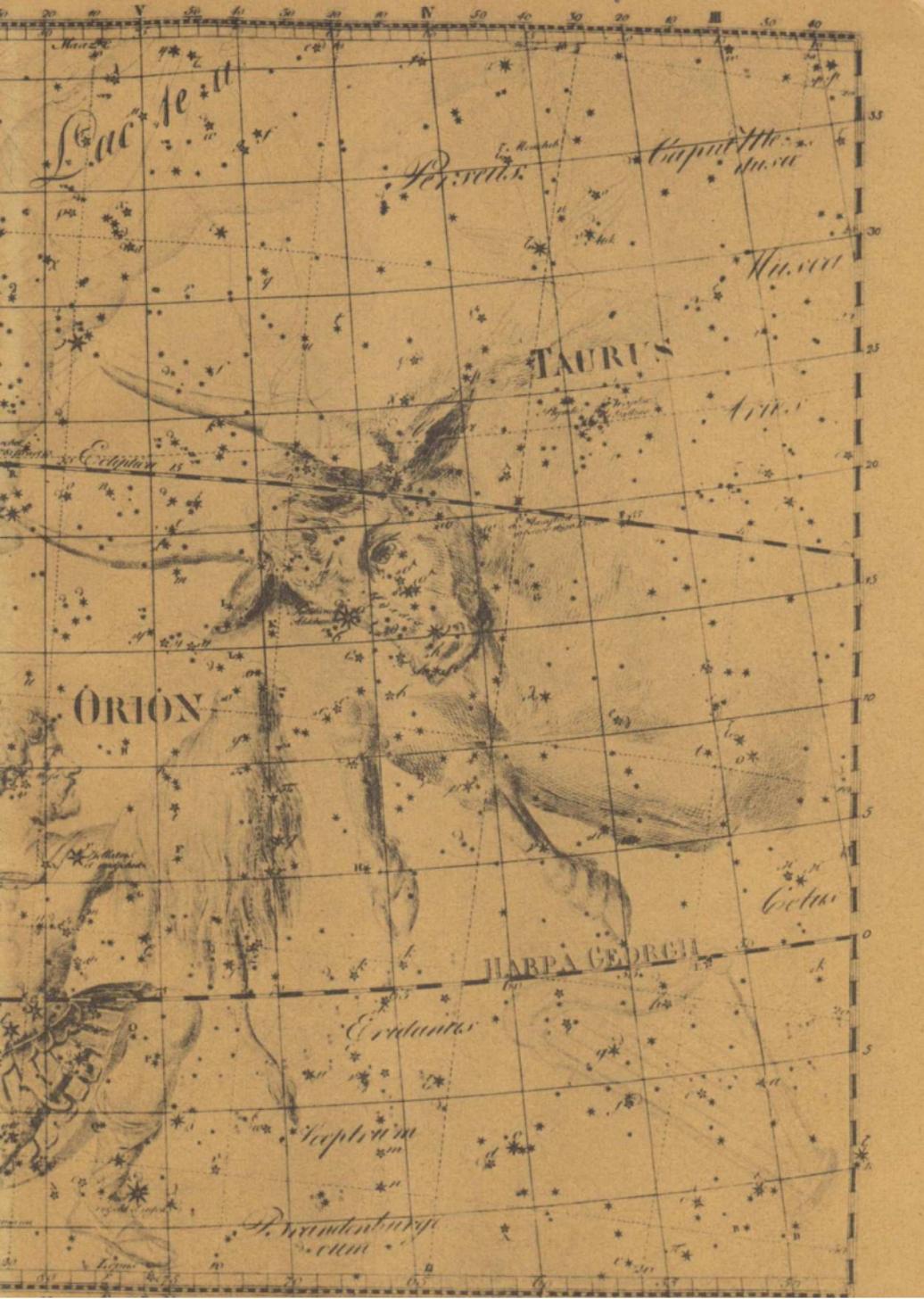


ASTRONOMIE 10







Lac
te

Perseus

Caput Tauri

ORION

TAURUS

HARPA GEOGRAPHICA

Eridanus

Capitulum

Promentorium

Uctus

Arctus

Uctus

Capitulum

Uctus

Arctus

Uctus

Uctus

Uctus

Uctus

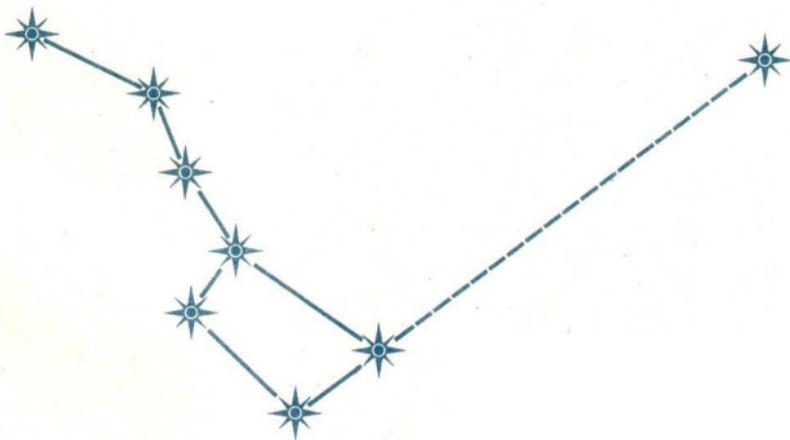
Uctus

Uctus

Uctus

ASTRONOMIE

Lehrbuch für Klasse 10



Volk und Wissen
Volkseigener Verlag Berlin
1971

Autoren

Dr. Helmut Bernhard

(Einführung in das Fach Astronomie – Der Erdmond –
Vorstellungen über das Planetensystem – Zusammenfassender Überblick –
Tabellen 3, 11, 16, 17)

Dr. habil. Otto Günther

(Das Planetensystem – Die Galaxis und extragalaktische Systeme – Tabellen 5, 6, 8)

Dr. Klaus Lindner

(Die Sonne – Die Sterne – Beobachtungen – Tabellen 1, 4, 9, 10, 13, 15 – Farbtafel)

Dr. habil. Klaus-Günter Steinert

(Die Erde als Himmelskörper – Tabellen 2, 7, 14)

Joachim Stier

(Tabelle 12)

Die Lösungen fertigte Heinz Albert an

Redaktion: Werner Golm

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik
als Schulbuch bestätigt

1. Auflage · Ausgabe 1971

Lizenz-Nr. 203 · 1000/70 (E) · ES 11 H

Ausstattung: Manfred Behrendt, Prisma · Günter Wolff

Einband: Karl-Heinz Wieland

Illustrationen: Walter Martsch

Technische Illustrationen: Heinrich Linkwitz

Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden (III/9/1)

Gesetzt aus der Univers

Vervielfältigungsgenehmigung Nr. 1/59/70

Redaktionsschluß: 1. 10. 1970

Bestell-Nr. 08 10 05-1 · Preis: 1,90

INHALT

Einführung in das Fach Astronomie	5
---	---

Das Planetensystem

Die Erde als Himmelskörper	12
Der Erdmond	28
Das Planetensystem	40
Vorstellungen über das Planetensystem	55

Astrophysik und Stellarastronomie

Die Sonne	62
Die Sterne	72
Die Galaxis und extragalaktische Systeme	88
Zusammenfassender Überblick	97

Aufgaben

Fragen, Aufträge

Einführung	106
Die Erde als Himmelskörper	106
Der Erdmond	107
Das Planetensystem	107
Vorstellungen über das Planetensystem	108
Die Sonne	108
Die Sterne	108
Die Galaxis und extragalaktische Systeme	109
Zusammenfassender Überblick	109

Beobachtungen

Die drehbare Sternkarte	110
Hauptpunkte und -linien am Himmel	114
Sternbilder I	116
Astronomische Koordinaten	117
Monddurchmesser	118
Mondoberfläche	120

Sternbilder II	121
Planet	122
Helligkeit und Farbe des Sternlichtes	124
Doppelsternsystem	125
Offener Sternhaufen	127

Anhang

Tabellen

1. Astronomische Konstanten und Einheiten	128
2. Die Erde	128
3. Der Mond	129
4. Die Sonne	129
5. Die Bahnen der Planeten	130
6. Die Planeten	131
7. Die natürlichen Satelliten der Planeten	131
8. Wichtige astronautische Ereignisse	132
9. Sternbilder des nördlichen Sternhimmels	132
10. Die hellsten Sterne	134
11. Wichtige Sternbilder in den Jahreszeiten	135
12. Sternbild „Orion“ (Hauptsterne)	136
13. Sterne näher als 3,5 pc	136
14. Reichweite der Fernrohre und Sternanzahl	137
15. Beobachtungsobjekte für Schulfernrohre	138
16. Entfernungen einiger astronomischer Objekte ..	139
17. Wichtige Entwicklungsstufen der astronomischen Wissenschaft	139
Lösungen	140
Register	142

Farbtafel

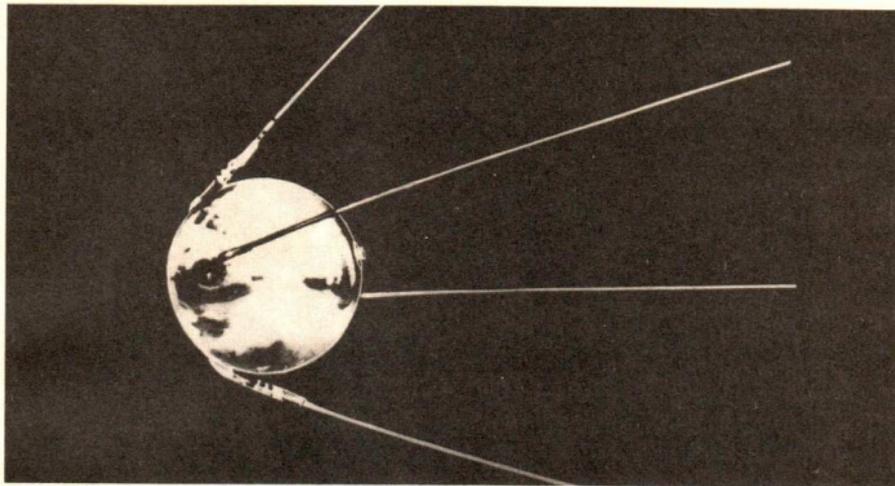
Spektren

Spektralkarte im Gebiet des Sternbildes Orion

Im Lehrbuch verwendete Symbole

- ▶ Merksätze
- Beispiele
- Aufgaben
- * zur Information
- ↗ siehe

EINFÜHRUNG IN DAS FACH ASTRONOMIE



Der Start des ersten künstlichen Erdsatelliten am 4. Oktober 1957 war ein großer Erfolg der Wissenschaftler, Ingenieure, Techniker und Arbeiter des ersten sozialistischen Staates. Mit dieser hervorragenden wissenschaftlich-technischen Leistung wurde ein neues Zeitalter in der Entwicklung der astronomischen Wissenschaft eingeleitet. Astronomische Grundkenntnisse gehören zur Allgemeinbildung des sozialistischen Menschen.

Das Interesse der Menschen an den Erscheinungen und Vorgängen am Himmel in Vergangenheit und Gegenwart

Das Wort **Astronomie** wird aus der griechischen Sprache abgeleitet: astron: Stern, nomos: Gesetz. Die Astronomie, auch als *Sternkunde* oder *Himmelskunde* bezeichnet, ist eine der ältesten Naturwissenschaften.

- ▶ Die Astronomie ist die Wissenschaft von den Eigenschaften, der Struktur, den Bewegungen und der Entwicklung kosmischer Gebilde.

Die Beschäftigung mit der Astronomie vermittelt Wissen über Objekte und Vorgänge im **Weltall** (auch *Kosmos* oder *Universum* genannt) und

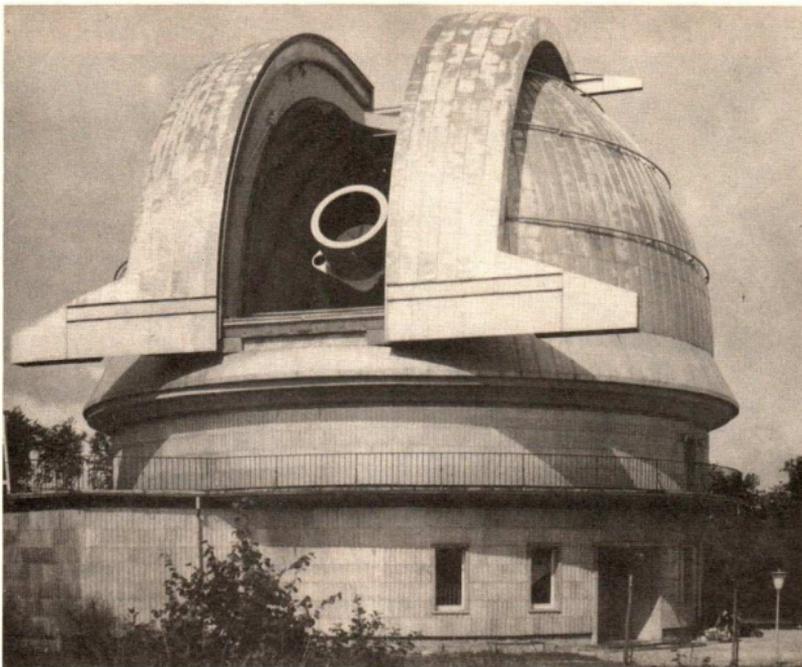


Bild 6/1 Karl-Schwarzschild-Observatorium der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin in Tautenburg bei Jena (↗ Bild 10/2)

zeigt, mit welchen Arbeitsmethoden die Wissenschaft auch diese räumlich sehr entfernten Objekte und Vorgänge und ihre Gesetzmäßigkeiten erkennen kann.

Die Astronomie entstand wie jede Wissenschaft aus praktischen Bedürfnissen der sich entwickelnden Gesellschaft. Eine zweckmäßige Bewirtschaftung der Felder, ihre Bewässerung und das Halten von Vieherden erforderte genaue Kenntnisse des Zeitablaufs, um entsprechende Vorkehrungen zu treffen. Die Zeiteinteilung fußte auf der Beobachtung der Bewegungsvorgänge am Sternhimmel. Karl Marx bemerkte dazu: *„Die Notwendigkeit, die Perioden der Nilüberschwemmungen zu berechnen, schuf die ägyptische Astronomie“*. (Kapital Bd. 1, Berlin 1947, S. 539).

Am Lichtwechsel des Mondes und an der periodischen Änderung der Stellung von Sonne, Mond und Sternen konnten genaue Zeitabstände bestimmt werden, die zum **Kalender** führten. Die aufkommende Seefahrt brauchte die Sternbeobachtung zur **Orientierung**.

Ohne Beobachtung des Sternhimmels hätten auch keine genauen Landkarten entworfen werden können (↗ Aufgabe 1).

Im *Alten Orient* leiteten vielfach die Priester die Landwirtschaft und sicherten sich das alleinige Recht der langfristigen und systematischen Himmelsbeobachtung, um den Beginn der Feldarbeiten und die Termine religiöser Feiertage festzulegen. Obwohl die Ursachen für den Ablauf der Bewegungen am Sternhimmel unbekannt waren, führte das Auffinden periodischer Abläufe zu genäherten Voraussagen über die Stellung heller Gestirne, wozu Sonne und Mond gehörten, und auch zur Vorausberechnung von Finsternissen. Die Priester waren nicht daran interessiert, ihre Kenntnisse dem Volk mitzuteilen. Sie strebten danach, religiöse Vorstellungen zu festigen, nach denen der Mensch und die menschliche Gesellschaft das Leben nicht selbst gestalten können, sondern von Naturkräften, vor allem von den Himmelskörpern und den Vorgängen am Sternhimmel abhängig sind. Es verbreitete sich der Glaube, daß aus der Stellung der Gestirne auf den Willen von Gottheiten zu schließen sei, die den Lebensweg des Menschen vorschreiben. So entstand die **Astrologie**, auch Sterndeutung genannt.

* Die Unwissenheit und den damit verbundenen Aberglauben des Volkes nutzte die herrschende Klasse zur Stärkung ihrer Machtposition. Die sich entwickelnde Astronomie widerlegte in zunehmendem Maße die Behauptungen der Astrologie durch exakte wissenschaftliche Beweisführung. Trotzdem wird die Astrologie auch heute noch in der historisch überholten Ausbeutergesellschaft, z. B. von der herrschenden Klasse in Westdeutschland, zur betrügerischen Beeinflussung leichtgläubiger und abergläubischer Menschen genutzt. In der DDR und in den anderen sozialistischen Ländern wird dem Aberglauben durch die Verbreitung wissenschaftlicher Kenntnisse über Natur und Gesellschaft und durch die Erfahrungen, daß es möglich ist, das Leben bewußt zu gestalten, der Boden entzogen. (↗ Aufgabe 2) *

Die astronomische Wissenschaft leistet mit ihren Erkenntnissen einen bedeutenden Beitrag zur Entwicklung der menschlichen Gesellschaft. Ihr geschichtlicher Werdegang ist mit dem Fortschritt in der Technik, in den Naturwissenschaften und in der Mathematik verknüpft.

Einführung in die Beobachtung

Vor Galilei beobachtete man den Sternhimmel mit dem bloßen Auge und benutzte zu Messungen einfache Geräte (Bild 8/1). Obwohl der Erkenntnis enge Grenzen gezogen waren, führten systematische Beobachtungen und Überlegungen und ihre Prüfung in der Praxis allmählich zu genaueren Vorstellungen über die Bewegungsvorgänge am Sternhimmel. Mit der Erfindung des Fernrohrs und seiner Anwendung in der Himmelsbeobachtung (Galilei 1609) begann ein neuer Abschnitt in der Erforschung des Weltalls (Bild 8/2).

Die sich entwickelnde Technik stellte der Astronomie immer leistungsfähigere Instrumente zur Verfügung. Der Fortschritt in der astronomischen Wissenschaft führte zu neuen Forderungen an die Technik.

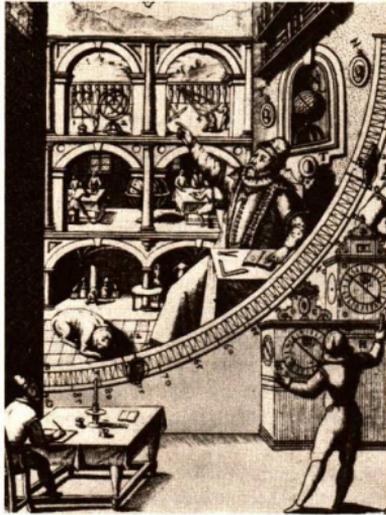


Bild 8/1 Mauerquadrant Tycho Brahes

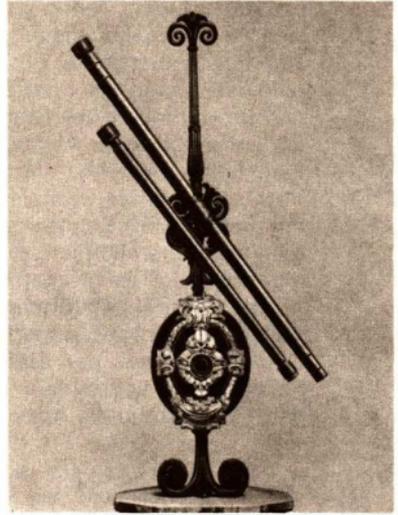


Bild 8/2 Das Fernrohr Galileis

Das **Fernrohr** ist ein optisches Gerät, mit dessen Hilfe kosmische Objekte visuell beobachtet oder photographiert werden. Je nach ihrem Verwendungszweck sind die Fernrohre verschieden gebaut. Wir unterscheiden das **Linsenfernrohr (Refraktor)** und das **Spiegelfernrohr (Reflektor)**.

Die wichtigsten Teile eines Fernrohrs sind das Objektiv und das Okular. Das Objektiv sammelt das Licht und erzeugt die Abbildung.

Das Okular vergrößert das vom Objektiv erzeugte Bild. Bei photographischer Verwendung wird das Zwischenbild auf einer Photoplatte abgebildet.

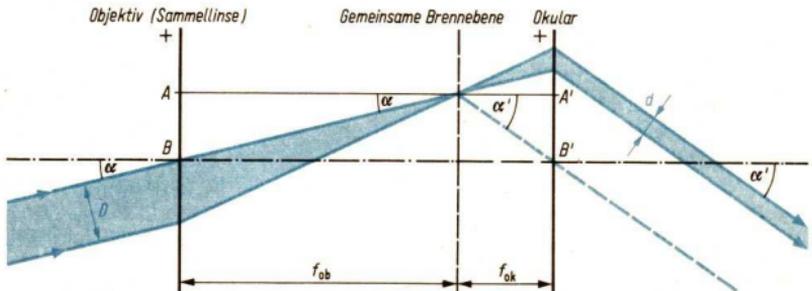


Bild 8/3 Strahlengang im astronomischen Fernrohr f_{ob} : Brennweite des Objektivs, f_{ok} : Brennweite des Okulars

Beim *Refraktor* besteht das Objektiv aus mehreren Linsen mit verschiedener Oberflächenkrümmung, weil eine einfache Linse das Bild verzerrt und verfärbt. In einem *Reflektor* werden die Lichtstrahlen von einem gläsernen Hohlspiegel, der mit einer Silber- oder Aluminiumschicht überzogen ist, reflektiert.

Fernrohre erzeugen immer von weit entfernten Gegenständen Abbildungen, die folglich nahezu in der Brennpunktebene entstehen. Im astronomischen Fernrohr erzeugt das Objektiv, wie beim Fotoapparat, ein umgekehrtes, verkleinertes, reelles Bild. Das Okular erzeugt hier von, wie eine Lupe, ein aufrechtes, vergrößertes, virtuelles Bild.

Eine Vergrößerung entsteht, weil das Fernrohr den Winkel α zwischen optischer Achse und einfallendem Lichtbündel vergrößert zum Winkel α' zwischen optischer Achse und austretendem Lichtbündel (Bild 8/3). Damit haben wir eine Möglichkeit, die *Vergrößerung* N zu definieren.

$$N = \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} = \frac{f_{\text{ok}}}{f_{\text{ob}}} \quad N = \frac{f_{\text{ob}}}{f_{\text{ok}}}$$

Mit dem Fernrohr wird also der Sehwinkel vergrößert, allerdings im Verhältnis zur optischen Achse umgekehrt und seitenvertauscht. Anders gesagt, verdichtet das Fernrohr den Energiestrom eines einfallenden Lichtbündels vom Bündeldurchmesser D vor dem Fernrohr zum Bündeldurchmesser d hinter dem Fernrohr. Deshalb werden im Fernrohr Sterne sichtbar, die mit unbewaffnetem Auge nicht mehr wahrnehmbar sind. Das Verhältnis D/d ist ebenfalls ein Maß für die Vergrößerung. Je größer das Objektiv des Fernrohrs ist, desto lichtschwächere Sterne sind damit sichtbar, desto mehr Sterne kann man erblicken (Aufgabe 3). Mit den größten Fernrohren können gegenwärtig noch Sterne beobachtet werden, deren Helligkeit einer brennenden Kerze aus einer Entfernung von 28 000 km entspricht.

Das Fernrohr gibt eine vergrößerte Abbildung der Sonne, des Mondes und der Planeten wieder. Wegen ihrer großen Entfernung sind die Sterne auch in den größten Fernrohren nur als leuchtende Punkte zu sehen.

Im astronomischen Fernrohr erscheint ein umgekehrtes Bild. Diese Tatsache ist ohne Bedeutung, da es im Weltall keine Bezugspunkte für oben und unten gibt. Bei Fernrohrbeobachtungen verwendet man selten mehr als eine 500fache Vergrößerung, weil mit steigender Vergrößerung die Verzerrung des Bildes durch Luftschlieren störender wird. Um dieser Schwierigkeit möglichst auszuweichen, befinden sich Sternwarten meist in Gebirgen. Größere astronomische Fernrohre werden in Kuppeln aufgestellt, die mit einem verschließbaren Spalt versehen sind (Bild 6/1).

Einer der größten Refraktoren der DDR befindet sich in Potsdam-Babelsberg (Bild 10/1).

Er hat eine Öffnung von 65 cm und eine Brennweite von 1 050 cm.

Das leistungsfähigste Spiegelfernrohr der DDR wurde in Tautenburg bei Jena errichtet (Bild 10/2). Es hat eine Öffnung von 200 cm und eine Brennweite von 400 cm.

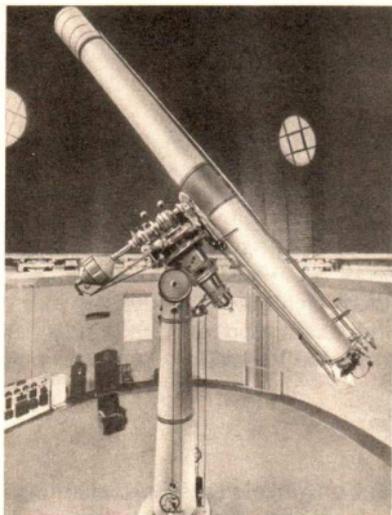


Bild 10/1 Großer Refraktor der Sternwarte Potsdam-Babelsberg

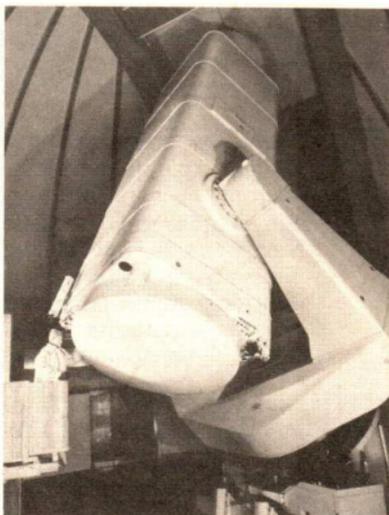


Bild 10/2 Spiegelteleskop des Karl-Schwarzschild-Observatoriums Tautenburg (↗ Bild 6/1)

In der DDR gibt es zahlreiche Volks- und Schulsternwarten, die jedem Bürger astronomische Fernrohrbeobachtungen ermöglichen.

Der Bau von astronomischen Instrumenten erfordert Höchstleistungen vor allem auf dem Gebiet der Optik und Feinmechanik. Die dabei gewonnenen Erfahrungen haben seit langem zur Entwicklung dieser Gebiete beigetragen. Astronomische Instrumente, die der VEB Carl Zeiss Jena herstellt, haben durch ihre hohe Qualität Weltruf erlangt. Sie werden in viele Länder exportiert und stärken das internationale Ansehen der DDR (↗ Aufgabe 4).

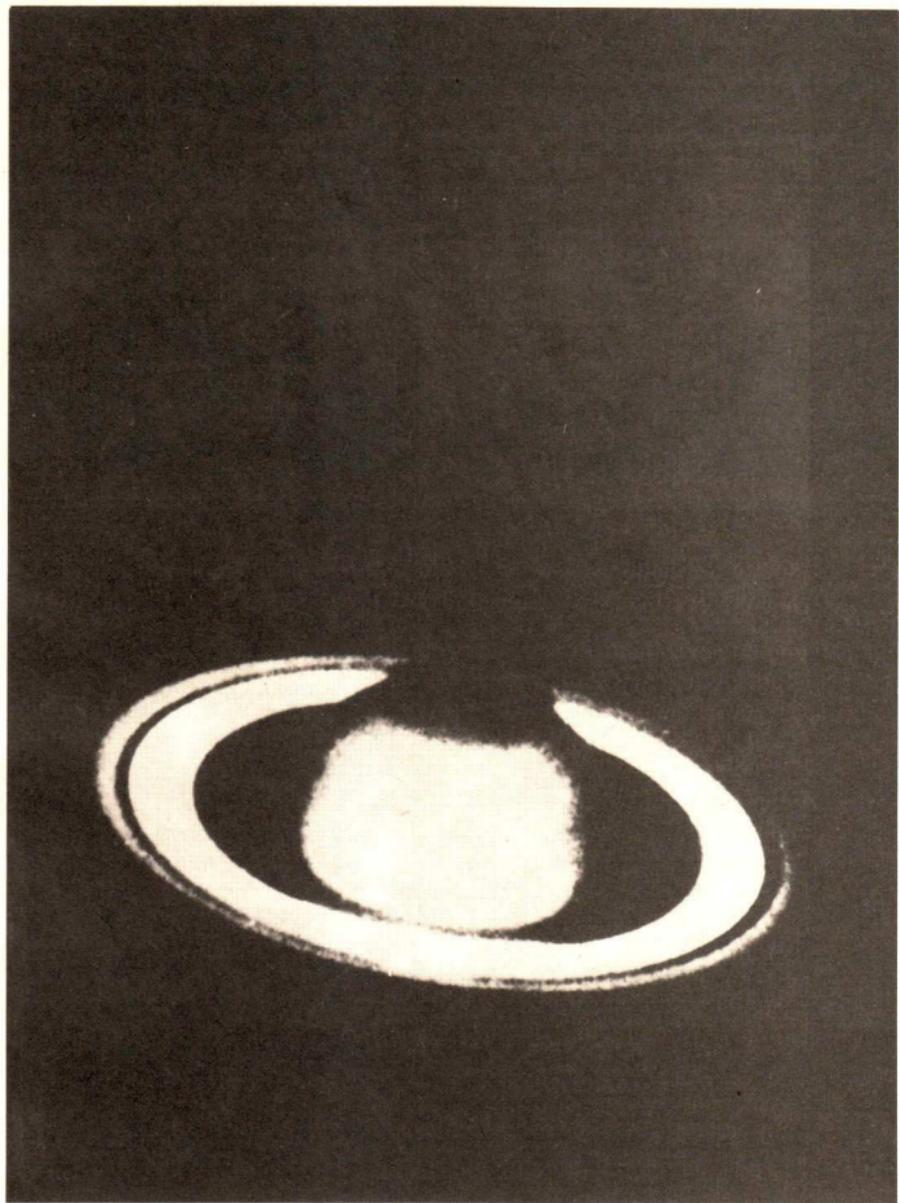
Die modernste Astronomie wendet vielfältige *physikalische* Arbeitsmethoden und Instrumente an und bedient sich umfangreicher *mathematischer* Hilfsmittel.

Der Start unbemannter und bemannter Raumflugkörper, ausgerüstet mit Beobachtungs- und Meßinstrumenten, ermöglicht es, Experimente im erdnahen Raum durchzuführen und Himmelskörper zu untersuchen.

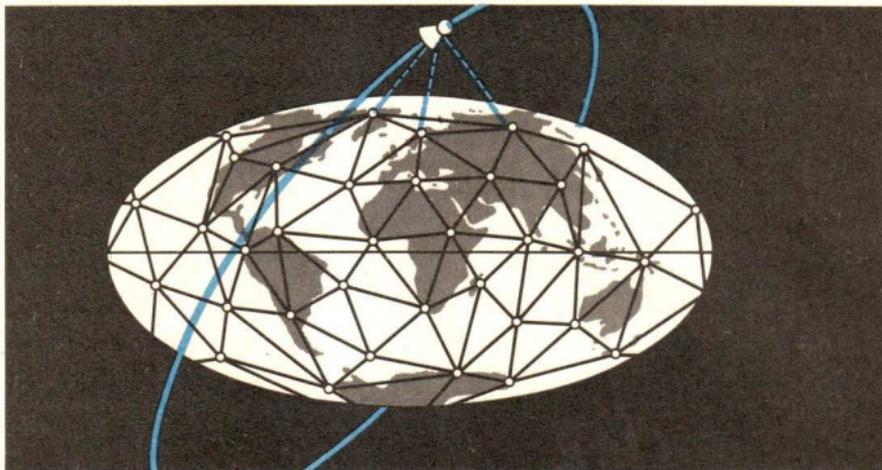
Fragen, Aufträge Seite 106, Nr. 1 bis 4

Die sich entwickelnde astronomische Wissenschaft ist, wie jede andere Wissenschaft, vor allem von der Produktionsweise der Gesellschaft abhängig. Zwischen Astronomie und Technik existieren vielseitige Wechselbeziehungen.

DAS PLANETENSYSTEM



DIE ERDE ALS HIMMELSKÖRPER



Verglichen mit anderen Himmelskörpern in unserer kosmischen Nachbarschaft, insbesondere im Vergleich mit der Sonne und den anderen Sternen, ist die Erde ein verhältnismäßig kleiner Körper. Die Erforschung von Form und Größe des Erdkörpers hat im letzten Jahrzehnt durch den Einsatz künstlicher Satelliten bedeutende Fortschritte gemacht. Das Bild deutet die Methode der Satellitentriangulation an.

Die Erde und der erdnahe Raum

Der Erdkörper. Die Erde ist einer von 9 nahezu kugelförmigen Himmelskörpern, den Planeten (↗ Kapitel „Das Planetensystem“). Bereits vor 200 Jahren konnte aus Messungen und Berechnungen nachgewiesen werden, daß der Erdkörper von der Kugelgestalt abweicht und an den Polen abgeplattet ist (Bild 13/1) (↗ Geographie, Lehrbuch für Klasse 5). Die Abplattung entstand vor der Erstarrung der Erde durch die mit der täglichen Drehung verbundene Zentrifugalkraft am Äquatorgürtel.

- *Nennen Sie einen physikalischen Versuch, mit dem der Vorgang der Abplattung demonstriert werden kann!*

Die Bestimmung der Werte für den Äquatroradius a und den Abstand b der Pole vom Erdmittelpunkt ist Aufgabe der *Erdmessung*.

$$a = 6378,160 \text{ km} \quad b = 6356,775 \text{ km}$$

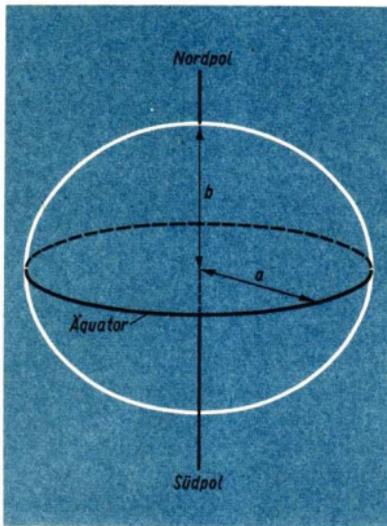


Bild 13/1 Der abgeplattete Erdkörper

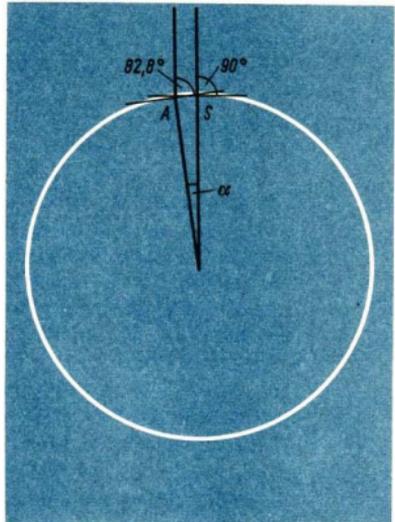


Bild 13/2 Bestimmung des Erdradius nach Eratosthenes

Die gegenwärtig gültigen Werte wurden 1967 von der *Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik* bestätigt. Die Abplattung des Erdkörpers beträgt

$$\frac{a - b}{a} = \frac{1}{298,2}$$

* Die erste überlieferte Erdmessung führte Eratosthenes vor über 2000 Jahren in Ägypten aus (Bild 13/2). Er wußte, daß die Sonne zur Sommersonnenwende in Syene (heute Assuan) zur Mittagszeit in einer Höhe $h_1 = 90^\circ$ (Höhe: Bild 21/2), also im Zenit stand. Zum gleichen Zeitpunkt bestimmte er die Sonnenhöhe in der nördlich davon gelegenen Stadt Alexandria mit einem senkrechten Schattenstab (Bild 22/3) zu $h_2 = 82,8^\circ$. Der Winkel $\alpha = h_1 - h_2 = 7,2^\circ$ entspricht gerade $\frac{1}{50}$ des Vollkreises. Die Entfernung Syene–Alexandria, die zu 5 000 Stadien gemessen worden war, mußte also $\frac{1}{50}$ des kreisförmig angenommenen Erdumfangs betragen. Das altgriechische Längenmaß „Stadion“ entspricht 164 m oder 185 m. Der aus den Messungen abgeleitete Erdumfang liegt also zwischen 40 000 km und 46 000 km. Damit war der Erdradius auf 16% ($\pm 1\ 000$ km) genau bestimmt. Bei den modernen Verfahren zur Bestimmung der Erdfigur spielen photographische Satellitenbeobachtungen (Bild 14/1) eine wichtige Rolle. Nach der in Bild 12/1 angedeuteten Methode der Satellittriangulation wird der Erdradius auf 0,002% ($\pm 0,1$ km) genau erhalten.

Ebenfalls aus der Auswertung von Satellitenbeobachtungen ergab sich die *Elliptizität des Erdäquators* und die sogenannte *Birnenform* (Abplattung am Nordpol größer als am Südpol). Beide Ergebnisse sind zur Zeit (1970) noch nicht gesichert. *

Für astronomische Zwecke genügt es im allgemeinen, die Erde als Kugel mit dem mittleren Radius 6 371 km anzusehen.

Weitere Konstanten des Erdkörpers ↗ Anhang, Tabelle 2.

Die Erdatmosphäre (Lufthülle). Die Atmosphäre ist bekanntlich eine wichtige Voraussetzung für die Entstehung, die Entwicklung und den Fortbestand des Lebens auf der Erde. Andererseits bildet sie ein beträchtliches Hindernis für die astronomische Forschung, für die die aus dem Weltall zur Erde gelangende Strahlung die wichtigste Informationsquelle bildet. Abgesehen davon, daß bei bewölktem Himmel überhaupt keine astronomische optische Beobachtung möglich ist, verändert die Atmosphäre auch bei klarem Himmel die aus dem Kosmos kommende Strahlung erheblich (↗ Seiten 9 und 67).

42% der ankommenden Strahlung werden an der äußeren Atmosphäre reflektiert. Die zur Erde gelangende Strahlung wird bei Durchgang durch die einzelnen Atmosphäreschichten unterschiedlich geschwächt. Die *ultraviolette Strahlung* wird durch die Ozonschicht der Stratosphäre, die *ultrarote Strahlung* durch den Wasserdampf und das Kohlendioxyd der Atmosphäre absorbiert (↗ Seite 67).

• Welche Möglichkeiten gibt es, astronomische Beobachtungen auszuführen, die nicht durch die Erdatmosphäre beeinträchtigt werden?

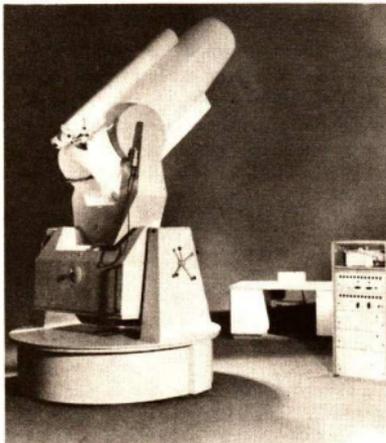


Bild 14/1 Modernes Gerät von VEB Carl Zeiss Jena zur photographischen Satellitenbeobachtung

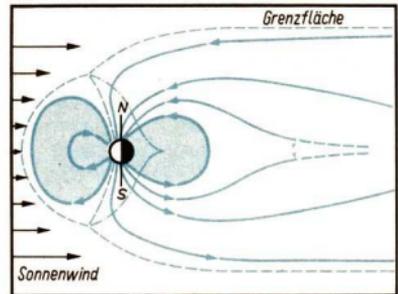


Bild 14/2 Magnetosphärenschweif und Strahlungsgürtel der Erde

Durch Teilchenstrahlung von der Sonne (Sonnenwind) (↗ S. 67) wird das Magnetfeld der Erde derart deformiert, daß es auf der sonnenabgewandten Seite stark gedehnt ist.

Es entsteht der sogenannte *Magnetosphärenschweif*.

* Durch Messungen künstlicher Erdsatelliten haben wir genauere Kenntnisse über die äußeren Atmosphäreschichten gewonnen. Während man früher ihre obere Grenze zu 800 km annahm, weiß man jetzt, daß sie bei etwa 3 000 km liegt. Ebenfalls durch Beobachtungen künstlicher Satelliten und Raumsonden konnte das *Magnetfeld der Erde* (Bild 14/2) (Magnetosphäre) in seinen äußeren Teilen erforscht werden.

Im engen Zusammenhang mit dem Magnetfeld steht der 1958 durch *Messungen von Sputnik 2* entdeckte *Strahlungsgürtel* (Bild 14/2), in dem energiereiche Teilchen, die im wesentlichen von der Sonne kommen, eingefangen werden. Er bedeutet eine Gefahr für die Kosmonauten. *

Mit Hilfe der künstlichen Erdsatelliten sind unsere Kenntnisse über die Atmosphäre und das Magnetfeld der Erde ergänzt worden.

Die Bewegungen der Erde. Bekanntlich führt die Erde eine tägliche Drehung (*Rotation*) um ihre Achse und eine jährliche Bewegung auf einer Bahn um die Sonne aus.

Die Erde dreht sich relativ zur Sonne in 24 Stunden einmal um ihre Achse (*1 Sonnentag*).



Bild 15/1 Aufnahmen der Erde aus dem Kosmos helfen die Wettervorhersage verbessern.

- *Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Rotationsgeschwindigkeit und der geographischen Längeneinteilung der Erde?*

Da die Erde täglich etwa $1^\circ \hat{=} 4$ min in ihrer Bahn um die Sonne weiter-rückt, dauert eine Rotation der Erde rund 23 h 56 min (1 *Sterntag*).

* Zum Nachweis der Erdrotation gibt es eine Reihe von Versuchen. Sehr bekannt ist der 1851 von Foucault in Paris durchgeführte Versuch mit einem 67 m langen Pendel. Man geht davon aus, daß ein frei schwingendes Pendel seine Schwingungsebene unverändert beibehält, auch wenn sich die Unterlage unter dem Aufhängungspunkt dreht. Nach Bild 16/1 würde sich die Lage der Schwingungsebene eines genau über dem Nordpol aufgehängten Pendels infolge der Erdrotation in 1 Stunde um 15° gegenüber der Meridianebene (Bild 22/1) verändern. Auch an anderen Orten der Erdoberfläche kann man die scheinbare Drehung der Schwingungsebene eines genügend langen Pendels beobachten. Da sich jedoch hier der Aufhängungspunkt mitbewegt, verringert sich der Drehwinkel in einer Stunde von 15° auf $15^\circ \sin \varphi$, für Berlin also auf 12° (φ : geographische Breite \nearrow Bild 26/1).

Weiterhin sind die Ostablenkung eines aus großer Höhe fallenden Körpers und die Ablenkung von Luft- und Meeresströmungen Rotationsbeweise. *

Die Erde bewegt sich auf einer ellipsenförmigen Bahn um die Sonne.

Die Ellipse ist die Menge aller Punkte einer Ebene, für die die Summe der Abstände $r_1 + r_2$ von zwei festen Punkten (Brennpunkte F_1, F_2) konstant gleich $2a$ ist.

- *Überlegen Sie, mit welcher einfachen Vorrichtung eine Ellipse konstruiert werden kann!*

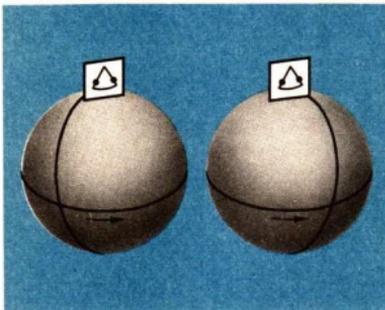


Bild 16/1 Nachweis der Erdrotation durch den Foucaultschen Pendelversuch

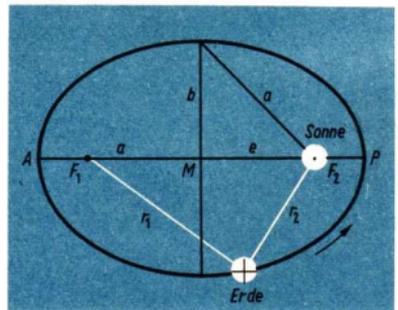


Bild 16/2 Bahnellipse der Erde
P: sonnennächster Punkt; A: sonnfernster Punkt; F_1, F_2 : Brennpunkte; a : große Halbachse; b : kleine Halbachse; e : lineare Exzentrizität

Die Halbachsen a und b der Erdbahn (Bild 16/2) unterscheiden sich nur wenig voneinander. Die *lineare Exzentrizität* e , das ist der Abstand eines Brennpunktes vom Mittelpunkt, der Bahnellipse ist mit $e = 2,5 \cdot 10^6$ km klein gegenüber a und b .

