

<b>Zeitschrift:</b>	Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Astronomische Gesellschaft
<b>Band:</b>	52 (1994)
<b>Heft:</b>	260
<b>Artikel:</b>	Spektren von Mira-Sternen
<b>Autor:</b>	Bissantz, N. / Federspiel, M. / Trefzger, Ch.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-898774">https://doi.org/10.5169/seals-898774</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 11.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



# Das Problem der Bestimmung der geographischen Länge

H. JOST

Lieber Erich Laager

Dein Brief hat mich ausserordentlich gefreut, hast Du doch gleichzeitig mit mir ein ähnliches Thema aufgegriffen. Ich bin überrascht, wie Du mit sehr beschränkten Hilfsmitteln (der Taschenrechner gehört zwar heute eher zu den high-tech Mitteln) die Dir gestellten Aufgaben sehr genau lösen kannst. Dabei kamen Dir zweifellos Deine sehr guten Kenntnisse der astronomischen Zusammenhänge zugute.

Bei der Suche nach der Südrichtung mit Hilfe der Kulmination der Sonne hat natürlich die Zeitgleichung einen enormen Einfluss. Kennt man die Kulminationszeit der Sonne in Greenwich nicht, so kann die Verschiebung der Kulminationszeit von bis zu 15 Minuten zu einem Fehler in der Position von bis zu 416 km führen. Aber zum Glück hast Du mir einen Weg gezeigt, wie auch der Einfluss der Zeitgleichung einfach ermittelt werden kann.

Generell liegt sicher das ganze Problem der Ortsbestimmung auf einer einsamen Insel in der Genauigkeit. Während die geographische Breite mit exakten Messmethoden auch mit einfachen Mitteln sehr genau sein kann (Du hast es mir ja gezeigt), ist die Frage der geographischen Länge auch bei genauen Messungen eigentlich eine Frage der genauen Kenntnis der Zeit. Hier lag ja auch das Problem der christlichen Seefahrt: Azimut und Höhe konnten sehr genau gemessen werden. Nur die Präzision der Zeitmessung, sprich die Genauigkeit der Uhren, liess sehr zu wünschen übrig.

Sicher weisst Du, dass einer der Hauptzwecke der Sternwarte Greenwich in Forschungsarbeiten zur Bestimmung der geographischen Länge auf hoher See gehörten, einschliesslich von Zeitmessungen und Durchgangsmessungen von Gestirnen (die Transitinstrumente kann man noch heute bewundern). Schlussendlich wurde vom «Ausschuss der Admiralität für die Längengradbestimmung» ein Preis für die Lösung des Problems der Bestimmung des Längengrades ausgesetzt. Wusstest

Du, dass der Preis schlussendlich an zwei verschiedene Personen vergeben wurde, weil plötzlich zwei grundsätzlich verschiedene Lösungen auftauchten?

Die erste Lösung basierte auf der klassischen Idee mit Hilfe einer sehr genauen Uhr, welche der Engländer John Harrison erfand. Die Präzision der Uhr wurde bewiesen, als sie mit einem Schiff auf eine Reise nach Jamaika und zurück genommen wurde. Der Fehler der mit ihrer Hilfe ermittelten geographischen Länge, nach Monaten mit hohem Seegang, war kleiner als 30 km. Das einzige Problem stellte die sehr teure Fertigung dar. Als Cook zu seiner zweiten Reise nach Tahiti segelte (1772-1775), nahm er eine solche Uhr mit. Ein Preisvergleich: sein Schiff, die HMS Resolution hatte 2750 Pfund gekostet, die Uhr 500 Pfund. Eine Harrison-Uhr kann heute noch im Seefahrtmuseum in Greenwich betrachtet werden)

Die zweite Lösung wurde vom deutschen Mathematikprofessor Tobias Mayer gefunden. Er baute auf Arbeiten von Euler, Clairaut und d'Alembert auf, welche er mit Messungen von Bradley in Zusammenhang brachte. Er erhielt so ein Reihe genauer Vorausberechnungen der Mondbahn, welche dann zur Bestimmung der geographischen Länge mit der sogenannten «Mondabstandsmethode» genutzt werden konnten. Sie basierte nur auf Beobachtungen der Mondbahn und benötigte keine Kenntnis der genauen Zeit. Zu diesem Zweck erstellte er den ersten «Nautischen Almanach».

