

# Die Periode von CY Aquarii und der Dopplereffekt

von U. Backhaus, S. Bauer, E. Großkinsky, K.-H. Klapdohr, A. Knülle-Wenzel, J. Möllmanns, R. Schönecke

Über einen Zeitraum von fast zwei Jahren wurden die periodischen Helligkeitsschwankungen des Sterns CY Aquarii von einer Gruppe an Astronomie interessierter Physiklehrerinnen und -lehrer mit dem Monet-Teleskop in Texas remote beobachtet und daraus ein sehr genauer Wert für die Periodendauer abgeleitet.

Die beobachtbare scheinbare Periodendauer ändert sich im Laufe eines Jahres. Interpretiert man diese Variation als optischen Dopplereffekt, lässt sich aus den Beobachtungsdaten die Lichtgeschwindigkeit ableiten, ohne dass die genaue wahre Periodendauer des Sterns bekannt sein muss.

## Einleitung

Ausgangspunkt für die hier dargestellten Beobachtungen und Überlegungen war ein Aufsatz in der Zeitschrift „Sterne und Weltraum“ [2], in dem eine Gruppe von Schülern beschreibt, wie

sie, angeregt durch einen Aufsatz von Werner Pfau [3], durch Beobachtung des schnellen Lichtwechsels des Sterns CY Aquarii (im Folgenden als CY bezeichnet) zu einem eigenen Messwert für die Lichtgeschwindigkeit gekommen ist. Sie verwendete dabei das Verfah-

ren, mit dem Olaf Römer anhand der Verfinsterungen des Jupitermondes Io erstmals die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit nachwies.

Wir, die Gruppe *Astronomie und Internet im Ruhrgebiet* (AiR, <http://www.astronomie-und-internet.de>), waren bei Erscheinen des Aufsatzes gerade dabei, uns mit dem Nordteleskop des von der Krupp-Stiftung geförderten MONET-Projektes (<https://www.monet.uni-goettingen.de>) in die astronomische Fotometrie einzuarbeiten. Der Nachvollzug der Beobachtungen an CY bot uns nicht nur ein reizvolles Übungsfeld. Wir entwickelten darüber hinaus den Ehrgeiz, die angesichts der Breite der Helligkeitsmaxima von mehr als einer halben Stunde von *Cont et al.* erreichte beachtliche Genauigkeit bei der Bestimmung der Periode der Helligkeitsschwankungen zu übertreffen.

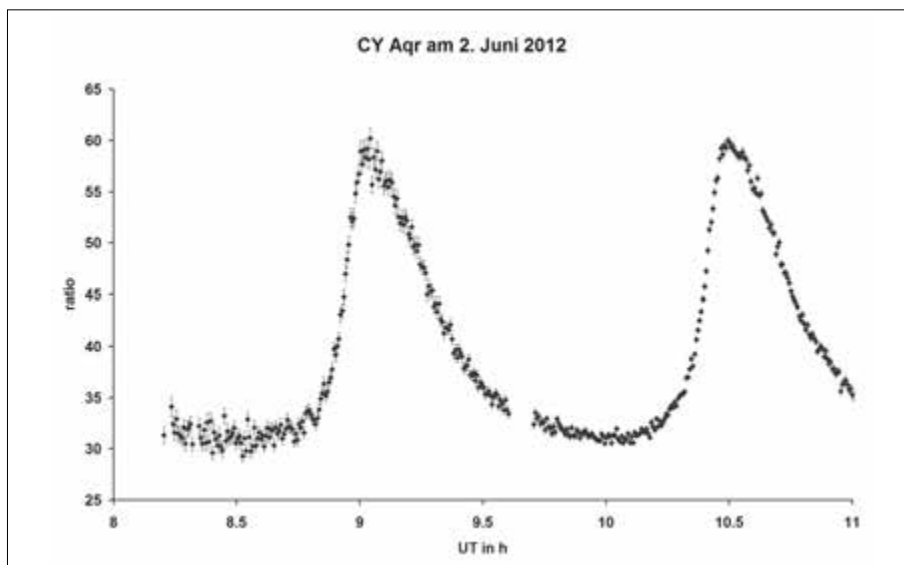
Da eine ausreichend genaue Bestimmung der *wahren* Periode des Sterns offensichtlich schwierig und langwierig ist, stellten wir uns eine weitere Frage: Lässt sich die aufgrund des Umlaufs der Erde um die Sonne und der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit um etwa  $\pm 0,5$  s variierende *scheinbare* Periode trotz der Breite der Helligkeitsmaxima nachweisen und aus der Variation die Lichtgeschwindigkeit berechnen, ohne den Absolutwert der Periodendauer kennen zu müssen?

## Messverfahren

Der Stern wurde zu den vorausberechneten Zeitpunkten mit dem Monet-Teleskop in Texas remote – von der Universität, von einer der beteiligten Schulen oder von zu Hause aus – etwa eine Stunde lang automatisch fotografiert. Die bei einer Belichtungszeit von 15 s im Abstand von etwa 25 s entstandenen Bilder (**Bild 1**) wurden mit dem frei verfügba-



1 Das 5'x5' große Bildfeld des Monet-Teleskops zeigt rechts von der Bildmitte den hellen Stern CY Aquarii. Der nächste Stern links davon ist der Vergleichssterne.