Die große Halbachse der Erdbahn (= mittlere Entfernung Erde – Sonne) ist $a \approx 149,6 \cdot 10^6$ km. Sie wird als Astronomische Einheit (AE) bezeichnet.

* Die Astronomische Einheit ist die Grundlage aller Entfernungsbestimmungen im Sonnensystem und darüber hinaus im ganzen Weltall. *

Warum ist es erforderlich, die Astronomische Einheit mit höchstmöglicher Genauigkeit zu kennen?

Die Methoden zu ihrer Bestimmung wurden in den letzten Jahrzehnten immer weiter verbessert. Gegenwärtig beträgt ihr Fehler nur noch 0,001% (1 500 km). Dieses Ergebnis entspricht der Genauigkeit einer Entfernungsbestimmung auf der Erde. Das modernste Verfahren zur Bestimmung der Astronomischen Einheit ist zur Zeit die Radarechomethode.

Radarechomethode: Durch ein großes Radioteleskop (Dipolsendeantenne) werden rhythmische Impulse, z. B. in Richtung des Planeten Venus abgestrahlt, von diesem reflektiert und vom gleichen Radioteleskop (Dipolempfangsantenne) empfangen. Aus der Laufzeit läßt sich bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen die Entfernung Erde–Venus berechnen.

Die Zeitdauer eines Erdumlaufes um die Sonne (von Frühlingspunkt zu Frühlingspunkt) heißt (tropisches) Jahr. Es dauert 365,2422 Sonnentage.

Frühlingspunkt ↗ Bild 19/1. Das Kalenderjahr umfaßt in einem 400jährigen Zyklus durchschnittlich 365,2425 Tage (Gregorianisches Jahr).

Wie wird die Differenz zwischen dem Gregorianischen Jahr und den einzelnen Kalenderjahren überbrückt?

Die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne äußert sich z. B. darin, daß die Richtung nach nahen Sternen im Laufe eines Jahres eine kleine periodische Veränderung erfährt (*jährliche Parallaxe*).

Noch vor 400 Jahren hatten die Menschen eine andere Vorstellung von den Bewegungsverhältnissen (↗ Kapitel „Das Planetensystem“). Daß lange Festhalten am geozentrischen Weltbild (Erde im Mittelpunkt) ist unter anderem darauf zurück-

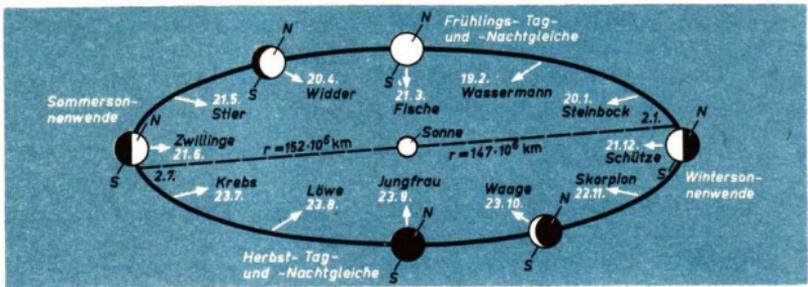


Bild 18/1 Bahn der Erde um die Sonne (von außen gesehen)

zuführen, daß der Beobachter unter dem Sternhimmel den Eindruck hat, der Himmel wölbe sich als Kugel über der im Mittelpunkt ruhenden Erde und drehe sich um diese. (Den gleichen Eindruck hat man in einem Planetarium!) Durch die Forschungsarbeiten vieler Gelehrter (↗ Das heliozentrische Weltbild) wissen wir, daß unser Planetensystem *heliozentrisch* (Sonne im Mittelpunkt) ist. Das alte *geozentrische* Weltbild beruhte darauf, daß die beobachteten **scheinbaren Bewegungen** irrtümlich als die wirklichen angesehen wurden. Das Wort *scheinbar* spielt in der Astronomie eine wichtige Rolle, weil uns unsere Beobachtungen die Vorgänge am Himmel so zeigen, wie sie uns *erscheinen*. Die wirklichen Vorgänge sind oft ganz anders und bleiben der direkten Beobachtung zunächst unzugänglich. Erst durch mühsame Forschungsarbeit, in deren Verlauf alte Ergebnisse immer wieder durch bessere, genauere ersetzt werden, wird nach und nach die Wirklichkeit der Natur erkannt.

Dieser *Erkenntnisprozeß* ist nicht eine Eigentümlichkeit der Astronomie, sondern er betrifft alle Gebiete des menschlichen Wissens. Er lehrt uns, daß die einmal erkannten Naturgesetze auch im Kosmos anwendbar sind. Die Erkenntnis der wahren Bewegungsverhältnisse im Sonnensystem im Verlauf der letzten Jahrhunderte ist hierfür ein glänzendes Beispiel.

Es ist zu unterscheiden:

wirkliche Bewegung	scheinbare Bewegung
tägliche Drehung der Erde (Rotation)	tägliche Drehung des Sternhimmels: Aufgang, Süddurchgang (Kulmination), Untergang
jährliche Bewegung der Erde um die Sonne (Bild 18/1) auf einer elliptischen Bahn	Die Sonne durchwandert in einem Jahr die Sternbilder des Tierkreises (↗ S. 20). In den verschiedenen Jahreszeiten sind jeweils andere Sternbilder am Abendhimmel sichtbar.

Die tägliche und die jährliche Bewegung der Erde kann man am Tellurium veranschaulichen.

Orientierung am Sternhimmel

Die scheinbare Himmelskugel. Die von uns am „Himmel“ wahrgenommene Erscheinung ist als **scheinbare Himmelskugel** zu bezeichnen, die in Wirklichkeit nicht existiert.

Die scheinbare Himmelskugel ist eine gedachte Kugelfläche, auf die sich die Gestirne vom Beobachtungsort aus projizieren.

Entsprechend ist die von der Sonne und von den anderen Gestirnen ausgeführte Ost-West-Bewegung eine *scheinbare Bewegung*. Auch Auf- und Untergänge der Gestirne sind *scheinbare Effekte*.

In welchem Sinne dreht sich die Erde vom Nordpol aus gesehen um ihre Achse?

Die scheinbare Jahresbahn der Sonne an der scheinbaren Himmelskugel heißt *Ekliptik* (Bild 19/1). Diese ist ein Abbild der wahren Bewegung der Erde um die Sonne. Die Ebene der Erdbahn schneidet die scheinbare Himmelskugel in der Ekliptik. Die Ebene des Erdäquators bildet mit der Ebene der Ekliptik einen Winkel $\varepsilon = 23,5^\circ$. Die Erdachse verändert bei der Bewegung um die Sonne ihre Lage im Raum nur wenig. Durch den jährlichen Umlauf der Erde um die Sonne bei gleichbleibender Neigung und Richtung der Erdachse sind die klimatischen Unterschiede der Jahreszeiten bedingt (↗ Geographie, Lehrbuch für Klasse 8).

Vergleichen Sie die Jahreszeiten auf der Nordhalbkugel, am Äquator und auf der Südhalbkugel der Erde!

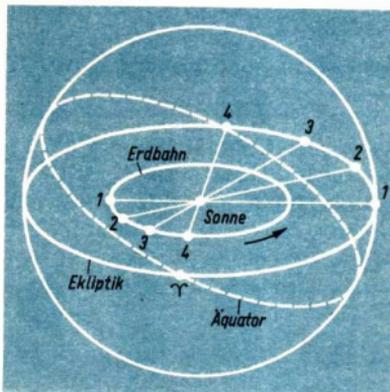


Bild 19/1 Erklärung der scheinbaren Bewegung der Sonne aus der Bewegung der Erde. Der Schnittpunkt von Ekliptik und Äquator heißt Frühlingspunkt. Es ist der scheinbare Standort der Sonne am 21. 3.

Die Sternbilder längs der Ekliptik tragen zum großen Teil Tiernamen, deshalb bezeichnet man sie gemeinsam als *Tierkreis* (Bild 18/1).

Die Sternbilder. Schon im Altertum orientierten sich die Menschen nach der Stellung der Gestirne. Entsprechend dem wenig entwickelten Stand der Wissenschaften sah man in der Anordnung der hellen Sterne Gestalten aus der antiken Götter-, Sagen- und Tierwelt. Diese *Sternbilder* basieren auf der Vorstellung einer schalenförmigen Himmelskugel, an der die Sterne fixiert sind (Fixsterne). Wir wissen heute, daß eine solche Himmelskugel schon deshalb nicht existieren kann, weil die Sterne sehr unterschiedlich weit von uns entfernt sind. Ein Sternbild besteht demnach aus Sternen, die im allgemeinen räumlich nicht benachbart sind. Es ist ein *scheinbares* Gebilde. Auch heute noch werden die Sternbilder als Orientierungshilfsmittel verwendet.

Sternbilder fassen Gruppen von Sternen zusammen, deren Projektionen auf einer begrenzten Fläche der scheinbaren Himmelskugel liegen.

Wegen der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne wechseln in den Jahreszeiten die Sternbilder des Abendhimmels. Einen Überblick darüber kann man sich mit Hilfe der *drehbaren Sternkarte* (↗ S. 110) verschaffen.

- *Stellen Sie mit Hilfe der drehbaren Sternkarte (↗ S. 110) fest, in welcher Himmelsrichtung die Sternbilder Leier (Wega), Schwan (Deneb), Adler (Atair), Großer Wagen, Kleiner Wagen und Kassiopeia am 1. September 19 Uhr und am 1. November 19 Uhr stehen. (In der Klammer ist jeweils der Hauptstern des Sternbildes angegeben.)*

Beachten Sie: die Sternbilder Großer und Kleiner Wagen sind auf der drehbaren Sternkarte als Teile der Sternbilder Großer und Kleiner Bär dargestellt!

Suchen Sie die genannten Sternbilder auch auf der Karte „Nördlicher Sternhimmel“ in Ihrem Atlas auf!

Wie die Beschreibung eines Ortes auf der Erde nach der Landschaft oder dem Land, worin er liegt, nur ungenau möglich ist, so ist auch an der scheinbaren Himmelskugel die Verwendung der Sternbilder nur ein behelfsmäßiges Orientierungsmittel. Auf der Erde haben wir zur präzisen Ortsangabe ein *sphärisches Koordinatennetz* (↗ Geographie, Lehrbuch für Klasse 7). Auch an der scheinbaren Himmelskugel wird diese Methode angewandt.

- *Wiederholen Sie, was Sie über das Koordinatensystem der Erde gelernt haben!*

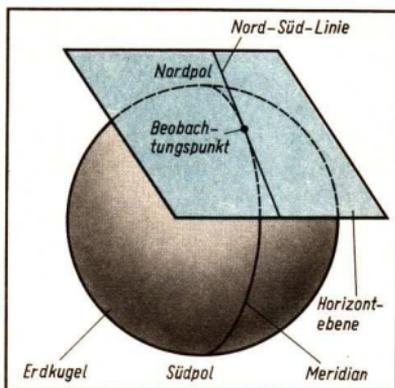


Bild 21/1 Erdkugel mit Horizontebene und Meridian

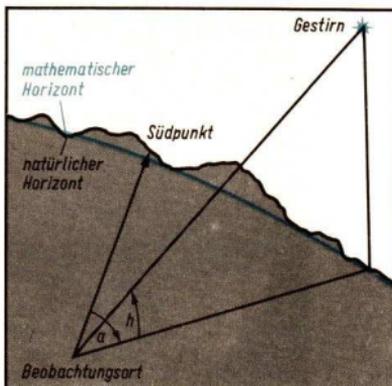


Bild 21/2 Die Horizontkoordinaten eines Gestirns (vom Beobachtungsort gesehen)

Das Koordinatensystem des mathematischen Horizonts. Der *mathematische Horizont* ist ein größter Kreis an der scheinbaren Himmelskugel. Seine Ebene ist die Tangentialebene, die *Horizontebene*, die die Erde im Beobachtungsort berührt (Bild 21/1).

Der *natürliche Horizont* (Bild 21/1) ist dagegen die Begrenzungslinie des Sichtkreises für einen Beobachtungsort.

- *Demonstrieren Sie mit dem Erdglobus und einer Pappscheibe die Horizontebene!*

Auf der Horizontebene (Bild 21/1) ist vom Beobachtungsort aus die Richtung nach Süden und Norden festgelegt (*Süd- und Nordpunkt*). Die Vertikalebene über der Nord-Südlinie schneidet die scheinbare Himmelskugel in einem Kreis, den wir als *Meridian* (Mittagslinie) (Bild 21/1) bezeichnen, weil er zu Mittag von der Sonne gekreuzt wird (lat. meridies; Mittag). Der Punkt des Meridians senkrecht über dem Beobachtungsort ist der *Zenit*.

- *Prägen Sie sich die Südrichtung auf dem Schulhof bzw. in der Nähe Ihrer Wohnung ein!*

Die Meridianebene ist mit der Erde fest verbunden. Sie überstreicht während der Erdrotation die scheinbare Himmelskugel. Ihre Lage gegenüber der Sonne gibt den Stand unserer Uhr an.

Durch zwei *Koordinaten des Horizontsystems* wird die Lage eines Gestirns gegenüber dem Horizont und dem Meridian fixiert: der Höhe h und dem Azimut a (Bilder 21/2 und 22/1).

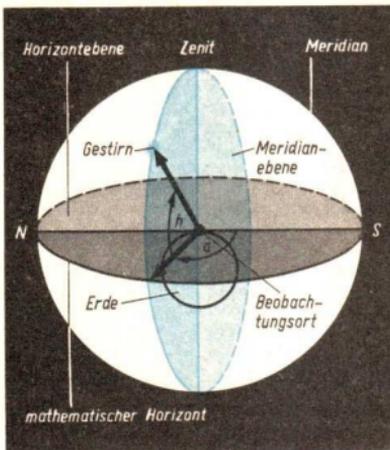


Bild 22/1 Die Horizontkoordinaten eines Gestirns (von „außen“ gesehen)



Bild 22/2 Höhenmessung mit dem Pendelquadranten

Die **Höhe h** ist der Winkel, um den sich ein Gestirn über den mathematischen Horizont erhebt.

Bei unseren Beobachtungen haben wir folgende Möglichkeiten zur Höhenmessung auf $1^\circ \dots 2^\circ$ genau:

1. mit dem *Pendelquadranten* (Bild 22/2),
2. mit dem *senkrechten Schattenstab* (Bild 22/3),
3. mit dem *Winkelmeßgerät*.

Der Astronom verwendet für genaue Höhenmessungen (≤ 1 Bogensekunde) den *Theodolit* (Bild 23/1) und für genaueste Messungen (0,1 Bogensekunde) den *Meridiankreis* (Bild 23/2).

Beim Meridiandurchgang erreichen die Gestirne die größte Höhe, sie *kulminieren*. (\nearrow Aufgaben 6 und 7)

Das **Azimut a** wird in der Horizontebene gemessen. Es ist der Winkel zwischen Südrichtung und Richtung nach dem Fußpunkt des Lotes vom Stern auf dem mathematischen Horizont.

Für Schülerbeobachtungen verwenden wir zur Azimutmessung

1. den *Kompaß*, 2. das *Winkelmeßgerät*.

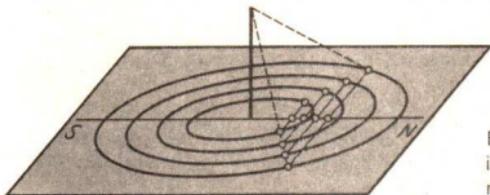


Bild 22/3 Höhe und Azimut der Sonne im Verlauf eines Tages aus Messungen mit dem senkrechten Schattenstab

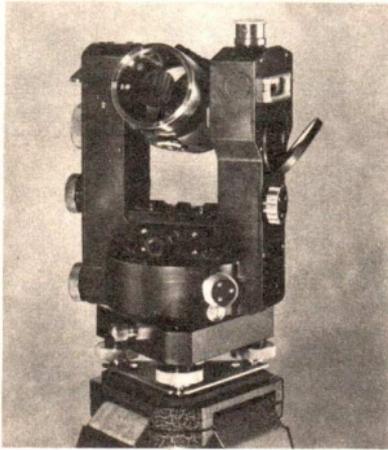


Bild 23/1 Theodolit

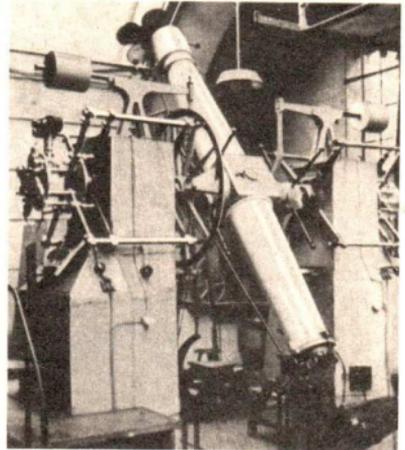


Bild 23/2 Meridiankreis auf dem Gelände der Sternwarte Babelsberg

Der Astronom verwendet zur Azimutmessung die bereits bei der Höhenmessung genannten Instrumente (außer dem Meridiankreis).

Zählweise der Koordinaten:

Höhe: $0^\circ \dots 90^\circ$; Punkt im mathematischen Horizont: $h = 0^\circ$; Zenit: $h = 90^\circ$.

Azimut: $0^\circ \dots 360^\circ$; Südpunkt $a = 0^\circ = 360^\circ$, Westpunkt $a = 90^\circ$, Nordpunkt $a = 180^\circ$, Ostpunkt $a = 270^\circ$.

Mit Theodolit und Winkelmeßgerät werden die Koordinaten des Horizontsystems gemessen.

Auf der drehbaren Sternkarte (↗ S. 110) sind die Koordinaten des Horizontsystems durch das schwarze Liniensystem auf der drehbaren Schablone dargestellt.

Überlegen Sie, welcher Unterschied zwischen der Azimutmessung mit dem Kompaß und der mit dem Winkelmeßgerät besteht!

Vorteil beim Messen im Horizontsystem: Mit Lot und Libelle (Wasserwaage) ist eine genaue Aufstellung der Meßgeräte möglich. Die Meßgenauigkeit ist deshalb hoch.

(↗ Aufgabe 5)



Bild 24/1 · Zeitgebereinheit einer Quarzuhr
Beachten Sie die dezimale Anzeige der Zeit!

Nachteil beim Messen im Horizontsystem: Die Koordinaten h und a eines Gestirns sind wegen der Lage des Horizonts und der Drehung der Erde abhängig von Ort und Zeit.

(↗ Aufgaben 8, 9 und 10)

Wegen der Zeitabhängigkeit von a und h gehört zu jeder Messung eine genaue *Zeitangabe*. Deshalb findet man in jeder Sternwarte genaue Uhren, z. B. Quarzuhren (Bild 24/1) und Pendeluhren.

Besonders anschaulich kann das Horizontsystem in einem Planetarium dargestellt werden.

Das rotierende Äquatorsystem. Infolge laufender Änderung der Horizontkoordinaten Höhe h und Azimut a eines Sternes ist es z. B. nicht möglich, eine *Sternkarte* oder einen *Sternatlas* im Horizontsystem darzustellen. Für diesen Zweck verwendet man das **rotierende Äquatorsystem**.

Zu seiner Erklärung gehen wir vom Koordinatennetz auf der Erde aus (↗ Geographie, Lehrbuch für Klasse 7). Die verlängerte Erdachse schneidet die scheinbare Himmelskugel im *Himmelsnordpol* und im *Himmels-südpol* (Bild 25/2). Der vordere Deichselstern des Sternbildes Kleiner Wagen steht in der Nähe des Himmelsnordpols. Er heißt deshalb *Polarstern*. Er ist wichtig für die Orientierung am Himmel und auf der Erde.

Projiziert man das Koordinatennetz der Erde an die scheinbare Himmelskugel, so ergibt sich das Koordinatennetz des rotierenden Äquatorsystems.

Die Schnittlinie der Ebene des Erdäquators mit der scheinbaren Himmelskugel bezeichnet man als *Himmelsäquator*. Die von Pol zu Pol verlaufenden Kreise (auf der Erde Längengrade genannt) heißen auf der scheinbaren Himmelskugel *Stundenkreise*. Der Stundenkreis, in dem die Gestirne an einem Beobachtungsort kulminieren, ist der Meridian. Den Breitenkreisen auf der Erde entsprechen die *Deklinationkreise* oder *Parallelkreise*. Das entstandene Koordinatennetz nimmt an der scheinbaren täglichen Umdrehung des Sternhimmels teil, es wird deshalb als *rotierendes Äquatorsystem* (Bilder 25/1 und 25/2) bezeichnet. Der Stundenkreis durch den Frühlingspunkt γ (Bilder 25/1 und 25/2) erhält die Ziffer 0.

Vom Frühlingspunkt aus zählen wir entlang dem Äquator entgegen dem Uhrzeigersinn die **Rektaszension** α eines Sterns bis zu dessen Stundenkreis. Die Rektaszension α wird von 0^h bis 24^h gerechnet. Der Winkelabstand eines Sterns vom Äquator heißt **Deklination** δ . Die Deklination δ wird vom Äquator aus nach dem Himmelsnordpol von 0° bis $+90^\circ$ und nach dem Himmelsnordpol von 0° bis -90° gezählt (\nearrow Drehbare Sternkarte).

Die Fernrohre in Sternwarten sind meist im Äquatorsystem aufgestellt, damit sie der täglichen Drehung leichter nachgeführt werden können.

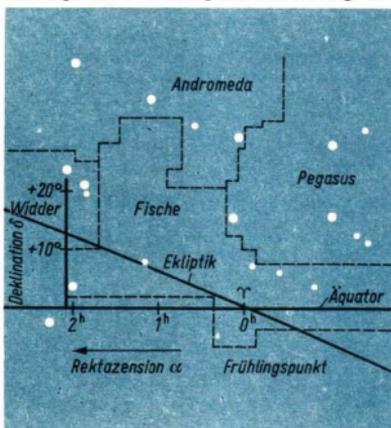


Bild 25/1 Koordinaten eines Gestirns im rotierenden Äquatorsystem auf der Sternkarte

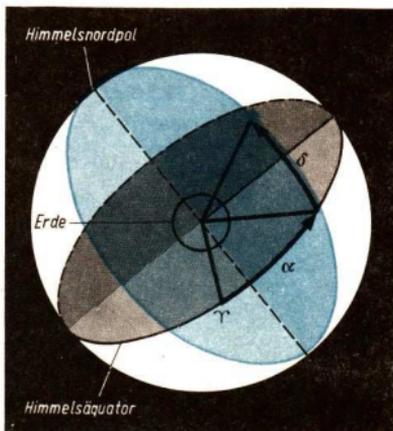


Bild 25/2 Koordinaten eines Gestirns im rotierenden Äquatorsystem

Genaueste Messungen von α und δ sind nicht möglich, da es für die Einrichtung der Meßgeräte in die Äquatorebene keine direkte Kontrolle gibt.

- Stellen Sie auf der drehbaren Sternkarte fest, welche Sterne die Koordinaten

$$\alpha = 7,6^{\text{h}} \quad \delta = +5^{\circ}$$

$$\alpha = 5,9^{\text{h}} \quad \delta = +7^{\circ} \text{ haben.}$$

(↗ Aufgabe 11)

Ein wichtiger Zusammenhang zwischen *Horizontsystem* und rotierendem *Äquatorsystem* ist gegeben durch die **Höhe** h_p (Polhöhe) des Himmelsnordpols ($\delta = +90^{\circ}$) über dem Horizont. Für die Polhöhe gilt $h_p = \varphi$ (Bild 26/1). Sterne, die vom Pol (genähert vom Polarstern) keinen größeren Winkelabstand haben als φ , heißen **Zirkumpolarsterne**. Sie gehen nie auf und unter.

- Geben Sie an, welche Deklination ein Stern haben muß, damit er für Ihren Schulort zirkumpolar ist!

(↗ Aufgaben 12 und 13)

* Genaue Positionsbestimmungen von Sternen werden im Horizontsystem ausgeführt, wobei der *Zeitpunkt* der Messung zu erfassen ist. Zur weiteren Verwertung der Daten kann eine Umrechnung in das *rotierende Äquatorsystem* (Koordinatentransformation) vorgenommen werden.



Genäherte Umrechnungen sind mit der drehbaren Sternkarte möglich. *

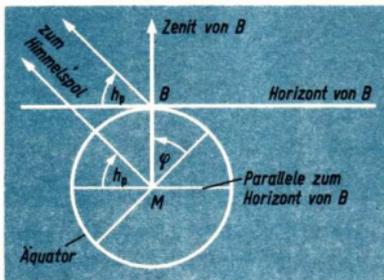


Bild 26/1 Polhöhe h_p gleich geographische Breite

Zusammenfassung. Die Erde ist ein Planet, der sich in einer mittleren Entfernung von $149,6 \cdot 10^6$ km in 1 Jahr $\approx 365,24$ Tage um die Sonne bewegt. Der mittlere Erdradius beträgt 6371 km. Sein genauer Wert, wie auch die genauere Kenntnis über die der Atmosphäre wurden aus Satellitenmessungen erhalten.

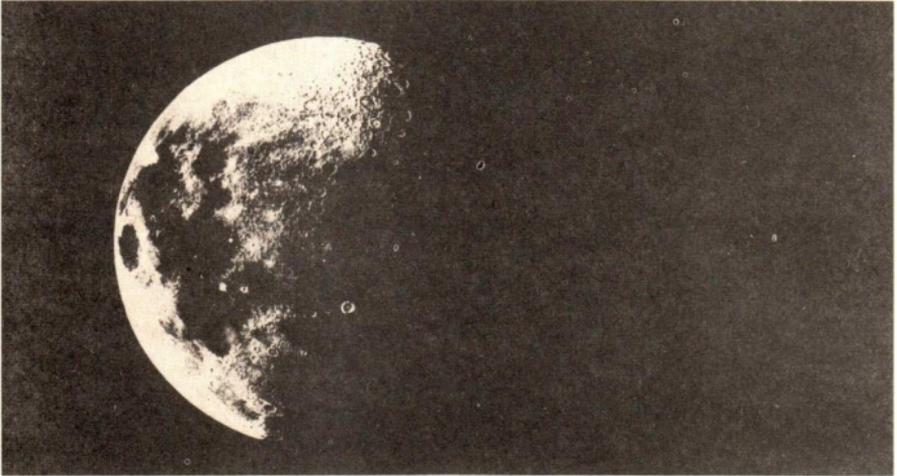
Infolge der Rotation der Erde führen die Sterne scheinbare tägliche Bewegungen aus. Wegen des jährlichen Umlaufs der Erde um die Sonne wechseln die am Abendhimmel sichtbaren Sternbilder mit der Jahreszeit.

Zur groben Orientierung am Himmel und auf der Erde dienen die Sternbilder. Für genaue Messungen von Gestirnspositionen verwendet man das Horizontsystem (Theodolit, Meridiankreis, Winkelmeßgerät). Die Genauigkeit ist gewährleistet durch den direkten Anschluß an den Zenit (Lot, Libelle). Will man eine Sternkarte zeichnen, so muß man die gemessenen Koordinaten Höhe und Azimut umrechnen in die Koordinaten Deklination und Rektaszension des rotierenden Äquatorsystems, welches nach dem Frühlingspunkt am Himmel orientiert ist. Durch die Polhöhe sind beide Koordinatensysteme miteinander verbunden. Sterne, die zwischen dem Pol und dem Horizont des Beobachters liegen, gehen nie auf und unter, sie sind zirkumpolar.

Fragen, Aufträge

Seite 106, Nr. 5 bis 13

DER ERDMOND



Wegen seiner relativ geringen Entfernung von der Erde war der Erdmond schon immer ein wichtiges astronomisches Forschungsobjekt. Die seit Jahrhunderten mit dem Fernrohr und anderen wissenschaftlichen Geräten über ihn gewonnenen Erkenntnisse werden gegenwärtig durch direkte Untersuchungen und mit Hilfe von Raumflugkörpern bestätigt und wesentlich erweitert.

Der Mond als Begleiter der Erde

Der **Erdmond**, vielfach *Mond* oder *Erdrabant* genannt, ist unser nächster Himmelskörper und daher den verschiedenen Methoden der astronomischen Forschung am besten zugänglich. Er bewegt sich auf einer Ellipsenbahn in einer mittleren Entfernung von 384 400 km als natürlicher Begleiter um die Erde (↗ Aufgabe 14).

Allgemein läßt sich sagen:

Ein Mond ist ein kugelähnlicher Himmelskörper, der sich um einen Planeten bewegt. Er reflektiert Licht der Sonne.

Modellvergleich: Hätte die Sonne einen Durchmesser von 1 391 mm, dann wäre der Durchmesser der Erde 13 mm und der des Mondes 3,5 mm (Bild 29/1).



Bild 29/1 Größenvergleich Erde – Mond

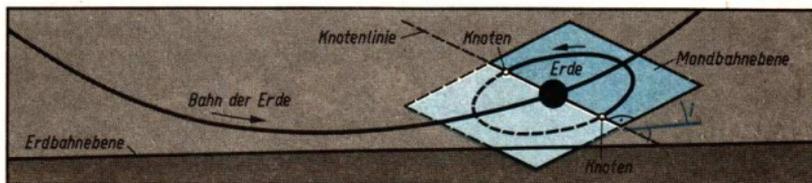


Bild 29/2 Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik

Der Abstand Erde–Sonne würde 150 000 mm betragen und die Entfernung Erde–Mond 380 mm.

Erde und Mond bilden ein *System*, das man als *Doppelplanet* bezeichnet. Zwischen beiden Himmelskörpern bestehen verhältnismäßig geringe Größenunterschiede, sie bewegen sich um einen gemeinsamen Massenmittelpunkt. Auch andere Planeten des Sonnensystems besitzen Monde, die ähnliche Eigenschaften wie der Erdmond aufweisen.

Der Erdmond nimmt an der *scheinbaren* täglichen Bewegung der Himmelskugel teil. Gegenüber den Sternen bewegt er sich täglich etwa um 13° von West nach Ost (\nearrow Aufgabe 15); das ist seine scheinbare Bahnbewegung. Die Bahnebene des Mondes ist um $5^\circ 9'$ gegen die Ekliptik geneigt (\nearrow Seite 19).

* Nach $27\frac{1}{3}$ Tagen hat der Mond in bezug auf die Sterne einen ganzen Umlauf vollzogen. Diese Zeitspanne nennt man *siderische* Umlaufzeit. Sie beträgt 27,322 d (Umlauf = 360°). Während dieser Periode rotiert der Mond einmal um seine eigene Achse. *

Die Rotationsdauer des Mondes ist an seinen Umlauf um die Erde gebunden (gebundene Rotation). Deshalb wendet der Mond der Erde stets dieselbe Seite zu.

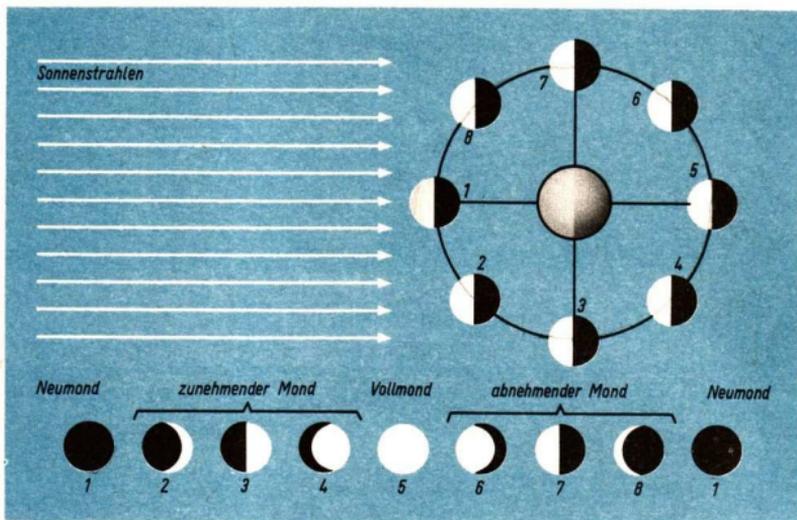


Bild 30/1 Die Entstehung der Mondphasen

Von der Erde aus sind etwas mehr als 50% der Mondoberfläche sichtbar. Ursachen sind u. a. die exzentrische Bahn und die damit verbundene unterschiedliche Bahngeschwindigkeit während eines Umlaufs bei gleichförmiger Rotation.

Beim Umlauf um die Erde ändert sich durch die wechselnde Stellung des Mondes der Winkel Sonne–Erde–Mond. Deshalb wird die uns zugewandte Seite des Mondes von der Sonne unterschiedlich beleuchtet. Es entstehen **Mondphasen** (Bild 30/1).

Mondphasen sind Lichtgestalten des Mondes. Sie entstehen durch den periodischen Wechsel der Stellung des Mondes zur Sonne und Erde und der damit verbundenen unterschiedlichen Beleuchtung der von der Erde aus sichtbaren Mondhälfte.

* Die Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden gleichen Mondphasen heißt *synodische* Umlaufzeit $t_{\text{syn}} = 29,531 \text{ d}$ (Umlauf $> 360^\circ$).

Die Bewegung des Mondes und die Erdrotation verlaufen im gleichen Sinn, deshalb kulminiert der Mond für einen Punkt auf der Erde durchschnittlich alle 24 h 28 min.

Zu **Finsternissen** kommt es, wenn der Schatten des Mondes auf die Erde fällt (Sonnenfinsternis) oder der Erdschatten auf den Mond (Mondfinsternis).

Finsternisse finden statt, wenn Sonne, Erde und Mond auf einer geraden Linie stehen.

* Da die Bahnebene des Mondes gegen die der Erde um $5^{\circ}9'$ geneigt ist, entstehen Finsternisse nur dann, wenn sich der Mond in der Nähe der beiden Schnittpunkte (*Knoten*) seiner Bahn mit der Bahnebene der Erde befindet (Bild 29/2). Die Knotenlinie dreht sich in 18,6 Jahren einmal im Sinne der täglichen Umdrehung des Sternhimmels. Dadurch wiederholen sich regelmäßig die für das Entstehen der Finsternisse günstigen Stellungen des Mondes. Die Astronomen können deshalb diese Erscheinungen mit großer Genauigkeit vorausberechnen. *

Eine **Sonnenfinsternis** findet statt, wenn der Mond (Neumond) in die Verbindungslinie Erde–Sonne tritt. Der Mond bewegt sich vor der Sonne vorbei und verdunkelt diese für kurze Zeit (Bild 31/1).

Bei einer *totalen* Finsternis durchschreitet der Mittelpunkt des Mondes die Verbindungslinie Beobachtungsort – Sonnenmittelpunkt (Bild 31/2).

* Das Gebiet auf der Erde, in der die Finsternis total erscheint, wird vom Kernschattenkegel des Mondes erreicht. Die Totalitätszone ist klein, höchstens 300 km breit. Deshalb findet diese Art der Finsternisse für einen bestimmten Ort auf der

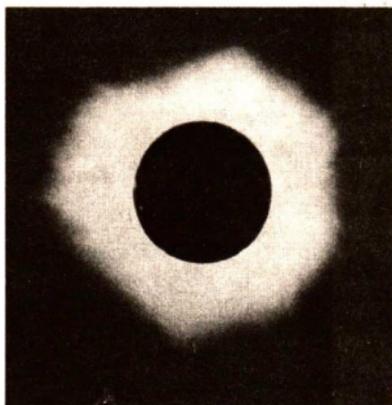
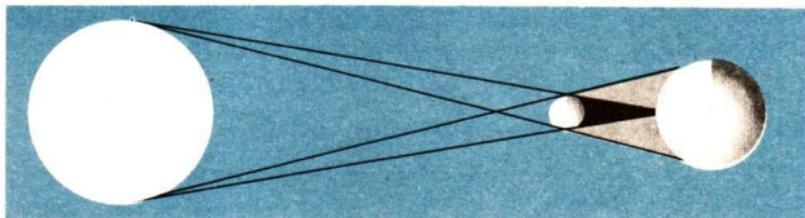


Bild 31/1 Kernschatten und Halbschatten bei einer Sonnenfinsternis

Bild 31/2 Totale Sonnenfinsternis

Erde nur etwa alle 200 Jahre statt. Die nächste in Mitteleuropa sichtbare totale Sonnenfinsternis ereignet sich am 11. 8. 1999! Weicht der Mittelpunkt des Mondes etwas von der Verbindungslinie Beobachtungsort–Sonnenmittelpunkt ab, kommt es zur teilweisen Verfinsternung der Sonne, die auch *partielle* Sonnenfinsternis genannt wird.

Da sich die Entfernungen Erde–Sonne und Erde–Mond periodisch ändern, ist es möglich, daß der Mond kleiner erscheint als die Sonne. Falls die Bedingungen einer totalen Sonnenfinsternis gegeben sind, beobachtet man dann eine *ringförmige* Sonnenfinsternis. *

Eine **Mondfinsternis** entsteht, wenn der Mond (Vollmond) teilweise oder ganz durch den Schattenkegel der Erde wandert, sie ist auf der gesamten Nachtseite der Erde gleichzeitig zu beobachten (Bild 32/1).

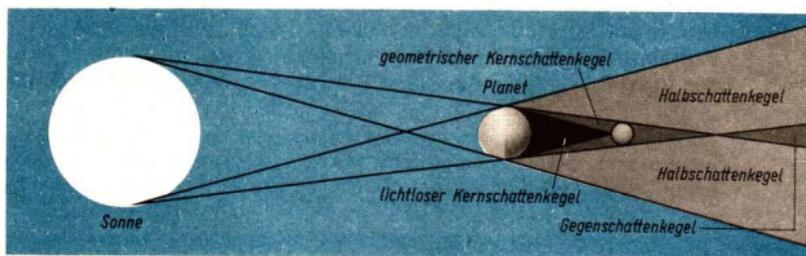


Bild 32/1 Kernschatten und Halbschatten bei einer Mondfinsternis

Zur Physik des Mondes

* Der *Radius* des fast kugelförmigen Mondkörpers entspricht ungefähr $\frac{1}{4}$ des Erdradius (↗ Aufgabe 16).

Die *Masse* des Mondes beträgt etwa $\frac{1}{81}$ der Masse der Erde.

Diese Tatsache wirkt sich auch auf die Anziehungskraft beider Himmelskörper aufeinander aus (↗ Aufgabe 17). *

Die Fallbeschleunigung auf dem Mond beträgt nur $\frac{1}{6}$ der Fallbeschleunigung auf der Erde.

Die Gewichtskraft eines Erdbewohners beträgt 90 kp. Ermitteln Sie seine Gewichtskraft auf dem Mond!

In früherer Zeit entstand viel Aberglauben über die angebliche Einwirkung des Mondes auf das irdische Geschehen. Die fortschreitende Wissenschaft hat falsche Vorstellungen, z. B. vom Einfluß des Phasenwechsels des Mondes auf das Wettergeschehen der Erde, widerlegt.

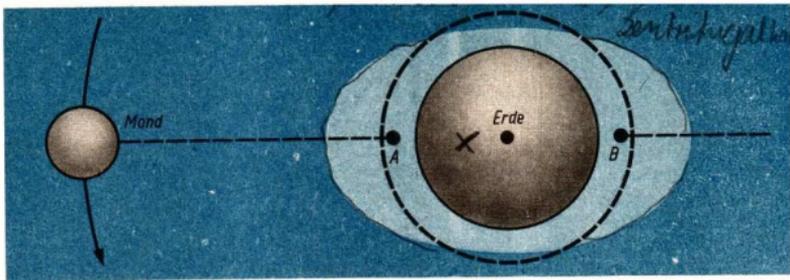


Bild 33/1 Gezeitenwirkung des Mondes

Die Flut (A) entsteht durch die überwiegende Anziehungskraft des Mondes, die Gegenflut (B) durch die überwiegende Wirkung der Zentrifugalkraft bei der Bewegung des Erde-Mond-Systems.

Zu der nachweisbaren physikalischen Einwirkung des Mondes auf die Erde gehören die periodischen Wasserstandsschwankungen (*Gezeiten*) der Weltmeere.

Bei der Bewegung von Erde und Mond um ihren gemeinsamen Schwerpunkt treten auf der Erde Zentrifugalkräfte auf, die überall gleich groß und dem Richtungssinn zum Mond entgegengesetzt sind. Ihnen entgegen wirkt die Anziehungskraft des Mondes. Auf der dem Mond zugewandten Erdseite überwiegt die Anziehungskraft, auf der ihm abgewandten Seite die Zentrifugalkraft. Als Resultat ergeben sich die *Gezeitenkräfte* (Bild 33/1), die die Wasserstandsschwankungen der Weltmeere auslösen. Die Gezeitenwirkung des Mondes wird in *Gezeitenkraftwerken*, z. B. in der Sowjetunion, nutzbar gemacht.

Bereits der Anblick des Mondes mit bloßem Auge zeigt, daß seine **Oberfläche** nicht einheitlich geformt ist (Bild 34/1). Man unterscheidet dunkle und helle Gebiete.

Die dunklen Gebiete sind weite *Ebenen* mit nur sehr geringen Höhenunterschieden. Sie werden als *Meere* bezeichnet (lat. *mare*, Plural *maria*). An den Rändern der „Meere“ befinden sich längere Gebirgszüge. Die hellen Gebiete des Mondes sind *Gebirgsformationen*, die mit irdischen Bergformen wenig Ähnlichkeit besitzen. Wir nennen sie je nach Größe **Krater**, **Ringgebirge** oder **Wallebenen** (Bild 34/2).

Krater: kreisrunde Vertiefungen in der Mondoberfläche:

Durchmesser von einigen Zentimetern bis etwa 40 Kilometer.

Ringgebirge: Mulden mit kreisförmigen Wällen,

Durchmesser von 40 km bis 80 km. Manche Ringgebirge besitzen einen Zentralberg.

Die größten Ringgebirge haben einen Durchmesser bis zu 235 km und werden auch *Wallebenen* genannt. Die Wälle sind bis zu 6 000 m hoch.

- Welche Möglichkeiten hat der Erdbeobachter, um auf dem Mond die Höhe der Berge zu messen? Denken Sie an die Licht-Schattenwirkung!

