

culoides ventr. durchaus lebensfähig, wenigstens bleiben die Kugelstadien sehr lange am Leben, wenn auch die ganze Entwicklung stark verzögert und herabgesetzt wird. Bei 35° dagegen ist *Pediculoides ventr.* auf die Dauer nicht lebensfähig. Eine Fortpflanzung findet unter keinen Umständen mehr statt, und auch die Kugelstadien sterben nach wenigen Tagen. Die längste Lebensdauer, die ich für ein Männchen feststellen konnte, war 32 Tage. Durchschnittlich wird ein Männchen 14–16 Tage alt, die erstgeborenen Männchen häufig auch nur 8 Tage oder gar noch weniger. Das hängt ganz von der sexuellen Beanspruchung der Männchen ab. Männchen, die sehr häufig kopulieren, sterben weit früher als Männchen, die nur selten zur Begattung gelangen.

Sitzung vom 17. Februar 1925.

Vorsitzender: Herr Krüger. 1. Herr Kappen: „Über den Einfluß der Pflanzen auf die Beschaffenheit des Bodens.“

Sitzung vom 27. Februar 1925.

(Außerordentliche gemeinsame Sitzung.) Vorsitzender: Herr Römer. Herr Siedentopf (Jena): „Über Fortschritte in der Ultramikroskopie.“

Sitzung vom 15. Mai 1925.

(Außerordentliche gemeinsame Sitzung.) Vorsitzender: Herr Römer. Herr Mühlens (Hamburg): „Ärztliche und hygienische Studien in Südamerika.“

Sitzung vom 17. Mai 1925.

Vorsitzender: Herr Steinmann. Herr Hopmann: „Über die Temperaturen der Fixsterne.“

Die Temperaturen der Fixsterne (17. Juni 1925).

Die Verteilung der Temperaturen im Kosmos (20. Juli 1925).

Beide Vorträge behandelten weitgehend dieselben Gegenstände, weshalb über sie hier ein Gesamtreferat erstattet wird¹⁾.

Das Problem, welche Temperaturen die unserer Beobachtung zugänglichen Oberflächen der Sonne und der Fixsterne haben, ist heute in beträchtlichem Umfange gelöst. Während vor wenigen Jahrzehnten die Angaben für die Sonne noch zwischen etwa 3000° und einigen Millionen Graden Celsius schwankten, sind heute die späterhin angegebenen Zahlen nur noch wenig unsicher. Über das

1) Vergl. auch meinen Aufsatz in der Zeitschrift für technische Physik. 1926. 1. Heft.

Erreichte einen Überblick zu geben und über die Wege, die zu unseren heutigen Kenntnissen geführt haben, zu berichten, sei Aufgabe des Vortrags.

Als physikalische Grundlage der Temperaturbestimmung kommen natürlich nur die Strahlungsgesetze in Frage. Sie sind uns durch die Arbeiten von Stephan, Boltzmann, Wien und Planck erschlossen worden. Aber nur für einen Idealfall gültig, nämlich für die Wärmestrahlung, die ein absolut schwarzer Körper (Ruß kommt ihm schon ziemlich nahe) aussendet. Für diesen ist zunächst die Gesamtenergie der Wärmestrahlung proportional der 4. Potenz der absoluten Temperatur. Mißt man z. B. die Wärmemenge, die die Sonne uns zusendet und vergleicht diese Zahl mit Laboratoriumsdaten, so ist es möglich, einen Wert für die Oberflächentemperatur der Sonne zu ermitteln, falls diese die gleichen physikalischen Eigenschaften hätten, wie der ideal schwarze Körper. Nach den ausgedehnten Messungen des Amerikaners A b b o t u. a. sendet uns die Sonne soviel Wärme zu, daß sie in einer Minute ein cem Wasser um rund 2° erwärmt, vorausgesetzt, daß der Wärmeverlust beim Durchgang der Strahlen durch die Erdatmosphäre in Abzug gebracht ist. Mit Hilfe dieser sog. Solarkonstanten ergibt sich dann, daß die Oberfläche der Sonne ebenso stark strahlt wie ein absolut schwarzer Körper gleicher Größe von rund 5900° absoluter Temperatur.

