

## Liebe Leserin, lieber Leser,

1908, vor einhundert Jahren, erschien in den Annalen der Harvard-Sternwarte ein Aufsatz über 1777 Veränderliche in den Magellanschen Wolken. Mit dem Satz „It is worthy of notice that in Table VI the brighter variables have the longer periods.“, zu Deutsch etwa „Bemerkenswert ist, dass die helleren Veränderlichen ... die längeren Perioden haben.“, schrieb Miss Henrietta Swan Leavitt (1868–1921), schwerhörige Pastorentochter aus Lancaster, Massachusetts, Astronomiegeschichte. Sie hatte die Perioden-Helligkeits-Beziehung für Pulsationsveränderliche bemerkt. Die musste man *bloß* noch eichen, und das Tor zur Welt der Sternsysteme konnte aufgestoßen werden ... Miss Leavitt hat auf den Photoplaten der Harvard-Sternwarte 2400 Veränderliche entdeckt, das ist die Hälfte aller damals bekannten Veränderlichen.

Eine Frau auf der Sternwarte? Das war unerhört damals. Und sie war nicht die einzige. Herr Edward Charles Pickering (1846–1919), Sternwartendirektor und nicht zu verwechseln mit seinem Bruder William Henry, dem Pluto-Sucher, hielt sich einen ganzen „Harem“, wie es hieß. Wozu? Nun, die Damen waren billige Rechenmägde (30 Cent pro Stunde) und fleißig. (Man erzählt sich, Pickering habe einen männlichen Assistenten angeschnauzt, das könne ja seine Haushälterin besser! Womit er recht behielt. Diese, geschieden, schwanger, mittellos, entpuppte sich nach der Entbindung als eine Spektroskopie-Perle und sollte es als erste Amerikanerin bis in die *Royal Astronomical Society* schaffen.) Man sollte Pickerings Vorliebe für weibliches Personal zugute halten, dass er aufgeweckten Frauenzimmern wie Henrietta Leavitt eine für damalige Zeiten ungeahnte Perspektive bot – als „Computer“.

Miss Leavitt wurde in den zwanziger Jahren übrigens als Kandidatin für den Nobelpreis in Betracht gezogen. Doch der wird nur an lebende Persönlichkeiten verliehen.

Der November gilt als trist – und dabei wird's heller, wenn die Blätter fallen! Dass er uns nicht das Aufschauen vernebeln möge, hofft

Ihr Hans-Erich Fröhlich

## Der Himmel im November

Venus ist Abendstern. Und sie gewinnt von Abend zu Abend an Glanz! Mitte Januar 2009 wird sie ihre größte östliche Elongation, ihren maximalen Winkelabstand zur Sonne, erreichen.

Jupiter ist ebenfalls ein „Abendstern“. Am Monatsende kommt er der Venus fast bis auf  $2^\circ$  nahe. Seine Sichtbarkeit aber verschlechtert sich von Tag zu Tag.

Saturn geht am Monatsende bereits kurz nach Mitternacht auf.

Der Mond durchstreift das Gebiet der Plejaden, des Siebengestirns. Leider ist dann, am Abend des 13. November, Vollmond, so dass dieses Schauspiel in seinem Glanze untergehen wird.

Im vorigen Newsletter erinnerten wir an den Vesta-Entdecker Wilhelm Olbers. Nun, am 1. November, steht der vierte Kleinplanet in Opposition zur Sonne. Wo? Im Sternbild „Walfisch“.

