

**OSTWALDS KLASSIKER  
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN  
Band 255**

---

**Zur Strahlung der Sterne**

**von  
Ejnar Hertzsprung**

---

**Verlag Harri Deutsch**

OSTWALDS KLASSIKER  
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN  
Band 255



Einar Hertsprung  
8.10.1873 - 21.10.1967

OSTWALDS KLASSIKER  
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN

Band 255

Zur Strahlung der Sterne

Drei Arbeiten

von  
Ejnar Hertzsprung

eingeleitet und mit  
Anmerkungen versehen von  
Dieter B. Herrmann



Verlag Harri Deutsch

*Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einstreifaufnahme*

Ein Titeldatenatz für diese Publikation ist bei  
Der Deutschen Bibliothek erhältlich.  
Zu recherchieren auch unter  
<<http://www.ddb.de/colino/index.html>>

**ISBN 3-8171-3410-X**

Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne  
Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für  
Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung  
und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Der Inhalt des Werkes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren,  
Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und  
Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

© Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 2001

1. Auflage Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Pöstig, Leipzig  
5. Auflage 2001

Druck: Rosch - Buchdruckerei GmbH, Hallstadt  
Printed in Germany

## Inhalt

Ejnar Hertzsprung – Leben und Werk . . . . .	7
Literatur und Anmerkungen . . . . .	21
Zur Strahlung der Sterne (I) . . . . .	23
Zur Strahlung der Sterne (II) . . . . .	40
Über die Sterne der Unterabteilung <i>c</i> und <i>ac</i> nach der Spektralklassifikation von Antonia C. Maury . . . . .	65
Anmerkungen Hertzsprungs . . . . .	75
Anmerkungen des Herausgebers zu den Arbeiten von Hertzsprung . . . . .	85

## Ejnar Hertzsprung - Leben und Werk

Von Dieter B. Hettrmann

Ejnar Hertzsprung (1873-1967) [1] zählt zu jenen Forschern des 20. Jahrhunderts, die durch ihre bahnbrechenden Arbeiten bleibende Beiträge zum astronomischen Weltbild der Gegenwart geleistet haben. Zugleich dürfte Hertzsprung einer der letzten großen Astronomen gewesen sein, die ohne eine akademische Ausbildung auf dem Gebiet der Astronomie eine glänzende wissenschaftliche Karriere durchliefen, wie dies in früheren Jahrhunderten häufiger der Fall war, heute jedoch praktisch ausgeschlossen ist.

Hertzsprung stellte mit seinem Lebenswerk die Fruchtbarkeit seines eigenen Lebensmottos eindrucksvoll unter Beweis: „Wenn man unerbittlich arbeitet, wird man immer etwas und manchmal etwas Gutes finden“. In seinen knapp 300 wissenschaftlichen Veröffentlichungen hat Hertzsprung ein weites Feld aktiver astronomischer Probleme bearbeitet. Einige seiner Studien erlangten geradezu klassische Bedeutung und verewigten seinen Namen in den Annalen der Astronomiegeschichte.

Ejnar Hertzsprung wurde am 8. Oktober 1873 in der damaligen Kopenhagener Vorstadt Frederiksberg als erstes Kind der Eheleute Severin Carl Ludwig (1839-1893) und Henriette Hertzsprung (1839-1915) geboren. Hertzsprungs Vater hatte in Kopenhagen Astronomie studiert und sein Studium mit einer preisgekrönten Dissertation zur klassischen Astronomie 1861 abgeschlossen. Dennoch gelang es ihm nicht eine Anstellung als Astronom zu finden, weshalb er eine Tätigkeit in einer Dänischen Versicherungsanstalt annahm. Hier stieg er rasch zum Geschäftsführer auf und übernahm später noch die Dänische Witwenkasse als Direktor. Seinem Sohn gab Severin die Empfehlung, keineswegs Astronomie zu studieren, sondern sich einem erntetäglicheren „Brotberuf“ zuzuwenden.

So begann Ejnar nach seinem Abitur an der traditionsreichen Metropolitan-Schule mit einem Studium der Chemie an der Kö-

penhagener Polytechnischen Lehranstalt. Das Staatsexamen entsprach in seiner Wertigkeit etwa dem heutigen „Chemie-Ingenieur“. Nach Abschluß seiner Ausbildung arbeitete Hertzsprung mehrere Jahre in einer dänischen Chemiefabrik in St. Petersburg. Im Jahre 1901 ging er nach Leipzig, um sich bei dem berühmten Chemiker Wilhelm Ostwald (1852-1932) auf eine Promotion in Chemie vorzubereiten. Doch die Pläne zerschlugen sich rasch, als 1902 sein Bruder Ivar starb. Nachdem die Familie schon kurz nach Hertzsprungs Abitur den Vater verloren hatte, wollte der Sohn nun zunächst zur Mutter nach Kopenhagen zurückkehren.

