Roland Bücke,

Spektroskopische Beobachtung der Pulsation des Polarsterns

Artikel erschienen im
Journal für Astronomie Nr. 21,
Vereinszeitschrift der Vereinigung der Sternfreunde e.V. (VdS).

Bereitgestellt durch die VdS-Fachgruppe Spektroskopie.

Referenz:
R. Bücke, VdS-Journal Nr. 21 (2006) 112ff

Diese Datei ist nur für Ihren persönlichen Bedarf bestimmt. Änderungen sowie die Vervielfältigung auf einem anderen physischen oder virtuellen Datenträger sind untersagt!

gen schon eine winzige Verdunkelung an der passenden Stelle zu erahnen. Durch die Addition der 1.430 besten von 6.500 Rohbildern wurde die Sache klarer. Die Trennung der Ringe war im ungeschärften Summenbild schon sichtbar. Die anschließende Schärfung brachte die endgültige Bestätigung: Mit 53 mm Öffnung ist die Cassiniteilung als grauer Streifen erkennbar! Trotz der bescheidenen Öffnung war der Einfluss des Seeings überraschend groß. Erst beim dritten Versuch gelang es, die Ringteilung klar zu identifizieren.

Im nächsten Schritt wurde eine 41 mm große Pappblende vor das Objektiv gesetzt. Es wurden 1.450 von 5.800 Rohbildern gemittelt. Dennoch war die Teilung kaum mehr aus dem Rauschen herauszukitzeln, mit „gutem Willen“ kann man die Cassiniteilung aber gerade noch erahnen (weil man weiß, wo sie sein muss). Der Schatten des Planeten auf dem Ring ist noch besser zu erkennen (Pfeil). Während die Auflösung mit kleiner werdender Öffnung linear abnimmt, fällt die Lichtmenge im Quadrat. Es ist schwer zu entscheiden, ob bei 41 mm Öffnung die Grenzen der Erkennbarkeit durch die mangelnde Auflösung oder durch die mangelnde Lichtmenge gesetzt wurden. Das Beispiel der winzigen Encketeilung zeigt, dass durchaus noch Hoffnung bestehen könnte. Die Encketeilung besitzt weniger als ein Zehntel der Breite der Cassiniteilung. Trotzdem ist sie schon mit 10-Zoll-Geräten erfolgreich fotografiert worden. Theoretisch sollte demnach die Cassiniteilung schon mit 2,5 cm Öffnung abzulichten sein. Es wäre sicherlich sinnvoll, den Versuch mit einer empfindlicheren, rauschärmeren Kamera zu wiederholen.

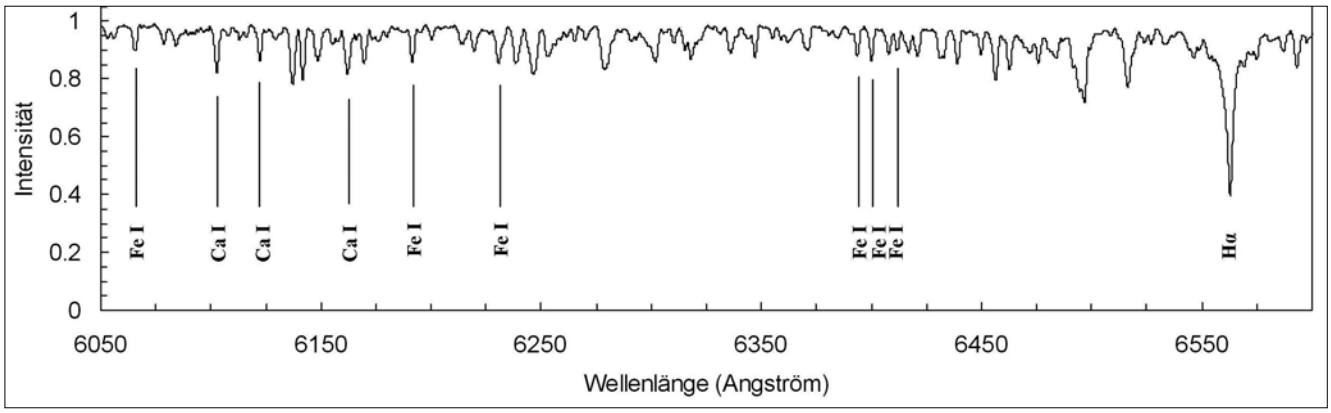
Abb. 2:
Oben: Saturn am 21.2.2006, Optik auf 53 mm abgeblendet, 22 % von 6.500 Rohbildern. Unten: Saturn am 21.2.2006, Optik auf 41 mm abgeblendet, 25 % von 5.800 Rohbildern. Links jeweils das ungeschärfte Summenbild, rechts die bearbeitete Version.