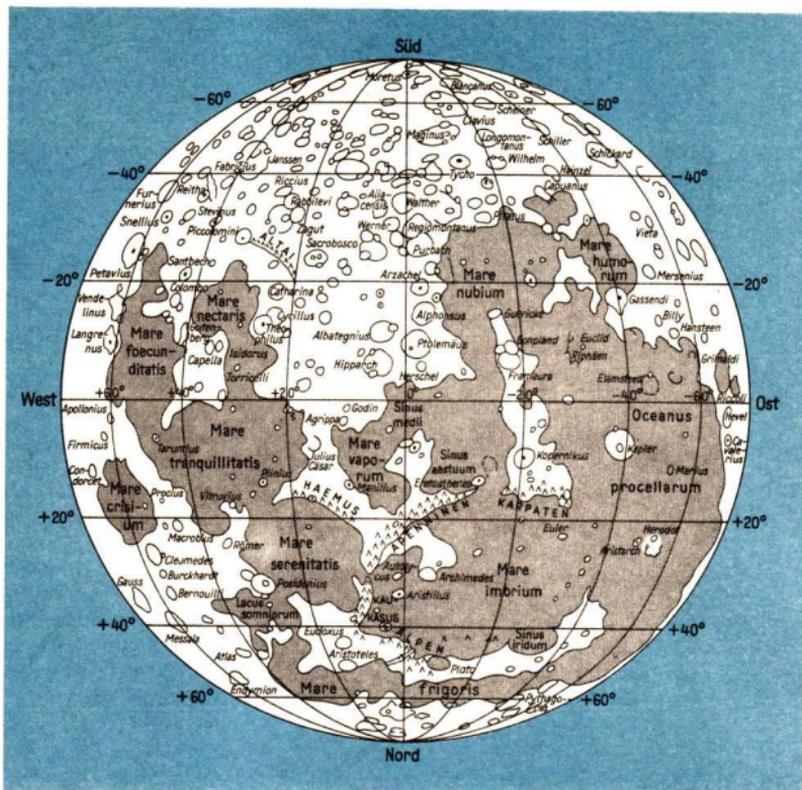


Bild 34/1 Oberflächenformationen der uns zugewandten Seite des Mondes

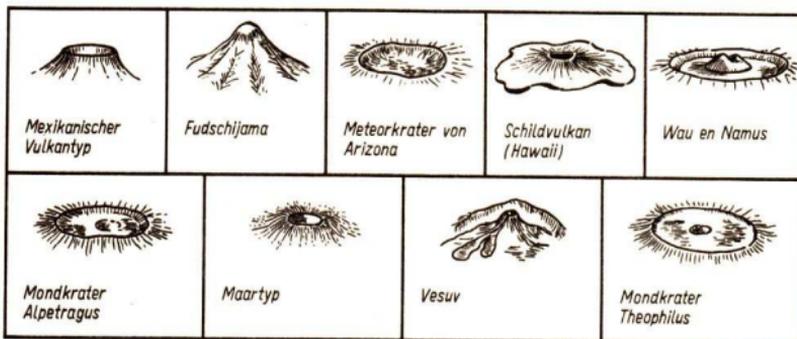


Bild 34/2 Vergleich von Oberflächenformen des Mondes und der Erde

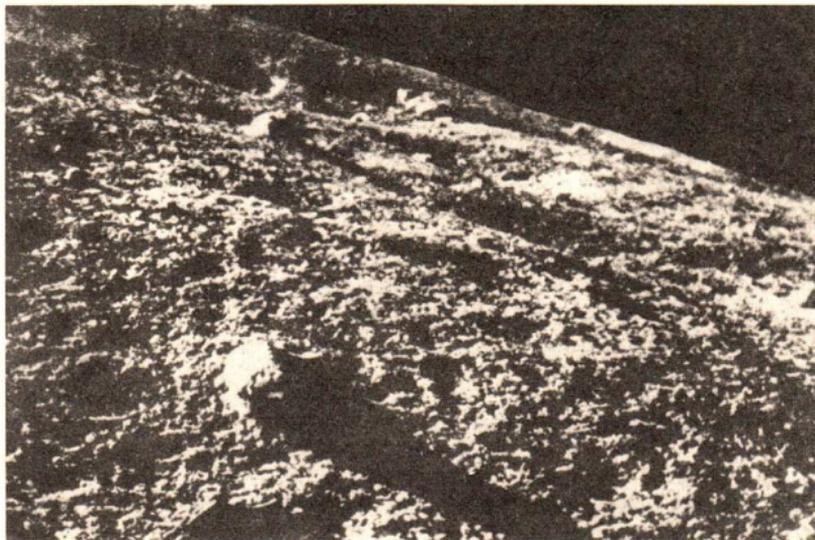


Bild 35/1 Nahaufnahme von der Mondoberfläche durch Luna 9. Unten im Bild ein Felsbrocken von nur 15 cm Größe, der von links durch die Sonne beleuchtet wird.

Auf der Mondoberfläche gibt es eine große Anzahl *Rillen*. Es sind schmale (Breite ≤ 2 km), bis zu mehreren hundert Kilometern lange spaltenartige Vertiefungen. Sie haben Knicke und Verzweigungen. Von einigen Ringgebirgen verlaufen radial über große Teile der Mondoberfläche *Strahlen*, die weder Erhebungen noch Vertiefungen sind. Ihre Natur ist noch unbekannt.

Die Mondoberfläche besteht aus Ebenen („Meere“), Kratern, Ringgebirgen, Wallebenen und Rillen.

Früher vermutete man, die Mondoberfläche sei von einer Staubschicht bedeckt (als Folge zerstörender Einwirkungen großer Temperaturschwankungen und vieler Einschläge kleiner Meteoriten). Neuere Untersuchungen führten zu genaueren Kenntnissen über die Beschaffenheit der Mondoberfläche. Der Mondboden hat eine körnige Struktur und ist mit Steinen unterschiedlicher Größe übersät. Das Material ist dunkel. Seine chemische Zusammensetzung hat große Ähnlichkeit mit irdischem Basalt.

Auf Grund der verschiedenen Massen von Erde und Mond unterscheiden sich die physikalischen Bedingungen beider Himmelskörper wesentlich voneinander.

Der Mond besitzt keine nachweisbare Atmosphäre.

Deshalb gibt es auf dem Erdmond keinen Schall, kein Streulicht und keine Witterungserscheinungen. Auch Wasser ist auf seiner Oberfläche nicht vorhanden. Es herrschen extreme Temperaturunterschiede zwischen der Tag- und der Nachtseite des Mondes.

Am Mondboden steigt die Temperatur auf der Tagseite auf $+ 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ an und sinkt auf der Nachtseite bis $- 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ab.

Beurteilen Sie auf Grund der physikalischen Bedingungen die Lebensmöglichkeiten auf dem Mond!

Die Entwicklung unserer Kenntnisse über den Mond

Der Mond als auffällige Erscheinung am Sternhimmel stand schon immer im Blickpunkt der Beobachtungen. Seine Bewegungen, sein Phasenwechsel und die Finsternisse wurden bereits von den urzeitlichen Menschen beobachtet. Weil auf der damaligen Stufe der gesellschaftlichen Entwicklung die Ursachen dieser Naturerscheinungen nicht zu erklären waren, glaubte man an das Wirken übernatürlicher Kräfte. Die Menschen besaßen noch keine Kenntnisse von der physikalischen Beschaffenheit des Mondes.

Die wissenschaftliche Erforschung der Oberfläche des Mondes begann mit Galileo Galilei (1564 bis 1642), der im Jahre 1609 erstmalig mit seinem Fernrohr die Mondoberfläche beobachtete und zahlreiche Einzelheiten wie Ebenen, Krater und Ringgebirge erkannte. Er versuchte mit Hilfe der Schattenlänge, die Höhe der Berge zu bestimmen.

In der Folgezeit wurden mit immer besseren optischen Instrumenten und später mit Hilfe der Photographie die Kenntnisse über die Beschaffenheit der Mondoberfläche erweitert und vertieft. Photographische Aufnahmen, die mit großen Teleskopen gewonnen werden, zeigen auf dem Mond Objekte, deren Ausdehnung weniger als 100 m beträgt.

1946 konnte die *Mondentfernung* erstmalig mit dem Radioecho bestimmt werden. Die dabei gefundene Entfernung des Mondes entspricht dem durch andere Beobachtungen gewonnenen Wert. Mit Beginn der *Raumfahrt* wurde der Mond als benachbarter Himmelskörper der Erde Gegenstand direkter Untersuchungen. Bei der Erforschung des Mondes mittels Raumsonden hat die UdSSR hervorragenden Anteil (↗ Aufgabe 18). Die planmäßige Verwirklichung eines Programms zur wissenschaftlichen Erforschung des erdnahen Raumes und der nächsten Himmelskörper ermöglichte ihr zahlreiche Ersterfolge.

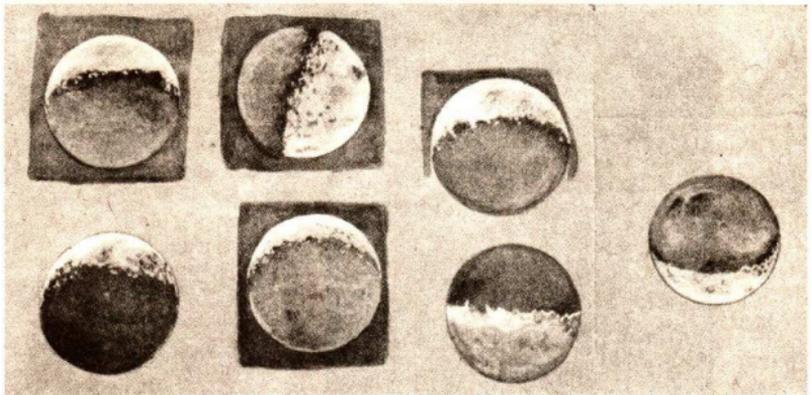


Bild 37/1 Zeichnungen Galileis vom Mond

Tabelle 1: Ersterfolge sowjetischer Raumsonden bei der Erforschung des Erdmondes

Raumflug- gerät	Starttermin	Hauptaufgaben
Luna 2	12. 09. 1959	Aufschlag eines von Menschenhand geschaffenen Körpers auf der Mondoberfläche
Luna 3	4. 10. 1959	Vorbeiflug an Rückseite des Mondes, Anfertigung von photographischen Aufnahmen
Luna 9	31. 01. 1966	Erste weiche Landung auf dem Mond, erste Fernsehaufnahmen des unmittelbaren Mondbodens
Luna 10	31. 03. 1966	Erster künstlicher Mondsatellit
Sonde 5	15. 09. 1968	Erste Rückkehr von einem Umlauf um den Mond mit an Bord befindlichen Lebewesen

1959 gelang es mit Hilfe der sowjetischen Raumsonde Luna 3 zum ersten Male, die für einen Erdbeobachter unsichtbare Seite des Mondes zu photographieren und die Bilder zur Erde zu übermitteln (Bild 38/1). Weitere ausgezeichnete Bilder wurden u. a. von der sowjetischen Sonde 3 gewonnen. Die Auswertung der Bilder ergab, daß die uns abgewandte Seite des Mondes sehr gebirgig ist und weniger Ebenen besitzt. Das Bild 38/2 zeigt die Bahn der sowjetischen Sonde 5.

1966 landete die sowjetische Raumsonde Luna 9 weich auf der Mondoberfläche. Die Meßergebnisse dieser und anderer automatischer Sta-

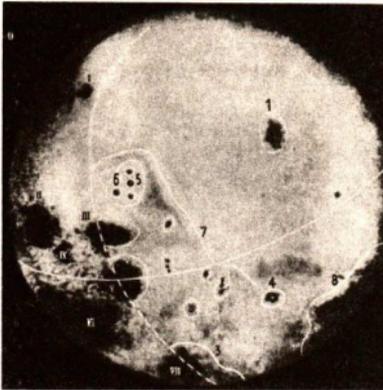


Bild 38/1 Photographische Aufnahme der uns abgewandten Seite des Mondes durch Sonde 3

1. Moskauer Meer
2. Astronautenbucht
3. Südliches Meer
4. Krater „Ziolkowski“
5. Krater „Lomonossow“
6. Krater „Joliot-Curie“
7. Sowjet-Gebirge
8. Meer der Träume

tionen vervollständigten unser Wissen über die Feinstruktur der oberen Schichten des Mondbodens.

1969 betraten erstmalig zwei Astronauten, Armstrong und Aldrin (USA), die Mondoberfläche, stellten wissenschaftliche Geräte auf und brachten Gesteinsproben vom Mond zur Erde.

Der Werdegang der modernen Mondforschung läßt erkennen, daß an der planmäßigen Erforschung des benachbarten Himmelskörpers die

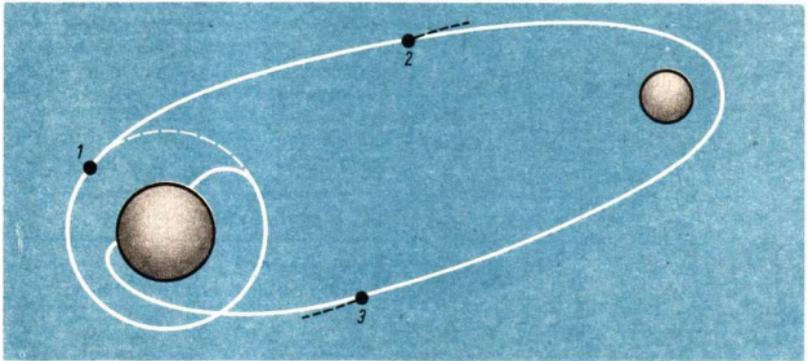


Bild 38/2 Skizze zum Flug der sowjetischen Sonde 5

Mit der sowjetischen Sonde 5 wurde das Umfliegen des Mondes mit Ausnutzung seines Schwerfeldes und die Rückkehr zur Erde erfolgreich erprobt. Die Sonde wurde erst auf eine nahezu kreisförmige Bahn um die Erde (Parkbahn) gebracht. Durch Zünden einer Antriebsrakete in Punkt 1 ging die Sonde auf die Bahn zum Mond über. Im Punkt 2 wurde eine Bahnkorrektur durchgeführt. Nach dem Umfliegen des Mondes erfolgte im Punkt 3 der Übergang auf die Abstiegsbahn zur Landung. Gestrichelte Linien deuten an, wie die Bahn jeweils ohne Zünden des Triebwerks nach den Gesetzen der Planetenbewegung weiter verlaufen wäre.

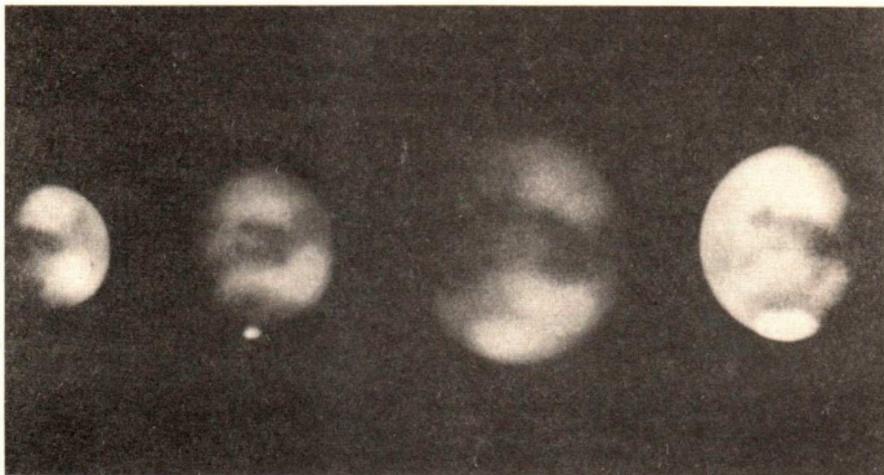
Sowjetunion führenden Anteil hat. Zukünftige wissenschaftliche Stationen auf dem Mond und weitere bemannte Mondlandungen werden dazu beitragen, unser Wissen über den Erdmond zu ergänzen und zu vertiefen. Diese kühnen Unternehmen lassen auch die Verantwortung der Raumfahrtnationen für die ausschließlich friedliche Nutzung des Mondes sichtbar werden. Die Sowjetunion ringt mit Erfolg um den Abschluß entsprechender internationaler Verträge.

Zusammenfassung. Der Mond hat nahezu Kugelform mit einem mittleren Halbmesser von $1,738 \cdot 10^6$ m. Die Oberflächenformen des Mondes weichen von denen der Erde erheblich ab. Wegen seiner geringen Masse konnten weder Wasser noch Gas für längere Zeit an seiner Oberfläche existieren. Seine Rotation ist an den Umlauf um die Erde gebunden.

Der Mond umläuft den gemeinsamen Schwerpunkt des Systems Erde–Mond (dieser Punkt liegt im Erdinneren). Je nach Bezugspunkt unterscheidet man verschiedene Umlaufzeiten. Die wichtigsten sind die siderische und die synodische Umlaufzeit. Die Arten der Sonnen- und Mondfinsternisse werden durch die Exzentrizität der Erd- und der Mondbahn sowie durch die Neigung zwischen beiden Bahnebenen und die unterschiedliche Lage der Beobachtungsorte auf der Erde bedingt.

Ständig verbesserte Beobachtungsinstrumente, der Einsatz astronomischer Hilfsmittel und der Werdegang der Raumfahrt erweitern und vertiefen unsere Kenntnisse über die Natur des Erdmondes. Die Geschichte der Mondforschung spiegelt den Zusammenhang zwischen der Entwicklung der Technik und der wissenschaftlichen Erkenntnis wider.

Fragen, Aufträge
Seite 107, Nr. 14 bis 18



Das Erkennen der wahren Bewegungen der Planeten gehört zu den großen wissenschaftlichen Leistungen zu Beginn der Neuzeit. Die Erforschung der Planeten (das Bild zeigt Aufnahmen des Mars mit gleichbleibender Vergrößerung) und der Kleinkörper im Bereich des Planetensystems erreicht in der Gegenwart eine neue Stufe durch die Möglichkeit einer Nahuntersuchung mit Hilfe von Raumsonden.

Die Planetenbewegungen und das Planetensystem

Seit Jahrtausenden wurde beobachtet, daß die Sterne ihre gegenseitigen Stellungen beibehalten und nur wenige helle Objekte sich relativ zu den Sternen bewegen. Wegen ihrer Bewegung wurden diese Objekte *Planeten* genannt. Das bedeutet *Wandelsterne*. Planeten sind z. B. die Venus, die als heller Abend- oder Morgenstern bekannt ist, und der rote Mars (Bild 40/1). Am Beispiel des Mars sollen Merkmale der scheinbaren *Planetenbewegungen* erläutert werden: Nach einer Periode der Unsichtbarkeit bewegt sich Mars längere Zeit so, daß seine Rektaszension dauernd zunimmt (Bild 41/1). Diese Bewegung wird *rechtläufig* genannt. Bevor Mars die Gegenstellung zur Sonne erreicht, bei der er um Mitternacht kulminiert, kommt diese Bewegung zum Stillstand. Danach nimmt die Rektaszension eine Zeitlang ab, die Bewegung wird *rückläufig*. Nach einem erneuten Stillstand nimmt Mars die rechtläufige Bewegung wieder auf und behält sie bei.

Stellen Sie fest (Bild 41/1), welche Teile der Bahn a) rechtläufig, b) rückläufig durchlaufen werden!
 Beschreiben Sie nach den Abständen zwischen benachbarten Punkten die Abnahme und Zunahme der Geschwindigkeit in der sichtbaren Bahn!

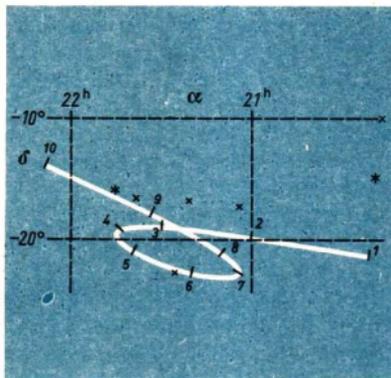


Bild 41/1 Bahn des Mars vom 6. Mai bis 5. November 1971. Die Stellung des Mars ist in Abständen von je 20 Tagen markiert.

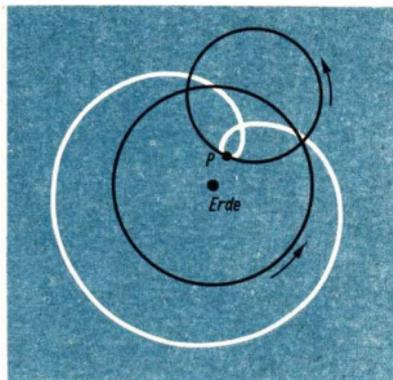


Bild 41/2 Erklärung der Planetenbewegungen mit Epizykel

Das geozentrische Weltssystem

Im Altertum und im Mittelalter wurde allgemein die *Erde als ruhender Mittelpunkt* angenommen (geozentrisches Weltssystem). Man glaubte, die Planeten, zu denen auch Sonne und Mond gerechnet wurden, könnten sich nur auf Kreisbahnen bewegen, und zwar *mit gleichförmiger Geschwindigkeit*. Die von der Erde aus beobachtete ungleichförmige Geschwindigkeit der Planeten ließ sich dadurch erklären, daß der Mittelpunkt des Kreises, der den Planeten trug, nicht in den Erdmittelpunkt gelegt wurde. Um auch die Rückläufigkeit zu erklären, mußten zwei gleichförmige Kreisbewegungen überlagert werden (Bild 41/2). Den Planeten P nahm man auf dem kleinen Kreis, dem *Epizykel* (wörtlich: Aufkreis), befestigt an.

Diese Erklärung der Planetenbewegungen, die im 2. Jahrhundert von dem griechischen Astronomen Ptolemäus in einem Lehrbuch ausführlich dargestellt wurde, genügte zunächst. Als später größere Unterschiede zwischen Beobachtungen und Vorusberechnungen auftraten, wurden auf den Umfang des Epizykels weitere Epizyklen gesetzt, deren letzter den Planeten trug. Für alle Planeten zusammen wurde das System von Kreisen sehr kompliziert. Die Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung blieb aber dennoch mangelhaft.

Das heliozentrische Weltsystem

Der polnische Gelehrte Nikolaus Kopernikus (1473 bis 1543), der nach vielseitiger Ausbildung eine leitende Stellung in der kirchlichen Verwaltung einnahm, kam zu der Einsicht, daß die Grundannahmen über die Planetenbewegungen falsch sein mußten. Als Student hatte er gründliche astronomische Kenntnisse erworben und aus Andeutungen in alten Schriften erfahren, daß im Altertum griechische Astronomen die Erde in einer Bahnbewegung um die Sonne angenommen hatten. Kopernikus stellte sich die Aufgabe, die Vorstellung, daß die Sonne als ruhender Mittelpunkt von der Erde und den Planeten umkreist wird (heliocentrisches Weltsystem), systematisch auszubauen und ihre Richtigkeit auf Grund von Beobachtungen rechnerisch zu beweisen. Er faßte die Ergebnisse seiner Untersuchungen in einem Buch zusammen. Das Manuskript verbesserte und ergänzte er viele Jahre lang. So erschien das Werk erst in seinem Todesjahr.

Kopernikus erklärte die scheinbaren täglichen Bewegungen der Sterne richtig als Folge einer Rotation der Erde. Er konnte mit dem heliocentrischen Weltsystem zeigen, daß in der scheinbaren Bewegung eines Planeten eine zeitweilige Rückläufigkeit auftreten muß, wenn Erde und Planet ihre wahren Bahnen um die Sonne mit unterschiedlicher Winkelgeschwindigkeit durchlaufen.

Zum Vergleich: Wenn zwei Züge in gleicher Richtung, aber mit unterschiedlicher Geschwindigkeit nebeneinander fahren, hat ein im schnelleren Zug Sitzender den Eindruck, der andere Zug würde in entgegengesetzter Richtung fahren.

Bild 42/1 läßt erkennen, daß Mars eine scheinbare Hin- und Herbewegung zeigt, wenn er von der Erde überholt wird.

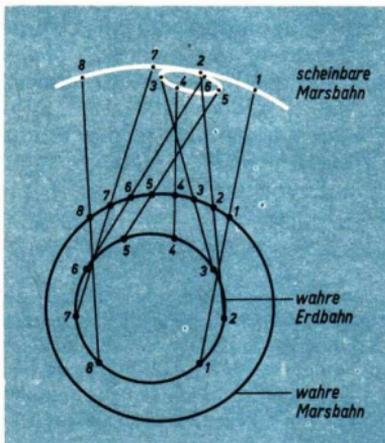


Bild 42/1 Heliozentrische (wahre) Bahnen von Erde und Mars und geozentrische (scheinbare) Bahn des Mars

Die Schleifenbewegung ergibt sich dadurch, daß die Bahnen von Erde und Mars nicht in der gleichen Ebene liegen, sondern gegeneinander geneigt sind.

Die Kirche hatte das geozentrische System des Ptolemäus als richtig anerkannt, weil es nicht im Widerspruch zu kirchlichen Lehren stand. Das Werk des Kopernikus war ein erster Schritt zur Naturforschung ohne Bindung an eine Religion. Friedrich Engels führt dazu aus: „Was auf religiösem Gebiet die Bullenverbrennung Luthers war, war auf naturwissenschaftlichem des Kopernikus großes Werk, worin er, schüchtern zwar, nach 36jährigem Zögern und sozusagen auf dem Totenbett, dem kirchlichen Aberglauben den Fehdehandschuh hinwarf. Von da an war die Naturforschung von der Religion wesentlich emanzipiert, obwohl die vollständige Auseinandersetzung aller Details sich noch bis heute hingezogen und in manchen Köpfen noch lange nicht fertig ist. Aber von da an ging auch die Entwicklung der Wissenschaft mit Riesenschritten...“¹

Ein ehemaliger Mönch, Giordano Bruno (1548 bis 1600), nahm das neue Weltbild begeistert auf, erweiterte es durch kühne Spekulationen und machte es weiteren Kreisen bekannt. Bruno wurde von der Inquisition zum Tod auf dem Scheiterhaufen verurteilt.

Der bedeutende Physiker Galileo Galilei (1564 bis 1642) benutzte als erster ein *Fernrohr* zu Himmelsbeobachtungen. Er stellte fest, daß Jupiter von Monden umkreist wird und daß Venus Lichtphasen zeigt wie der Mond. Das überzeugte ihn so vollständig von der Richtigkeit der kopernikanischen Lehre, daß er in Wort und Schrift für ihre Anerkennung eintrat.

Im Jahre 1616 wurde von der katholischen Kirche das Buch des Kopernikus auf die Liste der verbotenen Bücher gesetzt. Ein 1632 erschienenes Werk Galileis „Über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme“ gab den letzten Anstoß zu einem Inquisitionsprozeß. Galilei wurde gezwungen, knieend in einem öffentlich geleisteten Schwur zu erklären, die „Lehre, daß die Sonne sich unbeweglich im Weltmittelpunkt befindet, die Erde dagegen sich außerhalb des Weltzentrums bewege“, sei falsch und ketzerisch. Galilei blieb bis an sein Lebensende unter kirchlicher Aufsicht, er beschäftigte sich nur noch mit rein physikalischen Fragen.

Mit den Inquisitionsprozessen konnte die Kirche die weitere Verbreitung des heliozentrischen Weltsystems nicht verhindern. Zur entscheidenden Durchsetzung mußte es aber noch verbessert werden. Kopernikus hatte sich von der Vorstellung der ruhenden Erde frei gemacht, aber er hatte das alte Vorurteil, daß nur Kreisbewegungen in Frage kämen, beibehalten. Deshalb brauchte er noch Epizykeln und erzielte keine vollkommene Übereinstimmung von Theorie und Beobachtung.

Der dänische Astronom Tycho Brahe (1546 bis 1601) hatte noch vor der Erfindung des Fernrohrs die Genauigkeit astronomischer Messungen erheblich gesteigert.

Johannes Kepler (1571 bis 1630) hat mit großem mathematischem Können aus von Brahe hinterlassenen Beobachtungen die Gesetze der Planetenbewegungen gefunden. Dabei überwand er das Vorurteil, daß nur Kreisbewegungen auftreten könnten. Das heliozentrische Welt-

¹ F. Engels: Dialektik der Natur. Dietz Verlag, Berlin 1961, Seite 206.

system wurde klar und übersichtlich, die Vorausberechnungen erreichten die von der Praxis geforderte Genauigkeit.

Als schließlich Isaac Newton (1643 bis 1727) mit dem von ihm gefundenen Gravitationsgesetz die physikalische Begründung für die Bahnbewegungen geben konnte, war das Problem der Planetenbewegungen geklärt.

Die Keplerschen Gesetze der Planetenbewegungen sind:

1. Die Planetenbahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.
2. Der Leitstrahl Sonne–Planet überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen (Bild 44/1).

Ein Planet bewegt sich in Sonnennähe schneller als in Sonnenferne.

3. Für beliebige zwei Planeten gilt: Die dritten Potenzen der großen Halbachsen a der Bahnen verhalten sich wie die Quadrate der Umlaufzeiten t_u .

Ein innerer Planet bewegt sich schneller als ein äußerer.

$$a_1^3 : a_2^3 = t_1^2 : t_2^2$$

(↗ Aufgaben 19 bis 21)

Das Newtonsche Gravitationsgesetz (↗ Physik in Übersichten): Zwei Körper ziehen einander an mit einer Kraft, die proportional ihrer Masse ist und umgekehrt proportional dem Quadrat ihrer Entfernung.

Die gegenseitige Anziehung der beiden Körper wirkt also stärker bei größeren Massen und bei kleineren Abständen.

$$F = k \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

(k = Gravitationskonstante; ↗ Tabelle 1)

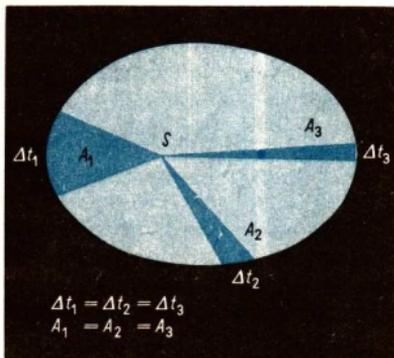


Bild 44/1 Zum 2. Keplerschen Gesetz

Aufbau und Größe des Planetensystems

Die *Namen der* zur Zeit bekannten *Planeten*, geordnet nach wachsendem Abstand von der Sonne, sind Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun und Pluto. Ihre mittleren Bahnradien a , ausgedrückt in Einheiten der mittleren Entfernung Erde–Sonne, lassen sich nach dem 3. Keplerschen Gesetz aus den Umlaufzeiten t_u berechnen.

Die mittlere Entfernung Erde–Sonne wird als astronomische Einheit bezeichnet. $1 \text{ AE} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$ (↗ Seite 17).

Zahlenangaben über die mittleren Entfernungen der Planeten von der Sonne: ↗ Tabelle 5.

Von den Zahlen der Tabelle kommt man auf eine anschauliche, gerade noch in einem Klassenzimmer mögliche Aufzeichnung der Entfernungen durch Verkleinerung mit dem Faktor 10^{-12} . Dazu genügen abgerundete Werte von a aus Tabelle 5. Die Sonne hat in diesem Modell einen Durchmesser von 1,4 mm, während die Planeten nur als Punkte gezeichnet werden können.

Der gegenwärtige Zustand der Planeten ist eine Phase in einem langen *Entwicklungsprozeß*, der auch weiter abläuft. Aus geologischen Untersuchungen ist bekannt, daß im Laufe der Erdgeschichte die Verteilung der Ozeane und Kontinente sich erheblich geändert hat, daß große Gebirge entstanden sind und durch Erosion mindestens teilweise wieder abgetragen wurden.

* Die Frage nach der Entstehung des Planetensystems ist schwer zu beantworten, sie ist aber unserer Erkenntnis nicht verschlossen, weil alle Entwicklungsvorgänge im Weltall nach Gesetzen ohne übernatürliche Eingriffe ablaufen. Es läßt sich schon ziemlich sicher sagen, daß die Entstehung der Planeten eng mit der Entstehung der Sonne verbunden ist. *

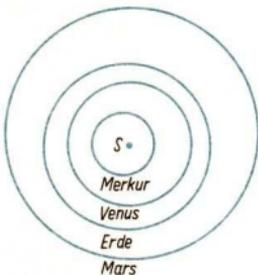


Bild 45/1 Heliozentrische Bahnen der Planeten Merkur bis Mars.

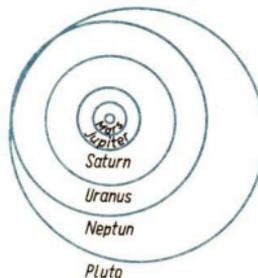


Bild 45/2 Heliozentrische Bahnen der Planeten Saturn bis Pluto

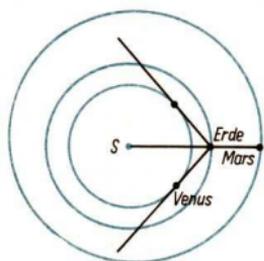


Bild 45/3 Zur Sichtbarkeit der Planeten Venus und Mars

Eine Hauptbedingung für gute Sichtbarkeit eines Planeten ist großer Winkelabstand von der Sonne (Bild 45/3).

- *Überlegen Sie, warum diese Bedingung wichtig ist!*

Venus erreicht nur einen größten östlichen oder westlichen Abstand von der Sonne bis zu 48° .

- *Überlegen Sie, ob die Venus bei östlichem Abstand von der Sonne am Abend- oder am Morgenhimmel zu sehen ist! Beachten Sie, daß dabei Venus links von der Sonne steht!*

Die Lichtphasen der Venus sind schon mit einem kleinen Fernrohr zu erkennen. (Bild 47/1).

Zur Physik der Planeten

Im Altertum war das einzige Merkmal eines Planeten seine *Bewegung* relativ zu den Sternen, deshalb wurden Sonne und Mond mit zu den Planeten gerechnet. Jetzt können wir – ausgehend von Beobachtungen im Sonnensystem – ganz allgemein erklären:

Ein Planet ist ein kugelähnlicher Himmelskörper, der einen Stern umläuft und dessen Licht reflektiert.

Aus Messungen und Rechnungen ergeben sich Zahlenwerte zur Charakterisierung der einzelnen Planeten, von denen die wichtigsten in Tabelle 6 zusammengestellt sind. Für den erst 1930 gefundenen Pluto sind die Zahlenwerte noch unsicher. (↗ Aufgabe 22)

In Tabelle 6 sind auch die Abplattung und die Rotationsperiode angegeben. Beachten Sie, daß die Rotationsgeschwindigkeit bei kleinerer Rotationsperiode größer ist! (↗ Aufgabe 23)

Planetenatmosphären. Aus dem Physikunterricht ist bekannt, daß die Teilchen eines Gases sich um so schneller bewegen, je höher die Temperatur des Gases ist. Aus den äußersten Schichten der Atmosphäre entweichen Gasteilchen in den Weltraum. Dieser ständige Gasverlust wird stärker wirksam mit kleinerer Masse, also kleinerer *Gravitationskraft* des Planeten. Die Marsatmosphäre hat eine viel geringere Dichte als die Erdatmosphäre. Bei Merkur hat die hohe *Temperatur* (Mittelwert noch etwa 80°C) durch aufgenommene Strahlungsenergie der Sonne den Gasverlust verstärkt, er besitzt nur noch Reste einer Atmosphäre. Bei Venus hat zwar die Oberfläche auch eine hohe Temperatur (etwa

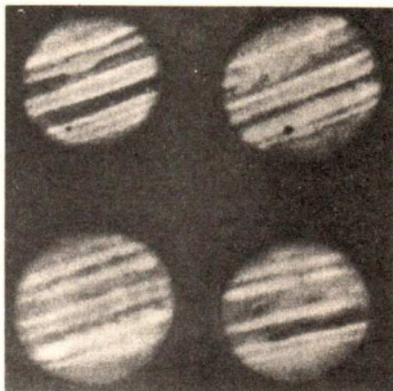
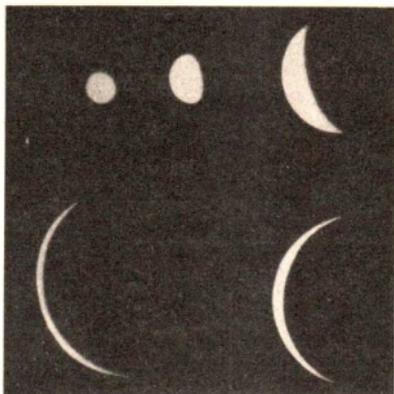


Bild 47/1 Aufnahmen der Venus mit gleichbleibender Vergrößerung Bild 47/2 Jupiteraufnahmen

400 °C), aber die Atmosphäre ist so dicht, daß sie noch lange erhalten bleiben wird. Die jupiterähnlichen Planeten sind von ausgedehnten, undurchsichtigen Atmosphären umgeben.

Weiteres über die Planeten. Die Entwicklung der Raumfahrt erlaubt eine sehr wichtige Ergänzung der Planetenforschung, weil *Nahuntersuchungen* von Planeten durch unbemannte, mit Meßinstrumenten und Sendern ausgestattete Raumsonden durchführbar geworden sind. Die Atmosphäre der Venus ist durch Wolken bis in große Höhen undurchsichtig. Meßsonden konnten während des Niedergleitens mit Fallschirm Angaben über die chemische und physikalische Beschaffenheit der Venusatmosphäre zur Erde übermitteln. Die wichtigsten Besonderheiten sind der hohe Anteil von CO₂ und die hohen Werte des Drucks und der Temperatur an der Oberfläche der Venus. Von der Marsoberfläche konnten Raumsonden Nahaufnahmen liefern, weil die Atmosphäre weitgehend durchsichtig ist. Diese Aufnahmen zeigen viele Ringgebirge, die denen auf der Mondoerfläche sehr ähnlich sind (Bild 48/1).

* Während die Erde von nur einem Mond begleitet wird, besitzen die meisten Planeten mehrere Monde. Bei Jupiter sind 12 Monde gefunden worden, von denen 4 schon mit kleinen Fernrohren beobachtet werden können. Saturn bietet im Fernrohr einen besonders schönen Anblick, weil er von vielen kleinen festen Körpern umkreist wird, die in ihrer Gesamtheit ein System von dünnen Ringen um den Planeten bilden (Bild 11/1). *

Die *Existenz von Lebensformen*, wie wir sie auf der Erde kennen, erscheint nur dann möglich, wenn die Temperaturen in einem für Organismen erträglichen Bereich liegen, wenn eine Atmosphäre mit geeig-



Bild 48/1 Nahaufnahme eines Teils der Marsoberfläche

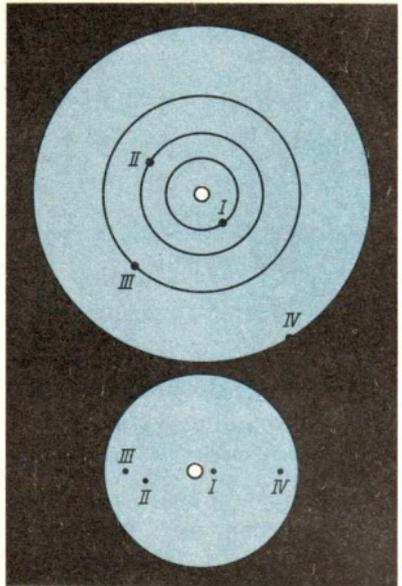


Bild 48/2 Jupiter mit 4 Monden

neter chemischer Zusammensetzung und mindestens kleine Mengen von Wasser vorhanden sind. Mit diesen Einschränkungen sind im Bereich des Sonnensystems die Bedingungen für primitive Formen dieses Lebens höchstens auf der Marsoberfläche gegeben.

Natürliche Kleinkörper im Planetensystem

Im Bereich des Planetensystems und seiner Umgebung gibt es außer den Planeten und ihren Monden viele kleinere Körper: *Planetoiden*, *Kometen*, *Meteoriten*, *Staub* und *Gas*.

Ein Planetoid ist ein kleiner Planet mit Durchmesser meist unter 100 km.

* Die größten Planetoiden (Bild 49/1) sind annähernd kugelförmig, die kleineren kann man als große Felsblöcke von unregelmäßiger Gestalt beschreiben. Die Anzahl der Planetoiden, die in günstiger Stellung mit großen Fernrohren photographiert werden können, ist auf 44 000 geschätzt worden. Die Bahnen der meisten Planetoiden liegen zwischen der Marsbahn und der Jupiterbahn.

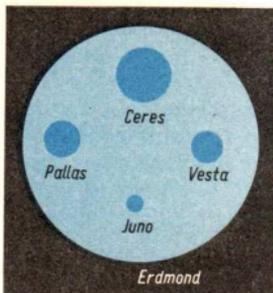


Bild 49/1 Größenvergleich Erdmond – größte Planetoiden

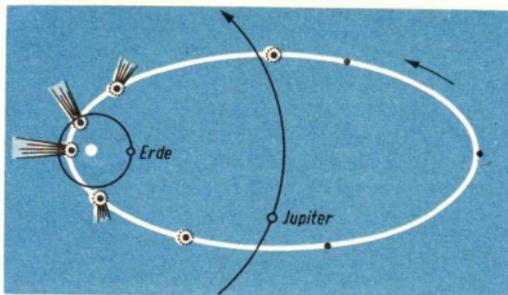


Bild 49/2 Bahnverlauf eines Kometen

Ein Komet ist ein in allmählicher Auflösung begriffener Himmelskörper mit meist sehr exzentrischer Bahn (Bild 49/2), der in Sonnennähe eine Gashölle und einen Schweif entwickelt.

Die Kometen (Bilder 49/3 und 49/4) besitzen einen kleinen *Kern*, der aus festen Teilen und Gasen in gefrorenem Zustand, also Eis, besteht. Nähert sich der Komet in seiner Bahn der Sonne auf weniger als 5 bis



Bild 49/3 Aufnahme eines Kometen

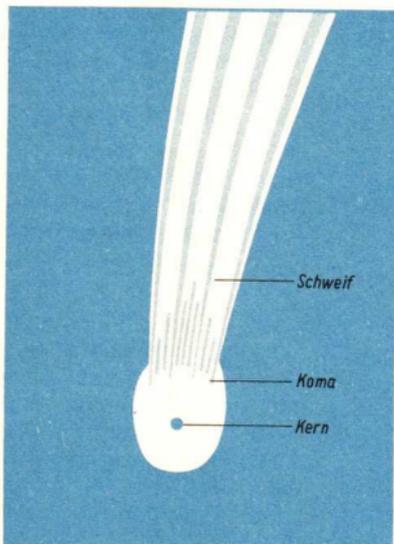


Bild 49/4 Schematischer Aufbau eines Kometen

6 AE, so erwärmt die Sonnenstrahlung die äußeren Schichten des Kerns. Die dabei ausgetriebenen Gase bilden eine Gaswolke um den Kern, die als Koma bezeichnet wird. Im Vergleich mit einer Planetenatmosphäre ist die Koma eines Kometen sehr groß, da sie durch die geringe Gravitation des Kerns nur wenig zusammengehalten wird. Die Gasdichte beträgt deshalb nur etwa 10^{-4} der Dichte eines Hochvakuums im Laboratorium. Erst in etwa 1,5 bis 2 AE Abstand von der Sonne entwickelt sich der Schweif, der gewöhnlich als eigentliches Merkmal eines Kometen angesehen wird.

Die Schweifbildung erfolgt durch einen Druck der von der Sonne ausgehenden Strahlung auf die Teilchen der Koma. Die Schweife sind deshalb von der Sonne abgewandt. Die Moleküle des Gases in Koma und Schweif werden durch die Sonnenstrahlung zu eigenem Leuchten angeregt, die aus dem Kern mitgerissenen festen Teilchen reflektieren das Sonnenlicht.

Die meisten Kometen haben stark exzentrische Bahnen. Ihre Umlaufzeiten, soweit sie bekannt sind, betragen viele Jahre und sogar Jahrhunderte. Die sonnenfernen Punkte solcher Bahnen liegen weit außerhalb aller Planetenbahnen. Manche Kometen haben aber ähnliche Bahnen wie Planetoiden. (↗ Aufgabe 24)

Die Anzahl der Kometen in einem kugelförmigen Raum um die Sonne mit dem Radius $1,5 \cdot 10^6$ AE ist auf etwa 10^{11} geschätzt worden.

Infolge des Druckes der von der Sonne ausgehenden Teilchenstrahlung verlieren die Kometen bei jedem Umlauf um die Sonne einen geringen Teil ihrer Masse an gasförmigen und festen Teilchen. Die Kometenkerne lösen sich deshalb allmählich auf. (↗ Aufgabe 24)

Meteorite sind aus dem Weltraum stammende und in die Erdatmosphäre eindringende Kleinkörper.

Nach Untersuchungen im Laboratorium bestehen Meteorite aus den gleichen chemischen Elementen, die auch auf der Erde vorkommen. Das ist ein wichtiger Beweis für die einheitliche stoffliche Beschaffenheit der Körper des Sonnensystems. Nach den Hauptbestandteilen unterscheidet man *Eisen-* und *Steinmeteorite*. Es gibt auch Übergänge zwischen diesen beiden Gruppen.

Wenn Meteorite mit großer Geschwindigkeit in die Erdatmosphäre eindringen, werden sie durch Zusammenstöße mit den Teilchen der Luft so erhitzt, daß sie aufleuchten. *Sternschnuppen* sind kurz aufleuchtende Mikrometeorite. Sie verdampfen schon in Höhen über 80 km. Die seltenen größeren Meteorite dringen tiefer in die Atmosphäre ein und

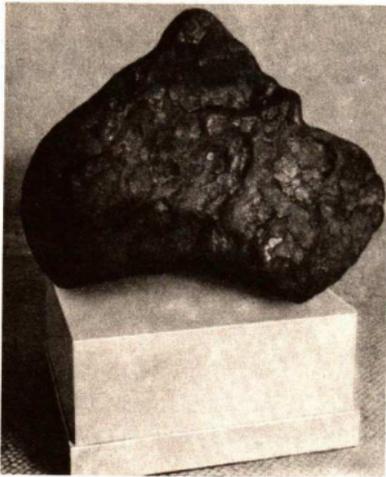


Bild 51/1 Meteorit

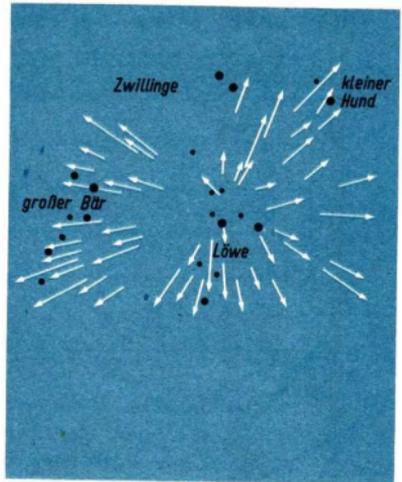


Bild 51/2 Radiant eines Meteorstroms

erscheinen als helle *Feuerkugeln*. Sternschnuppen und Feuerkugeln werden zusammen als *Meteor*e bezeichnet.