Die physikalischen Arbeiten haben weiter gezeigt, daß die Wärmestrahlungsenergie sich sehr ungleichförmig über die verschiedenen Wellenlängen verteilt. Bei Temperaturen von etwa 1400° Abs. werden verhältnismäßig am meisten Strahlen von $1/500$ mm Wellenlänge ausgesandt, bei 2800° Abs. haben die Strahlen von $1/1000$ mm Wellenlänge das Maximum. Dieses rückt bei noch höheren Temperaturen allmählich in das rot, dann zum gelben, grünen usw. Ersichtlicherweise kann unter diesen Umständen die Lage des Energiemaximus ein Maß für die Temperatur der betreffenden Strahlen und Körper abgeben.

Die Ermittlung seiner Lage kann natürlich nur auf spektral-photometrischem Wege erfolgen und so ist es besser, wenn man schon in verschiedenen Teilen des Spektrums messen muß, die Gesamtenergieverteilung zur Temperaturmessung heranzuziehen. Man muß sich dann folgender von Planck entwickelter Formel bedienen: $E_{\lambda} = C \cdot \lambda^{-5} \cdot \left(\frac{C_2}{\lambda T} \right)^{-1}$, in welcher E_{λ} die Energie bei der

Wellenlänge λ ist, C eine von der instrumentellen Ausrüstung abhängige Konstante $C_2 = 14300$, und T die absolute Temperatur. Voraussetzung bei diesen Arbeiten ist allerdings, daß auch die Sterne

sich nahezu wie der ideal schwarze Strahler verhalten. Daß dies theoretisch wie praktisch im weiten Umfange der Fall, hat vor allem Wilsing in mehreren Arbeiten nachgewiesen.

Die erste größere astronomische Beobachtungsreihe und bis heute einzig fundamentale wurde von 1907—1919 von den Potsdamern Wilsing, Scheiner und Münch ausgeführt. Sie untersuchten 199 Sterne bis zur 4,5 Größe am Nordhimmel. Zur Ausführung ihrer Beobachtungen wurde ein Spektralphotometer benutzt, welches an dem großen Refraktor des astrophysikalischen Observatoriums angebracht wurde. In den Spalt des Photometers fiel einmal das Sternlicht und ferner das Licht einer elektrischen Kohlenfadenlampe, die mit konstanter Stromstärke belastet wurde. Zwischen Spalt und Lampe kamen zwei drehbare Nikolsche Prismen. Im Gesichtsfeld des Instruments lagen beide Spektren direkt nebeneinander, wurden aber durch passende Blenden bis auf den jeweils zu messenden schmalen Bereich abgedeckt.

In leicht ersichtlicher Weise konnte nun die Energieverteilung im Sternspektrum mit der des Lampenspektrums verglichen werden. Der Apparat wurde dann vom Fernrohr abgenommen und im Laboratorium nun das Lampenspektrum unter gleicher Belastung der Photometerlampe mit dem eines künstlichen schwarzen Körpers verglichen, dessen Temperatur seinerseits durch geeichte elektrische Thermometer ermittelt wurde. Auf dem Umwege über das Lampenspektrum weg wurden so die Sternspektren an den schwarzen Körper angeschlossen. Hierdurch konnte die Größe C obiger Gleichung aus den Rechnungen eliminiert und T berechnet werden. Auf die umfangreichen Untersuchungen zur Sicherung gegen systematische Fehlerquellen aller Art kann hier natürlich nicht eingegangen werden.

Ein zweiter Versuch, die Sterntemperaturen zu ermitteln, wurde von Rosenberg in Tübingen ausgeführt. Seine Ausrüstung war wesentlich einfacher: eine Astrokamera von 11 cm Öffnung und 110 cm Brennweite, vor welcher sich ein 45°-Prisma befand. Die Kassette war verschiebbar, so daß auf einer Platte zahlreiche Stern-Spektren untereinander aufgenommen werden konnten. Ihre Schwärzungen wurden an einer großen Zahl Stellen mittels des Hartmannschen Mikrophotometers ausgemessen. Auf die weiteren Prinzipien der photographisch-photometrischen Reduktion kann hier nicht eingegangen werden. Ganz ähnlich wie Rosenberg verfuhr neuerdings auch Sampson in Edinburg.

