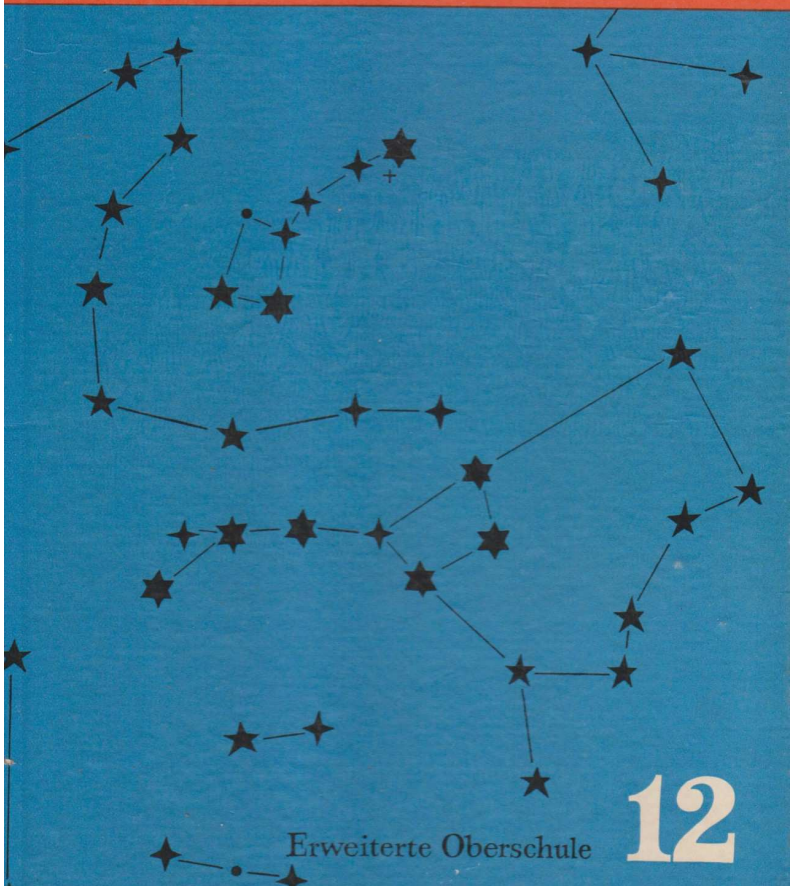
Astronomie



Erweiterte Oberschule

12

Astronomie

Lehrbuch

für die erweiterte Oberschule

Klasse 12

VOLK UND WISSEN

VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1963

Übersetzung aus dem Russischen
Titel der Originalausgabe: Б. А. Воронцов-Вельяминов: Астрономия

Nach der im Staatsverlag für didaktische und pädagogische Literatur, Bukarest, im Jahre 1960 herausgegebenen deutschen Ausgabe für die erweiterte Oberschule der Deutschen Demokratischen Republik bearbeitet und ergänzt von Oskar Mader

Das Kapitel „Künstliche Erdsatelliten, kosmische Sonden und Weltraumschiffe" ist eine Bearbeitung des entsprechenden Abschnitts im „Lehrheft der Astronomie" für die 10. Klasse der zehnklassigen allgemeinbildenden polytechnischen Oberschule, Ausgabe 1963

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik
als Lehrbuch für die erweiterte Oberschule für das Schuljahr 1963/64 bestätigt

Umschlag: Gerhard Neitzke
Typografische Gestaltung: Günter Runschke
ESMF · Bestell-Nr. 02 948-1 · 2,50 DM · Lizenz-Nr. 203 · 1000/63 (E)
Satz und Druck: VEB Leipziger Druckhaus, Leipzig (III/18/203)

Einleitung 7

Gegenstand der Astronomie 7
Allgemeines über das Weltall 8

Erde und Himmelskugel 12

1. Sternhimmel und Rotationsbewegung der Erde 12

1.1. Himmelskugel und Sternbilder 12
1.1.1. Himmelskugel 12
1.1.2. Sternbilder 12
1.1.3. Sterngrößen und Sternbenennung 13
1.1.4. Erkennen der Sternbilder 14
1.2. Tägliche Bewegung der Himmelskugel und Rotation der Erde 16
1.2.1. Rotation der Himmelskugel 16
1.2.2. Beweise der täglichen Erddrehung 17
1.3. Die Projektion der Sterne auf die Himmelskugel 18
1.4. Wichtige Punkte und Linien der Himmelskugel 19
1.4.1. *Zenit und Horizont* 19
1.4.2. Himmelspole und Weltachse (Himmelsachse) 19
1.4.3. Himmelsäquator 20
1.4.4. Meridian und Mittagslinie 20
1.4.5. Wichtige Punkte des Horizonts (Kardinalpunkte) 21
1.4.6. Die Linien der Himmelskugel und die Erdkugel 21
1.5. Kulmination der Sterne 22
1.6. Himmelskoordinaten und Himmelskarte 24
1.7. Angenäherte Orientierung auf der Erde nach den Sternen 25
1.8. Zusammenhang zwischen der Polhöhe, dem Anblick des Himmels und der geographischen Breite des Ortes 26
1.8.1. Polhöhe und geographische Breite 26
1.8.2. Anblick des Sternhimmels in Abhängigkeit vom Beobachtungsort auf der Erdoberfläche 27
Übungen 28

2. Die scheinbare jährliche Bewegung der Sonne und die Umlaufbewegung der Erde 28

2.1. Die scheinbare Bewegung der Sonne auf der Ekliptik 28
2.1.1. Die jährliche Änderung der Mittagshöhe der Sonne und des Anblicks des Sternhimmels 28
2.1.2. Ekliptik und Tierkreis 30

Übungen 31
2.2. Die Änderung der täglichen Bewegung der Sonne über dem Horizont mit der geographischen Breite 31
2.3. Bewegung der Erde um die Sonne und ihre Folgen 32

3. Die Zeitmessung 34

3.1. Zeitmaß und geographische Länge 34
3.1.1. Sterntag (siderischer Tag) und Sonnentag 34
3.1.2. Ortszeit 35
3.1.3. Datumsgrenze 36
3.1.4. Bestimmung der geographischen Länge 36
3.2. Ortszeit und Zonenzeit 37
3.3. Zeitdienst 37
3.4. Astronomische Beobachtungen bei der See- und Luftfahrt 38
3.5. Kalender 38
3.5.1. Alter Stil und neuer Stil 38
3.5.2. Ursprung des Monats und der Woche 39
3.5.3. Unsere Zeitrechnung 40
Übungen 40

Die wichtigsten Methoden zum Studium des Weltalls 41

1. Bestimmen der Entfernungen und der Ausmaße von Himmelskörpern 41

1.1. Parallaxe. Bestimmung der Entfernung der Himmelskörper 41
1.2. Bestimmung der Ausmaße der Himmelskörper 43
1.3. Die jährliche Parallaxe als Beweis der Bewegung der Erde um die Sonne 43
Übungen 45

2. Rolle des Fernrohrs; Photographie und Spektralanalyse in der Astronomie 45

2.1. Fernrohre und Photographie 45
2.2. Bestimmung der chemischen Zusammensetzung, der Geschwindigkeit und der Temperatur der Himmelskörper 46
2.3. Sowjetische Sternwarten 49
2.4. Sternwarten in unserem Lande 49

Sonnensystem 51

1. Die falschen Auffassungen der Vergangenheit 51

1.1. Astronomie des Altertums; Astrologie und Aberglauben 51
1.2. Die scheinbare Bewegung der Planeten und ihre Erklärung vor Kopernikus 52

2. Revolution in der Auffassung über die Welt 55

2.1. Die revolutionäre Entdeckung des Kopernikus 55
2.2. Die Entdeckungen Galileis und der Kampf der Kirche gegen die Wissenschaft 56
2.3. Die wahre Bewegung der Planeten und die Keplerschen Gesetze 58
Übungen 61

3. Allgemeine Gravitation und Bewegung des Mondes 61

3.1. Das Gesetz der allgemeinen Gravitation 61
3.1.1. Gravitationsgesetz 61
3.1.2. Mondbewegung und Erdanziehung 61
3.1.3. Bewegung der Himmelskörper; Bestimmung ihrer Massen 62
3.1.4. Störungen der Planetenbewegung; Entdeckung des Planeten Neptun 63
Übung 64
3.2. Mondbewegung und Mondphasen 64
3.3. Sonnen- und Mondfinsternisse 66
3.3.1. Ursachen der Finsternisse 66
3.3.2. Mondfinsternisse 67
3.3.3. Sonnenfinsternisse 68
Übungen 69

4. Der physische Aufbau der Planeten und ihrer Satelliten 70

4.1. Der physische Aufbau des Mondes 70
4.1.1. Rotation des Mondes um seine Achse 70
4.1.2. Mondoberfläche 71
4.1.3. Die physischen Bedingungen auf dem Mond 72
4.2. Allgemeines über das Sonnensystem 73
4.3. Merkur und Venus 74
4.4. Mars; Lebensmöglichkeiten auf anderen Planeten 75
4.5. Riesenplaneten 77
4.6. Planetoiden 80

5. Künstliche Erdsatelliten, kosmische Sonden und Weltraumschiffe 80

5.1. Der erste Starterfolg 80
5.2. Startvorgang und Flugdauer bei künstlichen Erdsatelliten 81
5.3. Satellitenbahnen 82
5.4. Beobachtung künstlicher Erdsatelliten 83
5.5. Geophysikalische und astronomische Aufgaben der künstlichen Erdsatelliten 85
5.6. Kosmische Sonden 87
5.7. Weltraumschiffe (Raumschiffsatelliten) 88
Übungen 91

6. Kometen, Meteore und Meteoriten 91

6.1. Kometen, ihre Bewegung und ihre Natur 91

6.2. Meteore (Sternschnuppen) und ihr Zusammenhang mit den Kometen 93
6.3. Boliden und Meteoriten 96

7. Die Sonne 97

7.1. Die Sonne, ihr Anblick im Fernrohr und ihre Achsendrehung 97
7.2. Sonnenatmosphäre und chemische Zusammensetzung der Sonne 99
7.3. Strahlung der Sonne; Periode der Sonnenaktivität 102
7.3.1. Die Strahlung der Sonne und die Solarkonstante 102
7.3.2. Sonnenaktivität und Sonnenflecken 102
7.3.3. Polarlichter 103
7.3.4. Bedeutung des Studiums der Sonne; Ursprung ihrer Energie 104

Sterne und Sternsysteme 105

1. Physikalischer Zustand und Bewegung der Sterne 105

1.1. Jährliche Parallaxe und Entfernung der Sterne 105
1.2. Sternhelligkeit und Sternbewegung 106
1.3. Temperatur und Ausmaße der Riesen- und Zwergsterne 108
1.4. Doppelsterne und veränderliche Sterne 112

2. Sternsysteme und diffuse Materie 115

2.1. Sternhaufen, Milchstraße und Milchstraßensystem (Galaxis) 115
2.2. Andere Sternsysteme 118
2.3. Nebel 120
2.4. Das Weltall ist unendlich 121

Ursprung und Entwicklung der Himmelskörper 123

1. Das Problem des Ursprungs der Himmelskörper und ihr Alter 123
2. Ursprung der Planetensysteme 124
3. Entwicklung der Sterne, der Sonne und der Nebel. Der ewige Bestand des Weltalls 126

Anhang 129

1. Zahlenwerte wichtiger astronomischer Größen 129
2. Griechisches Alphabet (Kleinbuchstaben) 130
3. Sonnensystem 131
4. Sterne großer scheinbarer Helligkeit 132
5. Bau einer Sonnenuhr 133
6. Anleitungen zur Himmelsbeobachtung 134

Einleitung

Gegenstand der Astronomie

Die Astronomie ist die Wissenschaft, die sich mit dem Studium der Bewegung, des Aufbaus und der Entwicklung der Himmelskörper sowie der Systeme von Himmelskörpern beschäftigt. Die Erkenntnisse der Astronomie werden im praktischen Leben angewendet.

Die Astronomie ist eine der ältesten Wissenschaften. Ihre Anfänge finden sich in China, Babylonien, Ägypten vor einigen tausend Jahren.

Schon die ersten die Himmelskörper beobachtenden Menschen haben festgestellt, daß die Zeit nach der Stellung der Sonne und der Sterne bestimmt werden kann; so erreicht zum Beispiel die Sonne täglich zu Mittag ihre größte Höhe. Auf Grund des veränderlichen Aussehens des Mondes (sichel- oder scheibenförmig) und der periodischen Änderung der Stellung der Sonne und der Sterne können große Zeitintervalle gemessen, also Kalender aufgestellt werden. Um sich zu orientieren, verstanden es die Nomaden und die Seefahrer, Sternbeobachtungen heranzuziehen.

Die Astronomie dient auch heute demselben Zweck. Um Position und Bewegungsrichtung von Schiffen und Flugzeugen zu bestimmen, verwendet man Sternbeobachtungen. Die genaue, durch den Rundfunk bekanntgegebene Zeit wird von Astronomen anhand von Sternbeobachtungen bestimmt. Ohne Beobachtung der Sterne hätten auch keine genauen Landkarten entworfen werden können. *Es waren also praktische Bedürfnisse des Menschen, die zur Entstehung und Entwicklung der Astronomie führten.*

Die tägliche Beobachtung des Auf- und Untergangs der Sonne und der Bewegung der Sterne in bezug auf den Horizont ließ die Menschen zunächst glauben, daß alle Himmelskörper sich wirklich um die Erde drehen und daß diese unbewegt sei. Die Begriffe Erde und Himmel waren einander entgegengesetzt. Diese falsche Anschauung wurde von der Wissenschaft widerlegt.

Die Erde und die Planeten – der Erde ähnliche Himmelskörper – bewegen sich um die Sonne. Die Sterne sind der Sonne ähnliche Himmelskörper, bestehen aus glühenden Gasen, sind viel größer als die Erde und in vielen Fällen wesentlich größer als die Sonne.

Im Altertum hatten die Menschen recht naive Anschauungen vom Weltall; sie widerspiegelten sich in verschiedenen Religionen, welche behaupteten, daß die Erde von einem Gott oder von Göttern geschaffen wurde und seither ohne Veränderung besteht. Die wissenschaftliche Erforschung des Weltalls hat aber ergeben, daß die Materie im All sich in unaufhörlicher Bewegung und Veränderung befindet.

Die Kenntnis der Naturgesetze hat die Menschen in die Lage versetzt, die Natur zu beherrschen und sie sich dienstbar zu machen. Seitdem die Ursache einiger Himmelserscheinungen, wie zum Beispiel der Sonnenfinsternisse, der Erscheinung von Kometen usw. bekannt ist, haben die Menschen aufgehört, sich davor in abergläubischer Weise zu fürchten; denn der Aberglauben gründet sich auf die Unkenntnis der wirklichen Struktur des Weltalls.
Die Astronomie zeigt uns, daß nicht nur die Erde von Lebewesen bevölkert zu sein braucht. Sie lehrt uns weiter, daß auf Grund der Naturgesetze alles in der Welt sich verändert, daß das Weltall ewig ist, nicht geschaffen wurde und nie zu bestehen aufhören wird.
Wir können keine wissenschaftliche Anschauung vom Weltall haben, ohne die Grundlagen der Astronomie zu kennen.
Die Forschungsergebnisse der Astronomie sind auch der Entwicklung anderer Wissenschaften nützlich, wie zum Beispiel der Physik, der Chemie und der Geologie. So haben die Astronomen die Existenz des Heliums in der Sonne nachgewiesen, bevor es auf der Erde festgestellt werden konnte. Andererseits helfen die Physiker den Astronomen, neue Methoden zum Studium der Himmelskörper zu finden, die Mathematiker bieten immer vollkommenere Methoden zur Ausführung der Berechnungen, die sich in der Astronomie ergeben, usw.
Manchmal helfen die Astronomen den Historikern bei der Festlegung des Zeitpunkts geschichtlicher Ereignisse des Altertums.

So ist bekannt, daß während der Kämpfe zwischen Medern und Lydiern in Kleinasien ein seltenes Ereignis, eine totale Sonnenfinsternis, stattfand. Die Astronomen berechneten, daß eine totale Sonnenfinsternis an diesem Ort am 28. Mai 585 v. u. Z. gesehen werden konnte. Auf diese Weise wurde der genaue Zeitpunkt dieses historischen Ereignisses bestimmt.

Die Astronomie gründet sich auf die Beobachtung der Himmelserscheinungen. Viele dieser Erscheinungen bemerkt man nicht sofort, sondern stellt sie erst fest, wenn man die zu verschiedenen Zeitpunkten gemachten Beobachtungen miteinander vergleicht.

Allgemeines über das Weltall

In dunkler Nacht und bei klarem Himmel kann eine Vielzahl von Sternen gesehen werden. Es ist unschwer zu beobachten, daß sich der gesamte Sternhimmel langsam dreht, und die meisten Sterne, wie auch Sonne und Mond, am Horizont auf- und untergehen. Der Auf- und Untergang der Sterne, die scheinbare Drehung des Sternhimmels – all dies widerspiegelt die Drehung unserer Erde um ihre eigene Achse mit einer Rotationsdauer von einem Tag. Wir empfinden jedenfalls diese Drehung der Erde nicht, und darum scheint es uns, als wenn wir unbewegt stünden und sich das ganze Weltall um uns drehte.
Die Menschen des Altertums kannten einige scheinbare Bewegungen der Sterne, wie zum Beispiel deren Auf- und Untergang. Aber erst nach genauem Verfolgen dieser

Bewegungen konnten die Menschen die wirkliche Lage der Erde im Weltall, die wirkliche Bewegung der Himmelskörper und ihre Natur feststellen. Das Studium der scheinbaren Lage und der Bewegung der Himmelskörper, die vom Beobachtungsort auf der Erdoberfläche und von der Bewegung des Beobachters mit der Erde abhängig sind, hat große praktische Bedeutung. Das Erfassen dieser Erscheinungen gibt uns die Möglichkeit, den Gang der Uhren zu kontrollieren, also die Zeit zu messen und einen Kalender aufzustellen. Ferner sind sie unumgänglich notwendig bei der Herstellung von Landkarten, beim Langstreckenflug und bei der Schiffahrt. Darum muß auch das Studium der Astronomie mit der Beobachtung der scheinbaren Himmelsvorgänge, ihrer Erklärung und der Anwendung dieser Kenntnisse in der Praxis beginnen.

Bevor wir mit der Beobachtung des Himmels und der Himmelskörper beginnen, ehe wir uns umfassendere Kenntnisse über diese Himmelskörper aneignen, ist es gut, darüber folgendes zu wissen: Wenn wir den Himmel betrachten, so bemerken wir zuerst die *Sterne* (Fixsterne), die ihre gegenseitige Lage nicht ändern und in Gruppen, sogenannten Sternbildern, sichtbar sind; außerdem können wir mit freiem Auge noch fünf andere leuchtende Himmelskörper sehen, die sich täglich langsam zwischen den anderen Sternen bewegen (Bild 1). Die alten Griechen nannten sie daher *Planeten* (Wandelsterne, von dem Wort planetes – der Umherirrende). Bei ihrer Bewegung

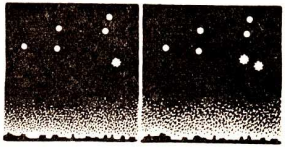


Bild 1.
Links Sternbild des Löwen, rechts das gleiche Sternbild mit einem hellen Planeten

zwischen den Sternen beschreiben sie Kurven oder Schleifen. Dieses Kennzeichen der scheinbaren Bahn der Planeten ist dem Umstand zuzuschreiben, daß auch sie sich, ebenso wie die Erde, um die Sonne bewegen, nur mit verschiedenen Geschwindigkeiten und Umlaufszeiten.

Die Planeten sind riesige Kugeln, ähnlich der Erde, sowohl was die Ausmaße als auch die Tatsache betrifft, daß sie kein eigenes Licht ausstrahlen; wir sehen sie, weil sie das Sonnenlicht reflektieren. Im Fernrohr erscheinen die Planeten als Scheibchen, zum Unterschied von den Sternen, die sich auch im Fernrohr als leuchtende Punkte abzeichnen. Wir kennen insgesamt neun große Planeten (einschließlich der Erde). Von diesen können drei nur mit Hilfe des Fernrohrs gesehen werden. Viele Planeten sind, so wie unsere Erde, von einer Atmosphäre umgeben und es ist möglich, daß einige auch Leben beherbergen. Mit freiem Auge können wir die Planeten nur schwer von den Sternen unterscheiden, wenn wir nicht ihre Bewegung auf der Himmelskugel verfolgen.

Aus dem kosmischen Raum betrachtet würde uns auch die Erde, so wie die Planeten, als kleines Scheibchen erscheinen.

Der Mond ist ein *Satellit* der Erde. In einem Monat umkreist er die Erde, und seine von der Sonne beleuchtete Hälfte nimmt verschiedene Lagen zur Erde ein. Diese Tatsache bewirkt, daß der Mond sein Aussehen ändert, oder, wie man auch sagt, seine Phasen wechselt: manchmal erscheint er als Sichel, ein andermal als Halbkreis, oder auch als volle Kreisscheibe (Vollmond).
Manche Planeten haben mehrere Satelliten (Monde).
Außer den Planeten mit ihren Satelliten umkreisen die Sonne auch viele *Kometen*. Dies sind Himmelskörper von nebelartigem Aussehen, von denen Strahlen oder ein leuchtender Streifen, der Kometenschweif, ausgehen und die sich zwischen den Sternen bewegen. Die Kometen bestehen aus einem kleinen festen Kern, der von einer riesigen Hülle umgeben ist, welche aus verdünnten Gasen und kleinsten Staubteilchen besteht.
Die Sonne, die sie umkreisenden Planeten, deren Satelliten, die Kometen und die interplanetare Materie bilden das *Sonnensystem* (Bild 2).
Die *Sterne* (Fixsterne) sind glühende Gaskugeln; in dieser Hinsicht gleichen sie der Sonne, deren Oberflächentemperatur etwa 6000 °K beträgt. *Die Sonne ist der uns nächste Stern*. Außer den Sternen, die unserer Sonne gleichen, gibt es noch größere und kleinere, heißere und weniger heiße, hellere und weniger helle – mit einem Wort, die Welt der Sterne ist äußerst mannigfaltig. Wahrscheinlich werden noch viele Sterne von Planeten umkreist, von denen einige auch Leben beherbergen. Die Sterne bewegen sich mit Geschwindigkeiten bis zu Hunderten von Kilometern je Sekunde, ohne zusammenzustoßen, weil ihre gegenseitigen Entfernungen außerordentlich groß sind. So ist zum Beispiel die Entfernung zu dem uns nächsten Fixstern mehr als 250000mal

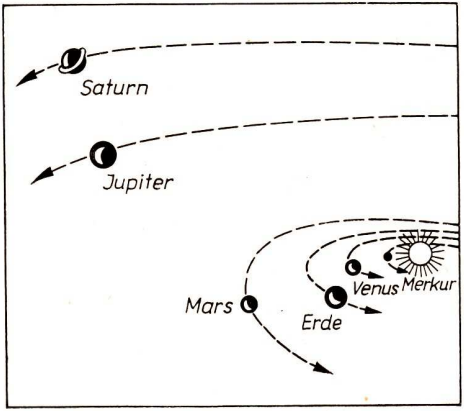


Bild 2.
Die Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn in ihrer Bewegung um die Sonne

so groß wie die Entfernung zwischen der Sonne und der Erde, die etwa 150 Millionen Kilometer beträgt. Das Licht, das sich mit einer Geschwindigkeit von 300000 Kilometern je Sekunde ausbreitet, braucht von diesem Stern bis zu uns etwa 4 Jahre, während es uns von der Sonne kommend in 8 Minuten, vom Mond kommend in $1^1/_3$ Sekunden erreicht.