* Zu gewissen Zeiten sind viele Meteore zu beobachten, die von einem Punkt am Himmel, dem Radianten (Bild 51/2), auszustrahlen scheinen. Diese als Meteorstrom bezeichnete Erscheinung tritt auf, wenn die Erde bei ihrer Bahnbewegung eine Kometenbahn schneidet. Die Meteoriten eines solchen Stroms sind also Auflösungsprodukte eines Kometen. *

Der interplanetare Raum, das ist der Raum zwischen den Planeten, ist nicht völlig leer. Dort gibt es *Staubteilchen* in großen gegenseitigen Abständen und *Gaswolken* von sehr geringer Dichte. Das Gas geht als Teilchenstrahlung von der Sonne aus (Sonnenwind ↗ Seite 67). Es ist weitgehend ionisiert und führt schwache *Magnetfelder* mit sich. Raumsonden zu den Nachbarplaneten der Erde haben während ihres Fluges Messungen zur Erkundung der interplanetaren Gas- und Staubwolken und der Magnetfelder durchgeführt. Die Anzahl der Körper im Sonnensystem wächst mit abnehmender Größe stark an. Die Kleinkörper, einschließlich Staub und Gas, tragen trotzdem zur Gesamtmasse des Systems sehr wenig bei.

Das Sonnensystem enthält verschiedene Untersysteme und physikalische Felder, nämlich Gravitations-, Magnet- und Strahlungsfelder.

Tabelle 2: *Untersysteme des Sonnensystems*

Art des Untersystems	Ort im Sonnensystem (Abstände von der Sonne)
Planeten	0,4 bis 40 AE
Planetoiden	< 0,4 bis 9 AE, vorwiegend 2 bis 5 AE
Kometen	fast Photosphäre der Sonne bis über $1,5 \cdot 10^5$ AE
Staub und Gas	Korona der Sonne bis vielleicht über 40 AE

Künstliche Kleinkörper im Planetensystem

Der sowjetische Mathematiker Konstantin Ziolkowski (1857 bis 1935) schuf mit seinen Veröffentlichungen *wissenschaftliche Grundlagen* für die Raketentechnik und die Raumfahrt. Er wird deshalb mit Recht als „Vater der Raumfahrt“ bezeichnet (Bild 52/1).

Sowjetische Wissenschaftler und Ingenieure gingen an die Verwirklichung der Ideen Ziolkowskis. Mit dem am 4. 10. 1957 gestarteten Sputnik I (Bild 5/1) wurde *der entscheidende erste* Schritt von der Erde aus ins Weltall getan. Für die Astronomie ist dieser Schritt sehr wichtig, weil sie durch die Raumfahrt wenigstens teilweise in das Stadium der experimentellen Forschung übergehen konnte.

Schon im ersten Jahrzehnt der Raumfahrt war die Zahl der künstlichen Kleinkörper, die auf Umlaufbahnen um die Erde, auf Bahnen zum Erdmond und zu den Nachbarplaneten Venus und Mars gebracht wurden, sehr groß. In Tabelle 8 konnten nur Erstleistungen zusammengestellt werden.

- *Weisen Sie durch Auswerten der Tabelle 8 (↗ Seite 132) die führende Rolle der Sowjetunion in der Raumfahrt nach!*

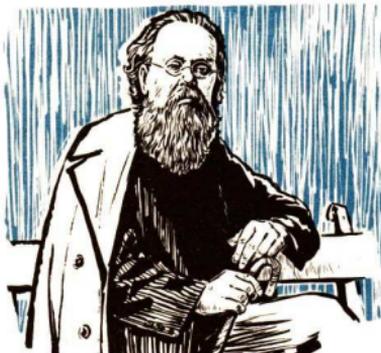


Bild 52/1 Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski

Überblick über einige wichtige Aufgaben der Astronautik

Am gründlichsten wird die *Erde mit ihrer näheren Umgebung* untersucht. Aus Änderungen der Satellitenbahnen durch Gravitationswirkung lassen sich die genaue Gestalt des Erdkörpers und die Masseverteilung im Erdinneren berechnen. Messungen der Infrarotstrahlung ergeben die Temperaturverteilung auf der Erdoberfläche. Im erdnahen Raum werden vor allem die Form und Stärke des Erdmagnetfelds und die Verteilung geladener Teilchen mit hoher Energie, die vom Erdmagnetfeld „eingefangen“ wurden, untersucht (↗ Bild 14/2).

Wertvoll für die Praxis sind SpeziaSatelliten für die *Nachrichtenübermittlung* (einschließlich Fernsehen) (Bild 53/1) über große Entfernungen und *Wettersatelliten*, die Wolkenfelder aufnehmen und die Bilder an Bodenstationen übermitteln. Ein großer Teil der Experimente dient der *Erprobung neuer technischer Systeme* aller Art. Die Bedeutung der Raumfahrt für den technischen Fortschritt ergibt sich daraus, daß viele Spezialentwicklungen für die Raumfahrt mit großem Nutzen auch auf der Erde eingesetzt werden können.

Der *astronomischen Forschung* dient die Messung der Strahlung von Himmelskörpern, z. B. der Sonne, in Wellenlängenbereichen, für die die Erdatmosphäre undurchlässig ist. Nahuntersuchungen des Mondes, der Venus und des Mars ergänzen die bodengebundenen Beobachtungen.

* Es ist damit zu rechnen, daß auch in Zukunft die meisten Untersuchungen mit Hilfe unbemannter Raumflugkörper durchgeführt werden. Als erster Himmelskörper wurde der Mond von Menschen erreicht. Bemannte Flüge nach dem Mars sind wohl noch in unserem Jahrhundert zu erwarten und in weiterer Zukunft vielleicht auch Flüge zu entfernteren Planeten (↗ Aufgabe 25) *

Die amerikanische Raumfahrt hat ebenfalls eine Reihe von Erfolgen erzielt, aber ihre Programme sind zum Teil weniger auf wissenschaftliche Ziele als auf Prestigeerfolge ausgerichtet, die von der Nichterfüll-

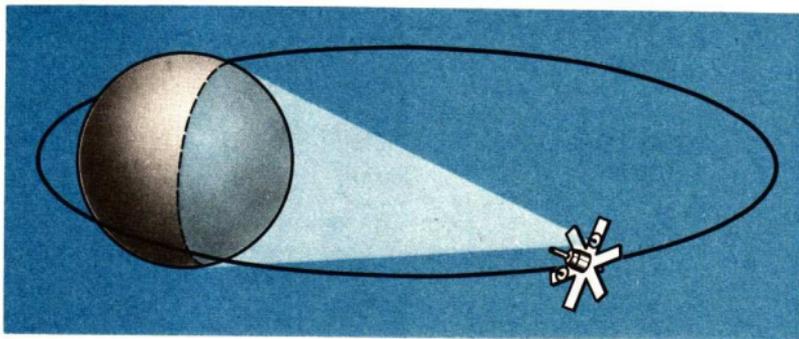


Bild 53/1 Bahn des Nachrichtensatelliten „Molnija 1“

lung politischer und gesellschaftlicher Aufgaben durch die Regierung der USA ablenken sollen. Außerdem dienen viele amerikanische Satelliten militärischen Zielen, vor allem der Spionage.

Die Sowjetunion ist bemüht, den friedlichen Charakter der Raumfahrt durch internationale Vereinbarungen zu sichern. Die in den Ländern der sozialistischen Staatengemeinschaft gepflegte wissenschaftliche, technische und ökonomische Zusammenarbeit erstreckt sich auch auf das Gebiet der Raumfahrt.

■ Ein Beispiel für die systematisch auf wissenschaftliche Ergebnisse ausgerichtete Raumfahrtplanung der Sowjetunion sind die Venussonden 4 bis 6. An Fallschirmen in der Venusatmosphäre niedergehende Meßsonden führten dabei gleichartige Messungen durch. Unterschiede in den Ergebnissen sind nicht als Meßfehler zu erklären. Vielmehr kann nur eine Reihe von Messungen eine genügende Auskunft über den physikalischen Zustand der Atmosphäre und der Oberfläche der Venus geben. Stellen Sie sich vor, in der Erdatmosphäre würden Meßsonden niedergehen, von denen eine in einem Ozean, eine andere in einer Wüste und eine dritte auf einem Hochgebirge landet! Sie würden sehr unterschiedliche Ergebnisse melden, die einzeln eine unvollkommene, in ihrer Gesamtheit aber eine annähernd richtige Vorstellung von der Beschaffenheit der Erdoberfläche ergäben.

Zusammenfassung. Die Erklärung der beobachteten scheinbaren Bewegungen der Planeten mit ihrer ungleichförmigen Geschwindigkeit und zeitweiligen Rückläufigkeit war eine schwierige Aufgabe. Im geozentrischen Weltsystem wurde die Erde als ruhender Mittelpunkt angenommen, um den sich alle Himmelskörper in einem komplizierten Mechanismus mit überlagerten Kreisbahnen bewegen. Im heliozentrischen System steht die Sonne im Mittelpunkt.

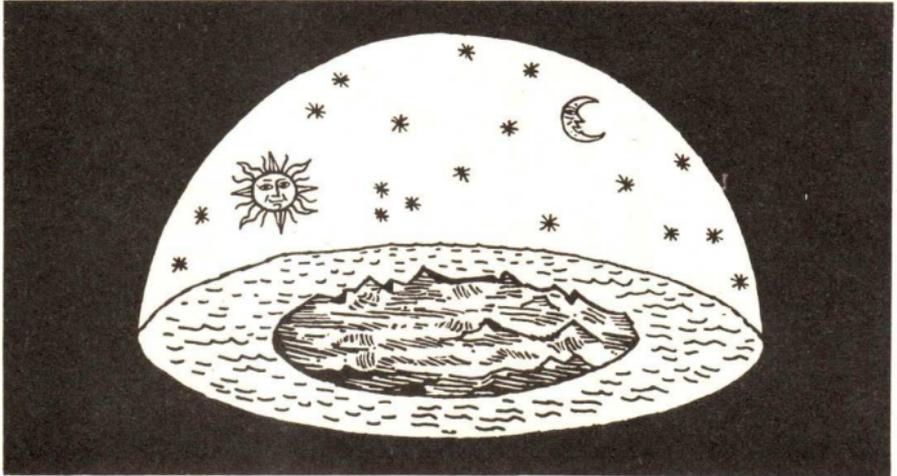
Für die Planeten sind außer der Größe und Lage der Bahnen auch physikalische Merkmale ermittelt worden, nach denen zwei Gruppen von Planeten zu unterscheiden sind: die erdähnlichen und die jupiterähnlichen. Die Astronautik erweitert unsere Kenntnisse durch Nahuntersuchungen.

Das Planetensystem enthält außer den Planeten und ihren Monden Untersysteme von zahlreichen Kleinkörpern: Planetoiden, Kometen, Meteorite, Staub und Gas.

Mit Hilfe von Raumflugkörpern werden vor allem die Erde mit ihrer näheren Umgebung, der Erdmond und die Nachbarplaneten der Erde untersucht. Praktische Bedeutung haben besonders die Wetter- und Nachrichtensatelliten. Die Sowjetunion hat bahnbrechende Leistungen auf dem Gebiet der Astronautik vollbracht und wichtige Vorarbeiten für weitere wissenschaftliche und praktische Erfolge der Raumfahrt durchgeführt.

Fragen, Aufträge Seite 107, Nr. 19 bis 25

VORSTELLUNGEN ÜBER DAS PLANETENSYSTEM



Die astronomische Forschung drang in einem langen Prozeß allmählich in das Wesen der an der Himmelskugel beobachteten Planetenbewegungen ein. Im altgriechischen Weltbild wurde die Erde als flache Scheibe betrachtet. Der wechselvolle geschichtliche Werdegang der Auffassungen über das Planetensystem lehrt, daß historisch überholte Klassen die wissenschaftliche Entwicklung hemmen, aber nicht aufhalten können.

Entwicklung der astronomischen Erkenntnis bis Kopernikus

Bereits vor 4 000 Jahren beschäftigten sich die alten Kulturvölker in Babylonien (Bild 56/1), Ägypten, Indien, China und in Mittelamerika mit der Astronomie. Ihre Ansichten über die Erde und das Weltall waren auf die unmittelbare Wahrnehmung, auf den Augenschein begründet. Auf dieser Stufe der gesellschaftlichen Entwicklung hatten die Menschen nur einen ganz geringen Einblick in die Zusammenhänge der Erscheinungen und Vorgänge am Sternhimmel. Sie kamen zu mystischen und abergläubischen Deutungen ihrer Himmelsbeobachtungen (→ Seite 7). Die Erde wurde als flache Scheibe im Mittelpunkt des Weltalls betrachtet, über die sich die Himmelskugel wölbt (Bild 55/1). Von Sonne, Mond und Planeten nahm man an, daß sie von Gottheiten gelenkt werden. Deshalb bekamen die Planeten Namen von Göttern des Altertums.

Der Lauf der Sonne regelte den genauen Ablauf aller Lebensvorgänge. Der Tag wurde die wichtigste Zeiteinheit. Durch langfristige und regel-

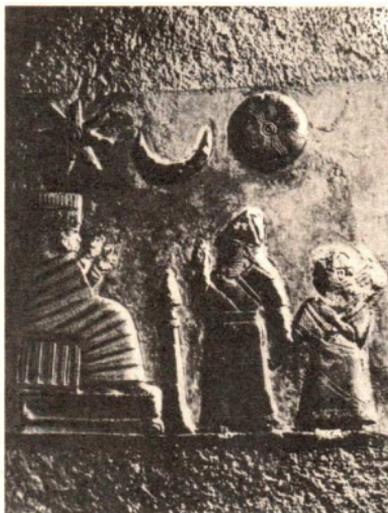


Bild 56/1 Sonne, Mond und Venus, die drei wichtigsten Gestirne im alten Babylon, über dem Thron der Göttin Nana, dargestellt als Steinzeichnung

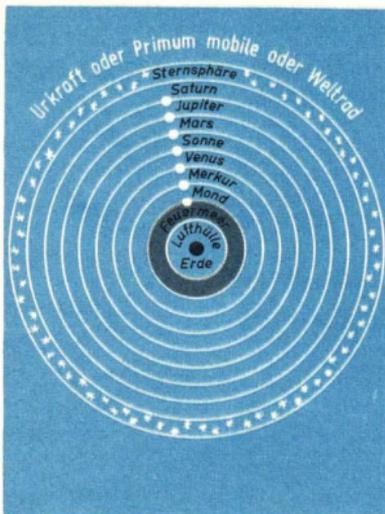


Bild 56/2 Geozentrisches Weltsystem des Ptolemäus

mäßige Sternbeobachtungen fand man den Zusammenhang zwischen Jahr und Tag. Es entstand der *Kalender* (↗ Seite 6).

Mit fortschreitender gesellschaftlicher Entwicklung, mit der Verbesserung der Landwirtschaft, mit dem Aufblühen des Handels und vor allem der Seefahrt gewann die Astronomie im antiken Griechenland an praktischer Bedeutung; die Kenntnisse wurden umfangreicher und genauer.

Der griechische Philosoph Pythagoras (6. Jh. v. u. Z.) vertrat die Ansicht, daß die Erde eine im Raum frei schwebende Kugel sei, die rundum bewohnt ist.

Aristoteles (3. Jh. v. u. Z.) bewies die Kugelgestalt der Erde durch die Beobachtung des kreisförmigen Erdschattens bei Mondfinsternissen und schätzte die Größe der Erdkugel.

Aristarch von Samos (3. Jh. v. u. Z.) lehrte die Rotation der Erde und vertrat die Überzeugung, daß die Sonne im Mittelpunkt des Weltsystems stehen müsse, umlaufen von der Erde und den Planeten. Er konnte aber seine dem Augenschein widersprechende Theorie nicht überzeugend beweisen.

Hipparch (um 150 v. u. Z.), der bedeutendste Astronom des Altertums, ermittelte recht genau die Entfernung zwischen Erde und Mond. Er verstand es, die verwickelte scheinbare Bewegung der Planeten in einer Theorie mathematisch zu beschreiben, die von dem griechischen Astronomen Claudius Ptolemäus (um 150) zum *geozentrischen Weltsystem* aus-

gebaut wurde (Bild 56/2, ↗ Seite 41). Mit seiner Theorie gab Ptolemäus eine sehr gute Beschreibung der scheinbaren Planetenbewegungen. Das Wesen dieser Vorgänge blieb ihm jedoch verschlossen (↗ Aufgabe 26).

Das geozentrische Weltsystem war ein übersichtliches geometrisches Modell für die Planetenbewegungen an der Himmelskugel. Es ging vom Augenschein aus, beschrieb die Beobachtungen vor zwei Jahrtausenden mit ausreichender Genauigkeit und entsprach dem religiösen Weltbild und den gesellschaftlichen Vorstellungen der damals herrschenden Klasse.

Das Aufkommen frühkapitalistischer Produktionsverhältnisse, verbunden mit der Entwicklung des Handels und dem Übergang von der Küstenschifffahrt zur Hochseeschifffahrt, erforderte zum Zwecke der Orientierung eine größere Genauigkeit astronomischer Messungen und Berechnungen. Zwischen den Beobachtungstatsachen und dem ptolemäischen Weltsystem entstanden Widersprüche. Daraus ergaben sich Zweifel an der Richtigkeit dieser Vorstellungen. Der polnische Astronom Nikolaus



Bild 57/1 Nikolaus Kopernikus
(1473 bis 1543)

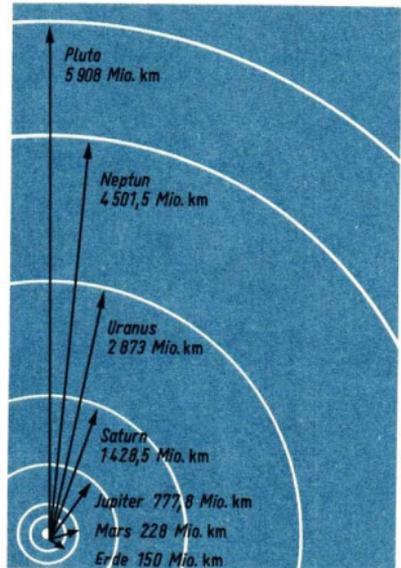


Bild 57/2 Heliocentrisches Weltsystem
des Kopernikus (Die Planeten Uranus,
Neptun und Pluto wurden erst später
entdeckt)

Kopernikus (Bild 57/1) drang tiefer in das Wesen der Bewegungsvorgänge am Sternhimmel ein. Seine Erkenntnisse bestätigten die spekulativen Vorstellungen des Aristarch von Samos und führten zum *heliocentrischen Weltsystem* (Bild 57/2; ↗ Seite 42).

Allerdings konnte Kopernikus – trotz aller Bemühungen – noch nicht die Richtigkeit seines Systems zwingend beweisen. Dazu reichten die Kenntnisse der Naturwissenschaften und die unvollkommene Beobachtungstechnik der damaligen Zeit nicht aus.

Die Erkenntnisse des Kopernikus leiteten eine grundlegende Veränderung des naturwissenschaftlichen Weltbildes ein. Daraus ergaben sich auch Konsequenzen für religiöse, philosophische und gesellschaftliche Vorstellungen der damaligen Zeit.

Die Weiterentwicklung der kopernikanischen Auffassung

Die Ansicht, daß sich die Erde als Planet um die Sonne bewegt, stand im Gegensatz zu den Vorstellungen der mittelalterlichen Kirche, die die Erde als Mittelpunkt der Welt betrachtete und zwischen einer irdischen und himmlischen Welt unterschied. Deshalb kam es ein halbes Jahrhundert nach dem Tode von Kopernikus zur offenen Auseinander-



Bild 58/1 Tycho Brahe
(1546 bis 1601)



Bild 58/2 Galileo Galilei
(1564 bis 1642)

setzung mit der christlichen Kirche. Die Wissenschaft erbrachte für den Wahrheitsgehalt der kopernikanischen Lehre immer mehr Beweise. Sie wurden von der aufsteigenden bürgerlichen Klasse anerkannt, weil diese Erkenntnisse ihren Interessen entsprachen (↗ Aufgabe 27).

Galileo Galilei (Bild 58/2) war ein leidenschaftlicher Verfechter des heliozentrischen Weltsystems und setzte sich damit der Verfolgung durch die katholische Kirche aus (↗ Seite 43).

Der deutsche Gelehrte Johannes Kepler (Bild 59/1) beseitigte die theoretischen Mängel des kopernikanischen Systems mit den drei von ihm entdeckten Gesetzen der Planetenbewegung und führte damit die kopernikanische Lehre zum Siege (↗ Aufgabe 28).

Kepler beschrieb mathematisch, wie sich die Planeten bewegen (↗ Seite 44).

Ein Jahrhundert später konnte der englische Wissenschaftler Isaac Newton (Bild 59/2) erklären, *warum* sich die Planeten gerade so bewegen. Er formulierte das *Gravitationsgesetz*. Mit den Erkenntnissen Newtons drang die astronomische Wissenschaft tiefer in das Wesen der beobachteten Erscheinungen ein. *Es begann die Erklärung von Vorgängen im Weltall mittels physikalischer Gesetze* (↗ Seite 44).

Der Einsatz des Fernrohrs in der astronomischen Forschung und dessen ständige Weiterentwicklung führten zu neuen Entdeckungen im Planetensystem. 1781 entdeckte Wilhelm Herschel mit seinem selbstgebaute Spiegelfernrohr (Bild 98/1) den Planeten *Uranus*. Aus den beobachteten Bahnabweichungen von Uranus berechneten Leverrier und



Bild 59/1 Johannes Kepler
(1571 bis 1630)



Bild 59/2 Isaac Newton
(1643 bis 1727)

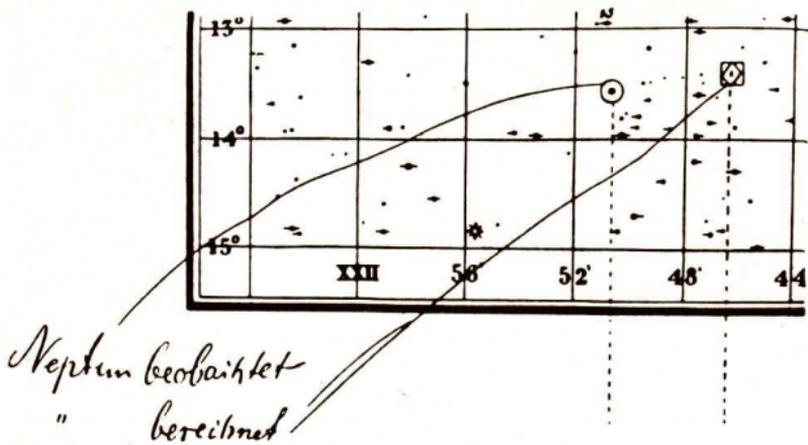


Bild 60/1 Entdeckungskarte des Planeten Neptun; handschriftliche Eintragungen von Galle

Adams Bahn und Stellung eines noch unbekanntes Planeten. Galle fand 1846 – nahe dem vorausberechneten Ort – den gesuchten Planeten, der den Namen *Neptun* erhielt (Bild 60/1).

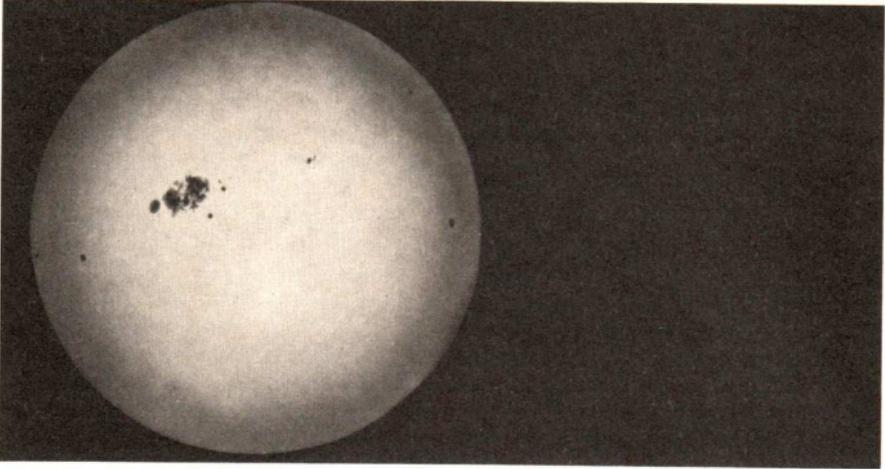
Die Entwicklung unseres Wissens über das Planetensystem zeigt, daß jede neue Erkenntnis bisherige Vorstellungen erweiterte, vertiefte oder berichtigte. Dieser Werdegang ist für den jeweiligen Zeitabschnitt der gesellschaftlichen Entwicklung ein wissenschaftlicher Fortschritt, auch wenn die Erkenntnisse später von umfassenderen und tieferen Einsichten über die Gesetzmäßigkeiten des Weltalls abgelöst wurden.

Fragen, Aufträge
Seite 108, Nr. 26 bis 28

ASTROPHYSIK UND STELLARASTRONOMIE



DIE SONNE



Die Qualität (Zusammensetzung, Spektrum) und die Quantität (Intensität) der Strahlung werden von der Astrophysik erforscht. Die Sonnenphysik ist eines ihrer Teilgebiete. Die Sonne ist der einzige Stern, auf dessen Oberfläche von der Erde aus Einzelheiten und deren Veränderungen, zum Beispiel bei den Sonnenflecken, erkannt werden können. Das Bild zeigt die Sonne mit Sonnenflecken.

Die Sonne und ihre Aktivität

Die Sonne ist eine selbstleuchtende Gaskugel.

Die Temperatur beträgt an der Oberfläche etwa $6\,000\text{ °K}$. Der scheinbare Radius der Sonne ist wegen der unterschiedlichen Entfernung Erde–Sonne nicht konstant; im Mittel werden $16'$ gemessen. Daraus und aus der mittleren Entfernung von $149,6 \cdot 10^6\text{ km}$ ergibt sich der wahre Radius R_s der Sonne zu $7 \cdot 10^5\text{ km}$ (etwa 109 Erdradien).

Führen Sie mit Hilfe von Bild 63/1 diese Rechnung selbst aus!

Die Masse m_s der Sonne beträgt $2 \cdot 10^{30}\text{ kg}$. Sie ist damit mehr als 700mal so groß wie die Masse aller Körper des Planetensystems zu-

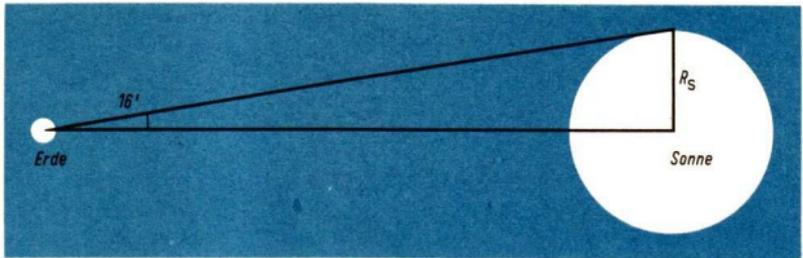


Bild 63/1 Zur Berechnung des Sonnenradius

sammengenommen. Aus diesem Grunde bildet die Sonne das *Gravitationszentrum* des Planetensystems (↗ Aufgabe 31). Die Masse der Sonne und die damit verbundene Gravitation ist die Ursache dafür, daß die Gaskugel eine relativ scharf definierte „Oberfläche“ besitzt. Man nennt diese wenige hundert Kilometer dicke Schicht der Sonne, von der aus die Strahlung in den Weltraum ausgesandt wird, die **Photosphäre**.

Die Photosphäre bildet die unterste (innerste) Schicht der Sonnenatmosphäre. Sie befindet sich in ständiger Bewegung.

Die Photosphäre zeigt im Fernrohr daher – allerdings nur unter sehr guten Beobachtungsbedingungen – eine körnige Struktur, die *Granulation*. Die Strukturelemente haben scheinbare Durchmesser von einer Bogensekunde bis zwei Bogensekunden.

Mit Hilfe des Gravitationsgesetzes (↗ S. 44) läßt sich die Fallbeschleunigung an der Sonnenoberfläche berechnen. Für einen dort befindlichen Körper der Masse m_k beträgt die Anziehungskraft

$$F_g = m_k \cdot g_s = k \cdot \frac{m_k \cdot m_s}{R_s^2}.$$

Gegeben:

Sonnenmasse

$$m_s = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

Sonnenradius =

$$R_s = 6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$$

Gravitationskonstante

$$k = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$$

Lösung:

$$g_s = \frac{k \cdot m_s}{R_s^2}$$

$$g_s = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \cdot 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}}{(6,96 \cdot 10^8 \text{ m})^2}$$

$$g_s = 0,274 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\underline{\underline{g_s = 274 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}}$$

Gesucht:

g_s

Die Fallbeschleunigung an der Sonnenoberfläche ist also rund 28mal so groß wie die an der Erdoberfläche (↗ Physik in Übersichten).

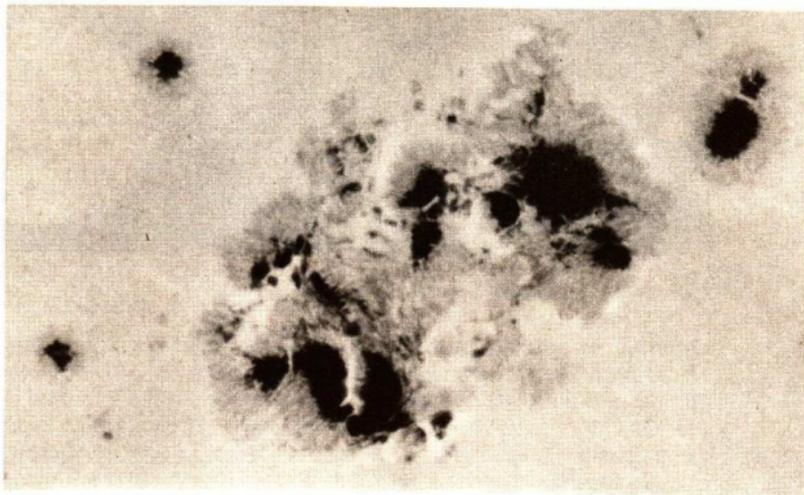


Bild 64/1 Große Sonnenfleckengruppe

Auf der Sonne ist ständig eine große Zahl veränderlicher Erscheinungen zu bemerken. Man faßt sie unter dem Begriff **Sonnenaktivität** zusammen. Ihre auffallendste Form sind die *Sonnenflecken*, dunkle Stellen in der Photosphäre (Bilder 62/1 und 64/1). Ihre Temperatur ist etwa 1000 grd niedriger als die der ungestörten Photosphäre. Die Lebensdauer der Fleckengruppen liegt zwischen wenigen Tagen und mehreren Monaten. In allen Sonnenflecken sind starke *Magnetfelder* vorhanden.

Aus Spektraluntersuchungen ergibt sich, daß die Sonnenflecken gewaltige Gaswirbel darstellen. Die Ursache für diese und die anderen Erscheinungen der Sonnenaktivität ist noch unbekannt; sie ist mit Sicherheit im Sonneninneren zu suchen.

Durch die Beobachtung der Sonnenflecken ist es möglich, Angaben über die *Rotation der Sonne* zu erhalten. Es zeigt sich, daß die Sonne nicht wie ein starrer Körper rotiert. Während eine Umdrehung am Sonnenäquator 25 Tage dauert, brauchen die polnahen Gebiete 4 bis 5 Tage länger.

Man nennt dieses Verhalten *differentielle Rotation*.

Sonnenflecken sind einzeln oder in Gruppen auftretende Störgebiete der Photosphäre. Sie sind eine Erscheinungsform der Sonnenaktivität.

Die mittlere Schicht der Sonnenatmosphäre wird von der rund 10^4 km dicken **Chromosphäre** gebildet. Sie umgibt die Photosphäre, deren Strahlung durch die Gase der Chromosphäre hindurchtritt. Bei Sonnenfinsternissen (↗ S. 31), wenn der Mond die Photosphäre verdeckt, die äußeren Schichten der Sonnenatmosphäre aber noch frei läßt, kann man die Chromosphäre als farbigen Saum für kurze Zeit mit dem freien Auge beobachten. Auch in der Chromosphäre finden sich Erscheinungen der Sonnenaktivität. Die bedeutendsten sind wolkenartig aussehende Gasausbrüche, die *Protuberanzen* (Bild 65/1). Man beobachtet sie bei Sonnenfinsternissen am Sonnenrand oder mit speziell dafür eingerichteten Fernrohren. Protuberanzen erreichen Höhen von mehr als $2 \cdot 10^5$ km über der Chromosphäre.

Oftmals treten sie in Richtung magnetischer Feldlinien auf. Innerhalb der Protuberanzen befindet sich das Gas in ständiger Bewegung. Auch die *chromosphärischen Eruptionen*, Strahlungsausbrüche in begrenzten Bereichen der Chromosphäre, sind typische Aktivitätserscheinungen.

Die äußere Schicht der Sonnenatmosphäre ist die **Korona**. Sie läßt sich, außer bei totalen Sonnenfinsternissen, nicht mit dem freien Auge beobachten, da ihre Helligkeit nur etwa 10^{-6} der Photosphärenhelligkeit beträgt. Die Korona besitzt wahrscheinlich keine äußere Grenze, sondern geht stetig in den interplanetaren Raum über.

Auch die Korona zeigt Veränderungen im Zusammenhang mit der Sonnenaktivität.

● *Worin unterscheiden sich die beiden Erscheinungsformen der Korona? Werten Sie Bild 66/1 aus!*

Die Sonnenaktivität weist eine auffällige regelmäßige Schwankung auf. Im Abstand von rund 11 Jahren erreichen die Aktivitätserscheinungen jeweils ein Maximum.

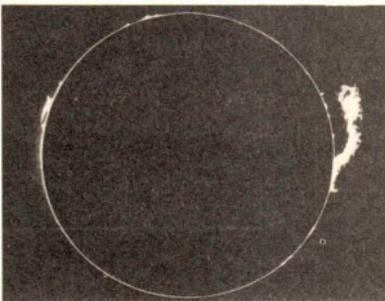


Bild 65/1 Große Sonnenprotuberanz

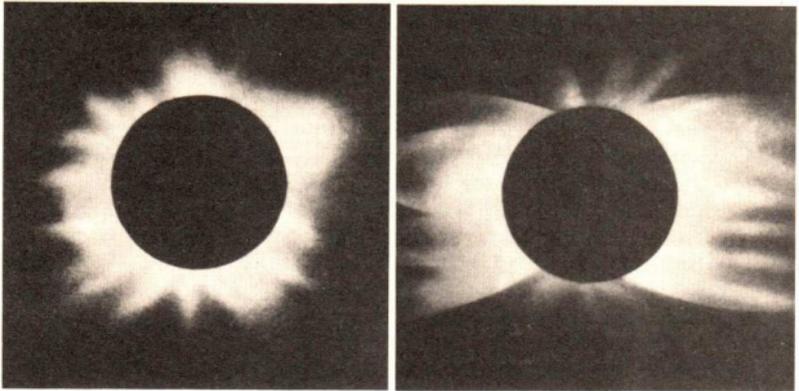


Bild 66/1 Korona im Fleckenmaximum und -minimum

Dazwischen liegt ein Zeitraum relativ „ruhiger“ Sonne. Eine *Aktivitätsperiode* umfaßt zwei Maxima und zwei Minima, dauert also $2 \cdot 11$ Jahre.

Die Ursache für diese Verdopplung des Zeitraums liegt darin, daß die Polarität der Magnetfelder in den Sonnenflecken mit einer 22jährigen Periode wechselt. Am deutlichsten läßt sich die regelmäßige Zu- und Abnahme der Aktivität an der Zahl der beobachteten Sonnenflecken verfolgen. Man muß jedoch hierbei beachten, daß die Flecken nur eine von vielen Erscheinungsformen der Sonnenaktivität sind.

Sonnenatmosphäre und Sonnenaktivität

Schichten der Sonnenatmosphäre	Erscheinungen der Sonnenaktivität
Photosphäre	Sonnenflecken
Chromosphäre	Protuberanzen, Eruptionen
Korona	Veränderungen des Aussehens der Korona

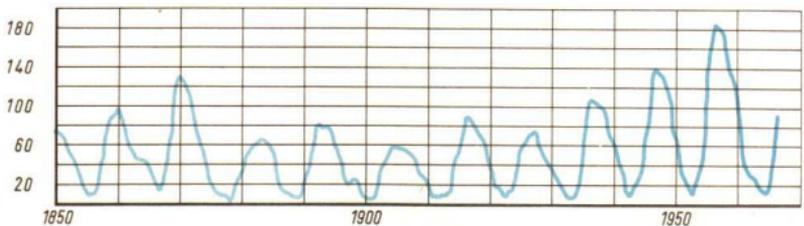


Bild 66/2 Sonnenfleckenhäufigkeit 1850 bis 1967

Die Strahlung der Sonne

Die je Sekunde von der Sonne ausgestrahlte Energie, ihre *Strahlungsleistung*, wird **Leuchtkraft** L_s genannt¹. Sie lässt sich in der gleichen Weise angeben, wie z. B. die Leistung einer Glühlampe. Als Einheit dient das Kilowatt.

Zur Berechnung der Leuchtkraft L_s benötigt man eine Angabe darüber, wie groß die auf der Erde je Flächeneinheit auftreffende Strahlungsleistung ist. Messungen mit empfindlichen Geräten – wobei die absorbierende Wirkung der Erdatmosphäre berücksichtigt wird – ergeben $1,37 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. Dieser Wert heißt *Solarkonstante* S . Man erhält die Leuchtkraft L_s , indem man überlegt, wieviel Quadratmeter Fläche von der Sonne mit dieser Strahlungsleistung „versorgt“ werden. Zu diesem Zweck errechnet man die Oberfläche einer Kugel vom Radius $r = 1 \text{ AE}$ (Bild 67/1) in Quadratmetern und multipliziert mit der Solarkonstanten (↗ Aufgabe 29).

Die Leuchtkraft der Sonne beträgt rund $4 \cdot 10^{23} \text{ kW}$. Die Strahlung der Sonne besteht aus *elektromagnetischen Wellen* (Bild 68/1) und aus einer *Teilchenstrahlung*. Die Röntgenwellen, das ultraviolette und das infrarote Licht sowie die Hertzchen Wellen werden von der Erdatmosphäre zu einem wesentlichen Teil absorbiert. Die *Teilchenstrahlung* (solare Korpuskularstrahlung) besteht vorwiegend aus Elektronen und Protonen. Ihre Intensität hängt sehr von der Sonnenaktivität ab. Diese Teilchenstrahlung, die ständig nach allen Seiten in den Raum hinaus „weht“, heißt *Sonnenwind* (↗ S. 14).

Die elektromagnetischen Wellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus, die Teilchenstrahlung mit $100 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ bis $2000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

¹ Beachten Sie: Der astronomische Begriff „Leuchtkraft“ bezeichnet eine *Leistung* und ist nicht zu verwechseln mit der physikalischen Größe *Kraft*.

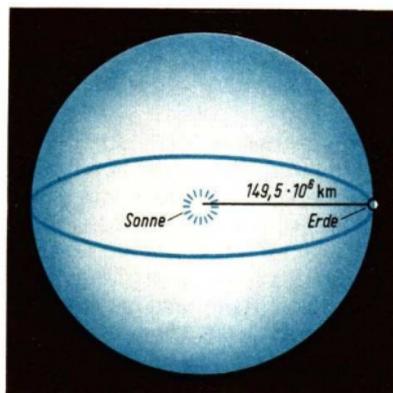


Bild 67/1 Zur Berechnung der Leuchtkraft L_s

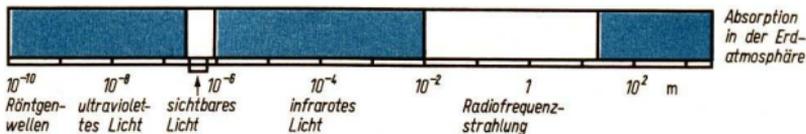


Bild 68/1 Von der Sonne ausgehende elektromagnetische Wellen und ihre Absorption in der Erdatmosphäre

Durch die ständige Teilchenstrahlung wird im Laufe der Zeit die Masse der Sonne geringer. Obwohl dieser Verlust, verglichen mit der Masse der Sonne, sehr klein ist, wird an ihm die ständige Veränderung und Entwicklung der Sonne erkennbar (↗ Aufgabe 32).

Beziehungen zwischen Sonne und Erde

Durch die *Gravitationswirkung* der Sonne ist die Bahn der Erde bedingt. Damit ist gesichert, daß die Erde stets gleichmäßig im Bereich der Sonnenstrahlung bleibt, die ihr Energie zuführt und durch das *Licht* und die *Wärme* das Leben ermöglicht. Mit Ausnahme der Kernenergie haben alle von den Menschen genutzten Energiequellen ihren Ursprung in der Sonnenstrahlung. Die von der Sonne auf die Erde übertragene Energie ist außerordentlich groß. Allein dem Territorium der DDR wird ständig eine Strahlungsleistung von rund 100 000 MW zugeführt. (Demgegenüber betrug die gesamte Leistung der Kraftwerke der DDR im Jahre 1966 etwa 11 000 MW).

Die *Sonnenaktivität* beeinflusst häufig die Strahlung, was sich auf der Erde in verschiedener Weise bemerkbar macht.

Starke Teilchenstrahlung bewirkt in der Hochatmosphäre der Erde die *Polarlichter* (Bild 69/1).

Die Konzentration dieser Leuchterscheinungen in der Nähe der magnetischen Pole der Erde erklärt sich daraus, daß die elektrisch geladenen Teilchen längs der magnetischen Feldlinien in die Erdatmosphäre eintreten.

Magnetische Stürme sind Störungen des Erdmagnetfeldes, die ebenfalls durch starke Teilchenstrahlung von der Sonne hervorgerufen werden. Auch die *Ionosphäre* der Erde wird zeitweilig von Strahlung der Sonne (ultraviolettes Licht und Teilchenstrahlung) beeinflusst. Da die Ionosphäre im Funkverkehr als Reflektor für Kurzwellen dient, kann bei starken Ionosphärenstörungen der Kurzwellenempfang für mehrere Minuten bis Stunden aussetzen. Auch Radaranlagen können dadurch gestört werden. Starke magnetische Stürme können sogar die drahtgebundene Nachrichtenübermittlung auf der Erde beeinträchtigen (↗ Aufgabe 30).

Die Gravitationswirkung zwischen der Sonne und der Erde sowie die Einwirkungen der Sonne auf das Magnetfeld und die Ionosphäre der Erde sind Beispiele für Zusammenhänge zwischen Himmelskörpern. In allen Fällen handelt es sich um natürliche, gesetzmäßige Vorgänge.

Chemie und Energiehaushalt der Sonne

Zum Untersuchen der Vorgänge auf und in der Sonne ist das **Sonnenspektrum** eine wichtige Grundlage (↗ Farbtafel Spektren und Lehrbuch Physik, Kl. 10; Abschnitt Kontinuierliches und Linien-Spektrum).

Beim Durchgang weißen Lichtes durch ein Glasprisma entsteht ein Farbenband, das sich aus den bekannten Regenbogenfarben zusammensetzt. Da die einzelnen Farbbereiche ohne Unterbrechung ineinander übergehen, nennt man diese Erscheinung *kontinuierliches Spektrum* (↗ Farbtafel Spektren). Alle festen oder flüssigen und alle unter hohem Druck stehenden gasförmigen Lichtquellen senden kontinuierliche Spektren aus. Dazu gehört auch das Innere der Sonne. Leuchtende Gase unter niedrigem Druck ergeben ein *Emissionslinienspektrum*, das aus einzelnen farbigen Linien auf dunklem Untergrund besteht.

