



Der Physiklehrer Christof Wiedemair (links) widmet sich gemeinsam mit seinen Schülern Brenda Zoderer, Elisabeth Moritz, Maria Lena Campej, David Cont und Florian Peintner am Realgymnasium Bruneck astronomischen Projekten.

Astro-Projektgruppe Realgymnasium Bruneck

Schüler bestimmen die Lichtgeschwindigkeit

Mit einem Amateurteleskop und einer CCD-Kamera bestimmte die Astrogruppe eines Realgymnasiums in Südtirol die Lichtgeschwindigkeit. Dabei wandten die Schüler eine Methode an, die der Astronom und Optikkonstrukteur Alfred Jensch in den 1930er Jahren erdachte. Er schlug vor, den regelmäßigen Lichtwechsel des veränderlichen Sterns CY im Sternbild Wassermann als »kosmische Uhr« zu nutzen.

Von David Cont und Christof Wiedemair

Ein kleines Teleskop, eine Digitalkamera und viel Ausdauer – dies sind die Voraussetzungen, um die Lichtgeschwindigkeit bestimmen zu können und damit auf den Spuren berühmter Forscher zu wandeln. Doch wie genau lässt sich die fundamentale Naturkonstante mit derart einfachen Mitteln messen? Dieser Frage widmeten wir uns – die Astro-Projektgruppe von fünf Schülern des Realgymnasiums in Bruneck in Südtirol – gemeinsam mit unserem Physiklehrer. Die Grundlage für dieses Projekt

bot ein im Jahr 2004 in »Sterne und Weltraum« erschienener Beitrag mit didaktischem Zusatzmaterial auf der Website des Projekts »Wissenschaft in die Schulen!«.

Einen frühen Versuch, Aussagen über die Lichtgeschwindigkeit zu gewinnen, unternahm Ole Römer (1644–1710). Im Jahr 1675 wies der dänische Astronom nach, dass sich das Licht mit einer endlichen Geschwindigkeit ausbreitet. Dazu beobachtete er gegenseitige Bedeckungen des Planeten Jupiter und seines innersten Monats

Io. Die vorausgerechneten Zeitpunkte der Bedeckungen wichen systematisch von den beobachteten Zeitpunkten ab. Da Io seinen Mutterplaneten mit konstanter Periode umläuft, ähnlich den Zeigern einer Uhr, schloss Römer, dass den ermittelten Zeitunterschieden Differenzen in der Entfernung Erde-Jupiter entsprechen müssen. Somit konnte sich das von Io und Jupiter zur Erde gelangende Licht nicht mit unendlicher Geschwindigkeit ausbreiten, sondern musste einen endlichen Wert aufweisen.

Römer ermittelte aus seinen Beobachtungen, dass das Licht für eine Distanz, die dem Erdbahndurchmesser entspricht, rund 22 Minuten benötigt. Aus diesem Wert berechnete der niederländische Astronom Christian Huygens (1629–1695) im Jahr 1678 eine Lichtgeschwindigkeit von 212 000 Kilometern pro Sekunde, was um rund dreißig Prozent geringer ist als der moderne Wert. Dieser aus heutiger Sicht groß erscheinende Fehler beruhte darauf, dass die Entfernungen im Sonnensystem damals nicht hinreichend genau bekannt waren.

Die Grundidee für das von uns durchgeführte Projekt ähnelt der Methode Römers. Doch während Römer den Jupitermond Io als genau gehende Uhr in weiter Ferne nutzte, wies ein Forscher des 20. Jahrhunderts diese Rolle einem veränderlichen Stern mit periodischem Lichtwechsel zu. Es war der Astronom und Konstrukteur Alfred Jensch (1912–2001). Er arbeitete an der Sternwarte Sonneberg in Thüringen mit dem Veränderlichenbeobachter Cuno Hoffmeister (1892–1968) zusammen und entwarf später in Jena professionelle optische Systeme. In den 1930er Jahren erkannte Jensch, dass sich Beobachtungen der Helligkeitsschwankungen des veränderlichen Sterns CY Aquarii im Sternbild Wassermann dazu eignen, die Lichtgeschwindigkeit zu bestimmen. Dieser Stern zeichnet sich durch eine konstante und außerordentlich kurze Periodendauer von rund 88 Minuten aus (siehe Infokasten rechts). Somit lässt sich seine gesamte Lichtkurve im Laufe eines Abends beobachten.