Spektroskopische Beobachtung der Pulsation des Polarsterns

von Roland Bücke

Die Geschwindigkeit, mit der sich ein astronomisches Objekt auf uns zu oder von uns weg bewegt, spiegelt sich in dessen Spektrum als Dopplerverschiebung seiner Spektrallinien wider. Diese Geschwindigkeitskomponente in Richtung des Beobachters wird als Radialgeschwindigkeit bezeichnet. In den Spektren der Sterne beobachtet man häufig zeitlich variable Linienverschiebungen. Diese können z. B. durch die Bahnbewegungen der Komponenten eines Doppelsternsystems um den gemeinsamen Schwerpunkt oder auch durch die Expansion und Kontraktion

Abb. 1:
Spektrum von Polaris



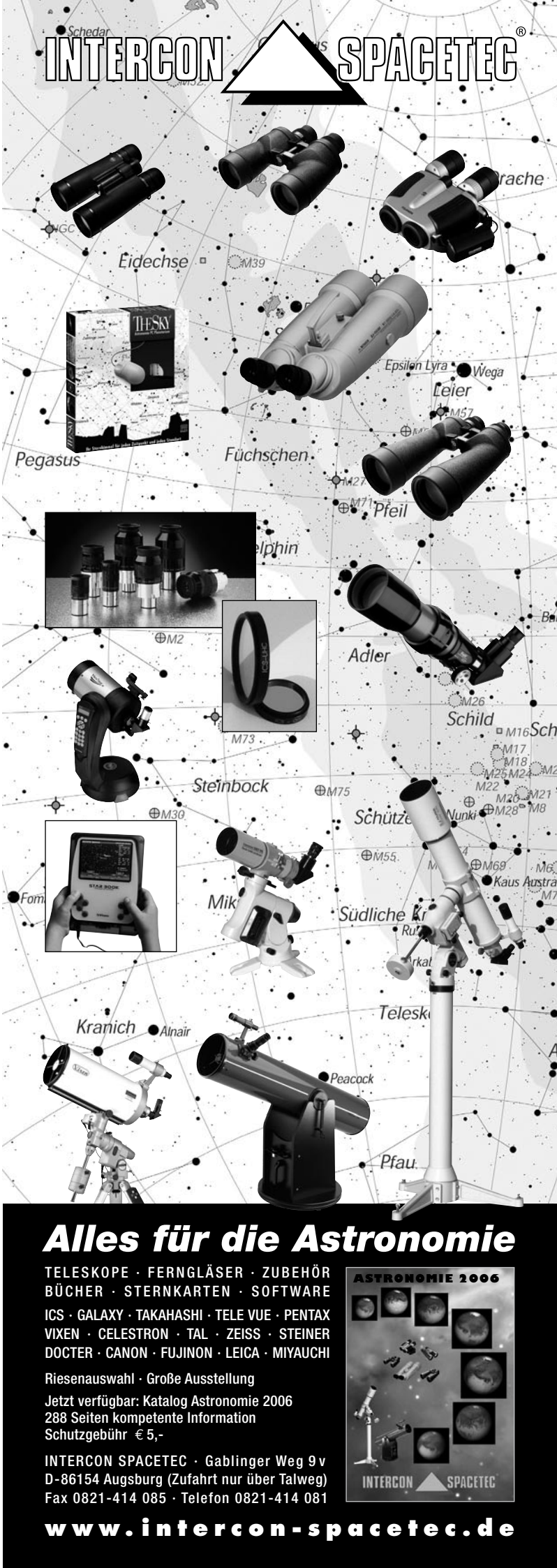
der Oberfläche eines pulsierenden Sterns verursacht werden.
Über meine ersten Versuche, die Radialgeschwindigkeit von Sternen aus der Beobachtung der Dopplerverschiebung ihrer Spektrallinien zu bestimmen, habe ich bereits im Heft 19 dieses Journals berichtet [1]. Welche Genauigkeit kann man als Amateur mit einer vergleichsweise bescheidenen instrumentellen Ausstattung bei der Messung von Dopplerverschiebungen erreichen? Nach den ersten recht viel versprechenden Ergebnissen habe ich diese Frage nunmehr genauer untersucht.
Der Polarstern (α UMi, Polaris) ist ein geeignetes Objekt, da dieser im Hinblick auf meine Ausrüstung hell genug und ganzjährig unter gleich guten Bedingungen beobachtbar ist. Bekanntermaßen ist Polaris ein Mehrfachsystem mit einer spektroskopischen Komponente. Die hellste Komponente ist außerdem ein Cepheide mit einer sehr geringen Radialgeschwindigkeitsvariation von etwa 2 km/s. Würde es gelingen, diese sicher nachzuweisen? Die zu erwartende Linienverschiebung beträgt im roten Bereich gerade einmal ca. 0,04 Ångstrøm, was auf dem Chip meiner CCD-Kamera einer Länge von einem µm entspricht.