Viele Sterne sind eigentlich aus zwei, drei und mehr Sternen bestehende Systeme; es gibt auch *Sternhaufen* mit einigen zehn bis zu einigen hunderttausend Sternen. *Die Sterne und Sternhaufen zusammen bilden ein riesiges Sternsystem, Galaxis (Milchstraßensystem) genannt.* Das Licht durcheilt dieses System in 100000 Jahren. Unsere Sonne ist einer der nahezu 150 Milliarden Sterne des Milchstraßensystems; sie umkreist das Milchstraßenzentrum in ungefähr 200 Millionen Jahren. Eine Vielzahl von Sternen der Galaxis wird von uns wegen ihrer großen Entfernung als Lichtband gesehen, das den Himmel umgibt und Milchstraße genannt wird (Bild 90). Das freie Auge kann die einzelnen Sterne nicht wahrnehmen. Jenseits der Grenzen der Galaxis können mit Hilfe riesiger Teleskope etwa eine Milliarde anderer ähnlicher Sternsysteme beobachtet werden, die wegen ihrer großen Entfernung als äußerst kleine, kaum sichtbare Lichtflecken zu sehen sind.

Der Raum zwischen den Planeten und Sternen ist mit Molekülen und Atomen im Zustand eines stark verdünnten Gases und außerdem mit winzig kleinen Staubteilchen erfüllt. Die von den Sternen ausgehenden Strahlungen (Wärme, Licht, Radiowellen) durchdringen ununterbrochen diesen Raum.

Das Weltall ist unendlich, und in den unzähligen Himmelskörpern dieser Unendlichkeit gehen stetige Veränderungen vor sich, die die Astronomie studiert.

Erde und Himmelskugel

1. Sternhimmel und Rotationsbewegung der Erde

1.1. Himmelskugel und Sternbilder

1.1.1. Himmelskugel

Wo immer wir uns befinden, auf einem freien Platz, auf einem Feld oder auf hoher See, immer haben wir den Eindruck, daß der Himmel sich wie eine Kuppel über unserem Haupte wölbt. Sie wird Himmelskugel genannt.
Die Erde erscheint uns als kreisförmige Scheibe, die die Himmelskugel im Horizont berührt und in deren Mittelpunkt sich der Beobachter befindet. Wir wissen jedoch, daß Erde und Himmel sich nicht berühren und daß der Horizont nur ein scheinbarer Rand eines Teils der von uns beobachteten Erdoberfläche ist. In Wirklichkeit gibt es auch keine Himmelskugel. Die Himmelskörper, wie Sonne, Mond und Sterne, scheinen in gleicher Entfernung vom Beobachter an der Himmelskugel befestigt zu sein. Tatsächlich befinden sich aber alle Himmelskörper in großer und sehr ungleicher Entfernung voneinander.

An klaren Tagen erscheint der Himmel blau, weil die Atmosphäre, welche die Erde einhüllt, das Sonnenlicht zerstreut. Es ist aber bekannt, daß das Sonnenlicht aus mehreren Komponenten von unterschiedlicher Farbe zwischen Rot und Violett besteht. Von diesen wird die kurzwellige Strahlung stärker zerstreut, und daher erscheint der Himmel blau.
Je höher wir uns über der Erdoberfläche befinden, um so dünner ist die Atmosphäre, und die Strahlen werden immer schwächer zerstreut. Wer sich mit einem Flugzeug oder einem Ballon in große Höhen begibt oder sich auf dem Gipfel eines hohen Berges befindet, sieht den Himmel dunkler und kann bisweilen das Leuchten der helleren Sterne auch am Tag wahrnehmen. Durch ein Fernrohr können die helleren Sterne auch bei Tage gesehen werden, denn dieses Instrument gibt dank der Vergrößerung den Himmelshintergrund im Vergleich mit den Sternen dunkler wieder. Während einer totalen Sonnenfinsternis verdunkelt sich der Himmel und die hellen Sterne können mit freiem Auge wahrgenommen werden.

Unter günstigsten Bedingungen können von einem Ort der Erde aus höchstens 3000 Sterne zur gleichen Zeit mit freiem Auge beobachtet werden.

1.1.2. Sternbilder

Um die Orientierung am Sternhimmel zu erleichtern, haben die Menschen im Altertum die Sterne in Gruppen, den *Sternbildern*, zusammengefaßt. Sie gaben diesen Gruppen

Namen, die sich bis in unsere Tage erhalten haben. Die meisten der Namen (wie zum Beispiel Großer Bär) muten uns sonderbar an, weil die Sternbilder Namen von Gegenständen und Tieren tragen, die mit der Anordnung der Sterne im Sternbild wenig gemein haben (Bild 3). In vielen Fällen stehen diese Namen mit Legenden der Antike in Verbindung. Bei zahlreichen Völkern haben die wichtigsten Sternbilder eigene, volkstümliche Namen erhalten, die sich von den zur Zeit in der Wissenschaft gebräuchlichen unterscheiden. In der Gegenwart versteht man unter dem Namen eines Sternbilds einen genau begrenzten Teil des Himmels. Alle Sterne, die sich in diesem Gebiet des Himmels befinden, werden als zu diesem Sternbild gehörend betrachtet.

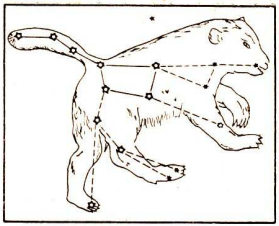


Bild 3. Zeichnung des Sternbilds Großer Bär (nach einer alten Sternkarte)

Am Sternhimmel gibt es 88 Sternbilder. Von diesen werden wir nur jene kennen und am Himmel finden lernen, die aus helleren Sternen bestehen. Um die Sternbilder leichter zu erkennen, denken wir uns die hellen Sterne durch Linien verbunden, so daß wir einfache geometrische Figuren erhalten.

1.1.3. Sterngrößen und Sternbenennung

Die Sterne erscheinen uns von verschiedener Helligkeit. Im Altertum wurden die hellsten Sterne als Sterne 1. Größe, weniger helle als Sterne 2., 3., . . . Größe bezeichnet. Diese Einteilung gilt im wesentlichen auch heute noch. Ein Stern, dessen Helligkeit $\frac{1}{2{,}512}$ der Helligkeit eines Sterns 1. Größe beträgt[1], heißt Stern 2. Größe, usw. Die mit guten Augen in einer mondlosen Nacht eben noch wahrnehmbaren Sterne sind Sterne 6. Größe.

Die Bezeichnung „Sterngröße" hat mit den wirklichen Ausmaßen der Sterne nichts zu tun. Der Begriff „Sterngröße" kennzeichnet die Helligkeit der Sterne.

Um die Sternhelligkeit genauer messen zu können, war es notwendig, auch Zwischenwerte von Sterngrößen (wie 1,2 oder 5,9) und einen genauen Wert für die Sterngröße 1 einzuführen. Um Sterne mit größerer Helligkeit als Sterne 1. Größe zu kennzeichnen, wurde die Skala der Größenklassen über 0 hinaus in den Bereich der negativen Zahlen erweitert.

Mit dem Fernrohr können auch weniger helle Sterne als jene 6. Größe, also 7., 8. Größe usw. wahrgenommen werden[2].

Den auffallendsten Sternen wurden schon im Altertum besondere Namen gegeben, wie zum Beispiel: Sirius, Wega, Atair. Außerdem sind die hellsten Sterne eines Sternbilds mit den Kleinbuchstaben des griechischen Alphabets im allgemeinen in der

[1] Siehe: Sterne und Sternsysteme, Abschnitt 1.2.
[2] Vgl.: Die wichtigsten Methoden zum Studium des Weltalls Abschnitt 2.1.

Ordnung abnehmender Helligkeit bezeichnet. So heißt Sirius auch Stern α des Sternbilds Großer Hund, der Polarstern ist der Stern α im Kleinen Bären, Rigel ist β im Orion usw. In den Sternkatalogen ist die Lage der Sterne auf der Himmelskugel (in Koordinaten) und ihre Größe angeführt. Mit Hilfe dieser Angaben kann jeder Stern des Katalogs am Sternhimmel gefunden werden.

1.1.4. Erkennen der Sternbilder

Jedermann muß den Teil des Sternbilds des Großen Bären, der als Großer Wagen bekannt ist, finden können. Er besteht aus sieben hellen Sternen, von denen vier ein Trapez, die Räder des Wagens, drei in gebrochener Linie die Wagendeichsel darstellen.

Vom Sternbild des Großen Bären ausgehend kann das Sternbild Kleiner Bär gefunden werden. Die sieben hellsten Sterne des Kleinen Bären (weniger hell als jene des Großen Bären) bilden eine dem Großen Wagen ähnliche, aber umgekehrt angeordnete Figur (Bild 4). Der hellste Stern dieses Sternbilds heißt Polarstern (oder Nordstern).

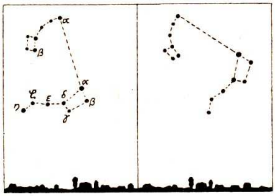


Bild 4. Großer Bär und Kleiner Bär in verschiedenen Lagen zum Horizont

Der Polarstern (α im Kleinen Bären) kann folgendermaßen aufgefunden werden: Wir denken uns die Sterne β und α des Großen Bären mit einer Strecke verbunden und verlängern diese Strecke etwa um das Fünffache. Am Ende der Verlängerung finden wir den Polarstern.

Verlängern wir nun diese gedachte Linie jenseits des Polarsterns etwa um den gleichen Abstand, so gelangen wir zum Sternbild der Kassiopeia. Dieses besteht aus fünf ziemlich hellen Sternen, die ein M (oder W) bilden.

In der Verlängerung derselben Linie befinden sich die Sternbilder Andromeda und Pegasus. Auf einer Seite von der gedachten Linie, die den Großen

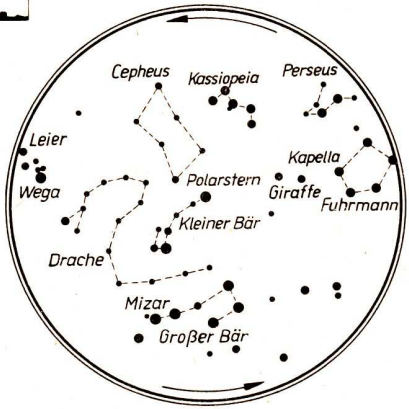


Bild 5. Hauptsterne der Sternbilder um den Himmelsnordpol

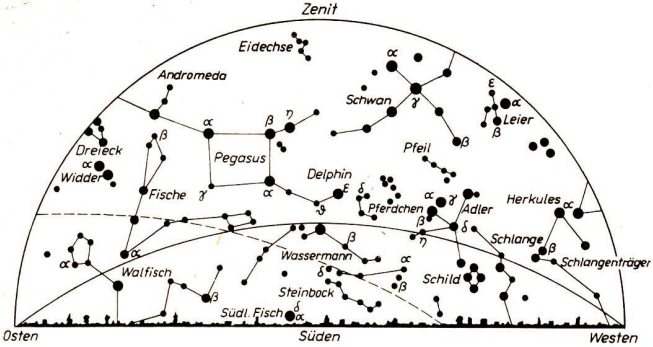


Bild 6. Die Sternbilder des südlichen Himmels am 23. September um etwa 22 Uhr

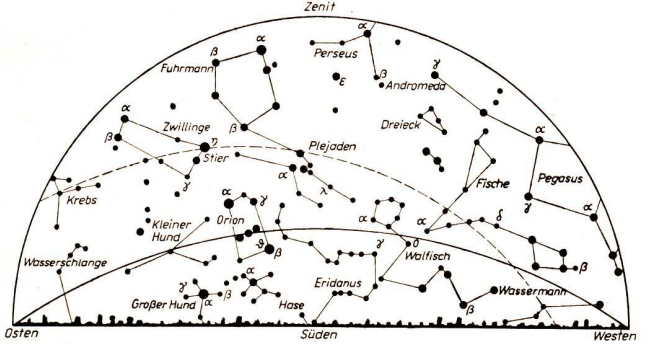


Bild 7. Die Sternbilder des südlichen Himmels am 22. Dezember um etwa 22 Uhr

Bären und die Kassiopeia verbindet, befinden sich die Sternbilder Schwan, Leier und Adler; auf der anderen Seite die Sternbilder Fuhrmann, Zwillinge, Stier, Orion und Großer Hund. Jeder Schüler muß am Sternhimmel die aufgezählten Sternbilder erkennen und sich ihre charakteristische Stellung merken. Diese Sternbilder sind in Bild 5 bis 7 dargestellt.

Die Sternbilder können leichter an Abenden erkannt werden, wenn der Mond nicht so hell scheint. Einige Sternbilder (in unserem Lande zum Beispiel Großer Bär, Kleiner

Bär und Kassiopeia) können immer am Himmel gesehen werden. Andere Sternbilder sind manchmal sichtbar, ein andermal befinden sie sich unterhalb des Horizonts. Außerdem nehmen die sichtbaren Sternbilder zu verschiedenen Jahreszeiten und selbst innerhalb von 24 Stunden verschiedene Stellungen in bezug auf den Horizont ein. Um die Sternbilder leichter zu erkennen, ist es gut, die drehbaren Sternkarten zu verwenden, die die Stellung der Sternbilder zum Horizont für jede Stunde und für jeden Tag des Jahres angeben.
Außerdem ist es angezeigt, schrittweise von einem bekannten Sternbild zum nächsten überzugehen und sich zu merken, auf welcher Seite des bekannten sich das gesuchte befindet. Wir müssen auch auf die Sternhelligkeit achten, die auf den Sternkarten durch Kreise verschiedener Größe gekennzeichnet ist.
In unserem Land sind von den aufgezählten Sternbildern das Sternbild Leier (mit dem hellsten Stern Wega), Schwan und Adler (mit Atair) in den Sommer- und Herbstnächten zu sehen. Das Sternbild Bootes (hellster Stern Arktur) ist im Frühling und Sommer, die Sternbilder Fuhrmann, Stier, Orion und Großer Hund (mit dem hellsten Stern Sirius) sind im Winter zu sehen.

1.2. Tägliche Bewegung der Himmelskugel und Rotation der Erde

1.2.1. Rotation der Himmelskugel

Wenn wir am Abend die Lage eines hellen Sterns in der Nähe des Ostpunkts des Horizonts betrachten und nach einer Stunde denselben Stern aufsuchen, so werden wir sehen, daß sich dieser in bezug auf die festen Punkte der Erde nach oben und etwas nach rechts bewegt hat.
Beobachten wir denselben Stern auch am westlichen Himmel, so gelangen wir zu der Überzeugung, daß sich die Sterne, ähnlich wie Sonne und Mond, im Osten über den Horizont erheben, im Süden ihre größte Höhe erreichen und im Westen untergehen. Am nächsten Tag wiederholen die Sterne diese scheinbare Bewegung und beschreiben täglich einen vollständigen Kreis am Himmel.
Infolge dieser täglichen Bewegung wandern die Sterne, behalten jedoch ihre gegenseitigen Abstände auf der Himmelskugel bei. Der Sternhimmel scheint sich zu drehen und in einem Tag eine vollständige Umdrehung (Rotation) auszuführen.

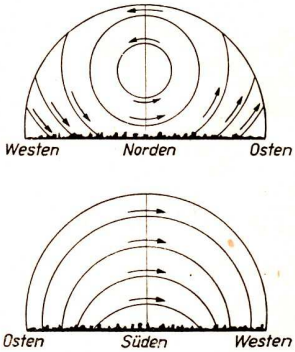


Bild 8. Die täglichen scheinbaren Bahnen der Sterne in bezug auf den Horizont (am nördlichen und am südlichen Teil des Himmels)

Beobachten wir nun aufmerksamer die Bewegungen der Sterne, so stellen wir fest, daß diese verschieden große Kreise beschreiben (Bild 8). In einigen Fällen befindet sich ein Teil der Kreisbahn unter dem Horizont. Solche Sternbilder gehen innerhalb eines Tages auf und unter, wie zum Beispiel Pegasus, Orion, Stier. Andere, zum Beispiel der Große Bär, beschreiben kleinere Kreise, so daß die gesamte Kreisbahn sich oberhalb des Horizonts befindet. Diese Sternbilder gehen nicht unter, sie heißen *Zirkumpolarsternbilder*.

In Wirklichkeit bewegt sich aber die Erdkugel und nicht der Himmel. Die Erde dreht sich entgegen dem Uhrzeigersinn, wenn wir sie vom Nordpol aus betrachten. Wir empfinden die Drehung der Erde nicht, vielmehr scheint uns, als ob sich der Himmel im entgegengesetzten Sinn, nämlich im Uhrzeigersinn, drehen würde.

1.2.2. Beweise der täglichen Erddrehung

Wir bringen zwei anschauliche Beweise der täglichen Erddrehung.

Die Ostabweichung beim freien Fall der Körper. Ein senkrechter tiefer Schacht AB bewegt sich zusammen mit der Erde (Bild 9). Der Punkt A des Schachts hat während der Drehung eine größere Bahngeschwindigkeit als der Punkt B auf der Sohle des Schachts, weil er von der Rotationsachse, also in diesem Fall von der Erdachse, weiter entfernt ist. Eine Kugel im Punkt A hat dieselbe Bahngeschwindigkeit wie der Punkt A. Auf Grund der Trägheit wird die Kugel während des Fallens diese Geschwindigkeit beibehalten; dies hat zur Folge, daß sie den sich weniger schnell bewegenden Punkt B in östlicher Richtung (da die Erde sich von Westen nach Osten dreht) überholen wird. Darum fällt die Kugel nicht genau zum Erdmittelpunkt hin, sie weicht etwas nach Osten ab. Am Äquator ist diese Ostabweichung am größten, an den Polen gleich Null.

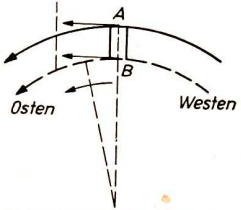


Bild 9. Zur Ostabweichung beim freien Fall der Körper

Die wiederholt und mit größter Genauigkeit durchgeführten Versuche haben die volle Übereinstimmung der Beobachtungen mit den Berechnungen bewiesen; so weicht beim freien Fall aus 85 m Höhe in mittleren Breiten eine Kugel um 10,5 mm nach Osten ab.

Das Foucaultsche Pendel. Aus der Physik ist bekannt – und es kann experimentell leicht nachgeprüft werden – daß ein schwingendes Pendel seine Schwingungsebene beibehält, auch wenn das Stativ, an dem es hängt, gedreht wird. Bei dem zum ersten Mal im Jahre 1851 vom französischen Gelehrten Foucault durchgeführten Versuch wurde ein Pendel verwendet, das aus einem dünnen, 67 m langen Draht, an dem eine Kugel von 28 kg Masse hing, bestand. Die große Länge des Pendels und die Masse der Kugel sicherten den anschaulichen Charakter des Beweises durch die große Schwingungsperiode und die Dauer des Versuchs.

Würde ein solches Pendel an den Polen der Erde schwingen, dann würde sich die Erde dort unter diesem mit einer Geschwindigkeit von 15° je Stunde (360° : 24) drehen. Als Ergebnis könnte man beobachten, daß sich die Schwingungsebene des Pendels in bezug auf die Erdoberfläche mit der gleichen Geschwindigkeit von 15° je Stunde, jedoch in dem der Erddrehung entgegengesetzten Sinn, dreht. Am Erdäquator ändert sich die Schwingungsebene des Pendels nicht. In mittleren Breiten muß sich die Schwingungsebene des Pendels, gemäß der Theorie, mit der Geschwindigkeit $15° \sin\varphi$ (wobei φ die geographische Breite des Ortes ist) je Stunde drehen. Der Foucaultsche Versuch hat die Theorie bestätigt.

1.3. Die Projektion der Sterne auf die Himmelskugel

Alle Himmelskörper scheinen sich in gleicher Entfernung von uns zu befinden, obwohl ihre wirklichen Entfernungen verschieden sind. Dies können wir aber mit unserem Auge nicht wahrnehmen. Deshalb betrachtet man die Sterne gewöhnlich, vereinbarungsgemäß, als auf der Innenfläche einer Kugel von beliebigem Radius befestigt, deren Mittelpunkt im Auge des Beobachters liegt. Man nennt also *Himmelskugel eine gedachte Kugelfläche mit beliebigem Radius, auf die die Lage der Sterne vom Mittelpunkt aus projiziert wird.*

Die Annahme einer gedachten Himmelskugel erleichtert die Beobachtung der einzelnen Himmelserscheinungen, vereinfacht verschiedene Berechnungen, etwa die Berechnung der Zeit des Auf- und Untergangs der Himmelskörper. Der Begriff der Himmelskugel erhält dadurch praktische Bedeutung.

Wenn wir vom Auf- und Untergangspunkt der Sterne oder vom Ort anderer Himmelserscheinungen sprechen, dann meinen wir damit nur die Richtung, in der wir die Sterne sehen (wie z. B. in der Nähe des Horizonts, über unserem Kopf usw.); darum ist es gleichgültig, wie groß der Radius der Himmelskugel angenommen wird. Das Bild 10 zeigt, daß die Richtung, in der wir die Sterne sehen, konstant, von der Größe des Radius unabhängig ist, ganz gleich also, ob der Kugelradius R_1 oder R_2 ist. Deshalb kann der Radius der Himmelskugel beliebig sein.

Wenn wir also annehmen, daß sich alle Sterne an der Himmelskugel befinden (besser gesagt auf sie projiziert sind), dann brauchen wir nur die Winkel der Richtungen, in denen die Sterne gesehen werden, zu messen. Auf der Himmelskugel entsprechen diesen Winkeln Bogen von Großkreisen (unter Großkreisen verstehen wir Kreise mit dem Mittelpunkt im Kugelmittelpunkt). Wir sagen zum Beispiel, daß die Sterne A und B (vgl. Bild 10) an der Himmelskugel 23° voneinander entfernt sind, wenn die Richtungen zu den Sternen – CA und CB – den Winkel ACB von 23° bilden.

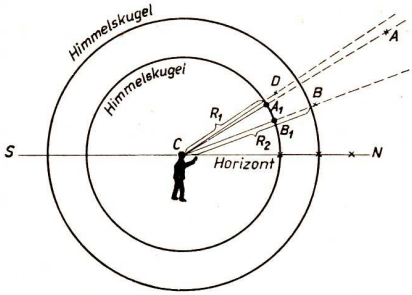


Bild 10. Projektion der Sterne auf die Himmelskugel

Diesem Winkel entspricht auf der Himmelskugel der Bogen A_1B_1 gleich 23°. Der Stern A kann viel weiter von uns entfernt sein als der Stern D; wenn sie aber annähernd in derselben Richtung gesehen werden, dann sagen wir, daß an der Himmelskugel der Abstand zwischen dem Stern D und dem Stern A kleiner ist als der Abstand zwischen dem Stern D und dem Stern B, obwohl die lineare – im Längenmaß gemessene – Entfernung zwischen D und A weit größer sein kann als zwischen D und B.

So sind auch die scheinbaren Durchmesser von Sonne und Mond nahezu gleich (sie betragen annähernd einen halben Grad), obwohl der Mond im Vergleich zur Sonne sehr klein ist. Da der wahre Durchmesser der Sonne etwa 400mal so groß ist wie der Durchmesser des Mondes, die Entfernung der Sonne aber auch etwa das 400fache der Mondentfernung beträgt, sehen wir – nach dem Strahlensatz der Geometrie – die Durchmesser der beiden Himmelskörper ungefähr unter demselben Winkel.

Es hat also keinen Sinn, die Winkel, unter denen man den Durchmesser des Mondes und einer 10-Pfennig-Münze oder eines Tellers sieht, zu vergleichen, wenn man nicht zugleich auch die Entfernung dieser Objekte vom Beobachter angibt. Ebenso haben folgende Ausdrücke keinen Sinn: „Der Mond hat sich ein halbes Meter über den Horizont erhoben", oder „Der Abstand zweier Sterne beträgt 2 Meter".

An der Himmelskugel können nur Winkelmessungen vorgenommen werden.