Ein weiterer Vorteil ist die niedrige ekliptikale Breite des Sterns: Ein hypothetischer Beobachter auf der Sonne sähe aufeinanderfolgende Helligkeitsmaxima von CY Aquarii in konstanten Zeitabständen von rund 88 Minuten. Ein irdischer Beobachter registriert jedoch im Laufe eines Jahres unterschiedlich lange Perioden, die um den wahren Wert schwanken, denn wegen der ekliptikalen Breite von nur rund zehn Grad wirkt sich die Bewegung der Erde um die Sonne auf das Ergebnis aus. Sie führt zu veränderlichen Laufzeiten des Lichts vom Stern zur Erde. Alfred Jensch zeigte, wie sich aus dem Unterschied zwischen den Lichtlaufzeiten Stern–Erde und Stern–Sonne die Lichtgeschwindigkeit berechnen lässt (siehe Infokasten »Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit nach Alfred Jensch« auf der folgenden Seite).

CY Aquarii – die kosmische Uhr im Wassermann

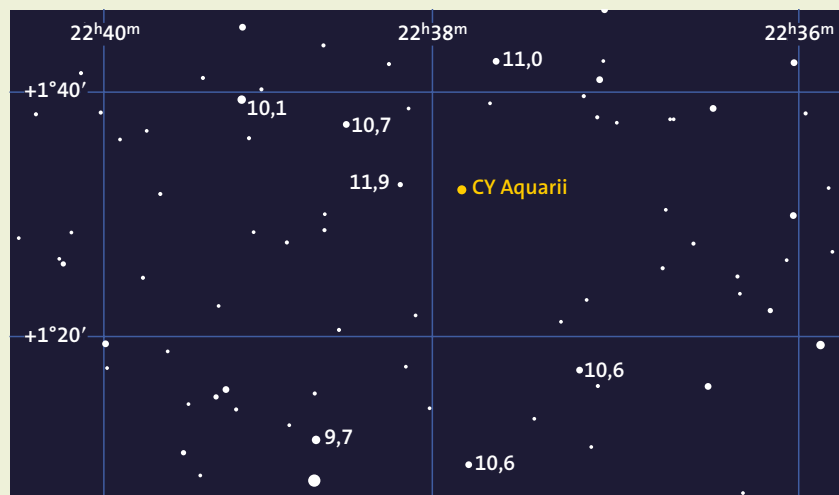
CY Aquarii befindet sich im Sternbild Wassermann und wird den SX-Phoenicis-Sternen zugerechnet. Diese pulsierenden Veränderlichen fallen allesamt durch ihre hohe zeitliche Variabilität der Lichtintensität auf. Die Helligkeit von CY Aquarii schwankt periodisch innerhalb von rund 88 Minuten zwischen 10,4 und 11,2 mag. Anfang September ist der Stern die ganze Nacht über zu sehen. In dieser Zeit erreicht er um Mitternacht seinen höchsten Stand. In den folgenden Monaten bis Dezember, die wir zur Beobachtung nutzten, steht CY Aquarii in den Stunden vor Mitternacht über dem Horizont.

Steckbrief von CY Aquarii

| | | |
|-------------------------|--|--|
| Äquatoriale Koordinaten | α (2000) = 22 ^h 37 ^m 47 ^s .2 | δ (2000) = +1°32'07" |
| Ekliptikale Koordinaten | $\zeta_{\text{Stern}} = 341^{\circ}36'$ | $\zeta_{\text{Stern}} = +9^{\circ}27'$ |
| Scheinbare Helligkeit | 10,4 – 11,2 mag | |
| Periode | 0,061038612 Tage | |
| Absolute Helligkeit | 2,6 mag | |
| Spektraltyp | variabel von A2 bis F2 | |
| Effektive Temperatur | 6680 – 8320 Kelvin | |



Ernst E. von Voigt / SuW-Grafik



SuW-Grafik

Mit einem Aufsatz in »Sterne und Weltraum« erinnerte der Jenaer Astronom Werner Pfau im Jahr 2004 an diesen Vorschlag Jenschs und verfasste dazu eine praktische Anleitung, die auf der Website des Projekts »Wissenschaft in die Schulen« verfügbar ist. Unserer Recherche zufolge scheint außer uns noch keine Schülergruppe dieses Projekt durchgeführt zu haben.

Wann und wie beobachten?