Der Polarstern als Cepheide

Der Polarstern gehört seit über 100 Jahren zu den fotometrisch und spektroskopisch intensiv beobachteten Sternen. Durch seine ungewöhnlichen Eigenschaften zieht er nach wie vor die Aufmerksamkeit von Fachastronomen auf sich. Die Variabilität seiner Helligkeit wurde schon in der Mitte des 19. Jahrhunderts festgestellt [2]. 1911 wies Hertzsprung [3] eine fotometrische Periodizität von 4 Tagen nach und vermutete, dass es sich bei Polaris um einen Cepheiden handelt. Die visuelle Helligkeitsvariation nahm seither stetig ab und hat gegenwärtig mit $\Delta V \approx 0{,}05$ mag die kleinste bekannte Amplitude eines Cepheiden. Die Radialgeschwindigkeitsvariation von Polaris beobachtete als erster Campbell im Jahr 1899 [4]. Diese ist von 5 bis 6 km/s in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts ebenfalls geschrumpft – auf weniger als 2 km/s in den 1990er Jahren [5, 6]. Sogar das gänzliche Verlassen der Instabilitätsphase mit der Einstellung der Pulsation wurde zeitweilig für möglich gehalten [7, 8]. Neueste Beobachtungen [9] belegen hingegen die gegenläufige Tendenz einer langsamen Zunahme der fotometrischen Schwingungsamplitude, die sicher mit einer Vergrößerung der Radialgeschwindigkeitsvariation korreliert.

Beobachtung

Die Beobachtungen führte ich mit meinem 8-Zoll-Dobsonteleskop durch. Die Ankopplung des Gitterspektrografen mit einer Auflösung von 1,9 Å an das Teleskop erfolgte mit einem 200-µm-Lichtleiter. Das Instrumentarium habe ich im Heft 16 dieses Journals ausführlich beschrieben [10].
In der Zeit vom 21. April 2005 bis 5. Februar 2006 wurden 29 Radialgeschwindigkeiten (RV) bestimmt. Der hierfür genutzte Spektralbereich von 6.050 bis 6.600 Å ist in der Abbildung 1 wiedergegeben. Die Dopplerverschiebungen wurden an den 10 bezeichneten Linien durch Anpassung von Gaußfunktionen bestimmt. Die Beschreibung der Verfahrensweise bei der Reduktion der Spektren, deren Wellenlängenkalibrierung und die Bestimmung der Dopplerverschiebungen ist in [1] beschrieben.
Die auf die Sonne bezogenen Radialgeschwindigkeiten (RV) sind in der Abbildung 2 dargestellt. Jede RV ist durch Mittelwertbildung aus mehreren Einzelmessungen mit Belichtungszeiten zwi-