Das Licht der Sonne ergibt ein kontinuierliches Spektrum mit einer großen Zahl dunkler *Absorptionslinien* (Fraunhoferlinien). (↗ Farbtafel Spektren und Lehrbuch Physik, Kl. 10; Abschnitt Emissionsspektrum und Absorptionsspektrum). Sie entstehen, wenn kontinuierliche Strahlung durch schwächer leuchtende oder nicht-leuchtende Gase hindurchtritt.



Bild 69/1 Polarlicht

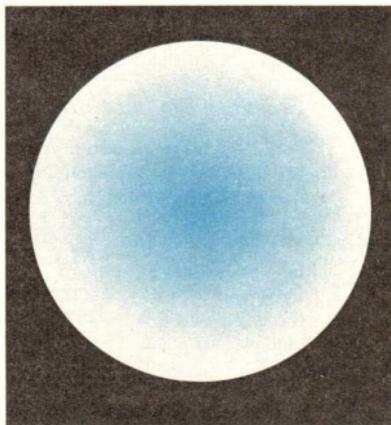


Bild 69/2 Konzentration der Masse in der Sonne

Das kontinuierliche Sonnenlicht durchdringt die dünneren Gase der Sonnenatmosphäre. Durch die Spektralanalyse (↗ Lehrbuch Physik, Kl. 10: Abschnitt Spektralanalyse) ist es möglich, die chemische Zusammensetzung der äußeren Schichten der Sonne zu ermitteln. Es ergibt sich, daß *Wasserstoff* (73%) und *Helium* (25%) überwiegen.

Während man die äußeren Schichten der Sonne durch die Spektralanalyse direkt erforschen kann, werden für die Untersuchung des *Sonneninneren* theoretische Überlegungen und Modellrechnungen benötigt. Dabei ergibt sich, daß *Druck*, *Dichte* und *Temperatur* nach innen stark zunehmen. Im Zentralgebiet der Sonne beträgt die Temperatur etwa $15 \cdot 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$, die Dichte liegt etwas über $100 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ und der Druck bei 10^{11} at . Unter diesen Bedingungen existiert im Sonneninneren nur Plasma (Bild 69/2).

Im Zentralgebiet der Sonne wird auch die **Energie** freigesetzt.

Frühere Annahmen, nach denen die Sonne ihren Energiebedarf aus einem chemischen Verbrennungsprozeß oder durch Kontraktion (Zusammenziehung) decken sollte, haben sich als falsch erwiesen. Der Energievorrat würde günstigenfalls 10^7 Jahre reichen; die Sonne strahlt aber, wie geologische Forschungsergebnisse zeigen, seit mindestens $3 \cdot 10^9$ Jahren nahezu unverändert.

Die tatsächliche Quelle der Sonnenenergie sind Kernprozesse, genauer: die *Kernfusion des Wasserstoffs zu Helium*. Beim Aufbau eines Heliumkerns werden $4,2 \cdot 10^{-12} \text{ Ws}$ frei.

Die Kernfusion vollzieht sich je nach der Temperatur im Zentralgebiet eines Sterns in unterschiedlichen Reaktionen. Für die Sonne kommt vorwiegend der Proton-Proton-Prozeß in Frage, der sich durch folgende Reaktionsgleichung darstellen läßt:



• *Erläutern Sie die einzelnen Vorgänge dieses Prozesses!*

■ Aus den bisher bekannten Größen kann berechnet werden, wie viele Heliumkerne im Durchschnitt je Sekunde gebildet werden müssen, um die Gesamtstrahlung der Sonne zu gewährleisten.

Gegeben:

Leuchtkraft der Sonne
 $L_s = 4 \cdot 10^{23} \text{ kW} = 4 \cdot 10^{26} \text{ W}$
 frei werdende Energie je Heliumkern
 $W = 4 \cdot 10^{-12} \text{ Ws}$

Gesucht:

Anzahl n der Fusionsvorgänge je Sekunde

Je Sekunde werden in der Sonne rund 10^{38} Heliumkerne aus Wasserstoffkernen aufgebaut.

Lösung:

Freigesetzte Gesamtenergie
 je Sekunde $W_{\text{ges}} = L_s \cdot t$

$$n = \frac{W_{\text{ges}}}{W} = \frac{L_s \cdot t}{W}$$

$$n = \frac{4 \cdot 10^{26} \text{ Ws}}{4 \cdot 10^{-12} \text{ Ws}} = \underline{\underline{10^{38}}}$$

Als Folge der Kernfusion vermindert sich allmählich der Anteil des Wasserstoffs in der Sonne, der des Heliums steigt. Die damit verbundene Veränderung der chemischen Zusammensetzung ist ein Merkmal des Entwicklungsprozesses, den die Sonne – wie jeder Stern – durchläuft.

Neben dem Proton-Proton-Prozeß treten in den Sternen weitere Kernreaktionen auf, auch solche, bei denen aus Heliumkernen schwerere Atomkerne (Beryllium, Kohlenstoff u. a.) entstehen.

Die Sonnenenergie wird in den Zentralgebieten der Sonne durch Kernfusionsprozesse freigesetzt, bei denen sich Wasserstoffkerne zu Heliumkernen zusammenfügen.

Wegen der gleichnamigen elektrischen Ladung der Ausgangsteilchen sind hohe Energien notwendig, um diese Teilchen miteinander zu verschmelzen. Die kinetische Energie der Protonen ist nur bei sehr hohen Temperaturen dazu ausreichend, deshalb findet die Kernfusion nur im Zentralgebiet der Sonne statt.

Zusammenfassung. Die Sonne ist eine selbstleuchtende Gaskugel mit einem Radius von $7 \cdot 10^5$ km. Sie besteht im wesentlichen aus Wasserstoff und Helium. Die Sonne führt eine differentielle Rotation aus, wobei sie im Mittel für eine Umdrehung 27 Tage benötigt. Die strahlende Oberfläche der Sonne heißt Photosphäre. In der Photosphäre und in den äußeren Schichten der Sonnenatmosphäre (Chromosphäre und Korona) treten Aktivitätserscheinungen auf. Die Sonnenaktivität schwankt regelmäßig und erreicht alle 11 Jahre ein Maximum.

Die Leuchtkraft (Strahlungsleistung) der Sonne beträgt rund $4 \cdot 10^{23}$ kW. Die Strahlung setzt sich aus elektromagnetischen Wellen und einer Teilchenstrahlung zusammen.

Das Spektrum der Sonne besteht aus einem kontinuierlichen Spektrum mit Absorptionslinien. Im Sonneninneren nehmen Druck, Dichte und Temperatur nach dem Zentrum hin stark zu. Dort findet die Freisetzung der Sonnenenergie durch einen Fusionsprozeß von Wasserstoff- zu Heliumkernen statt.

Fragen, Aufträge
Seite 108, Nr. 29 bis 32

DIE STERNE



Das Bild zeigt einen Ausschnitt aus unserem Milchstraßensystem. In diesem Milchstraßensystem existieren rund 10^{11} Sterne. Sie unterscheiden sich unter anderem durch Masse, Temperatur und Leuchtkraft voneinander. Den Wissenschaftlern ist es gelungen, zu sicheren Aussagen über diese und andere charakteristische Größen der Sterne zu gelangen. Der helle Nebel links oben wird Nordamerikanebel genannt.

Entfernung und Helligkeit der Sterne

Alle Sterne sind selbstleuchtende Gaskugeln hoher Temperatur. Viele von ihnen sind wahrscheinlich von Planeten umgeben wie unsere Sonne.

Eine wesentliche Vorarbeit für die Untersuchung des physikalischen Zustandes eines Sterns besteht darin, seine **Entfernung** zu ermitteln. Da eine direkte Messung unmöglich ist, verwendet man für relativ nahe Sterne ein Verfahren, das als *Triangulation* auch bei Vermessungsarbeiten auf der Erde angewendet wird (Bild 73/1).

Erläutern Sie, wie die Strecke AC berechnet werden kann, wenn die Strecke c und die Winkel α und β bekannt sind!

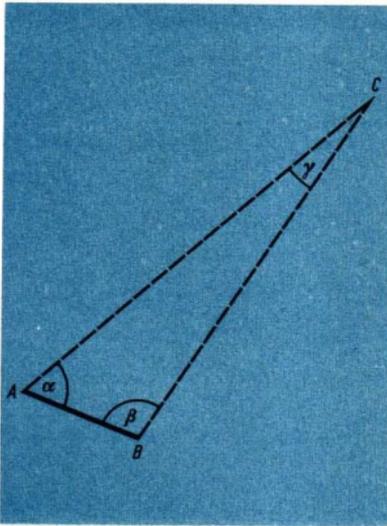


Bild 73/1 Triangulation

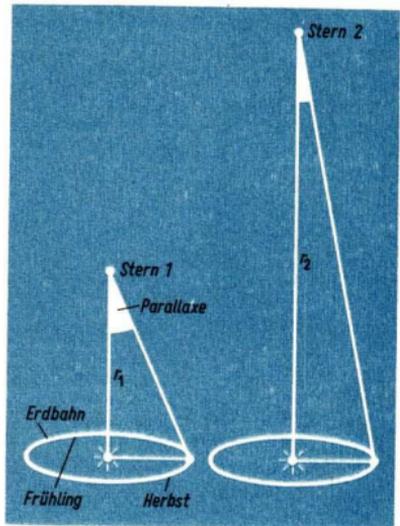


Bild 73/2 Parallaxe p und Entfernung r

In der Astronomie dient als Basisstrecke die Entfernung Erde–Sonne.

Beobachtet man den zu untersuchenden Stern von zwei gegenüberliegenden Stellen der Erdbahn aus (z. B. im Frühjahr und im Herbst), so sind die Blickrichtungen nicht parallel, sondern schließen einen kleinen Winkel ein. Halbiert man ihn, so erhält man die *Parallaxe* p des Sterns (Bild 73/2).

Die Parallaxe p eines Sterns ist der Winkel, unter dem die Basisstrecke Erde–Sonne vom Stern aus erscheinen würde. Sie ist umgekehrt proportional der Entfernung r des Sterns: $r \sim \frac{1}{p}$.

Man kann daher aus der Parallaxe die Entfernung des Sterns berechnen. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, die Entfernung, in der die Parallaxe $1''$ beträgt, als Einheit zu wählen (Bild 74/1). Sie hat die Bezeichnung *1 Parsek* erhalten (Abkürzung pc). $1 \text{ pc} = 3,1 \cdot 10^{13} \text{ km}$. Wenn man den Zahlenwert der in Bogensekunden angegebenen Parallaxe einsetzt, so gilt $r = \frac{1}{p}$, und man erhält die Entfernung r in Parsek.

Die Parallaxe des Sterns *Atair* im Sternbild *Adler* wurde zu 0,20 Bogensekunden ($0,20''$) festgestellt. Wie weit ist Atair vom Sonnensystem entfernt?

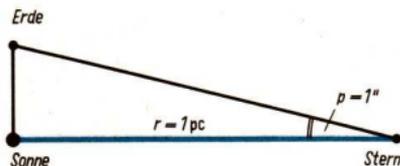


Bild 74/1 Zur Definition der Einheit Parsek

Gegeben: $p = 0''20$

Lösung: $r = \frac{1}{p}$ (in Parsek)

Gesucht: $r = \frac{1}{0,20}$ pc

$r = \underline{\underline{5 \text{ pc}}}$

Errechnen Sie die Entfernungen (in pc) für die Sterne der Tabelle 3!

Tabelle 3

Stern	Parallaxe	Stern	Parallaxe
β Aur	0''039	ϱ UMa (Mizar)	0''042
η Cas	0,182	ζ UMa (Alkora)	0,038

Die Parallaxe von weiter entfernten Sternen ($r > 25$ pc) ist für eine direkte Messung zu klein. Man muß daher für solche Objekte andere Methoden der Entfernungsbestimmung anwenden (↗ Seite 76 und Seite 84).

In enger Beziehung zur Entfernung der Sterne von der Erde steht die **scheinbare Helligkeit m** .

Unter scheinbarer Helligkeit m verstehen wir die Helligkeit, in der uns ein Stern am Himmel erscheint. Sie ist ein Maß für die zur Erde gelangende Strahlungsintensität.

Beachten Sie: Das Formelzeichen m darf nicht mit dem Formelzeichen für die Masse verwechselt werden.

Mit zunehmender Entfernung von der Lichtquelle verteilt sich das Licht auf eine immer größere Fläche, daher erscheint die Lichtquelle, aus geringerem Abstand betrachtet, heller (↗ Bild 75/1).

Außer von der Entfernung ist die scheinbare Helligkeit von der Strahlungsleistung (Leuchtkraft, ↗ Seite 67) des Sterns abhängig.

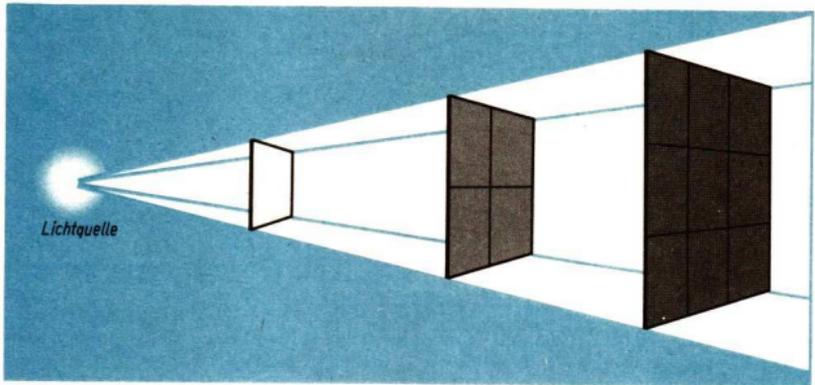


Bild 75/1 Helligkeit und Entfernung

Als *Einheit* der scheinbaren Helligkeit wird von alters her die *Größenklasse* (auch abgekürzt als *Größe*) verwendet. Die hellsten Sterne des Himmels bezeichnete man im Altertum als Sterne 1. Größe (Schreibweise 1^m , von lat. *magnitudo*; Größe. *Das hat nichts mit dem Durchmesser des Sterns zu tun!*), die schwächsten mit freiem Auge sichtbaren als Sterne 6. Größe (6^m). In neuerer Zeit wurde diese Helligkeitsskala verbessert.

Man hatte früher in der 1. Größenklasse auch Sterne erfaßt, die in Wahrheit heller sind. Die Skala wurde daher auf Null und negative Werte erweitert. Außerdem wurde sie für schwache, nur im Fernrohr sichtbare Sterne auf höhere positive Werte ausgedehnt. Auch Zwischenwerte (z. B. -1^m43) sind möglich.

Ein Unterschied von 5 Größenklassen entspricht einem Verhältnis der empfangenen Strahlungsintensitäten von $1:100$ (\nearrow Aufgabe 36). Um die Sterne unabhängig von ihrer Entfernung hinsichtlich ihrer Leuchtkraft miteinander vergleichen zu können, wurde in der Astrophysik die **absolute Helligkeit M** (in Größenklassen gemessen) eingeführt.

Die absolute Helligkeit M ist die Bezeichnung für die scheinbare Helligkeit, die ein Stern in der Entfernung von 10 pc hätte. Sie ist ein Maß für die Leuchtkraft des Sterns.

Man verschiebt also in Gedanken die Sterne in der Gesichtslinie und überlegt, wie sich ihre Helligkeit dabei ändern würde. Der Stern S_1 (Bild 76/1) steht näher als 10 pc, seine Helligkeit wird also, wenn man ihn in 10 pc Entfernung versetzt, geringer: die absolute Helligkeit dieses Sterns ist geringer als seine scheinbare Helligkeit. Bei dem Stern S_2 liegt der umgekehrte Fall vor.

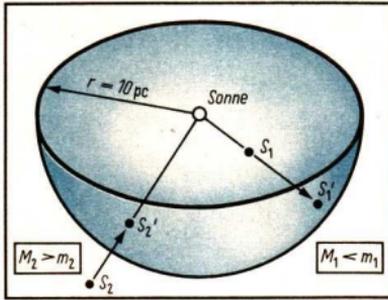


Bild 76/1 Scheinbare und absolute Helligkeit

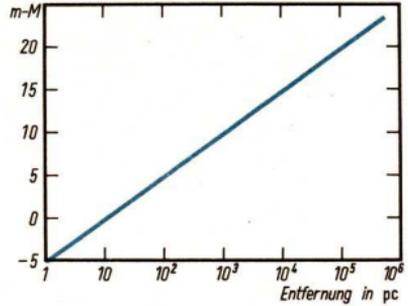


Bild 76/2 Entfernungsmodul und Entfernung

- Was ist über scheinbare und absolute Helligkeit des Sterns Pollux zu sagen, der sich in genau 10 pc Entfernung befindet?

Kennt man die absolute Helligkeit M und die scheinbare Helligkeit m eines Sterns, so kann man seine Entfernung r berechnen. Zwischen den drei Größen besteht der Zusammenhang $m - M = 5 \cdot \lg r - 5$.

Dabei sind scheinbare und absolute Helligkeit in Größenklassen, die Entfernung in Parsek einzusetzen.

- Berechnen Sie nach dieser Gleichung $\lg r$!

* Die Differenz $m - M$ heißt Entfernungsmodul des Sterns. Bild 76/2 gibt den Zusammenhang zwischen Entfernungsmodul und Entfernung (*Photometrische Bestimmungsart*) wieder. Da keine Winkelmessungen dabei auftreten, ist dieses Verfahren auch für sehr weit entfernte Sterne anwendbar.

- Es soll die absolute Helligkeit M des Aldebaran (Sternbild Stier) berechnet werden, von dem die scheinbare Helligkeit m und die Entfernung r (z. B. aus einer Parallaxenmessung) bekannt sind:

Gegeben: (Aldebaran)

$$m = 0^m,85$$

$$p = 0,051''$$

Gesucht:

M

Lösung:

$$m - M = 5 \cdot \lg \frac{1}{p} - 5$$

$$M = m + 5 - 5 \cdot \lg \frac{1}{p}$$

$$M = 0,85 + 5 - 5 \cdot \lg 19,6$$

$$M = 5,85 - 5 \cdot 1,2923$$

$$M = 5,85 - 6,46$$

$$\underline{\underline{M = -0,61}}$$

Die absolute Helligkeit M des Sterns Aldebaran beträgt $-0^m,61$. *

Entfernungsangaben erfolgen statt in Parsek auch oft mit Hilfe der Laufzeit des Lichts. Einheit ist das Lichtjahr (Lj). Ein Lichtjahr ist die Strecke, die das Licht im Vakuum während eines Jahres zurücklegt ($1 \text{ Lj} = 9,461 \cdot 10^{12} \text{ km}$; $1 \text{ pc} \approx 3,26 \text{ Lj}$).

Errechnen Sie die Laufzeit des Lichts von der Sonne zur Erde! (Verwenden Sie gerundete Werte!)

Die Entfernung zum nächstgelegenen Stern „Proxima Centauri“ beträgt 4,2 Lj!

Die Zustandsgrößen der Sterne

Die Sterne werden nach verschiedenen Merkmalen unterschieden, die den physikalischen Zustand des betrachteten Sterns charakterisieren und **Zustandsgrößen** heißen. Zu ihnen gehören die *Temperatur*, die *Spektralklasse*, die *Leuchtkraft*, die *Masse*, der *Radius* und die *mittlere Dichte*.

Die **Oberflächentemperaturen** der Sterne lassen sich durch Strahlungsmessungen ermitteln.

Bei der Bestimmung der Temperatur von Metallschmelzen wird in der Technik häufig ein ähnliches Verfahren angewendet.

So wie bei Metallen eine bestimmte Temperatur durch eine bestimmte Glühfarbe charakterisiert ist, entspricht auch die Farbe des von der Sternoberfläche (Photosphäre) ausgesandten Lichtes jeweils einer genau angebbaren Oberflächentemperatur des Sterns.

Die Oberflächentemperaturen der Sterne lassen sich aus der Farbe des Sternlichtes ermitteln.

In der Praxis bestimmt man die Sternfarbe meist durch eine *Mehrfarbenphotometrie*. Viele Sterne erscheinen auf für blaues Licht besonders empfindlichen Photoplatten in anderer Helligkeit als auf Platten, die überwiegend für längerwelliges Licht empfindlich sind. Die Differenz beider Helligkeiten ist ein Maß für die Farbe des Sterns.

Die meisten Sterne haben Oberflächentemperaturen zwischen $2\,800 \text{ °K}$ und $25\,000 \text{ °K}$.

Die *Spektren* der Sterne sind – bis auf wenige Ausnahmen – Absorptionsspektren (↗ Seite 69). Sie unterscheiden sich voneinander durch Anzahl und Lage der Linien und durch die Verteilung der Strahlungsintensität. Zwischen dem Spektrum und der Farbe des ausgestrahlten Lichts besteht ein enger Zusammenhang.

Tabelle 4: Oberflächentemperatur von Sternen

Farbe des Sternlichtes	Oberflächentemperatur T (im Mittel) in $^{\circ}\text{K}$
bläulich	25 000
bläulichweiß	15 000
reinweiß	9 000
gelblichweiß	7 000
gelb	5 500
rötlichgelb	4 000
rötlich	2 800

- Zum Beispiel weisen Sterne, in deren Spektrum der blaue Farbbereich am intensivsten strahlt, ein bläuliches Licht auf. Es handelt sich also um Sterne mit sehr hoher Temperatur. In diesen Spektren finden sich auch relativ wenige Absorptionslinien (↗ Farbtafel Spektren) (↗ Aufgabe 33).

Nach dem Aussehen ihrer Spektren teilt man die Sterne in **Spektralklassen** ein, die mit Großbuchstaben bezeichnet werden. Die wichtigsten sind O, B, A, F, G, K und M (↗ Farbtafel Spektren).

Die Reihenfolge der Spektralklassen entstand im Laufe der historischen Entwicklung der Astrophysik. Ursprünglich war sie alphabetisch.

Jede Spektralklasse wird zur genaueren Einordnung der Sterne dezimal (von 0 bis 9) unterteilt.

- Sonne G2; Polarstern F7; Wega A0.



Die Spektralklasse charakterisiert die Art eines Sternspektrums. Sie kennzeichnet jeweils einen bestimmten Bereich der Oberflächentemperatur und eine bestimmte Farbe des Sternlichtes.

Die **Leuchtkraft** L_{ST} der Sterne ist sehr unterschiedlich. Sie liegt zwischen dem 10^{-5} und dem 10^5 fachen der Leuchtkraft der Sonne.

- *Geben Sie die Leuchtkraft eines Sterns, die das 10^{-5} fache der Leuchtkraft der Sonne beträgt, in kW an!*

Geringe Leuchtkraft eines Sterns bedeutet jedoch keinesfalls auch immer niedrige Temperatur und umgekehrt! Der Zusammenhang zwischen diesen beiden Zustandsgrößen ist Anfang unseres Jahrhunderts von Hertzsprung und Russell untersucht worden.

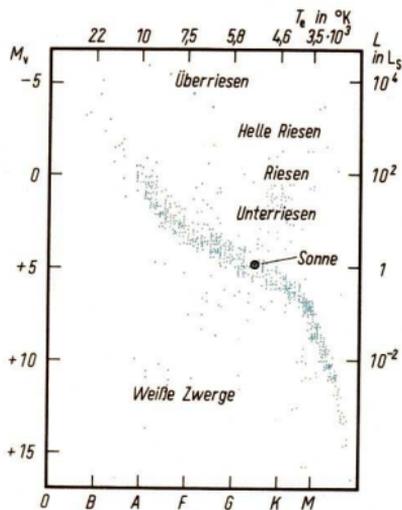


Tabelle 5: Leuchtkraftklassen

Überriesen	I
Helle Riesen	II
Riesen	III
Unterriesen	IV
Hauptreihe	V

Bild 79/1 Hertzsprung-Russell-Diagramm

Das **Hertzsprung-Russell-Diagramm** ist das wichtigste Zustandsdiagramm der Astrophysik. Als Abszissen sind darin die Oberflächentemperatur (bzw. die Spektralklasse), als Ordinaten die Leuchtkraft (bzw. die absolute Helligkeit) der Sterne eingetragen. Jeder Stern ist im Diagramm durch einen Bildpunkt vertreten; man erkennt (Bild 79/1), daß die Bildpunkte in bestimmten Gebieten des Diagramms gehäuft auftreten. Dies ist ein Hinweis auf allgemeine Zusammenhänge der Vorgänge und Erscheinungen im Weltall.

Beachten Sie: Im Hertzsprung-Russell-Diagramm nehmen die Temperaturen von rechts nach links zu.

Die wichtigsten Besetzungsgebiete lassen sich folgendermaßen charakterisieren:

Hauptreihe. Die meisten Sterne gehören der Hauptreihe an, daher ist sie am dichtesten besetzt. Hauptreihensterne mit niedriger Oberflächentemperatur haben geringe Leuchtkraft, mit hohen Oberflächentemperaturen hohe Leuchtkraft. Die Sonne ist ein Hauptreihenstern.

Riesen. Diese Sterne haben eine erheblich höhere Leuchtkraft als die Hauptreihensterne gleicher Temperatur. Da sie wegen der gleichen Temperatur nur die gleiche Leuchtkraft je Quadratzentimeter Sternoberfläche haben wie die Hauptreihensterne, läßt sich ihre höhere Leuchtkraft nur durch „mehr Quadratzentimeter“, also durch eine größere Oberfläche erklären. Der Radius ist also auch größer.

Weiße Zwerge sind Sterne, die trotz relativ hoher Temperatur nur eine geringe Leuchtkraft besitzen. Hier liegt der den Riesensternen entgegen-

gesetzte Fall vor; die Radien dieser Sterne liegen zwischen 10^{-1} und 10^{-2} des Sonnenradius.

• *Charakterisieren Sie auf die gleiche Weise die Überriesensterne!*

Die einzelnen Besetzungsgebiete im Hertzsprung-Russell-Diagramm werden als *Leuchtkraftklassen* bezeichnet.

Die Weißen Zwerge bilden eine Sondergruppe.

Die Leuchtkraftklasse kann aus bestimmten Feinheiten der Absorptionslinien im Sternspektrum ermittelt werden. Kennt man sie und die Spektralklasse, so kann man den Stern in das Diagramm einzeichnen und auf diesem Wege seine absolute Helligkeit feststellen. Zusammen mit der beobachteten scheinbaren Helligkeit hat man so die Möglichkeit, auch die Entfernung des Sterns zu berechnen (↗ Seite 76).

• *Ermitteln Sie die Leuchtkraftklassen des Polarsterns, des Sirius und des Arktur! Zeichnen Sie diese Sterne nach den Angaben der Tabelle 10 – im Anhang des Lehrbuches – in ein Hertzsprung-Russell-Diagramm ein!*

Die Einteilung der Sterne nach Leuchtkraftklassen bedeutet gleichzeitig eine, allerdings sehr ungenaue, Einteilung nach dem Sternradius (↗ Aufgabe 34).

Damit wird es möglich, Aussagen über eine nicht direkt beobachtbare Größe zu machen.

Mit Ausnahme der Sonne erscheinen die Sterne auch bei hohen Vergrößerungen im Fernrohr punktförmig; ihr Radius läßt sich nur indirekt ermitteln.

Ein genaueres Verfahren zur Bestimmung des *Radius* ergibt sich aus der Untersuchung von *Bedeckungssternen*.

Sterne, die so eng im Raum benachbart sind, daß sie mit ihrer Massenanziehung aufeinander einwirken, heißen *Doppelsterne*. Sie bewegen sich nach den Keplerschen Gesetzen (↗ S. 44) um ihren gemeinsamen Massemittelpunkt (Bild 80/1).

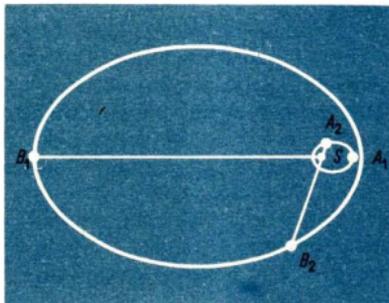


Bild 80/1 Die Bewegung eines Doppelsternsystems
S ist der Schwerpunkt des Systems; A_1 – B_1 und A_2 – B_2 sind zwei unterschiedliche Stellungen der beiden Sterne in einem System.

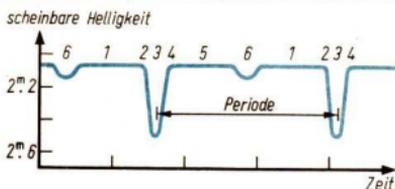
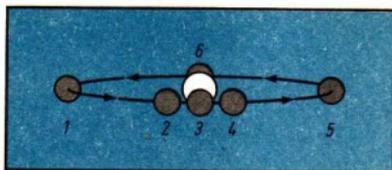


Bild 81/1 Bedeckungssystem

Ein Bedeckungstern ist ein Doppelsternsystem, dessen Bewegungsebene in unserer Blickrichtung liegt. Dadurch verdecken sich die beiden Sterne gegenseitig in regelmäßigen Zeitabständen.

Wenn der lichtschwächere Stern den helleren bedeckt, vermindert sich die scheinbare Helligkeit des Systems stark; bei der Bedeckung des schwächeren durch den helleren Stern vermindert sie sich dagegen nur unwesentlich (Bild 81/1).

An dieser periodischen Änderung der scheinbaren Helligkeit können Bedeckungsterne auch dann erkannt werden, wenn infolge zu großer Entfernung die beiden Sterne nicht mehr getrennt wahrzunehmen sind. Aus der beobachteten Lichtkurve (Helligkeit-Zeit-Diagramm, Bild 81/1) lassen sich die Radien der beiden Sterne verhältnismäßig genau ermitteln; sie liegen im allgemeinen zwischen 10^{-2} und 300 Sonnenradien (Sterne mit großen Radien sind allerdings sehr selten).

(↗ Aufgabe 37)

Die **Massen** der Sterne werden entweder mit Hilfe des aus dem *Gravitationsgesetz* hervorgehenden 3. Keplerschen Gesetzes oder der *Masse-Leuchtkraft-Beziehung* ermittelt.

Das 3. Keplersche Gesetz läßt sich nur bei *Doppelsternen* anwenden (da wir hier zwei Körper unter dem Einfluß ihrer gegenseitigen Gravitation beobachten), liefert aber recht genaue Werte.

Es gilt $a^3 : t^2 = m_1 + m_2$. Dabei ist a die große Halbachse in AE, t die Umlaufzeit in Jahren; m_1 und m_2 sind die Massen der beiden Sterne (in Sonnenmassen). Da man a und t beobachten kann, ist es möglich, die Summe der Massen zu berechnen. Genauere Bahnuntersuchungen liefern darüber hinaus die Massen auch einzeln.

Für die Hauptreihensterne (↗ Seite 79) besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Masse und der Leuchtkraft (Bild 82/1). Diese

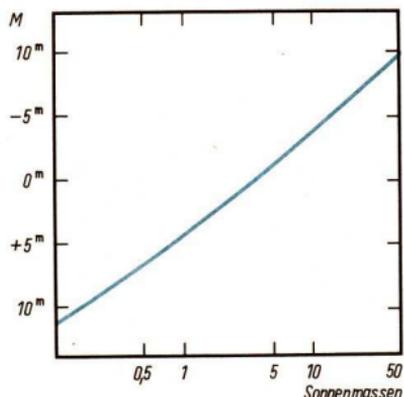


Bild 82/1 Masse-Leuchtkraft-Beziehung
Für die Leuchtkraft sind die entsprechenden absoluten Helligkeiten eingesetzt.

Masse-Leuchtkraft-Beziehung erlaubt für sehr viele Sterne, die Massen aus der Leuchtkraft zu bestimmen. Man erhält Werte zwischen 0,08 und 50 Sonnenmassen.

- *Vergleichen Sie den Variationsbereich der Leuchtkräfte mit dem der Massen!*

Riesen und Überriesen haben kaum größere Massen als Hauptreihensterne. In ihnen ist der Stoff nur über ein viel größeres Volumen verteilt.

Die **mittlere Dichte** eines Sterns lässt sich aus seiner Masse und seinem Radius berechnen. Die mittleren Dichten der Sterne liegen zwischen $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ bei den Überriesen und $10^6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ bei den Weißen Zwergen. (↗ Aufgabe 38)

In den Weißen Zwergen bestehen extreme physikalische Zustände, die durch eine besonders dichte Packung der Atomkerne bedingt sind.

- *Geben Sie eine Gleichung an, nach der aus Masse und Radius eines Sterns seine mittlere Dichte berechnet werden kann!*

Im Hertzsprung-Russell-Diagramm nehmen entlang der Hauptreihe die *Massen* der Sterne von links oben nach rechts unten ab. Dasselbe gilt für die *Sternradien*. Demgegenüber wächst die *mittlere Dichte* der Sterne in der angegebenen Richtung auf der Hauptreihe (Bild 83/1).

- *Charakterisieren Sie nach diesen Angaben einen Stern am unteren Ende der Hauptreihe! (Vergleichen Sie Temperatur, Leuchtkraft, Masse, Radius und mittlere Dichte mit den entsprechenden Werten für die Sonne!)*

Für die *mittlere Dichte* gilt auch, daß sie sich mit zunehmender Entfernung von der Hauptreihe ändert. Gleiches läßt sich von den *Radien* der Sterne sagen (\nearrow Aufgabe 35).

Bei der überwiegenden Mehrzahl aller Sterne bleiben die Zustandsgrößen über sehr lange Zeiträume (Millionen oder Milliarden Jahre) konstant. Man kennt aber auch **Sterne mit veränderlichen Zustandsgrößen** (kurz *veränderliche Sterne* genannt); sie fallen meist durch zeitlich-periodische oder unregelmäßige Änderungen der scheinbaren Helligkeit auf.

Sterne mit veränderlichen Zustandsgrößen lassen sich von Bedeckungssternen durch die Form ihrer Lichtkurve unterscheiden.

Welche Zustandsgrößen müssen sich ändern, damit ein Beobachter auf der Erde – bei gleichbleibender Entfernung des Sterns – eine Änderung der scheinbaren Helligkeit wahrnimmt?

Eine wichtige Gruppe der veränderlichen Sterne sind *pulsierende Sterne* (Pulsationsveränderliche). Ihr *Radius* schwankt sehr regelmäßig um einen Mittelwert, diese Sterne blähen sich also auf und fallen wieder zusammen. Dabei ändert sich auch die *Oberflächentemperatur*, der *Spektraltyp* und die *Leuchtkraft* des Sterns (Bild 83/2).

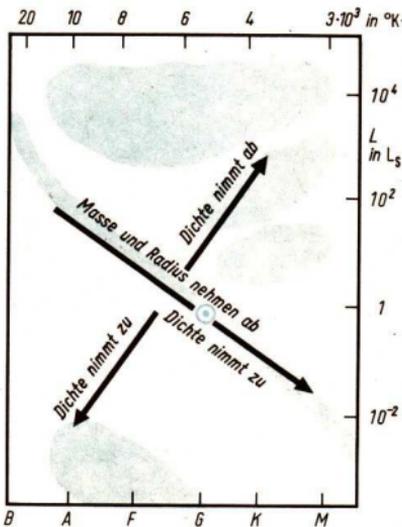


Bild 83/1 Verlauf wichtiger Zustandsgrößen im HRD

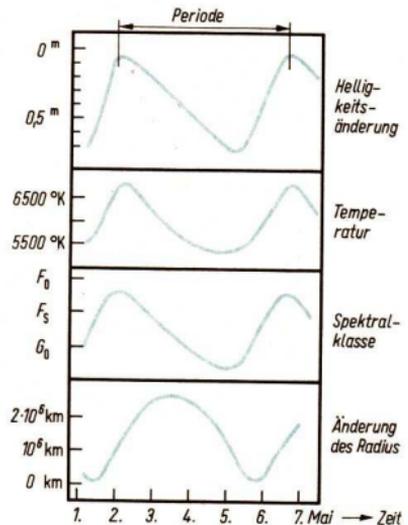


Bild 83/2 Änderung der scheinbaren Helligkeit und einiger Zustandsgrößen bei einem Pulsationsveränderlichen

Die Ursachen der Pulsation sind noch nicht vollständig bekannt. Man weiß aber, daß sich alle veränderlichen Sterne in besonderen Phasen ihrer Entwicklung befinden, und vermutet, daß alle Sterne mit genügend großer Masse dieses instabile Stadium durchlaufen.

* Je nach der Form ihrer Lichtkurve unterscheidet man verschiedene Gruppen veränderlicher Sterne, die meist nach typischen Vertretern benannt wurden. Für einige von ihnen, z. B. für die große Gruppe der sog. δ -Cephei-Sterne, besteht ein Zusammenhang zwischen der Periode der Helligkeitsschwankung (in Tagen gemessen) und der Leuchtkraft bzw. der absoluten Helligkeit (Bild 84/1).

Es ist also möglich, die *Entfernung* eines solchen Sterns aus der Beobachtung seines Lichtwechsels zu ermitteln, da die mittlere scheinbare Helligkeit m bestimmt und die absolute Helligkeit M aus der Periode-Leuchtkraft-Beziehung abgelesen werden kann. Die Differenz $m - M$ ist bekanntlich der Entfernungsmodul des Sterns.

Bei einem Stern vom Typ δ Cep wurden die scheinbaren Helligkeiten im Maximum zu $m_{\max} = 5^m8$ und im Minimum zu $m_{\min} = 7^m2$ gefunden. Die Lichtwechselferode beträgt 20 Tage. Wie groß ist die Entfernung?

Gegeben:

$$\begin{aligned} m_{\max} &= 5^m8 \\ m_{\min} &= 7^m2 \\ P &= 20^d \end{aligned}$$

Gesucht:

$$\bar{m}, r$$

Lösung:

$$\begin{aligned} \bar{m} &= \frac{m_{\max} + m_{\min}}{2} \\ \bar{m} &= \frac{5^m8 + 7^m2}{2} = \frac{13^m}{2} \end{aligned}$$

$$\bar{m} = 6^m5$$

Aus Bild 84/1 entnehmen:

$$P = 20^d \quad M = -5^m$$

$$m - M = 6^m5 - (-5^m)$$

$$m - M = 11^m5$$

Aus Bild 76/2 entnehmen:

$$r = 2\,000 \text{ pc} = 2 \text{ kpc}$$

Die δ -Cephei-Sterne besitzen eine große Bedeutung für die Entfernungsbestimmung von Objekten außerhalb unseres Milchstraßensystems, da sie in den meisten Sternsystemen vorkommen und ihre Leuchtkraft sehr groß ist. *

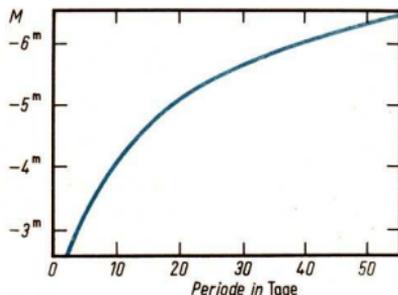


Bild 84/1 Periode-Leuchtkraft-Beziehung der δ -Cephei-Sterne

Die Sternentwicklung

Am Beispiel der Sonne ist bereits deutlich geworden, daß sich die Sterne im Laufe der Zeit im inneren Aufbau verändern.

• *Worin besteht die Ursache dieser Veränderungen? Denken Sie an die Energiefreisetzung durch den Proton-Proton-Prozeß!*

▶ Die Entwicklung eines Sterns steht in engem Zusammenhang mit seinem Energiehaushalt.

Die Sterne verändern sich erst in sehr langen Zeiträumen. Die Veränderungen sind durch Beobachtung, selbst über Generationen hinweg, im allgemeinen nicht zu verfolgen. Man kann aber Sterne in den verschiedensten Entwicklungsstadien untersuchen und sich mit Hilfe theoretischer Überlegungen ein Bild davon machen, wie ihre Entwicklung verläuft. Diese Erkenntnisse sind, als Folge immer umfangreicheren Wissens über die Vorgänge im Innern der Sterne, erst etwa seit dem Jahre 1950 erarbeitet worden.

Ein eben erst entstandener Stern befindet sich im Hertzsprung-Russell-Diagramm auf der *Hauptreihe*, und zwar an einer Stelle, die seiner Masse entspricht (Bild 83/1). Indem im Sterninneren ständig Energie freigesetzt wird, verringert sich dort allmählich der Wasserstoffvorrat, und es bildet sich ein Heliumkern. Währenddessen wandert die „Brennzone“ der Kernfusion nach außen und bildet eine Kugelschale um den ständig wachsenden „ausgebrannten“ Kern. Dieser beginnt beim Erreichen einer kritischen Grenze sich zusammenzuziehen. Dabei wird Energie frei, die den ganzen Stern von innen her aufbläht, so daß sich seine Wasserstoffhülle ausdehnt. Damit ändert der Stern also seinen Radius, er verläßt die Hauptreihe und wird zum Riesenstern (Bild 86/1). Da die massereichen Sterne mehr Energie je Zeiteinheit freisetzen als die masseärmeren, erreichen sie die kritische Grenze schneller. Sie verlassen die Hauptreihe demnach auch eher.

Sterne mit 2,25 Sonnenmassen verweilen $5 \cdot 10^8$ Jahre, Sterne mit 15 Sonnenmassen dagegen nur $\frac{1}{50}$ dieser Zeit (10^7 Jahre) auf der Hauptreihe!

Den Weg von der Hauptreihe in das Gebiet der Riesen durchläuft der Stern verhältnismäßig schnell.

Deshalb sind in der sog. Hertzsprung-Lücke zwischen der Hauptreihe und dem Riesenast nur sehr wenige Sterne anzutreffen.

Durch die Kontraktion des Zentralgebietes erhöht sich nun dessen Temperatur so weit, etwa auf 10^8 °K, daß weitere Kernreaktionen ein-

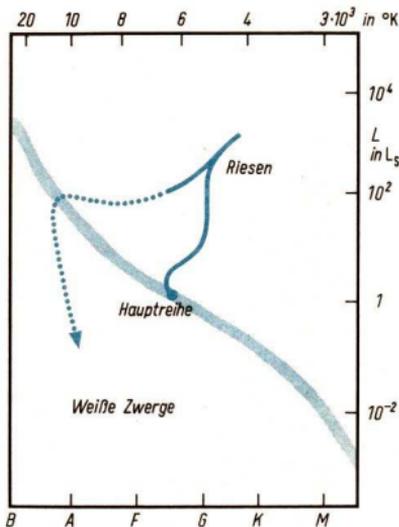


Bild 86/1 Entwicklungsweg eines Sterns im HRD

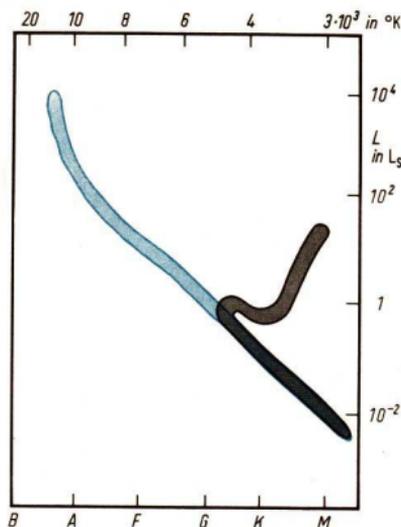


Bild 86/2 HRD eines jungen und eines alten Sternhaufens

setzen. Insbesondere betrifft das eine Reaktion, bei der sich unter Energieabgabe schwerere Kerne (Beryllium, Kohlenstoff) aus Heliumkernen bilden, so daß nun das Zentralgebiet des Sterns erneut zur Energiequelle wird. Daneben verläuft aber in der schalenförmigen Wasserstoff-„Brennzone“ die Kernfusion weiter. Dem Stern stehen also jetzt zwei Energiequellen zur Verfügung.

Im Riesenstadium halten sich die Sterne, verglichen mit dem Hauptreihenstadium, nur eine verhältnismäßig kurze Zeit auf.

Der weitere Entwicklungsweg ist noch nicht sicher bekannt. Wahrscheinlich werden die Sterne in einer Phase des Riesenstadiums instabil und beginnen zu pulsieren. (Der vermutete Entwicklungsweg im Hertzsprung-Russell-Diagramm führt durch ein Gebiet, in dem die veränderlichen Sterne liegen.) Man nimmt an, daß die Weißen Zwerge das Endstadium der Sternentwicklung sind.

