

STERNE UND WELTRAUM

MONATSSCHRIFT

gegründet von

Hans Elsässer

Rudolf Kühn †

Karl Schaifers

Jahrgang 4, Nr. 7/8

Juli/August 1965

Heftpreis DM 5,00, sFr. 6.—, öS. 26,—

VERLAG BIBLIOGRAPHISCHES INSTITUT · MANNHEIM

1 T 5496 E

Aus dem Inhalt:

Warum pulsieren
die Delta-Cephei-Sterne?

Über die Physik
der Sonnenflecken

RR Lyrae-Sterne

Die erfolgreich
gestarteten künstlichen
Erdsatelliten und
Raumsonden

Photometrie
extragalaktischer Nebel

Wie groß das Objektiv,
die Brennweite und
Vergrößerung?

Mit astronomischer
Kartei
„Sterne und Weltraum“



STERNE UND WELTRAUM

Herausgegeben von Prof. Dr. H. Elsässer (Universität und Landessternwarte Heidelberg), Dipl.-Kfm. G. D. Roth (Geschäftsführer der „Vereinigung der Sternfreunde e. V.“, München) und Dr. K. Schaifers (Geschäftsführender Herausgeber, Landessternwarte Heidelberg) unter ständiger Mitwirkung von J. Herrmann (Leiter der Westfälischen Volkssternwarte Recklinghausen) und Dr. Th. Schmidt-Kaler (Universitätssternwarte, Bonn).

In vorliegender Nummer:

Titelphoto: Feuerkugel 1945 Sept. 3, mit mehreren Lichtausbrüchen. Aufnahme mit Zeiss-Triplet 170/1200 mm durch R. Brandt, Sternwarte Sonneberg.

Tagungen 1965	147
RUDOLF KIPPENHAHN und ALFRED WEIGERT: Warum pulsieren die Delta-Cephei-Sterne?	148
WOLFGANG MATTIG: Über die Physik der Sonnenflecken	152
LASZLO DETRE: RR Lyrae-Sterne	157
Tagung der „Vereinigung der Sternfreunde“ 1965; Astroamateurtagung 1965	162
Der Beitrag der Hamburger Sternwarte in Bergedorf zum Southern Reference Star (SRS) Programm	163
Die erfolgreich gestarteten künstlichen Erdsatelliten und Raumsonden	163
Kurzberichte aus der Forschung: Einige neue Ergebnisse der Marsforschung; Lichtausbrüche bei W Ursae Majoris-Sternen; Der Sternhaufen NGC 188; Durchmesser des Merkur	167 und 168
Großphoto: Merkurvorübergang vor der Sonne 1960, Nov. 7, beobachtet auf dem Höhenobservatorium Climax/Colorado, USA. Aufnahme: R. Gerharz	169
CORNELIS J. VAN HOUTEN: Photometrie extragalaktischer Nebel	170
HEINZ WICHMANN: Wie groß das Objektiv, die Brennweite und Vergrößerung?	175
Über Bücher und Instrumente	181
Mitteilungen für Planetenbeobachter: Jupiterbeobachtungen 1964/65; Jupiterbeobachtungen in Jena; Marsbeobachtungen 1965; Meteorbeobachtung 1964	182
Sternwarten, Institute und Planetarien	189
Zum Nachdenken	189
Die Planeten im August und September 1965; Mondphasen; Sternbedeckungen; Der Sternhimmel	190

Diesem Heft liegt ein Prospekt der Firma MANFRED WACHTER, Präzisions-Mechanik, Stuttgart-Uhlbach, bei, den wir der Beachtung unserer Leser empfehlen.

Die nächste Nummer von **STERNE UND WELTRAUM** erscheint Anfang September.

Tagungen 1965

Als die Teilnehmer am 2. Veränderlichen-Colloquium in Bamberg im September 1962 auseinandergingen, beschlossen sie, im Herbst 1965 sich wieder zu treffen. Das vor drei Jahren vorgesehene Treffen findet nun vom 11. bis 14. August in Bamberg statt.

War das erste Veränderlichen-Colloquium 1959 noch aus Anlaß des 70jährigen Bestehens der Dr.-REMEIS-Sternwarte geplant und zustande gekommen, so fand das zweite Colloquium schon im größeren internationalen Rahmen statt. Zum dritten Colloquium nun haben zwei Kommissionen der Internationalen Astronomischen Union eingeladen, und zwar Commission 27 „Variable Stars“ und Commission 42 „Photometric Double Stars“. Diesen beiden Kommissionen der IAU gehören eine große Zahl bekannter Astronomen an. In einem Zwischenbericht konnte der Direktor der REMEIS-Sternwarte, der die Leitung der örtlichen Organisation übernommen hat, bereits die Anmeldung von etwa 70 Astronomen aus den USA und den Ländern Europas anzeigen. Dieses Bamberger Colloquium der IAU steht unter dem Thema „Die Lage der Veränderlichen Sterne im Hertzsprung-Russell-Diagramm“.

Die Versammlung der Astronomischen Gesellschaft ist in diesem Jahr in der Zeit vom 6. bis 11. September nach Eisenach/Thür. einberufen. — Durch diese Wahl des Tagungsortes ist es den Mitgliedern aus Mitteldeutschland möglich, auch an der Tagung ihres Fachverbandes teilzunehmen; war es doch bei der letzten Versammlung in Frankfurt leider nur sechs Astronomen möglich, nach dort zu kommen.

Die in zweijährigem Turnus einzuberufende Mitgliederversammlung der „Vereinigung der Sternfreunde“ wird auf Einladung der Volkssternwarte München in der Zeit vom 17. bis 19. September in München stattfinden. Näheres über dieses und ein weiteres Treffen der Sternfreunde in der Schweiz kann auf Seite 162 nachgelesen werden.

RR Lyrae-Sterne

Auf dem im August dieses Jahres in Bamberg stattfindenden „Veränderlichen-Colloquium“ wird sicherlich viel über RR Lyrae-Sterne und damit über die Arbeiten unseres Autors, dem Direktor der Sternwarte Budapest, diskutiert werden.

Die RR Lyrae-Sterne sind periodische Veränderliche vom Spektraltyp A-F mit Perioden unter einem Tag. Sie besetzen die kurzperiodische Grenze der Sequenz der pulsierenden Sterne. Sie unterscheiden sich von den übrigen Mitgliedern dieser Sequenz, den Mira-, RV Tauri- und δ Cephei-Sternen, indem sie im Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD) zugleich einer Sequenz von nichtveränderlichen Sternen angehören. Daneben ist zu mindest ihr Hauptvertreter, RR Lyrae, auch ein magnetischer Veränderlicher. So kommt den RR Lyrae-Sternen unter den Veränderlichen eine ganz besondere Bedeutung zu.