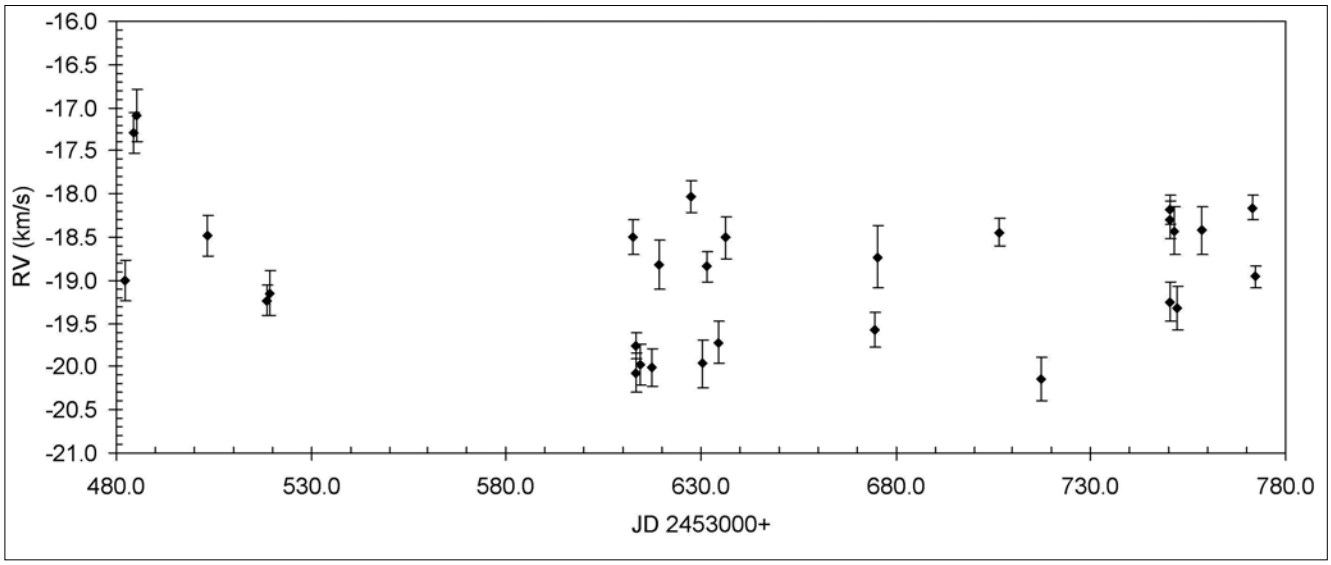


Abb. 2:
Radialgeschwindigkeitsmesswerte von Polaris

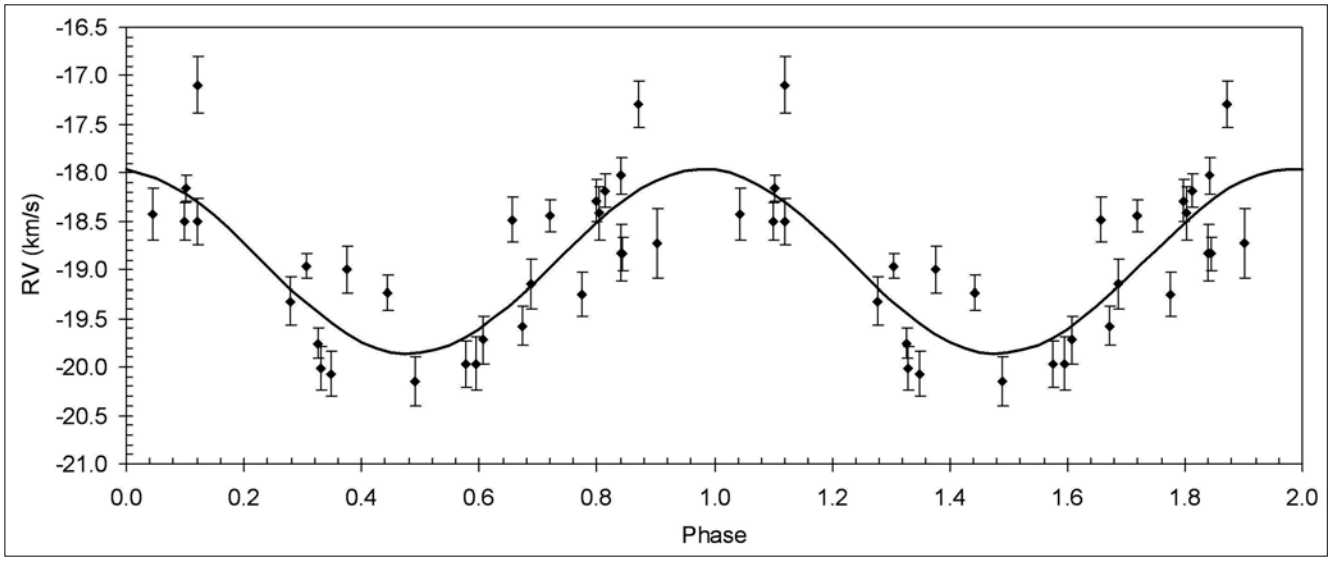


Abb. 3:
Anpassung einer Sinusfunktion an die Messwerte

schen 2,5 bis 3 Minuten errechnet worden, deren Anzahl in Abhängigkeit von den Beobachtungsbedingungen zwischen 8 und 21 betrug. Die Fehlerbalken der Messwerte in den Abbildungen resultieren aus der Standardabweichung dieser Einzelmessungen.

Datenanalyse

An die Messwerte wurde eine Sinusfunktion nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate angepasst (Abb. 3). Dies ergab folgende Ephemeriden für die RV-Variation: RV-Minimum JDRVmin = 2453484,80 ± 0,07, Periode P = (3,9745 ± 0,0013) Tage, Amplitude (Peak-to-Peak) A = (1,90 ± 0,09) km/s.

Damit ist die Periodizität tatsächlich durch eigene Beobachtungen nachgewiesen! Die Messwerte streuen aber auffallend stärker als dies die Fehlerbalken erwarten lassen. Die Anpassung eines Polynoms 3. Ordnung an die Residuen der RV-Werte offenbart deutlich eine langfristige stetige Veränderung der RV im Beobachtungszeitraum (Abb. 4). Hierbei handelt es sich um einen systematischen Fehler. Die Erdbewegung um die Sonne verursacht eine um etwa 10-fach größere Dopplerverschiebung als die Pulsation des Polarsterns selbst. Diese starke Linienverschiebung wirkt sich entsprechend gravierend auf Abbildungsfehler des Spektrografen und der CCD-Kamera aus. Hinzu kommen noch Auswirkungen jahreszeitlicher Temperaturschwankungen auf den Spektrografen.

In einem nächsten Schritt wurde diese langfristige Änderung der RV aus den Messwerten eliminiert. Eine erneute Sinusanpassung ergibt die von diesem systematischen Fehler bereinigten Parameter der Pulsation (Abb. 5): RV-Minimum JDRVmin = 2453484,82 ± 0,04, Periode P = (3,9738 ± 0,0009) Tage, Amplitude (Peak-to-Peak) A = (1,87 ± 0,06) km/s. Dabei sind die angegebenen Unsicherheiten die mittleren Fehler des Mittelwertes der Residuen in RV-Richtung für die Amplitude, in der Zeitachse für das RV-Minimum und in