Zu ermitteln sind die Zeiten der Helligkeitsmaxima von CY Aquarii. Dass das vom Stern ausgesandte Licht rund 1300 Jahre bis zur Sonne unterwegs war, merkt man diesen Messungen nicht an. Gänzlich anders verhält es sich jedoch mit den Entfernungsunterschieden, die durch die Bahnbewegung der Erde entstehen. Im September befindet sich die Erde auf ihrer Bahn zwischen der Sonne und CY Aquarii. Beobachtet man nun CY Aquarii während dieser Oppositionsstellung und nochmals im darauffolgenden Dezember, so hat die Erde ihren Abstand zum Stern in dieser Zeitspanne um mehr als eine Astronomische Einheit erhöht (siehe Bild rechts unten).

Ein Beobachter, der im September den Zeitpunkt eines Maximums und die Periodendauer sehr genau ermittelt und daraus durch einfaches Hinzuzählen von ganzzahligen Vielfachen der Periodendauer ein Maximum im Dezember vorhersagt, würde im Dezember eine Verspätung des Maximums registrieren, da das Licht des Sterns noch die inzwischen hinzugekommene Astronomische Einheit durchlaufen muss. In dieser Verspätung verbirgt sich folglich auch die gesuchte Lichtgeschwindigkeit.

Theoretisch wäre die Verspätung zur Zeit der Konjunktionsstellung von CY Aquarii Anfang März mit 16 Minuten am größten. Jedoch befindet sich der Stern dann nahe der Sonne am Taghimmel und lässt sich somit nicht beobachten. Während des nächsten halben Jahres nach der Konjunktionsstellung wird die Verspätung wieder abgebaut, so dass im September des Folgejahres die vorhergesagten Maximumszeiten wieder stimmen.

Da sich CY Aquarii im Raum relativ zur Sonne bewegt, stellt sich nun die Frage, ob diese Relativbewegung die geringe Bewegung der Erde nicht überdeckt. Die Relativbewegung führt zwar zu einer Abweichung der gemessenen heliozentrischen

Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit nach Alfred Jensch



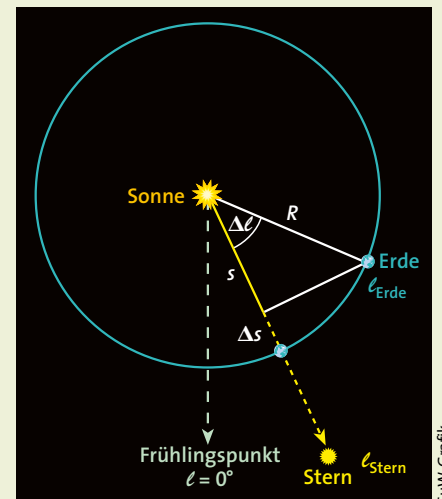
W. Högner/Thüringer Landessternwarte

Der Astronom und Teleskopkonstrukteur Alfred Jensch erkannte in den 1930er Jahren, dass die Beobachtung des Lichtwechsels des veränderlichen Sterns CY Aquarii zu unterschiedlichen Zeiten des Jahres die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit ermöglicht. Je nach Position der Erde auf ihrer Bahn um die Sonne ergeben sich für die von CY Aquarii kommenden Lichtstrahlen unterschiedlich lange Wege zum Beobachter.

Die Skizze rechts stellt die Situation vereinfacht dar: Die Erdbahn wird als Kreis mit Radius R angenommen, und der Stern möge sich innerhalb der Erdbahnebene ($\ell_{\text{Stern}} = 0^\circ$) bei der ekliptikalen Länge ℓ_{Stern} befinden. Der Lichtwechsel des Sterns wird zu zwei Zeitpunkten beobachtet, zu denen sich die Erde bei der ekliptikalen Länge ℓ_{Stern} beziehungsweise ℓ_{Erde} befindet.

Ein hypothetischer Beobachter am Ort der Sonne, der durch regelmäßige Helligkeitsschätzungen von CY Aquarii die Zeiten der Helligkeitsmaxima des Sterns ermittelt, sähe den Lichtwechsel des Sterns als eine Folge von Maxima mit konstantem Zeitabstand. Würde er die Zeiten der beobachteten Maxima in Abhängigkeit vom Datum auftragen, wie im Diagramm rechts unten dargestellt, so erhielte er die dort eingezeichnete Gerade.