Sowohl Harrison als auch Mayer beanspruchten schliesslich den Preis der Admiralität. Dies führte zu einem 10jährigen Streit, welcher dadurch beendet wurde, dass Harrison eine Summe von 18750 Pfund, der Witwe des inzwischen verstorbenen Mayer eine Summe von 3000 Pfund zuerkannt wurde.

Durch den Bau der genauen Uhren geriet dann aber die Methode von Mayer in Vergessenheit.

So, lieber Erich, ich hoffe, Dich mit diesem Exkurs nicht gelangweilt zu haben und freue mich darauf, bald wieder etwas von Dir zu hören.

Mit herzlichen Grüßen

HUGO JOST

## Spektren von Mira-Sternen

N. BISSANTZ, M. FEDERSPIEL und CH. TREFZGER

Am Astronomischen Institut der Universität Basel findet alljährlich ein Beobachtungskurs statt mit dem Ziel, den Teilnehmern die Bedienung und Anwendung moderner Forschungseinrichtungen näherzubringen. Das zur Verfügung stehende Instrumentarium befindet sich in der 15 km südwestlich von Basel gelegenen Sternwarte Metzerlen und besteht aus einer Schmidtamera (Korrektionsplatte 40cm, Brennweite 152cm) mit zwei Objektivprismen sowie einem

60cm-Cassegrain-Teleskop mit einem lichtelektrischen Photometer. Der Kurs des Jahres 1992 stand unter dem Thema «Spektralklassifikation von Mira-Variablen», wobei die Schmidtamera in Verbindung mit einem Objektivprisma verwendet wurde. Dieses Projekt ergänzt die seit Jahren von Metzerlen aus durchgeführte photometrische Überwachung langperiodischer Veränderlicher. Der folgende Beitrag ist daraus hervorgegangen.



## Spektroskopie mit Objektivprismen

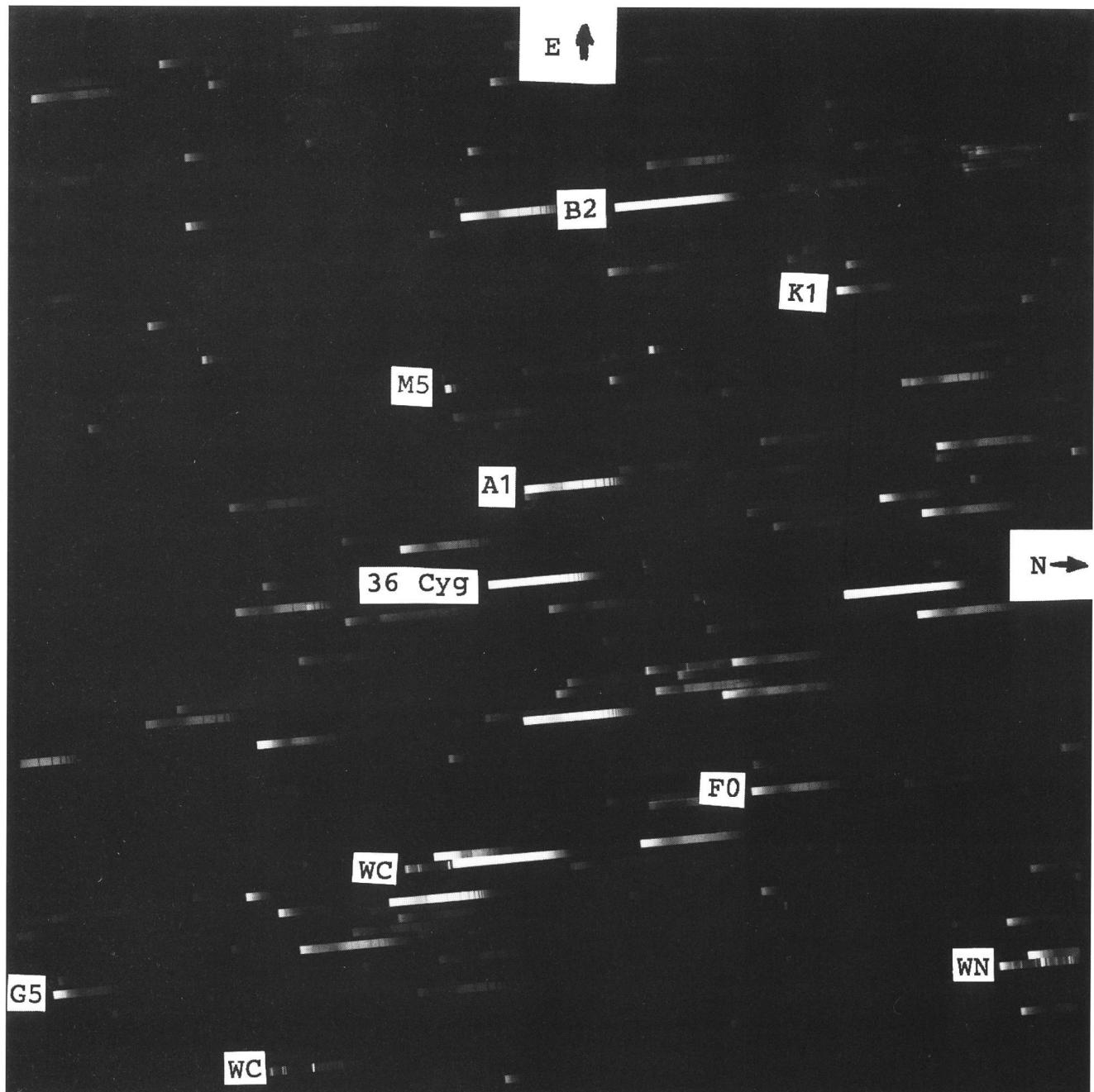
Bei der Objektivprismen-Spektroskopie wird ein Glasprisma vor der Korrektionsplatte der Schmidtkamera angebracht und die Kamera bildet an Stelle der Sterne deren Spektren ab. Das von uns verwendete Prisma besitzt einen brechenden Winkel von 5 Grad. Die Auffächerung des Lichts wird als Dispersion bezeichnet und ist im blauen Wellenlängenbereich grösser als im roten. Bei  $H\gamma$  beträgt die Dispersion 270 Å/mm;

