

Periode und Amplitude der Radialgeschwindigkeitsvariation des Cepheiden Polaris

(v. Roland Bücke, Hamburg)

1. Einführung

Polaris (α Ursa 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 $\Delta V_{vis} \approx 0.05$ 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 zusammen geschrumpft. 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 Radialgeschwindigkeitvariation korreliert.

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

2. Beobachtung

In der Zeit vom 21. April 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 α -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 μ m Lichtleiter (Bücke 2005).

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

Tabelle 1: Messwerte

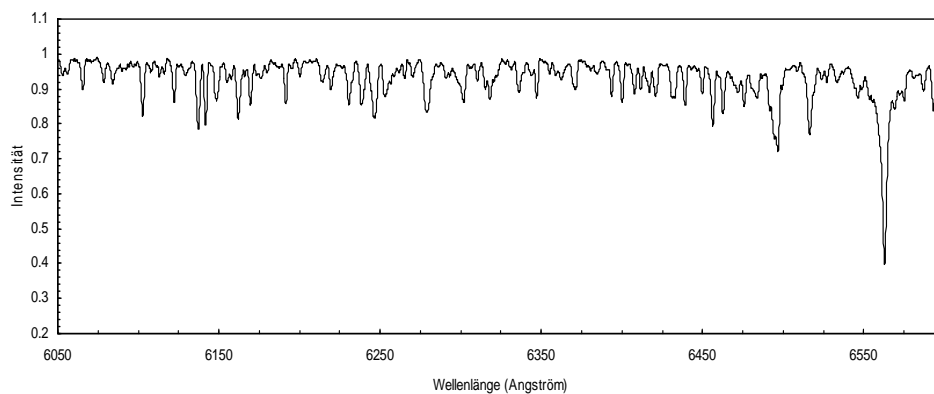


Abb. 1: Spektrum von Polaris

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 $JDRV_{\min} = 2453484.80 \pm 0.067$, Periode $P = 3.9745 \pm 0.0013$ Tage, Amplitude (Peak-to-Peak) $A = 1.90 \pm 0.09$ km/s. Eine lineare Regression an den Residuen der RV-Werte zeigt deutlich die Tendenz zur stetigen Abnahme der RV im Beobachtungszeitraum (Abb. 4).