In den folgenden Jahren widmete sich Hertzsprung einer freien wissenschaftlichen Tätigkeit ohne fest umrissene Zielsetzung. Dabei knüpfte er zunächst an sein schon längere Zeit gepflegtes Hobby an, die Fotografie. In kurzer Folge bringt er mehrere Publikationen heraus, in denen originelle Fragestellungen mit scharfsinniger Analyse und gewissenhafter Fehlerkritik verbunden werden. Zwei der Arbeiten gelten der spektralen Veränderlichkeit der Gradation sowie der spektralen Empfindlichkeit von Fotoplatten [2] – Themen, die auch für die Anwendung der Fotografie in der Astrophysik von großem Interesse waren. Doch von den Sternen ist bei Hertzsprung noch keine Rede. Eines Tages begibt er sich aber zur Urania-Sternwarte, einem bekannten Privatobservatorium der dänischen Hauptstadt und läßt sich von dem dort tätigen um sechs Jahre jüngeren Studenten Hans Emil Lau (1879-1918) in die Probleme der Astronomie einführen. Die Arbeit „Berechnungen zur Sonnenstrahlung“ [3] ist das erste Ergebnis dieses neuen Tätigkeitsfeldes.

Zweifellos ist Hertzsprung hier – möglicherweise schon bei seiner Studie über die Sonnenstrahlung – auf jene Probleme gestoßen, die seine beiden klassischen Abhandlungen „Zur Strahlung der Sterne“ veranlaßten. Etwa vom Frühjahr 1905 bis zum Jahresende arbeitete er intensiv an der Fragestellung eines möglichen Zusammenhanges zwischen den wirklichen (absoluten) Helligkeiten der Sterne und ihren Farben (Spektralklassen).

Der Ausgangspunkt dieses Problems war engstens mit dem Entwicklungsstand der neuen Disziplin Astrophysik verbunden. Die Astrophysik entstand vor allem durch die Anwendung der Spektroskopie auf das Licht der Sterne [4]. Bei den zahlreichen Untersuchungen über diesen Gegenstand fanden die Pioniere des neuen



Forschungszweiges sehr rasch heraus, daß sich die Spektren der Sterne voneinander unterscheiden. Der italienische Astrophysiker Angelo Secchi (1818-1878) teilte die Sternspektren nach ihrem äußeren Erscheinungsbild in drei Gruppen ein, die vor allem durch die Art und Anzahl ihrer Linien gekennzeichnet sind. Gleichzeitig stellte die Klassifizierung eine Anordnung der Sterne nach ihren Farben von bläulich-weiß über gelb nach rot dar. Man konnte bereits vermuten, daß es sich hierum auch um eine Temperaturskala handelte. Konkret erhärtete der Bahnbrecher der Astrophysik in Deutschland Karl Friedrich Zöllner (1834-1882) diesen Verdacht in einer Untersuchung aus dem Jahre 1870 [5], in der er den Satz formulierte, daß die Spektren verschiedener Gase unter sonst gleichen Umständen um so reicher sind, je tiefer ihre Temperatur ist. Damit erschien die Folge der Secchischen Spektraltypen als eine Anordnung der Sterne nach ihren Temperaturen. Die physikalische Begründung für den Zusammenhang zwischen Temperatur und Spektraltyp der Sterne wurde allerdings erst im Jahre 1923 durch den indischen Astrophysiker Meghnad Saha (1894-1956) gefunden, als dieser eine Ionisationstheorie der Sternatmosphären auf quantenmechanischer Grundlage ausarbeitete.

Zöllner zog übrigens als erster aus dem Zusammenhang zwischen den Farben und Spektren der Sterne weitreichende Schlußfolgerungen, indem er einen Brückenschlag zwischen den Spektralklassen und der Lebensgeschichte der Sterne versuchte. Zöllner ging davon aus, „daß die allgemeinen und wesentlichen Eigenschaften der Materie (in unendlichem Raume überall dieselben seien“ [6] und daß man daher unter Anwendung der bekannten Naturgesetze eine wissenschaftlich begründete „Biographie“ der Fixsterne entwickeln könne. Dabei unterschied er verschiedene Entwicklungsphasen der Sterne, in deren Verlauf sie sich vom gasförmigen Zustand allmählich abkühlen sollten, wodurch ihre Farbe die Folge von weiß nach rot durchläuft. Das Spektroskop sei ein geeignetes Hilfsmittel, um die verschiedenen Entwicklungsphasen festzustellen. Diese kosmogonische Auffassung, mit der erstmals nach einer langen Periode des Stillstands wieder an die Ideen von Immanuel Kant (1724-1804) [7] angeknüpft wurde, findet sich in weiterentwickelter Form auch bei Zöllners Freund und Schüler, Hermann Carl Vogel (1841-1907), dem ersten Di-

rektor des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam. Er legte eine eigene Spektralklassifikation vor, als deren Kriterien er bereits die Vorstellungen von der Entwicklung der Weltkörper verwendete.