Verteilung, Anzahl

Die RR Lyrae-Sterne sind überall in unserem Milchstraßensystem vertreten, im Halo, weit entfernt von der Ebene der Milchstraße, wie in der Scheibe. Besonders stark konzentrieren sie sich aber gegen das Zentrum unseres Sternsystems. BAADE fand in dieser Richtung in einem Feld von nur 42×32 Bogenmin. bis zu 20^m 258 RR Lyrae-Sterne, die meisten im Helligkeitsintervall 16^m – 17^m , das sind Sterne mit der Entfernung des galaktischen Zentrums. In der Richtung der galaktischen Pole und des Antizentrums findet man durchschnittlich nur einen RR Lyrae-Veränderlichen pro Quadratgrad bis zur 18. Größe; ihre Anzahl pro Größenklasse wächst aber hierbei noch immer weiter an, obgleich so schwache Objekte schon außerhalb des Milchstraßensystems liegen müssen. Es ist wohl möglich, daß die RR Lyrae-Sterne auch den intergalaktischen Raum durchdringen. Darauf deutet auch die Beobachtungstatsache hin, daß einige ihrer Vertreter Raumgeschwindigkeiten aufweisen, die über der Entweichgeschwindigkeit aus dem Milchstraßensystem liegen. Um dieser interessanten Frage nachzugehen, wird an mehreren Sternwarten eifrig nach schwachen RR Lyrae-Sternen gesucht. Besonders erfolgreich war in dieser Suche C. HOFFMEISTER mit der Entdeckung von über 2000 RR Lyrae-Veränderlichen am südlichen Sternhimmel. Die Gesamtzahl der RR Lyrae-Sterne im Milchstraßensystem kann auf etwa 150 000 veranschlagt werden. Die ersten RR Lyrae-Sterne wurden Ende des vorigen Jahrhunderts von BAI-

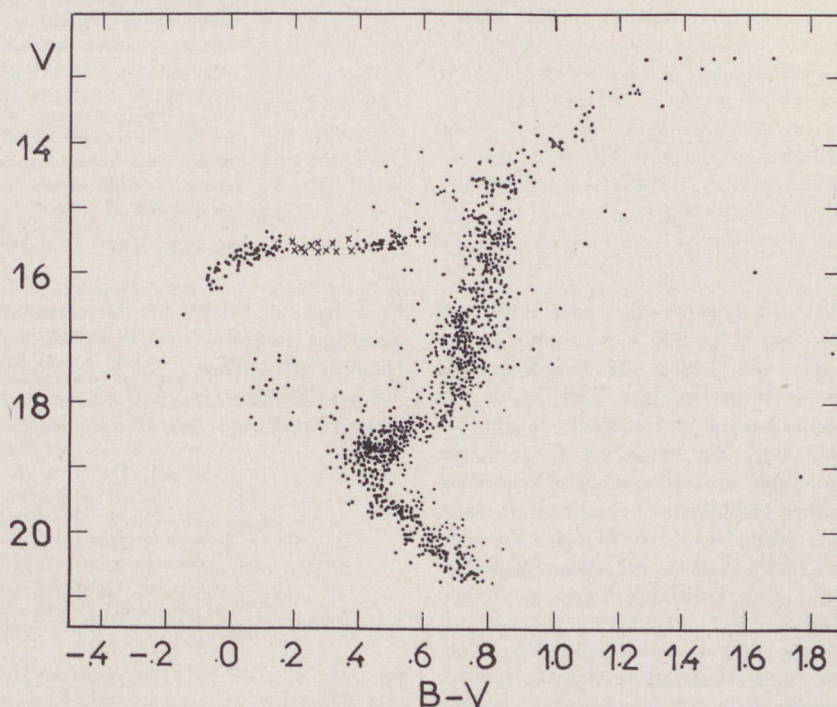
LEY in Kugelhaufen entdeckt. Die Veränderlichkeit von RR Lyrae, dem ersten Feldstern dieser Klasse, wurde erst 1901 gefunden. Zur Zeit sind in 46 Kugelhaufen des Milchstraßensystems insgesamt 1186 RR Lyrae-Sterne bekannt, davon allein in Messier 3 etwa 200.

Vor etwa 10 Jahren wurden an der Radcliffe-Sternwarte in Pretoria die ersten RR Lyrae-Sterne in einem benachbarten Sternsystem, in der Kleinen Magellanschen Wolke, entdeckt. Und zwar auch hier erst in einigen, zur Wolke gehören-

ihre absolute Helligkeit bekannt wäre. Leider hat es sich in letzter Zeit herausgestellt, daß dieses Problem der Bestimmung der absoluten Helligkeit nicht so einfach ist, wie man noch vor etwa zehn Jahren gedacht hatte.

Die RR Lyrae-Lücke im HRD

Wie bekannt, besteht für die δ Cephei-Sterne eine ausgesprochene Perioden-Leuchtkraft Beziehung: je länger die Periode, um so heller sind die Sterne. Ob eine ähnliche Beziehung auch für die RR Lyrae-Veränderlichen gilt, kann am einfachsten mit Hilfe der in Kugelhaufen vorkommenden Sterne entschieden werden. Die Sterne eines Kugelhaufens stehen praktisch alle in der gleichen Entfernung von uns. Somit bedeuten Unterschiede in der scheinbaren Helligkeit gleichzeitig Unterschiede in der absoluten Helligkeit. Bestimmt man nun aus den Lichtkurven die mittleren scheinbaren Helligkeiten der RR Lyrae-Sterne

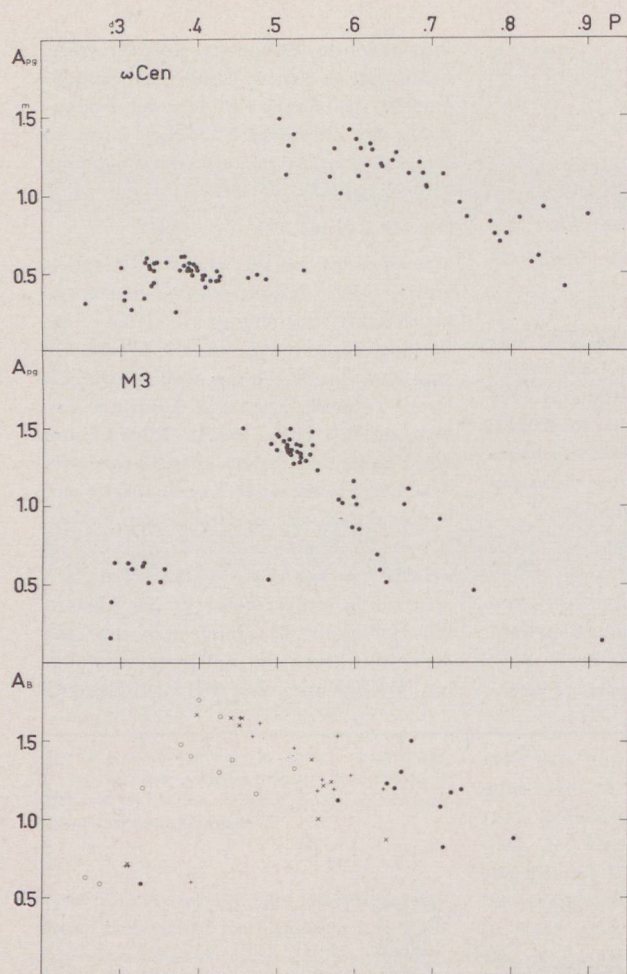


Farbhelligkeitsdiagramm für Sterne im Kugelhaufen Messier 3 nach A. R. SANDAGE. Punkte: unveränderliche Sterne, Kreuze: einige RR Lyrae-Sterne des Haufens, wobei ihre mittlere Helligkeit und ihr mittlerer (B-V)-Farbenindex genommen wurde. Alle RR Lyrae-Sterne des Haufens haben Farbenindizes zwischen $+0^m.18$ und $+0^m.40$ und liegen innerhalb eines sehr schmalen Helligkeitsbereichs bei der scheinbaren V-Helligkeitsgröße $15^m.7$. Im Bereich der RR Lyrae-Sterne kommt nicht ein einziger unveränderlicher Stern vor.

den Kugelhaufen. Seitdem hat die Anzahl der Neuentdeckungen in beiden Magellanschen Wolken, in ihren Kugelhaufen und in ihrem allgemeinen Feld, fast hundert erreicht.