auf der Photoplatte sind die Spektren im Original etwa 10mm lang. Die verwendete Kodak-Emulsion I-N ist bis ins nahe Infrarot empfindlich, sodass die Spektren von etwa 3500Å bis 9000Å reichen. Zur Verbreiterung des fadenförmigen Spektrums wird die Kamera gleichmässig senkrecht zur Dispersionsrichtung bewegt.

In der Astronomie werden Objektivprismen-Anordnungen bei der spektralen Durchmusterung von grösseren Himmelsa-

Figur 1

Objektivprismen-Aufnahme eines Sternfelds im Sternbild Cygnus. Die Feldgrösse beträgt 3x3 Grad, das Plattenzentrum liegt beim Stern 36 Cygni. Einige Sterne sind mit ihren Spektraltypen identifiziert. Man beachte auch die sehr seltenen Wolf-Rayet-Sterne (WN und WC) mit ihren Emissionsspektren. Aufnahme von S. Gabi mit der 40cm-Schmidtkamera der Sternwarte Metzerlen; verwendet wurde die infrarotempfindliche Emulsion Kodak I-N.





realen verwendet. Eine Aufnahme erfasst eine grosse Zahl von Spektren (siehe Figur 1), die sich zur Klassifikation eignen. Dieser Gewinn geht jedoch auf Kosten der spektralen Auflösung: Objektivprismen-Spektren zeigen im Gegensatz zu mit einem Spaltspektrographen gewonnenen Spektren relativ wenig Einzelheiten. Trotzdem reichen sie aus, um schwache Sterne bis in grosse Entferungen in unserem Milchstrassensystem zu klassifizieren; die so gewonnenen Daten dienen als Grundlage bei der Untersuchung der Struktur unseres Sternsystems.

### Mira-Sterne

Im Jahre 1596 entdeckte der deutsche Astronom und Pfarrer David Fabricius (1564-1617) den veränderlichen Stern Mira Ceti – und damit den ersten veränderlichen Stern überhaupt. Heute weiss man, dass Mira Ceti der Prototyp einer grossen Klasse veränderlicher Sterne ist, der langperiodischen Veränderlichen oder Mirasterne; sie weisen bei Perioden von etwa 50 bis 1000 Tagen Lichtwechselamplituden von 2 bis über 10 Grössenklassen auf. Während des Lichtwechsels ändern sich neben der Helligkeit auch noch andere physikalische Eigenschaften wie zum Beispiel Temperatur und Radius (siehe Figur 2) und damit auch der Spektraltyp. Ursache hierfür sind durch Schockwellen hervorgerufene periodische Ionisationsvorgänge im Innern der Sterne. Dabei sind aber viele Einzelheiten des Pulsationsmechanismus noch unverstanden.