2 Helligkeitsverhältnisse am 2. Juni 2012 mit von *ImageJ* berechneten Fehlerintervallen. Die Fehlerbalken werden in den übrigen Bildern dieses Aufsatzes weggelassen.

ren Programm *ImageJ* in einen Stapel gepackt und bearbeitet:

- Abzug eines Dunkelbildes,
- Alignment (wegen der nicht perfekten Nachführung),
- Bestimmung des Helligkeitsverhältnisses<sup>1</sup> zwischen CY und dem Vergleichssterne für jedes Bild des Stapels mit Hilfe der im *Astronomy*-Tool eingebauten *Multiaperture*-Routine und schließlich
- Prüfung der entstandenen Messreihe anhand eines Helligkeitsdiagramms innerhalb von *ImageJ* und Abspeicherung gelungener Messreihen in einer für Tabellenkalkulationsprogramme lesbaren Form. (Die in den folgenden Bildern gezeigten Diagramme wurden mit Excel erstellt.)

**Bild 2** zeigt das Resultat einer durch Wetterbedingungen kaum gestörten Messreihe.

### Die Bestimmung der Periode von CY Aqr

Die von der Erde aus beobachtbare Periode weicht durch die Bewegung der Erde um die Sonne von der wahren Periode ab, weil das Licht eine endliche Zeit benötigt, um eine Botschaft – z. B. vom Auftreten eines Helligkeitsmaximums – vom Stern an die Erde zu übermitteln: Die gemessene Periode ist verlängert, wenn sich die Erde vom Stern entfernt, und verkürzt, wenn sich die Erde auf ihn zu bewegt. Die Unterschiede betragen

zwar maximal nur  $\pm 0,5$  s, aber die dadurch entstehende Unsicherheit ist viel zu groß, um mit einem Wert, der zu einer beliebigen Zeit im Jahr gemessen wurde, das Römer-Verfahren zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit (siehe [2]) durchführen zu können. Drei Auswege bieten sich an:

1. Man misst die Periode, wenn sich der Abstand zwischen Erde und Stern gerade nicht ändert. Das ist der Fall, wenn der Stern in Opposition zur Sonne steht.
2. Man bestimmt den Mittelwert aller Werte, die man im Laufe eines Jahres messen kann. Dabei mitteln sich die positiven und negativen Abweichungen heraus.
3. Man beobachtet Maxima in zwei aufeinander folgenden Jahren jeweils am selben Datum. Dann spielt die Lichtgeschwindigkeit keine Rolle, und man muss „nur“ noch den gemessenen Zeitabstand durch die Anzahl der inzwischen abgelaufenen Perioden (knapp 6000!) dividieren. Um diese Anzahl bestimmen zu können, braucht man allerdings schon einen sehr guten Schätzwert für die Periode.

CY Aquarii hat die geozentrische ekliptikalen Koordinaten  $\lambda_{CY} = 341,6^\circ$ ,  $\beta_{CY} = 9,45^\circ$ . Er steht in Opposition zur Sonne, wenn die Sonne ihm, von der Erde aus betrachtet, gegenübersteht, wenn also die ekliptikale Länge der Sonne  $\lambda_S = \lambda_{CY} - 180^\circ = 161,6^\circ$  ist. Das ist am 4. September der Fall.

Am 4. September 2010 konnten wir zwei aufeinander folgende Helligkeitsmaxima beobachten. Um den Zeitabstand der beiden Maxima möglichst genau zu bestimmen, passten wir Kurven 3. Grades an die Messwerte an (**Bild 3**) und berechneten deren Maxima. Damit erhielten wir einen ersten Schätzwert für die Periode:

$$\begin{aligned} jd_1 &= 2455443.875061 \\ jd_2 &= 2455443.936247 \Rightarrow \\ T_1 &= jd_2 - jd_1 = 0,061186d = 88 \text{ min } 06s. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Am 7. September konnten wir ein weiteres Helligkeitsmaximum beobachten.

$$jd_3 = 2455446.805870.$$

Die Zeitdifferenz  $jd_3 - jd_2 = 46,9T_1$  legte nahe, dass in der Zwischenzeit 47 Perioden abgelaufen waren, womit wir unseren zweiten Schätzwert erhielten:

$$T_2 = \frac{jd_3 - jd_2}{47} = 1.465339h = 87 \text{ min } 55s.$$

Diese Annahme wurde durch unser viertes, am 11. September beobachtetes Maximum

$$jd_4 = 2455450.834733 \Rightarrow jd_4 - jd_2 = 112,99T_2$$

bestätigt, sodass wir unseren Schätzwert weiter verbessern konnten:

$$T_3 = (jd_4 - jd_2) / 113 = 1.465165h = 87 \text{ min } 54,6s.$$

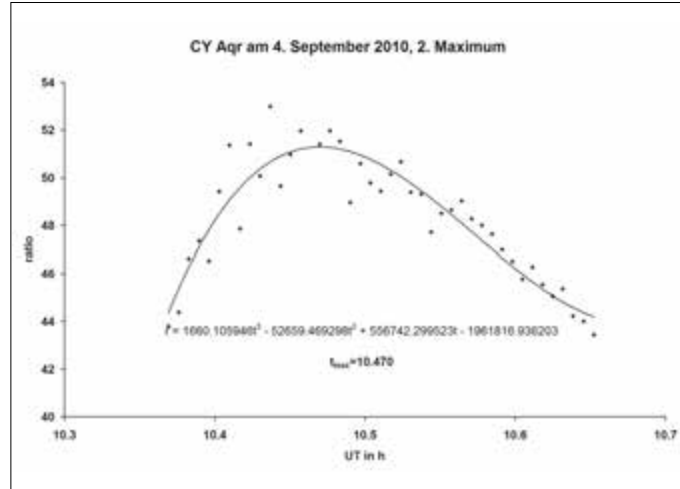
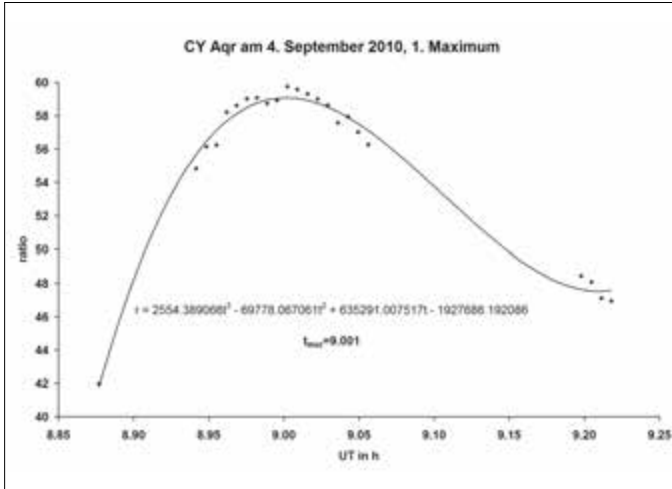
Im Verlauf unserer Untersuchungen bewährte sich eine weitere, grafische Methode zur Messung der Periode. Sie besteht darin, die Zeitpunkte  $t_i$  der Messungen als Vielfache  $t'_i$  einer zu variierenden Periode  $T_{var}$  zu berechnen,

$$t'_i = \frac{t_i - t_0}{T_{var}},$$

wobei  $t_0$  ein willkürlich gewählter Startzeitpunkt ist, und die gemessenen Helligkeitswerte über dem jeweiligen Rest  $p_i$  der „relativen Phase“, darzustellen:

$$p_i = t'_i - \text{GANZZAHL}(t'_i).$$

Dann kann der Wert  $T_{var}$  nach Augenmaß so justiert werden, dass die Helligkeitskurven möglichst gut übereinanderliegen (**Bild 4, 3. Umschlagseite**). Besonders anschaulich und einfach gelingt das mit einem Tabellenkalkulationsprogramm, das „Schieber“ (in Excel: Bildlaufleisten) zur Verfügung stellt.



3 Bestimmung der Zeitpunkte für die am 4. September 2010 gemessenen Helligkeitsmaxima durch Anpassung von Kurven 3. Grades

Mit dieser Methode kann auch die Periode von  $\delta$  Cephei [5] sehr genau bestimmt werden.

Auf diese Weise erhielten wir als bestes Ergebnis aus unseren Messungen im September 2010 den 4. Näherungswert zu

$$T_{Sept} = T_4 = 1.465019h = 87min54.07s. (1.2)$$

Um zu einem noch genaueren Messwert zu gelangen, haben wir während der folgenden Opposition, am 3. September 2011, ein weiteres Helligkeitsmaximum beobachtet und den Zeitpunkt seines Auftretens bestimmt:

$$jd_5 = 2455807.847227.$$

Dabei erwies sich noch einmal unser bis dahin bester Wert  $T_4$  für die Periode als nicht gut genug, um entscheiden zu können, wie viele Perioden der Stern seit dem 4. September 2010 in der Zwischenzeit  $\Delta t$  durchlaufen hatte,

$$\Delta t = jd_5 - jd_1 = 8735.339952h = 5962.6T_4,$$

sodass die Unsicherheit unseres Messergebnisses immer noch etwa eine Sekunde betrug:

$$T_5' = \Delta t / 5962 \approx 87min54.6s$$

$$T_5'' = \Delta t / 5963 \approx 87min53.7s.$$

Eine Entscheidung konnten wir erst erzielen, indem wir eine weitere Messung vom 2. Oktober 2010 heranzogen und die Faltungsmethode erneut anwendeten (**Bild 5, 3. Umschlagseite**): Offensichtlich ist die Übereinstimmung für 5963 Perioden, die zu  $T_5''$  führt, deutlich besser.