Die allgemein anerkannte Ansicht über die Entwicklung der Sterne bestand um jene Zeit in der Überzeugung, daß die Sterne ihr „Leben“ als heiße Objekte beginnen und dann im Laufe der Zeit nach und nach abkühlen. Doch ließen sich für diese Auffassung direkte Belege aus den Beobachtungen finden? Mit diesem Problemkreis beschäftigte sich um 1893 der irische Privatastro- nom William Henry Stanley Moock (1839-1915) [8], der mit namhaften Astronomen in einer lebhaften Diskussion um das Problem der Sternentwicklung stand. Zu jener Zeit wußte man bereits aus den Messungen der Entfernungen verschiedener Sterne, daß deren wirkliche Helligkeiten (Leuchtkräfte, absolute Helligkeiten) sehr unterschiedlich sind. Als Moock nun die Sterne nach wachsenden Eigenbewegungen, d.h. den horizontalen Komponenten ihrer Raumbewegung ordnete und somit (im Mittel) nach fallenden Leuchtkräften, erhielt er die Reihe: weiße Sterne, rote Sterne, gelbe Sterne (Prototypen waren Sirius, Arktur und Kapella). Diese Reihenfolge widersprach jedoch der herrschenden Entwicklungsauffassung. Wenn nämlich die Sterne im Laufe ihres Lebens einen Abkühlungsprozess durchlaufen, so sollte man erwarten, daß die Reihenfolge lautet: weiße Sterne, gelbe Sterne, rote Sterne! Wie konnte diesem Widerspruch erklärt werden? Moock traute seinen Ergebnissen nicht. Vor allem zweifelte er an der Genauigkeit der Eigenbewegungen, die er als Entfernungskriterium und damit auch als Leuchtkraftkriterium benutzte. Deshalb ließ er den Widerspruch auf sich beruhen.

Genau hier setzte nun Hertzsprung an. Das inzwischen zur Verfügung stehende Material an Eigenbewegungen, aber auch an Spektralklassen war wesentlich umfassender und zuverlässiger als noch zehn Jahre zuvor. Namentlich hinsichtlich der Spektralklassifikation von Sternen hatten die beiden amerikanischen Astronominnen Anonta Caetana Maury (1866-1952) und Annie Jump Cannon (1863-1941) enorme Fortschritte erreicht. Von ihnen stammt auch die heute übliche Bezeichnung der Spektralklassen mit den großen lateinischen Buchstaben O, B, A, F, G, K, M (von blau nach rot, d.h. von heiß nach kühl). Hertzsprung ging

nun insbesondere von der Tatsache aus, daß die beiden Amerikanerinnen zur genaueren Charakterisierung der Spektren Unterabteilungen eingeführt und diese durch die Buchstaben a, b und c gekennzeichnet hatten. Die b-Sterne (division b) zeichneten sich gegenüber den a-Sternen durch breitere Linien aus, während die Sterne der division c in ihren Spektren außerordentlich scharfe Linien erkennen lassen. Miß Maury und Miß Cannon sprachen die Vermutung aus, daß die Sterne der division c eine andere Konstitution als jene der divisions a und b aufwiesen und zwei verschiedenen Entwicklungsserien angehören. Wir wissen heute, daß die ausgeprägt scharfen Linien in den Spektren von Sternen tatsächlich bei Riesensternen geringerer Dichte auftreten, während die breiten Linien durch hohe Drücke in den Sternatmosphären von Zwergsternen hervorgerufen werden (Druckverbreiterung).

Die Frage eines möglichen Zusammenhanges zwischen den Linienschärfen und den absoluten Helligkeiten der Sterne scheint Hertzsprung besonders fasziniert zu haben, denn er macht sie zum Ausgangspunkt seiner Untersuchungen, indem er sich fragt, „wie groß die systematischen Unterschiede der auf gleichen Abstand reduzierten Helligkeiten (d. h. der absoluten Helligkeiten - DBH) von Sternen der verschiedenen Gruppen sein werden.“ Es ging ihm also darum, die absoluten Helligkeiten der Sterne verschiedener Spektraltypen festzustellen. Da nur wenige zuverlässig bestimmte Sternparallaxen zur Verfügung standen, mußte Hertzsprung andere Wege suchen, um die absoluten Helligkeiten zu ermitteln. Naheliegend erschien es, wiederum die Eigenbewegungen der Sterne dafür heranzuziehen, da für statistische Untersuchungen die Annahme berechtigt ist, daß die Eigenbewegungen eine Funktion der Entfernungen sind. Hertzsprung stellte nun die Eigenbewegungen von Sternen der verschiedenen Typen nach den besten Bestimmungen der Fundamentalsterne zusammen und wählte nur solche Objekte aus, die weder als variabel erkannt noch mit spektralen Besonderheiten behaftet waren. Obwohl sich damit die Anzahl zur Verfügung stehender Objekte auf 308 verringerte, war er davon überzeugt, daß sich die strenge Auswahl letztlich durch zuverlässigere Ergebnisse auszahlen würde.

