

Der Stern CY Aquarii und die Lichtgeschwindigkeit

VON WERNER PFAU

Der Veränderliche bietet die attraktive Möglichkeit, mit einfachen Mitteln den Wert der Lichtgeschwindigkeit zu bestimmen! Darauf hatte Alfred Jensch (1912–2001), der Entdecker des schnellen Lichtwechsels dieses Sterns, bereits in den 1930er Jahren hingewiesen.

Der Stern CY Aquarii gehört zu den besonders bemerkenswerten Veränderlichen. Mit einer Periode von 87.9 Minuten war er für lange Zeit der Rekordhalter im schnellen Lichtwechsel. Die Helligkeitsänderungen erfolgen streng periodisch mit einer Amplitude $\Delta V = 0.74$ mag und bewegen sich um die mittlere Helligkeit $V \approx 10.8$ mag. Besonders der rascher verlaufende Helligkeitsanstieg wird damit bereits innerhalb weniger Minuten deutlich. Helligkeit und Lichtwechselperiode machen den Stern schon für kleine Teleskope zu einem lohnenden Beobachtungsobjekt.

Die Einteilung veränderlicher Sterne in bestimmte Gruppen beruht zunächst einmal auf dem Charakter der Lichtkurve und der Helligkeitsamplitude als den verhältnismäßig einfach zu gewinnenden Beobachtungsgrößen. CY Aquarii mit seinem sägezahnförmigen Lichtwechsel erweist sich demnach als Stern, bei dem ein periodischer Pulsationsvorgang die physikalische Ursache für die Helligkeitsänderung ist (Abb. 2). Mit den Radiusänderungen infolge radialer Bewegungen der äußeren Schichten sind Änderungen der effektiven Temperatur und des Spektraltyps verbunden, die bestimmend für die wechselnde Helligkeit sind. Das Helligkeitsmaximum stellt sich kurz nach dem Temperaturmaximum ein.

Wegen seines schnellen Lichtwechsels gehört CY Aquarii zu einer kleinen Gruppe von nur etwa einem Dutzend bisher bekannter ultrakurzperiodischer Sterne. Sie alle haben Perioden unterhalb von 0.3 Tagen und Amplituden von mehr als 0.2 Größenklassen. Im umfassenden russischen Katalog veränderlicher Sterne wer-

den sie als vom Typ SX Phoenicis geführt. Diese Benennung bezieht sich auf einen Prototyp der Gruppe. Es handelt sich um Sterne der Spektraltypen A und F mit Massen um ein bis zwei Sonnenmassen. Entwicklungsmäßig befinden sie sich noch im Stadium des zentralen Wasserstoff-Brennens, zeigen im Vergleich zu sonnenähnlichen Sternen in den Spektren aber eine Unterhäufigkeit der schwereren chemischen Elemente. Im Hertzsprung-Russell-Diagramm befinden sie sich demgemäß im Bereich der Unterzwerge, d. h. am unteren Rand der »normalen« Hauptreihe. Dort fallen sie auch in den sogenannten Instabilitätsstreifen, der zu größeren Leuchtkräften hin die RR-Lyrae- und die δ -Cephei-Sterne umfasst. Im Gesamtverband der Sterne des Milchstraßensystems betrachtet, gehören die SX-Phoenicis-Sterne zur alten Scheibenpopulation. Wie bei pulsierenden Sternen im Allgemeinen, gilt ein Zusammenhang zwischen Lichtwechselperiode P und absoluter Helligkeit M_V . Dieser lautet hier:

$$M_V = -3.73 \lg P - 1.90$$

(P in Tagen, M_V in Größenklassen).

Im Abstand von Jahrzehnten können die SX-Phoenicis-Sterne abrupte und unvor-

hersehbare Periodenänderungen der Größenordnung $\Delta P/P \approx 10^{-7}$ zeigen. Die Ursache für solche Änderungen der Schwingungseigenschaften ist ungeklärt, mit ziemlicher Sicherheit handelt es sich aber nicht um eine Auswirkung der Sternentwicklung. Das wird auch bei CY Aquarii selbst deutlich, bei dem die Periode 1952 einen gegenüber der Entdeckungszeit etwas kleineren Wert angenommen hatte, 1989 aber, und sogar stärker, auf den in der Tabelle unten angegebenen Wert gestiegen war. Zwischen den Sprüngen sind die Perioden allem Anschein nach konstant (Powell et al. 1995).