## Der dreidimensionale Himmel

Jahrtausendlang war der Himmel für den Betrachter zweidimensional, ein Gewölbe. Man vermaß die Örter von Sonne, Mond und Sternen, insbesondere von Wandelsternen. Kopernikus sah die Möglichkeit, die Größe dieser Kugel abzuschätzen. Die Bewegung der Erde um die Sonne müsse sich in einer scheinbaren Bewegung der *Fixsterne* widerspiegeln, die Sterne sollten im Laufe eines Jahres etwas hin- und herpendeln. Da sie dies zu des Kopernikus Verdruss keineswegs tun, jedenfalls nicht offensichtlich, hat entweder Kopernikus unrecht, oder aber die Sterne müssen immens weit von uns entfernt sein, Tausende und Abertausende von Astronomischen Einheiten. Angesichts der Fakten würde sich jeder Gelehrte, so er nicht gerade von berufswegen Rebell ist, gegen Kopernikus aussprechen. Zu einem Zeitpunkt, als unter den Gebildeten des Kopernikus Lehre längst und zurecht Fuß gefasst hatte, gelang es 1837/38 endlich Friedrich Willhelm Bessel (1784–1846), Sternwartendirektor in Königsberg, eine Fixsternparallaxe zu messen. 61 Cygni ist  $3/4$ -Millionenmal weiter von uns entfernt als die Sonne! Und er ist einer der nächsten Fixsterne. Plötzlich hatte der Kosmos Tiefe.

Das Besselsche Verfahren ist eine rein trigonometrische Methode, mithin hypothesenfrei, allerdings kommt man damit nicht weit. Die Astronomische

Einheit als Bezugs- und Basislänge ist einfach viel zu klein. (Aber es gibt Hoffnung: Mit einer Genauigkeit von 0,000025 Bogensekunden, also 0,000000007 Grad, soll ESOs Astrometriemission „Gaia“ ab 2012 das Milchstrassensystem und die allernächsten Nachbargalaxien in 3-D trigonometrisch vermessen.)

Die Messung kosmischer Entfernungen ist eine Hauptanliegen der Astronomie geblieben. Das Problem dabei: Man sieht einem Himmelskörper im allgemeinen nicht an, wie weit er von uns entfernt ist. Sterne beispielsweise unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Leuchtkräfte beträchtlich. Die allerhellsten sind rund eine Million mal heller als die Sonne, die allerschwächsten um etwa den gleichen Faktor lichtschwächer als diese. Ob ein Stern, nah oder fern steht, sein Schein verrät es uns nicht! Oder nehmen wir die Größe einer Galaxie. Auch die ist als Entfernungsmaß kaum verwendbar. Es gibt kleine Galaxien aber auch riesengroße . . . . Das erinnert schon sehr an eine Haufenwolke, deren Entfernung man auch nicht abschätzen kann, da es ihr an einer charakteristischen Größe mangelt. Die „Skalenfreiheit“ macht dem Astronomen zu schaffen.

Miss Leavitt kommt das Verdienst zu, im Falle von  $\delta$ -Cephei-Sternen auf einen Ausweg aus dieser Misere gestoßen zu sein. Da alle von ihr in der Kleinen Magellanschen Wolke aufgefundenen Pulsationsveränderlichen nahezu den gleichen Abstand von uns haben, muss es eine Beziehung zwischen der absoluten Helligkeit, sprich der Strahlungsleistung, und der Schwingungsdauer geben. Kennt man die Leistung in Watt eines einzigen Cepheiden hat man die Leuchtkräfte aller. Wenn das keine epochale Entdeckung ist, ein Meilenstein auch in der Astronomiegeschichte? Die Periode ist unschwer bestimmbar (Ausdauer vorausgesetzt), ebenso die mittlere scheinbare Helligkeit. Wie man weiß, fällt die physikalische Helligkeit, der Strahlungsstrom, mit dem Quadrat der Entfernung. Man kann daher aus der gemessenen Helligkeit auf die Entfernung schließen.