Einem Beobachter auf der Erde stellt sich die Situation jedoch anders dar. Abhängig von der Position der Erde auf ihrer Bahn registriert er die Helligkeitsmaxima früher oder später als der hypothetische Beobachter am Ort der Sonne. Als Ergebnis erhielte er die im Diagramm skizzierte Kurve. Ihre Amplitude von 499



SuW-Grafik

Periode des Lichtwechsels von der intrinsischen Periode des Sterns, sie ändert aber nichts an ihrer Konstanz, solange die Relativgeschwindigkeit zwischen der Sonne und dem Stern unverändert bleibt.

Zunächst stellte sich uns die Aufgabe, die Zeiten der Helligkeitsmaxima des Sterns vom Projektbeginn im September bis zum Dezember 2008 präzise zu messen und zu sammeln. Unsere Schule verfügt bereits seit mehreren Jahren über ein LX 200 Schmidt-Cassegrain-Teleskop von Meade. Um damit auch Helligkeiten messen zu können, planten wir, eine CCD-Kamera vom Typ ST8-XME von SBIG anzuschaffen, und es gelang uns, hierfür Geldmittel zu erhalten. So ausgerüstet, richteten wir uns einen Beobachtungsort auf dem Schuldach ein.

Abhängig von der Position der Erde auf ihrer Bahn trifft das Licht von CY Aquarii (gelbe Geraden) früher oder später auf der Erde ein als am Ort der Sonne. Am 19. September, als die Schülergruppe mit ihren Beobachtungen begann, betrug die heliozentrische ekliptikale Länge der Erde $\ell_{\text{Erde}} = 357$ Grad, zum Ende der Beobachtungsperiode, am 27. Dezember, $\ell_{\text{Erde}} = 95$ Grad. Der Stern befindet sich etwas oberhalb der Erdbahnebene, bei der ekliptikalen Breite $\ell_{\text{Stern}} = 9,5$ Grad.

Sekunden entspricht der Lichtlaufzeit für die Distanz Erde – Sonne. Betrachten wir nun, wie sich aus den gemessenen Zeiten der regelmäßigen Helligkeitsmaxima die Lichtgeschwindigkeit ableiten lässt. Befindet sich die Erde, wie in der Skizze links unten, an der Position ℓ_{Stern} , so treffen hier die Signale der Helligkeitsmaxima früher ein als an der zweiten Position ℓ_{Erde} . Diese Zeitdifferenz lässt sich messen.

Dazu zählt man zunächst vom Zeitpunkt $t(\ell_{\text{Stern}})$ des bei ℓ_{Stern} gemessenen Maximums Periode für Periode weiter. Nach n Perioden möge die Erde die Position ℓ_{Erde} erreicht haben, wo der Stern erneut beobachtet wird. Der Zeitpunkt des vorausgesagten Maximums ist dann

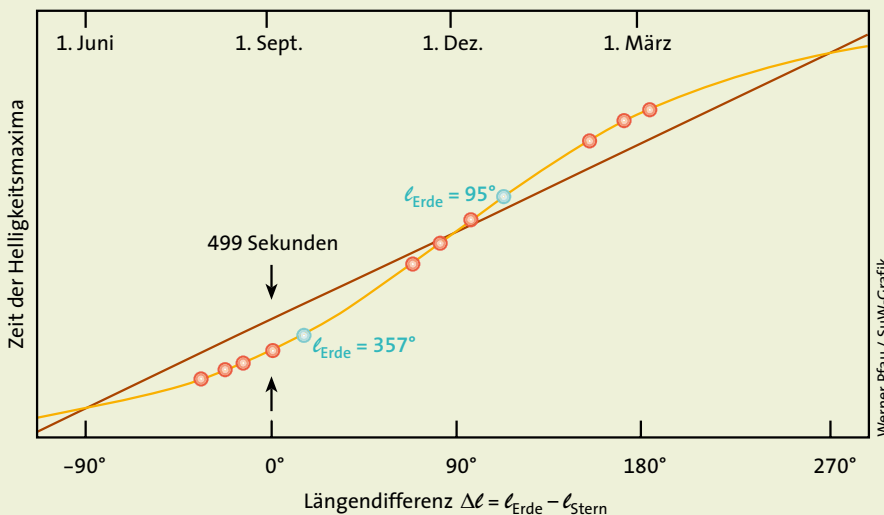
$$t(\ell_{\text{Erde}})_v = t(\ell_{\text{Stern}}) + n \cdot P$$

Die vorausgesagte Zeit $t(\ell_{\text{Erde}})_v$ weicht von der tatsächlich registrierten Zeit des Maximums $t(\ell_{\text{Erde}})_{\text{beob}}$ ab. Die Differenz zwischen den beiden Zeiten entspricht dem Wegunterschied $\Delta s = R - s$, der aus der links unten skizzierten Geometrie der Erdbewegung und der Lage des Sterns resultiert.