Bei den Mirasternen handelt es sich um Riesen oder Überriesen späten Spektraltyps, deren Position im Hertzsprung-Russell-Diagramm in der rechten oberen Ecke liegt. Bei niedriger Oberflächentemperatur können Moleküle entstehen, insbesondere TiO, dessen starke Absorptionsbanden die

Spektren der M-Sterne dominieren, denen die meisten Mirasterne angehören. Als weiterführende Literatur sei das ausgezeichnete Buch von C. Hoffmeister, "Veränderliche Sterne" (Johann Ambrosius Barth Leipzig 1970) empfohlen.

Bei einigen Sternen transportiert die Konvektion chemische Elemente an die Oberfläche, die im tiefen Sterninnern gebildet wurden. Die S-Sterne, deren Spektren durch ZrO-Banden geprägt werden, sind eine solche Gruppe. Eine andere Gruppe stellen die Kohlenstoffsterne dar mit deutlichen Banden von CN und C2. Hier wurde soviel Kohlenstoff an die Oberfläche befördert, dass zu wenig Sauerstoff vorhanden ist, um dieses Element vollständig in CO-Molekülen zu binden – es entstehen weitere charakteristische Kohlenstoffverbindungen wie CN und C2.

### Klassifikation der Spektren

#### Die Dispersionskurve

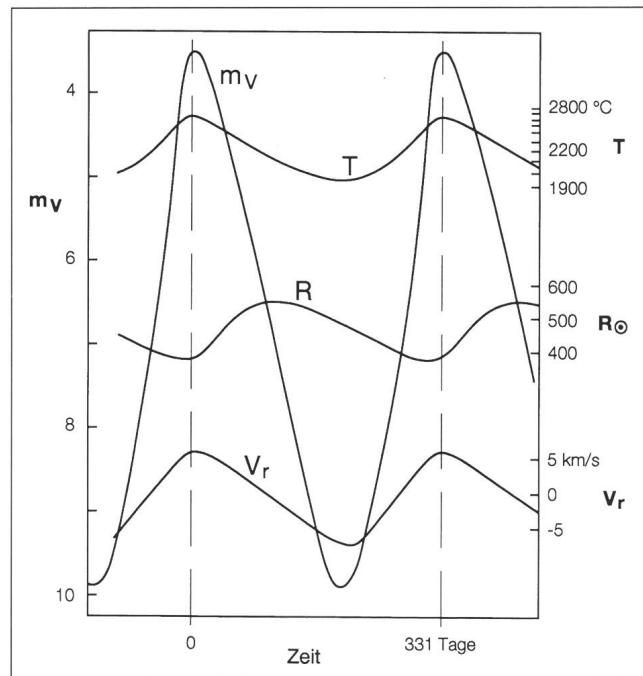
Um nun eine Klassifikation der Spektren vorzunehmen, sind zunächst die sichtbaren Banden und Linien zu identifizieren. Man konstruiert sich dazu die sogenannte Dispersionskurve (Figur 3), die für jede im Spektrum gemessene Position die zugehörige Wellenlänge angibt. Im einzelnen sind folgende Schritte notwendig:

- Bestimmung einer Struktur, die in fast allen Spektren vorhanden ist und somit als Bezugspunkt für die Ortskoordinate dienen kann. Dazu wurde das atmosphärische A-Band ausgewählt, das bei kleiner spektraler Auflösung als Linie bei ca. 7600Å erscheint.
- Messung der Ortskoordinaten von Linien mit bekannten Wellenlängen. Dazu eignen sich Spektren mit Wasserstofflinien besonders gut, also Spektraltypen B oder A. Tritt die Balmerserie des Wasserstoffs markant in Erscheinung, so ist die Identifizierung der einzelnen Linien auch ohne Messung der Wellenlänge möglich.