Viele RR Lyrae-Sterne wurden neuerdings auch in den benachbarten kugelförmigen Zwerggalaxien Sculptor und Draco gefunden. Ihr weitverbreitetes Vorkommen im Kosmos könnte gut zur Entfernungsbestimmung der sie enthaltenden Systeme verwendet werden, wenn

eines Haufens, so bekommt man für alle, unabhängig von der Periode, praktisch dieselbe mittlere Helligkeit. Somit liegen diese Sterne im HRD, oder im Farbhelligkeitsdiagramm (FHD) längs einer horizontalen Linie, und zwar ihrem Spektraltyp oder ihrer Oberflächentemperatur entsprechend in dem (B-V)-Farbenindexbereich von $+0^m.18$ bis $+0^m.40$. Es ist nun sehr interessant, daß längs dieser horizontalen Linie auch nichtveränderliche Sterne reichlich vorkommen,



Die Beziehung zwischen der Periode und der Amplitude des photographischen Lichtwechsels für RR Lyrae-Sterne. Oben: für ω Centauri, in der Mitte: für M3. Unten: Beziehung zwischen der Periode und der lichtelektrisch gemessenen Amplitude im blauen Spektralbereich für RR Lyrae-Sterne im galaktischen Feld. (Die verschiedenen Zeichen gelten für verschiedene ΔS -Werte, $\circ = 0-2$, $\times = 3-5$, $+$ = 6-8, $\bullet = 9-11$.)

aber alle liegen rechts, oder links von dem durch die RR Lyrae-Sterne eingenommenen Gebiet. Der Bereich der RR Lyrae-Sterne ist also eine Lücke für Sterne konstanter Helligkeit. Es gibt Kugelhaufen, die keine RR Lyrae-Sterne enthalten, im horizontalen Zweig ihrer Farben-Helligkeits-Diagramme ist dann eine echte Lücke zwischen den erwähnten (B-V)-Werten, wo weder Veränderliche, noch konstante Sterne zu finden sind.

Da die Lücke für verschiedene Kugelhaufen immer zwischen denselben Farbenindizes liegt (es kommen nur geringe Unterschiede vor, teils durch die Wirkung der interstellaren Lichtschwächung), nahm man früher an, daß auch die absolute Helligkeit der RR Lyrae-Sterne von Haufen zu Haufen dieselbe sei.

Nachdem aber die Farben-Helligkeits-Diagramme für einige Haufen auch auf die Hauptreihe ausgedehnt werden konnten, mußte man feststellen, daß entweder die Hauptreihen oder die horizontalen Äste, und damit auch die RR Lyrae-Sterne, sich in der absoluten Helligkeit von Haufen zu Haufen unterscheiden.

Der enge Bereich, auf den die RR Lyrae-Sterne im FHD eines Kugelhaufens beschränkt sind, weist darauf hin, daß diese Sterne physikalisch eine homogene Gruppe bilden. Die neuen Resultate deu-

ten aber an, daß die Homogenität höchstens für Sterne eines und desselben Haufens gilt, während RR Lyrae-Sterne aus verschiedenen Haufen sich wohl in vieler Hinsicht unterscheiden können.

Periodenhäufigkeit. RRab- und RRc-Sterne

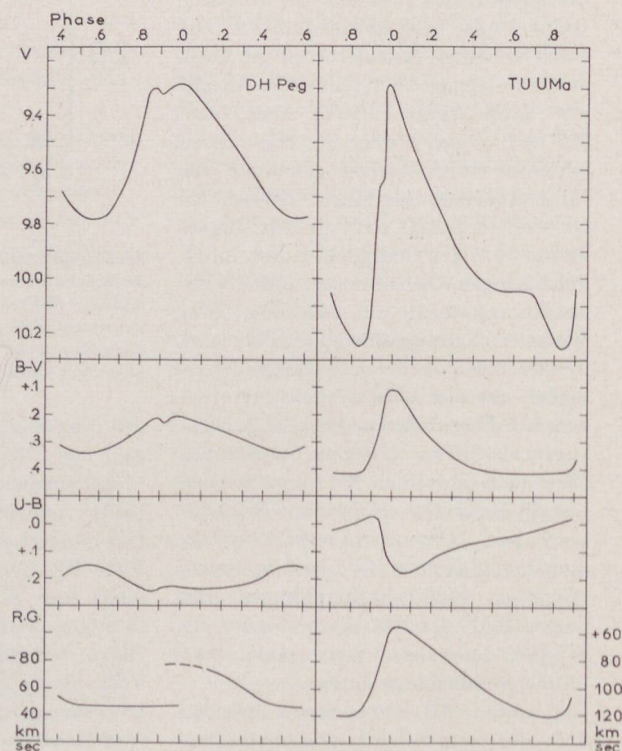
Zuerst hat man in der Periodenverteilung der RR-Lyrae-Sterne Unterschiede von Haufen zu Haufen gefunden. Während z. B. im Sternhaufen M3 die Perioden 0.48–0.55 am häufigsten vertreten sind, fehlen diese Perioden in M15 vollständig. Noch klarer treten die Unterschiede hervor, wenn wir die Periode-Amplitude-Beziehung für RR Lyrae-Sterne aus verschiedenen Kugelhaufen betrachten.

Die Abbildung zeigt diese Relation für die zwei am besten untersuchten Kugelhaufen M3 und ω Centauri nach Angaben von B. SZEIDL bzw. W. CHR. MARTIN, und für Feldsterne unseres Milchstraßensystems, für welche photoelektrisch bestimmte Amplituden vorliegen (die Bedeutung der verschiedenen Zeichen wird später erklärt). Für beide Haufen sind nur Veränderliche aus den äußeren Bezirken in Betracht gezogen, weil die photometrischen Messungen in der Mitte eines Kugelhaufens durch die dicht nebeneinander liegenden Nachbarsterne stark beeinflusst werden.

In allen drei Diagrammen bilden die Sterne mit kurzer Periode einen horizontalen Ast bei kleiner Amplitude. Der zweite Ast fängt mit relativ großer Amplitude an, für Feldsterne schon bei $P = 0.33$, in M3 erst bei 0.45 und in ω Centauri bei noch längerer Periode. Die Amplitude nimmt längs dieses Astes mit zunehmender Periode ab.