Die Geschichte der Eichung der Perioden-Leuchtkraft-Beziehung (P-L-Beziehung) ist eine lange und ein Newsletterthema für sich. Nur kurz: Das Problem ist, es handelt sich bei  $\delta$ -Cephei-Sternen um Überriesen. Das ist einerseits gut, da wir sie nur deshalb noch in benachbarten Sternsystemen quasi als blinkende „Leuchttürme“ und Entfernungsanzeiger erkennen können. Andererseits sind Riesen und erst recht Überriesen ausgesprochen selten, und leider steht kein einziger Cepheid uns so nahe, dass sich seine Entfernung hypothesenfrei mittels einer trigonometrischen Parallaxe messen ließe. (Der Namenspatron, der zuweilen vierthellste Stern im Cepheus, ist fast 900 Lich-

jahre von uns entfernt. Halb so weit ist der Polarstern von uns weg. Er gehört ebenfalls diesem speziellen Sterntyp an.) Also mussten indirekte Verfahren her, um die P-L-Beziehung zu eichen, statistische Parallaxen beispielsweise, die das Widerspiegeln der Sonnenbewegung in den Eigenbewegungen der Sterne benutzt, um in einem statistischen Sinne Entfernungen abzuleiten. Einen Durchbruch gab's vor 50 Jahren als die Zugehörigkeit eines Cepheiden zu einem Sternhaufen bekannt wurde. Die Entfernungen von Sternhaufen sind relativ genau messbar.

Um 1950 stellte sich zudem heraus, dass Cepheid nicht gleich Cepheid ist. Es gibt unterschiedliche Sternfamilien, Populationen, die sich z. B. hinsichtlich des Gehalts an schweren Elementen unterscheiden. Population-II-Cepheiden (V-Wirginis-Sterne) sind viermal leuchtschwächer als ihre Verwandten in der Population I. Bisher hatte man alle diese Sterne in einen Topf geworfen gehabt, was zu erheblichen Konfusionen in der Entfernungsdebatte Anlass gegeben hatte.

Diese Entdeckung sei dem Kriege geschuldet gewesen, heißt es. Los Angeles war aus Angst vor japanischen Luftangriffen gegen Kriegsende verdunkelt, und so konnte der deutschstämmige Walter Baade bei dunklem kalifornischen Himmel tiefe Fotos von unseren Nachbargalaxien schießen, u. a. dem Andromedanebel. Durch Baades Entdeckung der Sternpopulationen wurde das Weltall schlagartig, sozusagen über Nacht, doppelt so groß – und doppelt so alt! Vorher hatte man in der Tat ein Altersproblem. Das aus der Hubbleflucht abgeleitete Weltalter lag mit nur zwei Milliarden Jahren unter dem der Erde, was begreiflicherweise unter Geologen für Amüsement sorgte. Damals machte eine Bemerkung die Runde, welche die Leistung Walter Baades treffend würdigt: Gott habe zwar die Welt erschaffen, aber Baade habe sie verdoppelt.

Heute kann man die P-L-Beziehung sogar direkt eichen: Ein pulsierender Stern dehnt sich aus und zieht sich wieder zusammen. So etwas dauert Tage bis Wochen und vollzieht sich mit großer Regelmäßigkeit. Die Geschwindigkeit, mit der die Atmosphäre „atmet“, d. h. auf uns zu kommt bzw. sich wieder von uns entfernt, kann mittels des Dopplereffektes spektroskopisch gemessen werden. Aus der zeitlichen Variation der Geschwindigkeit ergibt sich rein rechnerisch (durch Aufintegration) die *absolute* Radienvergrößerung, also die Differenz zwischen maximalem und minimalem Sternradius in Kilometern. Andererseits ist die Helligkeitsschwankung zu einem gewissen Teil auf die *relative* Änderung der strahlenden Oberfläche zurückzuführen.

Kurz, die sog. Baade-Wesselink-Methode liefert aus der Kombination von Spektroskopie und Fotometrie die wahren Oberflächen und somit (über die Temperaturen) die wahren Strahlungsleistungen. Das ist von der Idee her genial, der Umsetzung in die Praxis stehen allerdings Schwierigkeiten entgegen. So sei nicht verschwiegen, dass die Schwankung in der Sternhelligkeit hauptsächlich der Schwankung in der Oberflächentemperatur geschuldet ist. Die Leuchtkraft geht zwar mit dem Quadrat des Radius, aber mit der vierten (!) Potenz der Temperatur.