Wenn wir die Hand ausstrecken und Daumen und Zeigefinger spreizen, dann sieht man die Entfernung der beiden Fingerspitzen etwa unter einem Winkel von 16°. Auf diese Weise können ganz primitive Winkelmessungen am Himmel vorgenommen werden. Es ist gut, wenn wir uns merken, daß der Winkelabstand der Sterne α und β des Großen Bären 5° beträgt.
Mit Hilfe astronomischer Spezialmeßgeräte können Winkel mit einer Genauigkeit von 0″,01 gemessen werden. Es ist bemerkenswert, daß die Dicke eines Drahtes mit einem Durchmesser von 1 mm in einer Entfernung von 20 km unter einem Winkel von 0″,01 gesehen wird.

1.4. Wichtige Punkte und Linien der Himmelskugel

1.4.1. Zenit und Horizont

Der Punkt, in dem die Vertikale durch das Auge des Beobachters die Himmelskugel durchstößt, heißt Zenit. Der Zenit ist somit der höchste Punkt der Himmelskugel über dem Haupte des Beobachters. Eine auf der Vertikalen senkrecht stehende ebene Fläche heißt horizontale Ebene.
Der Schnitt der Himmelskugel mit der horizontalen Ebene, die durch den Mittelpunkt der Himmelskugel geht, heißt mathematischer Horizont. Dieser ist von dem sogenannten *scheinbaren Horizont* verschieden. Letzterer ist die Linie, entlang der sich Himmel und Erde zu berühren scheinen.

1.4.2. Himmelspole und Weltachse (Himmelsachse)

Wenn wir den Himmel nachts aufmerksam betrachten, so stellten wir fest, daß die Sterne in einem Tag um so größere Kreise beschreiben, je weiter sie vom Polarstern entfernt sind.
Innerhalb eines Tages beschreibt der Polarstern einen sehr kleinen Kreis; er wird immer am nördlichen Himmel in etwa gleicher Höhe über dem Horizont gesehen.
Aus dem Bild 11 ist die tägliche Bewegung der Himmelskugel deutlich zu ersehen.

Eine solche Sternspuraufnahme kann folgendermaßen erhalten werden: In einer sternklaren, mondlosen Nacht richten wir einen Photoapparat, der auf einem Dreibein befestigt und auf „un-

Bild 11. Sternspuraufnahme (nördlicher Himmel); Belichtungszeit etwa 50 Minuten

endlich" eingestellt ist, zum Polarstern. Der Verschluß des Apparats wird etwa eine Stunde hindurch in der gleichen Stellung geöffnet gehalten, dann wird die Aufnahme entwickelt. Auf dem Negativ werden wir dunkle Spuren der Sterne sehen, die auf dem Positiv hell erscheinen. Diese Spuren haben die Form von konzentrischen Kreisbogen. Der Drehpunkt befindet sich im Mittelpunkt dieser Kreise. Die Länge der Bogen ist verschieden, ihr Maß, in Graden ausgedrückt, aber gleich.

Auch auf der südlichen Himmelshalbkugel läßt sich der Drehpunkt ermitteln. Er befindet sich in einem Punkt an der Himmelskugel, der jenem der nördlichen Himmelshalbkugel diametral entgegengesetzt ist. Die Achse, um die sich der Sternhimmel zu drehen scheint, verbindet diese Drehpunkte; sie geht durch das Auge des Beobachters, den Mittelpunkt der Himmelskugel. *Die Achse, um welche die tägliche Drehung der Himmelskugel erfolgt, wird Weltachse (Himmelsachse) genannt.*
Die Schnittpunkte der Himmelskugel mit der Weltachse heißen Himmelspole. Der Polarstern befindet sich in der Nähe des Himmelsnordpols (in einem Abstand von etwa 1°). Der Himmelssüdpol kann nur von der südlichen Erdhalbkugel aus gesehen werden. In seiner Nähe befindet sich kein heller Stern.

1.4.3. Himmelsäquator

Die durch den Mittelpunkt der Himmelskugel gehende und auf der Weltachse senkrecht stehende Ebene heißt *Ebene des Himmelsäquators*, ihr Schnittkreis mit der Himmelskugel *Himmelsäquator*. Somit ist der Himmelsäquator der Großkreis der Himmelskugel, dessen Ebene auf der Weltachse senkrecht steht.
Der Himmelsäquator teilt die Himmelskugel in zwei Halbkugeln: die nördliche und die südliche.
Wir bemerken, daß die Benennungen der wichtigsten Punkte und Linien in der Astronomie, wie: Weltachse, Himmelspole und Himmelsäquator, den geographischen Benennungen ähnlich sind: Erdachse, Pole, Erdäquator. Das ist einleuchtend, da die aufgezählten Benennungen mit der scheinbaren Bewegung der Himmelskugel zusammenhängen und eine Folge der wirklichen Rotation der Erdkugel sind.

1.4.4. Meridian und Mittagslinie

Als Meridianebene eines Ortes wird die Ebene bezeichnet, die durch den Zenit des Ortes, den Mittelpunkt der Himmelskugel und den Himmelspol geht. Der Schnitt dieser

Ebene mit der Himmelskugel ergibt den *Meridian*. Die lotrechte Ebene durch den Polarstern und den Beobachter ist annähernd die Meridianebene.
In jedem Punkt der Erdoberfläche fällt die Ebene des Himmelsmeridians mit jener des geographischen Meridians zusammen.
Der Schnitt der Meridianebene mit der Ebene des Horizonts wird *Mittagslinie* genannt. Sie trägt diese Bezeichnung, weil beim wahren[1] Mittag der Schatten der Körper diese Richtung anzeigt. Praktisch kann die Mittagslinie auf dem Boden oder auf einer waagerechten Ebene gezeichnet werden, indem man am wahren Mittag die Schattenrichtung eines lotrechten Stabes markiert.

1.4.5. Wichtige Punkte des Horizonts (Kardinalpunkte)

Die Schnittpunkte des Horizonts mit dem Meridian heißen Nordpunkt (N) und Südpunkt (S), mit dem Himmelsäquator Ostpunkt (O) und Westpunkt (W). Wenn wir uns gegen den Himmelspol (Polarstern) wenden, dann ist der Nordpunkt vor uns am Horizont, der Südpunkt im Rücken, der Ostpunkt rechts und der Westpunkt links.
Im Bild 12 bezeichnet C den Mittelpunkt der Himmelskugel, wo sich das Auge des Beobachters befindet, ZCZ' ist die Zenit-Nadir-Linie, Z der Zenit, Z' der Nadir (der dem Zenit entgegengesetzte Punkt der Himmelskugel), PP' ist die Weltachse, P der Himmelsnordpol, P' der Himmelssüdpol, $OAWQ$ der Himmelsäquator; $OSWN$ ist der Horizont, S der Südpunkt, N der Nordpunkt, O der Ostpunkt und W der Westpunkt. Es ist einleuchtend, daß von einem Punkt der Erdoberfläche aus nur eine Hälfte der Himmelskugel und des Himmelsäquators zu sehen ist, und daß die Gerade OW (wobei O und W je 90° von N und S entfernt sind) sowohl den Horizont als auch den Äquator in gleiche Teile teilt.
NS ist die Mittagslinie und der Großkreis $NPZASP'Z'Q$ der Meridian.

Bild 12. Wichtige Punkte und Linien der Himmelskugel

Der von der Weltachse und der Horizontebene gebildete Winkel PCN kann in der Zeichnung beliebig angenommen werden. Später werden wir sehen, daß dieser Winkel vom Beobachtungsort auf der Erdoberfläche abhängig ist.

1.4.6. Die Linien der Himmelskugel und die Erdkugel

Ein Beobachter in einem beliebigen Punkt C der Erdkugel (Bild 13) hat den Eindruck, als würde sich das ganze Weltall als Himmelskugel um die Weltachse CP drehen, die

[1]Der Begriff „wahrer Mittag" wird auf Seite 23 erklärt.

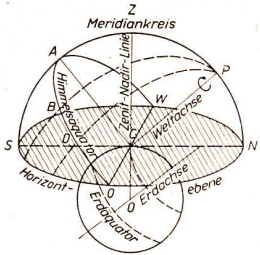


Bild 13. Beziehungen zwischen den Linien auf der Himmelskugel und auf der Erdkugel

zur Rotationsachse der Erde parallel ist. Für einen Beobachter an den Erdpolen fallen diese beiden Geraden zusammen.

Da die Ebene des Himmelsäquators $COAW$ auf der Weltachse senkrecht steht, ist sie parallel zur Ebene des Erdäquators. Für einen Beobachter am Äquator fallen beide Ebenen zusammen.

Betrachten wir die Erde als eine Kugel, dann ist die Zenit-Nadir-Linie CZ die Verlängerung des Erdradius OC im Punkte C. Deshalb ist die Horizontebene, die durch den Mittelpunkt C der Himmelskugel geht, die Tangentialebene der Erdkugel im Punkte C. Die Ebene des Himmelsmeridians fällt mit der des Erdmeridians zusammen.

Mit der Erde dreht sich auch der Beobachter; darum geht der Horizont, der den vom Beobachter eingesehenen Teil des Himmels von dem nichteingesehenen (von der Erde bedeckten) trennt, zu verschiedenen Zeitpunkten des Tages durch verschiedene Regionen des Sternhimmels. Der Zenit weist ebenfalls zu verschiedenen Sternen hin. Der Himmelsäquator gleitet in seiner eigenen Ebene und die Weltachse behält ihre Richtung bei. Da die Sterne in gleicher Lage zum Himmelsäquator und in gleicher gegenseitiger Lage verbleiben, bewegen sie sich – scheinbar – in Ebenen, die parallel zum Himmelsäquator liegen.

1.5. Kulmination der Sterne

Die scheinbare tägliche Bewegung des Sternhimmels um die Weltachse bedingt, daß jeder Stern zweimal am Tag durch den Meridian geht. Der Durchgang eines Himmelskörpers durch den örtlichen Meridian heißt *Kulmination*. Demnach gibt es zwei Arten von Kulminationen: eine *obere*, wenn der Himmelskörper den höchsten Punkt über dem Horizont erreicht, und eine *untere*, wenn er durch den tiefsten Punkt geht (Bild 14). Das Zeitintervall zwischen der oberen und der unteren Kulmination beträgt 12 Stunden. Bei auf- und untergehenden Himmelskörpern findet eine der beiden Kulminationen unter dem Horizont statt; bei Himmelskörpern, die sich immer ober-

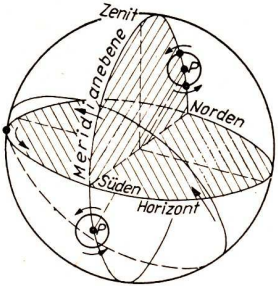


Bild 14. Obere und untere Kulmination der Himmelskörper

halb des Horizonts befinden, sind beide Kulminationen sichtbar, während bei Himmelskörpern, die nicht aufgehen, beide Kulminationen unter dem Horizont stattfinden und deshalb nicht sichtbar sind.

Der Zeitpunkt der oberen Kulmination der Sonne heißt wahrer Mittag, der ihrer unteren Kulmination wahre Mitternacht.

Bei der oberen Kulmination ist die Sonne zu sehen, bei der unteren nicht. In der Polarzone der Erde finden zu gewissen Jahreszeiten beide Kulminationen oberhalb des Horizonts statt (die Sonne geht nicht unter, es ist Polartag). Ein andermal finden beide Kulminationen unterhalb des Horizonts statt (die Sonne geht nicht auf, es ist Polarnacht). Der Zeitpunkt der Kulmination anderer Himmelskörper hängt von ihrer Lage an der Himmelskugel und von der Jahreszeit ab.

Wenn wir die Himmelskörper beobachten, so erkennen wir, daß sie verschiedene Lagen in bezug auf den Horizont einnehmen. *Der Winkel zwischen der Horizontebene und der Richtung zum Himmelskörper heißt Höhe h* (Bild 15). Der Winkel, der die Höhe des Himmelskörpers mißt, liegt in der Ebene, die durch den betreffenden Himmelskörper, den Mittelpunkt der Himmelskugel und den Zenit bestimmt wird.

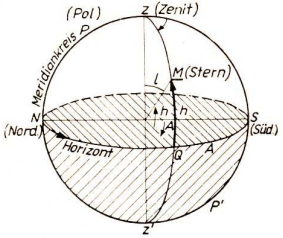


Bild 15. Horizontsystem
h Höhe, *A* Azimut

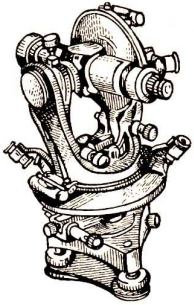


Bild 16.
Theodolit

Die Lage eines Himmelskörpers kann mit dem *Theodoliten* bestimmt werden (Bild 16). Er besteht aus einem Fernrohr, das um eine horizontale und eine vertikale Achse drehbar ist. Auf jeder Achse ist ein Teilkreis montiert. Mit seiner Hilfe können die Höhe *h* und *das Azimut A, der Winkel zwischen der Meridianebene und der Ebene des Halbkreises durch die Zenit-Nadir-Linie und den Himmelskörper*, gemessen von Süd über West nach Ost, bestimmt werden.

Die Höhe der Sterne ändert sich im Verlaufe eines Tages ständig, infolge der scheinbaren Drehung der Himmelskugel. So ist zum Beispiel am 21. März die Höhe der Sonne zu Mittag beträchtlich groß, bei Sonnenuntergang aber ist sie stets 0°. Außerdem ist an verschiedenen Orten der Erde selbst im gleichen Augenblick die Höhe desselben Himmelskörpers verschieden. So ist zum Beispiel die Mittagshöhe der Sonne

am selben Tag in Rostock kleiner als in Suhl. Während die Sonne in Berlin aufgeht, kann sie in Wladiwostok untergehen.
Wenn wir täglich einen Stern beobachten, so können wir uns davon überzeugen, daß an demselben Ort *jeder Stern immer die gleiche Kulminationshöhe* hat; diese Höhe hängt von der Lage des Sterns an der Himmelskugel und von der geographischen Breite des Ortes ab.
Die Höhe der Sonne über dem Horizont in der oberen Kulmination hängt nicht nur vom Ort ab, sondern auch von der Jahreszeit (im Winter ist sie kleiner, im Sommer größer). Die Kulminationshöhe des Mondes und der Planeten ist von mehreren Faktoren abhängig.

1.6. Himmelskoordinaten und Himmelskarte

Beim Aufsuchen der Sterne am Himmel, beim Anlegen von Himmelskarten, bei der Zeitbestimmung und bei der Bestimmung der geographischen Koordinaten muß man die Himmelskoordinaten der Sterne kennen.
Man verwendet ein System von Himmelskoordinaten, das dem System der geographischen Koordinaten ähnlich ist (Bild 17). Die Lage der Sterne an der Himmelskugel in bezug auf den Himmelsäquator kann man also in ähnlicher Weise bestimmen wie die Lage der Städte in bezug auf den Erdäquator mittels der geographischen Breite. *Der Winkelabstand eines Himmelskörpers vom Himmelsäquator heißt Deklination δ.* Auf der nördlichen Halbkugel hat sie positive, auf der südlichen negative Werte.

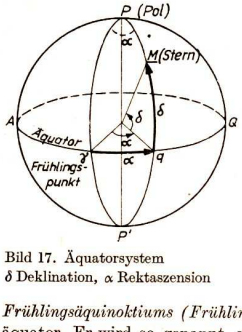


Bild 17. Äquatorsystem
δ Deklination, α Rektaszension

Die zweite geographische Koordinate ist die Länge. Sie ist der Winkel zwischen der Ebene des Ortsmeridians und der des Nullmeridians. Im System der Himmelskoordinaten ist die zweite Koordinate die *Rektaszension α*. Sie ist der *Winkel zwischen der Ebene des Halbkreises durch die Himmelsachse und den Himmelskörper und der Ebene des Halbkreises durch die Himmelsachse und den Punkt des Frühlingsäquinoktiums (Frühlingspunkt).* Dieser Punkt befindet sich am Himmelsäquator. Er wird so genannt, weil sich die Sonne im Frühling, am 21. März, wenn Tag und Nacht gleich lang sind, in diesem Punkt befindet. Die Rektaszension wird vom Frühlingspunkt aus entgegen dem Uhrzeigersinn gemessen. Sowohl die geographische Länge als auch die Rektaszension kann im Zeitmaß, das heißt in Stunden, Minuten und Sekunden, ausgedrückt werden. Dabei ist zu beachten, daß eine volle Umdrehung der Erde und auch der Himmelskugel in 24 Stunden erfolgt. Wir erhalten somit die Beziehungen:

Einer Rotation von		360°	entsprechen	24 Stunden;
,,	,,	,, 15°	entspricht	1 Stunde;
,,	,,	,, 1°	entsprechen	4 Zeitminuten;
,,	,,	,, 15′	entspricht	1 Zeitminute;
,,	,,	,, 15″	entspricht	1 Zeitsekunde.

So entspricht zum Beispiel der geographischen Länge oder der Rektaszension von 3 Stunden 10 Minuten 20 Sekunden ein Winkel von 47° 35′ 00″[1].

Die Rektaszension und die Deklination (α und δ) heißen *Äquatorkoordinaten*. Für die Sterne ändern sie sich so langsam, daß wir sie als konstant annehmen können, wenn es nicht notwendig ist, sie sehr genau zu kennen. Der Frühlingspunkt nimmt an der scheinbaren täglichen Bewegung der Himmelskugel und der Sterne teil. *Deshalb hängt die Stellung der Sterne in bezug auf den Äquator und in bezug auf den Frühlingspunkt weder vom Zeitpunkt der Beobachtung noch vom Beobachtungsort auf der Erde ab.*

Sonne, Mond und Planeten verändern ihre Lage gegenüber den Sternen schon in kurzen Zeitspannen. Deshalb sind sie in den Himmelskarten nicht eingezeichnet. Ihre täglichen Koordinaten, die nur für ein bestimmtes Jahr gültig sind, werden in besonderen astronomischen Jahrbüchern veröffentlicht.

Die Äquatorkoordinaten der Himmelskörper werden durch Beobachtung mit Hilfe von besonderen Instrumenten in den Sternwarten bestimmt.

1.7. Angenäherte Orientierung auf der Erde nach den Sternen

Sich auf der Erde orientieren heißt, die Richtung nach Norden, Süden usw. finden. Wir haben gesehen, daß die Mittagslinie die Nordsüdrichtung bestimmt, und daß sich der Polarstern immer oberhalb des Nordpunkts des Horizonts befindet. Darum können wir uns mit dem Polarstern nach den Kardinalpunkten des Horizonts orientieren. Die Sonne kulminiert zu Mittag im Süden (Bild 18). Der Vollmond befindet sich um Mitternacht im Süden. Wenn der Mond im ersten Viertel steht, befindet er sich gegen 18 Uhr im Süden. Steht er im letzten Viertel, dann befindet er sich gegen 6 Uhr im

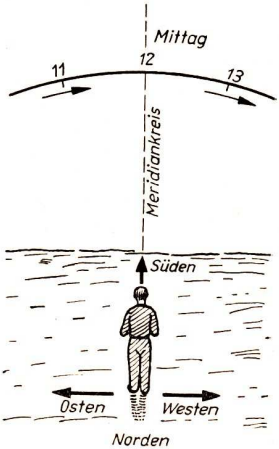


Bild 18. Obere Kulmination der Sonne und Orientierung im Gelände

[1] In der Praxis werden Länge und Rektaszension häufiger in Zeiteinheiten als in Winkelgraden ausgedrückt.

Süden. Die Kulmination des Mondes zu verschiedenen Stunden hängt mit der Tatsache zusammen, daß er seine Stellung zur Sonne während eines Monats ändert. Bei Vollmond befindet er sich am Himmel der Sonne gerade gegenüber und kulminiert genau 12 Stunden nach der Sonne, also um Mitternacht. Wir können uns also auch nach dem Mond orientieren, wenn der Polarstern wegen Nebels oder Wolken nicht zu sehen ist.

Manchmal müssen wir die Nordsüdrichtung, die Mittagslinie auf der Erde, genauer bestimmen. Dies geschieht am besten auf folgende Weise:
Mit Hilfe eines Senkbleis wird in einem ebenen Gelände ein lotrechter Stab (Bild 19) zwei bis drei Stunden vor Mittag angebracht. Wir bezeichnen die Lage der Spitze A des Stabschattens und schlagen um den Fußpunkt S des Stabes einen Kreis, dessen Radius AS gleich der Schattenlänge ist. Der Schatten wird nun nach und nach kürzer und richtet sich nach Norden. Nach Mittag dreht sich der Schatten weiter und beginnt wieder länger zu werden. Wir bezeichnen nach Mittag auf dem Kreis den Punkt B, in dem die Schattenspitze abermals den Kreis berührt. Wir verbinden die Punkte A und B durch eine Gerade. Von ihrer Mitte N ziehen wir eine Gerade, die durch den Fußpunkt S des Stabes geht. Diese Gerade SN gibt die Richtung der Mittagslinie an.

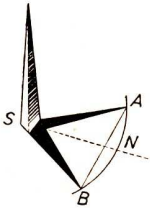


Bild 19.
Bestimmung der Mittagslinie mit dem Schattenstab

Theoretisch könnte die Richtung der Mittagslinie auch so bestimmt werden, daß man die Richtung des Stabschattens dann festhält, wenn der Schatten seine kleinste Länge hat. Praktisch ist dieses Verfahren ungenau, da um die Mittagszeit, bei kurzem Schatten, dieser seine Länge um kleine, kaum wahrnehmbare Beträge, seine Richtung aber rasch ändert.

1.8. Zusammenhang zwischen der Polhöhe, dem Anblick des Himmels und der geographischen Breite des Ortes

1.8.1. Polhöhe und geographische Breite

Wenn wir uns auf der Erdoberfläche von Norden nach Süden bewegen, können wir uns davon überzeugen, daß der Polarstern sich mehr und mehr dem Horizont nähert. Wir bemerken, daß der Winkelabstand des Himmelspols vom Horizont, *die Polhöhe, gleich der geographischen Breite des Beobachtungsorts ist.*
Das Bild 20 zeigt einen Schnitt der Erdkugel mit der Meridianebene des Beobachtungsorts. Der Beobachter in M sieht den Himmelspol in Richtung der Weltachse MP' parallel zur Erdachse TP. Die Horizontebene, welche die durch den Kreis dar-

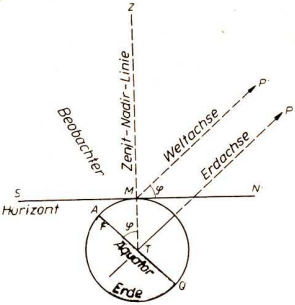


Bild 20. Polhöhe und geographische Breite

gestellte Erdkugel im Punkte M berührt, wird durch die Gerade SMN dargestellt: AQ ist der Erdäquator, TZ die Zenit-Nadir-Linie in M, der Winkel ATM die geographische Breite φ des Punktes M.
Der Winkel $P'MN$, der Neigungswinkel der Weltachse zur Horizontebene, ist die Polhöhe.
Die Winkel $P'MN$ und ATM (die geographische Breite) haben paarweise aufeinander senkrecht stehende Schenkel und sind deshalb gleich.

Hieraus ergibt sich, daß wir die geographische Breite durch Messen der Polhöhe bestimmen können. Zu diesem Zweck messen wir die Höhe des Polarsterns, während er kulminiert und berücksichtigen, der Genauigkeit halber, seinen Abstand vom Pol.

1.8.2. Anblick des Sternhimmels in Abhängigkeit vom Beobachtungsort auf der Erdoberfläche

Wie wir gesehen haben, ist die Neigung der Weltachse zum Horizont (Polhöhe) gleich der geographischen Breite des Beobachtungsorts. Damit hängt folgendes zusammen:

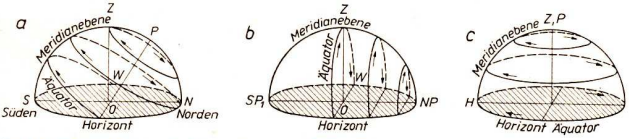


Bild 21. Tägliche Bahnen der Sterne in bezug auf den Horizont
a) in mittleren Breiten der nördlichen Halbkugel b) am Äquator c) an einem Erdpol

In mittleren Breiten, zum Beispiel in unserem Lande, ist die Weltachse zum Himmelsäquator geneigt und deshalb sind auch die Sternbahnen zum Horizont geneigt (Bild 21 a). Die Sterne, die um einen kleineren Winkel als φ vom Pol entfernt sind (φ ist die geographische Breite), deren Deklination also größer als $90° - \varphi$ ist, gehen nie unter. Sterne, deren Deklination einen kleineren Wert hat, gehen auf und unter. Die Sterne der südlichen Himmelshalbkugel, die sich südlich von dem zum Äquator parallelen kleinen Kreis, welcher durch S bestimmt ist, befinden, gehen nie auf: Sie sind in der nördlichen Breite φ nicht sichtbar (Bild 21 a).