$T_5 = \Delta t / 5963 = 1.464922h = 87min53.72s$ . Unseren besten Wert haben wir schließlich erhalten, indem wir die Helligkeitsmaxima vom 4.9.2010 und 3.9.2011 mit  $T_5$  gefaltet und mit einer kleinen Korrektur an  $T_5$  die Übereinstimmung zwischen den beiden Kurven optimiert haben (**Bild 6, 3. Umschlagseite**). Dadurch erhielten wir als besten Wert für die Periode:

$$T_{CY} = 1.464920h = 87min53.711s. (1.3)$$

### Die Variation der scheinbaren Periodendauer

Interpretiert man die Variation der beobachtbaren Periode  $T$  als Ergebnis des Dopplereffektes, dann lässt sie sich beschreiben durch

$$T = T_0 \frac{1 - \beta \cos \varphi}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Dabei sind  $T_0$  die wahre Periode,  $\beta = \frac{v_{Erde}}{c}$  und  $\varphi$  der Winkel zwischen der Bewegungsrichtung der Erde und der Richtung zum Stern. An zwei verschiedenen Stellen der Erdbahn misst man also unterschiedliche Perioden  $T_1$  und  $T_2$ , für deren Verhältnis gilt:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{1 - \beta_2 \cos \varphi_2}{1 - \beta_1 \cos \varphi_1} \sqrt{\frac{1 - \beta_1^2}{1 - \beta_2^2}}.$$

Wegen  $\beta_i^2 \ll 1$  kann der Wurzelausdruck vernachlässigt werden. Setzt man  $\beta_i = \frac{v_{Erde}}{c} = \gamma_i \beta$  mit der mittleren Geschwindigkeit der Erde  $v_{Erde}$ , dann wird daraus

$$\alpha = \frac{T_2}{T_1} = \frac{1 - \gamma_2 \beta \cos \varphi_2}{\gamma_1 \beta \cos \varphi_1} \Rightarrow \beta = \frac{\alpha - 1}{\gamma \alpha \cos \varphi_1 - \gamma_1 \cos \varphi_2}.$$

Wegen der sehr kleinen Exzentrizität e der Erdbahn ändert sich die Bahn-

geschwindigkeit der Erde so wenig ( $1 - e \leq \gamma_i \leq 1 + e$ ), dass der Einfluss dieser Variation weit unterhalb der von uns erzielbaren Genauigkeit ist ( $\gamma_1 \approx \gamma_2 \approx 1$ ). Wir verwenden deshalb im Folgenden die einfachere Beziehung ( $v_{Erde} = 29.87 \frac{km}{s}$ , die mittlere Bahngeschwindigkeit der Erde)

$$\beta = \frac{\alpha - 1}{\alpha \cos \varphi_1 - \cos \varphi_2} \Rightarrow c = \frac{v_{Erde}}{\beta} = \frac{v_{Erde}}{\alpha - 1} (\alpha \cos \varphi_1 - \cos \varphi_2). (1.4)$$

An dieser Beziehung ist bemerkenswert, dass sie erlaubt,  $\beta$  und damit die Lichtgeschwindigkeit zu bestimmen, ohne die wahre Periode des Sterns zu kennen.<sup>2</sup> Allerdings erfordert das eine hohe Genauigkeit bei der Messung der scheinbaren Perioden  $T_i$ , die sich maximal um etwa eine Sekunde unterscheiden. Die größte Periode kann am 4. Dezember gemessen werden, wenn sich die Erde vom Stern wegbewegt ( $\cos \varphi \approx -1$ ). Die Periode ist am kürzesten, wenn sich die Erde am 2. Juni auf den Stern zubewegt ( $\cos \varphi \approx 1$ ).

Aus der Registrierung zweier Helligkeitsmaxima am 9. und 19. Dezember 2010 leiteten wir ab durch Faltung eine Periode von

$$T_{Dez} = 1,465069 h = 87 min 54,25 s. (1.5)$$

Mit diesem Wert haben wir versuchsweise die Lichtgeschwindigkeit bestimmt, indem wir ihn mit der Periode im September verglichen, für die wir den wahren Wert (3) verwendeten:

$$\alpha = \frac{T_{Dez}}{T_{CY}} = 1.00010122.$$

Nimmt man dann näherungsweise  $\varphi_1 = 90^\circ$  und  $\varphi_2 = 180^\circ$  an, dann vereinfacht sich (4) zu

$$c = \frac{v_{\text{Erde}}}{\alpha - 1} = 292000 \frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

Um dieses Ergebnis zu erhalten, mussten wir jedoch – entgegen unserer Zielsetzung! – den genauen Wert der wahren Periode verwenden.

Um die Lichtgeschwindigkeit mit Hilfe des Dopplereffektes und *ohne Verwendung der wahren Periode des Sterns* zu bestimmen,<sup>3</sup> wollten wir im Juni des folgenden Jahres erneut die scheinbare Periode von CY Aqr bestimmen, weil der sich zwischen Juni und Dezember ergebende etwa doppelt so große Wert für  $1-\alpha$  weniger empfindlich auf Messfehler reagiert, sodass auch ohne die Kenntnis der wahren Periodenlänge ein befriedigender Wert für die Lichtgeschwindigkeit erzielbar sein sollte. Leider war es wegen technischer Probleme in Texas erst ein weiteres Jahr später möglich, die Periodenlänge aus Beobachtungen am 2., 4. und 5. Juni 2012 abzuleiten.