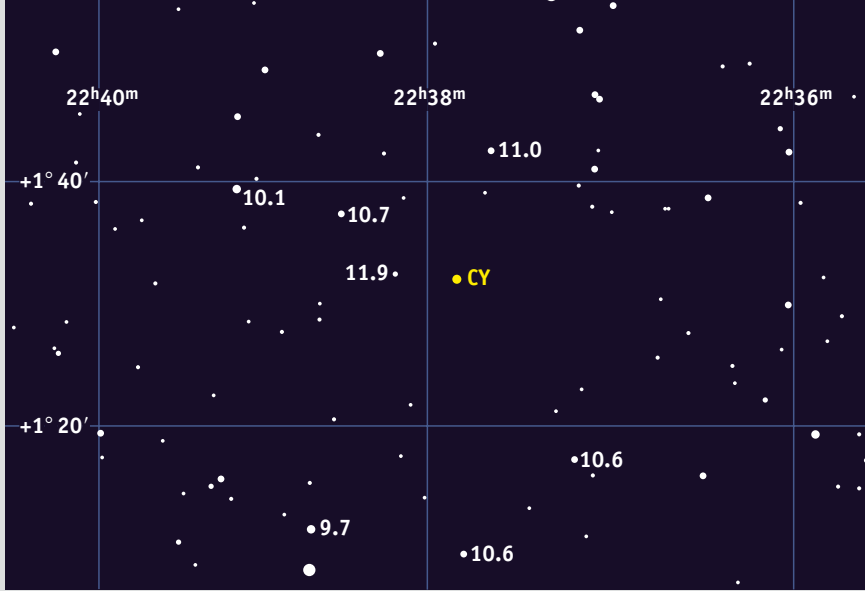
Die Veränderlichkeit des zunächst als 391.1934 Aquarii bezeichneten, später als CY Aquarii katalogisierten Sternes, wurde 1934 durch Cuno Hoffmeister, den Nestor der Veränderlichen-Astronomie, an der Sternwarte Sonneberg erkannt. Die anschließende Entdeckung der kurzen Lichtwechselperiode auf der Grundlage einer regelmäßigen Überwachung geht auf Alfred Jensch, damals ebenfalls in Sonneberg, zurück.

Die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit

Die Bahnbewegung der Erde um die Sonne bewirkt in Form von Parallaxe und Aberration messbare Veränderungen der beobachteten gegenüber den wahren Positionen der Gestirne. Als sogenannte Lichtgleichung ergeben sich aber auch Zeitver-

 Charakteristische Daten von CY Aquarii.

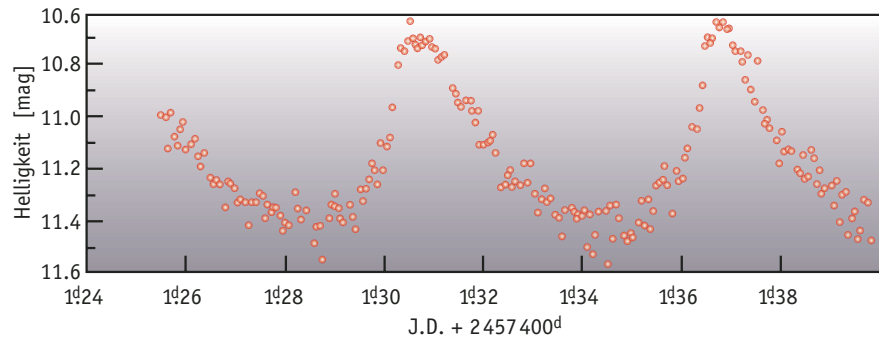
Äquatoriale Koordinaten	$\alpha(2000) = 22^{\text{h}}37^{\text{m}}47.2^{\text{s}}$	$\delta(2000) = +1^{\circ}32'07''$
Ekliptikale Koordinaten	$\ell = 341^{\circ}36'$	$b = +9^{\circ}27'$
scheinbare Helligkeit	$V = 10.4 \text{ mag} \dots 11.2 \text{ mag}$	
Periode (1989–1994)	$P = 0.061038612$ Tage	
absolute Helligkeit	$M_V = 2.6 \text{ mag}$	
Spektraltyp	A2 ... F2	
effektive Temperatur	$T_{\text{eff}} = 6680 \text{ K} \dots 8320 \text{ K}$	



◀ Abb. 1: Aufsuchkarte für den Veränderlichen CY Aquarii (Position $\alpha = 22^{\text{h}}37^{\text{m}}47^{\text{s}}5$, $\delta = +1^{\circ}32'03''$ (J2000.0)). Einige Sterne sind mit ihren Helligkeiten (V-System) markiert (Karte von Schirmer 2001)

▼ Abb. 2: Lichtkurve des Sternes CY Aquarii, gemessen von Jörg Schirmer (2001) mit einer CCD-Kamera.