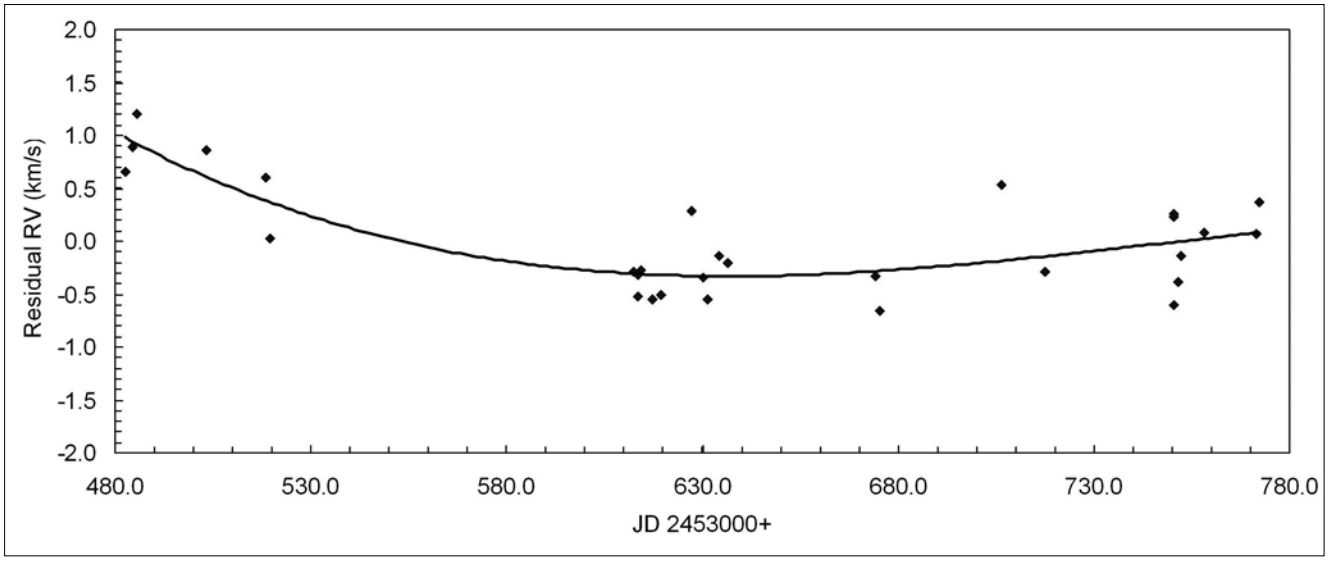


Abb. 4:
Residuen der Sinusanpassung an die RV-Variation mit Ausgleichskurve

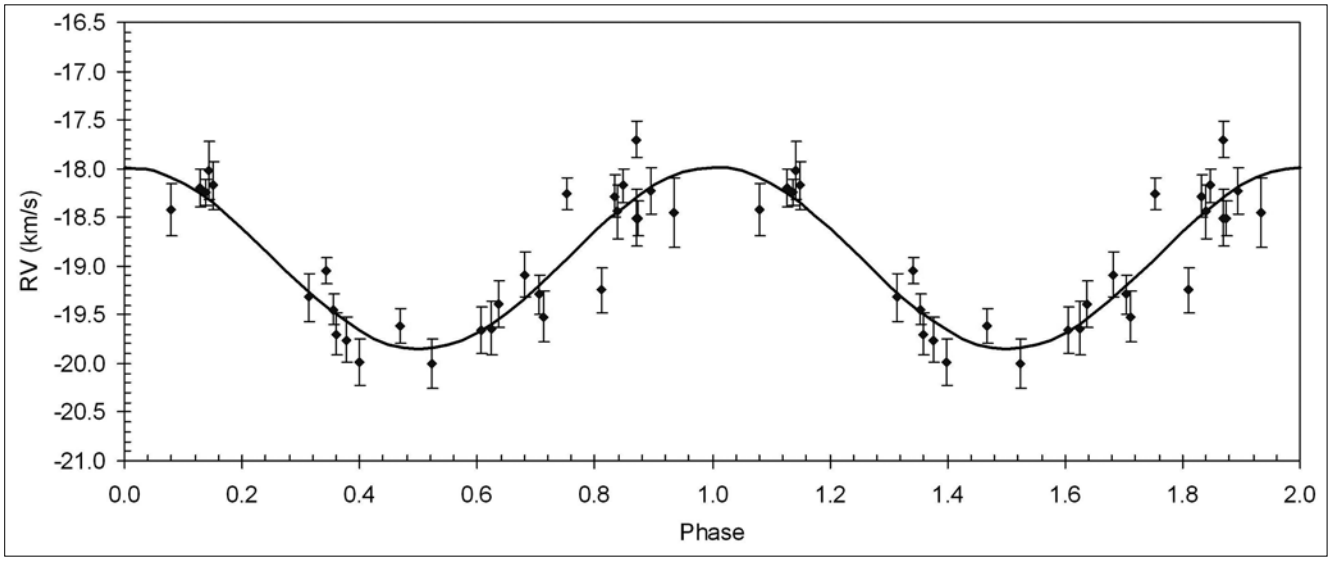


Abb. 5:
Anpassung einer Sinusfunktion an die Messwerte nach Eliminierung systematischer Fehler

der Zeitachse dividiert durch die Zahl der Perioden im Beobachtungszeitraum für die Unsicherheit der Periode.