● *In welcher Entwicklungsphase befindet sich die Sonne?*

Am besten kann man bei **Sternhaufen** das beobachtete räumliche Nebeneinander von Sternen unterschiedlicher Entwicklungsstufen in ein richtiges zeitliches Nacheinander einordnen. Sternhaufen sind Ansammlungen von Sternen, die räumlich zusammengehören und wahrscheinlich *gleichzeitig entstanden* sind. Da sich die massereichsten Sterne am schnellsten entwickeln, muß sich im Hertzsprung-Russell-Diagramm eines Sternhaufens die Hauptreihe von oben her auflösen.

An der Lage des Auflösungspunktes kann man das Alter des Sternhaufens ablesen. In Bild 86/2 ist der jüngere der beiden Sternhaufen $2 \cdot 10^7$ Jahre, der ältere 10^8 Jahre alt.

Zusammenfassung. Sterne sind selbstleuchtende Gaskugeln. Ihre Entfernungen bestimmt man entweder auf trigonometrischem Wege durch die Beobachtung ihrer Parallaxen oder photometrisch durch Vergleichen ihrer scheinbaren und absoluten Helligkeiten. Als Maß für die Entfernung dient das Parsek; $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ Lichtjahre} = 3,1 \cdot 10^{13} \text{ km}$. Die scheinbare Helligkeit ist die beobachtete Helligkeit eines Sterns. Unter der absoluten Helligkeit versteht man die Helligkeit, die man beobachten würde, wenn sich der Stern in 10 pc Entfernung befände. Sie ist ein Maß für die Leuchtkraft der Sterne. Einheit für scheinbare und absolute Helligkeit ist die Größenklasse.

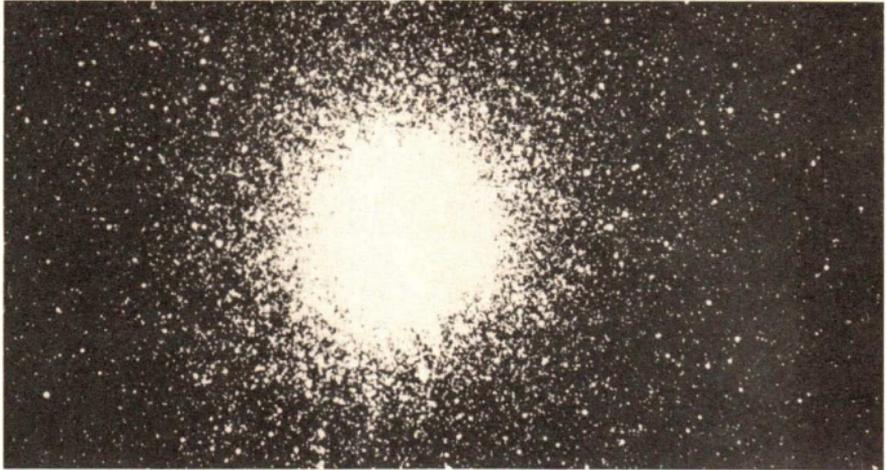
Die Sterne weisen zumeist Oberflächentemperaturen zwischen 2800 °K und 25000 °K auf. Ihre Spektren (Kontinuum mit Absorptionslinien) werden in die 7 Hauptklassen O, B, A, F, G, K, M eingeteilt. In dieser Anordnung stellt die Spektralreihe eine Folge abnehmender Oberflächentemperaturen dar.

Temperatur (beziehungsweise Spektralklasse) und Leuchtkraft des Sterns charakterisieren seine Stellung im Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD), in dem sich die Leuchtkraftklassen (z. B. Hauptreihe, Riesen, Überriesen) unterscheiden lassen. Aus der Stellung eines Sterns im HRD ergibt sich eine genähert gültige Aussage über seinen Radius. Genauere Angaben darüber erlaubt die Auswertung der Lichtkurven von Bedeckungssternen. Die Massen können aus dem Bewegungsverhalten von Doppelsternsystemen oder aus der Masse-Leuchtkraft-Beziehung hergeleitet werden.

Die meisten Sterne besitzen konstante Zustandsgrößen. Sterne mit veränderlichen Zustandsgrößen (z. B. pulsierende Sterne) befinden sich in besonderen Entwicklungsphasen.

Die Sterne decken ihren Energiebedarf hauptsächlich durch Kernfusion des Wasserstoffs zu Helium. Dabei erfahren sie langfristige Veränderungen im inneren Aufbau, die als Entwicklungsweg im HRD dargestellt werden können. Während des größten Teiles ihrer Existenz befinden sich die Sterne auf der Hauptreihe; sie entwickeln sich später zu Riesen und danach vermutlich zu Weißen Zwergen. Altersbestimmungen, vor allem bei Sternhaufen, zeigen, daß die heute existierenden Sterne nicht gleich alt sind.

DIE GALAXIS UND EXTRAGALAKTISCHE SYSTEME



Das Milchstraßensystem, Galaxis genannt, dem unser Sonnensystem angehört, enthält außer sehr vielen Sternen, zum Teil in Kugelsternhaufen wie im Bild 88/1, auch Gas- und Staubwolken. Aufnahmen mit größten Instrumenten zeigen, daß Sternsysteme von ähnlicher Größe und Struktur wie die Galaxis in dem für uns überschaubaren Teil des Weltalls in sehr großer Anzahl vorkommen.

Interstellare Wolken

Der Raum zwischen den Sternen, der interstellare Raum, ist nicht leer. Leicht beobachtbare helle „Nebel“ (Bilder 89/1 und 90/2) sind schon lange bekannt.

- ▶ Interstellare Wolken sind ausgedehnte Ansammlungen von Gas und Staub mit sehr geringer Dichte im interstellaren Raum.

Ein Gas, das von einer Lichtquelle durchstrahlt wird, erzeugt *Absorptionslinien* im Spektrum der Lichtquelle. Die Spektren sehr heißer Sterne (Spektralklasse O und B) enthalten nur wenige in den Sternatmosphären erzeugte Linien, deshalb sind zusätzliche, in Gasmassen zwischen dem Stern und dem Beobachter entstandene Linien erkenn-



Bild 89/1 Orionnebel



Bild 89/2 Spiralnebel M 51

bar. Von neutralem Wasserstoff wird eine *Strahlung mit der Wellenlänge 21 cm* ausgesandt. Sie wird mit Radioteleskopen empfangen und registriert (Bilder 89/3 und 90/1).



Bild 89/3 Radioteleskop

Gaswolken sind auf Himmelsaufnahmen als helle Nebel zu erkennen (Bild 90/1), wenn das Gas durch die ultraviolette Strahlung naher Sterne der Spektralklassen O oder B weitgehend ionisiert und zu eigenem Leuchten angeregt wird. Im Spektrum treten (helle) Emissionslinien auf, deshalb spricht man von einem *Emissionsnebel*.

An den Staubteilchen, die sehr dünn verteilt in den interstellaren Wolken enthalten sind, wird durchgehendes Licht gestreut und dabei geschwächt und gleichzeitig gerötet. Die Lichtschwächung in solchen *Dunkelwolken* (Bild 90/1) täuscht auf Himmelsaufnahmen (Bilder 61/1 und 72/1) scheinbar sternarme Gebiete zwischen sternreichen Gebieten vor. Das Licht benachbarter, weniger heißer Sterne kann durch Staubteilchen reflektiert werden. Es entsteht ein (heller) *Reflexionsnebel*. Sein Spektrum gleicht dem Spektrum der beleuchtenden Sterne (↗ Aufgaben 39 bis 41).

Sternentstehung

Eine große interstellare Wolke oder ein Teil von ihr kann sich unter der Wirkung der eigenen Gravitation zusammenziehen. Bei dieser *Kontraktion* werden die Gas- und Staubmassen zunehmend dichter und undurchsichtiger (Bild 90/2).

Bei der Kontraktion wird Gravitationsenergie in Strahlungsenergie und Wärme umgewandelt. Ein Teil davon wird ausgestrahlt, der andere Teil heizt die kontrahierende Masse auf. Im Zentrum werden dabei schließlich so hohe Temperaturen und Dichten erreicht, daß die Energieerzeugung durch Kernreaktionen (Umwandlung von Wasserstoff in Helium) einsetzt. Der so entstandene Stern erreicht im Hertzsprung-Russell-Diagramm (↗ S. 79) die Hauptreihe von rechts oben kommend. Größere Massen durchlaufen den Kontraktionsweg rascher und erreichen

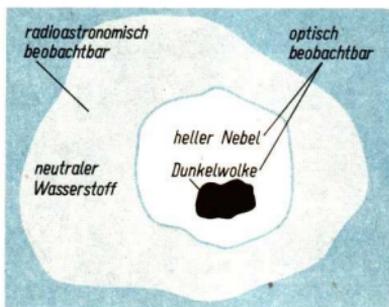


Bild 90/1 Skizze zu den Erscheinungsformen der interstellaren Stoffe



Bild 90/2 Rosettennebel. Zu beachten sind die kleinen runden, dunklen Gebilde!

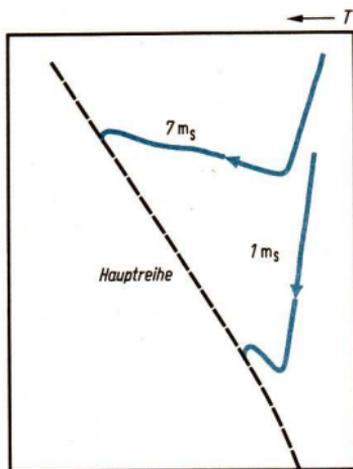


Bild 91/1 Kontraktionswege im HRD für 2 Sterne mit verschiedener Masse

die Hauptreihe weiter oben (Bild 91/1). Bei der Kontraktion zerfällt eine Wolke in Teile. Es entsteht eine Sterngruppe oder ein Sternhaufen.

* Gruppen von O- und B-Sternen, die von dem sowjetischen Astronomen Ambarzumjan die Bezeichnung *Sternassoziationen* erhalten haben, können wegen der raschen Entwicklung der Sterne mit großer Masse nur wenige Millionen Jahre alt sein. Das Vorkommen der Sternassoziationen beweist, daß Entwicklungsprozesse im Weltall ständig, auch in der Gegenwart, ablaufen (↗ Aufgabe 42). *

(↗ Farbtafel: Spektralkarte im Gebiet des Sternbildes Orion)

Überblick über die Struktur der Galaxis

In dunklen Nächten ist die Milchstraße mit bloßem Auge als schwach leuchtendes, unscharf begrenztes Band am Himmel zu erkennen. Mit einem Fernrohr sieht man dort sehr viele einzelne Sterne.

Verfolgen Sie den Verlauf der Milchstraße auf der Sternkarte!

Die Galaxis (das Milchstraßensystem) ist das große Sternsystem, zu dem auch unser Sonnensystem gehört.

Die Galaxis hat etwa folgende Struktur (Bild 92/1): Die dichteste Ansammlung von Sternen findet sich in dem zentralen *Kern*. In einer diskusartigen *Scheibe* ist die Masse vorwiegend in *Spiralarmen* konzentriert,

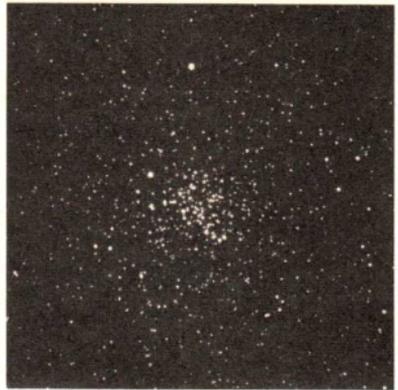
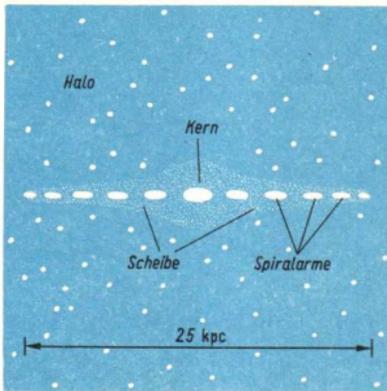


Bild 92/1 Schematischer Querschnitt durch die Galaxis Bild 92/2 Offener Sternhaufen

deren Verlauf durch interstellare Gas- und Staubwolken und durch junge Objekte (z. B. Assoziationen) markiert ist.

Offene Sternhaufen sind lokale Ansammlungen von Sternen im Bereich der Scheibe der Galaxis (Bild 92/2). Kugelsternhaufen sind stark konzentrierte, kugelförmige Ansammlungen von Sternen (Bild 88/1).

Die galaktische Scheibe ist von einem etwa kugelförmigen *Halo* von Kugelsternhaufen und Einzelsternen umgeben. Die Kugelsternhaufen sind die ältesten Mitglieder der Galaxis. Die Scheibe der Galaxis hat einen Durchmesser von rund 25 kpc.

Geben Sie diesen Durchmesser in Lichtjahren an!

Die größte Dicke beträgt etwa 5 kpc. Die Bewegungen der Sterne und der interstellaren Wolken um das galaktische Zentrum werden wie die Planetenbewegungen durch das Gravitationsgesetz bestimmt.

Zeigen Sie mit Hilfe von Bild 93/1, daß Objekte in größerer Entfernung vom Zentrum durch weiter innen umlaufende Objekte überholt werden! Vergleichen Sie diese differentielle Rotation mit der Rotation eines Rades!

Aus radioastronomischen Messungen der 21-cm-Linie des Wasserstoffs wird die räumliche Verteilung der interstellaren Wasserstoffwolken er-

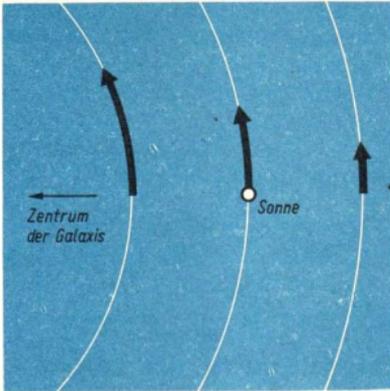


Bild 93/1 Skizze zur differentiellen Rotation der Galaxis

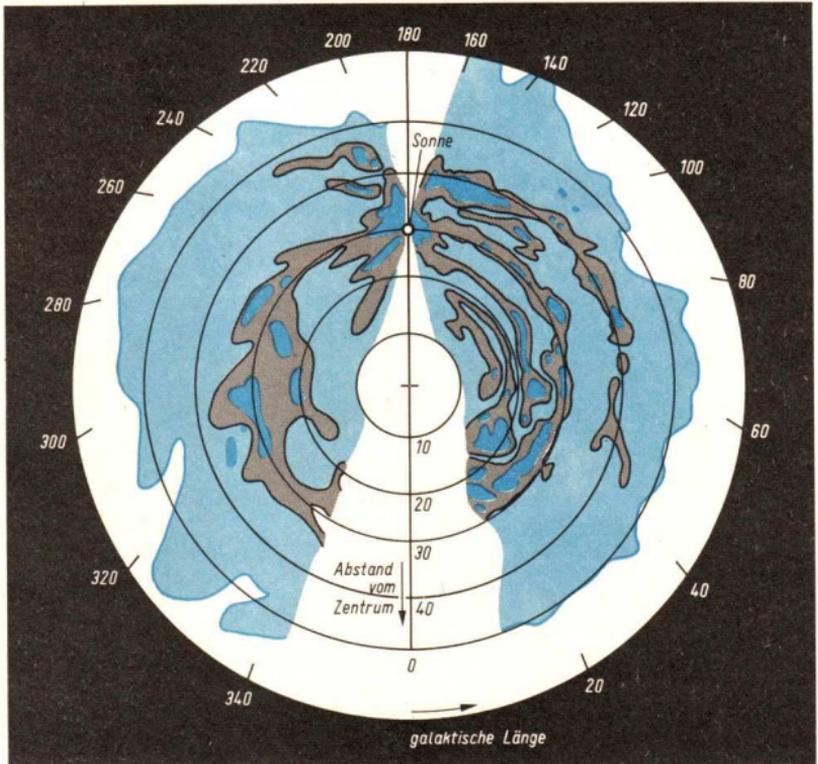


Bild 93/2 Verteilung des neutralen Wasserstoffs in unserer Galaxis aus Beobachtungen der 21-cm-Linie

mittelt (Bild 93/2). Die Ergebnisse bestätigen und ergänzen die aus optischen Beobachtungen erhaltenen Kenntnisse über die Spiralstruktur der Galaxis. Sie zeigen, daß Prozesse und Strukturen im Weltall unserer Erkenntnis auch dann nicht verschlossen sind, wenn die Entfernungen weit über den Bereich der unmittelbaren Erfahrung hinausgehen.

Die Sonne befindet sich nahe der Mittelebene der galaktischen Scheibe etwa 10 kpc vom Zentrum entfernt (↗ Aufgabe 43).

► Sternsysteme außerhalb der Galaxis werden extragalaktische Systeme oder Galaxien genannt (Bilder 89/2, 94/1 und 95/1).

Sie haben zum Teil sehr ähnliche Struktur wie unser Milchstraßensystem (↗ Aufgabe 44).

Himmelsaufnahmen mit großen Fernrohren zeigen, daß die großräumige Verteilung der Galaxien ziemlich gleichmäßig ist, obwohl viele in *Galaxienhaufen* (Bild 95/2) vereinigt sind (↗ Aufgabe 45).

Die kosmischen Stoffe und Systeme treten in der Galaxis in mannigfaltigen Erscheinungsformen auf. Wegen der großen Entfernungen lassen sich in Galaxien nur Objekte und Systeme mit hoher Leuchtkraft feststellen.

Gefunden wurden *sehr helle Einzelsterne, offene Sternhaufen und Kugelsternhaufen, Emissionsnebel und Dunkelwolken.*

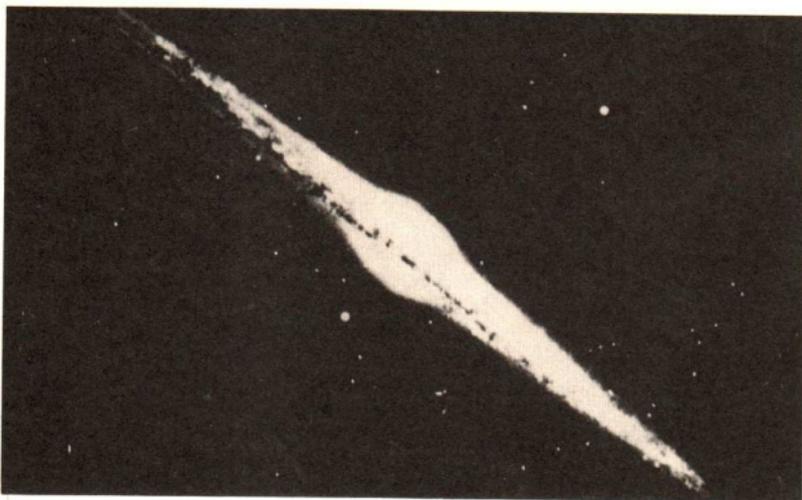


Bild 94/1 Von der Kante gesehener Spiralnebel

In manchen Galaxien spielen sich Prozesse ab, die zur Erzeugung und Ausstrahlung gewaltiger Energiebeträge führen. Diese Prozesse treten wahrscheinlich nur in einem bestimmten Entwicklungsstadium von Galaxien auf. Die erst 1960 entdeckten *Quasare* zeichnen sich durch ungewöhnlich starke Radiostrahlung aus. Wegen sehr großer Entfernung sehen sie auf Himmelsaufnahmen wie schwache Sterne aus.

Der Abstand der entferntesten zur Zeit beobachtbaren Sternsysteme ist so groß, daß das Licht für den Weg zu uns etwa 10^{10} Jahre braucht. Damit ist gleichzeitig die Größe des Teils des Weltalls, der mit den größten zur Zeit benutzten Instrumenten erforscht werden kann, charakterisiert. Mit fortschreitendem Entwicklungsstand der Beobachtungstechnik und -instrumente wird in der Zukunft die Grenze der Erforschbarkeit dauernd weiter hinausgeschoben werden. Das Weltall ist unbegrenzt. Wegen der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts ist der Blick in die Tiefe des Weltalls zugleich ein Blick in ferne Vergangenheit.



Bild 95/1 Andromedanebel mit Begleitern

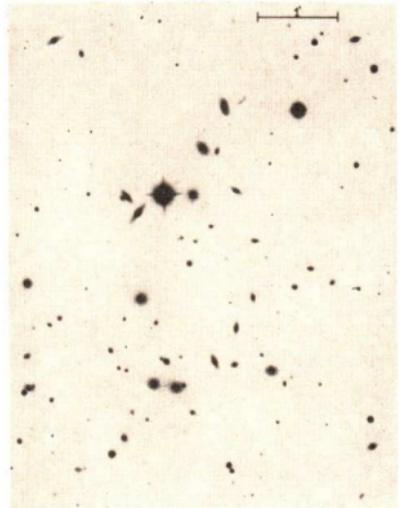


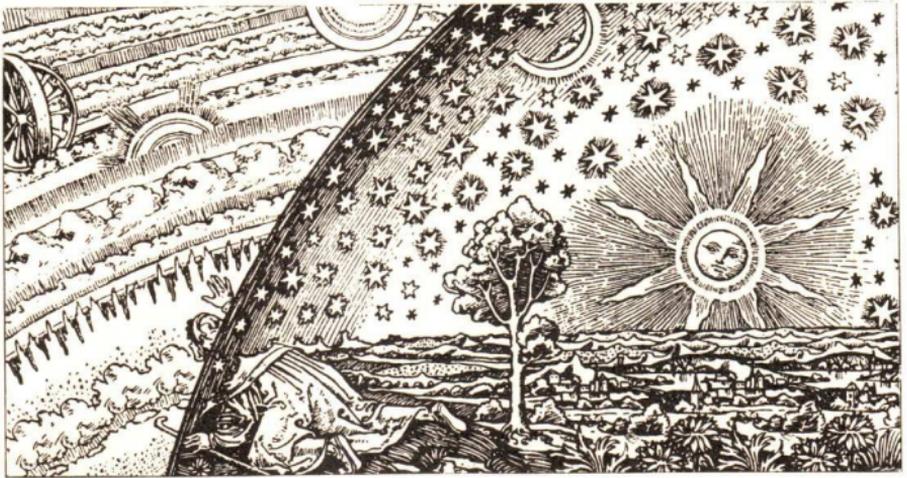
Bild 95/2 Galaxienhaufen

Zusammenfassung. Große Sternsysteme wie unsere Galaxis enthalten außer vielen Sternen auch Gas- und Staubwolken, aus denen nach heutigen Vorstellungen weitere Sterne durch Kontraktion entstehen. Interstellare Wolken können je nach ihrer zufälligen Lage zu Sternen als helle oder dunkle „Nebel“ sichtbar oder durch ihre Radiostrahlung nachgewiesen werden. Die Masse der Galaxis ist vorwiegend konzentriert im zentralen Kern und in einer flachen Scheibe mit Spiralarmen, die einen Durchmesser von rund 25 kpc hat und von einem Halo aus Kugelsternhaufen und Einzelsternen umgeben ist. Die Sonne befindet sich in der Scheibe, etwa 10 kpc vom Zentrum entfernt.

Außerhalb der Galaxis gibt es sehr viele Sternsysteme von ähnlicher Größenordnung und teilweise auch ähnlicher Struktur wie die Galaxis. Sie werden extragalaktische Systeme oder Galaxien genannt. Manche Galaxien, vor allem die Quasare, sind in einem Entwicklungsstadium zu beobachten, in dem sie so gewaltige Energiebeträge abstrahlen, daß sie noch in sehr großen Entfernungen gefunden werden können.

Fragen, Aufträge
Seite 109, Nr. 39 bis 45

ZUSAMMENFASSENDER ÜBERBLICK



Unser Wissen über das Weltall ist nicht etwas Fertiges und Unveränderliches, sondern es entwickelt sich. Im Laufe der Menschheitsgeschichte drang die astronomische Wissenschaft immer tiefer in das Wesen der im Weltall beobachteten Erscheinungen und Vorgänge ein. Diese Entwicklung beweist, daß die kosmischen Objekte der menschlichen Erkenntnis zugänglich sind.

Wichtige Entwicklungsetappen der astronomischen Wissenschaft

Die astronomische Wissenschaft entwickelte sich in Abhängigkeit von der Gesellschaftsordnung, von den Leistungen der zur Verfügung stehenden Instrumente und Geräte sowie von den verbesserten Forschungsmethoden. Im Altertum versuchten die Astronomen, die sich dem Auge darbietenden Vorgänge am Sternhimmel zu beschreiben, bezogen auf den irdischen Standort. Kopernikus leitete im 16. Jahrhundert mit dem Übergang vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltssystem eine neue Etappe dieser Entwicklung ein. Er kam zu ersten Einsichten in die naturgesetzliche Einheit von Erde und Kosmos (↗ Seite 57). Kepler schuf mit der Auffindung der Planetengesetze die Grundlagen für eine theoretische Astronomie (↗ Seiten 44 und 58). Newton drang mit seinem Gravitationsgesetz in das Wesen der Planetenbewegungen ein (↗ Seiten 44 und 59). Er begründete die theoretische Astronomie. Die

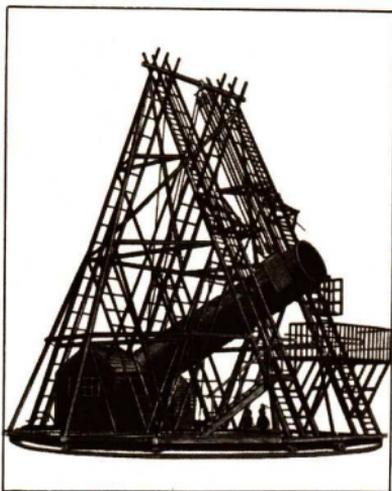


Bild 98/1 Herschels großes Spiegelteleskop von 1811

Erfindung des Fernrohrs und sein Einsatz in der astronomischen Forschung (Galilei 1609) eröffneten neue Möglichkeiten für die Beobachtung kosmischer Gebilde. Es begann die Erforschung der Natur der Körper des Planetensystems; die Zahl der beobachtbaren Sterne erhöhte sich. Die Entwicklung der materiellen Produktion stellte der astronomischen Wissenschaft immer bessere Fernrohre, Uhren und Meßvorrichtungen zur Verfügung. Die Genauigkeit der Beobachtungen, Zeitbestimmung und Messungen wuchs ständig. Damit wurden auch praktische Forderungen der Gesellschaft verwirklicht.

Durch diese Entwicklung erhielt die Erforschung der Sternenwelt starken Auftrieb. Es erschienen neue, verbesserte Sternkataloge.

Der Astronom W. Herschel (Bild 59/2) begann mit der Zählung aller Sterne, die er im Gesichtsfeld seines selbstgebauten Spiegelteleskops (Bild 98/1) erkennen konnte.

Herschel beschrieb erstmalig den Bau des Milchstraßensystems (Bild 99/1).

Er kam zu der Überzeugung, daß die Sterne in einem abgeflachten, linsenförmigen System angeordnet sind, in dessen Zentrum sich unser Sonnensystem befindet. Für das Ausmaß des Milchstraßensystems nahm er zu kleine Werte an.

Um die gleiche Zeit konnten Gestirnsörter mit großer Genauigkeit bestimmt werden (↗ Seite 74).

1838 bestimmte F. W. Bessel (1784 bis 1846) die erste Sternparallaxe und gab die Entfernung des Sternes 61 Cygni an. Damit konnte nicht nur der durch Entfernungs-

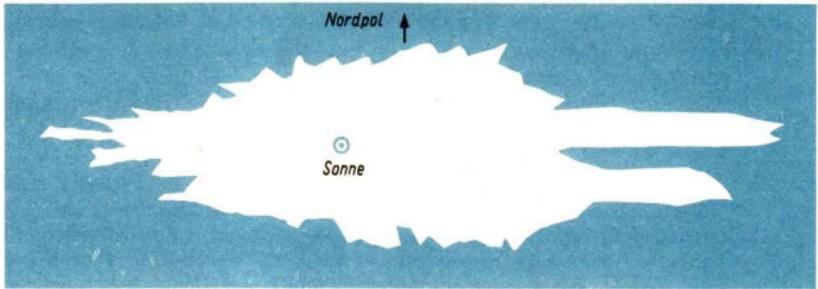


Bild 99/1 Herschels Modell des Milchstraßensystems

messungen erfaßte Raum über das Planetensystem hinaus erweitert werden, sondern es wurde die parallaktische Bewegung nachgewiesen, die die Sterne wegen des Umlaufs der Erde um die Sonne zeigen müssen. Auf diese parallaktische Bewegung hatte schon Kopernikus hingewiesen, als Beweis für die Richtigkeit seines Systems.

Die Entfaltung der Beobachtungstechnik und die rasche Entwicklung der Physik in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eröffneten neue Möglichkeiten zur Erforschung des Weltalls.

1814 hatte J. Fraunhofer (1787 bis 1826) über 500 Linien im Sonnenspektrum vermessen. Diese Linien wurden von R. Kirchhoff (1824 bis 1887) und R. W. Bunsen (1822 bis 1899) mit Laboratoriumsspektren irdischer Stoffe verglichen und gedeutet (↗ Seite 69).

Diese Entdeckung bildete die Grundlage für die Entstehung der **Astro-physik**, welche gegenwärtig das Hauptarbeitsfeld der Astronomie ist. In der folgenden Zeit wurden außer der Richtung des Sternlichtes auch das Spektrum der Sterne, Helligkeit und Farbe in die Messung ein-



Bild 99/2 Joseph Fraunhofer bei der Vorführung des Spektrometers in seiner Werkstatt

bezogen. Die Informationen über das Weltall wuchsen sprunghaft an. Es begann die Untersuchung des physikalischen Zustandes und der chemischen Zusammensetzung der Himmelskörper. Die Einführung der *Himmelsphotographie* war von weittragender Bedeutung für alle Zweige der Astronomie.

Durch die photographische Arbeitsweise wurden der Beobachtung lichtschwache Objekte zugänglich und Beobachtungsfehler vermindert. Die photographische Himmelsbeobachtung entwickelte sich zu einer der wichtigsten Arbeitsmethoden der astronomischen Forschung. Sie ersetzt in steigendem Maße die visuelle Beobachtung (Bild 100/1). Zur Herstellung und Auswertung von Himmelsphotographien werden immer bessere Methoden und Geräte entwickelt.

Die Vereinigung astronomischer und physikalischer Erkenntnisse und die verbesserten technischen Hilfsmittel trugen entscheidend dazu bei, das Wissen über das Weltall zu vertiefen und zu festigen (↗ Aufgabe 46). Am Anfang des 20. Jahrhunderts ordneten E. Hertzsprung und H. N. Russell die Sterne nach ihren Spektralklassen und absoluten Helligkeiten in ein Diagramm. Sie leiteten aus den Beziehungen verschiedener Zustandsgrößen der Sterne wichtige Schlüsse zur Physik der Sterne ab (↗ Seite 79).

Gleichzeitig begannen auch theoretische Untersuchungen über das Sterninnere. Zu dieser Betrachtungsweise trugen die entscheidenden Fortschritte der Physik, besonders der Atom- und Quantenphysik bei.

Die bekannten Gesetze der Physik bilden die Grundlage für eine Theorie des Sternaufbaus. Sie wurde durch H. Helmholtz (1821 bis 1894), K. Schwarzschild (1873 bis 1916) und A. S. Eddington (1882 bis 1944) vorangetrieben. 1938 entdeckten H. A. Bethe und C. F. von Weizsäcker die kernphysikalischen Prozesse, die zur Energieerzeugung im Sterninneren führen.

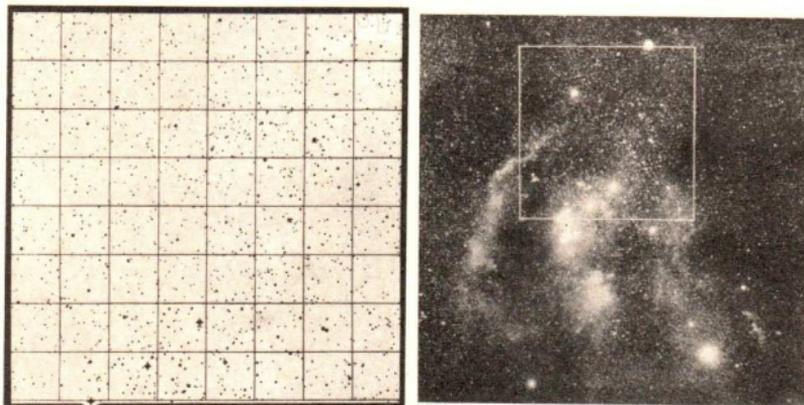


Bild 100/1 Vergleich einer gezeichneten Sternkarte mit einer photographischen Himmelsaufnahme. Das eingezeichnete Quadrat auf Bild 100/1b umgrenzt das Gebiet der Sternkarte von Bild 100/1a

Die Astrophysik beschäftigt sich vor allem mit der Berechnung von Sternmodellen und untersucht die Sternentwicklung (↗ Seite 85).

Eine besondere Bedeutung hat die Erforschung der Sternentstehung (↗ Seite 90). Dabei erwarb sich der sowjetische Astrophysiker W. A. Ambarzumjan zahlreiche Verdienste. Im Zusammenhang mit den Untersuchungen über die Sternentstehung bilden sich auch neue Hypothesen über die Entstehung von Planetensystemen heraus.

Die Erforschung des Milchstraßensystems wurde nach Herschel mit noch besseren Arbeitsmethoden intensiv fortgesetzt. Sie erbrachte genauere Kenntnisse über die Ausdehnung der Galaxis, über die Verteilung der Sterne und ihre Bewegungsverhältnisse im Milchstraßensystem.

Der Bau mächtiger Spiegelteleskope und die Einführung lichtelektrischer Methoden in der Helligkeitsmessung führten zu neuen Resultaten bei der Beobachtung ferner kosmischer Objekte. Die als Spiralnebel bezeichneten Gebilde, die man früher zum Milchstraßensystem zählte, wurden als ferne Sternsysteme erkannt. Unsere Vorstellungen über die Vielzahl kosmischer Systeme und über die räumlichen Ausmaße des Weltalls erweitern sich ständig.

(↗ Aufgabe 47)

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde nachgewiesen, daß der Raum zwischen den Sternen nicht leer ist, sondern in ihm Staub und interstellares Gas enthalten sind (↗ Seite 89). Die Entwicklung von radioastronomischen Instrumenten ermöglichte 1932 erstmalig, kosmische *Radiofrequenzstrahlung* zu empfangen (Radioteleskope ↗ S. 89). Der Astronomie wurden neue Möglichkeiten erschlossen, Strahlung von weit entfernten Teilen des Milchstraßensystems zu untersuchen.

Die Beobachtungen der Radioastronomie führten zu neuen Resultaten über die Zustände interstellarer Wolken und über die Struktur des Milchstraßensystems. Außerdem wurden bisher unbekannte kosmische Objekte, z. B. die Quasare, entdeckt (↗ Seite 95). Die Ergebnisse der wissenschaftlich-technischen Revolution wirken sich auch auf das Studium kosmischer Objekte aus.

Der Beginn der *Raumfahrt* leitete mit dem Start des ersten künstlichen Erdsatelliten durch die Sowjetunion am 4. 10. 1957 eine neue Qualität astronomischer Forschungsmethoden ein. Raumflugkörper führen direkte Untersuchungen auf benachbarten Himmelskörpern durch, erforschen den interplanetaren Raum und erweitern die Kenntnisse über den Planeten Erde. Astronomische Beobachtungen außerhalb der störenden Erdatmosphäre werden möglich.

Auch andere Wissenschaften sammeln mit Hilfe der Raumfahrt neue Erkenntnisse. Die Biologie kann Lebensbedingungen auf fremden Planeten untersuchen. Physik und Chemie erhalten die Möglichkeit des Experiments im Vakuum. Die Raumfahrt beeinflußt wesentlich die wissenschaftlich-technische Entwicklung auf unserem Planeten. Der Mensch

dehnt seine Produktionssphäre auf den erdnahen Raum aus. Diese Tatsache hat große Bedeutung für die Verantwortung der menschlichen Gesellschaft bei der friedlichen Nutzung des Weltraums. Nur unter den Bedingungen sozialistischer Produktionsverhältnisse sind dazu die notwendigen Voraussetzungen gegeben.
(↗ Aufgabe 48)

Unsere Vorstellungen vom Weltall

Der den größten astronomischen Instrumenten gegenwärtig zugängliche Teil des Weltalls hat einen Radius von etwa $3 \cdot 10^9$ pc. Er enthält viele kosmische Objekte, zwischen denen außerordentlich große Entfernungen bestehen. Die Objekte sind gruppenweise in verschiedene Systeme geordnet, deren einzelne Glieder hauptsächlich durch die Gravitation verbunden werden. Die Sonne und die Gesamtheit der Körper, die sie umkreisen, bilden das *Sonnensystem*. In ihm gibt es zahlreiche Untersysteme. Die verschiedenartigsten Objekte weisen Gemeinsamkeiten und Unterschiede auf (↗ Seite 52).

Es ist wahrscheinlich, daß bei zahlreichen Sternen Planetensysteme existieren.

Lebende Organismen können sich sicher auf allen Himmelskörpern entwickeln, wo die natürlichen Bedingungen gegeben sind. Die *Entstehung des Lebens* hängt vor allem von den dazu erforderlichen Temperaturen, der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre und dem Vorhandensein von Wasser ab.

An diesen Merkmalen prüft die Wissenschaft, ob auf den bekannten Planeten Leben existieren kann.

Wahrscheinlich ist die Erde der einzige Himmelskörper unseres Planetensystems mit hoch organisierten Lebewesen. Ob andere Sterne von Planeten umkreist werden, auf denen die Bedingungen für die Entwicklung lebender Organismen günstig sind, hängt von deren Entwicklungsstufe und wesentlich von der Dauer ihrer Entwicklung ab.

Unser *Sonnensystem* ist Teil eines übergeordneten Systems, der *Galaxis* (↗ Seite 92).

Im Gegensatz zum Planetensystem besitzt die Galaxis keinen Zentralkörper, dessen Wirkung die Bewegungen innerhalb des Systems beherrscht. Das Gravitationsfeld wird durch die Gesamtmasse der Objekte des Milchstraßensystems bestimmt. Unsere Galaxis ist den etwa 100 Milliarden Sternsystemen ähnlich, die wir als *extragalaktische Systeme* im überschaubaren Teil des Weltalls beobachten können. Die beobachteten Sternsysteme sind weitgehend gleichmäßig verteilt, doch kommen auch Anhäufungen vor (↗ Seite 95).

Die Gesamtheit der Beobachtung zugänglichen Sternsysteme wird Metagalaxis genannt.

Der mit modernen Instrumenten überschaubare Raum ist nur ein Teil des Weltalls. Die Beobachtungsgrenze wird vor allem durch die Leistungsfähigkeit der Forschungsmittel bestimmt (Tabelle 16).

Je weiter die Objekte von uns entfernt sind, um so weniger Einzelheiten sind der Untersuchung zugänglich, um so schwieriger wird ihre Erforschung.

▶ Beobachtungstatsachen der Metagalaxis zeigen, daß im Weltall viele Sternsysteme mit mannigfaltigen Erscheinungsformen existieren. Die Objekte weisen Gemeinsamkeiten und Unterschiede auf.

Das Wirken des *Gravitationsgesetzes* im beobachtbaren Weltall führt zu der Schlußfolgerung, daß dieses Gesetz im zugänglichen Kosmos allgemein gültig ist.

Aus dem Studium der Struktur der Sterne kann die Wissenschaft mit Hilfe bekannter physikalischer Gesetze Bedingungen für die *Entstehung* und *Entwicklung* der Himmelskörper ableiten.

Die Entstehung und Entwicklung der Sterne ist eng mit dem Aufbau schwerer Elemente verflochten. Alle bisherigen Forschungsergebnisse führen zu der Erkenntnis, daß die gegenwärtig beobachtbaren kosmischen Objekte nicht ewig und unveränderlich sind. Jedes Objekt hat seine Geschichte. Alle Beobachtungstatsachen und wissenschaftlichen Überlegungen lassen darauf schließen, daß es keine Zeit gab, in der das Weltall nicht existierte.

▶ Das Universum hat weder einen Anfang noch ein Ende in der Zeit. In ihm vollziehen sich nach Naturgesetzen Entwicklungsprozesse, wodurch ständig neue Erscheinungsformen entstehen.

* Die heutigen Kenntnisse über den Zustand und die Vorgänge im Weltall sind das Ergebnis eines langen historischen Prozesses (Tabelle 17).

Gegenwärtig bearbeitet die Astronomie in enger Zusammenarbeit mit der Physik viele Aufgaben. Dazu gehören die Erforschung der Oberflächen und des physikalischen Zustandes der benachbarten Himmelskörper, die Untersuchung der Physik der Sterne, der Eigenschaften interstellarer Wolken und die Erkundung der Entstehung und Entwicklung der Sterne. Sehr intensiv befaßt sich die astronomische Wissenschaft mit dem Studium der Merkmale von Sternsystemen, mit der Struktur, der physikalischen Beschaffenheit und der Entstehung von Galaxien. Eine besondere Bedeutung hat die Erforschung bisher unbekannter Formen kosmischer Objekte.

Die astronomische Wissenschaft sucht für dabei auftretende ungelöste Probleme Lösungswege. Bereits gewonnene Erkenntnisse bilden eine notwendige Voraussetzung für die zukünftige Forschung. Die Gewinnung weiterer Erkenntnisse über das Weltall stellt gleichzeitig neue Fragen an die Wissenschaft, die zu beantworten sind. *

► In einem unaufhörlichen Prozeß führt die astronomische Forschung zu immer umfangreicheren und tieferen Einsichten in den Aufbau, die Struktur und die Entwicklung der Systeme im Universum.

Fragen, Aufträge
Seite 109, Nr. 46 bis 48

AUFGABEN



FRAGEN, AUFTRÄGE

Das Planetensystem

Einführung (Seite 5 bis 10)

1. Welche gesellschaftlichen Ursachen führten zur Entstehung und Entwicklung der Astronomie?
2. Nennen Sie Ursachen, die zur Entstehung der Astrologie führten!
Erläutern Sie die Rolle der Astrologie in der antagonistischen Klassengesellschaft!
3. Errechnen Sie die Vergrößerung N für Fernrohre, deren Objektivbrennweiten $f_0 = 540$ mm (840 mm und 2 250 mm) betragen, wenn dafür Okulare mit folgender Brennweite zur Verfügung stehen: $f_1 = 25$ mm, $f_2 = 16$ mm, $f_3 = 10$ mm und $f_4 = 6$ mm.
4. Belegen Sie an zwei Beispielen den Zusammenhang von Astronomie und Produktion!

Die Erde als Himmelskörper (Seiten 12 bis 27)

5. Errichten Sie einen senkrechten Schattenstab auf einem horizontalen Tisch und bestimmen Sie durch Beobachtungen
 - die Lage des Meridians,
 - die Mittagshöhe der Sonne,
 - in stündlichen Abständen Höhe und Azimut der Sonne!Wiederholen Sie die Beobachtungsreihe nach 8 Wochen!
6. Messen Sie mit dem Pendelquadranten die Höhe des Polarsterns! Vergleichen Sie den Meßwert mit der geographischen Breite Ihres Schulortes!
7. Messen Sie die Höhe eines hellen Sterns mehrmals an einem Abend in stündlichen Abständen und werten Sie die Messung aus!
8. Beschreiben Sie die scheinbare tägliche Bahn eines Gestirns
 - am Himmelsäquator,
 - am Himmelspol,
 - an einem Ort zwischen Pol und Äquator!
9. Fertigen Sie eine Sternstrichspuraufnahme der Polgegend an!
10. Führen Sie mit der drehbaren Sternkarte folgende Übungen aus:
 1. Verfolgen Sie durch Drehung der Schablone Ihrer Sternkarte, wie sich am 1./2. Dezember zwischen 16° und 6° die Koordinaten h und a des Sterns Aldebaran im Stier verhalten. Schreiben Sie die abgelesenen Werte für jede volle Stunde auf, fertigen Sie eine graphische Darstellung dazu an!
11. Entnehmen Sie der Sternkarte Rektaszension α und Deklination δ für die Sterne Wega, Deneb, Atair, Sirius und Aldebaran und vergleichen Sie die erhaltenen Werte mit denen der Tabelle 9 im Anhang!
12. Verfolgen Sie auf der drehbaren Sternkarte die scheinbare tägliche Bahn des Sterns Kapella im Sternbild Fuhrmann über 24 Stunden!
13. Nennen Sie einige Zirkumpolarsterne!