Diese Aufteilung der Periode-Amplitude-Beziehung in zwei getrennte Äste ist schon BAILEY aufgefallen. Er hat auch

Lichtelektrisch beobachtete Lichtkurve im gelben Spektralbereich (V), Farbenindexkurve für Blau- und Gelbhelligkeiten (B-V), bzw. Ultraviolett- und Blauhelligkeiten (U-B), und Radialgeschwindigkeitskurve (R.G.) für den RRc-Stern DH Pegasi nach W. G. TIFFT und für den RRa-Stern TU Ursae Majoris nach G. W. PRESTON, H. SPINRAD und C. M. VARSAVSKY.



bemerkt, daß die Lichtkurven auf den beiden Ästen stark differieren. Sterne auf dem schrägen Ast haben stark asymmetrische Lichtkurven, mit steilem Aufstieg, langsamem Abstieg, manchmal mit ziemlich flachem, langem Minimum. Diese Sterne nannte er *a*- oder *b*-Sterne, je nach der Flachheit des Helligkeitsminimums. Die zum kurzperiodischen Ast gehörenden Sterne — von BAILEY als *c*-Sterne bezeichnet — haben nahezu sinusförmige Lichtkurven, manchmal mit doppeltem Maximum. Nach der neuen Terminologie, die auf der Hamburger IAU-Tagung angenommen wurde, werden die Baileyschen *a*- und *b*-Sterne in eine Klasse als RRab-Sterne zusammengezogen, während die *c*-Sterne die Bezeichnung RRC erhalten haben. Als Beispiele für die beiden Klassen von RR Lyrae-Sternen sind die Lichtkurven von TU Ursae Maioris und DH Pegasi dargestellt.

Wenn man den RRab-Ast von M 3 genauer betrachtet, so bemerkt man eine Zweiteilung. Der erste, dichter besetzte Teil beginnt bei $P = 0.45$, $A = 1.5$ und läuft steil bis $P = 0.64$, $A = 0.5$ hinunter. Der zweite, nur aus 6 Sternen bestehend, beginnt bei $P = 0.59$, $A = 1.2$, ist viel weniger steil als der erste, und erstreckt sich bis zu $P = 0.92$. Diese Zweiteilung des RRab-Astes ist besonders klar zu sehen, wenn wir die maximale Helligkeit gegen die Periode auftragen (siehe Abb. für M 3).

Dieselbe Zweiteilung des RRab-Astes ist auch in ω Centauri vorhanden. Hier gehören aber die meisten Sterne zu dem zweiten Ast, während der erste, steile Ast nur von wenigen Sternen besetzt ist. Übrigens ist auch die Struktur des RRC-Astes in Hinblick auf die Periodenverteilung in beiden Haufen stark verschieden, wie aus der Abbildung zu sehen ist. Man hat später erkannt, daß die erwähnten Unterschiede in der Periodenverteilung oder in der Periode-Amplitude-Beziehung von Haufen zu Haufen mit der spektralen Beschaffenheit (integriertes Spektrum, FHD) der einzelnen Haufen korreliert sind. In erster Linie scheint dabei die Metallhäufigkeit der Haufensterne maßgebend zu sein, soweit es aus der Stärke der Metalllinien im integrierten Spektrum eines Haufens beurteilt werden kann. Die im galaktischen Halo, weit von der Milchstraßenebene liegenden Kugelhaufen sind sehr metallarm, während die in der galaktischen Scheibe vorkommenden Kugelhaufen normale chemische Zusammensetzung besitzen. Nun haben sowohl die RRC-, wie die RRab-Sterne in den Halo-Haufen durchschnittlich längere Perioden, als die entsprechenden Sterne in den Kugelhaufen der galaktischen Scheibe. Es erhebt sich nun

die Frage, ob auch die RR Lyrae-Sterne des galaktischen Feldes ähnliche Unterschiede in ihrer chemischen Zusammensetzung nach ihrer galaktischen Lage aufweisen, und wie diese Unterschiede mit anderen Daten dieser Sterne und mit Eigenschaften ihres Lichtwechsels in Zusammenhang stehen.

Der Prestonsche Spektralindex ΔS

Im Laufe einer Lichtwechselperiode ändert sich das Spektrum eines RR Lyrae-Sternes ungefähr um eine Spektralklasse, bei RRab-Sternen von etwa A 7 im Helligkeitsmaximum zu F 5 im Helligkeitsminimum. Der früheste Spektraltyp und somit auch das Temperaturmaximum fällt mit dem Helligkeitsmaximum zusammen, dementsprechend ist die Farbe des Sternes im Helligkeitsmaximum bedeutend blauer als im Minimum (s. die (B-V)-Farbenindexkurven in der Abb.). Ihrem Spektraltyp entsprechend dominieren im Spektrum der RR Lyrae-Sterne die Balmer-Linien des Wasserstoffs und die H- und K-Linien des ionisierten Calciums. Vor und in dem Helligkeitsminimum sind die Wasserstofflinien im Spektrum aller RRab-Sterne von nahe gleicher Intensität und sie ergeben Spektraltypen zwischen F 4 und F 6. Die Intensität der Ca II-Linien ist dagegen von Stern zu Stern stark verschieden.

Die Perioden-Helligkeitsbeziehung für RR Lyrae-Sterne im Kugelhaufen M 3. Leere Kreise: maximale Helligkeit; volle Kreise: minimale Helligkeit. Für den langperiodischen Ast in Abb. 2 sind die entsprechenden Daten mit $\times$ bezeichnet. Für die maximale Helligkeit hat man getrennte Korrelationen für RRC-Sterne und für die beiden Klassen der RRa-Sterne.

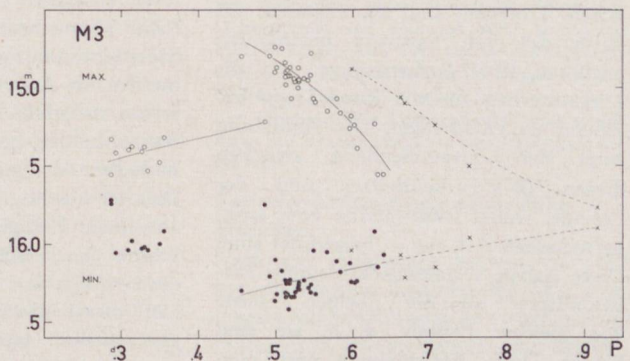
So ergeben bei dem Stern 40 Leo die Wasserstoff- wie die Calciumlinien denselben Spektraltyp, und dies gilt annähernd auch für DX Delphini. Für X Arietis erhält man aber aus den Calciumlinien, da sie sehr schwach sind, den Typ A 4 gegen F 4, welcher der Intensität der Wasserstofflinien entspricht. Der Unterschied ist also eine volle Spektralklasse! Für RR Lyrae bekommt man F 6 aus den Wasserstoff-, F 0 aus den Calciumlinien. PRESTON hat eine Häufigkeits-Analyse der chemischen Elemente für diese drei RR Lyrae-Sterne durchgeführt und erhielt für das Metall- zu Wasserstoff-Verhältnis bei DX Del einen „normalen“ d. h. für die Sonne gültigen Wert, während in RR Lyr die Metalle relativ zum Wasserstoff 10mal, in X Ari sogar 500mal seltener sind als in der Sonne!