Hertzsprungs in zwei Teilen (1905 und 1907) erschienene Abhandlung bezieht durch zwei Eigenschaften, die Autor beweist eine beeindruckende Geschicklichkeit bei der Beschaffung aller

möglichen für seinen Zweck geeigneten Daten und er pflegt einen außerordentlich behutsamen Umgang mit ihnen. Im übrigen handelt es sich um reine Schreibtischarbeiten. So schwerwiegend und folgenreich die Ergebnisse für die Astronomie auch waren, so hat Hertzsprung doch dafür nicht einmal durchs Fernrohr geschaut! Alle wesentlichen Daten lagen bereits in gedruckter Form vor. Hertzsprungs Leistung bestand also in der Kunst, bereits vorhandene verschlüsselte Informationen durch geschickte Denkmittel aus den Daten herauszuschälen.

Welche wesentlichen Erkenntnisse von bleibendem Wert finden wir nun in der Arbeit „Zur Strahlung der Sterne“? Hertzsprung entdeckte erstens die Aufspaltung der Sterne der „mittleren“ bis „späten“ Spektralklassen (Typen G bis M) in zwei „Serien“, die sich bei gleichem Spektraltyp durch unterschiedliche absolute Helligkeiten auszeichnen. Da es sich über die Ursache der großen Schwankungen der absoluten Helligkeiten nicht im klaren war, verwendete er auch die Begriffe „Riesen“ und „Zwerge“ nicht. Er konnte jedoch nachweisen - und dies ist ein zweites wichtiges Resultat - daß die heißen roten Sterne ihre großen absoluten Helligkeiten nicht großen Massen verdanken. In diesem Zusammenhang vermutete er die tatsächliche Ursache bereits in den großen Oberflächen. Heute wissen wir, daß er damit recht hatte. Eine dritte gäulige Erkenntnis besteht in der grundsätzlich richtigen Einsicht, daß die „Röten Riesen“ je Volumeneinheit des Weltalls vergleichsweise selten vorkommen. Interessant ist in diesem Zusammenhang die Vermutung Hertzsprungs, daß die Häufigkeitsverteilung möglicherweise auf die „heilen roten Sterne“ als ein rasch durchlaufenes Entwicklungsstadium hindeutet. Auch diese „Ahnung“ hat sich bestätigt. Schließlich war Hertzsprung fest davon überzeugt, daß die großen Unterschiede der absoluten Helligkeiten von Sternen gleicher Temperatur ein spektrales Äquivalent besitzen. Die Untersuchung dieser Frage hat später tatsächlich zur Entdeckung solcher Äquivalente geführt, woraus schließlich die Methode der „Spektroskopischen Parallaxen“ entstand (Adams und Kühlschütter 1914).

Die Fragestellung und Vorgehensweise Hertzsprungs ähnelt in vielem den Ansätzen von Mönck mehr als ein Jahrzehnt zuvor. Hat Hertzsprung dessen Arbeiten gekannt? Höchstwahrscheinlich



zu. Zitiert er doch in „Zur Strahlung der Sterne“ eine der Publikationen Moncks, merkwürdigerweise allerdings ohne im Text darauf Bezug zu nehmen [9]. Angesichts von Hertzsprungs Gewissenhaftigkeit dürfte es sicher sein, daß ihm auch die anderen, um Thema unmittelbar betreffenden Arbeiten Moncks bekannt gewesen sind. Erwähnt hat er diesen Umstand allerdings nicht.

Hertzsprungs Aufsätze „Zur Strahlung der Sterne“ haben größte Bedeutung für die Erforschung und Darstellung der Entwicklung von Sternen erlangt. Bis heute ist die Verknüpfung der beiden Zustandsgrößen „Spektraltyp“ und „Absolute Helligkeit“ der Sterne in einem zweidimensionalen Koordinatensystem das wichtigste Zustandsdiagramm der modernen Astrophysik [10]. Hertzsprung selbst hat allerdings die von ihm entdeckten Zusammenhänge in seinem zweizeiligen Aufsatz nicht graphisch, sondern nur in tabellarischer Form dargestellt. Das erste wirkliche „Hertzsprung-Russell-Diagramm“ stammt von Henry Norris Russell (1877-1957) und wurde 1913 veröffentlicht [11] (Abb. 1). Russell hatte die Riesen und Zwerge einige Jahre später ebenfalls