Figur 3 zeigt die erhaltene Dispersionskurve, zusammen mit einem der verwendeten B-Spektren. Die ausgeprägte Nichtlinearität ist eine Folge der Verwendung eines Glasprismas, das den blauen Teil des Spektrums stärker auseinanderzieht als den roten.

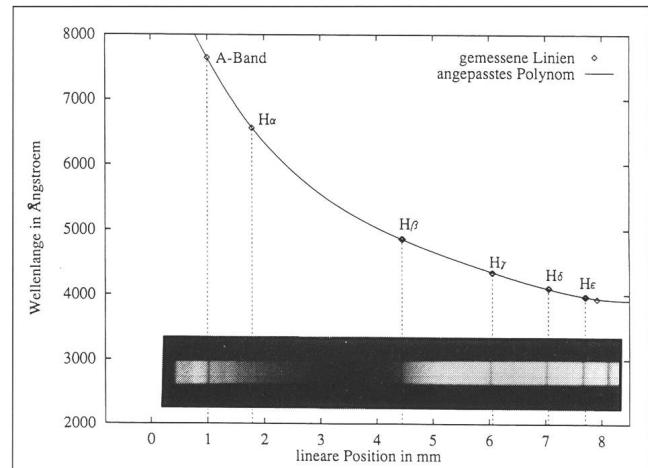
Figur 2

Zeitlicher Verlauf von scheinbarer Helligkeit, Temperatur, Radius und Radialgeschwindigkeit des Sterns Mira Ceti (nach C. Hoffmeister 1970).



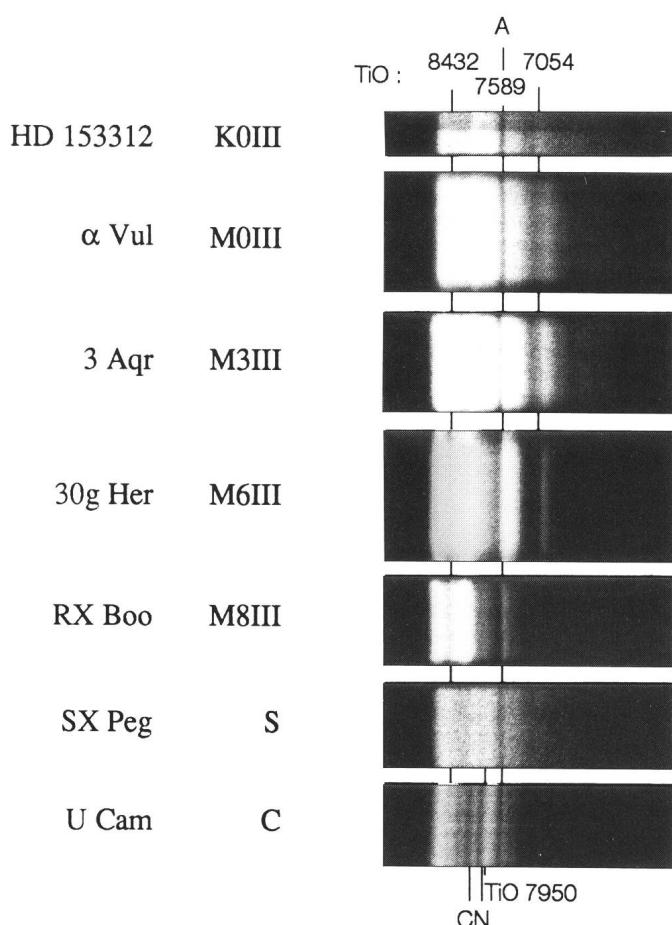
Figur 3

Die Dispersionskurve ermöglicht die Zuordnung von Wellenlänge und Position im Spektrum. Sie wurde mit Hilfe der Balmerserie eines A-Sterns bestimmt.