Warum pulsieren diese Sterne? Dass ein Stern um seine Gleichgewichtsgestalt pendelt, ist an sich nicht besonders bemerkenswert, bloß sind diese Schwingungen normalerweise stark gedämpft und sollten schnell verschwinden. Es ist die Art und Weise, mit der sich bei einem  $\delta$ -Cephei-Stern die Durchsichtigkeit der Atmosphäre ändert, wechseln Temperatur und Druck, was die Schwingung aufrecht erhält.

Zieht sich der Stern zusammen, steigt die Temperatur und verringert sich die Durchlässigkeit der Atmosphäre für die Sternstrahlung. Die Folge: Es kommt zu einem Energiestau, und die Kontraktion schlägt in Expansion um. Hat sich der Stern infolge seiner Trägheit zu weit ausgedehnt, wird die Atmosphäre durchsichtiger als für ihn gut ist und die Strahlung pfeift aus dem Stern heraus, wodurch er wieder in sich zusammensackt. Das nennt man den  $\kappa$ -Mechanismus, weil mit diesem Formelzeichen die Opazität, die Undurchlässigkeit des Sternstoffes für Strahlung, der Strahlungswiderstand sozusagen, bezeichnet wird. Diese Instabilität setzt voraus, dass die Opazität des Sternmaterials mit steigender Temperatur anwächst. Dies ist nur in einem schmalen Streifen im Temperatur-Helligkeits-Diagramm des Sternphysikers, dem Hertzsprung-Russell-Diagramm, der Fall. Dort halten sich die Pulsationsveränderlichen auf. Durchwandert ein  $\delta$ -Cephei-Stern im Laufe seiner Entwicklung diesen Instabilitätsstreifen, was bis zu dreimal geschehen kann, muss er „blinken“.

Die  $\delta$ -Cephei-Sterne sind wichtige Entfernungskennzeichen, sowohl innerhalb als auch außerhalb der Galaxis. Mit ihnen kann beispielsweise die Entfernung zum galaktischen Zentrum bestimmt werden, ohne dass sich dort ein einziger Cepheid befindet.

Sie sind zwar riesig, verglichen mit der Sonne, um das Universum auszumessen, reicht ihr Glanz aber bei weitem nicht aus. Dazu muss anderes her, gewaltigeres und kosmologischen Dimensionen angemesseneres: Supernovae. Diese „durchleuchten“ noch den letzten Winkel des Universums. Superno-

vaexplosionen in Sternsystemen sind zwar selten, aber da man – dank der  $\delta$ -Cephei-Sterne – die Entfernungen zu den näheren Galaxien recht genau kennt, kann man die absolute Leuchtkraft zumindest einer speziellen Supernovaart (explodierende weiße Zwerge bei Erreichen ihres maximal zulässigen Gewichts) eichen. Jeder Fehler in der Eichung der P-L-Beziehung schlägt sich in fehlerhaften Supernovaentfernungen nieder. Ia-Supernovae dienen dem Astronomen als „Standardkerzen“. Mit ihrer Hilfe wird die große Welt vermessen. Es sind diese „Standardkerzen“, die uns vor wenigen Jahren auf die „dunkle Energie“ als Beschleuniger der kosmologischen Expansion aufmerksam werden ließen.

Die von Henrietta Leavitt vor einhundert Jahren bemerkte P-L-Beziehung ist immer noch ein wichtiges Bindeglied zwischen der kleinen Welt, dem lokalen Universum, und der wirklich großen.

Im Prinzip können auch Supernovaleuchtkräfte unmittelbar geeicht werden. Dem Baade-Wesselink-Verfahren (oder Abwandlungen davon) ist es egal, ob sich eine Atmosphäre aufbläht, oder ob sie in sich zusammenfällt. Hauptsache sie *verändert* ihre Größe. Man erfährt immer nur etwas über sich ändernde Dinge.