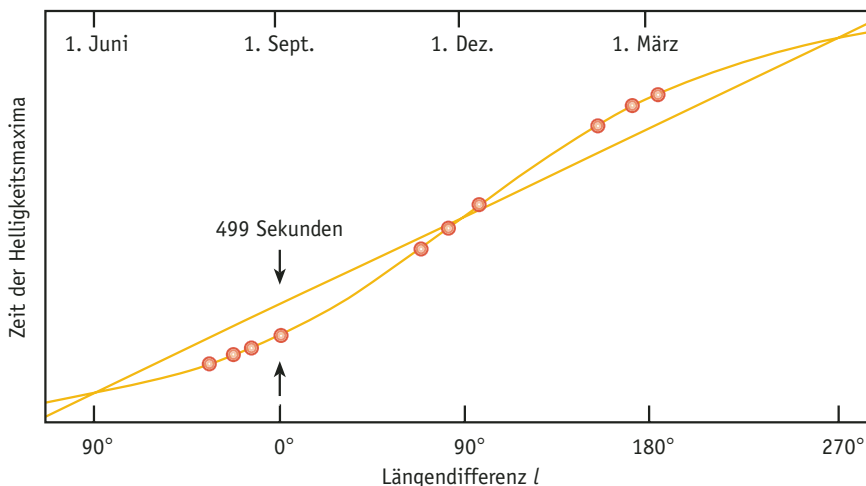
schiebungen im Eintreffen von Signalen kosmischer Objekte. Sie gehen auf den wechselnden Lichtweg zwischen Objekt und Beobachter infolge der jahreszeitlich unterschiedlichen Positionen der Erde in ihrer Bahn zurück. Bereits 1675 erkannte Ole Römer, dass eine von der Stellung der Erde abhängige Variation in den Zeitpunkten der gegenseitigen Bedeckungen zwischen Jupiter und seinem Mond Io auf eine endliche Lichtgeschwindigkeit zurückgehen müsse. Mit 200 000 km/s ermittelte er dafür einen überraschend guten Zahlenwert. Dabei resultierte die Abweichung vom korrekten Wert nicht aus Römers Zeitmessungen, sondern aus den noch nicht hinreichend gut bekannten Entfernungen im Planetensystem. Lichtzeiteffekte gehen als Korrekturgröße in die Bearbeitung von Veränderlichen-Daten ein und sind unbedingt zu berücksichtigen, wenn es um die Emissionsblitze von Pulsaren geht. Nur wenige Monate nach der Entdeckung des schnellen Lichtwechsels von CY Aquarii demonstrierte Jensch in zwei populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen (1936 a, b), dass die ausgeprägten Helligkeitsmaxima dieses veränderlichen Sterns zur Ableitung der Lichtgeschwindigkeit geeignet sind. Es ist doch wohl aufregend, dass auf so einfachem Wege selbst



Beobachter ohne besondere technische Ausrüstung, auch Schülerarbeitsgemeinschaften zum Beispiel, Zugang zur Bestimmung einer fundamentalen physikalischen Konstante gewinnen können!

Nehmen wir an, dass ein Beobachter durch regelmäßige Helligkeitsschätzungen von CY Aquarii relativ zu benachbarten Vergleichssterne die Zeiten t der Helligkeitsmaxima des Sternes ermittelt hat. Aufgetragen über der Zeit sollten diese Momente wegen der konstanten Signalfolge, der Lichtwechselferode P , auf einer Geraden liegen (s. Abb. 3). Tatsächlich zeigt sich jedoch eine überlagerte Periode, mit der die Maxima mal früher und mal später als erwartet eintreffen. Die Amplitude beträgt ± 8.3 Minuten, was in der Summe gerade der Lichtlaufzeit ent-

lang des Durchmessers der Erdbahn entspricht. Abb. 3 verdeutlicht die Verhältnisse: Im Vergleich zu einer heliozentrischen Position erreichen die Helligkeitsmaxima die Erde im September früher als etwa im März. Wenn es die Genauigkeit erfordert, müssen Beobachtungsdaten veränderlicher Sterne um diese sogenannte Lichtgleichung korrigiert werden. Wollen wir dagegen, wie in unserem Fall, den Betrag der Lichtgeschwindigkeit ableiten, so ist diese Zeitdifferenz die Eingangsgröße. Im Prinzip genügt es, zu zwei günstig liegenden Beobachtungsterminen die Zeit je eines Helligkeitsmaximums von CY Aquarii zu ermitteln. Zählt man von dem ersten Maximum Periode für Periode weiter, so wird sich bei dem zweiten eine Zeitdifferenz ergeben. Diese führt, kombiniert