An einem Ort des Erdäquators befindet sich die Weltachse in der Horizontebene und fällt mit der Mittagslinie, die Himmelspole aber fallen mit dem Nord- und dem Südpunkt zusammen (Bild 21 b). Der Himmelsäquator steht senkrecht auf dem Horizont und geht durch den Zenit. Die täglichen Bahnen aller Sterne stehen senkrecht auf dem Horizont. Am Äquator gibt es keine Sterne ohne Auf- und Untergang. Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit betragen je 12 Stunden.
An den Erdpolen fällt der Himmeläquator mit dem Horizont zusammen, und die Weltachse stimmt mit der Zenit-Nadir-Linie überein (Bild 21 c). Der Ost- und der Westpunkt – die Schnittpunkte des Äquators mit dem Horizont – sind hier unbestimmt, ebenso der Meridian (dessen Ebene durch die

Weltachse und die Zenit-Nadir-Linie geht), und damit verlieren die Begriffe Süden, Norden, Osten, Westen hier ihren Sinn.
Am Erdnordpol leuchtet der Polarstern in der Nähe des Zenits. Die täglichen Bahnen der Sterne sind dort parallel zum Horizont. Die Sterne gehen weder auf noch unter. Alle Sterne der nördlichen Himmelshalbkugel sind sichtbar, alle Sterne der südlichen Halbkugel unsichtbar.

Übungen

1. In welcher Entfernung muß man ein Markstück (Durchmesser 25 mm) vom Auge halten, um es unter demselben Winkel wie den Mond zu sehen? (Es ist bekannt, daß in einem Kreis mit dem Radius 1 die Länge eines Bogens von einem Grad $\frac{1}{57}$ beträgt.)
2. Die Rektaszension eines Sterns beträgt 3 Stunden und die eines anderen 5 Stunden 18 Minuten. Welcher zeitliche Unterschied besteht zwischen ihren Kulminationen?
3. Die geographische Breite eines Ortes beträgt 35°. Wie groß ist für diesen Ort der Winkelabstand Pol – Zenit?
4. Die geographische Breite eines Ortes beträgt 57°. Wie groß ist der Winkelabstand vom Zenit zum Schnittpunkt des Meridians dieses Ortes mit dem Äquator? Wie groß ist die Höhe des höchsten Äquatorpunkts über dem Horizont?
5. Die geographische Breite von Murmansk beträgt 69°. Kann der Stern Sirius (der hellste Stern des Himmels) dort über dem Horizont gesehen werden, wenn seine Deklination $\delta = -17°$ ist?
6. Die geographische Breite Leningrads beträgt 60°. Können von dort aus beide Kulminationen des Sterns Wega gesehen werden, wenn seine Deklination $+39°$ beträgt?
7. Die Deklination des Sterns α im Südlichen Kreuz beträgt $-63°$. In welchen Breiten kann er gesehen werden?

2. Die scheinbare jährliche Bewegung der Sonne und die Umlaufbewegung der Erde

2.1. Die scheinbare Bewegung der Sonne auf der Ekliptik

2.1.1. Die jährliche Änderung der Mittagshöhe der Sonne und des Anblicks des Sternhimmels

Jedermann weiß, daß sich während eines Jahres die Höhe der Sonne über dem Horizont zu Mittag, also im Augenblick ihrer oberen Kulmination, ändert. Im Sommer befindet sich die Sonne mittags hoch am Himmel und erreicht ihre größte Höhe am 22. Juni. Dieser Tag, der längste, heißt Tag der *Sommersonnenwende* (Sommersolstitium). An den folgenden Tagen kulminiert die Sonne immer niedriger, bis sie am 22. Dezember in ihrer kleinsten Höhe über dem Horizont kulminiert; es ist der Tag der *Wintersonnenwende* (Wintersolstitium). Zu diesem Zeitpunkt ist der Tag am kürzesten, weil die Sonne spät erscheint, sich nur wenig über den Horizont erhebt und früh untergeht.

Die Höhe der Sonne bei der oberen Kulmination am 21. März und 23. September ist das arithmetische Mittel der den Sommer- und Wintersonnenwenden entsprechenden Werte. Tag und Nacht sind gleich lang[1]; darum heißen der 21. März und der 23. September *Frühlings-Tagundnachtgleiche* (Frühlingsäquinoktium) beziehungsweise *Herbst-Tagundnachtgleiche* (Herbstäquinoktium).

Wenn sich aber die Höhe der Sonne über dem Horizont beim Kulminieren im Verlaufe eines Jahres ändert, dann verändert sich auch ihre Stellung an der Himmelskugel in bezug auf die Himmelspole und den Himmelsäquator. Demgegenüber ändern die Sterne ihre Stellung zum Himmelspol und Himmelsäquator nicht. Jeder kulminiert in einer bestimmten Höhe über dem Horizont, die immer gleichbleibt. Aus demselben Grund gehen die Sterne immer im gleichen Punkt des Horizonts auf und unter. Die Sonne dagegen geht im Sommer im Nordwesten, im Winter im Südwesten, während der Äquinoktien aber im Westpunkt unter.

Zum Zeitpunkt eines Äquinoktiums befindet sich die Sonne auf dem Himmelsäquator. Dies ergibt sich schon aus der Tatsache, daß die Sonne an diesen Tagen im Ostpunkt auf- und im Westpunkt untergeht, also in den Schnittpunkten des Horizonts und des Himmelsäquators.
Da im Sommer die Mittagshöhe der Sonne über dem Horizont größer als $90° - \varphi$ ist, also ihr Winkelabstand vom Horizont größer ist als jener des Himmelsäquators, befindet sie sich zu dieser Zeit oberhalb des Äquators, an der nördlichen Himmelshalbkugel. Ebenso können wir uns davon überzeugen, daß die Sonne sich im Winter unterhalb des Äquators, also an der südlichen Himmelshalbkugel befindet. Wenn wir mittags mit Hilfe eines Winkelmeßinstruments die Höhe der Sonne über dem Horizont messen, so werden wir feststellen, daß sie am Tage des Sommersolstitiums, am 22. Juni, den größten Winkelabstand nördlich des Himmelsäquators, nämlich 23° 27′, und im Winter, am 22. Dezember, den größten Winkelabstand südlich des Äquators, nämlich ebenfalls 23° 27′ erreicht. Mit anderen Worten: *Die Deklination der Sonne schwankt zwischen +23° 27′ und −23° 27′.*
Die Sonne verändert während eines Jahres nicht nur ihre Deklination, sondern wandert auch einmal um den Sternhimmel, ändert also ebenfalls ihre Rektaszension. Dies ist der scheinbare, langsame Umlauf der Sonne, der jedoch mit der täglichen, wesentlich rascheren Bewegung der Sonne im Sinne des Uhrzeigers nicht verwechselt werden darf. Die alljährliche Bewegung der Sonne erfolgt entgegengesetzt ihrer täglichen Bewegung.

Davon können wir uns überzeugen, wenn wir die um Mitternacht kulminierenden Sternbilder während eines Jahres beobachten, also jene Sternbilder, die sich an der Himmelskugel der Sonne gegenüber befinden. Diese Sternbilder wechseln sich im Laufe eines Jahres ab; im Winter kulminieren um Mitternacht andere Sternbilder als im Sommer.
Außerdem beobachtet man noch, daß zum Beispiel ein Sternbild heute sechs Stunden nach der Sonne untergeht, nach einem Monat schon nach vier Stunden, und es später überhaupt nicht mehr gesehen werden kann, da es von der Sonne überstrahlt wird. Dies bedeutet, daß sich die Sonne

[1] Wegen der Lichtbrechung in der Erdatmosphäre sehen wir den Sonnenaufgang etwas früher und den Sonnenuntergang etwas später, als die geometrischen Berechnungen es anzeigen. Deshalb ist während der Tagundnachtgleiche der Tag in Wirklichkeit etwas länger als die Nacht.

während dieser Zeit an der Himmelskugel von Westen nach Osten auf dieses Sternbild zu bewegt hat. Nach einiger Zeit wird dieses Sternbild oberhalb des Horizonts vor Sonnenaufgang zu sehen sein.

2.1.2. Ekliptik und Tierkreis

Auf Grund der oben angeführten Beobachtungen gelangen wir zu dem Schluß, daß sich die Sonne während eines Jahres an der Himmelskugel bewegt und einen Großkreis beschreibt, dessen Ebene mit der Ebene des Äquators einen Winkel von 23° 27′ bildet.

Der Großkreis der Himmelskugel, auf dem sich das Sonnenzentrum bewegt, heißt Ekliptik (Bild 22). Während eines Jahres vollführt die Sonne einen vollen Umlauf auf der Ekliptik. Sie bewegt sich entgegen dem Uhrzeigersinn. An einem Tag beschreibt sie auf der Ekliptik einen Bogen von 360°:365, also fast einen Grad.

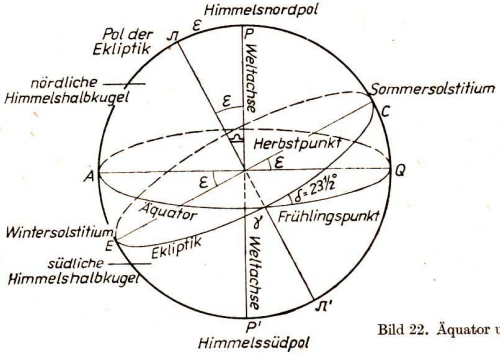


Bild 22. Äquator und Ekliptik

Die Schnittpunkte der Ekliptik mit dem Himmelsäquator sind der Frühlingspunkt und der Herbstpunkt; sie tragen ihren Namen nach den Zeitpunkten, zu denen sich die Sonne in diesen Punkten befindet.

Der Frühlingspunkt wird mit dem Widdersymbol ♈, der Herbstpunkt mit dem Waagesymbol ♎ bezeichnet. Die Punkte der Solstitien befinden sich auf der Ekliptik in einem Abstand von je 90° von den Punkten der Äquinoktien. Sie sind die vom Äquator am weitesten entfernten Punkte der Ekliptik.

Die Bewegung der Sonne auf der Ekliptik ist scheinbar und wird durch die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne verursacht.

Wegen der scheinbaren Bewegung der Himmelskugel ändert sich die Lage der Ekliptik zum Horizont ständig, so daß sie in Abbildungen der Himmelskugel mit Horizont und Meridian nicht eingezeichnet ist.

Gegenwärtig befindet sich der Frühlingspunkt im Sternbild der Fische und der Herbstpunkt im Sternbild der Jungfrau.
Die 12 Sternbilder entlang der Ekliptik bilden den *Tierkreis (Zodiakus)* und heißen Sternbilder des Tierkreises. Der Ausdruck wurde gewählt, weil die Mehrzahl dieser Sternbilder Tiernamen trägt. Die Sternbilder des Tierkreises sind: Fische, Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Waage, Skorpion, Schütze, Steinbock und Wassermann.

Um Mitternacht kulminiert am südlichen Himmel jenes Sternbild des Tierkreises, das dem Sternbild, in dem sich die Sonne in diesem Monat befindet, gegenübersteht. So zum Beispiel befindet sich die Sonne im November im Sternbild des Skorpions, und um Mitternacht kulminieren in diesem Monat die Sterne des gegenüberliegenden Sternbilds des Stiers. Zu Mittag kulminiert jenes Tierkreissternbild, in dem sich die Sonne zu dieser Zeit befindet (es kann aber nur während einer totalen Sonnenfinsternis gesehen werden).

Übungen

1. Wie groß ist die Höhe der Sonne am Mittag in Berlin und in Ihrem Wohnort am 22. Juni, 23. September und 22. Dezember? (Die geographische Breite Berlins beträgt 52° 31′.)
2. Die geographische Breite Leningrads beträgt 60°, die Jerewans 40°. Bestimmen Sie die Höhe der Sonne am Mittag in diesen Orten für die Zeit des Winter- und Sommersolstitiums und vergleichen Sie die Ergebnisse!
3. Welche Veränderung würde die Aufeinanderfolge der Jahreszeiten in Ihrem Wohnort erleiden, wenn die Erdachse um 45° statt um $66^1/_2$° zur Erdbahn geneigt wäre?

2.2. Die Änderung der täglichen Bewegung der Sonne über dem Horizont mit der geographischen Breite

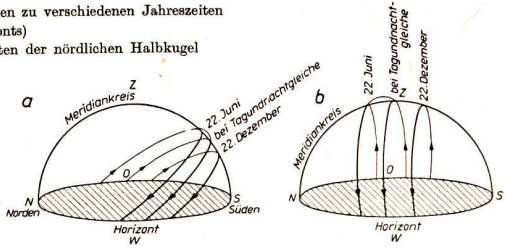
Wir haben gezeigt, wie sich in unseren Breiten der tägliche Lauf der Sonne in bezug auf den Horizont vom Frühling über den Sommer und weiter bis zum Winter ändert. Im Punkte A (Bild 12) kulminiert die Sonne am Mittag in den Tagen des Äquinoktiums, weil sich die Sonne dann am Himmelsäquator befindet. Am Tage des Sommersolstitiums kulminiert sie um $23^1/_2$° höher und am Tage des Wintersolstitiums um $23^1/_2$° tiefer.

Vervollständigen Sie die Abbildung mit den täglichen Parallelkreisen der Sonne für die Tage der Solstitien!

Wir wollen nun die geographische Breite bestimmen, für welche die Sonne ihre obere Kulmination im Zenit hat. Aus dem Bild 12 ist zu ersehen, daß dies in den Breiten zwischen $+23^1/_2$° und $-23^1/_2$° erfolgt. Der Zenitstand tritt an den Tagen ein, an denen die Deklination der Sonne gleich der geographischen Breite des Ortes ist (Winkelabstand zwischen dem Zenit und dem Punkt A des Himmelsäquators)

Am Erdäquator stehen die Ebenen der täglichen Bahnen der Sonne und der anderen Himmelskörper senkrecht zur Horizontebene (Bild 23). Deshalb sind dort das ganze Jahr hindurch Tag und Nacht

Bild 23. Sonnenbahnen zu verschiedenen Jahreszeiten (oberhalb des Horizonts)
a) in mittleren Breiten der nördlichen Halbkugel
b) am Äquator



gleich lang (der Horizont trennt die tägliche Bahn der Sonne in zwei gleiche Teile), und die Dämmerung ist sehr kurz (die Sonne sinkt rasch unter den Horizont). Zu Mittag befindet sich die Sonne zweimal im Jahr im Zenit – an den Tagen der Äquinoktien, wenn ihre Deklination 0° ist. Es gibt Orte auf der Erde, in denen sich die Sonne nur einmal im Jahr im Zenit befindet: am 22. Juni an den Orten mit der geographischen Breite +23° 27′; dieser Breitenkreis heißt *Wendekreis des Krebses*; am 22. Dezember an den Orten mit der geographischen Breite −23° 27′; dieser Breitenkreis heißt *Wendekreis des Steinbocks*.
Diese Breitenkreise wurden schon im Altertum so genannt, weil die Kulmination der Sonne im Zenit auf den Wendekreisen dann stattfand, wenn sie sich im Sternbild des Krebses beziehungsweise des Steinbocks befand. Damals lagen die Punkte des Sommer- und des Wintersolstitiums in diesen Sternbildern; im Verlaufe von etwa zweitausend Jahren haben sie sich in die benachbarten Sternbilder Zwillinge und Schütze verschoben; auch der Ausdruck „Wendekreis" deutet an, daß die Sonne an diesem Kreis „umkehrt" und sich wieder zum Äquator wendet.

Beschreiben Sie die jahreszeitlichen Veränderungen der Sonnenbahn für einen Ort am nördlichen und einen Ort am südlichen Polarkreis! ($\varphi = +66° 33'$ bzw. $-66° 33'$)

Aus all dem wird klar, *daß der Zeitpunkt, zu dem die Sonne auf- oder untergeht, nicht nur vom Tag des Jahres abhängt, sondern auch von der geographischen Breite, in der sich der Beobachter befindet.* Darum sind die in den Kalendern angeführten Zeiten der Sonnenauf- und -untergänge nur für eine bestimmte geographische Breite gültig, nicht aber für das ganze Land.

2.3. Bewegung der Erde um die Sonne und ihre Folgen

Die scheinbare jährliche Bewegung der Sonne auf der Ekliptik und alle damit zusammenhängenden Erscheinungen sind dem Umstand zuzuschreiben, daß sich in Wirklichkeit die Erde um die Sonne bewegt und einen vollständigen Umlauf in einem Jahr ausführt.
Der Weg der Erde um die Sonne heißt Erdbahn.
Die Drehachse der Erde ist zur Ekliptikebene um $66^1/_2°$, die Äquatorebene zur Ekliptikebene um $90° - 66^1/_2° = 23^1/_2°$, genauer: um 23° 27′, geneigt. Während sich die

Erde um die Sonne bewegt, behält die Erdachse ihre Richtung bei; somit bleibt auch ihr Neigungswinkel zur Ebene der Erdbahn konstant.
Da wir die Bewegung der Erde, an der wir teilnehmen, nicht empfinden, scheint es uns, als wären wir unbewegt und die Sonne würde sich auf der Ekliptik bewegen. *Somit ist die Bewegung der Sonne auf der Ekliptik eine Folge der Bewegung der Erde* (Bild 24). Es ist bekannt, daß die auf einem Flächenstück von der Sonne empfangene Wärmemenge von der Höhe der Sonne über dem Horizont abhängt: je höher

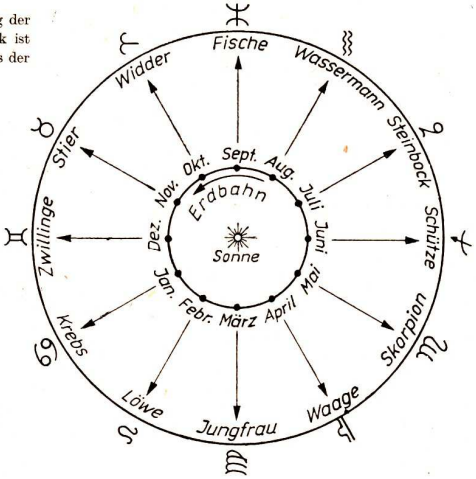


Bild 24. Die Bewegung der Sonne auf der Ekliptik ist das Abbild des Umlaufs der Erde um die Sonne

die Sonne über dem Horizont steht, um so kräftiger erwärmt sie. Die verschiedene Höhe der Sonne über dem Horizont an verschiedenen Orten der Erdkugel erklärt die Tatsache, daß es auf der Erde Klimazonen (warme, gemäßigte, kalte) gibt. Damit im Zusammenhang gibt es in jedem Jahr wärmere und kältere Zeitspannen, die einander periodisch abwechseln.
Diese Veränderungen sind dem Umstand zuzuschreiben, *daß die Erdachse zur Erdbahnebene geneigt ist und ihre Richtung während ihrer Bewegung um die Sonne nicht ändert.*

3. Die Zeitmessung

3.1. Zeitmaß und geographische Länge

3.1.1. Sterntag (siderischer Tag) und Sonnentag

Ein natürliches Maß zum Messen der Zeit wäre die Zeitspanne, in der die Erde eine Umdrehung um ihre Achse ausführt, das heißt *der Tag*. Die Rotation der Erde ist in bezug auf die Sterne fast gleichförmig und deshalb ist die dazu nötige Zeit, der *siderische Tag*, konstant. Die Arbeitszeit der Menschen ist aber mit dem Wechsel von Tag und Nacht verbunden; daher muß im Alltag die Zeitrechnung auf die Umlaufszeit der scheinbaren Sonnenbewegung bezogen werden. Die Erde bewegt sich um die Sonne in demselben Sinne, in dem sie sich um ihre Achse dreht; deshalb ist auch der *Sonnentag*, die Zeitspanne einer Erdrotation in bezug auf die Sonne, etwas länger als der siderische Tag, im Mittel um etwa 4 Minuten (Bild 25).
Der Augenblick der oberen Kulmination des Mittelpunkts der Sonnenscheibe heißt wahrer Mittag; die wahre Sonnenzeit wird von der Stellung der Sonne am Himmel bestimmt. Ein *wahrer Sonnentag* ist die Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden oberen Kulminationen des Mittelpunkts der Sonnenscheibe.
Die Dauer des wahren Sonnentags ist aber nicht konstant, sondern verändert sich im Laufe des Jahres, weil die Bewegung der Erde auf ihrer Bahn nicht gleichförmig ist und die Rotationsachse der Erde auf der Erdbahnebene nicht senkrecht steht.
Die Veränderung der Dauer des wahren Sonnentags ist äußerst kompliziert. Nur die *Sonnenuhren* können die wahre Sonnenzeit anzeigen. Sie geben die Zeit nach der Stellung der Sonne am Himmel an. Die Sonnenuhren bestehen aus einer Scheibe mit Teilstrichen, auf die der Schatten eines Stabes oder einer dreieckigen, von der Sonne beschienenen Platte fällt. Die Rolle des Uhrzeigers hat hier der Schatten.

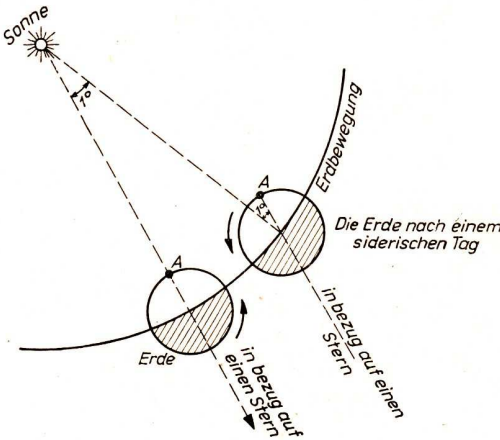
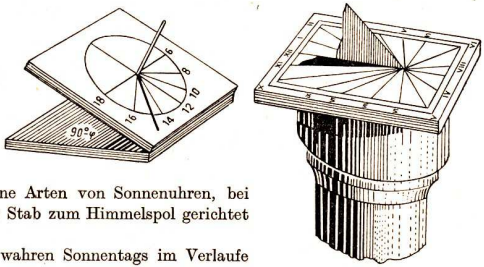


Bild 25. Siderischer Tag und Sonnentag

Bild 26. Sonnenuhren
a) Äquatorialuhr
b) Horizontaluhr



Es gibt verschiedene Arten von Sonnenuhren, bei allen aber muß der Stab zum Himmelspol gerichtet sein (Bild 26).
Da die Dauer des wahren Sonnentags im Verlaufe eines Jahres nicht gleichbleibt, wäre es unzweckmäßig, die wahre Sonnenzeit zu verwenden. Praktisch wird daher die sogenannte *mittlere Sonnenzeit* verwendet, die gleichförmig abläuft.
Die Grundmaßeinheit der mittleren Sonnenzeit ist der *mittlere Sonnentag*, der einen Mittelwert der Dauer der wahren Sonnentage darstellt. Der Unterschied zwischen der mittleren Zeit und der wahren Zeit nimmt im Laufe eines Jahres verschiedene Werte an, ist aber nie größer als etwa eine Viertelstunde. Praktisch kann die Zeit aber nicht nur durch Beobachtung der Stellung der Sonne am Himmel bestimmt werden, sondern auch nach der Stellung der Sterne.

3.1.2. Ortszeit

Die auf Grund der Sonnenstellung am Himmel bestimmte Zeit wird für Orte auf verschiedenen Meridianen (mit ungleicher geographischer Länge) verschieden sein; darum heißt sie *Ortszeit*. Gewöhnlich wird die Zeit von Mitternacht, die man als Beginn des Tages betrachtet, an gerechnet.