Diskussion der Ergebnisse

Die gemessene Periode von P = (3,9738 ± 0,0009) Tagen weicht nur wenig von der Periode ab, die von Hatzes & Cochran [6] für 1993 mit (3,9726769 ± 0,00011) Tagen angegeben wird.

Aus der Amplitude der Schwingungen lässt sich am sichersten eine Aussage über die Veränderungen der RV-Variation seit den zuletzt veröffentlichten Werten von 1997 [5] ableiten. Hierfür sind die gemessenen Werte ab 1950 in der Abbildung 6 dargestellt. Die sprunghaft gestiegene Genauigkeit der RV-Messungen seit Mitte der 1980er Jahre ist dabei beachtenswert. Der gemessene Wert von (1,87 ± 0,06) km/s reiht sich widerspruchsfrei in die bisherige zeitliche Entwicklung ein und zeigt eine Tendenz zur Vergrößerung der Schwingungsamplitude.

Wie anfangs schon erwähnt, ist Polaris nicht nur ein Cepheide, sondern hat noch eine spektroskopische Komponente. Die Umlaufzeit dieser beträgt nach heutigen Erkenntnissen 29,9 Jahre [8]. Die einzige Datenquelle, aus der sich über mehr als eine Periode hinweg der RV-Verlauf lückenlos konstruieren lässt, sind die etwa 1.180 Platten des Lick Observatoriums am 36-Zoll-Refraktor von 1896 bis 1958, die von E. Roemer [11] ausgewertet wurden (Abb. 7).

Die 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. Insbesondere bei niedriger Auflösung des Spektrografen sind die vermessenen Spektrallinien häufig durch nicht getrennte schwächere Linien gestört, was zu systematischen Abweichungen führt. Diese Fehler können durch vergleichende Messungen an einem Stern gut bekannter Radialgeschwindigkeit vermindert werden.