Ein weiteres Verfahren zur Temperaturbestimmung der Fixsterne arbeitet wieder im visuellen Gebiet des Spektrums und ist ebenfalls von Wilsing entwickelt. Er benutzt die Eigenschaft eines bestimmten Jenaer Rotglases, Licht verschiedener Farben sehr

verschieden stark zu absorbieren. Wird ein derartiges Glas keilförmig geschliffen und in den Strahlengang eines Fernrohrs nahe dem Fokus gebracht, so wird seine Farbe mehr oder weniger stark geändert, je nach dem man die dickeren oder dünneren Partien des Keils benutzt. Wie Wilsing gezeigt hat, kommt dies im wesentlichen auf eine scheinbare Temperaturerniedrigung des Sterns heraus. Mit dem Rotkeil verbindet Wilsing nun ein Zöllnersches Photometer, aus welchem die Blaugläser und dergleichen entfernt sind. Der Beobachter sieht dann in diesem neben den natürlichen Sternen die ein bzw. zwei rötlichen Photometersterne. Wird der Rotkeil nun genügend tief hereingeschraubt, so läßt sich einmal die Farbe des natürlichen Sterns gleich der des Photometersterns machen und ferner durch Verstellen der Nikolschen Prismen auch die Intensität beider. Sind die Absorptionseigenschaften des Rotkeils für Licht verschiedener Farbe im Laboratorium genügend untersucht, so läßt sich aus der Rotkeilstellung, wie Wilsing gezeigt hat, dann verhältnismäßig leicht die Stern-temperatur berechnen. Das Rotkeilkolorimeter ist in gewisser Hinsicht das leistungsfähigste der hier besprochenen Instrumente, was Handlichkeit und Reichweite anlangt. Sind doch in Bonn mit einem Fernrohr von 16 cm Öffnung Sterne der 6,5 Größe noch bequem meßbar, während alle bisherigen Arbeiten, selbst am 80 cm-Refraktor in Potsdam, nur bis zur 4,5 Größe gingen.

Neben den geschilderten direkten Methoden der Stern-temperaturbestimmung haben wir noch eine ganze Reihe indirekter. Zunächst sind hier die Farbenschätzungen zu nennen. Die Farbe der Fixsterne variiert zwischen reinem weiß, gelb und rot, nebst aller Art von Übergängen, und es ist selbstverständlich, daß diese mit den Temperaturen in engstem Zusammenhange stehen. Statt die Farbe eines Sterns in Worten oder Buchstaben auszudrücken, zieht man es heute nach dem Beispiele von Schmidt und Osthoff vor, hierfür Zahlen zu setzen, indem Null den weißesten Tönungen entspricht, 5 etwa die gelbe Farbe bedeutet, während 8–10 den verhältnismäßig seltenen tiefroten Sternen vorbehalten bleibt. Osthoff u. a. haben ausgedehnte Farbenkataloge veröffentlicht. Sind unter ihren Sternen nun eine erhebliche Anzahl, deren Temperaturen anderweitig bestimmt sind, so läßt sich statistisch die Beziehung zwischen Farbenzahl und Temperatur ermitteln und damit auch die Temperaturen der übrigen Sterne.

Die heutige Astronomie kennt noch eine Reihe weitere derartige Farbaequivalente, von denen vor allen Dingen die sogenannten Farbenindizes zu nennen sind. Diese sind die Unterschiede zwischen der photographischen und der visuellen Größenklasse eines Sterns. Ein weißer und ein roter Stern mögen für das

normale Auge z. B. genau gleich hell erscheinen, dann wird der rote Stern auf der Platte 1—2 Größenklassen schwächer sein. Man ist übereingekommen, daß für Sterne vom Spektraltypus A (siehe unten) die visuellen und photographischen Größenangaben einander gleich sein sollen. Dann werden heißere Sterne photographisch heller sein, negativen Farbenindex haben, kältere (gelbe, rote Sterne) positiven). Auch hier muß wieder statistisch die Beziehung zwischen Farbenindex und Temperatur festgelegt werden.