Zu den Aufgaben mit einer farbigen Zahl sind auf den Seiten 140 und 141 die Lösungen angegeben.

Der Erdmond (Seiten 28 bis 39)

14. Berechnen Sie die Oberflächenentfernung zwischen Erde und Mond für eine Laufzeit des Radioechos (vom Aussenden bis zum Empfang) von 2,51 s!
15. Beobachten Sie die Örter des Mondes vom 2. oder 3. Tag nach Neumond bis zum Vollmond an verschiedenen Tagen zur gleichen Uhrzeit! Zeichnen Sie die Örter in die Arbeitskarte Tierkreiszone ein!
 - a) Legen Sie durch die eingetragenen Örter eine mittlere Kurve und geben Sie an, weshalb diese Kurve nicht mit der Ekliptik übereinstimmt!
 - b) Zeichnen Sie in die Karte die beobachtete Phasengestalt des Mondes an jedem Tag über den jeweiligen Standort!
 - c) Messen Sie auf der Karte die täglichen Ortsveränderungen des Mondes und geben Sie an, in welcher Richtung der Mond die Erde umläuft!
16. Messen Sie mit Hilfe des Lineals in 57,3 cm Augenabstand (Schnur) den scheinbaren Durchmesser des Mondes (Mittel aus fünf Messungen)! Berechnen Sie mit Hilfe des Ergebnisses und aus bekannter mittlerer Mondentfernung den wahren Durchmesser des Mondes!
17. Die Entweichgeschwindigkeit vom Mond beträgt 2,4 km/s. Wie groß ist die Entweichgeschwindigkeit von der Erde? (↗ Tabelle 6) Begründen Sie den Unterschied!
18. Warum planen Astronomen und andere Wissenschaftler, Laboratorien auf dem Mond zu errichten?

Das Planetensystem (Seiten 40 bis 54)

19. Wenden Sie das 3. Keplersche Gesetz zur Prüfung von Angaben der Tabelle 5 an! Wählen Sie die Erde als einen der beiden Planeten und berechnen Sie die große Halbachse a der Bahn eines anderen Planeten zur angegebenen Umlaufzeit t_{sid} !
20. Wie groß wäre die Umlaufzeit t eines Planeten, wenn die große Halbachse a seiner Bahn die Größe von 100 AE hätte?
21. Die Jahreszeiten auf der Nordhalbkugel der Erde haben folgende Dauer: Frühling 92 d 19 h, Sommer 93 d 15 h, Herbst 89 d 19 h, Winter 89 d 0 h. Erklären Sie die unterschiedliche Dauer mit dem 2. Keplerschen Gesetz! Beachten Sie dabei, daß die größte Sonnennähe etwa am 2. Januar, die größte Sonnenferne etwa am 5. Juli von der Erde durchlaufen werden.
22. Vergleichen Sie die Planeten Merkur bis Neptun in bezug auf Radius, Masse und mittlere Dichte (Tabelle 6)! Sie werden zwei Gruppen von Planeten finden, und zwar erdähnliche und jupiterähnliche. Nennen Sie die Mitglieder jeder Gruppe und stellen Sie durch Vergleich der großen Bahnhalbachsen (Tabelle 5) fest, ob die Gruppen auch in der räumlichen Anordnung zu erkennen sind!
23. Prüfen Sie aus Angaben der Tabelle 6, ob ein Zusammenhang zwischen Rotationsgeschwindigkeit und Abplattung besteht!
24. Erklären Sie mit Hilfe des 2. Keplerschen Gesetzes, warum Kometen, deren Bahnen in Sonnennähe ähnlich verlaufen, stark verschiedene Umlaufzeiten haben können!
25. Überlegen Sie nach den Zahlenwerten in der letzten Spalte der Tabelle 6, von welchen Planeten ein Raumschiff mit geringerem Aufwand an Treibstoff starten kann als von der Erde (ohne Berücksichtigung der Atmosphäre)!

Vorstellungen über das Planetensystem (Seiten 55 bis 60)

26. Wodurch ist das geozentrische Weltsystem des Ptolemäus gekennzeichnet? Wie ist seine Entstehung historisch zu erklären?
27. Warum leiteten die Erkenntnisse des Kopernikus eine revolutionäre Wende in der Entwicklung der Wissenschaft ein?
28. Welche Entdeckungen und Erkenntnisse bestätigen das heliozentrische Weltsystem?

Astrophysik und Stellarastronomie

Die Sonne (Seiten 62 bis 71)

29. Berechnen Sie die Leuchtkraft der Sonne! Verwenden Sie dazu die folgenden Werte:
 Solarkonstante..... $S = 1,374 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$
 Entfernung Erde–Sonne $r = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$
30. Wie lange sind Protonen aus der Teilchenstrahlung der Sonne zur Erde unterwegs, wenn ihre Geschwindigkeit $1\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ beträgt?
31. Berechnen Sie die mittlere Dichte der Sonne und vergleichen Sie das Ergebnis mit der mittleren Dichte der Erde ($\rho_E = 5,5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)! (Hinweis: Berechnen Sie zunächst aus dem Radius das Volumen der Sonne!)
32. Nach Einstein entsteht bei der Energiefreisetzung ein Masseverlust (Massendefekt) m ; es gilt die Gleichung $W = m \cdot c^2$. W ist dabei die frei werdende Energie, c die Lichtgeschwindigkeit. Jährlich strahlt die Sonne eine Energie von $3,4 \cdot 10^{27} \text{ kWh} = 1,2 \cdot 10^{34} \text{ Nm}$ ab. Berechnen Sie den jährlichen Masseverlust
 a) in kg,
 b) in % der Sonnenmasse!

Die Sterne (Seiten 72 bis 87)

33. Untersuchen Sie den Zusammenhang zwischen Temperatur, Farbe des Sternlichtes und Anzahl der Absorptionslinien!
34. Zeichnen Sie das Hertzsprung-Russell-Diagramm für die in Tabelle 13 (Anhang) enthaltenen Sterne der Sonnenumgebung! Welcher Leuchtkraftklasse gehören sie an?
35. Zeichnen Sie in ein Hertzsprung-Russell-Diagramm die folgenden Sterne ein! Vergleichen Sie Temperatur, Leuchtkraft, Radius und mittlere Dichte mit den entsprechenden Werten für die Sonne!

Stern	Sternbild	Spektralklasse	absolute Helligkeit	Stern	Sternbild	Spektralklasse	absolute Helligkeit
Spica	Jungfrau	B 2	$-2^m,8$	Sirius	Gr.Hund	A 1	+ 1,4
Wega	Leier	A 0	+ 0,5	Atair	Adler	A 7	+ 2,2
Prokyon	Kl. Hund	F 5	+ 2,6	Arktur	Bootes	K 2	- 0,2

36. Ein Helligkeitsunterschied von einer Größenklasse bedeutet ein Intensitätsverhältnis von 1 : 2,5. Wievielfach so hell ist die Sonne (-26^m9) wie der Stern Kapella im Sternbild Fuhrmann ($+0^m1$)?
37. Der Radius des Sterns Beteigeuze (im Sternbild Orion) beträgt 350 Sonnenradien. Vergleichen Sie diese Ausdehnung mit den Entfernungen in unserem Sonnensystem!
38. Sirius bildet mit einem weißen Zwergstern (Sirius B) ein Doppelsternsystem. Für Sirius B wurde ein Radius von nur 0,02 Sonnenradien ermittelt; seine Masse beträgt 1,08 Sonnenmassen. Wie groß ist seine mittlere Dichte?

Die Galaxis und extragalaktische Systeme (Seiten 88 bis 96)

39. Stellen Sie die verschiedenen Erscheinungsformen der interstellaren Stoffe übersichtlich zusammen!
40. Suchen Sie in Bild 72/1 Dunkelwolken und helle Nebel auf!
41. Überlegen Sie zu den in Bild 90/1 skizzierten Fällen, ob die Dunkelwolke durch ihr benachbarte Sterne nachweisbar ist!
42. Suchen Sie in der Farbtabelle „Spektralkarte im Gebiet des Sternbildes Orion“ diejenigen Sterne im Sternbild Orion auf, die der Orion-Assoziation angehören!
43. Tragen Sie in Bild 92/1 den Ort der Sonne ein! Überlegen Sie, ob durch die interstellaren Wolken die optische Untersuchung a) des galaktischen Zentrums, b) der Kugelsternhaufen stark behindert wird! Beachten Sie, daß die Schwächung des Lichts mit der Länge des Lichtwegs durch den Bereich der Wolken wächst!
44. Zeigen Sie durch Vergleichen der Bilder 89/2, 94/1 und 95/1, daß die Erkennbarkeit a) der Spiralstruktur, b) der Lichtschwächung durch interstellaren Staub von dem Winkel abhängt, unter dem wir auf die Scheibe des Sternsystems sehen! Vergleichen Sie diese Bilder mit den Bildern 92/1 und 93/2! Beachten Sie bei Bild 95/1 die Unterschiede zwischen dem Andromedanebel und seinen beiden Begleitern in Größe und Struktur!
45. Vergleichen Sie einen Galaxienhaufen (Bild 95/2) mit Sternhaufen in der Galaxis (Bilder 92/2 und 88/1)!

Zusammenfassender Überblick (Seiten 97 bis 104)

46. Beweisen Sie an der Entwicklung der Astrophysik, daß die Vereinigung astronomischer und physikalischer Erkenntnisse unser Wissen über das Weltall wesentlich vertieft und erweiterte!
47. Zeigen Sie an zwei Beispielen, daß das Wissen über das Universum sich in Abhängigkeit von der Entwicklung der menschlichen Gesellschaft ständig vertieft und erweitert!
48. Begründen Sie, warum die Raumfahrt eine neue Stufe in der Entwicklung der astronomischen Forschung einleitete!

BEOBACHTUNGEN

Die drehbare Sternkarte

Ein wichtiges Hilfsmittel für die *Orientierung am Sternhimmel* ist die *drehbare Sternkarte*. Sie ermöglicht, die Stellung der Sternbilder am Himmel für einen beliebigen Tag im Jahr und für eine beliebige Uhrzeit festzustellen.

Allerdings ist es nicht möglich, den Sternhimmel so, wie er in der Natur erscheint, also auf einer Hohlkugel, darzustellen. Die durch die Übertragung auf eine ebene

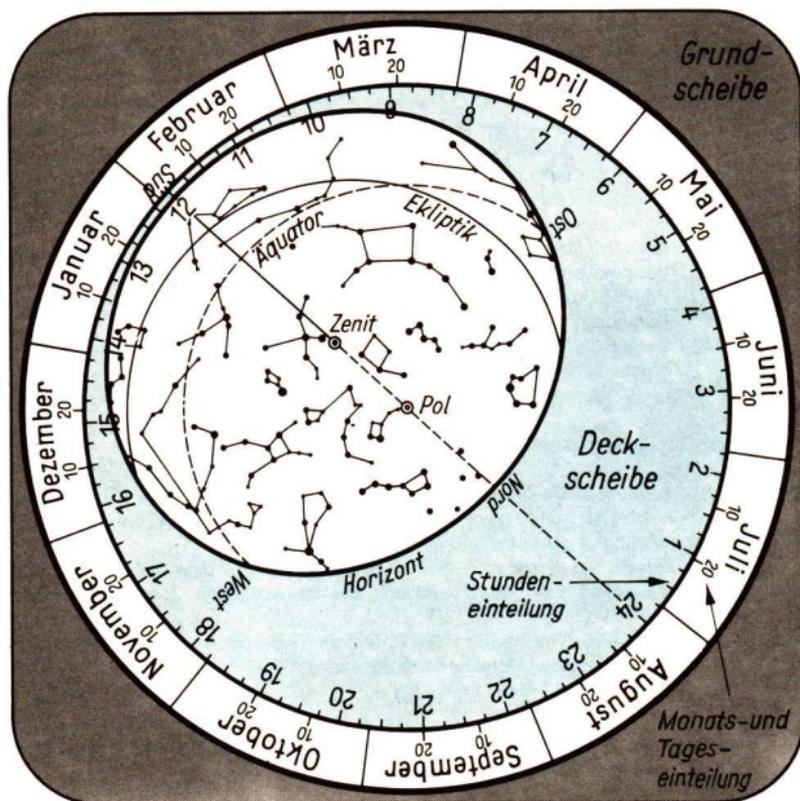


Bild 110/1 Drehbare Sternkarte

Karte entstehenden Verzerrungen der Sternbilder müssen in Kauf genommen werden.

Strenggenommen gilt eine drehbare Sternkarte nur für den Beobachtungsort, für den sie berechnet ist. Man kann aber z. B. eine für Berlin konstruierte drehbare Sternkarte mit ausreichender Genauigkeit im ganzen Gebiet der DDR verwenden.

Die drehbare Sternkarte besteht aus zwei Teilen (Bild 110/1):

1. Grundscheibe

Die Grundscheibe trägt das Kartenbild des nördlichen Sternhimmels mit allen Sternbildern, die im Verlaufe eines Jahres über dem Horizont von Berlin ($52,5^\circ$ nördl. Breite) beobachtet werden können. Die unterschiedliche Helligkeit der Sterne ist dabei durch die unterschiedliche Größe der Sternscheibchen auf der Karte symbolisiert. Die Sternbilder sind in ein Koordinatennetz (Rektaszension und Deklination; rote Linien) eingezeichnet. Am Rande der Grundscheibe, noch unter der Deckscheibe, befindet sich die Rektaszensionsskala; die Skala für die Deklination ist auf den Stundenkreisen für 0^h und 12^h Rektaszension aufgetragen.

Diese Stundenkreise erscheinen auf der Karte als gerade Linien. Sie treffen im Drehpunkt, also im *Himmelsnordpol*, zusammen.

Die Grundscheibe enthält außerdem die Jahresbahn der Sonne (Ekliptik) als gelbe Linie.

Am Rande der Grundscheibe befindet sich eine Kalendereinteilung mit einem Teilstrichabstand von jeweils 5 Tagen.

2. Deckscheibe

Die zum gewählten Zeitpunkt sichtbaren Sternbilder erscheinen in dem ovalen Ausschnitt der Deckscheibe. Er wird also vom *Horizont* begrenzt; in der Mitte des Ovals, wo die schwarzen Vertikalkreise zusammenlaufen, befindet sich der *Zenit*.

Die ovale Gestalt des Horizonts und der Vertikalkreisbögen erklärt sich aus der erwähnten Verzerrung des Himmelsanblickes.

Am Horizont sind die Haupthimmelsrichtungen und – im Abstand von je 30° – die Azimute eingetragen. Im Innern des Ausschnitts befinden sich, als konzentrische Ovale um den Zenit, die Höhenkreise für $h = 30^\circ$ und $h = 60^\circ$.

Am Rande trägt die Deckscheibe eine Uhrzeitskala zum Einstellen der Beobachtungszeit. Ihr Teilstrichabstand beträgt 15 Minuten.

Anleitung zum Gebrauch der drehbaren Sternkarte

Aus der drehbaren Sternkarte läßt sich der Anblick des Sternhimmels für einen beliebigen Zeitpunkt entnehmen. Man kann aber auch die Auf- und Untergangszeiten der Sternbilder, die Stellungen der Sonne und des Mondes und – bei Kenntnis der Koordinaten – der Planeten am Sternhimmel damit bestimmen.

1. Der Anblick des Sternhimmels

Die beiden Scheiben sind zunächst so gegeneinander zu verstellen, daß sich die gewünschte Uhrzeit (Deckscheibe) mit dem betreffenden Datum (Grundscheibe) deckt.

Auf Bild 110/1 ist der Sternhimmel für 20. September, 21^h eingestellt. Man erkennt, daß die Sternbilder zu anderen Zeiten (z. B. am 1. November, 18^h 15^{min}) die gleiche Stellung einnehmen. Damit ist es sogar möglich, festzustellen, welche Sternbilder tagsüber am Himmel stehen. Auf Bild 110/1 gilt die gleiche Einstellung für 10. Februar, 11^h 30^{min}!

Man müßte nun eigentlich die Karte so über sich halten, daß die auf dem Kartenhorizont angegebenen Himmelsrichtungen mit denen in der Natur übereinstimmen. Diese Unbequemlichkeit läßt sich aber vermeiden. Der Beobachter hält die eingestellte Karte so vor sich, daß die Himmelsrichtung, in der die Sterne beobachtet werden sollen, zu ihm weist.

Der Drehpunkt der Deckscheibe bezeichnet den Himmelsnordpol. Man beginnt die Orientierung am besten am Nordhimmel, weil dort die leicht erkennbaren Sternbilder *Großer Bär* („Großer Wagen“) und *Kassiopeia* („Himmels-W“) während des ganzen Jahres zu sehen sind. Von da ausgehend lassen sich dann die übrigen Sternbilder leicht finden. Die Änderung des Himmelsanblicks im Laufe einer Nacht kann durch Weiterdrehen der Deckscheibe verfolgt werden.

2. Auf- und Untergangszeiten der Sterne

Die Deckscheibe der Sternkarte wird so eingestellt, daß der betreffende Stern gerade am Osthorizont (Aufgang) bzw. Westhorizont (Untergang) erscheint. Dann ist das gewünschte Datum auf der Kalendereinteilung aufzusuchen und festzustellen, mit welcher Uhrzeit es übereinstimmt.

- Der Stern Rigel im Orion geht am 20. Dezember um 4^h 45^{min} (morgens) unter und am gleichen Tage um 17^h 45^{min} (abends) auf. Er steht also die ganze Nacht über am Himmel.

Die ermittelten Zeiten sind Ortszeiten. Man kann aber den Unterschied zwischen Ortszeit und Mitteleuropäischer Zeit hier vernachlässigen, da ohnehin wegen der

kaum vermeidbaren Hindernisse (Bäume, Häuser, Horizontdunst) Sternbeobachtungen in unmittelbarer Horizontnähe nicht möglich sind. Bis zum Sichtbarwerden eines aufgehenden Sterns sind daher zu der ermittelten Zeit je nach Lage des Beobachtungsortes 15 bis 60 Minuten zu addieren.

Zirkumpolarsterne (z. B. Großer Bär, Kassiopeia) gehen nicht unter. Sie erreichen wegen ihres geringen Abstandes vom Himmelspol den Nordhorizont nicht. Eine vollständige Umdrehung der Deckscheibe macht das auch auf der drehbaren Sternkarte deutlich.

3. *Kulminationszeiten der Sterne*

Die Kulmination ist der Meridiandurchgang eines Sterns. Auf der drehbaren Sternkarte wird der Meridian durch die Linie wiedergegeben, die Nord- und Südpunkt des Horizonts miteinander verbindet. (Nördlich des Zenits ist sie gestrichelt.) Um die Kulminationszeit eines Sterns zu finden, dreht man die Deckscheibe so, daß die Meridianlinie den Stern schneidet, und liest am Rande der Karte die mit dem betreffenden Datum übereinstimmende Uhrzeit ab.

■ Der Stern Rigel im Orion kulminiert am 20. Dezember um 23^h 15^{min}.

4. *Die Stellung der Sonne am Sternhimmel*

Auf der gelb eingetragenen Ekliptik sind Zeitmarkierungen angebracht, die den Ort der Sonne für jeden Monatsersten angeben. Damit läßt sich auch für jeden anderen Tag feststellen, in welchem Sternbild sich die Sonne befindet.

5. *Die Stellung des Mondes*

Man entnimmt aus einem Kalender oder aus der Tageszeitung die Auf- oder Untergangszeit des Mondes, stellt sie für den betreffenden Tag an der Kalenderteilung der Grundscheibe ein und bestimmt den Schnittpunkt des Ost- bzw. Westhorizonts mit der Ekliptik. Der so gefundene Punkt ist der Mondort. Die Abweichung der Mondbahn von der Ekliptik kann in diesem Falle vernachlässigt werden.

■ Am 31. 12. 1969 ging der Mond um 11^h 16^{min} unter. Er stand zu dieser Zeit demnach zwischen den Sternbildern Jungfrau und Löwe.

6. *Die Stellungen der Planeten*

Um die Stellung eines Planeten am Himmel aufzufinden, ist die Kenntnis seiner Koordinaten (zumindest seiner Rektaszension) oder seiner Auf- bzw. Untergangszeit nötig. Im letzteren Falle wird das unter 5. beschrie-

bene Verfahren angewendet. Kennt man die Rektaszension des Planeten, so sucht man den Schnittpunkt des Stundenkreises (auf der Karte: vom Drehpunkt ausgehender roter Strahl; Rektaszensionskala am Rande der Grundscheibe) mit der Ekliptik. Dieser Schnittpunkt ist der Ort des Planeten.

Auch die Planeten entfernen sich nur wenig von der Ekliptik. Die geringen Abweichungen bleiben unberücksichtigt.

Die Rektaszension des Saturn betrug am 31. 12. 1969 $2^{\text{h}} 3^{\text{min}}$. Er stand zu dieser Zeit demnach in der Nähe des Sternbildes Widder und ging gegen $12^{\text{h}} 30^{\text{min}}$ auf und gegen $2^{\text{h}} 30^{\text{min}}$ unter.

Beobachtungsaufgaben

Zu allen Beobachtungsaufgaben ist ein sauberes Protokoll anzufertigen; wenn in der Beobachtungsstation keine Möglichkeit dazu gegeben ist, notiert man sich zumindest Stichworte und arbeitet das Protokoll zu Hause aus. Festzuhalten sind: die Uhrzeit der Beobachtung, die verwendeten Geräte und sonstigen Hilfsmittel, die Sichtverhältnisse (Luftunruhe, Bewölkung) und die wichtigsten Ergebnisse. Eine *abgeblendete* Taschenleuchte ist hierbei sehr nützlich.

Hauptpunkte und -linien am Himmel

A 1

Aufgabe

Suchen Sie den Polarstern auf und ermitteln Sie die Lage des Meridians und des Himmelsäquators!

Vorbetrachtungen

1. Welche Himmelsrichtung wird durch den Polarstern markiert?
2. Welche Punkte der Himmelskugel liegen auf dem Himmelsmeridian?
3. Geben Sie die Gleichung an, nach der man die Kulminationshöhe des Himmelsäquators über dem Südhorizont aus der geographischen Breite des Beobachtungsortes errechnen kann! Errechnen Sie damit diesen Wert für Ihren Schulort!

Geräte und Hilfsmittel

Uhr (Armband- oder Taschenuhr)
Drehbare Sternkarte

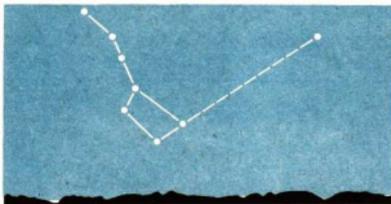


Bild 115/1 Großer Bär und Polarstern

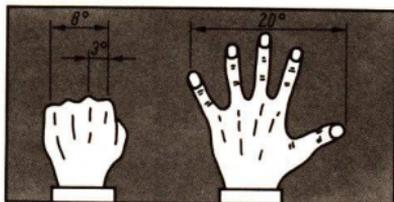


Bild 115/2 Zur Schätzung von Winkeln am Himmel

Arbeitsanweisung

- Suchen Sie das Sternbild Großer Bär am Himmel auf und konstruieren Sie in Gedanken die zum Polarstern weisende Hilfslinie (Bild 115/1)!
- Legen Sie, ausgehend vom Polarstern, den Verlauf des Himmelsmeridians fest! Benutzen Sie die drehbare Sternkarte, um zu ermitteln, durch welche Sternbilder zum Beobachtungszeitpunkt der Meridian verläuft! (Protokoll)
- Skizzieren Sie die Silhouette des Horizontes a) in der Umgebung des Nordpunktes, b) in der Umgebung des Südpunktes! Tragen Sie diese beiden Horizontpunkte in Ihre Skizzen ein! (Protokoll)
- Suchen Sie den Kulminationspunkt des Himmelsäquators (vgl. Vorbetrachtung Nr. 3) genähert am Himmel auf! Benutzen Sie dazu die in Bild 115/2 angedeuteten Verfahren der Winkelschätzung; die Werte gelten bei ausgestrecktem Arm!
- Legen Sie, ausgehend von der Südrichtung, den Ostpunkt und den Westpunkt des Horizontes fest und verbinden Sie diese Punkte in Gedanken durch einen Kreisbogen mit dem Kulminationspunkt des Himmelsäquators! Der entstandene Halbkreis ist die über dem Horizont befindliche Hälfte des Himmelsäquators.
- Stellen Sie mit Hilfe der drehbaren Sternkarte fest, durch welche Sternbilder dieser Abschnitt des Himmelsäquators verläuft! (Protokoll)

Beobachtungsprotokoll A 1

Name:

Klasse:

Schule:

Aufgabe:

Antworten zu den Vorbetrachtungen:

1. ... 2. ... 3. ...

Datum und Uhrzeit der Beobachtung:

Geräte und Hilfsmittel:

Sichtverhältnisse:¹

Ergebnisse und Skizzen:

- Meridiansternbilder:
- Nord- und Südhorizont:
- Äquatorsternbilder:

¹ Hierunter werden Bewölkungsgrad und Luftdurchsichtigkeit zusammengefaßt. Man beurteilt die Sichtverhältnisse durch eine Bewertungsskala, ähnlich der Zensurskala: 1 ≙ sehr gut; 2 ≙ gut; 3 ≙ befriedigend; 4 ≙ genügend; 5 ≙ ungenügend (keine Beobachtung möglich).

Aufgabe

Suchen Sie wichtige Sternbilder am Herbsthimmel auf und skizzieren Sie die Lageveränderung eines Sternbildes zum Horizont!

Vorbetrachtungen

1. In welcher Himmelsrichtung sind zur Beobachtungszeit die Sternbilder Großer Bär Kassiopeia Bootes Schwan Leier Adler zu finden? (Drehbare Sternkarte!)
2. In welcher Richtung erfolgt die scheinbare tägliche Bewegung der Gestirne?
3. Wie groß ist der Winkel, den ein Gestirn infolge der scheinbaren täglichen Bewegung in einer Stunde zurücklegt?

Geräte und Hilfsmittel

Uhr
Drehbare Sternkarte

Arbeitsanweisung

1. Suchen Sie das Sternbild Großer Bär und davon ausgehend den Polarstern am Himmel auf und legen Sie danach die vier Haupthimmelsrichtungen fest!
2. Suchen Sie mit Hilfe der drehbaren Sternkarte die folgenden Sternbilder am Himmel auf:
Kassiopeia Bootes Schwan Leier Adler
3. Skizzieren Sie die Horizontsilhouette unter dem Sternbild ...¹ und geben Sie in Ihrer Skizze die Lage dieses Sternbildes zum Horizont an! (Protokoll! Genaue Uhrzeit dieser Skizze vermerken!) Wiederholen Sie nach Ablauf einer Stunde diese Arbeit und vergleichen Sie die beiden Skizzen! Welche Erkenntnis wird dadurch bestätigt? (Protokoll!)
4. Schätzen Sie nach dem im Bild 115/2 wiedergegebenen Verfahren den Winkelabstand zwischen den Hauptsternen Deneb (Sternbild Schwan) und Wega (Sternbild Leier)! (Protokoll!)

Beobachtungsprotokoll A 2

Name:

Klasse:

Schule:

Aufgabe:**Antworten zu den Vorbetrachtungen:**

1. ... 2. ... 3. ...

¹ Wird vom Lehrer bekanntgegeben!

Datum und Uhrzeit der Beobachtung:

Geräte und Hilfsmittel:

Sichtverhältnisse:

Ergebnisse und Skizzen:

1. Abstand Deneb–Wega:
2. Skizze um ... Uhr ... Minuten:
3. Skizze um ... Uhr ... Minuten:
4. Erkenntnis:

Astronomische Koordinaten	A 3
----------------------------------	------------

Aufgabe

Schätzen Sie Azimut und Höhe der Sterne Deneb, Wega und Atair und kontrollieren Sie die Ergebnisse!

Vorbetrachtungen

1. Wie sind Azimut und Höhe definiert?
2. Welche Änderungen erfahren Azimut und Höhe eines Gestirns wegen der scheinbaren täglichen Bewegung?

Geräte und Hilfsmittel

Uhr
Drehbare Sternkarte
Winkelmeßgerät

Arbeitsanweisung

1. Suchen Sie wie in Beobachtungsaufgabe A 2 die Sternbilder Schwan, Leier und Adler am Himmel auf!
2. Schätzen Sie die Höhen der drei Hauptsterne Deneb (Schwan), Wega (Leier), Atair (Adler)! (Protokoll!)
3. Konstruieren Sie in Gedanken einen Kreisbogen vom Zenit über Deneb zum Horizont! Er soll senkrecht auf dem Horizont stehen.
4. Schätzen Sie den Winkelabstand dieses Vertikalkreises vom Nord- oder vom Südpunkt und ermitteln Sie danach das Azimut des Sternes Deneb! (Protokoll!)
5. Ermitteln Sie in gleicher Weise die genäherten Azimute von Wega und Atair! (Protokoll!)
6. Ermitteln Sie Azimute und Höhen der drei Sterne genähert aus der drehbaren Sternkarte! (Protokoll!)
7. Messen Sie unter Anleitung des Lehrers mit einem Winkelmeßgerät die Höhen und gegebenenfalls auch die Azimute der drei Sterne nach! (Protokoll!)

Name:

Klasse:

Schule:

Aufgabe:

Antworten zu den Vorbetrachtungen:

1. ... 2. ...

Datum und Uhrzeit der Beobachtung:

Geräte und Hilfsmittel:

Sichtverhältnisse:

Ergebnisse:

		Schätzwert	Wert aus der drehb. Sternk.	Meßwert
Wega	Höhe			
	Azimut			
Deneb	Höhe			
	Azimut			
Atair	Höhe			
	Azimut			

Fehlerbetrachtung:

Vergleichen Sie die jeweils in der Tabelle nebeneinanderstehenden Werte miteinander! Ergeben sich systematische Abweichungen? Worin könnten sie begründet sein? (Vgl. Vorbetrachtung Nr. 2!)

Monddurchmesser	A 4
------------------------	------------

Aufgabe

Ermitteln Sie den scheinbaren Durchmesser (Winkeldurchmesser) des Mondes!

Vorbetrachtungen

1. Diese Beobachtungsaufgabe kann nur in der Zeit zwischen erstem und letztem Viertel erfolgreich durchgeführt werden. Am günstigsten ist die Zeit um Vollmond!

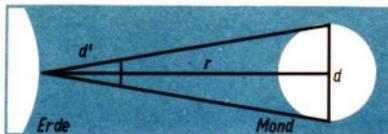


Bild 119/1 Zur Messung des scheinbaren Monddurchmessers



Bild 119/2 Anvisieren des Mondes

2. Geben Sie eine Beziehung zwischen scheinbarem Durchmesser d' (in Grad), wahrem Durchmesser d (in km) und Entfernung r des Mondes (in km) an! (Bild 119/1)

Geräte und Hilfsmittel

Lineal mit Zentimetereinteilung
Schnur (57 cm lang)

Arbeitsanweisung

- Halten Sie das Lineal mit ausgestrecktem Arm senkrecht zur Blickrichtung vor sich und visieren Sie über die Zentimetereinteilung hinweg den Mond an (Bild 119/2)!
- Korrigieren Sie (evtl. mit Hilfe eines Mitschülers) den Abstand Auge–Lineal! Er muß 57 cm betragen. (Es ist zweckmäßig, wenn Sie hierzu eine am Lineal befestigte Schnur dieser Länge verwenden. Man kann auch allein beobachten, wenn man z. B. das freie Schnurende mit den Zähnen festhält und mit dem Lineal die Schnur spannt!)
- Ermitteln Sie, wie viele Zentimeter der Monddurchmesser auf dem Lineal überdeckt! (Protokoll!) Die Anzahl der Zentimeter entspricht der Anzahl der Grade.
- Wiederholen Sie diese Messung und bilden Sie den Mittelwert!

Beobachtungsprotokoll A 4

Name:

Klasse:

Schule:

Aufgabe:

Antwort zu der Vorbetrachtung

2. ...

Datum und Uhrzeit der Beobachtung:

Geräte und Hilfsmittel:

Sichtverhältnisse:

Ergebnisse:

Scheinbarer Durchmesser des Mondes $d'_1 =$
 $d'_2 =$
 Mittelwert $d' =$

Aufgabe

Beobachten Sie den Erdmond mit bloßem Auge und mittels Fernrohr!

Vorbetrachtungen

1. Welche wichtigen Oberflächenformen sind auf dem Mond vorhanden?
2. Welche Phase weist der Mond am Beobachtungstage auf? Schätzen Sie, wieviel Prozent der erd zugewandten Seite des Mondes demnach beleuchtet sind!

Geräte und Hilfsmittel

Uhr

Fernrohr (Vergrößerung wird vom Lehrer mitgeteilt. Protokoll!)

Arbeitsanweisung

1. Beobachten Sie mit bloßem Auge den Mond und vergleichen Sie die Lage der Maregebiete mit den Angaben der Mondkarte (↗ Seite 34)!
2. Skizzieren Sie die Lichtgestalt des Mondes (Monddurchmesser auf der Zeichnung mindestens 4 cm) und tragen Sie die beobachteten Maregebiete ein! (Protokoll!)
3. Beobachten Sie den Mond mit dem Fernrohr! Achten Sie auf die Bildumkehr im astronomischen Fernrohr! Informieren Sie sich über das Aussehen der wichtigen Oberflächenformen!

Beobachtungsprotokoll A 5

Name:

Klasse:

Schule:

Aufgabe:**Antworten zu den Vorbetrachtungen:**

1. ... 2. ...

Datum und Uhrzeit der Beobachtung:**Geräte und Hilfsmittel:****Sichtverhältnisse:****Skizze:**

Skizze des Mondes mit bloßem Auge:

Aufgabe

Suchen Sie bekannte Sternbilder auf und orientieren Sie sich über typische Wintersternbilder!

Vorbetrachtungen

1. In welcher Himmelsrichtung sind zur Beobachtungszeit die Sternbilder Großer Bär Kassiopeia Schwan Leier Fuhrmann Stier Orion Großer Hund Kleiner Hund Zwillinge zu finden? (Drehbare Sternkarte!)
2. Wodurch ist die unterschiedliche Sichtbarkeit vieler Sternbilder (Sommer- und Wintersternbilder) begründet?
3. Welche der unter 1. angegebenen Sternbilder sind zirkumpolar?

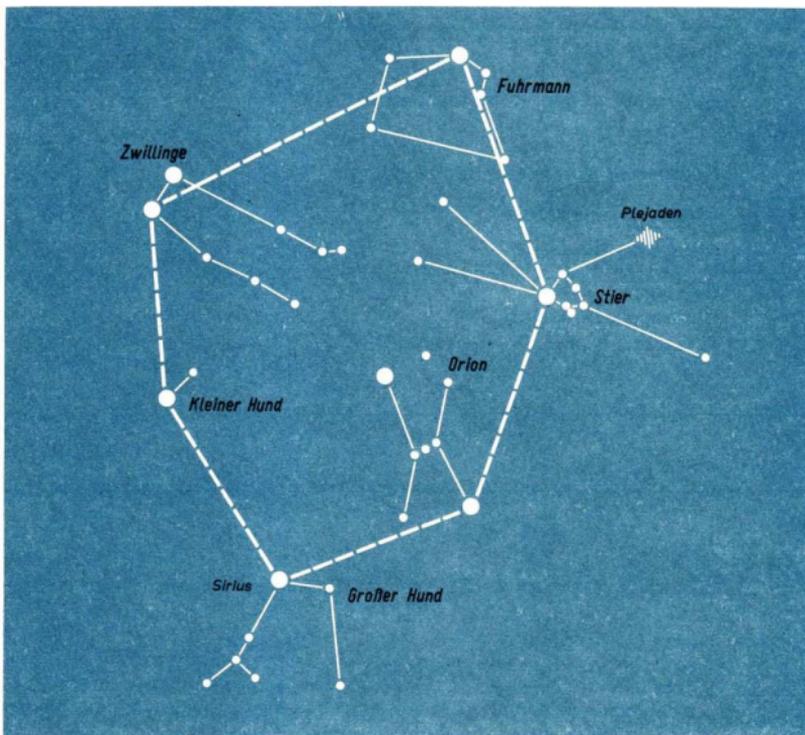


Bild 121/1 Wintersechseck

Geräte und Hilfsmittel

Uhr
Drehbare Sternkarte

Arbeitsanweisung

1. Suchen Sie das Sternbild Großer Bär und davon ausgehend den Polarstern auf und legen Sie danach die vier Haupthimmelsrichtungen fest!
2. Suchen Sie mit Hilfe der drehbaren Sternkarte die Sternbilder Schwan, Leier und Orion am Himmel auf!
3. Suchen Sie, vom Sternbild Orion ausgehend, die Hauptsterne des „Wintersechsecks“ am Himmel auf! (Bild 121/1)
4. Schätzen Sie nach dem in Bild 115/2 wiedergegebenen Verfahren den Winkelabstand zwischen den Hauptsternen Sirius (Großer Hund) und Prokyon (Kleiner Hund)! (Protokoll!)

Beobachtungsprotokoll A 6

Name:

Klasse:

Schule:

Aufgabe:

Antworten zu den Vorbetrachtungen:

1. ... 2. ... 3. ...

Datum und Uhrzeit der Beobachtung:

Geräte und Hilfsmittel:

Sichtverhältnisse:

Ergebnis:

Abstand Sirius–Prokyon:

Planet	A 7
--------	-----

Aufgabe

Beobachten Sie mit Hilfe des Fernrohrs Einzelheiten an einem hellen Planeten!

Vorbetrachtungen

1. Informieren Sie sich mit Hilfe der drehbaren Sternkarte, in welcher Himmelsrichtung und (genähert) in welcher Höhe der zu beobachtende Planet zu finden ist! (Welcher Planet beobachtet werden soll und in welchem Sternbild er derzeit steht, erfahren Sie vom Lehrer.)

2. Welche Planeten verändern ihren scheinbaren Ort am Sternhimmel besonders schnell?

Geräte und Hilfsmittel

Uhr

Fernrohr (Vergrößerung wird vom Lehrer mitgeteilt. Protokoll!)

Arbeitsanweisung

1. Suchen Sie den Planeten mit dem Fernrohr auf! Beachten Sie dabei erschütterungsfreien Stand des Fernrohrs und einwandfreie Scharfeinstellung!

2. Achten Sie auf die folgenden Einzelheiten:

Venus. Lichtgestalt! Ist das Bild des Planeten im Fernrohr kreisförmig oder sichel-förmig? Von welcher Seite wird der Planet beleuchtet? (Protokoll!)

Jupiter. Abplattung des Planeten, helle Monde! In welcher Richtung (bezogen auf die Umlaufebene der Monde) liegt die kleine Achse des Planeten? Sind alle vier hellen Monde zu sehen? Wie sind sie relativ zum Planeten angeordnet? (Protokoll!)

Saturn. Ringsystem! Ist das Ringsystem weit geöffnet oder nur schmal? Vergleichen Sie die Ringbreite mit dem Planetendurchmesser (kleiner, gleich, größer)! (Protokoll!)

3. Skizzieren Sie den Planeten nach dem Fernrohrbild! (Protokoll!) Legen Sie dabei besonderes Augenmerk auf folgende Einzelheiten:

Venus Lichtgestalt

Jupiter Abplattung, Stellung der hellen Monde

Saturn Ringsystem

Beobachtungsprotokoll A 7

Name:

Klasse:

Schule:

Aufgabe:

Antworten zu den Vorbetrachtungen:

1. ... 2. ...

Datum und Uhrzeit der Beobachtung:

Geräte und Hilfsmittel:

Ergebnisse und Skizzen:

1. Beschreibung des Fernrohrbildes:
2. Skizze:

Aufgabe

Ordnen Sie die Sterne des Sternbildes Orion

- nach der Helligkeit,
- nach der Färbung ihres Lichtes!

Vorbetrachtungen

- Wovon ist die scheinbare Helligkeit eines Sterns abhängig?
- Welche Einheit gilt in der Astronomie für die scheinbare Helligkeit? Wie hängt sie mit der empfangenen Strahlungsintensität zusammen?
- Welche Zustandsgröße wird durch die Farbe des Sternlichtes charakterisiert?

Geräte und Hilfsmittel

Uhr

Arbeitsanweisung

- Suchen Sie das Sternbild Orion am Himmel auf!
- Ordnen Sie die in Bild 124/1 benannten Sterne nach der scheinbaren Helligkeit! (Protokoll!)
- Der hellste Stern des Sternbildes Orion hat die scheinbare Helligkeit $0^m,2$, der schwächste auf Bild 124/1 enthaltene $2^m,5$. Schätzen Sie Zwischenwerte für die anderen Sterne! Skizzieren Sie das Sternbild und tragen Sie die geschätzten Helligkeiten (in Größenklassen) ein! (Protokoll!)
- Ordnen Sie die in Bild 124/1 benannten Sterne nach ihrer Färbung in der Reihenfolge *rötlich – gelblich – weiß – bläulich*! (Protokoll!)

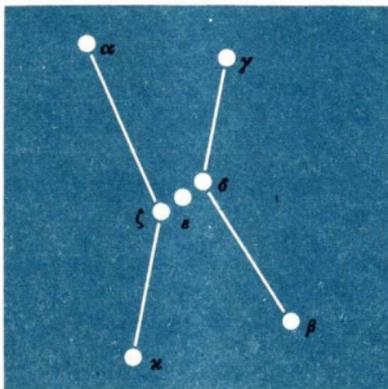


Bild 124/1 Sternbild Orion

Name:

Klasse:

Schule:

Aufgabe:

Antworten zu den Vorbetrachtungen:

1. ... 2. ... 3. ...

Datum und Uhrzeit der Beobachtung:

Geräte und Hilfsmittel:

Sichtverhältnisse:

Ergebnisse und Skizzen:

1. Helligkeitsschätzung: hellster Stern:

schwächster Stern:

2. Skizze mit Helligkeitswerten:

3. Farbschätzung:

Farbe	rötlich	gelblich	weiß	bläulich
Sterne				

Fehlerbetrachtung:

Je geringer die Höhe eines Sterns ist, um so mehr unterliegt sein Licht dem Einfluß der Erdatmosphäre, die es sowohl schwächt als auch seine Farbe ändert. Der Stern erscheint dann rötler (vgl. die Sonne in geringer Höhe über dem Horizont!). Beurteilen Sie danach die Zuverlässigkeit Ihrer Schätzungen für die einzelnen Sterne!

Doppelsternsystem

A 9

Aufgabe

Beobachten Sie das Doppelsternsystem Mizar (ζ im Großen Bären) mit dem Fernrohr!

Vorbetrachtungen

1. Was ist ein Doppelsternsystem?
2. In welcher Himmelsrichtung ist zur Beobachtungszeit das Sternbild Großer Bär zu finden (drehbare Sternkarte!)?

3. Sterne lassen sich mit dem Fernrohr nicht vergrößert abbilden. Worin besteht der Vorteil der Fernrohrbeobachtung eines Doppelsterns gegenüber der Beobachtung mit dem bloßen Auge?
4. Mizar bildet mit dem Stern Alkor einen sogenannten „optischen Doppelstern“. Darunter sind Sterne zu verstehen, die am Himmel scheinbar nahe beieinander stehen, physikalisch aber nicht zusammengehören. Mizar ist 23,8 pc von uns entfernt, Alkor 26,3 pc! Beachten Sie das bei der Beobachtung!

Geräte und Hilfsmittel

Uhr

Fernrohr (Vergrößerungen werden vom Lehrer mitgeteilt. Protokoll!)