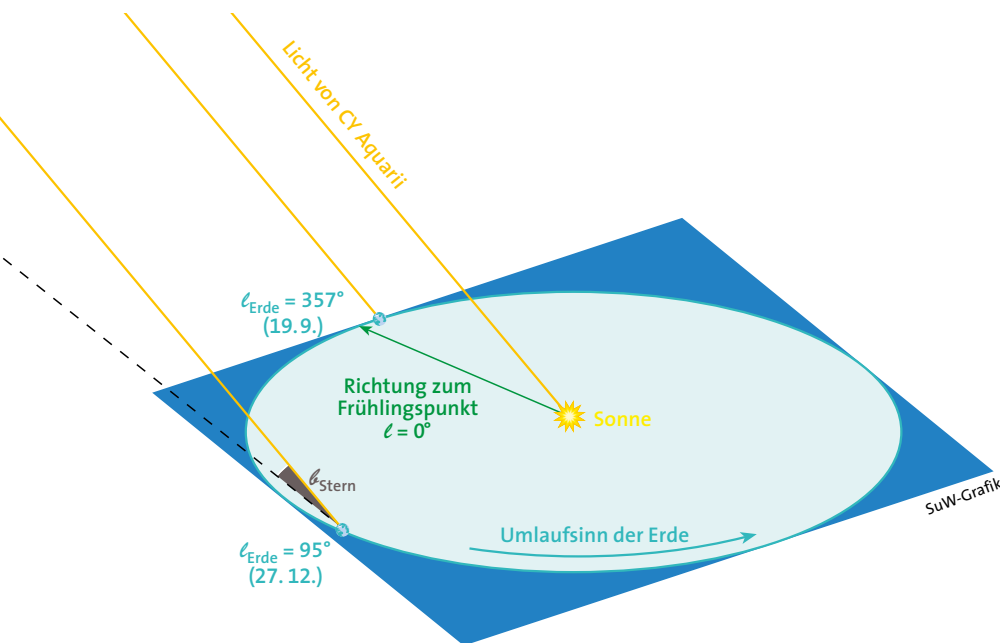
Die Zeitdifferenz enthält somit die gesuchte Geschwindigkeit c des Lichts:

$$t(\ell_{\text{Erde}})_v - t(\ell_{\text{Erde}})_{\text{beob}} = \frac{\Delta s}{c}$$

Alfred Jensch ermittelte in den Jahren 1934 bis 1936 einen Wert der Lichtgeschwindigkeit von 306 000 Kilometer pro Sekunde, der nur um rund zwei Prozent vom Standardwert 299 792 Kilometer pro Sekunde abweicht.



Werner Pfau / SuW-Grafik



SuW-Grafik



Vereinigung der Sternfreunde e.V.

Deutschlands größter Astronomieverein!

- ★ Über 4000 Mitglieder!
- ★ Mitgliederzeitschrift „VdS-Journal für Astronomie“, 3x pro Jahr mit mehr als 420 Seiten praktischer Astronomie
- ★ Kostenlose Beratung und Betreuung von Mitgliedern
- ★ 20 Fachgruppen, die Sie beraten
- ★ VdS-Sternwarte Kirchheim e.V.
- ★ Jugendlager und Exkursionen
- ★ Rabatt beim Abonnement für „Sterne und Weltraum“
- ★ Aktuelle Informationen auf unserer Website: www.vds-astro.de
- ★ Jahresbeitrag nur 30,- EUR (20,-EUR ermässiger Beitrag)

Werden Sie Mitglied!

Fordern Sie kostenloses Infomaterial an:

Vereinigung der Sternfreunde e.V.
Geschäftsstelle · Postfach 1169
D-64629 Heppenheim
Fax: 0 62 52 / 78 72 20
service@vds-astro.de