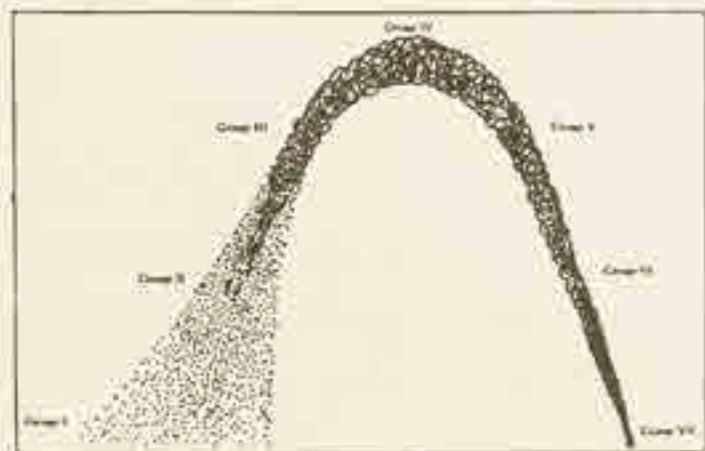


Abb. 1: So stellt man sich die Sternentwicklung nach der Entdeckung der Riesen- und Zwergreihe vor. Der Stern kondensiert als Roter Riese geringster Dichte aus einer großen Gaswolke (links unten) und endet als dichter, Roter Zwerg (rechts unten).

entdeckt. Ob dies tatsächlich völlig ohne Kenntnis der Resultate Hertzsprungs geschah, ist allerdings nicht ganz sicher [12].

Hertzsprungs „Zur Strahlung der Sterne“ wurde in Astronomienkreisen zunächst kaum zur Kenntnis genommen. Erst Karl Schwarzschild (1873-1916) hat diese Arbeit in Fachkreisen weithin bekannt gemacht.

Schwarzschild war auf Hertzsprung durch dessen Veröffentlichungen zur fotografischen Fotometrie aufmerksam geworden, nachdem Hertzsprung sich 1907 brieflich an den fast auf den Tag genau gleichaltigen berühmten Astrophysiker gewendet hatte. Schwarzschild war damals bereits Direktor der Sternwarte in Göttingen und hatte sich u.a. ebenfalls mit Problemen der fotografischen Fotometrie auseinandergesetzt. Natürlich studierte er auch die beiden Aufsätze „Zur Strahlung der Sterne“ von Hertzsprung und erkannte sofort deren mögliche Bedeutung. Auf Einladung Schwarzschilds reiste Hertzsprung im Juni 1908 nach Göttingen. Die beiden nach Ausbildung, Charakter und Temperament sehr unterschiedlichen Männer verstanden sich auf Anhieb ausgezeichnet. Schwarzschild unterbreitete deshalb Hertzsprung das Angebot als sein Mitarbeiter nach Göttingen zu kommen. Schwarzschild vollbrachte sogar das Kunststück, dem astronomischen Laien eine Professur für Astrophysik an der Universität Göttingen zu verschaffen. In einem Brief an den Dekan der philosophischen Fakultät hob er die Vorzüge Hertzsprungs eindrucksvoll hervor: „Man würde zuviel sagen, wenn man ihm tiefste wissenschaftliche Durchbildung und Geisteskraft nachrühmen wollte. Was ihn aber auszeichnet, ist die Vielseitigkeit des durch mancherlei Wissensgebiete hindurchgewanderten, die freie Anschauung des Outsidere und die Liebe und Gründlichkeit, mit der er sich in den Gegenstand versenkt, der ihn einmal erfüllt hat“ [13]. Mit Hertzsprungs Berufung an die Universität Göttingen war sein Lebensweg besiegelt: Er war nun Astronom für den Rest seines Lebens.

Doch schon kurz nach der Übersiedlung in die niedersächsische Universitätsstadt kam für Schwarzschild die Berufung als Direktor an das Astrophysikalische Observatorium Potsdam. Daß er Hertzsprung auch dort als Mitarbeiter wünschte versteht sich fast von selbst. So kam Hertzsprung noch im Jahre 1909 an das be-

rühmte Forschungsinstitut für Astrophysik, wo er die Stelle eines Observators bekleidete.