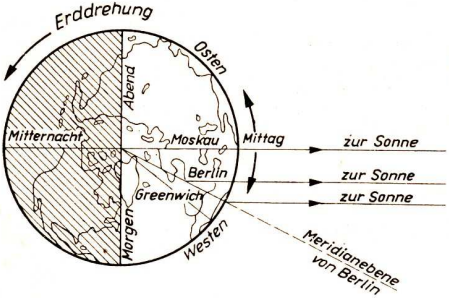


Bild 27. Geographische Länge und Ortszeit

Im Bild 27 ist die Erdkugel, vom Nordpol aus in der Richtung der Erdachse betrachtet, dargestellt. Wir nehmen an, in Moskau sei Mittag. Nach welcher Zeit wird in Berlin Mittag sein, wenn in Moskau die von Greenwich aus gerechnete östliche geographische Länge $\lambda_M = 2$ Stunden 30 Minuten, die östliche geographische Länge Berlins aber $\lambda_B = 0$ Stunden 54 Minuten beträgt? Es ist klar, daß in Berlin dann Mittag sein wird, wenn die Erde sich um einen Winkel gedreht hat, der gleich dem von den Meridianen Berlins und Moskaus gebildeten Winkel ist, also um den Winkel $\lambda_M - \lambda_B = 1$ Stunde 36 Minuten. Wenn in Berlin Mittag ist, dann ist es in Moskau 13 Uhr 36 Minuten.

Die Differenz der Ortszeiten zweier Orte auf der Erde ist gleich der Differenz der geographischen Längen dieser Orte.

3.1.3. Datumsgrenze

Man ist übereingekommen, daß jeder neue Kalendertag auf einer Linie beginnt, die nicht auf dem Festland, sondern in der Nähe des von Greenwich gerechneten Meridians von 180°, also zwischen Asien und Amerika, verläuft. Demnach beginnt der Tag zuerst auf der Tschuktschenhalbinsel, dann in Sibirien, Europa, Amerika und zuletzt in Alaska.

3.1.4. Bestimmung der geographischen Länge

Wie wir gesehen haben, ist die Differenz der geographischen Längen zweier Orte gleich der Differenz ihrer jeweiligen Ortszeiten. Daraus geht hervor, daß die Bestimmung der geographischen Länge sich auf den Vergleich der Ortszeit des Ortes mit der Ortszeit des Ursprungsmeridians (oder eines anderen Ortes, dessen Länge bekannt ist) gründet.

Beispiel: Der Moskauer Rundfunk sendet die genaue Zeit um $19^h\,0^{min}$. Es ist bekannt, daß diese Zeitansage nach Moskauer Zeit gesendet wird, die der Greenwicher Zeit 3 Stunden voraus ist, also 16^h0^{min} Greenwicher Zeit und 17^h0^{min} MEZ entspricht. Auf Grund von Himmelsbeobachtungen hat ein Astronom seine Uhr auf die Ortszeit eingestellt. Er hat das Zeitzeichen des Moskauer Rundfunks gehört, als seine Uhr 23 Uhr 49 Minuten anzeigte und ist zur Schlußfolgerung gelangt, daß die geographische Länge des Ortes, an dem er sich befindet, $23^h49^{min} - 16^h0^{min} = 7^h49^{min}$ östlich von Greenwich ist.

Die Bestimmung der geographischen Länge und Breite eines Ortes ist zum Anlegen von Landkarten notwendig. Sie stellt eine wichtige Anwendung der Astronomie dar und trägt zur Bestimmung der Form und der Ausdehnung der Erde bei. Die genaue Bestimmung von Form und Ausdehnung der Erde ist Aufgabe der *Geodäsie*. Auf Grund geodätischer Messungen wurde festgestellt, daß die Erde nicht Kugelgestalt hat, sondern an den Polen abgeplattet ist. Der Erdradius a am Äquator ist um 21 km länger als der Radius b an den Polen. Die Abplattung der Erde beträgt $\frac{a-b}{a} = \frac{1}{297}$. Zu den geodätischen Aufgaben gehört auch die Messung großer Entfernungen, bei denen die Krümmung der Erdoberfläche nicht mehr vernachlässigt werden kann.

3.2. Ortszeit und Zonenzeit

Würden wir die Ortszeit gebrauchen, hätten Orte mit verschiedener geographischer Länge auch verschiedene Zeiten. Daraus würden sich große Nachteile ergeben.
Die ganze Erdoberfläche wird durch 24 Meridiane in 24 Zeitzonen eingeteilt. Diese Meridiane sind 15° oder, im Zeitmaß, eine Stunde voneinander entfernt. Am Rande der Zeitzone unterscheidet sich die Ortszeit um eine halbe Stunde von der Ortszeit der Zonenmitte. Der Greenwicher Meridian ist die Mitte der Ausgangszone. Die nach Osten folgende nächste Zeitzone heißt erste Zeitzone, usw.
Man ist übereingekommen, innerhalb einer Zeitzone die Zeit nach der Ortszeit des mittleren Meridians dieser Zone festzulegen. Die Deutsche Demokratische Republik liegt in der Zeitzone I. Die Zeit dieser Zone wird *Mitteleuropäische Zeit* (MEZ) genannt, sie ist der Zeit der Ausgangszone, die Greenwicher Zeit oder auch *Weltzeit* (WZ) genannt wird, um eine Stunde voraus. Viele astronomische Daten werden in Weltzeit angegeben. Die Mitteleuropäische Zeit ist die Ortszeit des Meridians 15° ö. L.; Görlitz liegt nahe diesem Meridian.
Für alle Orte der östlich benachbarten Zeitzone wird die Zeit um eine Stunde voraus angenommen. Überschreitet man die Grenze der Zeitzone, muß die Uhr um eine Stunde verstellt werden. In allen Ländern mit Zeitzonenregel stimmen aber die *Minuten*zeiger im gleichen Augenblick überein.

Es wurde auch zugelassen, daß die die Zeitzonen trennenden Meridiane nicht unbedingt genau eingehalten werden müssen und die Zeitzonengrenzen entlang der natürlichen Grenzen, der Flüsse, Eisenbahnlinien, Regionen usw. verlaufen.
Manchmal ist es notwendig, den Zeitpunkt des wahren Mittags nach einer Uhr zu berechnen, die auf die Zonenzeit eingestellt ist. Darum müssen wir wissen, um wieviel die Ortszeit von der Zonenzeit abweicht.

3.3. Zeitdienst

In einigen Produktionszweigen und im Transportwesen wird die Kenntnis der Zeit mit einer Genauigkeit von einer Sekunde und oft bis zu hundertstel Sekunden verlangt.
Die Entdeckung der Bodenschätze durch die Bestimmung der Erdanziehungskraft an verschiedenen Orten der Erde, das Anlegen von Landkarten, die Seefahrt erfordern die genaue Überprüfung der Uhren, häufig auch mehrere Male im Laufe eines Tages, da jede Uhr voreilen oder zurückbleiben kann, wenn auch nur um Bruchteile von Sekunden.
Zu diesem Zweck wurde der Zeitdienst eingerichtet. Die Aufgabe dieses Dienstes ist es, die genaue Zeit zu bestimmen, aufrechtzuerhalten und zu übermitteln.
Die genaue Zeit wird an den Sternwarten bestimmt, indem der Augenblick des Durchgangs bestimmter Sterne durch gewisse Himmelsbereiche, zum Beispiel durch den Himmelsmeridian, beobachtet wird. Die Zeitpunkte dieser Durchgänge (Kul-

minationen), die genauestens vorausberechnet werden können, werden mit der von einer Uhr abgelesenen Zeit verglichen, und daraus wird die notwendige Korrektion für die betreffende Uhr ermittelt.
Die Durchgabe der genauen Zeit geschieht mit Hilfe automatisch arbeitender Rundfunkanlagen, welche die Zeitangaben von Uhren übermitteln, die mit der Pendeluhr der Sternwarte synchronisiert sind. Sie erfolgt durch verschiedene Rundfunksender zu bestimmten Zeiten (Radio DDR: 7^h; 13^h; 17^h).

3.4. Astronomische Beobachtungen bei der See- und Luftfahrt

Da Schiffe und Flugzeuge weite Entfernungen zurücklegen und dauernd in Fahrt sind, müssen einigemal am Tage die geographischen Koordinaten des Ortes bestimmt werden, an dem sie sich befinden. Auf Flugzeugen und Schiffen können keine Apparate (wie z. B. der Theodolit) verwendet werden, die mittels einer Wasserwaage genau horizontal gestellt werden müssen. Darum wird die Höhe der Sterne – die bei der Bestimmung der geographischen Länge und Breite verwendet wird – mit Hilfe des *Sextanten* ermittelt.
Der Sextant ist ein Instrument zur Messung der Sternhöhen, das man während des Messens in der Hand hält (Bild 28).

Der Sextant besteht aus einem Kreissektor von 60°. Daran sind ein Fernrohr und zwei Spiegel befestigt: einer drehbar, der andere fest. Mit Hilfe eines Griffs kann das Instrument in passender Lage gehalten werden.
Der Beobachter sieht den Horizont durch das waagerecht gestellte Fernrohr. Der bewegliche Spiegel wird so lange gedreht, bis der vom Stern kommende, auf ihn auftreffende Lichtstrahl zum festen Spiegel reflektiert wird und von dort in das Auge des Beobachters fällt. Der Beobachter sieht dann das Bild des Sterns auf der Horizontlinie. Der Zeiger über dem Bogen des Sektors zeigt die Höhe des Sterns über dem Horizont im Augenblick der Beobachtung an.

Bild 28. Messung mit dem Spiegelsextanten auf See

3.5. Kalender

3.5.1. Alter Stil und neuer Stil

Als *Kalender* bezeichnet man ein Maßsystem für große Zeitintervalle. Gegenwärtig verwenden fast alle Länder einen Sonnenkalender, der sich auf die jährliche Bewegung der Sonne auf der Ekliptik gründet und der auch mit der Aufeinanderfolge der Jahreszeiten in Verbindung steht.

Jedem Sonnenkalender liegt das tropische Jahr zugrunde. *Das tropische Jahr ist die Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen des Mittelpunkts der Sonnenscheibe durch den Punkt des Frühlingsäquinoktiums.*
Die Länge des tropischen Jahres beträgt 365 d 5 h 48 min 46,1 s. Da das tropische Jahr mit dem Tag inkommensurabel ist, ergibt sich das Problem des Kalenders. Es besteht in der Festlegung einer Regel, nach der die Jahre eine ganze Anzahl von Tagen haben sollen. Nach der Art und Weise, wie das tropische Jahr und der Tag in Einklang gebracht werden, gibt es mehrere Arten von Kalendern.

Bis zur Großen Sozialistischen Oktoberrevolution wurde in Rußland der Kalender alten Stils verwendet. Dieser Kalender ist in Deutschland bereits im Jahre 1777 durch den Kalender neuen Stils abgelöst worden. Daraus erklärt sich, daß der Tag der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution nach unserem Kalender auf den 7. November 1917 fiel (der 28. Oktober 1917 alten Stils entspricht dem 7. Nobember 1917 neuen Stils).
Der Kalender alten Stils beruhte auf der Übereinkunft, das tropische Jahr mit 365 d 6 h, das heißt $365^1/_4$ d zu zählen. Damit das Kalenderjahr immer eine ganze Anzahl von Tagen umfasse, wurde vereinbart, daß drei Jahre hintereinander mit 365 Tagen und das folgende (das vierte) mit 366 Tagen zu rechnen sind. Der zusätzliche Tag wurde ans Ende des Monats Februar (als 29. Februar) angehängt und das entsprechende Jahr als Schaltjahr bezeichnet. Als Schaltjahre (zu je 366 Tagen) gelten jene Jahre, deren Zahl durch vier teilbar ist, wie zum Beispiel 1956, 1960, 1964.
Der Kalender alten Stils bleibt hinter dem wirklichen Zeitablauf zurück, da das Jahr im Mittel im 11 min 13,9 s länger gerechnet wird als es in Wirklichkeit ist. Im Laufe von 400 Jahren, genauer In 384 Jahren, bleibt der Kalender alten Stils um 3 Tage zurück.
um XVI. Jahrhundert war der Kalender alten Stils bereits um 10 Tage (beginnend vom Anfang des IV. Jahrhunderts, als nach dem alten Kalender das Datum des Frühlingsäquinoktiums festgelegt wurde) zurückgeblieben. Um dieses Zurückbleiben auszugleichen, wurde der 5. Oktober 1582 als 15. Oktober gerechnet. Um denselben Fehler nicht zu wiederholen, wurde beschlossen, die drei Tage, die nach dem Kalender alten Stils nach je 400 Jahren hinzukamen, wegzulassen, indem man aus einer Periode von 400 Jahren drei Schaltjahre in Gemeinjahre umwandelte. Man ist übereingekommen, die Hunderterjahre dann als Gemeinjahre zu zählen, wenn die Hunderterzahl nicht durch 4 teilbar ist. Zum Beispiel wird 1600 als Schaltjahr und 1700 als Gemeinjahr gerechnet.
Auch der Kalender neuen Stils ist nicht vollkommen. Ein Fehler von einem Tag ergibt sich aber erst nach einer Zeitspanne von etwa 3000 Jahren. Diesem Fehler kommt somit keine praktische Bedeutung zu.

3.5.2. Ursprung des Monats und der Woche

Im Altertum wurde in den Ländern, deren Bevölkerung sich mehr mit Jagd und Viehzucht als mit Ackerbau beschäftigte, ein Kalender verwendet, der sich auf den Phasenwechsel des Mondes (Periode $29^1/_2$ d) gründete. In unserem Sonnenkalender behielt der zwölfte Teil des Jahres den Namen *Monat*. Er hat aber mit dem Mond nichts mehr zu tun. Die Kalendermonate, die 28 bis 31 Tage dauern, haben mit den Mondphasen keinerlei Zusammenhang mehr.
Die aus sieben Tagen bestehende *Woche* ist seit frühesten Zeiten bekannt. Die Wochentage waren in einer bestimmten Reihenfolge den fünf damals bekannten Planeten, sowie der Sonne und dem Mond zugeordnet.

3.5.3. Unsere Zeitrechnung

Lange Zeit haben die Römer die Jahre beginnend von der Gründung Roms gezählt. Vor 1500 Jahren wurde von Mönchen vorgeschlagen, die Jahre beginnend von der sogenannten „Geburt Christi" zu zählen. Da der Zeitpunkt dieses mythischen Ereignisses nicht ermittelt werden konnte, wurde er willkürlich festgesetzt. Trotzdem hat sich nach und nach diese Zeitrechnung in allen Ländern verbreitet und ist im Augenblick fast allgemein üblich; wir nennen sie unsere Zeitrechnung (u. Z.).

Übungen

1. Bestimmen Sie die Differenz der Ortszeiten zwischen Berlin ($\lambda = 13° 22'$ ö. L.) und Moskau ($\lambda = 37° 46'$ ö. L.)!
2. In Magdeburg ($\lambda = 11° 48'$ ö. L.) soll ein bestimmtes astronomisches Ereignis um $7^h\ 19^{min}$ wahrer Ortszeit eintreten. Welcher Uhrzeit (MEZ) entspricht das, wenn am betreffenden Tag zwischen der wahren und der mittleren Sonnenzeit keine Differenz besteht?
3. Zwei Reisende verlassen Potsdam am 1. Mai zu gleicher Zeit, der eine nach Osten, der andere nach Westen. Sie legen immer 15° Länge in je 24 Stunden zurück. Was müssen beide tun, wenn sie die Datumsgrenze überschreiten?
4. Eine nach Ortszeit gehende Uhr zeigt $23^h\ 13^{min}$. In diesem Augenblick gibt der Rundfunk bekannt, daß in Greenwich Mittag ist. Bestimmen Sie die geographische Länge dieses Ortes!
5. Der Deutschlandsender gibt um 7^h MEZ das Zeitzeichen; eine nach Ortszeit gehende Uhr zeigt $6^h\ 48^{min}$ an. Bestimmen Sie die geographische Länge dieses Ortes!

Die wichtigsten Methoden zum Studium des Weltalls

1. Bestimmen der Entfernungen und der Ausmaße von Himmelskörpern

1.1. Parallaxe. Bestimmung der Entfernung der Himmelskörper

Zur Bestimmung der Sternentfernung wird die Erscheinung der Parallaxe verwendet. *Unter der parallaktischen Verschiebung versteht man die scheinbare Verschiebung des Objekts, die durch die Bewegung des Beobachters verursacht wird.*

Wir wollen dies an folgendem Beispiel erklären: Wenn wir die an der Zimmerdecke angebrachte Lampe betrachten, so stellen wir fest, daß ihre Projektion immer auf einen gewissen Punkt der Decke fällt. Gehen wir nun an eine andere Stelle des Zimmers und betrachten von neuem dieselbe Lampe, so werden wir ihre Projektion diesmal an einer anderen Stelle der Decke finden.

Die Strecke zwischen den zwei Punkten, aus denen der Beobachter die Richtungen zum Gegenstand bestimmt, heißt *Basis*. Man kann sich leicht davon überzeugen, daß die Parallaxe um so größer ist, je näher sich der Gegenstand befindet und je größer die Basis ist.
Wenn die Länge der Basis und die Winkel zwischen der Basis und den Richtungen zum Objekt aus den Endpunkten der Basis bekannt sind, dann kann man die Entfernung des Objekts rechnerisch bestimmen, ohne sie unmittelbar zu messen. Dieses Verfahren wird in der Geodäsie, der Militärtechnik und von den Astronomen zur Bestimmung der Entfernung von Himmelskörpern verwendet.

Es sei die Entfernung AB zu einem Baum A jenseits des Flusses zu bestimmen (Bild 29). Zu diesem Zweck wählen wir den zugänglichen Punkt C am diesseitigen Ufer, so daß die Strecke BC als Basis dient und ihre Länge leicht gemessen werden kann. Von B aus mißt man mit einem Meßinstrument den Winkel ABC, indem man zuerst das Objekt und dann den Punkt C (der gewöhnlich durch einen Absteckpfahl gekennzeichnet wird) anvisiert.
Dann bringt man das Meßinstrument in den Punkt C und mißt den Winkel ACB. Man erhält ein Dreieck, in dem eine Seite (die Basis BC) und die anliegenden Winkel bekannt sind. Dann kann man, durch Konstruktion oder mit Hilfe der Trigonometrie, die Länge der Seiten BA und CA, also die Entfernung zum Objekt, bestimmen.
Im Bild 29 wird die parallaktische Verschiebung durch den Winkel ACD, gleich dem Winkel, den CA und CD ($CD \parallel AB$) bilden, dargestellt.

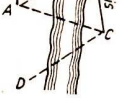


Bild 29. Bestimmung der Entfernung eines unzugänglichen Punktes

Die Parallaxe eines Ortes ist der Winkel, unter dem man von diesem Ort die vom Beobachter gewählte Basis sieht. Im Bild 29 ist der Winkel BAC die Parallaxe.
Die Parallaxe und die parallaktische Verschiebung sind gleich. Für eine gegebene Entfernung gibt eine größere Basis eine größere Genauigkeit bei der Messung der Parallaxe und somit auch bei der Bestimmung der Entfernung.
Die wichtigste Methode zur Entfernungsbestimmung der Himmelskörper ist die Bestimmung ihrer Parallaxe. Für die Objekte des Sonnensystems ist die Basis eine andere als für entferntere Objekte.
Für die relativ nahen Objekte des Sonnensystems, wie zum Beispiel für die Sonne, den Mond und die Planeten genügt es, den Erdradius als Basis zu wählen.
Als Horizontalparallaxe eines Himmelskörpers wird der Winkel bezeichnet, unter dem man von diesem Himmelskörper aus den Erdradius, senkrecht zur Blickrichtung, sieht (im Bild 30 der Winkel ASB).

Wenn von zwei Beobachtern, die denselben Himmelskörper gleichzeitig und von verschiedenen Punkten der Erdoberfläche aus beobachten, der eine den Himmelskörper im Zenit, der andere am Horizont sieht, dann ist der Winkel der beiden Blickrichtungen (der die parallaktische Verschiebung des Himmelskörpers darstellt) die Horizontalparallaxe dieses Himmelskörpers.

Zur Bestimmung der Horizontalparallaxe des Mondes, der Sonne oder der Planeten ist es notwendig, daß zwei Beobachter den Himmelskörper gleichzeitig aus den Punkten A und B (Bild 30) anvisieren.

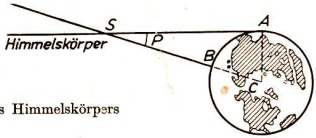


Bild 30. Horizontalparallaxe eines Himmelskörpers

Da nun die Beobachtungen nicht genau gleichzeitig durchgeführt werden können, die Beobachter nicht immer auf demselben Meridian stehen, die Erde nicht genau Kugelgestalt hat usw., ist die praktische Rechnung etwas schwieriger.
Kürzlich wurde von sowjetischen Gelehrten eine neue Methode zur Bestimmung des Abstands Erde – Mond ausgearbeitet. Das Prinzip dieser Methode besteht darin, die Zeit zu bestimmen, in der ein zum Mond ausgestrahltes und von diesem reflektiertes Radarsignal zurückkehrt. Das Ergebnis stimmt vollkommen mit jenem der parallaktischen Methode überein.
Wenn durch Messung die Parallaxe eines Himmelskörpers bestimmt worden ist, dann ergibt sich seine Entfernung D durch einfache Rechnung.
Aus dem Bild 30 ist ersichtlich, daß die Entfernung den Wert $D = \frac{R}{\sin p}$ hat, wobei R die Basis (AC) und p die Horizontalparallaxe ($\sphericalangle ASC$) ist. Wenn man als Maßeinheit den Erdradius R wählt, dann erhält man die Entfernung D in Erdradien ausgedrückt.
Wir führen nun einige Parallaxen und die entsprechenden Entfernungen an. Die

Horizontalparallaxe des Mondes beträgt 57′, die mittlere Entfernung Erde–Mond 384000 km; die Horizontalparallaxe der Sonne beträgt 8″,80, ihre Entfernung von der Erde 149600000 km.
Die Entfernung Erde–Sonne heißt *astronomische Einheit* (AE).
Für Himmelskörper außerhalb des Sonnensystems, also für Sterne, kann der Erdradius oder der Erddurchmesser nicht mehr als Basis gewählt werden, da diese Strecken zu klein sind. Für die Sterne der Sonnenumgebung wird als Basis der Radius der Erdbahn (die astronomische Einheit) gewählt; für weiter entfernte Sterne ist aber auch diese Basis zu klein.
Der Winkel, unter dem man von einem Punkt aus den mittleren Radius der Erdbahn senkrecht zur Blickrichtung sieht, heißt jährliche Parallaxe des betreffenden Punktes.

1.2. Bestimmung der Ausmaße der Himmelskörper

Um die lineare Ausdehnung eines Himmelskörpers zu bestimmen, müssen wir seine Entfernung kennen und den Winkel messen, unter dem wir seinen Radius sehen. Im Bild 31 würde ein im Erdmittelpunkt T befindlicher Beobachter den Sternradius R unter dem Winkel ϱ sehen. Wenn D die Mittelpunktsentfernung Erde–Stern bezeichnet, so ist

$$R = D \sin \varrho .$$

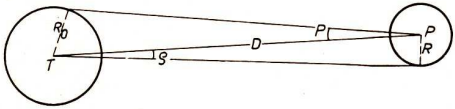


Bild 31. Bestimmung des Radius eines Himmelskörpers

R und D werden in gleichen Maßeinheiten, in Erdradien, Kilometern oder anderen Einheiten ausgedrückt.
So beträgt zum Beispiel die Entfernung zum Mond $D = 60$ Erdradien, und wir sehen den Mondradius unter einem Winkel von 16′. Für den Mond ist

$$R = 60 \cdot \sin 16' \text{ Erdradien} = 0{,}27 \text{ Erdradien}.$$

1.3. Die jährliche Parallaxe als Beweis der Bewegung der Erde um die Sonne

Gegenwärtig gibt es viele wissenschaftliche Beweise für die Bewegung der Erde um die Sonne.
Einer dieser Beweise ist die jährliche Parallaxe der Sterne. Würde sich die Erde nicht um die Sonne bewegen, so würde ein Beobachter auf der Erde die Sterne immer in derselben Richtung sehen: die Projektion eines Sterns auf die Himmels-

kugel wäre immer derselbe Punkt. Die Erde bewegt sich aber und mit ihr der Beobachter. Da sich die Stellung des Beobachters verändert, müssen die Sterne eine parallaktische Verschiebung zeigen. Würde sich der Beobachter mit der Erde entlang einer Geraden bewegen, dann würde sich auch die parallaktische Verschiebung in derselben Richtung geltend machen, und jeder beliebige Stern würde sich Monat für Monat und Jahr für Jahr an der Himmelskugel in derselben Richtung bewegen.
Da sich der Beobachter zusammen mit der Erde im Laufe eines Jahres einmal um die Sonne auf einer fast kreisförmigen Bahn bewegt und nach einem Jahr sich diese Erscheinung wiederholt, müssen die Sterne eine parallaktische Verschiebung mit der Periode von einem Jahr aufweisen.