Gehen wir nun nach der Darlegung der verschiedenen Beobachtungsmethoden über zu den Ergebnissen. Es ist zuvor aber gut, kurz die Spektralklassifikation der Harvardsternwarte anzuführen, die heute international angenommen ist.

Typus	Temperatur	Beispiele	Eigenschaften
O	25000 ⁰	ζ Puppis	Selten, gekennzeichnet durch die Linien von Helium +.
B	21000 ⁰	Rigel	Neutrales Helium in Emission und Absorption, H und ionisierte Metalle.
A	12000 ⁰	Sirius	Die Wasserstofflinien (Balmer Serie) beherrschen das Spektrum.
F	7800 ⁰	Prokyon	Wasserstoff tritt zurück, zahlreiche feine Metalllinien.
G	6000 ⁰	Sonne, Kapella	Sonnenspektrum.
K	4000 ⁰	Arktur	Starke Metalllinien, einzelne Bänder, besonders stark die Linien von Ca +.
M	3000 ⁰	Beteigeuze	Das Spektrum hat starke Absorptionsbanden (Titanoxyd).

Es zeigt sich, daß Spektralklasse und Oberflächentemperatur aufs engste miteinander verwandt sind, sodaß wir in die vorstehende Tabelle die auf dem neuesten Material beruhenden Mittelwerte (nach Brill) aufnehmen können. Die Sicherheit der Temperaturmessungen ist etwas verschieden, sie wird um so geringer, je höher die Temperatur ist. Bei einem M-Stern läßt sich z. B. die Temperatur auf einige 100⁰ genau angeben, während die Daten für die B-Sterne um 2—3000⁰ noch unsicher sind. Im vorliegenden gedrängten Auszuge des Vortrages kann nicht mehr auf die Vergleichung der verschiedenen Messungsreihen eingegangen werden, die in ihrer Art wieder die relativ hohe Sicherheit obiger Zahlen beweist.

Wenn man bei einem Stern die visuelle Größe und Temperatur durch Kolorimeterbeobachtungen kennt, kann man, wie Wilsing gezeigt hat, seinen scheinbaren Winkeldurchmesser in Bogensekunden berechnen. Andererseits ist das Gleiche möglich durch das Interferometer Michelsons, allerdings nur bei den allerhellsten Sternen. In der Übereinstimmung der so auf beiden Wegen gewonnenen Durchmesser haben wir eine der besten Kontrolle der Theorie und des Beobachtungsverfahrens. Die nachstehende Tabelle läßt in dieser Richtung kaum etwas zu wünschen übrig.

Stern	Sp.	Radius	
		kolorim.	interferom.
Arktur.	K	0,0095"	0,0108"
Aldebaran	K	0,0105	0,0144
Beteigeuze	M	0,0225	0,0183
Antares	M	0,0200	0,0173

Sind außerdem noch die Entfernungen der betreffenden Sterne von uns bekannt, so erhält man leicht ersichtlich auch ihren linearen Durchmesser, etwa in Kilometern, oder in Einheiten des Sonnendurchmessers.

Und gerade diese Werte sind dann von größtem Interesse geworden. Die gewöhnlichen Helligkeiten der Fixsterne nennt man auch scheinbare Größen. Sie hängen natürlich von der Entfernung der Sterne von uns ab. Über die wahren Verhältnisse im Kosmos unterrichten viel besser die absoluten Größen, d. h. die Helligkeiten der Sterne, wie sie uns erscheinen würden, wenn sie alle in der gleichen Entfernung von uns wären. Aus besonderen Gründen nimmt man hierzu das $2,06 \cdot 10^6$ fache der Entfernung Erde—Sonne, eine Distanz von 32,5 Lichtjahren. Aus solcher Entfernung gesehen ist unsere Sonne ein Stern 5. Größe, während z. B. dann Kapella +0^m3 ist, also eine 76 mal stärkere Leuchtkraft hat. Wir kennen nun zwei Arten von Sternen der Spektraltypen G, K und M, Riesensterne wie Kapella, Zwerge wie unsere Sonne. Diese Bezeichnung gilt sowohl hinsichtlich ihrer Leuchtkraft wie ihrer Durchmesser. Die G- und K-Zwerge haben etwa die gleiche Größe wie unser Zentralgestirn, die M-Zwerge sind merklich kleiner, während die G, K, M-Riesen 10, 100 ja bis 500 mal so groß sind im Durchmesser wie die Sonne. Das Verhalten der Doppelsterne und der einzelnen Objekte in den Sternhaufen führt dann zu folgender zuerst von Russel ausgesprochener Vermutung über den normalen Entwicklungsgang eines Sterns.