Je größer also bei einem RR Lyrae-Stern die Differenz zwischen den einerseits aus Wasserstofflinien, andererseits aus Calciumlinien bestimmten Spektraltypen ist, um so ärmer ist der Stern an Metallen. PRESTON hat das Zehnfache dieser Differenz mit ΔS bezeichnet und als Metallhäufigkeitsindikator eingeführt. Man hat also:

$$\Delta S = 10 \times [\text{Sp}(\text{Wasserstoff}) - \text{Sp}(\text{CaII})].$$

Kleinen ΔS -Werten entspricht normale, großen ΔS -Werten geringe Metallhäufigkeit. ΔS kann mit Hilfe von Spektren geringer Dispersion bestimmt werden, da die H- und K-Linien von Ca II und die Balmer-Linien des Wasserstoffs auch in solchen Spektren gut sichtbar sind. In dieser Weise hat PRESTON für mehr als 100 RR Lyrae-Sterne ΔS -Werte bestimmt, darunter auch für einige in den Haufen M 5, M 15 und M 92. Es kommen ΔS -Werte von 0 bis zu 12 vor.

Es hat sich nun gezeigt, daß RR Lyrae-Sterne mit $\Delta S < 3$ im allgemeinen in der Milchstraßenebene gefunden werden, während die mit $\Delta S > 5$ die hohen galaktischen Breiten bevorzugen. Es besteht damit eine volle Analogie zu den Kugelhaufen, die ebenfalls, je nach der Stärke der Metalllinien in ihren integrierten Spektren, zu der Scheiben- oder Halopopulation unseres Milchstraßen-



systems gehören. Ihrer galaktischen Verteilung entsprechend bestehen bedeutende Unterschiede in den kinematischen Eigenschaften von RR Lyrae-Sternen mit verschiedenen ΔS . Relativ zu der Gruppe mit $\Delta S < 3$ beträgt z. B. die Sonnengeschwindigkeit 55 km/sec, relativ zu denjenigen mit $\Delta S > 5$ aber 185 km/sec! Jetzt können wir zur Abbildung zurückkommen und die Periode-Amplitude-Beziehung für die Feldsterne näher betrachten. Bei den RRC-Sternen kommen alle ΔS -Werte gemischt vor, dagegen zeigen die verschiedenen ΔS -Symbole für die RRab-Sterne eine systematische Anordnung: für $P < 0.44$ kommen nur kleine ΔS -Werte vor, während für $P > 0.65$ bei allen Feldsternen $\Delta S > 9$ ist.

Das Fehlen der RRab-Sterne mit $P < 0.44$ in Kugelhaufen kann somit dadurch er-

klärt werden, daß die Veränderlichen der bis jetzt überwiegend untersuchten Halo-Kugelhaufen alle metallarm sind. Auf diese Weise kann andererseits das Auftreten von RRab-Sternen mit $P < 0.44$ in den Kugelhaufen der galaktischen Scheibe erwartet werden. In der Tat reicht der kurzperiodische RRab-Ast in dem metallreichen Kugelhaufen NGC 6171 bis zu 0.41, während der langperiodische RRab-Ast fehlt. Leider ist die Untersuchung solcher Haufen infolge der starken interstellaren Lichtschwächung in der Nähe der Milchstraßenebene nicht leicht, weshalb bis jetzt nur ganz wenige von ihnen näher auf veränderliche Sterne untersucht wurden.

Ein Vergleich der Diagramme aus Abb. 2 zeigt noch, daß in M 3 und ω Centauri RRab-Sterne mit Perioden kleiner als 0.45 Tagen nicht vorkommen, also Sterne mit $\Delta S < 3$ in beiden Kugelsternhaufen völlig fehlen müßten. Wegen des Periodenbereichs in diesen beiden Kugelsternhaufen sollte die Metallhäufigkeit variieren zwischen $\Delta S = 4$ bis 10, vorausgesetzt, daß dieselbe Relation zwischen Periode und ΔS besteht, wie für RR-Lyrae-Feldsterne. Insbesondere sollte der zweite, langperiodische RRab-Ast von lauter sehr metallarmen Sternen besetzt sein.

Nun kennen wir weder in ω Cen noch in M 3 die ΔS -Werte für die Veränderlichen. Trotzdem sind wir imstande mit Hilfe der von SANDAGE bestimmten mittleren (B-V)-Farbenindizes von RR Lyrae-Sternen in M 3 diese Frage bejahend zu entscheiden. Die Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen diesen (B-V)-Farbenindizes und der Periode, wobei RRab-Sterne vom langperiodischen Ast mit $\times$ bezeichnet sind. Diese haben systematisch kleinere Farbenindizes als die übrigen Sterne von gleicher Periode, d. h. sie sind blauer. Diese Verschiebung nach blau kann am einfachsten dadurch erklärt werden, daß sie sehr metallarm sind. Die Metalllinien sind nämlich im blauen Spektralbereich viel häufiger, als im gelben, und wenn sie nicht äußerst schwach sind, können sie das blaue Spektralgebiet merklich schwächen (sog. Blanketing-Effekt), wodurch ein größerer (B-V)-Farbenindex entsteht. Umgekehrt weist der kleine (B-V)-Farbenindex auf die Schwäche der Metalllinien hin. Damit ist es wahrscheinlich, daß RRab-Sterne in Haufen derselben (P - ΔS)-Relation genügen, wie Feldsterne.

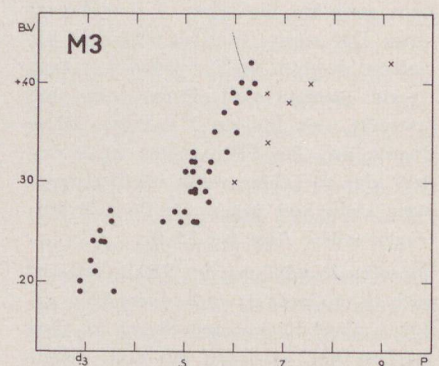
Die am Ende des vorigen Paragraphen erwähnte Korrelation zwischen dem integrierten Spektrum eines Haufens und der Periodenverteilung seiner RR Lyrae-Veränderlichen muß dann aber als Folge dieser (P - ΔS)-Relation betrachtet werden.

Absolute Helligkeit; RRs-Sterne

Die Abbildung zeigt, wie die photographischen Helligkeiten der RR Lyrae-Sterne in M 3 in ihrem Helligkeits-Maximum, bzw. Minimum von der Periode abhängen. Bei den RRab-, und anscheinend auch bei den RRc-Sternen nehmen die Helligkeiten im Minimum mit der Periode zu, während die maximalen Helligkeiten für die beiden Äste der RRab-Sterne mit zunehmender Periode kleiner werden. In das FHD trägt man gewöhnlich die mittleren Helligkeiten ein, weil diese für die durchschnittliche Ausstrahlung und zugleich für die Energieerzeugung der Veränderlichen maßgebend sind. Da die maximalen Helligkeiten mit zunehmender Periode etwas steiler abnehmen, als die minimalen Helligkeiten anwachsen, vermindern sich die mittleren photographischen Helligkeiten der RRab-Sterne mit zunehmender Periode ein wenig. Für die visuellen Helligkeiten ist eine solche Korrelation, wenigstens in M 3, unbemerktbar.