Als Schwarzschild im Jahre 1910 anlässlich einer Tagung an der Harvard-Sternwarte weilte, hörte er dort auch einen Vortrag von H. N. Russell, in dem dieser die Entdeckung der Riesen- und Zwergsterne vortrug. Selbstverständlich machte Schwarzschild den Amerikaner bei dieser Gelegenheit auf die Priorität Hertzsprungs aufmerksam, worauf sich ein Briefwechsel zwischen den beiden Gelehrten entspann, in dem Russell neidlos die Leistung Hertzsprungs anerkannte. Mehr noch als Hertzsprung arbeitete Russell allerdings die Konsequenzen der neuen Erkenntnisse für die Vorstellungen von der Sternentwicklung heraus: Indem er an frühere Überlegungen von Joseph Norman Lockyer (1836–1920) anknüpfte, nahm Russell eine durchgängige Entwicklungsfolge der Sterne an (Abb. 1). Diese sollte bei den „Roten Riesen“ beginnen, bei den heißen Sternen der B-Klasse kulminieren und bei den „Roten Zwergen“, den abgekühlten Sternen enden. Entgegen der früheren Auffassung von einer einfachen Abkühlungssequenz, in deren Verlauf der Reihe nach die Spektralklassen von B nach M durchlaufen werden, stellte man sich nun vor, daß jeder Stern alle Spektralklassen (außer B) zweimal und zwar in jeweils umgekehrter Reihenfolge durchlaufen sollte. Eine physikalisch begründete Entwicklungstheorie der Sterne mußte allerdings noch solange Zukunftsmusik bleiben, bis man die Energiequellen der Sterne kennenlernte. Deshalb entstand die moderne Sternentwicklungstheorie noch erst nach den bahnbrechenden Erkenntnissen von Hans Bethe (geb. 1906) und K. F. Weizsäcker (geb. 1912) über den Aufbau schwerer Elemente aus leichteren durch Kernfusion im Inneren der Sterne (1938/39) [14]. Die innerhalb weniger Jahrzehnte auf diesem Gebiet errungenen Erfolge widerlegten zwar die anfänglichen Vorstellungen vom „Lebensweg der Sterne“ entlang der sogenannten Hauptreihe im Hertzsprung-Russell-Diagramm, die Bedeutung des Diagramms für die Untersuchung und Darstellung von Entwicklungsvorstellungen der Sterne hat indessen dadurch keine Einbuße erlitten, sondern ist heute sogar noch weitaus höher zu bewerten als in den ersten Jahrzehnten unseres Jahrhunderts. Das Hertzsprung-Russell-Diagramm fehlt deshalb auch in keinem modernen Lehrbuch der Astronomie und Astrophysik. Neuerdings ist durch den Einsatz des Hipparcos-Sa-

zählten, der die Parallaxen von mehr als 100 000 Sternen mit früher nicht gekannter Präzision bestimmte, das beste Hertzsprung-Russell-Diagramm überhaupt gewonnen worden (Abb. 2). Die Forschung kann daraus bedeutende neue Erkenntnisse ableiten (15).

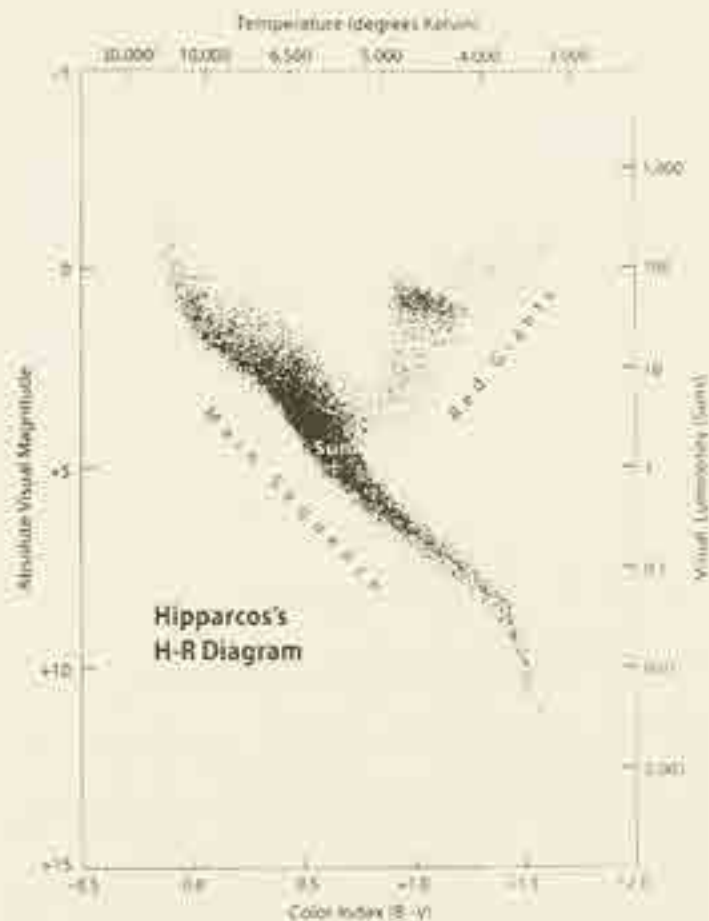


Abb. 2: Das moderne Hertzsprung-Russell-Diagramm, nach Beobachtungsdaten des Hipparcos-Satelliten.



Hertzsprungs frühe Forschungsergebnisse haben eine Fülle weiterer Arbeiten zahlreicher Astrophysiker angeregt. Auch Hertzsprung selbst ist vielen Spuren seiner ersten Erkenntnisse mit großer Konsequenz gefolgt. Im folgenden sollen nur einige der wichtigsten dieser Arbeiten kurz skizziert werden.