Die Fixsterne bilden sich aus den großen chaotischen Nebelmassen, ballen sich zu außerordentlich großen, einzelnen Kugeln zusammen. Im Laufe der Zeit ziehen diese sich mehr und mehr zusammen und erhitzen sich dabei. Sie werden uns dann als M-Riesen sichtbar. Mit zunehmender Kontraktion werden sie allmählich K und G-Sterne, gehen dann zum Spektraltypus F über. Sterne großer Masse erreichen dann noch das Stadium der A und B-Sterne, in seltenen Ausnahmefällen können sie auch O-Sterne werden. Allmählich genügt dann aber die Kontraktion nicht mehr, um die ausgestrahlten Wärmemengen zu ersetzen, der Stern zieht sich zwar noch weiter immer mehr zusammen, seine Oberflächentemperatur sinkt aber allmählich, er wird wieder ein F- oder G-Stern, schließlich ein K- und M-Zwerg.

Die Verwendung hochempfindlicher Thermoelemente und Radiometer gestattete in neuester Zeit auch dem Problem, die Oberflächentemperatur der Planeten zu bestimmen, näher zu treten. Diese erhalten ja ihr Licht und ihre Wärme nur von der Sonne, so daß die für die Fixsternbeobachtungen üblichen Methoden hier versagen müssen. Einzelheiten überschreiten den Rahmen dieses Berichtes. Nur kurz seien die Ergebnisse nach den neuesten Anschauungen und Messungen angeführt.

Merkur konnte noch nicht beobachtet werden, ist ja bekanntlich bei seiner Sonnennähe ein sehr schwieriges Objekt. Auch für Venus läßt sich vorläufig nur der sehr unsichere Wert $+45^{\circ}$ C. angeben. Die Temperatur der Gestirne des absolut atmosphärenlosen Mondes schwankt natürlich sehr stark mit der Phase, der Dauer der Einwirkung der Sonnenstrahlen. Die älteren Beobachtungen von Very können heute nicht mehr als zutreffend gelten; die ergaben Schwankungen zwischen -273° und $+180^{\circ}$. Für den Vollmond ergab eine einzelne neuere Messung etwa $+120^{\circ}$. — Für Jupiter und Saturn ergibt sich sehr sicher (und in Übereinstimmung mit neuen theoretischen Untersuchungen) der niedrige Wert von -80° C. (Im Gegensatz zu früheren Anschauungen, die von einer noch nicht völlig erkalteten bzw. glühenden Oberfläche dieser Planeten sprachen.) Weitaus am interessantesten sind die Ergebnisse der Marsbeobachtungen: -15° ist die mittlere Oberflächentemperatur, die aber — ähnlich wie bei uns — vom Äquator zu den Polen hin stark sich ändert und ebenfalls im Laufe des Marstages.

Sitzung vom 15. Juli 1925.

Vorsitzender: Herr Steinmann. Herr Steinmann: „Über Wandern der Organismen und daranschließende Anpassungen.“

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des naturhistorischen Vereines der preussischen Rheinlande](#)

Jahr/Year: 1926

Band/Volume: [82](#)

Autor(en)/Author(s): Hopmann P. Michael

Artikel/Article: [Die Temperaturen der Fixsterne \(17. Juni 1925\).](#)
[Die Verteilung der Temperaturen im Kosmos \(20. Juli 1925\).](#)
[A010-A016](#)