Durch Faltung der unter teilweise ungünstigen Wetterbedingungen erhaltenen Messkurven (**Bild 7, 3. Umschlagseite**) erhielten wir den folgenden Wert für die Juni-Periode:

$$T_{\text{Jun}} = 1,464775 \text{ h} = 87 \text{ min } 53,19 \text{ s}. \quad (1.6)$$

Kombiniert man diesen Wert mit der Dezember-Periode  $T_{\text{Dez}}$  (5), ergibt sich das Periodenverhältnis zu

$$\alpha = \frac{T_{\text{Dez}}}{T_{\text{Jun}}} = 1.00020102.$$

Mit diesem Wert soll nun Gleichung (4) mit zunehmender Genauigkeit ausgewertet werden:

Vernachlässigung der ekliptikalen Breite von CY und Annahme idealisierter Winkel und Zeitpunkte ( $\varphi_1 = 0^\circ$  und  $\varphi_2 = 180^\circ$ ):

$$c = v_{\text{Erde}} \frac{\alpha + 1}{\alpha - 1} = 297000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Annahme idealisierter Zeitpunkte, aber Berücksichtigung der ekliptikalen Breite von CY ( $\varphi_1 = \beta_{\text{CY}}, 0^\circ$  und  $\varphi_2 = 180^\circ - \beta_{\text{CY}}$ ):

$$c = v_{\text{Erde}} \cos \beta_{\text{CY}} \frac{\alpha + 1}{\alpha - 1} = 293000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Berücksichtigung der ekliptikalen Breite  $\beta_{\text{CY}}$  und der korrekten Bewegungsrichtungen der Erde<sup>4</sup> ( $\varphi_1 = 9,48^\circ$ ,  $\varphi_2 = 166^\circ$ ):

$$c = \frac{v_{\text{Erde}}}{\alpha - 1} (\alpha \cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) = 291000 \frac{\text{km}}{\text{s}} \quad (1.7)$$

## Fazit

Es ist uns gelungen, die Periode von CY Aquarii auf etwa 0,01 s genau zu messen. Unser Ergebnis

$$T_{\text{CY}} = 87 \text{ min } 53,711 \text{ s} \pm 0,01 \text{ s}$$

stimmt genau mit dem von Fu et al. [4] angegebenen Wert überein. Für diesen Erfolg waren allerdings Messungen über einen Zeitraum von 12 Monaten erforderlich. Aber bereits der innerhalb von 7 Tagen gemessene Wert (4.9.–11.9.2010, siehe (2)) weicht nur um weniger als eine halbe Sekunde vom korrekten Wert ab. *Das ist allerdings zu viel, um nach der Römer-Methode zu einem befriedigenden Ergebnis für die Lichtgeschwindigkeit zu kommen.*

Als wir die Verzögerung zwischen den September- und den Dezember-Maxima mit der aus den Messungen im September 2010 abgeleiteten „wahren“ Periode  $T_{\text{Sept}}$  (2) von CY berechneten, ergaben sich unsinnige Werte für die Lichtgeschwindigkeit. Ganz anders mit der im Laufe eines Jahres endgültig bestimmten Periode  $T_{\text{CY}}$ : Durch Kombination aller Maximumzeitpunkte von September 2010 mit denen aus Dezember 2010 erhielten wir den folgenden Wert für die Lichtgeschwindigkeit:

$$c = 290000 \frac{\text{km}}{\text{s}} \pm 7\% \quad (\text{nach Römer-Methode}).$$

Darüber hinaus ist es uns gelungen, die Lichtgeschwindigkeit zu bestimmen, ohne den Wert der wahren Periodenlänge zu verwenden. Dabei haben wir ausgenutzt, dass man nur das Verhältnis der zu verschiedenen Zeiten im Jahr gemessenen Periodenlängen bestimmen muss (siehe Gleichung (4)), wenn man die Variation der Periodenlänge im Laufe eines Jahres als Ergebnis des optischen Dopplereffektes interpretiert. In das Ergebnis (7)

$$c = 291000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

sind nur die von uns im Dezember 2010 (5) und Juni 2012 (6) gemessenen Periodenlängen eingeflossen, die sich um etwa eine Sekunde unterscheiden.

Wir müssen allerdings zugeben, dass wir bei der guten Übereinstimmung unseres Ergebnisses mit dem richtigen Wert der Lichtgeschwindigkeit auch etwas Glück hatten, da unsere Periodenwerte natürlich mit Unsicherheitsintervallen behaftet sind. Die wesentlichen Ursachen dafür sind

- individuelle Unterschiede beim Auswerten der Originalbilder,
- die mit Messfehlern behafteten Helligkeitswerte (siehe z. B. Bild 2) und
- Unsicherheiten beim Aufsuchen der optimalen Faltung.