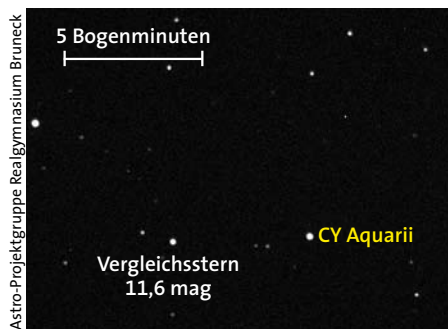
Diese Wahl hatte den Vorteil, dass wir sämtliche Kabel durch ein Dachfenster führen und es uns in den kalten Winter Nächten im Speicher der Schule gemütlich machen konnten. Allerdings wurde uns schnell bewusst, dass wir diesen Beobachtungskomfort mit einer beträchtlichen Luftunruhe bezahlen mussten. Die warme Luft über dem Gebäude bescherte uns, besonders bei den geringen Horizonthöhen von CY Aquarii im Dezember, Halbwertsbreiten des Seeingscheibchens von sieben Bogensekunden und mehr. Außerdem machte sich das Stadtlicht störend bemerkbar.

Trotz all dieser Widrigkeiten konnten wir an 14 Beobachtungsabenden zwischen dem 19. September und dem 28. Dezember 2008 rund 6000 Bilder von CY Aquarii aufnehmen. Zusätzlich erstellten wir an allen Abenden Dunkelbilder. Mit diesen Aufnahmen, die bei geschlossener Kamera belichtet werden, lässt sich der Einfluss des temperaturbedingten Rauschens des CCD-Sensors auf die Himmelsaufnahmen korrigieren. Als Belichtungszeit für eine einzelne Aufnahme des Sterns wählten wir zumeist 20 Sekunden und fassten jeweils zwei mal zwei Pixel zusammen. Die erreichte Gesamtbelichtungszeit beträgt 33 Stunden. Innerhalb des von uns gewählten Zeitraums durchlief der Stern rund 1700 Perioden.

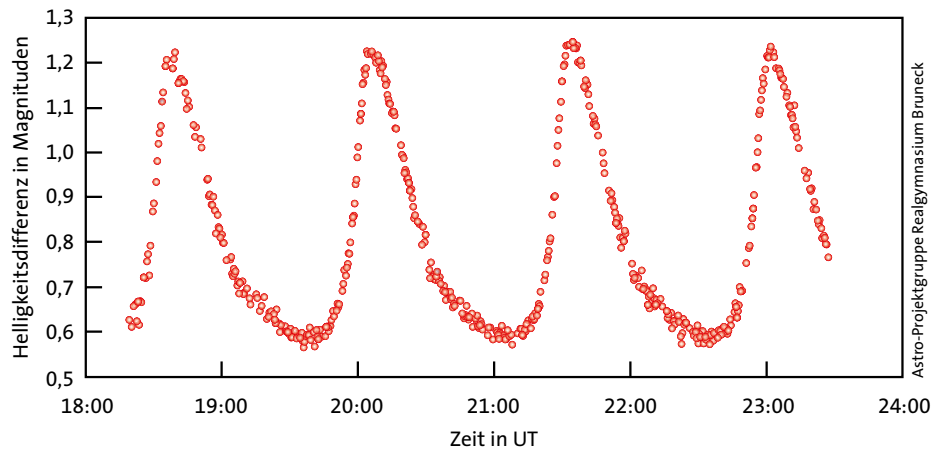
Die Auswertung

Als außerordentlich nützlich erwies sich bei der Auswertung das Programm »Muniwin«. Es liest lange Bilderserien ein und erledigt alles – von der Kalibrierung der Aufnahmen, Zeitkorrektur, Fotometrie, der Wahl der Vergleichssterne bis hin zur Erstellung und dem Export der Lichtkurven. Dabei ist die Menüführung intuitiv, so dass wir uns schnell damit zurechtfinden. Ein Beispiel für eine Lichtkurve gibt das Diagramm oben.

Weit anspruchsvoller war die Weiterverarbeitung dieser Zahlenkolonnen mit der Testversion von OriginPRO 8. Mit dieser Software legten wir Polynomfunktionen durch jedes einzelne Maximum der Lichtkurve und bestimmten dann aus der berechneten Funktion den genauen Maximumszeitpunkt. Da jeder einzelne Datenpunkt in den Lichtkurven einer 20 Sekunden belichteten Aufnahme entspricht, erhöhte dieses Vorgehen die Genauigkeit der Maximumszeiten beträchtlich. Nun wurde uns bewusst, warum man in der As-



Die CCD-Aufnahme zeigt den Veränderlichen CY Aquarii und den zur Helligkeitsmessung genutzten 11,6 mag hellen Vergleichsstern. Rund 6000 solcher Bilder flossen in die Datenauswertung ein. Norden ist oben und Osten links. Die Größe des Bildausschnitts beträgt rund 17 mal 12 Bogenminuten.