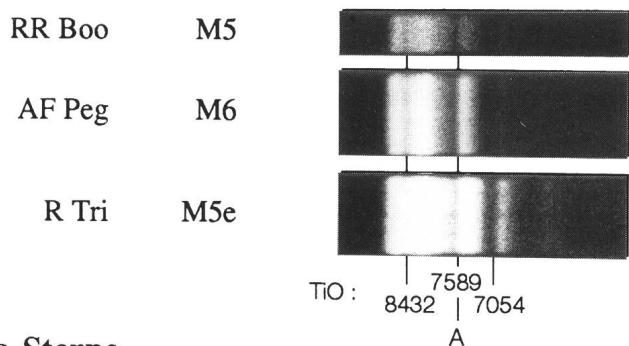


### a) Standardsterne

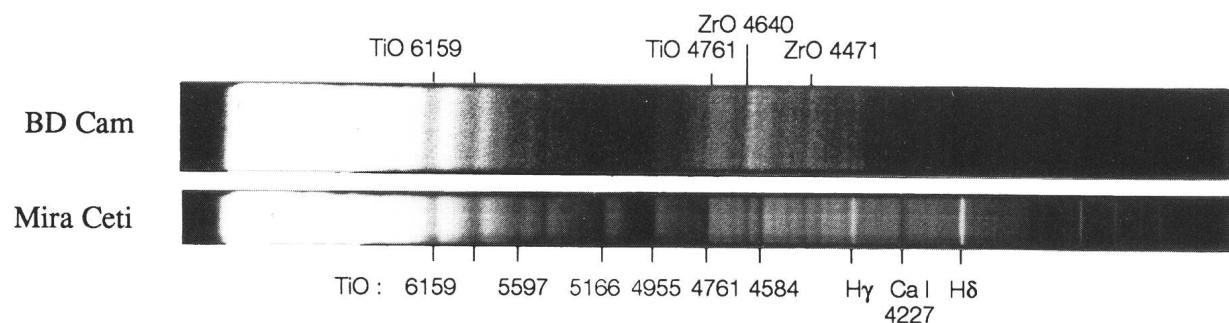
Man beachte die Entwicklung der im Text beschriebenen Klassifikationsmerkmale zwischen K0III und M8III.



### b) Klassifizierte veränderliche Sterne



### c) Blauer Spektralbereich einiger Mira-Sterne





## Standardsterne

Der nächste Schritt auf dem Weg zu einer Spektralklassifikation von Mirasternen besteht darin, eine Sequenz von Spektren bekannten Spektraltyps auszuwerten, um Klassifikationskriterien zu gewinnen. Da es sich bei diesen Sternen um extrem rote Objekte handelt, kommen vor allem Strukturen im Bereich  $\lambda > 7000\text{\AA}$  in Frage. Es stellt sich dabei heraus, dass TiO-Banden bei den Wellenlängen 7054 $\text{\AA}$  und 7589 $\text{\AA}$  und eine Gruppe im Bereich von 8400 $\text{\AA}$ -8800 $\text{\AA}$  dafür besonders geeignet sind. Diese Banden wurden bereits von Nassau und van Albada (The Astrophysical Journal Vol. 109, 391, 1949) als Merkmale von M-Sternen angegeben. Aus dieser Arbeit stammen die hier benutzten Kriterien für Spektren des S-Typs (TiO bei 7950 $\text{\AA}$ ) und des C-Typs (CN-Banden). Tafel 1 zeigt die Sequenz der Standardsterne mit den jeweils zur Klassifikation wichtigen Banden.

Zusätzlich zu den Aufnahmen des extrem roten Spektralbereichs wurden auch noch Aufnahmen ausgewertet, die erheblich weiter in den blauen Wellenlängenbereich reichen. Tafel 1 zeigt solche Spektren von Mira Ceti, Spektraltyp M6/7<sup>e</sup>, und von BD Camelopardalis, einem S-Stern. Man beachte die auch hier auftretenden TiO-Absorptionsbanden sowie speziell bei Mira Ceti die Wasserstoff-Emissionslinien. Diese entstehen in einer dichten den Stern umgebenden Gashülle (zirkumstellare Hülle), eine Folge des bedeutenden Massenverlusts dieses Sterns.

## Spektralklassifikation bei Mirasternen

Mit Hilfe der Klassifikationsmerkmale wurden nun die Spektraltypen einiger langperiodischer bzw. halbregelmässiger Veränderlicher bestimmt. Die so ermittelten Spektraltypen stimmen zuverlässig mit Angaben aus der Literatur überein (Keenan et al. Astrophys. Journ. Suppl. Ser. Vol. 28, 271, 1974). Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich der Spektraltyp im Laufe der Lichtkurve ändert. Bei der Klassifikation der Veränderlichen traten zwei Probleme auf. Zum einen ist bei der Abschätzung der Bandenstärke die Belichtungszeit der jeweiligen Aufnahme in Betracht zu ziehen. So kann ein überbelichtetes Spektrum mit an sich sehr starken Banden wie ein Spektrum mit niedriger Bandenintensität aussehen. Zweitens

war es insbesondere bei sehr kurzen Spektren schwierig, das atmosphärische A-Band, das als Nullpunkt der Wellenlängenskala diente, zu identifizieren. Dennoch gelang es in der Regel auch hier, das Spektrum anhand gut erkennbarer Bandenstrukturen zufriedenstellend einzuordnen. Die Tabelle 1 fasst die wichtigsten Ergebnisse der Klassifikation zusammen.