Wir haben die Unsicherheit dadurch abgeschätzt, dass wir unabhängig voneinander die jeweils optimale Faltung für die Dezember- und die Juni-Werte mit einem Schieber in den Excel-Tabellen eingestellt haben. Unsere Ergebnisse unterschieden sich um etwa  $\pm 0,03$  s. Wir geben unser Messergebnis deshalb folgendermaßen an:<sup>5</sup>

$$c = 291000 \frac{\text{km}}{\text{s}} \pm 5\% \quad (\text{nach Doppler-Methode}).$$

Im Rahmen unseres Projektes *Planetfinders*<sup>6</sup> beobachten wir die gegenseitigen Bedeckungen enger Doppelsterne und versuchen, durch Aufspüren von Variationen in den Periodenlängen Hinweise auf extrasolare Planeten zu finden. Wenn einer der beiden Sterne ein Weißer Zwerg ist, sind die Flanken der Bedeckungsminima extrem steil (siehe z. B. den Stern CSS 080502 in [1]). Die Bedeckungsperiode des Sterns kann dann sehr viel genauer gemessen und die Lichtgeschwindigkeit genauer bestimmt werden.<sup>7</sup> Der große Vorteil von CY Aquarii besteht in seiner großen Helligkeit (10,6 bis 11,3 mag), die Messungen an ihm auch mit Amateur- und Schulteleskopen möglich macht.

Wir danken der Krupp-Stiftung für die Finanzierung des Monet-Projekts und seiner Teleskope und *Frederic V. Hessman, Tim-Oliver Husser* und *Klaus Beuermann* vom Astrophysikalischen Institut der Universität Göttingen für vielseitige technische und astronomische Unterstützung bei der Gewinnung und Bearbeitung der Aufnahmen. Außerdem sind wir *C. Wiedemair* und seinen Schülern [2] dankbar, dass sie uns auf CY Aquarii aufmerksam gemacht und zu unseren Messungen angeregt haben.

### Anmerkungen

1 Dieses wird von *ImageJ* berechnet aus den in Kreisen voreingestellter Größe um CY und Vergleichsstern gemessenen Pixelwerten, die ein Maß für die auftretenden Energieflüsse  $I_{cy}$  und  $I_{st}$  sind. Die Umrechnung in den Unterschied  $\Delta m$  zwischen der (konstanten) Helligkeit des Vergleichssterne und der von CY ist einfach:  $\Delta m = 2,5 \log_{10}(\text{ratio})$ .

2 Dabei setzen wir voraus, dass der Abstand Erde-Sonne und damit die Bahngeschwindigkeit der Erde bekannt ist. Umgekehrt ist es mit dieser Beziehung möglich, die Astronomische Einheit zu bestimmen, wenn die Lichtgeschwindigkeit bereits bekannt ist.

3 Die Abweichung des Septemberwertes (2) vom wahren Wert ( $\approx 0,3$  s) ist in derselben Größenordnung wie der aufgrund des Dopplereffektes zu erwartende Effekt ( $\approx 0,5$  s).

4 Sie lassen sich aus den geozentrisch ekliptikalen Koordinaten der Sonne zu Beginn und am Ende des Messintervalls berechnen.

5 Bei Vergrößerung des Messfehlers auf  $\pm 0,05$  s vergrößert sich die Unsicherheit auf  $\pm 10\%$ .

6 <http://www.astronomie-und-internet.de/PlanetFinders.html>

7 Siehe z. B. die Praktikumsaufgabe DP Leonis und die Lichtgeschwindigkeit (<http://www.astronomie-und-internet.de/docs/DPLeo-AufgabeV2.pdf>)

### Literatur

[1] Backhaus, U. et al. (2012): The quest for companions to post-common envelope binaries – I. Searching a sample of stars from the CSS and SDSS. In: *Astronomy & Astrophysics* 538, A84

[2] Cont, D.; Wiedemair, C. (2010): Schüler bestimmen die Lichtgeschwindigkeit. In: *Sterne und Weltraum* 49/9, 74

[3] Pfau, W. (2004): Der Stern CY Aquarii und die Lichtgeschwindigkeit. In: *Sterne und Weltraum* 43/3, 60

[4] Fu, J. N.; Sterken, C. (2003): Long-term variability of the SX Phoenicis star CY Aquarii. In: *Astronomy & Astrophysics* 405, 685

(<http://www.physics.hmc.edu/faculty/esin/a101/labs/fusterken.pdf>)

[5] Vollmann, W. (2015): Veränderliche am PC beobachten. Das Delta-Cephei-Projekt. In: *Sterne und Weltraum* 54/7, 72; vgl. [http://members.aon.at/wolfgang.vollmann/delta\\_cephei\\_projekt.htm](http://members.aon.at/wolfgang.vollmann/delta_cephei_projekt.htm)

Alle Bilder und Auswertungstabellen sind über die AiR-Homepage unter <http://www.astronomie-und-internet.de/photometrymonet.html> herunterzuladen.

Anschrift der Verf. c/o:

**Prof. Dr. Udo Backhaus**

Fakultät für Physik der Universität Duisburg-Essen

Campus Essen, Didaktik der Physik

45117 Essen

E-Mail: [udo.backhaus@uni-due.de](mailto:udo.backhaus@uni-due.de)

## Magazin

### Eine historische Notiz zur Beobachtung veränderlicher Sterne

Die Erforschung veränderlicher Sterne begann erst recht spät – eigentlich erst mit der Begründung exakter fotometrischer Verfahren und mit der Entwicklung der Astrophysik. Noch 1786 waren erst 12 dieser Objekte bekannt [1].