◀ Abb. 3: Die von unterschiedlichen Erdbahnpositionen aus beobachteten Zeiten der Helligkeitsmaxima unterliegen periodischen Schwankungen als Effekt der Lichtlaufzeit (Amplitude ± 499 Sekunden). Zum Vergleich ist der lineare Verlauf der Zeiten am Ort der Sonne gezeichnet. Die Punkte markieren schematische Beobachtungen. Als Längendifferenz geht ein $\Delta l = l_{\odot} - l_{*}$, die Kalendertermine am oberen Rand gelten für den Stern CY Aquarii.



▲ Abb. 4: Alfred Jensch (1912–2001) vor dem Tautenburger Teleskop. (Bild. W. Högner)

mit dem Wegunterschied Δs , der aus der Geometrie der Erdbewegung und der Lage des Sternes relativ zur Ekliptik resultiert, auf die gesuchte Geschwindigkeit des Lichts. In der praktischen Durchführung liefert das Verfahren allerdings eine hinreichende Genauigkeit nur bei Beobachtung jeweils einer ganzen Serie von Maxima, verteilt über einige Tage. Für jede der beiden Serien lassen sich mit Hilfe einfacher numerischer Methoden charakteristische Zeitwerte als Bezugsepochen, z. B. t_A, t_B , und daraus der Laufzeitunterschied zwischen den Standorten ableiten.

Die Koordinaten von CY Aquarii gehen aus der Tabelle hervor. Zusammen mit der ekliptikalen Länge der Sonne, wie sie z. B. in Ahnerts Astronomischem Jahrbuch tabelliert ist, stellt sich der Anfang des Monats September ($l_\odot \approx 160^\circ$) als die günstigste Beobachtungsperiode A heraus (s. Abb. 3). Hinsichtlich des anderen Zeitraums müssen Kompromisse eingegangen werden, damit der Stern mit einigem Abstand von der Sonne am Abend- (B) bzw. Morgenhimmel (C) sichtbar ist. Die entsprechenden Monate sind Dezember bzw. Mai.

Wie Lichtkurven von CY Aquarii praktisch zu gewinnen und schließlich zu bearbeiten sind, wird ergänzend zum Artikel auf einer Internetseite erläutert (siehe unten rechts). Dort geht es um die Gewinnung der Helligkeitswerte mit Hilfe der Argelanderschen Schätzmethode, die Umwandlung der ermittelten Zeitpunkte jeweils maximaler Helligkeit in Bezugsepochen und die Bestimmung der Lichtwegdifferenzen aus den zugeordneten Bahnpositionen der Erde. Das Verfahren wird an Hand der von Alfred Jensch in den Jahren 1934 bis 1936 veröffentlichten Originaldaten demonstriert. Ohne einen besonders hohen Rechenaufwand gelangte er mit diesen zu einem Wert der Lichtgeschwindigkeit $c = 286\,000$ km/s, was nur um 5 % vom Standardwert abweicht.

Der Entdecker des schnellen Lichtwechsels von CY Aquarii

Alfred Jensch (1912–2001) hatte das Verfahren zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit aus der Lichtkurve des Sternes CY Aquarii in den 1930er Jahren ausgearbeitet und bewusst als eine instruktive Methode für den Schulunterricht im Fach Physik publik gemacht. Es ist vielleicht interessant, hier einige Sätze zu seinem Berufsweg anzuschließen.