Tabelle 1 (HR=Halbregelmässig)

Objekt	Typ	Klassifikation	Literaturangabe
SX Peg	Mira	S	S4e
AF Peg	HR	M6	M5
R Cas	Mira	M6/7 <sup>e</sup>	M6e-M8 <sup>e</sup>
Mira Ceti	Mira	M6/7 <sup>e</sup>	M6e (Maximum)
AQ Aur	–	M7	–
RR Boo	Mira	M5/6	M3 <sup>e</sup> -M6 <sup>e</sup>
R And	Mira	S	S6 <sup>e</sup>
R Tri	Mira	M5 <sup>e</sup>	M5 <sup>e</sup> -M8 <sup>e</sup>
W Tri	HR	M6	M5

## Zusammenfassung

Der Beobachtungskurs des Sommers 1992 gab den Teilnehmern Gelegenheit, sich mit Objektivprismen-Spektren von M-Sternen zu befassen. Die Studenten nahmen im Rahmen der gestellten Aufgabe Spektren auf, identifizierten die Sterne, konstruierten die Dispersionskurve des Prismas und klassifizierten die Spektren anhand von der Literatur entnommener Kriterien. Sie erhielten dadurch Einblick in die vielfältigen Phänomene und die komplexen Vorgänge, die am kühlen Ende der stellaren Temperaturskala auftreten.

Die Autoren danken Herrn Dr. L. Labhardt für die Überlassung einiger Mira-Spektren sowie Herrn D. Cerrito für die sorgfältige Ausführung der Abbildungen.

N. BISSANTZ, M. FEDERSPIEL UND CH. TREFZGER  
Astronomisches Institut der Universität Basel  
Venusstrasse 7, CH-4102 Binningen

## Buchbesprechungen • Bibliographies

E.DAVOUST. *Signale ohne Antwort?* – Die Suche nach ausserirdischem Leben. Birkhäuser-Verlag, 1993. ISBN 3-7643-2731-6. (Uebersetzung aus dem Englischen). Fr. 52.–.

Die Internationale Astronomische Union (IAU) hat die Suche nach Leben im Universum als berechtigt anerkannt und 1981 eine Kommission mit dem Namen «Search for Extraterrestrial Life SETI» gegründet. Damit wurde eine Reihe von Forschungsarbeiten in die Wege geleitet, die in diesem Buch beschrieben sind.

Der Text beginnt mit der Besprechung des Lebens auf der Erde, seinem Ursprung, seiner Evolution im Laufe der Zeit und einem Ausblick über eine Verbreitung irdischen Lebens im Weltall.

Im zweiten Teil wird die Suche nach Leben in der Sonnenumgebung (insbesondere die Ergebnisse der ins Planetensystem gesandten Raumsonden) beschrieben und die Suche nach fernen Planetensystemen erläutert.

Der dritte Teil umreisst die Frage nach intelligentem Leben im Universum. Aus verständlichen Gründen können hier nicht Forschungsergebnisse im Vordergrund stehen; es geht vor allem darum, den Fragenkomplex «Sind wir allein?» in philosophischer, sozialer und technologischer Sicht zu umreissen und den Stellenwert, den diese Frage in der heutigen Gesellschaft hat, zu untersuchen.

Das Buch verlangt keine astronomischen Vorkenntnisse, und der engagierte Astroamateur würde sich eine vertieftere Behandlung des zugrundeliegenden astronomischen Stoffes wünschen. Wer aber einen ersten Einstieg in die behandelte Problematik sucht, wird nicht enttäuscht und erhält – insbesondere auch mit der ausführlichen Bibliographie im Anhang – viele Anregungen zu einem weiteren Studium.

H.STRÜBIN