

**Die BAV-Tagung 1966**

Zu ihrer Mitgliederversammlung 1966 hatte die Berliner Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne e. V. vom 29. bis 30. Oktober 1966 nach Recklinghausen eingeladen. Auf dem Programm standen jedoch nicht nur Themen, die den Verein direkt betrafen; den Gästen wurde vielmehr durch zwei Vorträge von Fachastronomen Einblick in wichtige Teilgebiete der Veränderlichenforschung geboten: Herr Prof. KIPPENHAHN aus Göttingen sprach über „Das  $\delta$  Cephei-Stadium in der Sternentwicklung“ und Herr Prof. KOPAL aus Manchester über „Die Entwicklung enger Doppelsterne“. In beiden Vorträgen kam zum Ausdruck, wie wichtig es für den Astrophysiker ist, seine Schlüsse an Beobachtungen zu prüfen, und daß auch heute noch die Überwachung der Veränderlichen durch Amateure ihre Bedeutung hat.

Der Vortrag von Prof. KIPPENHAHN begann mit der Frage: „Verstehen wir die Vorgänge in  $\delta$  Cephei-Sternen?“ Am Modell eines Topfes, in dem ein Gas eingeschlossen ist, demonstrierte er die Pulsationen dieser Veränderlichen. Ist der Topf oben durch einen beweglichen Kolben abgedichtet, so wird der Kolben in Ruhe verharren, solange sein Gewicht, das ihn nach unten zieht, und der Gasdruck, der den Kolben zu heben versucht, im Gleichgewicht stehen. Drückt man den Kolben etwas hinein, so wächst der Gasdruck im Innern des Topfes und treibt ihn zurück. Die Bewegung führt über die Ruhelage hinaus, und das dadurch die Überhand gewinnende Gewicht des Kolbens zieht ihn wieder in den Topf. Es entsteht eine Schwingung, deren Amplitude aber abnimmt, weil das Material des Topfes einen Teil der Wärme, die beim Zusammenpressen des Gases entsteht, ableitet. Um eine Schwingung mit konstanter Amplitude des Kolbens aufrechtzuerhalten, braucht man einen Mechanismus, der die Wärmeverluste ausgleicht. Man könnte sich vorstellen, daß beim Zusammendrücken des Gases durch die entstehende Wärme Reaktionen in Gang kommen, die die nötige Energie liefern.

Eine andere Möglichkeit zog schon EDDINGTON in Betracht: In den  $\delta$  Cephei-Sternen pulsiert nicht der ganze Stern, sondern es pulsieren nur die äußeren Schichten. Die Materie in den Außenschichten wird von einer starken, aus dem Zentrum kommenden Strahlung durchflossen. Wird diese Strahlung stärker absorbiert, sobald der Stern sich zusammenzieht — in unserem Beispiel, sobald das Gas zusammengedrückt wird —, so wird das komprimierte Gas sich dadurch stärker aufheizen und den durch Ableitung entstehenden Wärmeverlust decken können. Beim Ausdehnen des Gases verringert sich die Absorption, und die Strahlung kann das Gas nicht länger erhitzen. Dieses Spiel wiederholt sich in jeder Periode.

Zur Zeit EDDINGTONS glaubte man noch, daß sich beim Komprimieren die Absorption im Gase verringert; das bedeutet aber zusätzliche Dämpfung der Schwingungen und keine Anregung. Erst seit 15 Jahren weiß man, daß der geschilderte Mechanismus die  $\delta$  Cephei-Sterne, und wahrscheinlich auch andere pulsierende Veränderliche, in Gang hält.

Nachdem eine mögliche Erklärung für die Pulsationen gefunden ist, muß festgestellt werden, ob die Theorie mit den Beobachtungen übereinstimmt. Dazu werden Sternmodelle gerechnet. Man legt Masse und chemische Zusammensetzung eines Sterns zu einem bestimmten Zeitpunkt seines Lebens fest und verfolgt rechnerisch seinen weiteren Lauf durch das HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramm. Bei diesen Rechnungen ergab sich nun, daß die Stern-

modelle tatsächlich pulsierende Veränderliche wurden, wenn ihre Oberflächentemperatur etwa  $5300^{\circ}$  betrug. Das ist fast genau die Oberflächentemperatur der  $\delta$  Cephei-Sterne.