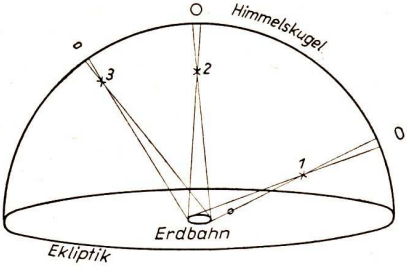


Bild 32. Jährliche parallaktische Verschiebung der Sterne in Abhängigkeit von ihrer Entfernung und ihrer Stellung in bezug auf die Ekliptik

Wir können uns die jährliche Verschiebung der Sterne leicht mit folgendem Versuch verdeutlichen: Wenn wir die Lage der Projektion einer Lampe auf die Zimmerdecke beobachten, während wir uns um einen Tisch bewegen, der sich unterhalb der Lampe befindet, so wird es uns scheinen, als würde die Lampe auf der Zimmerdecke als Hintergrund eine geschlossene Kurve beschreiben.

Das Bild 32 zeigt schematisch die parallaktische Verschiebung der Sterne, wenn die Erde sich um die Sonne bewegt. Die betrachteten Sterne befinden sich in verschiedener Entfernung von der Erde und werden in verschiedenen Richtungen gesehen.
Infolge der jährlichen Parallaxe beschreibt jeder Stern innerhalb eines Jahres eine geschlossene Kurve, deren Form vom Winkel abhängt, den die Blickrichtung zum Stern mit der Erdbahnebene bildet; ihre Größe hängt von der Entfernung des Sterns ab.
Da die Sternentfernungen sehr groß sind, sind die parallaktischen Verschiebungen sehr klein. Deshalb und wegen des Fehlens von Instrumenten mit genügend großer Meßgenauigkeit konnten die Astronomen des XVII. bis XVIII. Jahrhunderts die parallaktische Verschiebung der Sterne nicht feststellen.
Erst vor etwa 120 Jahren hat der in Altona gebürtige Astronom W. Struve, der erste Direktor der berühmten russischen Sternwarte Pulkowo, mit Hilfe genauer Meßinstrumente als erster die Parallaxe eines der nächsten Sterne, des Sterns Wega, gemessen.
Die größte Parallaxe (0″, 76) hat der uns nächste Stern Proxima Centauri[1] (bei

[1] Proxima Centauri kann mit freiem Auge nicht gesehen werden. Der nach ihm folgende nächste Stern ist ein Nachbarstern von ihm, α Centauri, mit der Größe 1.

uns kann das Sternbild des Centauren nicht gesehen werden). Die Differenz der Extremlagen der Sterne an der Himmelskugel (in Zeitabständen von einem halben Jahr beobachtet) beträgt kaum $1^1/_2''$. Unter einem solchen Winkel sieht man einen 1 mm dicken Draht in 140 m Entfernung.
Der Begriff der jährlichen Parallaxe hat für Himmelskörper, die sich wie die Erde um die Sonne bewegen, zum Beispiel Planeten und Kometen, keinen Sinn.

Übungen

1. Die Parallaxe der Sonne beträgt 8″, 80, ihr scheinbarer Winkelhalbmesser 16′. Das Wievielfache des Erddurchmessers beträgt der Sonnendurchmesser?
2. Wir nehmen an, daß der Stern α Centauri von einem Planeten in einer Entfernung von 150000000 km umkreist wird. In welchem größtmöglichen Winkelabstand von α Centauri könnte dieser Planet von der Erde aus gesehen werden?

2. Rolle des Fernrohrs; Photographie und Spektralanalyse in der Astronomie

2.1. Fernrohre und Photographie

Fernrohre werden dazu verwendet, ein deutliches Bild von den Himmelskörpern zu entwerfen, um diese anhand ihres Bildes studieren oder photograpieren oder mittels anderer Methoden beobachten zu können. Im Linsenfernrohr (Bild 33) erzeugt ein System von Konvexlinsen (Objektiv), im Spiegelteleskop (Bild 34) der Konkavspiegel ein Bild des Himmelskörpers in einer Ebene, die Brennebene genannt wird. Dieses Bild wird durch das Okular betrachtet. Die auf das Objektiv oder auf den Spiegel auftreffende Lichtmenge ist der Fläche proportional.

Der sowjetische Gelehrte D. D. Maksutow hat im Jahre 1941 einen neuen Typ von Teleskopen das *Meniskus-Spiegelteleskop* erfunden, das die Eigenschaften der Linsenfernrohre und der Spiegelteleskope in sich vereinigt. Nach diesem Prinzip werden auch die Schulfernrohre in der UdSSR gebaut.

Alle größeren Fernrohre können, nachdem sie auf den zu beobachtenden Stern eingestellt sind, mit Hilfe eines Mechanismus um eine zum Himmelspol gerichtete Achse in Drehung gesetzt werden. Auf diese Weise kann der Beobachter den Himmelskörper, trotz der täglichen Bewegung der Himmelskugel, im Blickfeld behalten, und wenn man statt des Auges eine photographische Kamera benutzt, dann befindet sich das Bild des Sterns immer an derselben Stelle der photographischen Platte.
Gegenwärtig wird die Photographie immer mehr anstelle der visuellen Beobachtung verwendet. Durch längere Belichtung kann auf den photographischen Platten das Bild auch weniger heller Sterne festgehalten werden als bei der visuellen Beobachtung mit demselben Fernrohr. Die photographischen Bilder stellen den Zustand dieser Him-

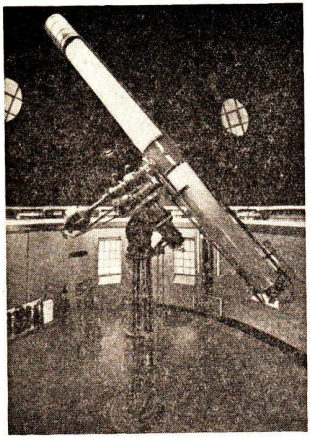


Bild 33. Linsenfernrohr (65-cm-Refraktor der Sternwarte Babelsberg für visuelle Beobachtungen)

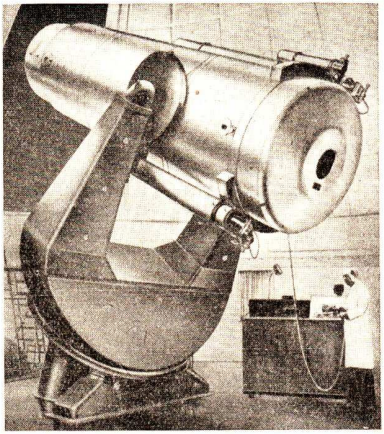


Bild 34. 120-cm-Schmidt-Spiegelteleskop, hergestellt im VEB Carl Zeiss Jena

melskörper im Augenblick der photographischen Aufnahme dar. Sie werden aufbewahrt und dann in Laboratorien studiert.
An vielen Fernrohren sind Zusatzgeräte angebracht, die zum Bestimmen der Intensität und anderer Eigenschaften des Sternlichts dienen.
Das Bestreben, größere Fernrohre zu konstruieren, geht nicht ausschließlich auf den Wunsch zurück, ein größeres Bild der Himmelskörper zu erhalten. *Große Fernrohre ermöglichen es nämlich, lichtschwache, also weit entfernte Himmelskörper zu sehen*: mit ihrer Hilfe können wir tiefer in die Ferne des Weltalls vordringen. Mit solchen Fernrohren können Himmelskörper rascher und mit mehr Einzelheiten photographiert werden.

2.2. Bestimmung der chemischen Zusammensetzung, der Geschwindigkeit und der Temperatur der Himmelskörper

Die chemische Zusammensetzung kann mit Hilfe der *Spektralanalyse* festgestellt werden, wenn die Gase Licht ausstrahlen oder das Licht einer Quelle mit kontinuierlichem Spektrum absorbieren; im letzten Fall verursacht die Absorption des Lichtes das Erscheinen von dunklen Linien im Spektrum. Sonne und Sterne haben

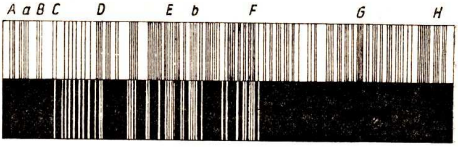


Bild 35. Vergleich des Sonnenspektrums (oben) mit dem Spektrum des Eisens

kontinuierliche Spektren, die durch dunkle Linien unterbrochen sind. Werden diese Linien mit jenen der Spektren bekannter chemischer Elemente verglichen (Bild 35), so erhält man die chemische Zusammensetzung der äußeren, weniger heißen Schichten der Sonne und der Sterne. Auf diesen Himmelskörpern wurden nur solche Elemente aufgefunden, die auch auf der Erde vorkommen; dies bestätigt, daß *die Materie, aus der das Weltall aufgebaut ist, überall die gleiche ist*, und widerlegt die Irrmeinung von der Unerkennbarkeit der Natur.

Der Mond und die Planeten reflektieren das Sonnenlicht, und daher kann ihre chemische Zusammensetzung nicht mit Hilfe der Spektralanalyse aus Emissionslinien bestimmt werden. Bevor die Sonnenstrahlen die Oberfläche eines Planeten erreichen, durchdringen sie ein erstes Mal seine Atmosphäre und, nachdem sie von dessen Oberfläche reflektiert wurden, ein zweites Mal; aus diesem Grunde wird ein Teil des Sonnenlichts von der Planetenatmosphäre absorbiert, und im Spektrum erscheinen zusätzlich dunkle Linien, die im direkten Spektrum des Sonnenlichts nicht vorhanden sind. Daraus folgert man auf die Zusammensetzung der Planetenatmosphäre.

Die Geschwindigkeit, mit der sich die Himmelskörper in bezug auf die Erde in der Blickrichtung (auf uns zu oder von uns weg) *bewegen*, kann mit Hilfe der Spektralanalyse auf Grund des *Dopplerschen Prinzips* bestimmt werden. Dieses Prinzip sagt aus, daß sich die Spektrallinien gegen Violett verschieben, wenn sich die Lichtquelle dem Beobachter nähert, und gegen Rot, wenn sie sich vom Beobachter entfernt.

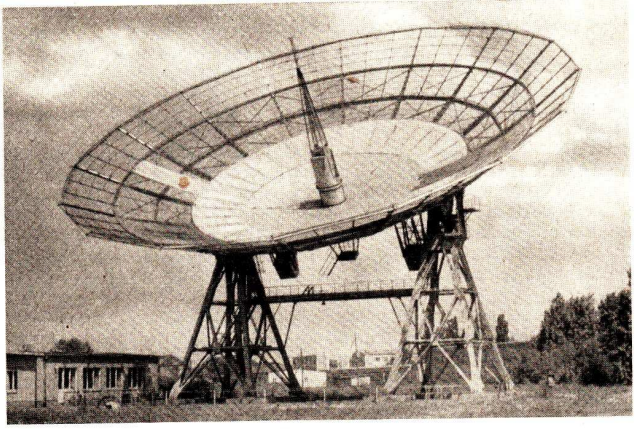
Die Verschiebung der Spektrallinien ist je nach der Geschwindigkeit größer oder kleiner und kann gemessen werden. All das wurde zum ersten Mal vom Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR A. A. Belopolski (1854 . . . 1934) an der Sternwarte Pulkowo untersucht und bewiesen.

Die Bewegungsgeschwindigkeit eines Himmelskörpers senkrecht zur Blickrichtung kann bestimmt werden, wenn man die Winkelgeschwindigkeit der scheinbaren Bewegung des Himmelskörpers an der Himmelskugel und seine Entfernung von der Erde kennt.

Die *Temperatur* eines Himmelskörpers, der eigenes Licht aussendet, wie Sonne und Sterne, wird bestimmt, indem man die Intensitätsverteilung über das ganze Spektrum mißt. Ein Körper mit Eigenlicht und relativ niedriger Temperatur hat eine rote Farbe, weil der rote Bereich seines Spektrums der energiereichste ist. Ein Körper mit etwas höherer Temperatur sendet gelbes Licht aus, weil der gelbe Teil seines Spektrums am energiereichsten ist. Ein Körper mit noch höherer Temperatur

hat weißes Licht, da das Gemisch der Farben seines Spektrums Weiß ergibt. Ist die Temperatur eines Körpers sehr hoch, dann ist der blaue Teil seines Spektrums der energiereichste, und aus diesem Grunde erscheint er von bläulicher Farbe.
Die Physik lehrt, daß zwischen der Wellenlänge λ_m, entsprechend dem Maximum der Strahlungsenergie im Spektrum, und der absoluten Temperatur T eine einfache Beziehung besteht: $\lambda_m \cdot T =$ konstant. Diese Beziehung, das *Wiensche Verschiebungsgesetz*, dient zur Bestimmung der Temperatur, wenn λ_m bekannt ist.
Die Temperatur der Planeten und des Mondes (die das Sonnenlicht reflektieren) bestimmen wir mit Hilfe eines *Thermoelements (Bolometers)*.
In der Astronomie werden als Zusatzgeräte zum Fernrohr sehr empfindliche Thermoelemente verwendet, die die Strahlung einer Kerze noch in einer Entfernung von einigen Kilometern anzeigen. Das Thermoelement wird in den Brennpunkt des Objektivs gebracht, wo das Bild des Planeten entsteht. Die vom Planeten ausgesandte schwache Strahlung erwärmt das Thermoelement; es entsteht ein schwacher elektrischer Strom, der mit einem sehr empfindlichen Galvanometer gemessen wird. Kennen wir die Stromstärke, so kann die vom Planeten zur Erde gestrahlte Wärmemenge berechnet werden. Ist auch noch die Entfernung des Planeten von der Erde bekannt, dann können wir die Temperatur des Planeten berechnen. In letzter Zeit wurde mit Hilfe von Apparaten, *Radioteleskope* genannt (dies sind eigentlich Spezialantennen), der Empfang von Radiowellen ermöglicht, die von Himmelskörpern ausgestrahlt wer-

Bild 36. Radioteleskop (Heinrich-Hertz-Institut, Berlin Adlershof)



den (Bild 36). Die Beobachtungen mit Radioteleskopen stellen eine neue Methode zum Studium der Himmelskörper dar.
Aus dem Gesagten geht hervor, daß die Wissenschaft der Gegenwart über eigene und leistungsfähige Mittel zur Erforschung des Weltalls verfügt. Diese Mittel ermöglichen es, mit Sicherheit den physikalischen Aufbau der Himmelskörper, ihre Bewegungen, ihre chemische Zusammensetzung und Temperatur zu bestimmen. Demnach sind *die Kenntnisse der Gegenwart über die Himmelskörper nicht unbestätigte Hypothesen, sondern unanfechtbare Ergebnisse von Messungen und Anwendungen von Gesetzen, die unzählige Male durch Versuche nachgeprüft wurden.*

2.3. Sowjetische Sternwarten

Die größten Sternwarten der UdSSR sind in Pulkowo, auf der Krim, in Moskau, Taschkent, Kasan, Abastumani, Bjurakan, Alma-Ata und in anderen Städten untergebracht. Die Sternwarten in Pulkowo und auf der Krim, die größten der UdSSR, die von den Hitlerfaschisten in den Jahren 1941 und 1942 zerstört wurden, sind wieder vollständig aufgebaut. Die 1839 von W. Struve gegründete Sternwarte in Pulkowo war schon im XIX. Jahrhundert jenseits der Grenzen Rußlands als „astronomische Hauptstadt der Welt" anerkannt, da sie reichhaltige und leistungsfähige Einrichtungen hatte und sich mit den hier durchgeführten wissenschaftlichen Arbeiten höchster Genauigkeit einen guten Ruf erwarb.
Außer den Fernrohren gibt es in den Sternwarten noch verschiedene Apparate und Instrumente zur genauen Bestimmung der Stellung der Himmelskörper, ihrer Bewegung an der Himmelskugel sowie zur Bestimmung und Bewahrung der genauen Zeit.

2.4. Sternwarten in unserem Lande

In der Deutschen Demokratischen Republik gibt es gegenwärtig eine Anzahl von Sternwarten, wie die Sternwarte der Deutschen Akademie der Wissenschaften in *Babelsberg*, die Universitätssternwarte und das Astrophysikalische Institut *Jena*, das Astrophysikalische Observatorium *Potsdam*, bekannt durch den Einstein-Turm für die Sonnenforschung (Bild 37), die Sternwarte der Deutschen Akademie der Wissenschaften *Sonneberg*. Im Jahre 1960 wurde von der Deutschen Akademie der Wissenschaften eine neue Sternwarte in *Tautenburg* bei Jena in Betrieb genommen; sie verfügt über eines der leistungsfähigsten Fernrohre der Welt, ein vom VEB Carl Zeiss Jena gebautes 2-m-Spiegelteleskop. Dieses Fernrohr kann mit einer Schmidt-Korrektionsplatte, die eine hervorragende Abbildungsgüte verbürgt, versehen werden (Bild 38).
Neben diesen ausschließlich in der wissenschaftlichen Forschung tätigen Einrichtungen bestehen in vielen Orten der Republik Volks- oder Schulsternwarten, die

Bild 37. Einstein-Turm des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam

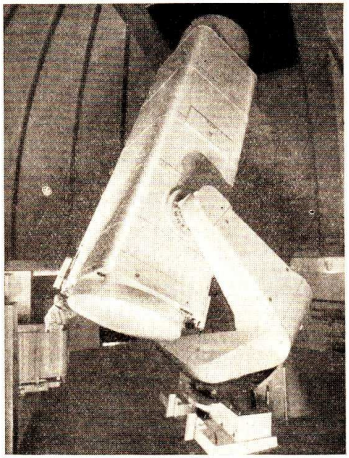


Bild 38. Das 2-m-Spiegelteleskop der Sternwarte Tautenburg

hauptsächlich der Volksbildung dienen, aber in begrenztem Rahmen auch an Forschungsvorhaben mitwirken. So führen zahlreiche Volks- und Schulsternwarten im Auftrag der Akademie der Wissenschaften der UdSSR beziehungsweise des Nationalkomitees für Geodäsie und Geophysik der DDR Beobachtungen von künstlichen Erdsatelliten – im Rahmen des internationalen Beobachtungsdienstes – durch.

Sonnensystem

1. Die falschen Auffassungen der Vergangenheit

1.1. Astronomie des Altertums; Astrologie und Aberglauben

Als der Mensch die Naturgesetze noch nicht kannte, empfand er auf Schritt und Tritt seine Ohnmacht und seine Abhängigkeit von der Umwelt. Er betete die Naturkräfte, wie Blitz, Donner, Wind an und beugte sich vor ihnen und vor den Himmelskörpern, insbesondere vor Sonne und Mond; der Sonnenkult war am meisten verbreitet. Aus der Unkenntnis der Naturgesetze, aus der Tatsache, daß der Mensch den Naturgewalten machtlos gegenüberstand, entsprang der Glaube an übernatürliche Mächte und ihre Anbetung.
Die Sonnenmythen wurden von verschiedenen Religionen, insbesondere von der christlichen Religion, übernommen. Einflüsse des Mondkults haben sich in der mohammedanischen Religion erhalten, in der die Mondsichel („Halbmond") ein wichtiges Symbol ist.
Da die Menschen der vergangenen Zeit die Triebkräfte der gesellschaftlichen Entwicklung noch nicht kannten, entstand auch die Auffassung, daß die Gestirne, insbesondere die Planeten, den Lauf der gesellschaftlichen Ereignisse und auch das persönliche Schicksal jedes einzelnen beeinflussen könnten.
Die Irrlehre von diesem Einfluß und von der Möglichkeit, Ereignisse auf Grund der Stellung der Sterne vorauszusagen, heißt *Astrologie*.
Die Entwicklung richtiger, wissenschaftlicher Anschauungen zieht den Kreis um den Aberglauben immer enger. Trotzdem existiert der Aberglauben auch heute noch unter den Menschen (Wahrsagerei, der Glauben an ein vorbestimmtes Schicksal, an Zeichen usw.), insbesondere in den kapitalistischen Ländern.
Um ihre Privilegien zu schützen, die Volksmassen untertänig zu halten und die Möglichkeit zu haben, die arbeitenden Menschen ungestört auszubeuten, unterstützen die Ausbeuterklassen die Verbreitung des Aberglaubens.
Die babylonischen und ägyptischen Priester bewahrten ihre astronomischen Kenntnisse als Geheimnis, um Autorität und Macht zu erhalten. Da die Bestimmung der Kalenderdaten mit Himmelserscheinungen zusammenhängt, fühlten die Priester sich veranlaßt, diese Erscheinungen zu studieren. Sie hatten viele Angaben über verschiedene Himmelserscheinungen gesammelt, ohne sie jedoch richtig deuten zu können.

Nach einer alten babylonischen Legende, die die Juden von ihren babylonischen Unterdrückern übernommen haben und die in die Bibel aufgenommen worden ist, besteht der Himmel aus einer

festen Kuppel, die sich mit ihren Rändern auf die ebene Fläche der Erde stützt. Der Himmel ist der Sitz der Götter, die die Welt erschaffen haben. So kam ein Unterschied zwischen irdisch und himmlisch, zwischen „Diesseits" und „Jenseits", zwischen natürlich und übernatürlich, erfaßbar und nicht erfaßbar zustande.

Die astronomischen Kenntnisse früherer Nomadenvölker ergaben sich aus der Notwendigkeit, die Zeit zu messen und sich mit Hilfe der Himmelskörper in der Steppe oder Wüste zurechtzufinden.
Die Seeleute mußten sich ebenfalls nach den Sternen orientieren.
Auch die Entwicklung der Landwirtschaft erforderte astronomische Kenntnisse. Um die landwirtschaftlichen Arbeiten vorzubereiten, mußte der Landwirt die Aufeinanderfolge der Jahreszeiten kennen; so ergab sich die Notwendigkeit eines Kalenders.
Die Ägypter und Babylonier kannten seit frühesten Zeiten die Planeten und ihre scheinbare Schleifenbewegung.
Nach der Verschiebung des politischen und kulturellen Mittelpunkts aus Babylonien und Ägypten in das antike Griechenland wurden von den griechischen Philosophen auch die astronomischen Kenntnisse übernommen und weiterentwickelt. Die Griechen brauchten ganz besonders diese Wissenschaft für die Seefahrt; sie verwendeten mit viel Erfolg ihre mathematischen Kenntnisse bei der Entwicklung der Astronomie.