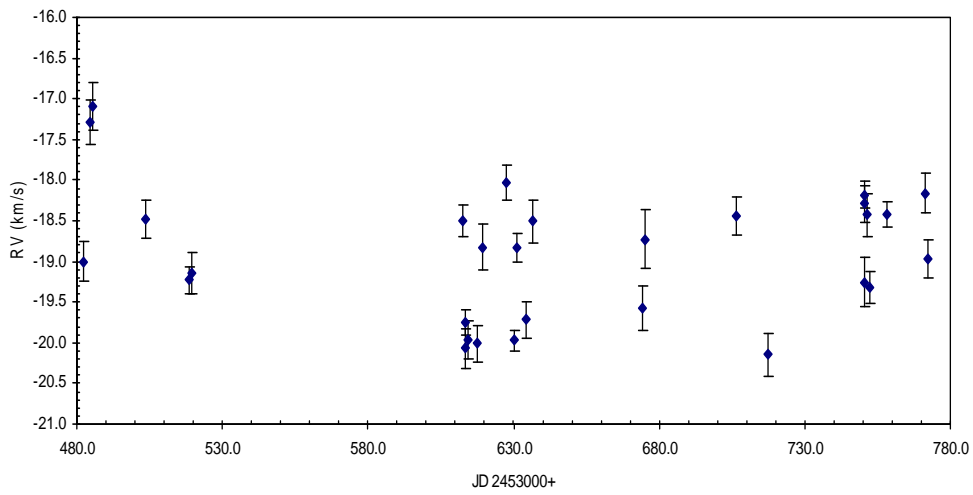


Abb. 2: Radialgeschwindigkeitsmesswerte von Polaris

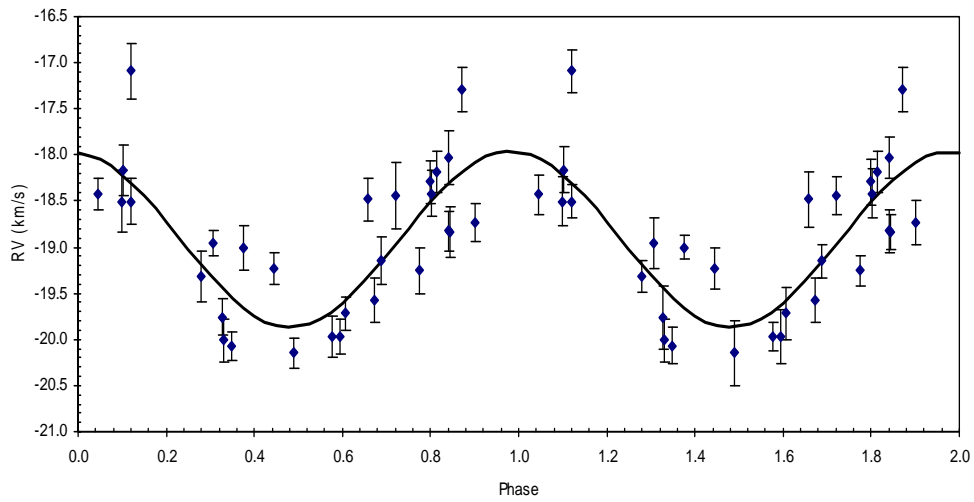


Abb. 3: Anpassung einer Sinusfunktion an die Messwerte

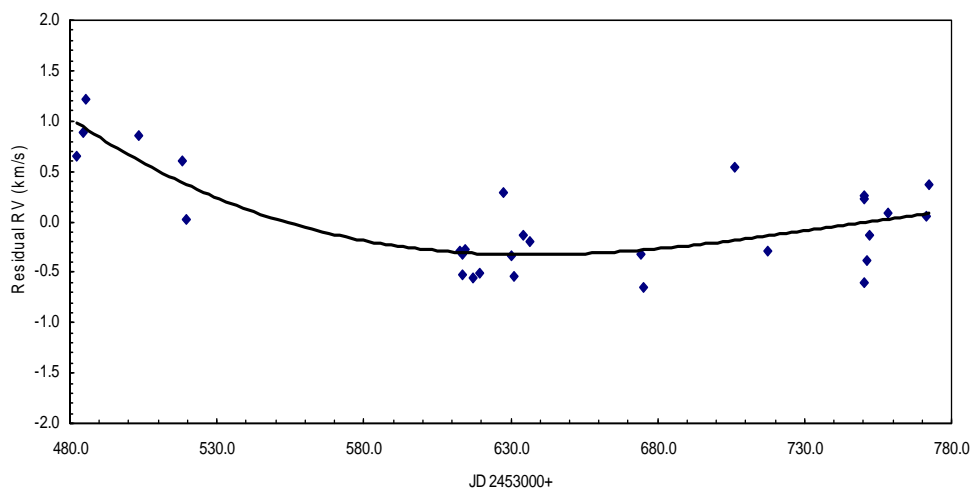


Abb. 4: Residuen der Sinusanpassung an die RV-Variation mit Regressionsgerade

Die RV-Variation im Beobachtungszeitraum resultiert also aus einer Überlagerung einer sinusförmigen Pulsation mit einer Periode $P \sim 3,97$ Tage und einem langfristigen Trend. Dieser resultiert mit hoher Wahrscheinlichkeit aus einem systematischen Fehler, bedingt durch die Dopplerverschiebung aufgrund der Bewegung Erde um die Sonne.

Diese stetige Veränderung der RV wurde unter Anwendung eines Polynoms dritter Ordnung (siehe Abb. 4) aus den Messwerten eliminiert. Eine erneute Sinusanpassung ergibt die vom langfristigen Trend beseitigten 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 .

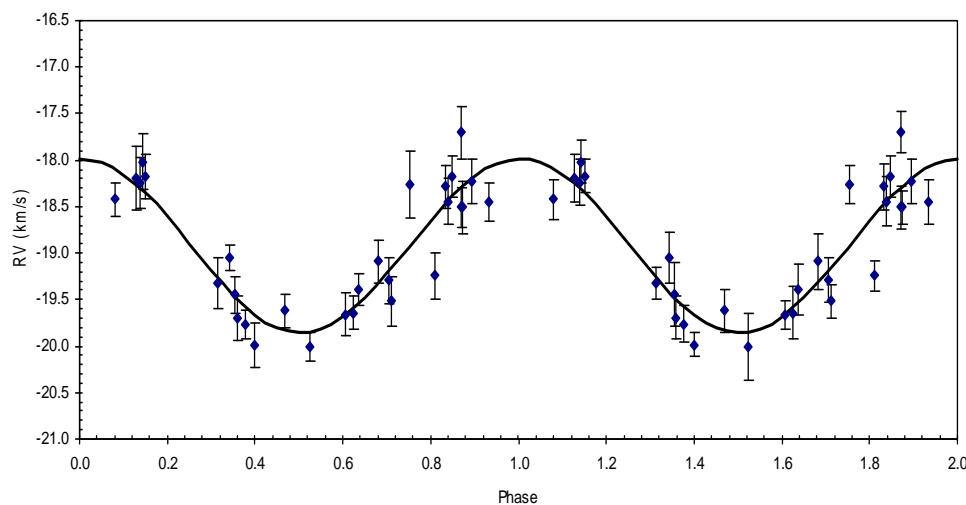


Abb. 5: Anpassung einer Sinusfunktion an die Messwerte nach Eliminierung des langfristigen Trends