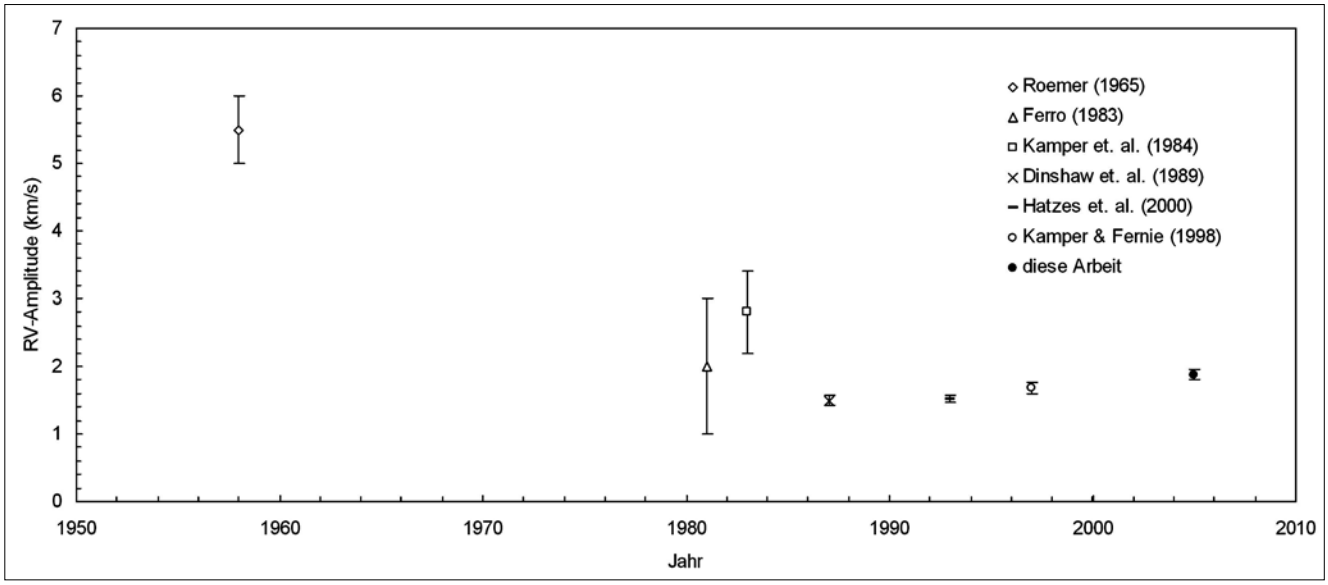


Abb. 6:
RV-Amplitude von Polaris in der Zeit von 1950 bis 2006

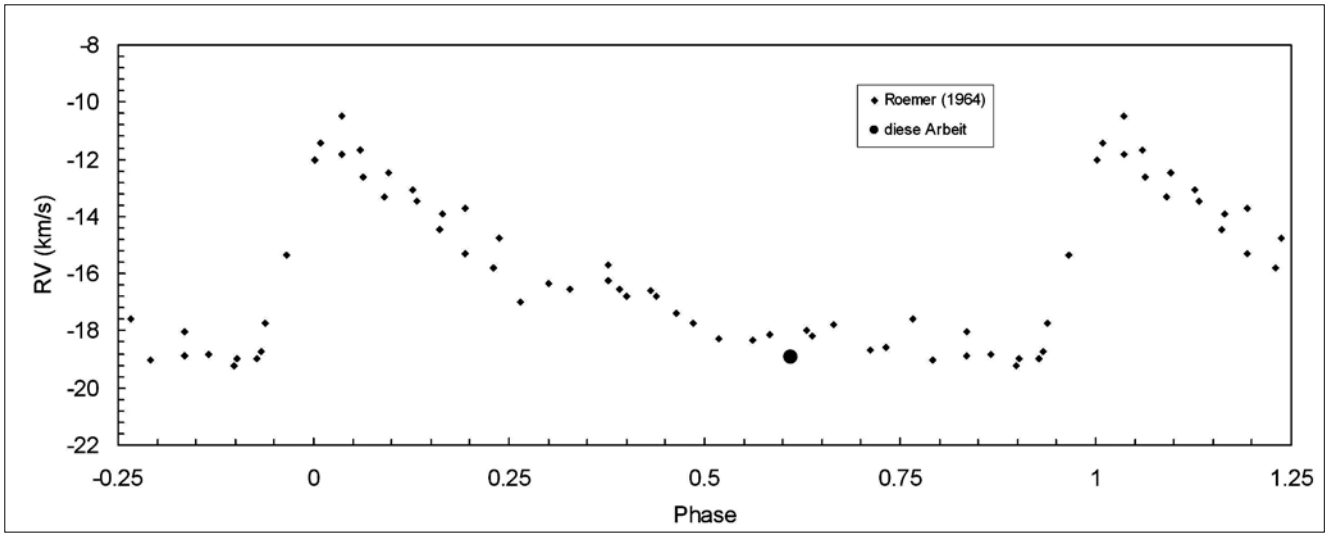


Abb. 7:
RV-Periode des spektroskopischen Doppelsterns Polaris

Schlussbemerkung

Mit den in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnissen zeichnet sich 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.

Mein Dank gilt Herrn Helmut Jahns von der Fachgruppe Computerastronomie für die Programmierung eines Windows-programms zur zuverlässigen Berechnung der Korrekturwerte zur Reduktion auf das heliozentrische Koordinatensystem.

Literaturhinweise

[1] R. Bücke, 2006: VdS-Journal für Astronomie 19, 94
[2] L. Seidel, 1852: Abh. d. II. Kl. d. königl. Akad. d. Wiss., München, Bd. 6, 564
[3] R. Hertzsprung, 1911: Astron. Nachr. 189. 89
[4] W. W. Campbell, 1899: Astrophys. J. 10, 180
[5] K. W. Kamper, J. D. Fernie, 1998: Astrophys. J. 116, 936
[6] A. P. Hatzes und W. D. Cochran, 2000: Astron. J. 120, 979
[7] A. A. Ferro, 1983: Astrophys. J. 274, 755
[8] N. Dinshaw, et. al., 1989: Astrophys. J. 98, 2249
[9] S. G. Engle, E. F. Guinan, R. H. Koch, 2004: Am. Astron. Soc. Meeting 2004, 204
[10] R. Bücke, 2005: VdS-Journal für Astronomie 16, 81
[11] E. Roemer, 1964: Astrophys. J. 141, 1415