Schon in „Zur Strahlung der Sterne“ hatte Hertzsprung auf die beiden offenen Sternhaufen Plejaden und Hyaden Bezug genommen. Da die Sterne dieser Haufen alle etwa gleichweit von uns entfernt sind, repräsentieren deren scheinbare Helligkeiten gleichsam die wirklichen Leuchtkräfte. Deshalb erschienen Hertzsprung die beiden Haufen für die Klärung des Zusammenhangs zwischen den Farben und den absoluten Helligkeiten von Sternen besonders geeignet. Den Plejaden galt seine Aufmerksamkeit viele Jahre hindurch. Die letzte seiner Studien zu diesem Gegenstand brachte er im Alter von 74 Jahren heraus.

Schon in Potsdam entstand im Jahre 1911 eine Arbeit, in der die Beziehung zwischen den Farben und den Helligkeiten der Plejaden- und Hyaden-Sterne untersucht wurde. Die Ergebnisse waren zufallsweisend. Hertzsprung konnte bereits damals feststellen, daß die Farben-Helligkeits-Verteilung der Plejaden in charakteristischer Weise von jener in anderen Sternhaufen abwich. Heute sind die Farben-Helligkeitsdiagramme von Sterngruppen eines der wichtigsten Prüffelder für Sternentwicklungstheorien.

Zu Hertzsprungs wichtigsten Potsdamer Arbeiten zählten seine Untersuchungen über die räumliche Verteilung der  $\delta$ -Cephei-Sterne. Dabei handelt es sich um Sterne mit periodischen Helligkeitsschwankungen, sogenannte Veränderliche, bei denen die Periode des Lichtwechsels eine Funktion ihrer absoluten Helligkeit darstellt. Diese Entdeckung geht auf die amerikanische Astronomin Henrietta Swan Leavitt (1868-1921) zurück. Die gerade erst 1912 entdeckte Relation war jedoch noch nicht kalibriert, d.h. man wußte nicht, welche absolute Helligkeit einer bestimmten Lichtwechselperiode entsprach. Dazu war es erforderlich, die Entfernungen von  $\delta$ -Cephei-Sternen zu kennen. Hertzsprung benutzte zur Lösung dieses Problems eine statistische Methode und bestimmte dann die Entfernung der Kleinen Magellanschen Wolke. Dabei kam er zu dem Schluß, daß sich diese Sternensammlung des südlichen Himmels außerhalb unseres eigenen Milch-

straßensystems befindet. Er hatte somit zum erstenmal die Distanz eines extragalaktischen Objektes bestimmt, wenn auch zahlenmäßig noch unzutreffend [16]. Dieselbe Methode wie Hertzprung verwendete später auch Edwin Powell Hubble (1889-1953), als er die Distanz des Andromeda-Nebels (M 31) ermittelte. Während die Kleine Magellansche Wolke ein Begleitsternsystem unserer Milchstraße darstellt, ist M 31 tatsächlich die Nachbargalaxie unseres heimatischen Sternsystems.

Eine andere Entdeckung von Hertzprung betraf den Polarstern ( $\alpha$  UMi). Er galt als fotometrischer Standardstern. Doch Hertzprung entdeckte 1911, daß es sich um einen  $\delta$ -Cephei-Stern mit geringfügig veränderlicher Helligkeit handelte. Im Laufe seines Lebens hat Hertzprung übrigens hunderte von Veränderlichen entdeckt.

In einer Publikation mit dem Titel „Bemerkungen zur Statistik von Sternparallaxen“ [17] veröffentlicht Hertzprung eine seiner wichtigsten Entdeckungen: die Masse-Leuchtkraft-Beziehung. Das Bestehen eines Zusammenhanges zwischen den Massen der Sterne und ihrer Leuchtkraft (absoluten Helligkeit) hatten schon viele Astronomen vermutet und sogar behauptet. Doch Hertzprung blieb es vorbehalten, die erste explizite mathematische Formulierung zu finden, die auf den Daten sorgfältig ausgewählter Doppelsterne mit den besten bekannten Bahnbewegungen, Parallaxen und Massenverhältnissen beruhte. Arthur Stanley Eddington (1882-1944) fand später die theoretische Begründung für diese Relation, wobei er in engem Kontakt mit Hertzprung stand, der manche Korrektur an den Vorstellungen von Eddington bewirkte.

Auf Hertzprung geht auch das Verfahren der sogenannten hypothetischen Parallaxen zurück, das es gestattet, aus den Beobachtungen von Doppelsternen die Entfernung des jeweiligen Systems abzuleiten. Hertzprung schlug 1911 vor, bei einem Doppelsternsystem für die Massensumme einen plausiblen Wert anzunehmen und daraus eine „Mindestparallaxe“ abzuleiten. Die wissenschaftlich überaus erfolgreichen Jahre Hertzprungs in Potsdam fanden ein jähes Ende durch den frühen Tod seines Freundes und Gönners Karl Schwarzschild im Jahre 1916. Von 1919 bis zum Jahre 1944 wird die holländische Sternwarte in Leiden zu seiner neuen Wirkungsstätte, zunächst als Mitarbeiter,

und 1935 als Direktor in der Nachfolge von Willem de Sitter (1872-1934).