$\delta$  Cephei-Sterne sind wegen ihrer Perioden-Leuchtkraft-Beziehung ein wichtiges Hilfsmittel bei der Entfernungsmessung im All. Die Perioden-Leuchtkraft-Beziehung der Sternmodelle läßt sich nun mit der Beziehung vergleichen, die durch Ausmessen vieler einzelner Sterne gewonnen wurde, und man findet Übereinstimmung.

Im großen und ganzen, so scheint es, wissen wir heute, warum  $\delta$  Cephei-Sterne pulsieren, aber viele Fragen sind noch ungeklärt. Noch fehlt z. B. eine Durchrechnung der einzelnen Schwingung. Sie müßte eine Erklärung für die Form der Lichtkurve und die Phasenbeziehung zwischen der Lichtkurve und der Kurve der Radialgeschwindigkeiten liefern.

Daß wir von einem völligen Verständnis noch weit entfernt sind, zeigt auch der Fall des Sterns RU Cam, dessen Amplitude innerhalb von vier Jahren von  $0^m9$  auf praktisch null zurückging. Nun ist aber RU Cam kein normaler  $\delta$  Cephei-Stern, sondern er gehört zu den W Virginis-Sternen. Diese zeigen abrupte Änderungen von Periode und Amplitude, deren Ursachen noch unbekannt sind [Die Sterne 42 (1966) 129].

Auch Herr Prof. KOPAL wies auf viele unbeantwortete Fragen hin. Wir wissen zwar, daß die Entwicklung eines Sterns durch seine Masse und chemische Zusammensetzung bestimmt wird, und daß sie um so rascher abläuft, je größer die Masse des Sterns ist. Aber schon die Bestimmung der Sternmassen ist mit Schwierigkeiten verbunden. Die Massen von Einzelsternen sind uns ganz unbekannt; nur Doppelsterne bieten uns durch ihre gegenseitige Anziehung die Möglichkeit, ihre Massen zu bestimmen. Aber trotz der vielen Doppelsterne sind doch nur von etwa 100 Sternen die Massen bekannt.

Im Wesentlichen sollte die Entwicklung von Doppelsternen dieselbe sein wie die von Einzelsternen. Zwar besteht eine Wechselwirkung, eine gegenseitige Beeinflussung beider Sterne, aber bei nicht zu engen Systemen wird sie nicht sehr groß sein.

Wenn wir die Entwicklung von Doppelsternen untersuchen wollen, müssen wir zuerst fragen, wie sie entstanden sind. Die meisten Doppelsterne sind sicher gemeinsam entstanden. Ihre Komponenten sind von gleichem Alter und hatten anfangs gleiche chemische Zusammensetzung, ihre Massen aber konnten sich unterscheiden. Waren beide Komponenten von ungefähr gleicher Masse, dann sollte ihre Entwicklung parallel verlaufen; die Sterne sollten sich ähnlich sein und in den Dimensionen, Spektren und der Temperatur nahe übereinstimmen. Diese Überlegungen werden durch die Beobachtungen gestützt; der Bedeckungsveränderliche  $\beta$  Aur kann als Beispiel dienen. Auch das Umgekehrte gilt: Sterne verschiedener Masse haben verschiedene Spektren und Durchmesser.