Die alte Astronomie konnte mit Sternen, deren Licht veränderlich ist, nichts anfangen. Novae und Supernovae wurden, wie auch Kometen als Objekte der Erdatmosphäre angesehen – war doch der Kosmos der Bereich des Unveränderlichen, Vollkommenen, Göttlichen. So finden wir zu veränderlichen Sternen nichts in den Büchern zur Astronomie. Dennoch mussten einige Sterne mit deutlichem Lichtwechsel aufgefallen sein, genannt seien nur Algol ( $\beta$  Peer) mit einer Amplitude und Periode von  $2,2-3,5^m/2,9^d$  und  $\alpha$  Ceti mit  $2,0-10,1^m/332^d$ . Für  $\alpha$  Ceti könnte der Beiname ein Hinweis sein: Mira Ceti, die „Wunderbare“ im Sternbild des Walfisches. Warum „wunderbar“? Doch sicher wegen des merkwürdigen Lichtwechsels.

Und Algol? Hier könnte die Sterbildmythologie eine Lösung bieten. Algol gehört zum Sternbild des *Perseus*, benannt nach dem aus der griechischen Mythologie bekannten Helden. Er hatte die grausame *Gorgo Medusa* besiegt, ihr den Kopf abgeschlagen. Die *Gorgo* war so hässlich, dass jeder, der sie zu Ge-

sicht bekam, sofort zu Stein erstarrte. *Perseus* konnte sie nur mit einem Trick besiegen. Er fand sie im Spiegelbild seines Schildes, das offenbar nicht sehr scharf war und führte den tödlichen Streich. Um sie nicht doch irrtümlich anzuschauen, tat er ihren Kopf gleich in einen Sack, den er rasch bei der Hand hatte. Mit nur wenig Phantasie könnte man sich diese Geschichte mit dem Algol zusammendenken, der im Sternbild genau die Position der *Gorgo Medusa* einnimmt. Ein veränderlicher Stern schien irgendwie nicht geheuer. Denn nach astrologischer Vorstellung haben die Sterne etwas zu bedeuten; und was bedeutet diese Helligkeitsschwankung, fast einmalig am Himmel? So ein Blinken wirkte doch recht ungeheuerlich, bedrohlich, verwunderlich.

Wie auch immer. Eine Verbindung zwischen der veränderlichen Helligkeit des Algol und der schrecklichen *Gorgo Medusa* liegt nahe. Der Himmel wurde aufmerksam beobachtet und die Menschen machten sich über das dort Entdeckte so ihre Gedanken.

Jürgen Hamel

### Literatur

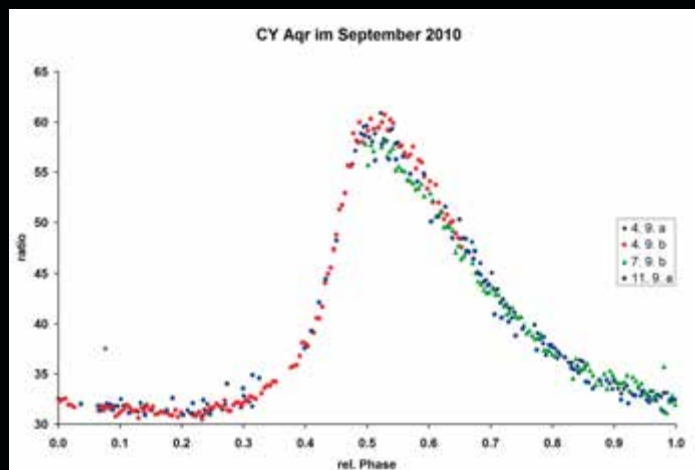
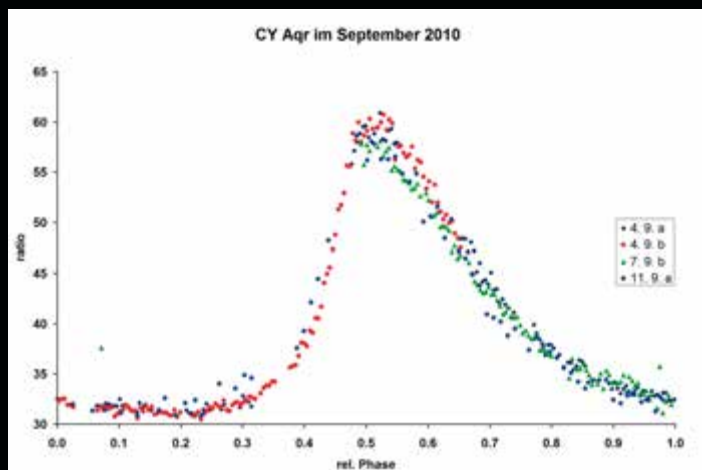
[1] Herrmann, D. B.: The history of astronomy from Herschel to Hertzprung. Cambridge Univ. Press 1984, S. 107–111