Diese Lichtkurve von CY Aquarii ist das Ergebnis eines Beobachtungsabends am 20. September 2008. Jedem der 524 Punkte dieser Kurve entspricht eine CCD-Aufnahme mit 20 Sekunden Belichtungszeit.

tronomie von »Datenreduktion« spricht: Nach diesem Schritt bleiben von den anfänglichen fünf Gigabyte an Bilddaten nur wenige Dutzend Zahlen übrig, in denen sich die gesuchte Information verbirgt.

Als nächstes mussten wir zu jedem Maximumszeitpunkt die Lage der Erde im Raum ermitteln. Dazu wandelten wir die julianischen Daten in Kalenderdaten um und gaben sie in ein elektronisches Formular des astronomischen Internetdiensts »CalSky« ein, das die ekliptikale Länge der Erde sowie den jeweiligen Abstand Erde–Sonne berechnete.

Wir wählten das 1098. Helligkeitsmaximum des Beobachtungszeitraums willkürlich als Bezugsmaximum aus. Es entspricht in etwa der Quadraturstellung von CY Aquarii und Sonne. Vor dem Zeitpunkt des 1098. Maximums befindet sich die Erde um einen zu bestimmenden projizierten Abstand näher an CY Aquarii als die Sonne, danach ist sie weiter entfernt. Insgesamt beobachteten wir 28 Maxima und berechneten für jedes Maximum auf trigonometrischem Wege den zusätzlichen Lichtweg, wobei wir die der ekliptikalen Koordinaten von CY Aquarii und der Erde benutzten.

Nun war alles bereit für den letzten Auswertungsschritt. Dazu stellten wir eine Formel auf, die den geozentrischen Zeitpunkt des i -ten Maximums $t_{g,i}$ mit der Periode P der Helligkeitsschwankung sowie mit dem zusätzlichen Lichtweg r_i und der gesuchten Lichtgeschwindigkeit c verknüpft:

$$t_{g,i} = t_{h,1098} + (i - 1098) \cdot P - r_i / c$$

Diese Formel ergibt sich aus zwei Schritten: Im ersten Schritt zählen wir zum heliozentrischen Maximumszeitpunkt $t_{h,1098}$ des 1098. Maximums $(i - 1098)$ Mal die Periodendauer P hinzu und erhalten daraus den heliozentrischen Zeitpunkt des i -ten Maximums. In einem zweiten Schritt wird dieser Zeitpunkt auf das Geozentrum umgerechnet, indem man die Lichtlaufzeit, die so genannte Lichtgleichung r_i / c , subtrahiert. Auf diese Weise ergibt sich der i -te geozentrische Maximumszeitpunkt.

In der Formel sind $t_{g,i}$, i und r_i bekannte Größen; unbekannt sind $t_{h,1098}$, P und c . Die Gleichung lässt sich als lineare Funktion mit den beiden freien Variablen $i - 1098$ und r auffassen, ihre abhängige

Variable ist $t_{g,i}$. Die nun zu bestimmenden Größen $t_{h,1098}$, P und $-1/c$ sind freie Parameter. Den Zeiten der von uns beobachteten 28 Helligkeitsmaxima entsprechen 28 Punkte, die auf dem zugehörigen Funktionsgraphen liegen. Mit dem Programm Origin 8 Pro ließen sich die drei Parameter durch eine multiple lineare Regression bestimmen.

Dies bedeutet, dass wir unsere Gleichung als eine Funktion der Form $y(x_1, x_2) = m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + b$ betrachten, wobei die Größe y von zwei freien Variablen x_1 und x_2 linear abhängt. Wir identifizieren y mit $t_{g,i}$, den Parameter b mit $t_{h,1098}$, die Variable x_1 mit dem Ausdruck $(i - 1098)$, die Periode P mit dem Parameter m_1 , die Distanz r_i mit der Variablen x_2 und den Parameter m_2 mit $-1/(c \cdot 3600 \cdot 24)$. Dabei gibt der Faktor $3600 \cdot 24$ die Anzahl der Sekunden eines Tages an. Er berücksichtigt, dass die Größe $m_2 \cdot x_2$, ebenso wie alle anderen Summanden der Formel, in Tagen angegeben werden muss.