Die Entwicklung der Doppelsterne wird interessant, sobald eine Komponente ihren Wasserstoff verbraucht hat und zum „Helium-Brennen“ übergeht. Sie verläßt dann die Hauptreihe des HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramms und dehnt sich aus. Die Komponenten von Doppelsternen können sich aber nicht beliebig vergrößern. Es gibt eine gewisse Fläche, die beide Sterne umschließt, und Materie, die diese Grenze überschreitet, geht dem Stern verloren, von dem sie stammt. Sie kann beispielsweise zur anderen

Komponente fließen. Die Fläche schneidet die Bahnebene des Systems etwa in Form einer 8, und ihre Größe ist abhängig vom Massenverhältnis der beiden Sterne. Am Kreuzungspunkt der Schleife wird der Massenverlust am größten sein, dort können sich Gasströme von einer zur anderen Komponente bilden.

Aus den Beobachtungen der Bedeckungsveränderlichen können wir schließen, daß Sterne existieren, die ihren Teil der Fläche ausfüllen. Aus den Lichtkurven erhalten wir die relativen Dimensionen beider Sterne, aus spektroskopischen Messungen das Massenverhältnis und damit die Lage dieser „Roche-Grenze“. Ein Vergleich beider Ergebnisse zeigt, ob ein Stern seine Fläche ausfüllt oder nicht. Interessant war nun die Feststellung, daß es die Algotsterne sind, bei denen häufig eine Komponente ihren Teil der 8 erfüllt, und zwar ist es die masseärmere Komponente. Sie ist offenbar mitten im Prozeß einer langsamen, säkularen Ausdehnung. Unglücklicherweise ist nach unserer Theorie die masseärmere Komponente der falsche Stern, denn die Theorie fordert ja, daß sich der massereichere Stern als erster ausdehnen soll, weil er sich schneller entwickelt. Diese Schwierigkeit besteht bei allen Algotsternen, deren Massen wir kennen. Das Problem läßt sich vielleicht auf folgende Weise lösen: Nehmen wir an, daß sich der massereichere Stern zuerst ausdehnt. Bald wird er seine Roche-Grenze erreicht haben, und dann fließt seine Materie zur anderen Komponente. Dadurch kann der anfangs masseärmere Stern zum massereicheren werden, und vielleicht stellt sich ein stabiler Zustand ein, mit einem sich noch immer ausdehnenden Begleiter — dem früher massereicheren Stern — und einem Hauptstern, der gegen ihn klein ist.

Die Theorie enthält einige Arbeitshypothesen, z. B. die, daß alle Materie, die die massereichere Komponente verläßt, auf den Begleiter fällt. Das braucht nicht zu stimmen; ein Teil kann das System verlassen oder im System zirkulieren. Daß ein Massenaustausch stattfindet, wissen wir. Deutliche Zeichen dafür sind die Periodenänderungen der Algotsterne. Sie treten bei Systemen auf, deren eine Komponente nicht auf der Hauptreihe steht. Die Änderungen sind sehr kompliziert und völlig irregulär. Algol z. B. wird seit 200 Jahren beobachtet, aber eine Systematik ist nicht erkennbar. Das ist mit der Vorstellung vom Massenaustausch allein nicht zu erklären. Wenn nur ein Massenaustausch stattfindet, sollte sich die Periode vergrößern oder verkleinern, aber nicht beides abwechselnd.

Eine weitere Schwierigkeit ist in den bisherigen Untersuchungen unberücksichtigt geblieben. Wenn Massenaustausch stattfindet, werden sich die Gasteilchen nicht im Vakuum bewegen, sondern es fließen Gasströme. Es genügt deshalb nicht, die Bahn einzelner Massenpunkte zu berechnen; das Problem kann nur durch Anwendung der Hydrodynamik gelöst werden.

Bisher ist auch stets die Gezeitenwirkung der beiden Komponenten aufeinander vernachlässigt worden. In den engen Doppelsternen begegnet man den größten Flutwellen, die sich denken lassen. Auf dem Begleiter von Algol wird durch die Hauptkomponente — die die fünffache Masse hat — eine Flutwelle von einer Million Kilometer Höhe erzeugt, das entspricht einem Drittel des Sternradius! Diese Welle läuft in einigen Stunden um den Stern.