1.2. Die scheinbare Bewegung der Planeten und ihre Erklärung vor Kopernikus

Mit freiem Auge sind fünf Planeten sichtbar: Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn. Sie erscheinen als sehr helle Sterne. Darum kann ein Planet auch als „überzähliger" heller Stern eines Sternbilds gesehen werden (Bild 1). Wir können diesen Irrtum ausschalten, indem wir den Himmel mit einer Sternkarte vergleichen, in der die Planeten, da sie ihre Stellung am Himmel ständig ändern, selbstverständlich nicht eingezeichnet sind.
Die Beobachtung zeigt uns, daß sich jeder Planet in einer bestimmten Periode des Jahres in Nähe der Sonne befindet und von ihren Strahlen verdeckt wird; auch kann ein beliebiger Planet erst morgens aufgehen oder schon am frühen Abend untergehen. Oftmals ist auch kein einziger Planet am Himmel zu sehen.
Durch die Beobachtung der Planeten haben die Menschen festgestellt, daß Mars, Jupiter und Saturn, in gewissen Zeiten des Jahres, zu jeder Nachtstunde gesehen werden können, Venus und besonders Merkur hingegen sich immer in der Nähe der Sonne befinden und deshalb seltener gesehen werden können: entweder abends im Westen kurz nach Sonnenuntergang, oder morgens im Osten, kurz vor Sonnenaufgang. Merkur ist auch bei größtem Winkelabstand von der Sonne morgens, besonders in unseren Breiten, nur schwer zu erkennen. Somit können sowohl Merkur als auch Venus entweder als „Morgensterne" oder als „Abendsterne", nie aber in der Nacht gesehen werden.

Die Venus strahlt viel heller als alle anderen Planeten und Sterne und hat eine weiße Farbe. Nach der Venus ist Jupiter der nächsthellste Stern an der Himmelskugel; er hat eine gelblich-weiße Farbe. Mars ist rötlich-orange und strahlt manchmal ebenso hell wie Jupiter; die meiste Zeit ist er jedoch nur so hell wie ein Stern 1. Größe. Saturn unterscheidet sich nur wenig von einem Stern 1. Größe und hat eine gelbliche Farbe.
Es ist sehr interessant und lehrreich, die Bewegung der Planeten zwischen den Sternen zu beobachten und von Zeit zu Zeit ihre Stellungen in eine Himmelskarte einzuzeichnen. Von allen Planeten kann die Bewegung des Mars mit freiem Auge am leichtesten beobachtet werden. Aber erst nach einer Beobachtung von einigen Monaten können wir uns bei den Planeten von den wichtigsten Kennzeichen ihrer scheinbaren Bewegung Rechenschaft geben: von der Veränderung ihrer Bewegungsgeschwindigkeit und vom Wechsel zwischen *rechtläufiger* (von West nach Ost, entgegen der täglichen Drehung des Sternhimmels) und *rückläufiger* Bewegung. Die Planeten Merkur und Venus scheinen um die Sonne zu pendeln, bei Mars, Jupiter und Saturn sind Schleifen oder Schlangenlinien zu beobachten (Bild 39).

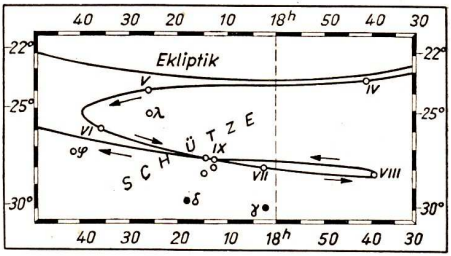


Bild 39.
Scheinbare Bahn des Mars am Sternhimmel im Jahre 1954

Die Bewegungsgeschwindigkeit und die Ausmaße der Schleifen (in Graden) sind am größten bei Mars, kleiner bei Jupiter und am kleinsten bei Saturn.
Die gesamten Ergebnisse der antiken griechischen Wissenschaft wurden im IV. Jahrhundert v. u. Z. von einem der größten Gelehrten des Altertums, Aristoteles (384 · · · 322 v. u. Z.) zusammengefaßt. Nach Aristoteles waren Sonne, Mond und Planeten an je einer festen und durchsichtigen „Himmelskugel" angebracht. An der entferntesten dieser Kugeln befanden sich alle übrigen Sterne. Alle Kugeln waren konzentrisch, und in ihrem Mittelpunkt befand sich die ruhende Erde. Nach Aristoteles bewegten sich die Himmelskugeln mit verschiedenen Geschwindigkeiten um die Erde, beeinflußten sich gegenseitig und gaben zu den scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper Anlaß.
Dieses Weltsystem, mit der Erde als Mittelpunkt, heißt *geozentrisches Weltsystem*.
Die Instrumente waren primitiv, die Methoden ungenau; trotzdem waren einige Ergebnisse von besonderer Wichtigkeit. Einer der großen Astronomen, Hipparch (190 · · · 125

v. u. Z.) legte einen Sternkatalog an mit den Örtern von über 1000 nach sechs Größenklassen geordneten Sternen. Auch hat er die Bestimmung eines Punktes der Erdoberfläche mit Hilfe der geographischen Länge und Breite eingeführt.

Den Höhepunkt der astronomischen Kenntnisse des antiken Griechenlands stellt das von Claudius Ptolemäus aus Alexandria entworfene Weltbild dar. Er lebte im II. Jahrhundert unserer Zeitrechnung. Er behielt das geozentrische Weltsystem bei; um aber die Schleifenbewegungen der Planeten zu erklären, benutzte er das sogenannte System der Epizyklen. Ein Epizykel ist ein kleiner Kreis, auf dem sich der Planet gleichförmig bewegt. Gleichzeitig bewegt sich der Mittelpunkt dieses Kreises auf einem anderen Kreis, Deferent genannt, dessen Mittelpunkt die Erde ist. Aus der Zusammensetzung dieser beiden Bewegungen in verschiedenen Ebenen ergibt sich die scheinbar abwechselnd rechtläufige und rückläufige Schleifenbewegung der Planeten (Abb. 40). Die Hypothesen des Ptolemäus ermöglichten es, die Stellung der Planeten am Himmel im voraus zu berechnen und hatten daher praktischen Wert, obwohl sie in ihrem Wesen falsch waren.

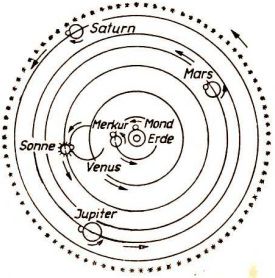


Bild 40. Das Weltsystem nach Ptolemäus

Wir dürfen aber keineswegs glauben, daß alle Gelehrten dieser Periode diese von den herrschenden Klassen unterstützten idealistischen Ideen vertraten. Archimedes gibt uns in der „Zahl der Sandkörnchen“ folgende Information: „Aristarch aus Samos schrieb eine Arbeit mit einer Vielzahl von (neuen) Hypothesen. Die Schlußfolgerung aus seinen Prämissen ist, daß das Weltall viel größer ist, als wir bisher behaupteten, weil er annimmt, daß die Fixsterne und die Sonne unbewegt sind, während sich die Erde auf einer Bahn um die Sonne bewegt, in deren Mittelpunkt sich eben die Sonne befindet.“ Trotzdem fanden diese Ideen zu jener Zeit keine weitere Verbreitung. Wie bekannt, wurde Aristarch als Atheist angeklagt und mußte aus Athen fliehen.

Nach dem Niedergang der griechischen Staaten und ihrer Kultur begannen sich die Staaten Westeuropas zu entwickeln. Im Mittelalter war das Wirtschaftsleben jedoch noch sehr primitiv und die Wissenschaft wurde wenig gepflegt. Die Seefahrt stand auf einer niederen Stufe. Die christliche Kirche verbot das Studium der Natur und betrachtete diese Beschäftigung als Sünde.

In dieser Zeit waren die Theorien über das Weltall vielfach primitiver und naiver als bei den Ägyptern und Griechen. Selbst die Kugelgestalt der Erde wurde bestritten.

Im Zeitalter der großen geographischen Entdeckungen, als die Entwicklung des Handels die Europäer gezwungen hatte, über Meere und Ozeane zu reisen, um neue Reichtümer zu erobern, wurden astronomische Kenntnisse zur unerläßlichen Notwendigkeit. Es wurden die Werke der antiken griechischen Schriftsteller veröffentlicht, die von den Arabern im Mittelalter gerettet worden waren, in jener Zeit, als die christliche

Kirche fanatische Verfolgungen gegen alles begann, was der Religion widersprach. Von den Arabern, die Seefahrt betrieben und aus diesem Grunde die Astronomie schätzten, haben sich viele Benennungen in der Astronomie erhalten.
Schließlich waren auch die Häupter der Kirche am Gewinn der Handelsreisen über die Meere interessiert und entschlossen sich, das Studium der Theorie von Ptolemäus mit einigen Einschränkungen und Vervollständigungen im Sinne jenes Glaubens zu gestatten, den sie verkündeten.

2. Revolution in der Auffassung über die Welt

2.1. Die revolutionäre Entdeckung des Kopernikus

Die Entwicklung der Schiffahrt über Meere und Ozeane verlangte nach und nach eine immer größere Genauigkeit der astronomischen Berechnungen. Die Theorie des Ptolemäus konnte diese Genauigkeit nicht garantieren und mußte deshalb abgeändert werden. Die Berechnungen wurden schließlich so kompliziert, daß auch die Theorie des Ptolemäus in ihrer Grundlage wenig glaubhaft zu erscheinen begann.
Dem genialen polnischen Gelehrten Nikolaus Kopernikus (1473 . . . 1543) gebührt das Verdienst der Entdeckung, daß die Erde ein Planet ist. Er zeigte den Menschen den wirklichen Platz der Erde und ihre Bewegung im Weltall.

Nikolaus Kopernikus (1473 bis 1543)

Kopernikus gelangte zu der Überzeugung, daß die Erde sich dreht und die Bewegung der Himmelskörper mit dieser Annahme viel leichter erfaßt werden kann.
Von diesem Standpunkt ausgehend, erklärte er den Auf- und Untergang der Himmelskörper durch die tägliche Umdrehung der Erde, die scheinbare Bewegung der Sonne an der Ekliptik durch die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne. Nach Kopernikus bewegen sich die anderen Planeten – ebenso wie die Erde – um die Sonne und nicht um die Erde.
Nach der Theorie des Kopernikus ist die Erde in bezug auf die Entfernung von der Sonne der dritte Planet. Die Reihenfolge der Planeten von der Sonne aus lautet: *Merkur*, *Venus*, *Erde*, *Mars*, *Jupiter* und *Saturn*. Das System des Kopernikus mit der Sonne im Mittelpunkt heißt *heliozentrisches Weltsystem*.
Die Ideen des Kopernikus bildeten den Grundstein für die Entwicklung der Astronomie nach ganz neuen Prinzipien und regten die Menschheit zum Studium der Natur an, ohne Rücksicht auf die veralteten, auf Unwissenheit beruhenden Doktrinen. Die Folge der Entdeckung des Kopernikus war eine Revolution in der Weltanschauung der Menschen, in der Deutung der Natur und in den Erkenntnismethoden. Dank

dieser Entdeckung begannen sich auch andere Wissenschaften rascher und auf richtigem Wege zu entwickeln.
Darüber sagt Friedrich Engels folgendes: „Was auf religiösem Gebiet die Bullenverbrennung Luthers, 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]
Während die Wissenschaft in der Sowjetunion eine nie gekannte Entwicklung erfährt, die sich auf die materialistische Weltauffassung stützt, werden in den kapitalistischen Ländern zum Vorteil der besitzenden Klassen reaktionäre Theorien gefördert. So begegnet man dort zum Beispiel auch heute Versuchen, das Wesen der Entdeckung des Kopernikus zu leugnen und zu behaupten, daß es gleichgültig sei, ob die Erde sich um die Sonne oder ob die Sonne sich um die Erde dreht. Damit versucht man in einer getarnten Form zu den unwissenschaftlichen Anschauungen des Mittelalters zurückzukehren.
Folglich gilt es auch heute noch, einen entschlossenen Kampf gegen jede wissenschaftsfeindliche und abergläubische Ideologie zu führen, weil die Weltanschauung des in Zersetzung befindlichen Kapitalismus solche Vorurteile unterstützt.

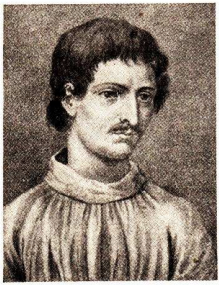
2.2. Die Entdeckungen Galileis und der Kampf der Kirche gegen die Wissenschaft

Als der italienische Gelehrte Galilei (1564···1642) erfuhr, daß in Holland ein Fernrohr erfunden worden war, konstruierte auch er im Jahre 1609 ein Fernrohr, das er zur Beobachtung der Himmelskörper verwendete. Mit Hilfe dieses Fernrohrs gelangen Galilei viele Entdeckungen, die als glänzende Beweise der Theorie des Kopernikus dienten.
Zunächst entdeckte Galilei die Mondgebirge. Diese Tatsache bewies die Ähnlichkeit zwischen den Himmelskörpern und der Erde und das Fehlen eines wesentlichen Unterschiedes.
Dann entdeckte Galilei, daß Jupiter von vier Satelliten umkreist wird, so wie die Erde vom Mond. Diese Tatsache bewies zur Genüge den Fehler der damaligen Anschauungen, wonach die Erde das Bewegungszentrum aller Himmelskörper sei. Auf diese

Galileo Galilei (1561 bis 1642)

[1] F. Engels, Dialektik der Natur, Dietz Verlag Berlin, 1961, S. 206

Weise wurde leicht verständlich, daß die Planeten sich um die Sonne und nicht um die Erde bewegen.
Später entdeckte Galilei die Phasen der Venus, stellte also fest, daß dieser Planet seine Beleuchtungsverhältnisse ebenso wie der Mond ändert. Dies bewies ferner, daß die Venus Kugelgestalt hat, das Sonnenlicht reflektiert und sich um die Sonne und nicht um die Erde bewegt.
Mit Hilfe seines Fernrohrs entdeckte Galilei dunkle Flecken auf der Sonnenoberfläche. Aus der Tatsache, daß diese Flecken sich auf der Sonnenoberfläche verschieben, schloß er auf eine Drehung der Sonne um ihre Achse. So wurde die Annahme begünstigt, daß auch die Erde eine Drehung um ihre Achse ausführt. Gleichzeitig wurde bewiesen, daß die Behauptung unbegründet ist, wonach die Sonne als Symbol himmlischer Reinheit betrachtet werden muß.
Schließlich entdeckte Galilei, als er mit seinem Fernrohr die Milchstraße betrachtete, daß dieser helle Streifen, der sich über die ganze Himmelskugel hinzieht, aus unzähligen schwachen Sternen besteht. Dies bewies, daß das Weltall viel größer ist, als es sich die Menschen vorstellten, und folglich konnte man nicht annehmen, daß dieses unermeßliche Weltall sich in nur 24 Stunden einmal um die Erde dreht.
Galilei legte die Kopernikanische Theorie weiten Kreisen von Lesern in verständlicher Form dar und verhalf durch seine wissenschaftliche Tätigkeit den Ideen Kopernikus' zu weiter Verbreitung.
Ein anderer begeisterter Anhänger Kopernikus', Zeitgenosse und Landsmann Galileis, der Schriftsteller und Philosoph Giordano Bruno (1548···1600), trug ebenfalls zur Verbreitung der neuen Ideen bei, obwohl sie den kirchlichen Büchern widersprachen, in denen von der ruhenden Erde die Rede war. Bruno ging noch weiter als Kopernikus. Er betrachtete die Sterne als Sonnen, die sehr weit von uns entfernt sind, und nahm an, daß es unendlich viele Sterne und Planeten gäbe; weiter behauptete er, daß auch auf anderen Planeten, in anderen Welten, Leben existiere, ebenso wie auf der Erde, die ja nichts anderes als einer der Planeten ist. Diese Behauptung widersprach ebenfalls den kirchlichen Schriften und untergrub die Autorität der Kirche. Darum haben die Vertreter der Kirche ihn der Inquisition ausgeliefert, einer Institution, die gegen die „Ketzer" kämpfte. Das Tribunal der Inquisition verlangte von Bruno, sich von seinen Überzeugungen loszusagen. Er lehnte dies jedoch ab, wurde daher zum Tode verurteilt und in Rom, im Jahre 1600, bei lebendigem Leibe verbrannt.



Giordano Bruno (1548 bis 1600)

Auch Galilei wurde ein Opfer der kirchlichen Unterdrückung. Im Jahre 1616 wurde er zu einem der Kardinäle des Papstes gerufen; es wurde ihm verboten, die Lehre des Kopernikus zu verteidigen und zu verbreiten. Aber, getreu der wissenschaftlichen Wahrheit, führte Galilei einen männlichen Kampf für die fortschrittliche Lehre. Im Jahre 1633 wurde

Galilei vom Tribunal der Inquisition zu lebenslangem Kerker verurteilt; diese Strafe wurde in Hausarrest umgewandelt, da er krank war und unter Zwang vor aller Welt versprach, sich zu „bekehren".
Die wissenschaftliche Tätigkeit Kopernikus', Brunos und Galileis hat den unwissenschaftlichen Charakter der religiösen Behauptung erwiesen, wonach die Erde und ihre Bewohner eine besondere Stellung im Weltall hätten. Die moderne Wissenschaft hat die Richtigkeit der Anschauungen dieser Gelehrten bestätigt.

2.3. Die wahre Bewegung der Planeten und die Keplerschen Gesetze

Kopernikus hat die scheinbare Bewegung der Planeten in Schleifen und Schlangenlinien durch die Zusammensetzung der Bewegung der Erde mit der Bewegung jedes einzelnen Planeten um die Sonne erklärt. Da die Umlaufszeiten der Planeten – einschließlich der Erde – nicht gleich sind, kann es vorkommen, daß zum Beispiel die Erde in ihrer Bewegung einen Planeten überholt; dann scheint es, als wenn sich dieser Planet zwischen den Sternen nach Westen (rückläufig) bewegen würde; zu anderen Zeiten setzen sich ihre Bewegungen so zusammen, daß es scheint, als wenn sich dieser Planet nach Osten (rechtläufig) bewegen würde (Bild 41).
Kopernikus hat die Umlaufszeiten der Planeten und ihre Entfernungen zur Sonne im Zusammenhang mit der Entfernung Erde–Sonne bestimmt.
Das Schema des Sonnensystems auf Grund gegenwärtiger Angaben ist im Bild 56 dargestellt.
Während der Bewegung der Planeten ändern sich ihre gegenseitigen Stellungen andauernd. Man sagt von einem Planeten, daß er sich in *Konjunktion*[1] mit der Sonne befindet, wenn er von der Erde aus in derselben Richtung wie die Sonne erscheint; befindet er sich zwischen Sonne und Erde, so sprechen wir von einer *unteren Konjunktion*, befindet er sich jenseits der Sonne, haben wir eine *obere Kunjunktion*. Ein Planet, der näher der Sonne ist als die Erde, kann sowohl in unterer als auch in

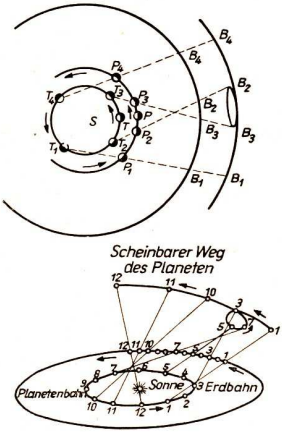


Bild 41. Die Schleifenbildung (Wechsel von Rechtläufigkeit und Rückläufigkeit) in der scheinbaren Bewegung eines Planeten als Folge der Zusammensetzung der Bewegungen der Erde und der Planeten

[1] Im allgemeinen sagen wir, daß zwei Himmelskörper *A* und *B* in Konjunktion sind, wenn sie sich von der Erde aus in derselben Richtung befinden.

oberer Konjunktion stehen. Bei den Planeten, die weiter als die Erde von der Sonne entfernt sind, gibt es nur die obere Konjunktion.
Ist ein Planet von der Erde aus in entgegengesetzter Richtung der Sonne zu sehen, so sagt man, daß er sich in *Opposition* zur Sonne befindet. Nur Planeten, die von der Sonne weiter entfernt sind als die Erde, können in Opposition stehen. In dieser Stellung geht der Planet etwa bei Sonnenuntergang auf, kulminiert um Mitternacht und kann nachts längere Zeit gesehen werden; die günstigste Zeit zur Beobachtung des Planeten ist also die Zeit der Opposition. Die *Elongation*, das heißt der Winkel, der durch die Blickrichtungen von der Erde zum Planeten und zur Sonne gebildet wird, ändert sich ständig bei den Planeten, die näher der Sonne sind als die Erde; die Elongation überschreitet jedoch nicht den Winkel von 29° bei Merkur und 48° bei Venus; hat die Elongation ihren Höchstwert erreicht, kann der Planet unter den günstigsten Bedingungen beobachtet werden. Dann geht er abends spät nach der Sonne unter oder morgens viel früher als die Sonne auf (je nachdem, auf welcher Seite der Sonne er von der Erde aus zu sehen ist). Die Konjunktionen, die Opposition und die maximalen Elongationen sind im Bild 42 gezeigt.

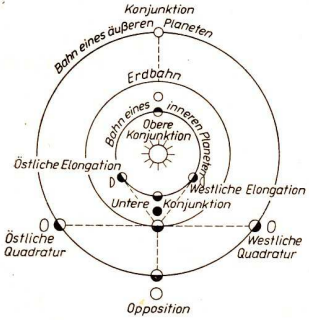
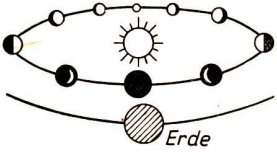


Bild 42. Die Konjunktionen, die Opposition und die maximalen Elongationen der Planeten

Bild 43. Die Phasen und die Veränderung des scheinbaren Durchmessers der Venus



Wie das Bild 43 zeigt, ändert sich der Anblick der Planeten Merkur und Venus; sie zeigen Phasen, ähnlich denen des Mondes, je nach der Stellung des von der Sonne beleuchteten Teils des Planeten in bezug auf die Erde.
Kopernikus stellte fest, daß die Sonne das Bewegungszentrum der Erde und der Planeten ist, er konnte aber die wirkliche Form der Planetenbahnen nicht genau bestimmen; er war, ebenso wie die Gelehrten und Philosophen der Antike, davon überzeugt, daß im Weltall alle Bewegungen gleichförmig und kreisförmig sein müssen. In dieser Hinsicht unterschied sich die Theorie des Kopernikus von der des Ptolemäus nicht; Unstimmigkeiten zwischen Theorie und Beobachtung blieben weiter bestehen. Die Ursachen dieser Unstimmigkeiten wurden im XVII. Jahrhundert von dem deutschen Gelehrten Johannes Kepler (1571···1630) geklärt.

Kepler fand drei Gesetze der Planetenbewegung, welche das Resultat seiner Berechnungen über die Planetenbewegung darstellen.

Johannes Kepler (1751 bis 1630)

Erstes Gesetz:

Jeder Planet beschreibt im rechtläufigen Sinn eine Ellipse, in deren einem Brennpunkt sich die Sonne befindet.

Die Form der Ellipse wird durch ihre *Exzentrizität* gekennzeichnet. Die numerische Exzentrizität ist das Verhältnis zwischen dem Abstand eines ihrer Brennpunkte vom Mittelpunkt und der großen Halbachse. Der Kreis kann als Ellipse mit der Exzentrizität null bezeichnet werden.

Die Ellipsenbahnen der Planeten unterscheiden sich nur wenig von Kreisbahnen: ihre Exzentrizität ist sehr klein. Der zur Sonne nächste Punkt der Bahn heißt *Perihel*, der weiteste *Aphel*. Anfang Januar befindet sich die Erde im Perihel, Anfang Juli im Aphel. Obwohl sich die nördliche Halbkugel der Erde während des Winters in kleinster Entfernung zur Sonne befindet, erhält sie eine geringere Wärmemenge, weil der Neigungswinkel der Sonnenstrahlen und die Dauer der Sonnenbestrahlung tagsüber die Wärmemenge viel stärker beeinflussen als die kleinen Entfernungsänderungen zwischen Sonne und Erde (die Erdbahn unterscheidet sich nur wenig von einem Kreis).

Zweites Gesetz (Flächensatz):

Die Radiusvektoren der Planeten bestreichen in gleichen Zeiten gleiche Flächen.
Unter dem Radiusvektor eines Planeten verstehen wir die Strecke, die den Planeten mit der Sonne verbindet. Während des Umlaufs ändert sich also die Geschwindigkeit des Planeten derart, daß die vom Radiusvektor bestrichene Fläche in gleichen Zeiten gleich ist, unabhängig von dem Punkt der Bahn, in dem sich der Planet befindet. Daher hat die Geschwindigkeit des Planeten im Perihel ihren Höchstwert, im Aphel ihren Mindestwert.

