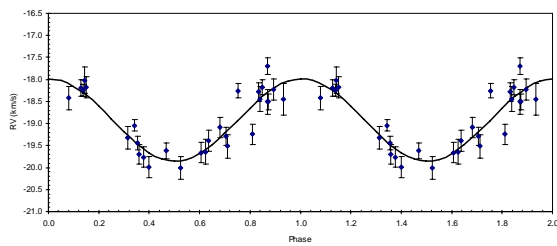


Abb. 5: Anpassung einer Sinusfunktion an die Messwerte nach Eliminierung des langfristigen Trends

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Cepheid Polaris

Die gemessene Periode von  $P = 3.9738 \pm 0.0009$  Tagen weicht nur wenig von der Periode ab, die von Hatzes & Cochran (2000) für 1993 mit  $3.9726769 \pm 0.00011$  Tagen angegeben werden. Dinshaw et. al. (1989) fanden eine weitere Periode von 45.3 Tagen und Hatzes & Cochran (2000) eine Periode von 40.2 Tagen. Diese Perioden konnten durch die vorliegenden Messungen nicht nachgewiesen werden. Hierzu ist die Unsicherheit der Messungen zu groß bzw. die Anzahl der Messwerte zu klein.

Aus der Amplitude der Schwingungen lässt sich am sichersten eine Aussage über die Veränderungen der RV-Variation seit den zuletzt veröffentlichten Werten von 1997 (Kamper & Fernie 1998) ableiten. Die gemessenen Werte seit Beginn der Beobachtungen sind in Abb. 6 dargestellt. Die sprunghaft gestiegene Genauigkeit von RV-Messungen seit Mitte der 1980er Jahre ist beachtenswert. Der gemessene Wert von  $1.87 \pm 0.06$  km/s reiht sich widerspruchsfrei in die bisherige zeitliche Entwicklung ein und zeigt eine Tendenz zu einer Vergrößerung der Schwingungsamplitude.

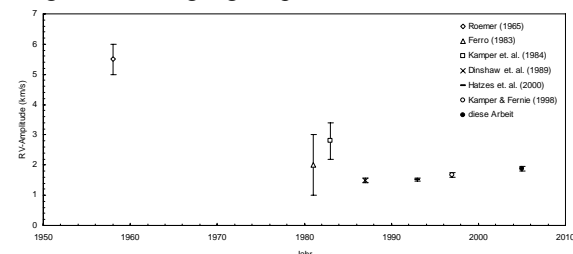


Abb. 6: RV-Amplitude von Polaris in der Zeit von 1958 bis 2005

<sup>1</sup> Die angegebenen Unsicherheiten sind die mittleren Fehler des Mittelwertes der Residuen in RV-Richtung für die Amplitude, in der Zeitachse für das RV-Minimum und in der Zeitachse dividiert durch die Zahl der Perioden im Beobachtungszeitraum für die Unsicherheit der Periode.

### 4.2 Spektroskopischer Doppelstern Polaris

Die Periode der spektroskopischen Komponente des Mehrfachsystems Polaris beträgt nach Dinshaw et. al. (1989)  $29.9 \pm 0.1$  Jahre. Die einzige Datenquelle, aus deren sich über mehr als eine Periode hinweg der RV-Verlauf lückenlos konstruieren lässt, sind die RV-Werte, die aus den 1180 Platten des Lick Observatoriums am 36-Zoll Refraktor von 1896 - 1958 ermittelt wurden (Roemer 1964)(Abb. 7).

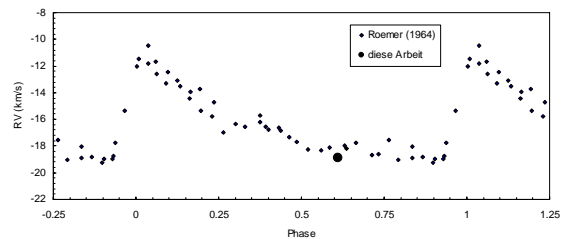


Abb 7: RV-Periode des spektroskopischen Doppelsterns Polaris

Die absolute mittlere RV dieser Arbeit passt sich in Anbetracht dessen, dass keine Kalibrierung an einem Standardstern vorgenommen wurde, gut in die Periode des spektroskopischen Doppelsterns ein.

## 5. Schlussbemerkung

Mit den in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnissen zeichnet sich neben dem systematischen Monitoring von Be-Sternen ein weiteres wissenschaftlich orientiertes Betätigungsfeld für Amateurspektroskopiker ab. Es zeigt sich, dass selbst mit kleinen Teleskopen mit den heutigen Aufnahme- und Analysetechniken eine Präzision bei der Radialgeschwindigkeitsmessung erreicht werden kann, die noch vor wenigen Jahren nur der professionellen Astronomie mit Großgeräten möglich war.

Herrn Dr. Thomas Eversberg danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskripts. Seine konstruktiven Vorschläge waren mir eine wertvolle Hilfe. Herrn Helmut Jahns von der Fachgruppe Computerastronomie des VdS danke ich für die Programmierung eines Windowsprogramms zur zuverlässigen Berechnung der Korrekturwerte zur Reduktion auf das heliozentrische Koordinatensystem.

## Referenzen

- Bücke, R. (2005), VdS-J., 16, 81.  
 Champbell, W. W. (1899), Astrophys. J. 10, 180.

Dinshaw, N., Matthews, J. M., Walker, G. A. H., Hill, G. M. (1989), *Astrophys. J.* 98, 2249.

Engle, S. G., Guinan, E. F., Koch, R. H. (2004), *American Astron. Soc. Meeting* 204.

Ferro, A. A. (1983), *Astrophys. J.* 274, 755.

Hatzes, A. P., Cochran, W. D. (2000), *Astron. J.* 120, 979.

Hertzsprung, R. (1911), *Astron. Nachr.* 189, 89.

Kamper, K. W. & Fernie, J. D. (1998), *Astrophys. J.* 116, 936.

Kamper, K. W., Evans, N. R., Lyons, R. W. (1984), *J. R. Astron. Soc. Can.* 78, 173

Pannekoek, A. (1913), *Königl. Akad. v. Wetenschappen, Amsterdam*, 15, 1192.

Roemer, E. (1964), *Astrophys. J.* 141, 1415.

Schmidt, J. F. (1856), *Astron. Nachr.* 46, 293.

Seidel, L. (1852), *Abh. d. II. Kl. d. königl. Akad. d. Wiss., München*, 6, 564.