Zu den Hauptforschungsgebieten, denen sich Hertzsprung fortan widmete, zählen die veränderlichen Sterne und die Doppelsterne. Die Erforschung der veränderlichen Sterne erstreckte sich insbesondere auf den südlichen Sternhimmel, dem sich Hertzsprung intensiv während seiner Südafrika-Reisen 1923/24 und 1930/31 zuwendete. Anlässlich einer 7-monatigen Reise in die USA beschäftigte er sich vor allem am Harvard-Observatorium mit der dortigen berühmten Plattensammlung. Rund 12 000 Helligkeitsmessungen von Sternen sind das Resultat seiner intensiven Forschungen.

In die Leidener Jahre fallen nochmals zwei bedeutsame Entdeckungen: Zunächst fand Hertzsprung im Jahre 1922 die heute nach ihm benannte „Lücke“, die extrem dünne Besetzung des Riesenastes im Hertzsprung-Russell-Diagramm bei Sternen der Spektraltypen F und G mit der absoluten Helligkeit von  $-5$  Größenklassen. 1926 entdeckte er den Zusammenhang zwischen Periode und Form der Lichtkurven bei  $\delta$ -Cephei-Sternen.

Außerhalb der Astronomie gab es nur wenige Dinge, die Hertzsprung interessierten. Die meisten seiner Mitarbeiter bezeugen, daß er kaum jemals über private Dinge mit ihnen gesprochen hätte. Doch eines lag ihm (immer am Herzen): Dänemark - obwohl er dort die wenigste Zeit seines Lebens verbracht hatte. Sein gesamtes Astronomenleben hatte sich in Deutschland und Holland abgespielt. Dennoch hing er an seiner Heimat mit geradezu emotionaler Emphase. Das zeigt sich u. a. an seinen langwierigen Bemühungen, die dänische Staatsbürgerschaft wiederzuerlangen, die er bei der Übernahme seiner Professur in Göttingen - ohne es zu wissen - verloren hatte. Durch die Kriegereignisse zog sich seine Amtszeit in Leiden länger hin als beabsichtigt. Erst im Jahre 1946 wird der fast 73-jährige aus Leiden verabschiedet. In einer Laudatio wird sein Beobachtungsfleiß dem seines großen Landsmannes Tycho Brahe an die Seite gestellt!

Nun endlich kehrt Hertzsprung für den Rest seines Lebens dauerhaft nach Dänemark zurück. Sein Domizil schlägt er in Tølløse auf, einem kleinen Dorf vor den Toren Kopenhagens, wo damals gerade die neue Kopenhagener Sternwarte Brorfeldte angesiedelt wurde. Auf diese Weise hoffte Hertzsprung, stets eine größere

Bibliothek nutzen zu können und Partner für wissenschaftliche Gespräche zu finden. Seine alte Plattenmeßmaschine kam ebenfalls nach Tölzse und wurde nun nach Kräften genutzt - durch junge Wissenschaftler, aber auch durch Hertzsprung selbst, der auf diese Weise weiterhin seiner Wissenschaft fröhen konnte.

Der Kontakt nach Leiden wurde keineswegs abgebrochen. Ein monatelanger Aufenthalt im Jahre 1947 brachte reiche wissenschaftliche Früchte. Auch die Tagungen der Internationalen Astronomischen Union besuchte Hertzsprung weiterhin, ob sie nun in Zürich, Dublin oder Moskau stattfanden. Noch 1961 reiste er nach Berkeley und 1964 nochmals in die USA zur Teilnahme an einer Konferenz über Probleme der Sternentwicklung und der Einweihung eines astrometrischen Reflektors.

Hertzsprung starb am 21. Oktober 1967 im Alter von 94 Jahren. Seinem Willen entsprechend gab es weder eine Trauerfeier noch ein Grab. Doch im Universum wurde er dafür ehrend verewigt. Nach Hertzsprung sind sowohl ein Mondkrater als auch der Kleine Planet Nr. 1691 benannt [18].

Für seine bahnbrechenden Arbeiten sind ihm höchste internationale Anerkennungen und Auszeichnungen zuteil geworden. Er war Ehrendoktor der Universitäten Utrecht, Paris und Kopenhagen. 1929 hatte er die Goldmedaille der Astronomical Society in London erhalten, die ihn in eine Reihe mit Friedrich Wilhelm Herschel, Russell und Einstein, den Großen der wissenschaftlichen Forschung stellte.

\*\*\*

In den nachfolgend abgedruckten Arbeiten Hertzsprungs wurden offensichtliche Druckfehler korrigiert, die Schreibweise von Zahlenangaben u. ä. sowie die Form der Anmerkungen vereinheitlicht. Alle Anmerkungen sind am Ende des Buchleins zusammengefaßt. Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf die Anmerkungen des Herausgebers zu den Arbeiten von Hertzsprung.