Eine ausgesprochene Differenz besteht aber sowohl in den photographischen wie visuellen mittleren Helligkeiten zwischen den beiden Ästen der RRab-Sterne. Die Sterne des langperiodischen Astes sind um 0.714 heller, als die des kurzperiodischen Astes. Nach dem früher Gesagten würde dies eine Abhängigkeit der absoluten Helligkeit vom Metallgehalt der RRab-Sterne bedeuten, und zwar wäre Metallarmut mit größerer Helligkeit verbunden. In Anbetracht der großen Differenz zwischen dem Metallgehalt der Sterne in den beiden Ästen muß aber auch diese Abhängigkeit geringfügig sein. Dies ist bestätigt worden, nachdem die absoluten Helligkeiten der RR Lyrae-Sterne in verschiedenen Kugelhaufen durch Anpassen der Hauptreihen der FHD dieser Haufen an die als Standard genommene Hauptreihe der Hyaden-Sterne bestimmt wurden. Wenn man darauf achtet, daß die Hauptreihen der Kugelhaufen je nach dem Metallgehalt ihrer Sterne infolge des Blanketing-Effekts von derjenigen der Hyaden-Sterne abweichen können, und diese Unterschiede, sowohl wie die interstellare Absorption möglichst genau berücksichtigt, so ergibt sich kein merklicher Zusammenhang zwischen dem Metallgehalt eines Haufens und der absoluten Helligkeit seiner RR Lyrae-Sterne. Zwar gibt es Unterschiede von Haufen zu Haufen, diese scheinen aber eher mit dem Alter der Haufen in Zusammenhang zu stehen. Zum Beispiel ergibt sich nach ARP in dem relativ jungen Haufen M 13 die mittlere visuelle absolute Helligkeit der RR Lyrae-Sterne zu $M_V = -0.3$. In dem alten Haufen M 3 wird $M_V = +0.4$ gefunden.

Viel schwieriger ist die Bestimmung von M_V für Feldsterne. Die klassische Methode, statistische Parallaxen aus der Eigenbewegung und Radialgeschwindigkeit vieler Sterne zu bestimmen, kann mit einiger Sicherheit nur auf kinematisch homogene Sterngruppen angewendet werden. Die RR Lyrae-Sterne repräsentieren aber, wie wir gesehen haben, in kinematischer Hinsicht eine sehr heterogene Gruppe. Darum ist EGGENS Entdeckung, wonach RR Lyrae mit einigen Unterzweigen in höchster Geschwindigkeit der Sonnenumgebung, darunter mit Groombridge 1830, eine gemeinsame Raumbewegung ausführt, von großer Bedeutung. Damit kann M_V für RR Lyrae nach der für bewegte Sterngruppen anwendbaren Methode bestimmt werden, wie es z. B. für die Hyaden-Sterne geschehen ist. Das Resultat ist $M_V = +0.5$. Später konnten noch weitere RR Lyrae-Sterne als Mitglieder ähnlicher Sterngruppen erkannt werden, für ihre M_V ergaben sich Werte zwischen 0.0 und $+0.6$ mag.



Die Abhängigkeit des mittleren (B-V)-Farbenindex von der Periode P für RR Lyrae-Sterne im Kugelhaufen M 3 (nach A. R. SANDAGE). (RRa-Sterne des langperiodischen Astes sind mit $\times$ gezeichnet.)

Nach allen diesen neuen Resultaten kann für die RR Lyrae-Sterne im Mittel $M_V = +0.2$ angenommen werden; man muß aber dabei mit einem Streuungsintervall von nahe einer Größenklasse rechnen. Wesentlich kleinere absolute Helligkeiten ergeben sich für die sogenannten ultrakurzperiodischen Veränderlichen. Dies sind Sterne mit Perioden kleiner als 0.2 Tage ($P < 0.2$), mit Lichtkurven und Farbenindizes analog zu den RRab-Sternen. Ihrem kinematischen Verhalten und Metallgehalt nach gehören sie zu der Scheiben-Population. Für einige Sterne dieser Gruppe konnten die trigonometrischen Parallaxen bestimmt werden. So ergibt sich für SX Phoenicis, dem Veränderlichen kürzester Periode ($P = 80^m$), $M_V = +3.7$. Wahrscheinlich gilt für diese Sterne eine Perioden-Leuchtkraft-Beziehung: längeren Perioden entsprechen höhere

absolute Helligkeiten. Man hat neuerdings für diese Sterne die Bezeichnung RRs eingeführt, obgleich ihre Zugehörigkeit zu den RR Lyrae-Sternen äußerst fraglich ist, zumal sie niemals gemeinsam mit RRc- und RRab-Sternen aufgefunden wurden.

Merkwürdigerweise führten neue statistische Untersuchungen an der Greenwich Sternwarte auch für RRc-Sterne mit großen ΔS -Indices zu ähnlich geringen absoluten Helligkeiten von etwa $M_V = +2$. Die in Kugelhaufen vorkommenden RRc-Sterne zeigen aber nicht diese Sonderstellung. Das Problem der absoluten Helligkeit von RR Lyrae-Sternen ist also noch immer weitgehend ungeklärt.

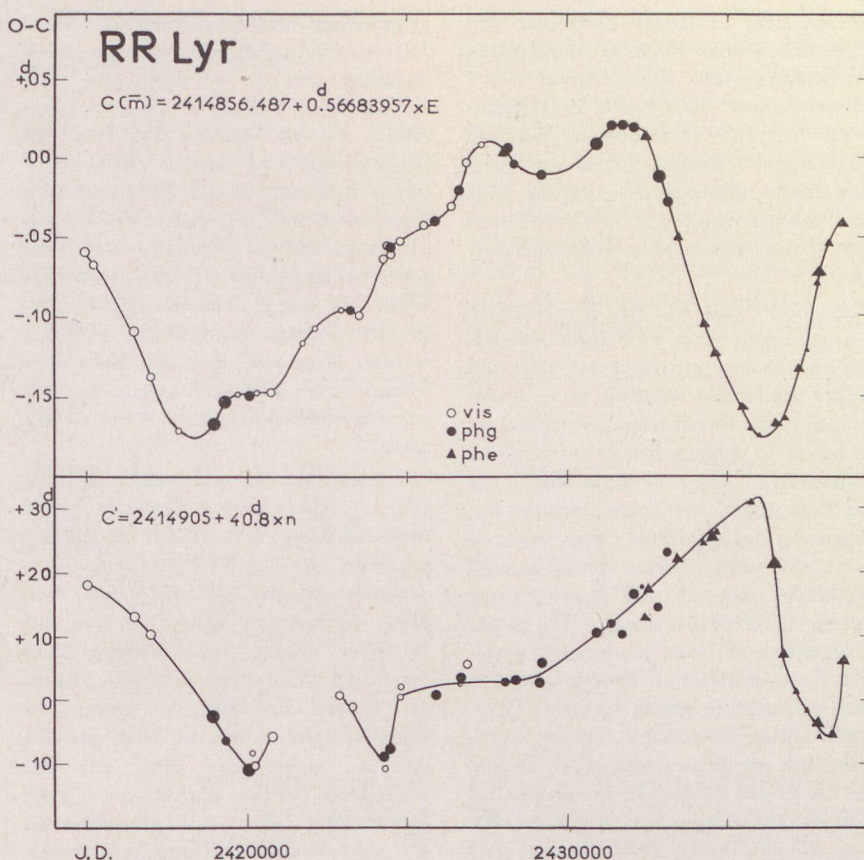
Die spektralen Änderungen

Neben der Helligkeit und Temperatur ändert sich auch die Radialgeschwindigkeit der RR Lyrae-Sterne mit derselben Periode. Die Oberfläche dieser Sterne muß also abwechselnd expandieren, und kontrahieren. Bei RRab-Sternen wird die maximale Expansionsgeschwindigkeit im Lichtmaximum beobachtet, etwa eine Viertelperiode später beginnt die Kontraktionsphase.