Legt man nun im Programm »Origin« Spalten für $t_{g,i}$ ($i - 1098$) und r an, so lassen sich durch die multiple lineare Regression die Parameter m_1 und m_2 , sowie $t_{h,1098}$ bestimmen. Dieses Verfahren lieferte als besten Wert eine Periode von 0,0610374255 Tagen, was 87 Minuten und 53,63 Sekunden entspricht. Das liegt eine zwölfte Sekunde unter dem Wert, den die Astronomen Fu und Sterken im Jahr 2003 in der Zeitschrift »Astronomy & Astrophysics« veröffentlichten. Werner Pfau betont in seinem SuW-Beitrag aus dem Jahr 2004 zurecht, dass die Genauigkeit, mit der sich die Lichtgeschwindigkeit bestimmen lässt, mit der Genauigkeit der Periodenbe-

stimmung steht und fällt. Die Abweichung von einer zwölfte Sekunde fällt nämlich in jeder der 1700 überdeckten Perioden an und wächst somit über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg auf mehr als zwei Minuten an, was im Vergleich zur erwarteten Verspätung der Helligkeitsmaxima von rund zwölf Minuten bereits relativ groß ist.

Unsere Regression lieferte für die Lichtgeschwindigkeit einen Wert von 257 000 Kilometer pro Sekunde, was einer Abweichung von 14 Prozent vom Laborwert darstellt. Bezieht man versuchsweise die von den Astronomen Fu und Sterken angegebene Periode P mit in die Regression ein, so ergibt sich eine Lichtgeschwindigkeit von 308 000 Kilometer pro Sekunde. Es erschien uns aber widersinnig, einen Literaturwert zu benutzen, um einen anderen Literaturwert zu bestimmen.

Mehr als nur Messen

Die knappe Beschreibung auf diesen Seiten lässt kaum erahnen, welcher Aufwand tatsächlich in dem Projekt steckt. Dabei waren viele Aufgaben außerhalb des regulären Schulunterrichts zu bearbeiten: Das Einlesen in das Thema, die Überzeugungsarbeit an diversen Stellen, die Auswahl und Nutzung von Geräten, Zubehör und Software, die Beobachtungen sowie eine sorgfältige und nachvollziehbare Auswertung der Daten bis hin zur Publikation in Form eines Webauftritts, von Vorträgen und Artikeln. Wer sich über weitere Details und Ergebnisse unseres Projekts informieren will, findet hierzu ein ausführliches PDF-Dokument auf der Website unserer Schule. ©



DAVID CONT ist Schüler der Abschlussklasse am Realgymnasium Bruneck. Seit mehreren Jahren ist er leidenschaftlicher Amateurastronom und engagiertes Mitglied der Astronomiegruppe.



CHRISTOF WIEDEMAIR studierte Astrophysik in Innsbruck. Er ist seit 2001 als Lehrer für Physik am Realgymnasium in Bruneck tätig und leitet dort die Astronomiegruppe.

Literaturhinweise

Fu, J. N., Sterken, C.: Long-term variability of the SX Phoenicis star CY Aquarii. In: Astronomy & Astrophysics 405, S. 685–688, 2003.

Jensch, A.: Ein neues Verfahren zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit. In: Kosmos 33, S. 126–127, 1936.

Pfau, W.: Der Stern CY Aquarii und die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit. In: Sterne und Weltraum 3/2004, S. 60–62.

Tuvikene, T. et al.: New times of maximum of CY Aquarii. In: The Journal of Astronomical Data 16, S. 1-11, 2010.

Weblinks zum Thema:

www.astronomie-heute.de/artikel/1039930

Ihr Einstieg in die Sonnenbeobachtung...

..mit dem **Coronado PST** Kostenloser Versand!
ohne Koffer

Sie können Protuberanzen, Filamente, Sonnenflecken und viele weitere Details der Sonnenoberfläche beobachten.

Spezifikationen:
 Öffnung: 40 mm
 Brennweite: 400 mm
 Bandbreite: < 1 Angström
 Temperaturdrift: 0,005 A/K
 Energieschutz: > 10⁻⁵ von UV bis IR

Lieferumfang: PST
20 mm Kellner-Okular



€ 695.-

Hochkarätige
Weisslicht Sonnenbeobachtung
mit dem:

APM
 Herschelkeil / Sonnenprisma 1.25" € 139.-
 Herschelkeil / Sonnenprisma 2" € 199.-

Optional:
Foto-visuelle Filter



Poststrasse 79 • 66780 Rehlingen-Siersburg • Tel: 06835 - 923949-0

www.apm-telescopes.de