4. Ergebnisse

4.1 Cepheid Polaris

Die gemessene Periode von $P = 3.9738 \pm 0.0009$ Tage weicht nur wenig von der Periode ab, die von Hatzes & Cochran (2000) für 1993 mit 3.9726769 ± 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 ± 0.06 km/s passt sich widerspruchsfrei in die zeitliche Entwicklung ein und zeigt eine Tendenz zu einer Vergrößerung der Schwingungsamplitude.

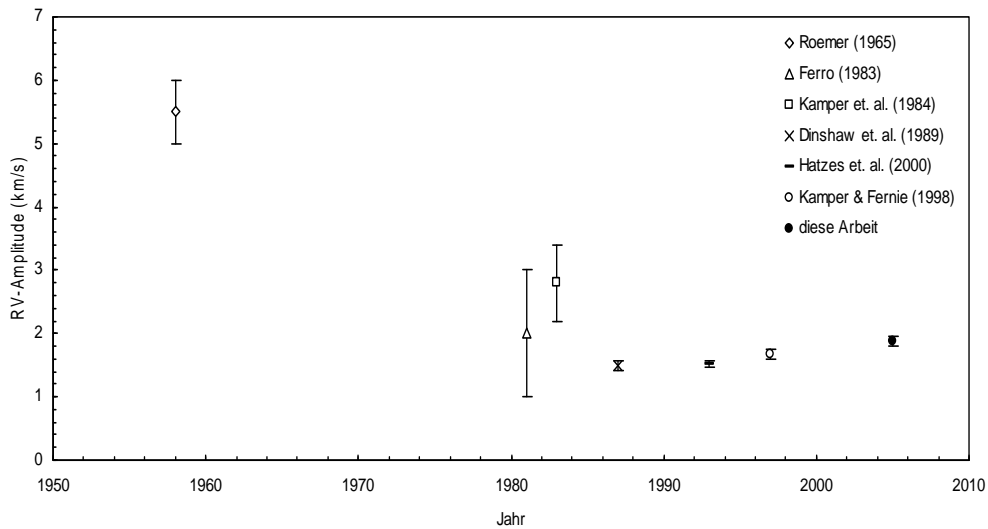


Abb. 6: RV-Amplitude von Polaris in der Zeit von 1958 bis 2005

4.2 Spektroskopischer Doppelstern Polaris

Die Periode der spektroskopischen Komponente des Mehrfachsystems Polaris beträgt nach Dinshaw et. al. (1989) 29.9 ± 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).

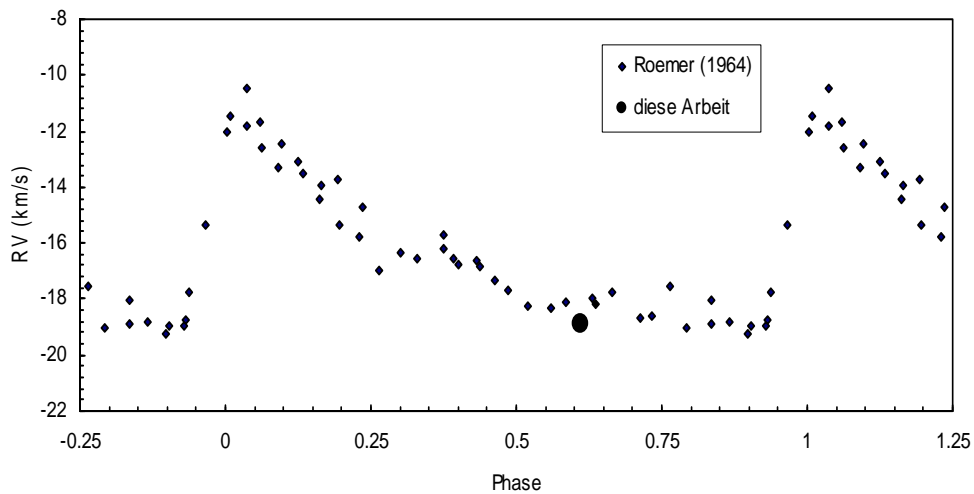


Abb 7: RV-Periode des spektroskopischen Doppelsterns Polaris

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.

Chambell, 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.

Hertzprung, 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.

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.