Untersucht man aber das Spektrum bei großer Dispersion, so bekommt man nicht so einfache Radialgeschwindigkeitskurven wie sie in der Abbildung für TU UMa dargestellt sind. STRUVE und SANFORD haben im Jahre 1947 im Spektrum von RR Lyr während des Lichtanstieges Linienverdoppelungen und manchmal auch Emissionslinien beobachtet. Im Lichtminimum sind die Linien nach Rot verschoben. Kurz danach treten an der violetten Seite dieser immer schwächer werdenden Linien violettverschobene Linien auf, deren Intensität und Violettverschiebung rasch anwächst. Diese Linienverdoppelung zeigt, daß bereits ein neuer Zyklus der nach außen geschleuderten Gasströme begonnen hat, bevor die früher ausgeworfenen Gase zurückgefallen sind. Die Diskontinuität der Radialgeschwindigkeitskurve kann auch bei manchen RRc-Sternen beobachtet werden, siehe dazu in der Abbildung die Kurve für DH Peg.

Die neueren Beobachtungen mit photoelektrischer Spektralregistrierung an der Mt.-Wilson-Sternwarte und mit einer Trail-Technik¹ an dem Lick Observatorium ermöglichen eine detaillierte Untersuchung der Atmosphäre der Sterne. Für RR Lyrae-Sterne erhielt man verschiedene Radialgeschwindigkeiten je nachdem aus welchen Linien sie bestimmt

¹ Dabei wird der Stern entlang des Spektrographenspaltes mikrometrisch gleichmäßig bewegt. Man bekommt ein breites Spektrum, welches senkrecht zur Dispersionsrichtung die zeitlichen Änderungen anzeigt.



wurden. Diese Differenzen bestehen zu allen Phasen und deuten auf einen Geschwindigkeitsgradienten in der Atmosphäre. Bei allen RRab-Sternen mit großer Lichtamplitude treten in dem Spektrum in der Mitte des aufsteigenden Astes Emissionslinien auf. Zu dieser Phase zeigt der (U-B)-Farbenindex einen schnellen Anstieg mit kurz darauf folgendem schnellen Abstieg, während sonst U-B fast konstant ist. Wahrscheinlich wird dieser vorübergehende Ultraviolettexzeß von kontinuierlicher Emission jenseits der Balmer-Grenze im Ultravioletten verursacht. Die Emissionslinien können möglicherweise durch Kollision der ein- und ausströmenden Atmosphärenschichten angeregt werden, oder sie entstehen durch Rekombinationsleuchten in einer ausgedehnten, expandierenden Atmosphäre.

Diese Erscheinungen sind viel komplizierter als man nach der ursprünglichen Pulsationstheorie erwartet hätte. Dementsprechend erlitt die Theorie viele Umgestaltungen, besonders bezüglich der Ursache der Veränderlichkeit. Früher suchte man die Quelle der Pulsationen im zentralen Teil der Sterne, in den dortigen Energieerzeugungsmechanismen. Nach der heutigen Auffassung ist die Quelle der Veränderlichkeit in den äußeren Schichten, wo die Ionisationszone des Wasserstoffs und etwas tiefer diejenige des Heliums liegen. Bei RR Lyrae-Sternen spielt wahrscheinlich die Ionisationszone des He II die wichtigste Rolle.

(O-C)-Diagramme für RR Lyrae; oben für die Hauptperiode von 0.567, unten für die sekundäre Periode von 40.8. Abszisse: Zeit in Julianischem Datum; Ordinate: Abweichung des beobachteten Zeitpunktes einer bestimmten Phase des Lichtwechsels, von dem mit einer konstanten Periode berechneten Wert. Die für die Rechnung zugrunde gelegte Formel ist im Diagramm angegeben C bzw. C'. Visuelle, photographische und lichtelektrische Beobachtungen sind in der Reihe mit Kreisen, Punkten und Dreiecken bezeichnet.

Periodenänderungen; sekundäre Perioden

Nach der Abbildung besteht für RR Lyrae-Sterne im Kugelhaufen M 3 eine ausgesprochene Korrelation zwischen dem mittleren (B-V)-Farbenindex und der Periode. Danach ordnen sich die Sterne in dem engen RR Lyrae-Bereich des Farben-Helligkeits-Diagramms mit von links nach rechts zunehmender Periode an. Nach heutigen Ansichten ist der horizontale Ast im Diagramm der Entwicklungsweg der Sterne. In diesem Fall müssen die RR Lyrae-Sterne mit beständig sich ändernder, also ständig zunehmender oder abnehmender Periode das RR Lyrae-Gebiet durchlaufen, je nachdem ob die Entwicklung auf dem horizontalen Ast von links nach rechts, oder in umgekehrter Richtung verläuft. Könnte man also bei RR Lyrae-Sternen durch ihre kontinuierliche Beobachtung fortschreitende Periodenänderungen feststellen, so wäre damit im Prinzip die Möglichkeit gegeben, die Entwicklungsrichtung der Sterne in diesem Teil des Farben-Helligkeits-Diagramms empirisch festzulegen.

Analog dem in dieser Zeitschrift von KIPPENHAHN und WEIGERT dargelegten „Entwicklungsweg“ eines Sternes von 7 Sonnenmassen (SuW 3, 173, 1964) könnte man natürlich daran denken, daß auch die weniger massiven Sterne der Horizontalreihe mehrmals hin und her pendeln können. Damit wären sowohl Periodenzu- wie Periodenabnahmen zu erwarten.

Nun zeigen fast alle RR Lyrae-Sterne, die genügend lang beobachtet wurden, Periodenänderungen, und bei etwa der Hälfte von ihnen scheinen diese Änderungen einen fortschreitenden Charakter zu haben. In dem am besten untersuchten Haufen M 3, fand neuerdings SZEIDL auf der Budapester Sternwarte nach der Bearbeitung des gesamten, über etwa 60 Jahre sich erstreckenden Beobachtungsmaterials, unter 112 RR Lyrae-Sternen nur für 7 konstante, dagegen für 25 abnehmende und für 27 zunehmende Perioden. Dagegen sind nach MARTIN in ω Cen Periodenverlängerungen in starker Überzahl. Dieser Unterschied rührt wahrscheinlich von dem verschiedenen Verhalten der beiden RRab-Äste in Hinsicht auf Periodenänderungen her. Vielleicht können wir aus diesen Feststellungen bald quantitative Aussagen über die Geschwindigkeit der Entwicklung machen, jedoch brauchen wir dazu noch mehr Beobachtungsmaterial.