Die innere Reibung der Materie erzeugt dabei viel Wärme, und es ist möglich, daß dadurch der innere Aufbau des Sterns beeinflußt wird.

Über die weitere Entwicklung der engen Doppelsterne haben wir bisher nur Vermutungen. Was passiert, wenn sich nach hinreichend langer Zeit der Massenaustausch wiederholt, aber jetzt in umgekehrter Richtung? Wahrscheinlich geht dabei Masse verloren, und es entstehen Sterne wie U Sct, dessen Hauptstern das Spektrum B 3 und den für Sterne dieses Spektraltyps normalen Radius hat. Beide Komponenten haben zusammen aber nur rund ein Drittel Sonnenmasse! Vielleicht hat dieses System den Massenaustausch schon einige Male durchlaufen.

Ein ungelöstes Rätsel bilden auch die U Geminorum-Sterne und alten Novae. Es sind enge Doppelsterne, deren Komponenten Massen von einem Zehntel der Sonnenmasse und Radien von einem Zehntel des Sonnenradius haben. Ihre Entfernung voneinander beträgt in den meisten Fällen nur einen Bruchteil des Sonnenradius. Diese Systeme können nicht den „üblichen“ Entwicklungsgang rechts der Hauptreihe durchlaufen haben. Ihre geringen Massen müssen durch Massenverlust während des Überriesen-Stadiums entstanden sein. Besaßen beide Sterne mehr Masse als jetzt, so müssen sie früher noch enger beieinander gestanden haben. Die durchschnittlichen Radien der Hauptreihensterne sind nun so groß, daß beide Unterzweige im Innern eines Einzelsterns kreisen könnten. Man ist versucht zu schließen, daß diese engen Systeme nicht als solche während ihrer Vergangenheit auf der Hauptreihe oder im Überriesen-Stadium existiert haben, sondern daß sie im Innern von Sternen entstanden sind, die vorher einzeln waren. Das kann durch Spaltung eines schnell rotierenden Kerns in dem Einzelstern geschehen sein. Wäre das der Fall, dann hätten wir zwei verschiedene Abschnitte der Sternentwicklung, während der die Bildung von Doppelsternen möglich ist. Der eine Abschnitt ist die gemeinsame Entstehung der Sterne aus Gaswolken, der andere die Spaltung eines dichten, schnell rotierenden Kerns innerhalb eines Überriesen.

Soviel über den Inhalt der Vorträge. Beiden Vorträgen schlossen sich lebhaftere Aussprachen an, und die Anregungen der Redner wurden teilweise noch auf der Mitgliederversammlung des Vereins diskutiert. Auf der Versammlung bestätigten die Anwesenden einstimmig den Vorstand für weitere zwei Jahre im Amt. Er besteht aus den Herren R. RUDOLPH, Wuppertal, 1. Vorsitzender; P. B. LEHMANN, Berlin, 2. Vorsitzender; W. GRAUENHORST, Berlin, Geschäftsführer. Die Geschäftsstelle befindet sich in 1000 Berlin 48, Buckower Chaussee 15. Ebenfalls einstimmig wurde eine Erhöhung des Jahresbeitrages auf DM 10,— beschlossen. Der Tätigkeitsbericht des Vorstands enthielt u. a. die Mitteilung, daß die BAV im Jahre 1965 als gemeinnützig anerkannt worden ist, so daß Spenden von der Steuer absetzbar sind.

Beendet wurde die Tagung mit drei Referaten der Herren W. QUESTER, W. BRAUNE und K. B. MENZEL über Beobachtungsergebnisse, Aufbau eines Beobachtungsprogramms und den Bau des 40-cm-Spiegelteleskops in Berlin.

Zum Abschluß möchten wir allen danken, die zum Gelingen der Tagung beigetragen haben, im besonderen aber dem Leiter der Westfälischen Volkssternwarte, Herrn JOACHIM HERRMANN. Leider konnte er wegen einer Krankheit nicht daran teilnehmen.