Alfred Jensch begann im Jahre 1933 mit einer fünfjährigen Praktikantentätigkeit an der Sternwarte Sonneberg. Der Bau eines eigenen Fernrohrs mit seinen vielfältigen Herausforderungen hatte ihn zur Astronomie geführt. Von Sonneberg aus trat er 1938 in eine Anstellung bei der Firma Carl Zeiss in Jena ein und stieg dort bis zum hoch angesehenen Leiter der Konstruktionsabteilung für astronomische Geräte auf. Als Konstrukteur ist Jenschs Name verbunden mit zuverlässigen uhrgesteuerten Antrieben für astronomische Geräte, einem neuartigen Coelostat, dem »Jensch-Coelostat«, vor allem aber mit den größten der bei Zeiss-Jena damals hergestellten Teleskope, den

insgesamt fünf 2-m-Teleskopen. 1992, aus Anlass des 80. Geburtstages seines Chefkonstruktors, wurde dem Tautenburger Universal-Spiegelteleskop der Name »Alfred-Jensch-Teleskop« gegeben (Abb. 4). Eine kompetente Darstellung der Leistungen von Alfred Jensch, verknüpft mit der bewegten Technikgeschichte dieser Zeit, stammt von H. G. Beck (1992), der Nachruf durch M. Steinbach (2002) geht auf einige der Leistungen auf technischem Gebiet näher ein.

In einem Beitrag in der Festschrift zum 100. Geburtstag von Cuno Hoffmeister (Marx 1992) schildert Alfred Jensch selbst, wie er durch die von F. S. Archenhold in Berlin herausgegebene Zeitschrift »Weltall« auf die Sternwarte Sonneberg und die dort für begeisterte junge Leute offenen Möglichkeiten zur Mitarbeit aufmerksam wurde. So fand er sich bald eingebunden in eine, durch den Enthusiasmus C. Hoffmeisters geprägte, kleine Gruppe von Beobachtern. Der Beitrag in der Hoffmeister-Festschrift ist lesenswert, weil er Einblick in die Forschungsbegeisterung und Arbeitsintensität gibt, die für das Sonneberger Institut während Hoffmeisters Zeiten wohl immer typisch waren. Es ist überzeugend, wenn Jensch von »goldenen Jahren« spricht! Wie auch anderen Mitarbeitern am Institut, oblag ihm in klaren Nächten die Bedienung der »Himmelsüberwachung«, einer auf gemeinsamer Montierung angebrachten Batterie von Kameras kurzer Brennweite. Sie hielt jeweils ein beträchtliches Himmelsareal photographisch fest. Während der Zeiten zwischen den erforderlichen Plattenwechseln blieb Jensch nicht müßig, sondern nutzte einen 6-Zoll-Refraktor zum visuellen Schätzen interessanter und neu entdeckter Veränderlicher, so auch des kurz vorher durch Hoffmeister gefundenen Sternes 391.1934 Aquarii. Nur durch die von Jensch in schneller Zeitfolge direkt am Fernrohr durchgeführten Helligkeitsschätzungen gelang die Entdeckung der damals sensationell kurzen Periode des Veränderlichen. Selbstverständlich hat er den Stern in der Folgezeit intensiv weiterbearbeitet und die Ergebnisse in einer ganzen Zahl von Fachpublikationen niedergelegt.

Es sei schließlich hervorgehoben, dass Alfred Jensch für 30 Jahre, unterbrochen nur während seines Kriegseinsatzes und der Gefangenschaft, die Leitung der »Volkssternwarte Urania Jena e.V.« inne hatte und später zu deren Ehrenvorsitzendem wurde (Weise und Dorschner 1999). □

Ergänzungen und Hinweise zur Durchführung und Reduktion der Beobachtungen von CY Aquarii finden sich in: W. Pfau: CY Aquarii und die Lichtgeschwindigkeit: <http://www.astro.uni-jena.de/Users/pfau/index.html>

Literaturhinweise

- H. G. Beck:** Alfred-Jensch-Teleskop, Die Sterne **68**, 211 [1992].
A. Jensch: Ein neues Verfahren zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit, Kosmos **33**, 126 [4/1936a].
A. Jensch: Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit im Schulunterricht, Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften **42**, 253 [7/1936b].
S. Marx (Hrsg.): Cuno Hoffmeister, Festschrift zum 100. Geburtstag. Joh. Ambr. Barth, Leipzig 1992.

- J. M. Powell, M. D. Joner, D. H. McNamara:** Long-Term Period Variations of the SX Phoenicis Star CY Aquarii, Publ. Astron. Soc. Pacific **107**, 225 [1995].
J. Schirmer: CY Aquarii – Der schnelle Veränderliche, SuW 2/ 2001, S. 180.
M. Steinbach: In memoriam Alfred Jensch. F&M Mechatronik **110**, 14 (2002).
W. Weise, J. Dorschner: Die Volkssternwarte Urania in Jena, SuW 11/1999, S. 954.