Fast alle RRC- und etwa 30 % der RRab-Sterne zeigen unregelmäßige Periodenänderungen, die eventuell vorhandene fortschreitende Periodenänderungen verdecken können. Alle solchen Sterne haben eins gemeinsam: ihre Lichtkurven sind starken Änderungen unterworfen. Bei sorgfältiger Beobachtung stellt sich immer heraus, daß diese Lichtkurvenveränderungen periodisch sind. Bei solchen Sternen existiert also neben der Periode des Lichtwechsels noch eine andere, im allgemeinen viel längere, sogenannte sekundäre Periode. Nach dem russischen Astronomen BLASHKO, der am Beginn unseres Jahrhunderts als erster diese periodischen Lichtkurvenveränderungen bei den Sternen RW Dra und XZ Cyg bemerkte, nennt man diese Erscheinung bei RR Lyrae-Veränderlichen den Blashko-Effekt. Selbst RR Lyrae zeigt diesen Effekt: die Amplitude seines halbtägigen Lichtwechsels ändert sich im Laufe einer sekundären Periode von 41 Tagen, gleichzeitig verschiebt sich der aufsteigende Ast und besonders das Maximum in Phase hin und her. Auch die Radialgeschwindigkeitskurve und die spektralen Erscheinungen während des Lichtanstiegs verändern sich mit derselben Periode.

Die Abbildung veranschaulicht an Hand von sogenannten (O-C)-Diagrammen die

verwickelten Änderungen beider Perioden von RR Lyr. Diese Diagramme geben eigentlich die Abweichungen von einer mit konstanter Periode berechneten Ephemeride an. Die scharfen Knicke in den Diagrammen sind immer mit wesentlichen Änderungen der Amplitude des Blashko-Effektes verbunden. Bei so komplizierten Sternen können zeitlich weit auseinanderliegende Beobachtungen nur wenn ein kontinuierliches (O-C)-Diagramm vorliegt nach Phase geordnet werden. Dazu muß man den Stern fortwährend unter Kontrolle halten. Und RR Lyr ist noch ein „milder“ Stern dieser Sorte!

Zur Erklärung dieser Erscheinungen ist allem Anschein nach von großer Bedeutung daß BABCOCK in RR Lyr ein starkes, zwischen +1170 und -1580 Gauß veränderliches Magnetfeld gefunden hat. Diese Messungen erstrecken sich auf 10 Jahre. Ordnet man sie mit Hilfe der (O-C)-Diagramme nach den Phasen der beiden Perioden, so zeigen sie keine Korrelation mit der Hauptperiode, um so mehr aber eine mit der sekundären Periode: die Extremwerte der Feldstärken fallen mit Extremwerten der Lichtwechselamplituden zusammen. Das Problem von RR Lyr muß damit in engem Zusammenhang stehen mit den magnetischen Veränderlichen. Der Wechsel der magnetischen Polarität ist am einfachsten nach der Hypothese des amerikanischen Astronomen DEUTSCH zu erklären. Danach ist das magnetische Feld in Wirklichkeit konstant, die magnetische Achse fällt aber nicht mit der Rotationsachse zusammen. Somit beobachtet man ein mit der Rotationsperiode veränderliches Magnetfeld.

Ist diese Hypothese richtig, so muß auch RR Lyr ein solcher „schiefer Rotator“ sein. Nimmt man noch an, daß der Lichtwechsel durch zu dem magnetischen Feld symmetrische zonale Pulsationen entsteht, so wäre damit auch der Blashko-Effekt erklärt. Nach dieser Hypothese von JULIA BALAZS würden also solche RR Lyrae-Sterne den Effekt zeigen, bei denen die magnetische Achse nicht mit der Rotationsachse zusammenfällt.

Da BABCOCK nur sehr wenige Messungen erhalten hat, wird gegenwärtig an der Lick-Sternwarte am 3-m-Spiegel neues Beobachtungsmaterial über die Zeeman-Polarisation von RR Lyr gesammelt, um die Periodizität der magnetischen Änderungen zu prüfen. Wie auch diese Messungen ausfallen werden, es scheint wahrscheinlich, daß magnetohydrodynamische Erscheinungen bei den RR Lyrae-Sternen und vielleicht auch bei anderen physischen Veränderlichen eine wesentlich größere Rolle spielen als bisher vermutet wurde.

Die Tagung der „Vereinigung der Sternfreunde“ 1965

Im zweijährigen Turnus finden die ordentlichen Mitgliederversammlungen der „Vereinigung der Sternfreunde e. V.“ (VdS) statt, die mit einer allgemeinen Tagung der Sternfreunde verbunden sind. Vom 17. bis 19. September findet dieses Jahr die Tagung in München auf Einladung und in Zusammenarbeit mit der Volkssternwarte München statt.

Tagungslokal ist das Deutsche Museum. Dort wird auch wie letztes Mal in Köln 1963 eine Ausstellung der neuesten Amateurfernrohre vorführen. Die Teilnehmer erwarten drei Hauptreferate über astronomische Volksbildung (J. HERRMANN, Recklinghausen), elektrische Einrichtungen für Amateurfernrohre (Ing. H. ZIEGLER, Nußbaumen, Schweiz) und Beobachtung, Auswertung und Veröffentlichung von Amateurarbeiten (H. OBERNDORFER, München). Ein Nachmittag ist Lichtbilderberichten zum Thema „Sternfreunde stellen ihre Instrumente vor“ gewidmet. Und wieder wird ein großer öffentlicher Vortrag in den Dienst der Werbung für die populäre Himmelskunde gestellt. Dabei wird Prof. Dr. R. MÜLLER, Wendelstein, sprechen.

Das ausführliche Tagungsprogramm verschickt die Geschäftsstelle der VdS in 8000 München 9, Theodolindenstraße 6, auf Anforderung auch an Nichtmitglieder, die zu dieser Tagung jederzeit willkommene Besucher sind. G. D. R.

Astro-Amateurtagung 1965

Im Oktober 1965 findet in Baden/Schweiz das große Treffen der Astro-Amateure statt. Ein reichhaltiges Programm ist in Vorbereitung und umfaßt, unter anderem, eine Reihe von Vorträgen über astronomische Themen, instrumentelle Fragen, astrophotographische Probleme und über die Möglichkeiten der Amateurmitarbeit an astronomischen Aufgaben. Eine Ausstellung mit Instrumentenschau zeigt dem Sternfreund den Weg zum Bau eines eigenen Fernrohrs und zum Verständnis der Sternwelt sowie zur erfolgreichen Beobachtungstätigkeit. Außerdem wird ein Wettbewerb mit wertvollen Preisen für die besten Zusatzgeräte und Hilfseinrichtungen für den Astro-Beobachter veranstaltet.

Die Tagung findet nur alle 4 Jahre statt und bietet eine seltene Gelegenheit zum Gedankenaustausch zwischen Sternfreunden aus allen Ländern Europas. Reservieren Sie sich rechtzeitig den 2. und 3. Oktober für einen Besuch der Schweiz und der Astro-Amateurtagung in Baden.

Astronomische Gesellschaft Baden
Schartenfelsstraße 41
CH — 5400 Baden/Schweiz