Arbeitsanweisung

1. Suchen Sie das Sternbild Großer Bär am Himmel auf!
2. Der „mittlere Deichselstern des Großen Wagens“ ist der Stern ζ (Mizar). Sehr nahe bei ihm (12') steht der Stern Alkor. Versuchen Sie, ihn mit dem bloßen Auge zu finden!
3. Beobachten Sie Mizar im Fernrohr bei sehr schwacher Vergrößerung, so daß Alkor gleichzeitig im Gesichtsfeld steht! Beobachten Sie Mizar im Fernrohr bei starker Vergrößerung und beachten Sie,
 - daß Mizar als Doppelsternsystem erkennbar ist (Abstand der Komponenten 14"),
 - daß die beiden Komponenten unterschiedlich hell sind (2^m4 und 4^m1),
 - ob die beiden Komponenten unterschiedliche Farben aufweisen! (Protokoll!)

Beobachtungsprotokoll A 9

Name:

Klasse:

Schule:

Aufgabe:

Antworten zu den Vorbetrachtungen:

1. ... 2. ... 3. ...

Datum und Uhrzeit der Beobachtung:

Geräte und Hilfsmittel:

Sichtverhältnisse:

Ergebnis:

Beschreibung des Fernrohranblickes:

Aufgabe

Beobachten Sie den offenen Sternhaufen M 45 (Plejaden) mit dem bloßen Auge und mit dem Fernrohr!

Vorbetrachtungen

1. Was sind offene Sternhaufen? Wodurch unterscheiden sie sich von kugelförmigen Sternhaufen?
2. Worin besteht der Vorteil der Fernrohrbeobachtung eines Sternhaufens gegenüber der Beobachtung mit dem bloßen Auge? (Vgl. A 9, Vorbetrachtung 3)
3. In welcher Himmelsrichtung sind zur Beobachtungszeit die Plejaden (im Sternbild Stier) sichtbar? (Drehbare Sternkarte!)

Geräte und Hilfsmittel

Uhr

Drehbare Sternkarte

Fernrohr (Vergrößerung wird vom Lehrer mitgeteilt. Protokoll!)

Arbeitsanweisung

1. Suchen Sie die Plejaden (im Sternbild Stier) am Himmel auf!
2. Beobachten Sie den Sternhaufen mit dem bloßen Auge! Bemühen Sie sich, einzelne Sterne zu erkennen und zu zählen! (Protokoll!)
3. Beobachten Sie den Sternhaufen mit dem Fernrohr! Beachten Sie dabei
 - die unterschiedliche Helligkeit der Sterne,
 - ob die Sterne unterschiedliche Farben aufweisen,
 - ob der Sternhaufen eine scharfe Grenze zu den Einzelsternen in seiner Umgebung besitzt! (Protokoll!)

Beobachtungsprotokoll A 10

Name:

Klasse:

Schule:

Aufgabe:**Antworten zu den Vorbetrachtungen:**

1. ... 2. ... 3. ...

Datum und Uhrzeit der Beobachtung:**Geräte und Hilfsmittel:****Sichtverhältnisse:****Ergebnis:**

Beschreibung des Fernrohrblicks:

ANHANG

1. Astronomische Konstanten und Einheiten

Gravitationskonstante	$k = 6,670 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	$c = 299\,792 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Neigung der Erdachse (1970)	$\varepsilon = 23^\circ 26' 35''$
Astronomische Einheit	$1 \text{ AE} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$
Parsek	$1 \text{ pc} = 30,86 \cdot 10^{12} \text{ km} = 206\,265 \text{ AE}$
Lichtjahr	$1 \text{ Lj} = 9,461 \cdot 10^{12} \text{ km} = 0,3067 \text{ pc}$

2. Die Erde

Mittlerer Radius	$R'_E = 6\,371,032 \text{ km}$
Äquatorradius	$a = 6\,378,160 \text{ km}$
Polarradius	$b = 6\,356,775 \text{ km}$
Abplattung	$(a - b) : a = 1 : 298,25$
Mittlere Bahngeschwindigkeit	$v_E = 29,785 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
Volumen	$V_E = 1,083 \cdot 10^{12} \text{ km}^3$
Masse	$m_E = 5,976 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Mittlere Dichte	$\rho_E = 5,518 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Fallbeschleunigung an der Erdoberfläche (Normalschwere):	$g_n = (978,032 + 5,186 \sin^2 \varphi - 0,0058 \sin^2 2 \varphi) \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$ $\varphi = \text{geographische Breite}$
Fallbeschleunigung in Meeresniveau	
am Äquator	$g_A = 978,032 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$
am Pol	$g_p = 983,218 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$

3. Der Mond

Mittlere Entfernung von der Erde	$s = 384,4 \cdot 10^3 \text{ km}$
Mittlere Bahnneigung gegen die Erdbahn	$5^\circ 8' 43''$
Siderische Umlaufzeit des Mondes	$t_{\text{sid}} = 27,32166 \text{ d}$
Synodische Umlaufzeit des Mondes	$t_{\text{syn}} = 29,53059 \text{ d}$
Mittlerer scheinbarer Radius	$R'_M = 15' 32,6$
Radius	$R_M = 1,738 \cdot 10^3 \text{ km} (0,2725 R_E)$
Volumen	$V_M = 2,199 \cdot 10^{10} \text{ km}^3 (0,0203 V_E)$
Masse	$m_M = 7,347 \cdot 10^{22} \text{ kg} (0,0123 m_E)$
Mittlere Dichte	$\rho_M = 3,341 \text{ g} \cdot \text{cm}^3 (0,61 \rho_E)$
Fallbeschleunigung an der Oberfläche	$g_M = 1,6193 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

4. Die Sonne

Mittlerer scheinbarer Radius	$R'_S = 16' 1,2$
Radius	$R_S = 6,958 \cdot 10^5 \text{ km} = 10,9 R_E$
Volumen	$V_S = 1,410 \cdot 10^{18} \text{ km}^3$
Masse	$m_S = 1,985 \cdot 10^{30} \text{ kg} = 3,32 \cdot 10^5 m_E$
Mittlere Dichte	$\rho_S = 1,41 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Fallbeschleunigung an der Oberfläche	$g_S = 2,74 \cdot 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
Solarkonstante	$S = 1,374 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \approx 2 \text{ cal} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$
Leuchtkraft	$L = 3,861 \cdot 10^{23} \text{ kW}$
Oberflächentemperatur	$T \approx 6000 \text{ }^\circ\text{K}$

5. Die Bahnen der Planeten

1	2		3	4	5
Name des Planeten	Große Bahnhalbachse a		Siderische Umlaufzeit t_{sid}	Mittlere Bahngeschwindigkeit v	Neigung i der Bahn gegen die Ekliptik in $^\circ$
	in AE	in $10^6 \text{ km} / 10^9$	in Jahren	in km/s^{-1}	
Merkur	0,39	58	0,24	47,9	7,0
Venus	0,72	108	0,62	35,0	3,4
Erde	1,00	150	1,00	29,8	—
Mars	1,52	228	1,88	24,1	1,8
Jupiter	5,20	778	11,86	13,1	1,3
Saturn	9,54	1 427	29,46	9,6	2,5
Uranus	19,18	2 870	84,02	6,8	0,8
Neptun	30,06	4 496	164,79	5,4	1,8
Pluto	39,75	5 946	247,7	4,7	17,1

6. Die Planeten

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Name des Planeten	Äquatorradius R		Abplattung $(a - b) : a$	Masse m		mittl. Dichte ρ	Rotationsperiode	Entweichgeschwindigkeit in $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$
	in km	in Erdradien (R_E)		in 10^{24} kg	in Erdmassen (m_E)			
Merkur	2 400	0,38	0,000	0,33	0,056	5,62	58,65	4,3
Venus	6 100	0,96	0,000	4,87	0,815	5,09	243,09	10,3
Erde	6 378	1,00	0,003	5,98	1,000	5,52	1,00	11,2
Mars	3 400	0,53	0,007	0,64	0,108	3,97	1,03	5,0
Jupiter	71 800	11,25	0,066	1 899	317,82	1,30	0,41	60
Saturn	60 300	9,45	0,098	568	95,11	0,68	0,43	36

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Name des Planeten	Äquatorradius R		Abplattung ($a - b$): a	Masse m		mittl. Dichte ρ in $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	Rotationsperiode in Tagen	Entweichgeschwindigkeit in $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$
	in km	in Erdradien (R_E)		in $10^{24} m_{\oplus}$	in Erdmassen (m_E)			
Uranus	23600	3,70	0,056	87	14,52	1,58	0,45	22
Neptun	24600	3,86	0,017	103	17,22	1,65	0,66	24
Pluto	3000	0,47	?	0,90	0,15	—	6,39	—
Zum Vergleich:								
Sonne	$6,96 \cdot 10^5$	109	0,000	$1,99 \cdot 10^6$	$333 \cdot 10^3$	1,41	25,38	618

7. Die natürlichen Satelliten der Planeten (Auswahl)

1	2	3	4	5	6	7	8
Planet	Satellit	mittlerer Abstand r vom Planeten in 10^3 km	Umlaufzeit t_u in Tagen	Durchmesser d in km	Größte Helligkeit	Masse m in 10^{21} kg	Entdeckung
Erde	Mond	384,4	27,32	3 476	-12^m7	73,5	—
Mars	1 Rhobos	9,4	0,32	16	11^m5		1877
	2 Deimos	23,5	1,26	8	12^m5		1877
Jupiter	1 Io	421,8	1,77	3 320	5^m5	79	1610
	2 Europa	671,4	3,55	2 880	5^m7	47,8	1610
	3 Ganymed	1 071	7,15	4 940	5^m1	153	1610
	4 Kallisto	1 884	16,69	4 680	6^m3	90	1610
(insgesamt 12 natürliche Satelliten)							
Saturn	6 Titan	1 223	15,95	5 000	8^m3	137	1655
	10	158	0,75	500	14^m		1966
(insgesamt 10 natürliche Satelliten)							

8. Wichtige astronautische Ereignisse

1	2	3	4
Startdatum	Land	Bezeichnung	Bemerkungen
4. 10. 1957	UdSSR	Sputnik 1	erster künstlicher Erdsatellit
3. 11. 1957	UdSSR	Sputnik 2	erster Biosatellit (Hündin Laika)
4. 10. 1959	UdSSR	Lunik 3	erste Aufnahme der Mondrückseite
1. 4. 1960	USA	Tiros	erster Wetterbeobachtungssatellit
20. 8. 1960	UdSSR	Raumschiff 2	erste erfolgreiche Rückkehr
12. 4. 1961	UdSSR	Wostok 1	erster bemannter Raumflug (Gagarin)
10. 7. 1962	USA	Telstar 1	erster Nachrichtensatellit
1. 11. 1963	UdSSR	Poljot 1	erstes manövrierfähiges Raumschiff
18. 3. 1965	UdSSR	Woschod 2	erster Ausstieg im Weltraum (Leonow)
14. 7. 1965	USA	Mariner 4	erste Nahaufnahmen der Marsoberfläche
3. 2. 1966	UdSSR	Luna 9	erste weiche Landung auf dem Mond
3. 4. 1966	UdSSR	Luna 10	erster künstlicher Mondsatellit
18. 10. 1967	UdSSR	Venus 4	erste Landung mit Fallschirm auf Venus
18. 11. 1968	UdSSR	Sonde 6	Rückkehr aus Mondumlaufbahn
21. 7. 1969	USA	Apollo 11	erstmalige Landung von Menschen auf dem Mond

9. Sternbilder des nördlichen Sternhimmels (Auswahl)

1	2	3	4
Internat. Abkürzung	Lateinischer Name		Deutscher Name
	Nominativ	Genitiv	
And	Andromeda	Andromedae	Andromeda
Aql	Aquila	Aquilae	Adler
Aur	Auriga	Aurigae	Fuhrmann
Boo	Bootes	Bootis	Bootes (Rinderhirt)

1	2	3	4
Internat. Abkürzung	Lateinischer Name		Deutscher Name
	Nominativ	Genitiv	
Cas	Cassiopeia	Cassiopeiae	Kassiopeia
Cep	Cepheus	Cephei	Kepheus
CMa	Canis Maior	Canis Maioris	Großer Hund
CMi	Canis Minor	Canis Minoris	Kleiner Hund
Cyg	Cygnus	Cygni	Schwan
Gem	Gemini	Geminorum	Zwillinge
Leo	Leo	Leonis	Löwe
Lyr	Lyra	Lyrae	Leier
Ori	Orion	Orionis	Orion
Per	Perseus	Persei	Perseus
Tau	Taurus	Tauri	Stier
UMa	Ursa Maior	Ursae Maioris	Großer Bär
UMi	Ursa Minor	Ursae Minoris	Kleiner Bär
Vir	Virgo	Virginis	Jungfrau

In Verbindung mit einer Sternbezeichnung wird der Genitiv und dessen Abkürzung gebraucht, z. B.

α in der Leier = α Lyrae = α Lyr

β in den Zwillingen = β Geminorum = β Gem

Stern 31 („Reiterlein“) im Großen Bären = 31 Ursae Maioris = 31 UMa

Die halbfett gesetzten Buchstaben kennzeichnen die Betonung.

10. Die hellsten Sterne

1	2	3	4	5
Nr.	Bezeichnung	Sternbild	Rektaszension α	Deklination δ
1	Spica (α Vir)	Jungfrau	13 ^h 23 ^{min}	- 10°9
2	Regulus (α Leo)	Löwe	10 ^h 06 ^{min}	+ 12°2
3	Rigel (β Ori)	Orion	5 ^h 12 ^{min}	- 8°3
4	Wega (α Lyr)	Leier	18 ^h 35 ^{min}	+ 38°7
5	Sirius (α CMa)	Gr. Hund	6 ^h 43 ^{min}	- 16°7
6	Deneb (α Cyg)	Schwan	20 ^h 40 ^{min}	+ 45°1
7	Castor (α Gem)	Zwillinge	7 ^h 31 ^{min}	+ 32°0
8	Atair (α Aql)	Adler	19 ^h 48 ^{min}	+ 8°7
9	Prokyon (α CMi)	Kl. Hund	7 ^h 37 ^{min}	+ 5°4
10	Dubhe (α UMa)	Gr. Bär	11 ^h 01 ^{min}	+ 62°0
11	Polarstern (α UMi)	Kl. Bär	1 ^h 49 ^{min}	+ 89°0
12	Capella (α Aur)	Fuhrmann	5 ^h 13 ^{min}	+ 45°9
13	Sonne	-	-	-
14	Pollux (β Gem)	Zwillinge	7 ^h 42 ^{min}	+ 28°2
15	Arktur (α Boo)	Bootes	14 ^h 13 ^{min}	+ 19°5
16	Aldebaran (α Tau)	Stier	4 ^h 33 ^{min}	+ 16°4
17	Beteigeuze (α Ori)	Orion	5 ^h 53 ^{min}	+ 7°4

¹⁾ veränderlicher Stern

²⁾ Mittelwert

6	7	8	9	10
Entfernung r	Sch. Helligkeit m	Ab. Helligkeit M	Spektralklasse	Leuchtkraft ²
58,8 in pc	+ 1 ^m 00	- 2 ^m 8	B 2	1 140 in L_s
23,8	+ 1 ^m 36	- 0 ^m 5	B 8	135
167	+ 0 ^m 15	- 6 ^m 0	B 8	21 000
8,1	+ 0 ^m 03	+ 0 ^m 5	A 0	60
2,7	+ 1 ^m 46	+ 1 ^m 4	A 1	24
200	+ 1 ^m 26	- 5 ^m 2	A 1	10 400
14,5	+ 1 ^m 56	+ 0 ^m 8	A 3	41
5,1	+ 0 ^m 76	+ 2 ^m 2	A 7	11
3,5	+ 0 ^m 37	+ 2 ^m 6	F 5	8
32,3	+ 1 ^m 80	- 0 ^m 7	F 7	165
143	+ 2 ^m 01	- 3 ^m 8	F 7	1 650
14,1	+ 0 ^m 08	- 0 ^m 6	G 1	150
$4,8 \cdot 10^{-6}$	- 26 ^m 72	+ 4 ^m 8	G 2	1
10,8	+ 1 ^m 14	+ 1 ^m 0	K 0	35
10,9	- 0 ^m 05	- 0 ^m 2	K 2	105
20,0	+ 0 ^m 85	- 0 ^m 7	K 5	165
91	+ 0 ^m 1 ... 1 ^m 2 ¹)	- 3 ^m 9 ²)	M 2	3 100 ²)

11. Wichtige Sternbilder in den Jahreszeiten

ganzjährig sichtbar	Großer und Kleiner Bär, Kassiopeia
Frühling	Bootes, Krone, Löwe, Jungfrau
Sommer	Schwan, Leier, Adler, Skorpion
Herbst	Andromeda, Stier, Fuhrmann, Perseus
Winter	Orion, Großer und Kleiner Hund, Zwillinge

12. Sternbild „Orion“ (Hauptsterne)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nr.	Bezeichnung	Name	Rektas- zension α	Dekli- nation δ	Paral- laxe ρ	Entfer- nung r in pc	Absolute Helligkeit M	Spek- tral- klasse
			(1950,0)					
1	α Ori	Beteigeuze	5 ^h 53 ^{min}	+ 7°4	0"011	91	- 3 ^m 9	M 2
2	β Ori	Rigel	5 ^h 12 ^{min}	- 8°3	0"006	167	- 6 ^m 0	B 8
3	γ Ori	Bellatrix	5 ^h 22 ^{min}	+ 6°3	0"014	71	- 2 ^m 6	B 2
4	δ Ori	Mintaka	5 ^h 29 ^{min}	- 0°3	0"005	200	- 4 ^m 0	B 0
5	ϵ Ori	Alnilam	5 ^h 34 ^{min}	- 1°2	0"007	143	- 4 ^m 1	B 0
6	ζ Ori	Alnitak	5 ^h 38 ^{min}	- 2°0	0"008	125	- 3 ^m 7	B 0
7	κ Ori	Saiph	5 ^h 45 ^{min}	- 9°7	0"006	167	- 3 ^m 9	B 0
8	λ Ori	Heka	5 ^h 32 ^{min}	+ 9°9	0"004	250	- 3 ^m 5	O 5

13. Sterne näher als 3,5 pc

1	2	3	4	5	6	7
Nr.	Bezeichnung	Entfer- nung r in pc	Schein- bare Hellig- keit m	Absolute Hellig- keit M	Spektral- klasse	Leucht- kraft L in L_{\odot}
1	Sonne	$4,8 \cdot 10^{-6}$	- 26 ^m 72	+ 4 ^m 85	G 2	1
2	Proxima Centauri	1,31	+ 11 ^m 07	+ 15 ^m 4	M 5	0,000 06
3	α Centauri A	1,35	- 0 ^m 01	+ 4 ^m 4	G 2	1,5
4	α Centauri B	1,35	+ 1 ^m 33	+ 5 ^m 7	K 5	0,44
5	Barnards Stern	1,81	+ 9 ^m 54	+ 13 ^m 2	M 5	0,000 45
6	Wolf 359	2,35	+ 13 ^m 53	+ 16 ^m 7	M 6	0,000 016
7	BD + 36° 2147	2,52	+ 7 ^m 50	+ 10 ^m 5	M 2	0,005 6
8	Sirius A	2,65	- 1 ^m 46	+ 1 ^m 4	A 1	24
9	Sirius B	2,65	+ 8 ^m 68	+ 11 ^m 6	A ¹)	0,002
10	L 726-8 A	2,72	+ 12 ^m 45	+ 15 ^m 3	M 6	0,000 07

1	2	3	4	5	6	7
Nr.	Bezeichnung	Entfernung r in pc	Scheinbare Helligkeit m	Absolute Helligkeit M	Spektralklasse	Leuchtkraft L in L_{\odot}
11	L 726-8 B	2,72	+ 12 ^m 95	+ 15 ^m 8	M 6	0,000 04
12	Ross 154	2,90	+ 10 ^m 60	+ 13 ^m 3	M 4	0,000 4
13	Ross 248	3,14	+ 12 ^m 29	+ 14 ^m 8	M 6	0,000 11
14	L 789-6	3,28	+ 12 ^m 18	+ 14 ^m 6	M 7	0,000 13
15	ϵ Eridani	3,31	+ 3 ^m 73	+ 6 ^m 1	K 2	0,30
16	Ross 128	3,32	+ 11 ^m 10	+ 13 ^m 5	M 5	0,000 35
17	61 Cygni A	3,38	+ 5 ^m 22	+ 7 ^m 6	K 5	0,085
18	61 Cygni B	3,43	+ 6 ^m 03	+ 8 ^m 4	K 7	0,040
19	Prokyon B	3,50	+ 10 ^m 7	+ 13 ^m 0	F ¹⁾	0,000 55
20	Prokyon A	3,51	+ 0 ^m 37	+ 2 ^m 6	F 5	7,9

1) Weißer Zwerg

14. Reichweite der Fernrohre und Sternanzahl

1	2	3	4	5
Objektivöffnung in cm	schwächster visuell beobachtbarer Stern Helligkeit in Größenklassen	Zahl der visuell beobachtbaren Sterne in 10^3	schwächster photographisch beobachtbarer Stern Helligkeit in Größenklassen	Zahl der photographisch beobachtbaren Sterne bei 10 min Belichtung in 10^3
(bloßes Auge)	6,0	6	—	—
5	10,3	460	11,0	900
10	11,7	1 700	12,5	3 600
20	13,0	6 000	14,0	14 000
40	14,33	18 000	15,5	50 000
100	15,0	33 000	17,5	200 000
200	—	—	19,0	430 000
500	—	—	21,0	1 300 000

15. Beobachtungsobjekte für Schulfernrohre 50/540

15.1. Doppelsterne

1	2	3	4	5	6	7
Nr.	Bezeichnung	Rektaszension α	Deklination δ	Scheinbare Helligkeit m		Abstand
				A	B	
1	γ And	2 ^h 01 ^{min}	42°1	2 ^m 4	5 ^m 1	10"0
2	σ Ori AD	5 ^h 36 ^{min}	- 2°6	3 ^m 8	6 ^m 9	12"9
3	σ Ori AE	5 ^h 36 ^{min}	- 2°6	3 ^m 8	6 ^m 7	41"5
4	ζ UMa	13 ^h 22 ^{min}	+ 55°2	2 ^m 4	4 ^m 1	14"5
5	β Lyr	18 ^h 48 ^{min}	+ 33°3	3 ^m 4	6 ^m 7	45"8
6	β Cyg	19 ^h 29 ^{min}	+ 27°9	3 ^m 2	5 ^m 3	34"3

15.2. Galaktische Sternhaufen und Nebel, außergalaktische Sternsysteme

1	2	3	4	5	6	7	8
Nr.	Bezeichnung	Rektaszension α	Deklination δ	Scheinbare Helligkeit m	Durchmesser in '	Entfernung r in pc	1)
1	h Persei	2 ^h 16 ^{min}	+ 56°9	4 ^m 4	36	2 250	o
2	χ Persei	2 ^h 19 ^{min}	+ 56°9	4 ^m 7	36	2 250	o
3	Plejaden	3 ^h 44 ^{min}	+ 24°0	1 ^m 4	100	140	o
4	M 35	6 ^h 06 ^{min}	+ 24°3	5 ^m 3	40	830	o
5	Praesepe	8 ^h 38 ^{min}	+ 19°9	3 ^m 9	95	160	o
6	M 39	21 ^h 30 ^{min}	+ 48°2	5 ^m 3	30	280	o
7	M 13	16 ^h 40 ^{min}	+ 36°6	5 ^m 8	10	7 000	k
8	Orionnebel	5 ^h 33 ^{min}	- 5°4	2 ^m 9	60	400	n
9	Andromedanebel	0 ^h 40 ^{min}	+ 41°0	3 ^m 5	90 × 200	5,4 · 10 ⁶	s
10	Triangelnebel	1 ^h 31 ^{min}	+ 30°4	5 ^m 8	53 × 83	5,6 · 10 ⁶	s

1) Erläuterung: o: offener Sternhaufen k: kugelförmiger Sternhaufen
n: Gas-Staub-Nebel in der Galaxis
s: außergalaktisches Sternsystem

16. Entfernungen einiger astronomischer Objekte

Bezeichnung des Objektes	Entfernung in pc
Proxima Centauri	1,31
Sirius	2,65
Wega	8,1
Regulus	23,8
Beteigeuze	91
Plejaden	140
Deneb	200
Krebsnebel	1 200
Zentrum der Milchstraße	10 000
Kugelsternhaufen M 3 im Sternbild der Jagdhunde	12 300
Magellansche Wolken	60 000
Andromedanebel	540 000
Spiralsystem im Sternbild der Jagdhunde	5 500 000
Radioquelle Cygnus	200 000 000
Quasar 3 C 273	500 000 000

17. Wichtige Entwicklungsstufen der astronomischen Wissenschaft

In der Frühzeit der menschlichen Gesellschaft Beobachtung auffälliger Erscheinungen am Sternhimmel (Sonne, Mond, Planeten, tägliche Umdrehung des Sternhimmels)
Keine Kenntnis der Ursachen, mystische und abergläubische Deutung der beobachteten Vorgänge

Beobachtung der Bewegungserscheinungen am Sternhimmel (Zeiteinteilung, Kalender)
Versuch einer Erklärung der beobachteten Vorgänge
150 v. u. Z. Hipparch beschreibt die Bewegung der Gestirne mathematisch
Ptolemäus entwickelt Theorie des geozentrischen Weltsystems

Aufdeckung von Gesetzmäßigkeiten der Bewegungsvorgänge am Sternhimmel
 Kopernikus (1473 bis 1543) entwickelt Theorie des heliozentrischen Weltsystems
 Kepler (1571 bis 1630) entdeckt Gesetze der Planetenbewegungen
 Beweise für die Richtigkeit der heliozentrischen Auffassung
 Galilei (1564 bis 1642) führt erstmalig astronomische Beobachtungen mit dem Fernrohr durch
 Newton (1643 bis 1727) begründet das heliozentrische Weltsystem physikalisch mit dem Gravitationsgesetz

Erweiterung des Wissens über das Planetensystem
 Erste Erkenntnisse über den Aufbau der Sterne und die Vorgänge im Sterninnern
 Herschel (1738–1822) findet mit seinem Spiegelteleskop den Planeten Uranus (1781)
 Entdeckung des Planeten Neptun (1846), ein Beweis für die Möglichkeit der Erkenntnisgewinnung auf mathematisch-physikalischer Grundlage
 Seit 1860 Entwicklung der Astrophysik, Untersuchungen zur Physik der Himmelskörper
 Um 1890 Einführung der Himmelsphotographie
 Um 1900 Hertzsprung und Russell leiten aus den Beziehungen verschiedener Zustandsgrößen der Sterne wichtige Schlüsse zur Physik der Sterne ab

Eingehendes Studium der Erscheinungen in der Galaxis und in außergalaktischen Systemen
 Erkenntnisse über die Entstehung und Entwicklung der Sterne und Sternensysteme
 Direkte Untersuchung benachbarter Himmelskörper
 1920 Feststellung der Existenz außergalaktischer Systeme
 1932 Entdeckung der kosmischen Radiostrahlung
 1938 Aufdeckung kernphysikalischer Prozesse im Sterninnern
 1957 Start des ersten künstlichen Erdsatelliten durch die SU
 1961 Gagarin (UdSSR) führt erste Erdumkreisung in einem Raumkörper durch
 1969 Aldrin und Armstrong (USA) betreten erstmalig den Mond

Lösungen

Einführung

3. Objekt.- Brennw.	Vergrößerung N bei Okularbrennweiten von			
	25 mm	16 mm	10 mm	6 mm
540 mm	22	34	54	90
840 mm	34	52	84	140
2 250 mm	90	141	225	375

(gerundete Werte)

Die Erde als Himmelskörper

$$5. \tanh = \frac{l}{s}$$

10.

MEZ	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
<i>a</i>	235	250	260	272	285	300	315	335	0	25	45	60	75	90	100
<i>h</i>	3	5	15	27	36	43	50	53	55	53	50	42	33	23	13

12. Zirkumpolarstern

Der Erdmond

14. $r_o = 376.240 \text{ km}$

16. $D_M = 3\,476 \text{ km}$ (Fehlergrenze ± 10 bis 11%)

Das Planetensystem

19. $a_p = \sqrt[3]{T_p^2 \cdot k}$

20. $t_p = 1\,000 \text{ Jahre}$

22.

Planetengruppe	<i>R</i> in km	<i>m</i> in kg	ρ in $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
erdähnliche	$< 10^4$	$< 10^{26}$	$> 3,5$
jupiterähnliche	$> 2 \cdot 10^4$	$> 8 \cdot 10^{26}$	< 2

Die Sonne

29. $L \approx 3,86 \cdot 10^{23} \text{ kW}$

30. $t \approx 41,5 \text{ h}$

31. $\bar{\rho}_s = 1,41 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ $\rho_E \approx 4 \cdot \rho_s$

32. Masseverlust je Jahr $= 1,33 \cdot 10^{17} \text{ kg}$
entsprechen $6,7 \cdot 10^{-12}\%$ der m_s

Die Sterne

36. Die Sonne ist $63 \cdot 10^9$ heller als der Stern Kapella

37. Radius von Beteigeuze: rund $2,4 \cdot 10^8 \text{ km}$

38. $\rho_{st} \approx 182\,000 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Die Galaxis und extragalaktische Systeme

42. Alle Sterne der Spektralklassen O und B des Sternbildes Orion.

REGISTER

- A**
- Absorptionslinien 69, 88
 - Adams, Walter Sydney* 59
 - Aktivitätsperiode 66
 - Ambarzumjan, Viktor* 91, 101
 - Äquatorsystem 20
 - , rotierendes 24, 25, 26
 - Aristarch von Samos* 56
 - Aristoteles* 56
 - Atmosphäre
 - der Erde 14
 - des Mondes 36
 - der Planeten 46
 - der Sonne 63
 - Astrologie 7
 - Astronautik 53
 - Astronomie 5
 - Astronomische Einheit 17
 - Astrophysik 62, 99
 - Azimit 22
- B**
- Bedeckungssterne 80
 - Bessel, Friedrich Wilhelm* 98
 - Bethe, Hans* 101
 - Bewegung, scheinbare 18, 19, 29
 - , wirkliche 18
 - Brahe, Tycho* 43
 - Bunsen, Robert* 99
- C**
- Chromosphäre 65
- D**
- Deklination 25
 - Deklinationskreis 25
 - Dichte, mittlere 77, 82
 - Doppelplanet 29
 - Doppelsterne 81
 - Dunkelwolken 90, 94
- E**
- Eddington, Sir Arthur* 100
 - Eisenmeteorite 50
 - Ekliptik 19
 - Ellipse 16
 - Emissions-
 - linienspektrum 69
 - nebel 90, 94
 - Energie 70
 - Epizykel 41
 - Erd
 - äquator 13, 19
 - atmosphäre 14
 - bahn 17
 - körper 12
 - messung 12
 - mond 28
 - radius 13
 - rotation 16
 - satellit, künstlicher 14, 15, 53
 - trabant 28
 - Erscheinungsformen 103
 - Eruptionen,
 - chromosphärische 65
- F**
- Fernrohr 7, 9
 - Feuerkugel 51
 - Finsternis 30
 - , totale 31
 - Forschung, astronomische 53
 - Fraunhofer, Joseph* v. 99
 - Frühlingspunkt 17
- G**
- Galaxien 94
 - Galaxis 91, 102
 - Galilei, Galileo* 7, 36, 43, 58
 - Galle, Johann Gottfried* 59
 - Gas 48
 - Gaswolken 51
 - Gebirgsformation
 - des Mondes 33
- Geodäsie** 12
- Geophysik** 12
- Gezeiten** 33
- Granulation** 63
- Gravitations**
 - gesetz 81
 - kraft 46
 - wirkung 68
 - zentrum 63
- Größenklasse** 75
- H**
- Hauptreihe 79, 85
 - Helligkeit, absolute 75
 - , scheinbare 74
 - Helmholtz, Hermann* v. 100
 - Herschel, Wilhelm* 59, 98
 - Hertzprung-Russell-
 - Diagramm 79, 82, 85
 - Himmels
 - äquator 25
 - kugel, scheinbare 19
 - nordpol 24
 - photographie 100
 - südpol 24
 - Hipparch* 56
 - Höhe 21
 - Horizont, mathematischer 20
 - , natürlicher 21
 - Horizontebene 20
 - Horizontkoordinate 21
 - Horizontsystem 26
 - , Koordinaten des – 21
- I, J**
- Ionosphäre 68
 - Jupiter 47
- K**
- Kepler, Johannes* 43, 59
 - Kernfusion 70
 - Kirchhoff, Gustav Robert* 99

Kometen 48
Kompaß 22
Kontraktion 85, 90
Koordinatensystem 20
– der Erde 20
– der Himmelskugel 20
Kopernikus, Nikolaus 42, 57
Korona 65
Kosmos 6
Krater 33
Kugelsternhaufen 94
kulminieren 22

L
Leuchtkraft 67, 71, 77, 78, 83
Leuchtkraftklassen 80
Leverrier, U. 59
Linsenfernrohr 8

M
Magnetfelder 51, 64
Magnetfeld der Erde 15
Magnetosphäre 15
Mars 40
Masse 32, 82
Masse-Leuchtkraft-
Beziehung 81, 82
Mauerquadrant 7
Mehrfarbenphotometrie 77
Meridian 21
-ebene 21
-kreis 22
Merkur 45
Metagalaxis 103
Meteore 51
Meteorit 48, 50
Meteorstrom 51
Mond 28
-entfernung 36
-finsternis 32
-oberfläche 33
-phasen 30

N
Neptun 45
Neumond 31
Newton, Sir Isaac 44, 59

O
Oberflächen
-formation 32
-temperatur 77, 83
Orientierung 20

P
Parallaxe 73
–, jährliche 17
Parallelkreise 25
Parsek 73
Pendelquadrant 22
Photosphäre 63
Planeten 40
-atmosphäre 46
-bewegung 40
-system 45, 55
Planetoiden 48
Pluto 45
Polarlichter 68
Polarstern 24
Polhöhe 26
Protuberanzen 65
Ptolemäus 57, 43
Pythagoras 56

Q
Quarzuhr 24
Quasare 95

R
Radarechomethode 17
Radiofrequenzstrahlung 101
Radius
– der Erde 12
– des Mondes 32
– von Planeten Tabelle 6
– der Sonne 62
– von Sternen 80
–, wahrer 62
Raumfahrt 10, 36, 52, 101
Reflektor 8
Reflexionsnebel 90
Refraktor 8
Rektaszension 25
Riesen 79
Ringgebirge 33

Rotation
– der Erde 15
– der Sonne 64
–, differentielle – der Sonne 64
Rotationsgeschwindigkeit
der Erde 16

S
Saturn 48
Schattenstab, senkrechter 22
Schwarzschild, Karl 100
siderische Umlaufzeit 29
Solarkonstante 67
Sonnens
-aktivität 64, 66, 68
-atmosphäre 66
Sonnennfinsternis 31
–, partielle 32
–, ringförmige 32
Sonnens
-flecken 64
-spektrum 69
-system 102
-wind 67
Spektralklassen 77, 78
Spektraltyp 83
Spektren 78
Spektrum, kontinuierliches 69
Spiegelfernrohr 8
Spiegelteleskop 10
Staub 48, 51
Steinmeteorit 50
Sternassoziation 91
Sternbilder 20
Sterne, Entfernung 72
–, Entdeckung 90
–, Entwicklung 85
–, pulsierende 83
–, veränderliche 83
Sternhaufen 86
–, offene 94
Sternkarte, drehbare 20, 110
Strahlen 35
Strahlungs
-gürtel 15
-leistung 67
Strahlung, ultrarote 14
–, ultraviolette 14
Stundenkreis 25
Stürme, magnetische 68

- T**
 Teilchenstrahlung 67
 Temperatur 46, 62, 70, 77
 Theodolit 22
 Tierkreis 19
- U, V**
 Umlaufzeit, siderische 29
 Universum 6
 Uranus 45
 Venus 45
- W**
 Wallebene 33
 Wandelsterne 40
Weizsäcker, Carl Friedrich v.
 101
 Wellen, elektromagnetische
 67
 Weltall 6, 102
 Weltbild, geozentrisches 18
 –, heliozentrisches 18
 Weltsystem, geozentrisches
 41, 57
- , heliozentrisches 42
 Wettersatellit 53
 Winkelmeßgerät 22
 Wolken, interstellare 88
- Z**
 Zenit 21
Ziolkowski, Konstantin
Eduardowitsch 52
 Zirkumpolarsterne 26
 Zustandsgrößen 77
 Zwerge, Weiße 80

Hinweise zu einigen Bildern

Vorsätze

Für das vordere Vorsatz und für das hintere Vorsatz wurden zwei Tafeln aus dem Werk Johannes Elerti Bode, *Uranographia*, Berlin 1801, verwendet.

Bild auf Seite 11:

Der Saturn

Bild auf Seite 61:

Der Dunkelnebel „Pferdekopf“ im Orion

Bild auf Seite 105:

Tagbeobachtung des Mondes in der Schulsternwarte Crimmitschau. Die Schülerin beobachtet den Verlauf der Lichtgrenze auf der Mondoberfläche, der Schüler bestimmt die Koordinaten des Mondes im Äquatorsystem.

Farbtafel:

Die Spektren einiger heller Sterne auf der Farbtafel *Spektren* wurden von Dr. J. Dorschner und Dr. Ch. Friedemann, Jena, mit dem Gitterspektrographen am 90-cm-Spiegelteleskop der Universitätssternwarte Jena aufgenommen.

Quellennachweis

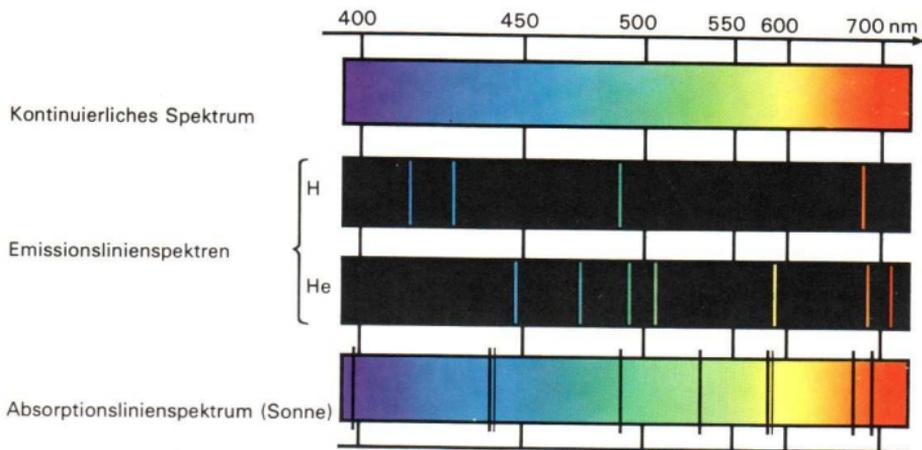
Archiv VWV: 5/1; 28/1; 56/1; 61/1; 62/1; 69/1; 89/3 · DSF: 35/1 · VEB Funkwerk Erfurt: 24/1 · Harvard Observatorium: 92/2 · Prof. Dr. Johannes Hoppe: 11/1; 28/1 · Karl-Schwarzschild-Observatorium Tautenburg: 6/1; 89/1; 95/1 · Mt. Palomar Observatorium: 88/1 · Dr. Pauscher: 23/2 · Ross-Calvert: 72/1 · Dr. Klaus-Günter Steinert: 22/2 · Albert Täubert: 105/1 · Prof. Diedrich Wattenberg: 31/2; 64/1; 65/1 · Mt. Wilson Observatorium: 89/2; 94/1 · VEB Carl Zeiss, Jena: 10/1; 10/2; 14/1; 23/1 · Zentralbild Berlin: 5/1; 15/1; 38/1; 51/1 · Zentralinstitut für Astrophysik (Reproduktionen): 40/1; 47/1; 47/2; 48/1; 49/3; 90/2; 95/2; 100/1a; 100/1b.

Reproduktionen aus:

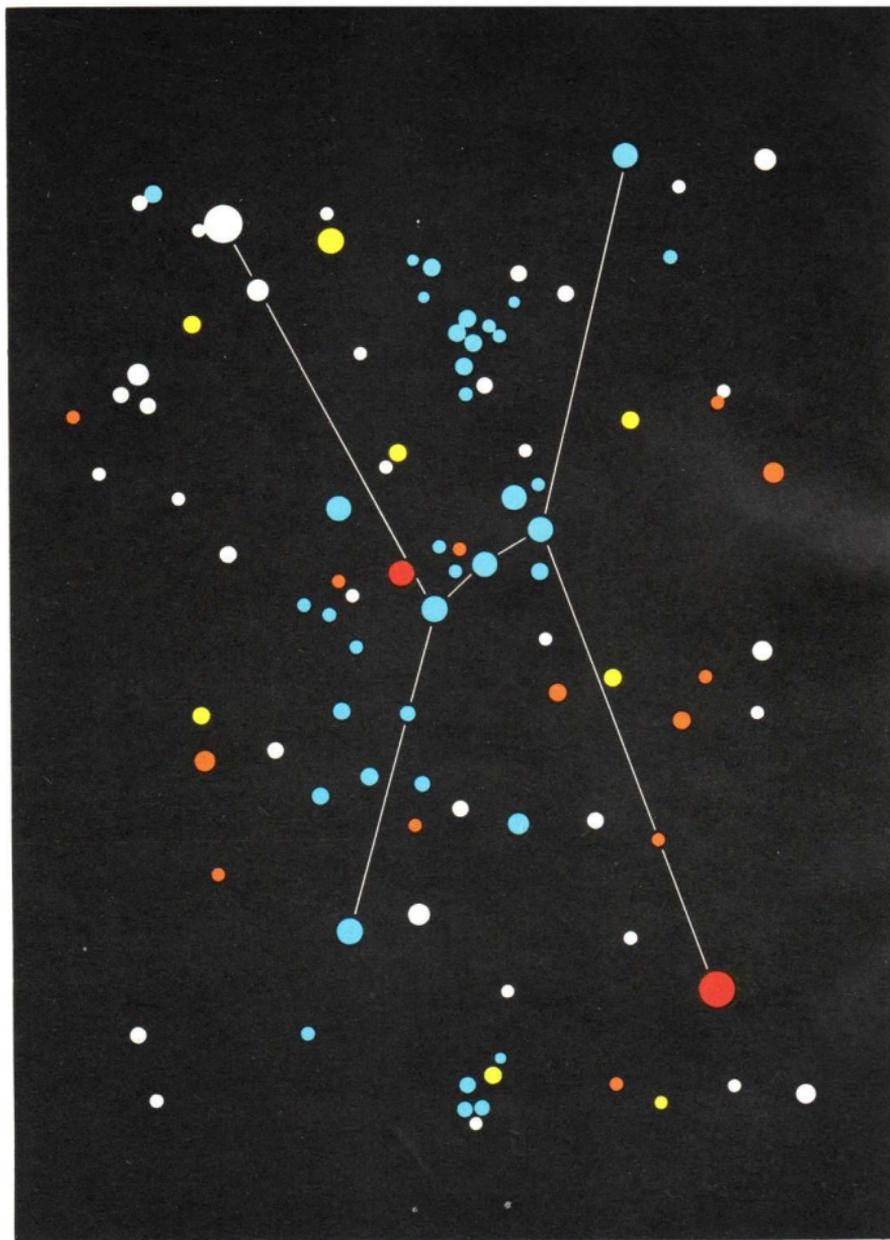
Johannes Elerti Bode, *Uranographia*, Berlin 1801:

Vorderes und hinteres Vorsatz.

H. C. King, *Astronomy*, London 1960: 66/1a; 66/1b



Spektral- klasse	Typischer Vertreter	Spektrum	Farbe des Stern- lichtes	Temperatur
B	Spika		bläulich	25 000 °K 2 800 °K
A	Sirius		weiß	
F	Prokyon			
G	Kapella		gelblich	
K	Arktur			
M	Beteigeuze		rötlich	



SPEKTRALKARTE IM GEBIET DES STERNBILDES ORION



Pes. semi

Caput

Medusae

*Triangulum
majus*

MUSCA

Mars

Jupiter

ARIES

**PISCIS
BOREALIS**

Taurus

Saturnus

Jupiter

*Caput
Scorpii*

Eridanus

Planus et Rubeus



Andromeda

Hercules
Eridanus

Piscium

Cancer

LINUM

PISCUM

PISCIS AUSTRALIS

Aquarius

Cetus