[2] Hamel, J.: *Textos Astrónomicos*. Madrid 2000

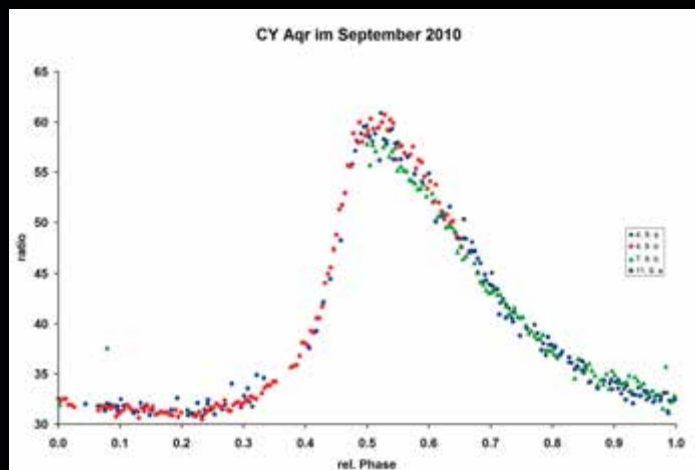
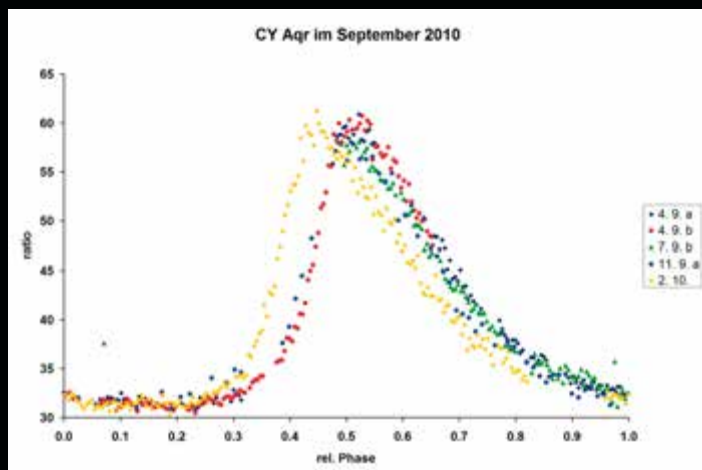


1 Das Sternbild des Perseus in einer Miniatur aus dem 14. Jahrhundert [2].

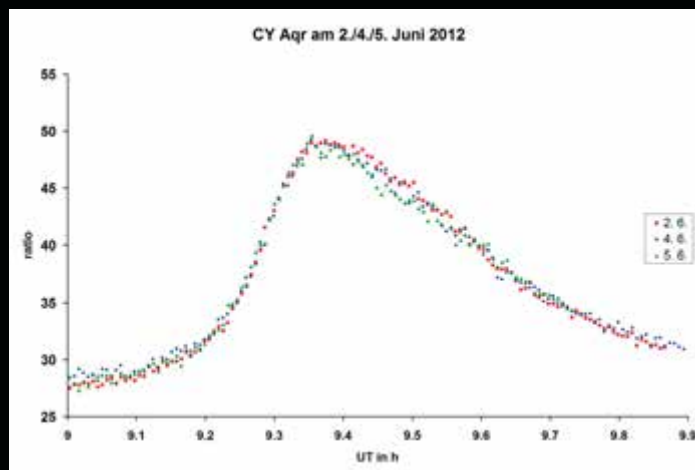
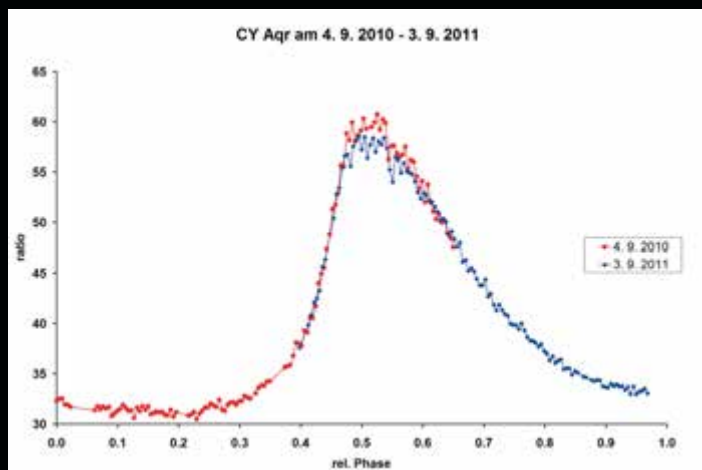
# Zum Beitrag auf S. 35



4 Bestimmung der Periodendauer durch Faltung am Beispiel der September-Messungen; links mit  $T_2$ , rechts die beste erzielte Überlagerung mit  $T_{Sept}$



5 Vergleich der Faltungsergebnisse für die Messungen zwischen 4. September und 2. Oktober mit den Perioden  $T_5'$  und  $T_5''$



6 Optimale Faltung zweier Helligkeitsmaxima für zwei aufeinander folgende Oppositionen von CY Aqr

7 Faltung der Messungen im Juni 2012 mit der Periode  $T_6 = 1,464775$  h