Drittes Gesetz:

Die Quadrate der siderischen Umlaufszeiten der Planeten sind proportional den dritten Potenzen der großen Halbachsen ihrer Bahnen.
Bezeichnen wir die siderische Umlaufszeit eines Planeten mit T_1, die große Halbachse seiner Bahn mit a_1, mit T_2 und a_2 die siderische Umlaufszeit beziehungsweise die große Halbachse eines anderen Planeten, dann kann das dritte Keplersche Gesetz durch folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

Werden nun die siderischen Umlaufszeiten der Planeten durch Beobachtung bestimmt, so können die großen Halbachsen der Planetenbahnen, im Verhältnis zur großen Halbachse der Erdbahn, die als Einheit gilt, bestimmt werden.
Da wir anhand des dritten Keplerschen Gesetzes die Entfernungen aller Planeten von der Sonne mit Hilfe der mittleren Erdentfernung von der Sonne ausdrücken können, *wird die Länge der großen Halbachse der Erdbahn in der Astronomie als „astronomische Einheit" angenommen.* Diese Einheit ist gleich 149 600 000 km.

Übungen

1. Mars ist $1^1/_2$ mal so weit von der Sonne entfernt wie die Erde. Berechnen Sie ein „Marsjahr"!
2. Die Umlaufszeit des Planeten Pluto beträgt 250 Jahre. Berechnen Sie die große Halbachse seiner Bahn!

3. Allgemeine Gravitation und Bewegung des Mondes

3.1. Das Gesetz der allgemeinen Gravitation

3.1.1. Gravitationsgesetz

Die Ursache der Planetenbewegung blieb bis Ende des XVII. Jahrhunderts unbekannt, ehe der englische Gelehrte Isaac Newton (1643···1727) das Gesetz der allgemeinen Gravitation fand. Dieses Gesetz kann folgendermaßen ausgedrückt werden: Zwei Himmelskörper ziehen einander mit einer Kraft an, welche direkt proportional dem Produkt ihrer Massen und umgekehrt proportional dem Quadrat ihrer Entfernung ist.

Isaac Newton (1643 bis 1727)

3.1.2. Mondbewegung und Erdanziehung

Newton hat darauf hingewiesen, daß die Erdanziehung, unter deren Einfluß alle Körper auf die Erde fallen, sich auch in größeren Entfernungen auswirkt und mit dem Quadrate des Abstands vom Erdmittelpunkt abnimmt. Dies bedeutet, daß der Bereich der Erdanziehungskraft bis ins Unendliche reicht. Die Erdanziehungskraft wirkt also auch auf den Mond und hält ihn in seiner Bahn; sonst würde der Mond aus seiner Bahn treten und sich auf einer Tangente an seine Bahn von der Erde fortbewegen.
Die Anziehungskraft, welche die Erde auf den Mond ausübt, ist nämlich die Zentralkraft, die die festgestellte Zentralbeschleunigung der Mondbewegung hervorruft.

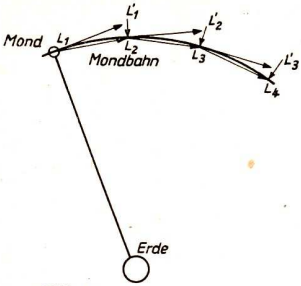


Bild 44.
Bewegung des Mondes um die Erde

Im Bild 44 sieht man, daß der Mond, wenn er sich vom Punkte L_1 ausgehend in der Richtung der Tangente an die Bahn bewegen würde, nach einer gewissen Zeit in den Punkt L'_1 gelangen würde; in dieser Zeit fällt er aber gleichzeitig auf Grund der Anziehung zur Erde hin und nähert sich ihr um $L'_1 L_2$; mithin gelangt er in den Punkt L_2 und so fort. Auf diese Weise bewegt er sich dauernd um die Erde.
Newton kommt das besondere Verdienst zu, die Gleichheit der Anziehungskraft zwischen den Himmelskörpern und der schon seit langem bekannten Anziehungskraft auf der Erde bewiesen zu haben.

3.1.3. Bewegung der Himmelskörper; Bestimmung ihrer Massen

Unter der Einwirkung der Sonnenanziehung beschreiben die Erde und die Planeten gekrümmte Bahnen, oder genauer gesagt: Alle Planeten und die Sonne bewegen sich um ihren gemeinsamen Massenmittelpunkt.
Unter der Einwirkung der Gravitation bewegen sich die Satelliten um ihre Planeten, ebenso wie sich der Mond um die Erde bewegt.
Man konnte jenseits der Grenzen unseres Sonnensystems Doppelsterne beobachten, die sich auf Grund des Newtonschen Gravitationsgesetzes um ihren gemeinsamen Massenmittelpunkt bewegen. Dies ist also ein allgemeines Bewegungsgesetz im Weltall und wurde daher *Gesetz der allgemeinen Gravitation* genannt.
Newton hat bewiesen, daß alle Planeten sich unter der Wirkung der allgemeinen Gravitation nach den Keplerschen Gesetzen bewegen, und hat diese Gesetze mathematisch unterbaut.

Bild 45. Bahnformen bei Einwirkung der Anziehungskraft eines Körpers

Er hat nachgewiesen, daß ein Körper durch die Einwirkung der Anziehungskraft eines anderen Körpers sich nicht nur auf einer Ellipse, sondern auch auf einem Kreis, auf einer Parabel oder einer Hyperbel bewegen kann (Bild 45).
Weiter hat Newton bewiesen, daß das dritte Keplersche Gesetz nicht genügend genau ist und die Umlaufszeit zweier in einer bestimmten Entfernung voneinander befindlicher Körper auch von deren Massen abhängig ist. Damit aber sind wir in der Lage, das Verhältnis der Massen von Himmelskörpern zu bestimmen, wenn sie sich um den gemeinsamen Massenmittelpunkt bewegen und ihr gegenseitiger Abstand bekannt ist.
Die Masse der Sonne ist nicht nur im Vergleich

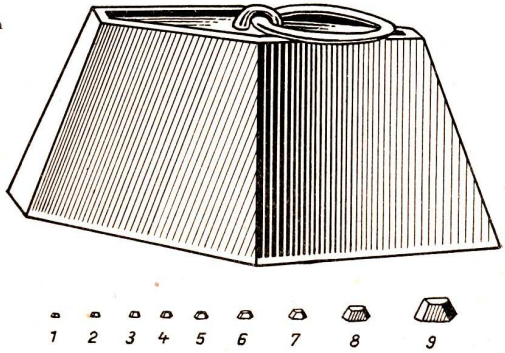


Bild 46. Massenvergleich der Sonne mit den Planeten
1 Merkur;
2 Mars;
3 Venus;
4 Pluto;
5 Erde;
6 Uranus;
7 Neptun;
8 Saturn;
9 Jupiter

zur Masse jedes einzelnen Planeten riesig groß, sondern sie ist 750mal so groß wie die Masse aller Planeten zusammengenommen (Bild 46).

Die Masse der Erde kann angenähert bestimmt werden, wenn die Ablenkung eines Senkbleis von der Lotrechten in der Nähe eines Berges, der das Senkblei anzieht, gemessen wird, wenn man die Höhe und die Masse des Berges kennt. Der Ablenkungswinkel des Senkbleis von der Lotrechten hängt sowohl von dem Verhältnis der Massen der Erde und des Berges als auch vom Verhältnis der Entfernungen des Senkbleis zum Erdmittelpunkt und zum Massenzentrum des Berges ab. Mit Hilfe anderer Verfahren kann die Masse der Erde genauer bestimmt werden. Es wurde berechnet, daß sie $6 \cdot 10^{27}$ g beträgt und die mittlere Dichte der Erde $5{,}5\ \mathrm{g \cdot cm^{-3}}$ ist.

3.1.4. Störungen der Planetenbewegung; Entdeckung des Planeten Neptun

Würde das Sonnensystem nur aus der Sonne und einem einzigen Planeten bestehen, dann würde sich dieser Planet genau gemäß den Keplerschen Gesetzen um die Sonne bewegen; das Sonnensystem besteht aber aus mehreren Planeten, die sich gegenseitig anziehen. Aus diesem Grunde bewegen sie sich auch nicht ganz genau gemäß den Keplerschen Gesetzen. Die Abweichungen der wirklichen Planetenbewegungen von der Keplerschen Bewegung sind sehr klein; sie heißen *Störungen.*
Wegen der Störungen bewegen sich die Planeten unregelmäßig, einmal rascher, einmal langsamer als es das zweite Keplersche Gesetz angibt. Außerdem ändern sich ihre Bahnen allmählich. In der Wissenschaft können die Störungen auf Grund des Gravitationsgesetzes mit großer Genauigkeit berechnet werden, da die Masse der Sonne und der Planeten sowie ihre gegenseitigen Entfernungen bekannt sind.
Gegen Ende des XVIII. Jahrhunderts (im Jahre 1781) entdeckte der in Hannover gebürtige Astronom W. Herschel (1738 ··· 1822), der, nach England ausgewandert, damals noch Liebhaberastronom war, mit seinem selbst konstruierten Fernrohr einen

neuen Planeten; dieser Planet ist der siebente in der Reihenfolge der Entfernungen von der Sonne und wurde Uranus genannt.
Zu Beginn des XIX. Jahrhunderts wurde beobachtet, daß die Örter des Uranus während seiner Bewegung mit den vorausberechneten Daten nicht übereinstimmten. Die Astronomen suchten nach einer Erklärung dieser Unstimmigkeiten zwischen Beobachtung und Theorie, so unbedeutend diese auch waren. Man hat angenommen, daß diese Bewegungsdifferenzen in der Einwirkung eines noch unbekannten Planeten ihre Ursache haben, der weiter von der Sonne entfernt ist als Uranus. Die Astronomen Leverrier und Adams haben den Ort dieses Planeten am Himmel berechnet, und nach den Angaben von Leverrier konnte dieser unbekannte Planet tatsächlich auch vom Berliner Astronomen J. Galle mit Hilfe eines Fernrohrs gefunden werden (1846). Er wurde Neptun genannt.
Die Entdeckung dieses Planeten, die gewissermaßen „von der Bleistiftspitze aus" gemacht wurde, stellt eine der großartigsten Leistungen menschlichen Denkens dar. Sie beweist die Kraft der wissenschaftlichen Voraussagen und zeigt in glänzender Weise die Erkennbarkeit der Natur durch wissenschaftliche Methoden und die Unhaltbarkeit aller Ansichten, nach denen die Möglichkeiten der Erkenntnis der Natur prinzipiell begrenzt seien.

Übung

Berechnen Sie, in welcher Entfernung von der Erde sich der Punkt befindet, in dem die Anziehungskraft der Erde und des Mondes gleich sind, wenn bekannt ist, daß die Entfernung des Mondes von der Erde 60 Erdradien beträgt und das Verhältnis der Erdmasse zur Mondmasse 81 : 1 ist!

3.2. Mondbewegung und Mondphasen

Der Mond ist der einzige natürliche Himmelskörper, der sich um die Erde bewegt. In letzter Zeit wurden mehrere künstliche Satelliten der Erde gestartet, deren „Lebensdauer" aber begrenzt ist (siehe Abschnitt 5.).
Am Sternhimmel bewegt sich der Mond dauernd in bezug auf die Fixsterne, und nach einem Tag beobachten wir, daß er sich um etwa 13° nach links (nach Osten) bewegt hat. Nach $27^1/_3$ Tagen hat er am Himmel einen vollständigen Kreis beschrieben. *Die Zeitspanne, in der der Mond sich in bezug auf die Sterne einmal vollständig um die Erde bewegt, heißt siderischer Monat; seine Dauer beträgt 27 d 7 h 43 min 11,5 s.*[1]
In seiner Bewegung an der Himmelskugel verdeckt der Mond die Sterne und Planeten, die sich auf seinem Weg befinden. Dies beweist, daß der Mond uns näher ist als die Sterne und Planeten.
Der Mond führt seine scheinbare Bewegung an der Himmelskugel in der Nähe der

[1] Demnach ist der siderische Monat die Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden Konjunktionen des Mondes mit demselben Stern.

Ekliptik aus. Seine Bahnebene ist zur Ebene der Ekliptik um etwa 5° geneigt. Die Schnittpunkte der Mondbahn mit der Ekliptikebene heißen *Knoten der Mondbahn.*
Die mittlere Entfernung zwischen Mond und Erde beträgt 384400 km oder annähernd 30 Erddurchmesser.
Der Mond ändert sein Aussehen (zeigt Phasen), da er verschiedene Stellungen zu Erde und Sonne einnimmt.
Der Mond ist ein lichtundurchlässiger kugelförmiger Körper. Befindet er sich in Konjunktion zur Sonne, dann ist er unsichtbar; diese Mondphase heißt *Neumond.* Befindet sich der Mond in Opposition zur Sonne (d. h. die Erde befindet sich zwischen Sonne und Mond), dann ist die ganze uns zugekehrte Mondhalbkugel von der Sonne beleuchtet; diese Phase heißt *Vollmond.* In den dazwischenliegenden Stellungen können wir nur einen Teil der von der Sonne beleuchteten Mondhalbkugel sehen, und der Mond erscheint uns entweder als Halbkreisscheibe (*erstes* und *letztes Viertel*), oder als mehr oder weniger schmale Sichel. Das Bild 47 erklärt den Zusammenhang zwischen den Mondphasen und den Stellungen des Mondes in seiner Bahn (die Sonnenstrahlen kommen in der Bildebene von oben).

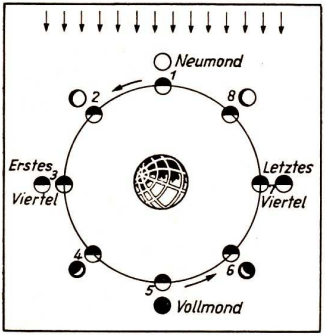
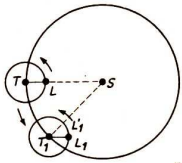


Bild 47. Zur Erklärung der Mondphasen

Bild 48. Synodischer und siderischer Monat



Bei Vollmond findet die obere Kulmination etwa um Mitternacht statt, im ersten Viertel gegen 18 Uhr, im letzten Viertel etwa um 6 Uhr (Ortszeit). Diese Angaben können zur Orientierung und zur angenäherten Bestimmung der Zeit in der Nacht dienen.
Die Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden Konjunktionen des Mondes mit der Sonne oder zwischen zwei aufeinanderfolgenden gleichen Phasen heißt synodischer Monat; seine Dauer beträgt 29 d 12 h 44 min 2,8 s.
Der synodische Monat dauert länger als der siderische Monat. Dies wird durch die Tatsache erklärt, daß der Mond dann die gleichen Phasen zeigt, wenn er die gleichen Stellungen zu Erde und Sonne einnimmt. Im Punkte L (Bild 48) ist der Mond in

der Phase des Neumonds, also in Konjunktion zur Sonne; er befindet sich zwischen der Erde T und der Sonne S. In der Zeit eines vollständigen Umlaufs um die Erde legt diese etwa $^1/_{13}$ ihres Weges um die Sonne zurück und erreicht den Punkt T_1. Der Mond bewegt sich so, wie es der Pfeil anzeigt, und erreicht L_1, aber nicht zum Zeitpunkt des Neumonds. Um in die Stellung des Neumonds L_1' zu gelangen, muß sich der Mond noch um den Winkel ST_1L_1, also um etwa zwei Tage weiterbewegen. Für einen Beobachter auf dem Mond zeigt die von der Sonne beleuchtete Erde ähnliche Phasen, die sich mit derselben Periode ändern.
Die Oberfläche der Erde ist 14mal so groß wie die des Mondes. Außerdem reflektiert die Erde die Sonnenstrahlen 7mal so stark wie der Mond. Deshalb wird der Mond bei Neumond von der Erde viel stärker beleuchtet als die Erde vom Mond bei Vollmond. Dies erklärt die Erscheinung des „aschgrauen Lichts" (Erdlicht): einige Tage vor und nach Neumond sieht man außer der schmalen leuchtenden Sichel auch den Rest der Mondscheibe schwach beleuchtet. Sie zeigt eine fahle aschgraue Farbe.

3.3. Sonnen- und Mondfinsternisse

3.3.1. Ursachen der Finsternisse

Wenn die Ebene der Mondbahn mit der Ekliptik zusammenfallen würde, dann hätten wir in jedem Monat eine Sonnen- und eine Mondfinsternis. Zum Zeitpunkt des Neumonds würde sich der Mond genau auf der Geraden Erde – Sonne befinden, dabei die Sonne verdecken und jene Erscheinung verursachen, die man Sonnenfinsternis nennt. In ähnlicher Weise würde der Mond bei jedem Vollmond in den Schattenkegel der Erde eintreten, und es fände eine Mondfinsternis statt (Bild 49). Da aber die Mondbahnebene zur Ekliptikebene geneigt ist, befindet sich der Mond, sowohl bei Neumond als auch bei Vollmond, nicht immer in der Ekliptikebene, und deshalb finden Finsternisse seltener statt (Bild 50).

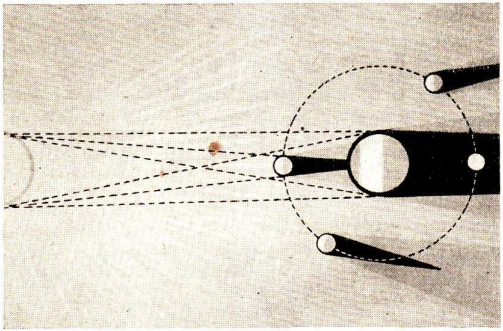
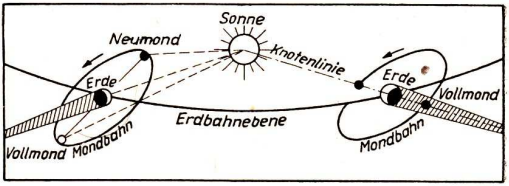


Bild 49. Entstehung der Mond- und Sonnenfinsternisse

Bild 50. Die Mondbahn und ihre Knoten



Finsternisse können nur dann eintreten, wenn sich der Mond bei Neumond oder Vollmond in der Nähe eines der Mondbahnknoten, also in der Nähe der Schnittpunkte der Mondbahn mit der Ekliptikebene befindet (Bild 50). Mit anderen Worten: *Sonne und Mond müssen sich gleichzeitig in der Nähe der Mondbahnknoten befinden.* Da es zwei Knoten gibt, die Sonne aber einen vollständigen Kreis auf der Ekliptik in einem Jahr beschreibt, folgt daraus, daß es im Jahr zwei (voneinander durch eine Zeitspanne von je einem halben Jahr getrennte) Perioden gibt, in denen Finsternisse stattfinden können. Da die Mondbahnknoten ihre Stellung dauernd ändern, ändern sich auch die Zeitpunkte der Finsternisse in jedem Jahr.

Genaue Berechnungen haben ergeben, daß in einem Jahr wenigstens zwei und höchstens fünf Sonnenfinsternisse stattfinden können. Ebenso hat sich ergeben, daß in einem Jahr höchstens drei Mondfinsternisse eintreten können; es kann aber auch sein, daß keine einzige entsteht. Am häufigsten finden in einem Jahr zwei Sonnen- und zwei Mondfinsternisse statt.

3.3.2. Mondfinsternisse

Die Erde wirft auf der der Sonne entgegengesetzten Seite einen kegelförmigen Schatten. Findet die Phase des Vollmonds genügend nahe bei den Mondbahnknoten statt, so dringt der Mond in dieser Phase teilweise oder ganz in den Schattenkegel der Erde ein und es entsteht eine teilweise oder eine totale Mondfinsternis.
Eine Mondfinsternis kann von allen zu diesem Zeitpunkt dem Mond zugekehrten Punkten der Erdoberfläche beobachtet werden.
Da der Durchmesser des Schattenkegels der Erde in der mittleren Mondentfernung 2,5mal so groß ist wie der Durchmesser des Mondes, kann eine totale Mondfinsternis 1 Stunde 40 Minuten dauern, die ganze Finsternis (beginnend vom Eintritt des Mondes in den Halbschattenkegel bis zu seinem Austritt) aber länger als 3 Stunden.

Während einer Finsternis wird der Mond aber nicht ganz verdunkelt, sondern bleibt schwach mit rötlicher Farbe sichtbar. Die rote Farbe des Mondes während der Finsternis wird häufig von abergläubischen Menschen als Voraussage von Krieg oder anderem Unglück angesehen. In Wirklichkeit kommt die Erscheinung wie folgt zustande: Die von der Erdatmosphäre abgelenkten Sonnenstrahlen dringen in den Schattenkegel der Erde ein. Von allen Komponenten des weißen Sonnenlichts streut die Atmosphäre die blaue und die ihr benachbarten am meisten. Die weniger stark gestreuten roten Strahlen setzen sich im Innern des Schattenkegels fort und verleihen dem Mond während der Finsternis eine rötliche Farbe.

3.3.3. Sonnenfinsternisse

Da der Mond kleiner ist als die Erde, ist auch der Durchmesser seines Schattenkegels im Querschnitt kleiner als der Erddurchmesser. Der Mondschatten kann demnach nicht die ganze Erdoberfläche bedecken. Eine *totale Sonnenfinsternis* kann nur innerhalb des ziemlich kleinen, im Mondschatten liegenden Bereichs der Erdoberfläche gesehen werden; dieser Bereich hat einen Durchmesser von höchstens 300 km (gewöhnlich aber viel weniger). Außerdem gibt es noch den Bereich des Halbschattens des Mondes mit einem Radius bis zu 4000 km, in dem man eine *partielle Sonnenfinsternis* wahrnehmen kann. In diesem Falle bedeckt der Mond nur einen Teil der Sonnenscheibe (Bild 51). An den anderen Orten der Erde, die außerhalb des Bereichs des Schattens und des Halbschattens liegen, ist überhaupt keine Sonnenfinsternis wahrzunehmen.

Da sich die Erde um ihre Achse dreht und der Mond um die Erde läuft, bewegt sich der Mondschatten über die Erdoberfläche, und die Sonnenfinsternis kann zu verschiedenen Zeiten und nach und nach an verschiedenen Orten der Erdoberfläche beobachtet werden.

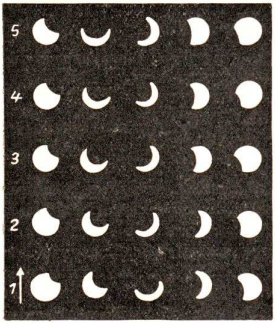
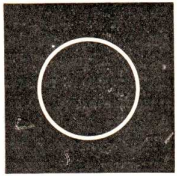


Bild 51. Verschiedene Phasen einer partiellen Sonnenfinsternis

Bild 52. Ringförmige Sonnenfinsternis



Die Entfernungen zwischen Erde und Sonne und Erde und Mond verändern sich, da die Erd- und die Mondbahn Ellipsen sind. Darum ist auch der scheinbare Durchmesser des Mondes entweder größer oder gleich oder kleiner als der scheinbare Durchmesser der Sonne; im ersten Fall dauert die totale Sonnenfinsternis höchstens 7 Minuten 40 Sekunden, im zweiten Fall nur einen Augenblick, und im dritten Fall kann die Mondscheibe die Sonne nicht ganz verdecken, wir sprechen dann von einer *ringförmigen Sonnenfinsternis*. Während einer ringförmigen Sonnenfinsternis bleibt der Rand der Sonnenscheibe rings um die dunkle Mondscheibe sichtbar (Bild 52).

Eine totale Sonnenfinsternis geht folgendermaßen vor sich: Zuerst erscheint am Westrand der Sonne (von uns aus gesehen rechts) ein schwarzer Abschnitt, der allmählich größer wird und die Sonne immer mehr verdeckt; diese allmähliche Abdeckung dauert etwa eine Stunde.
Bis zu Beginn der totalen Verfinsterung schwächt sich das Sonnenlicht so langsam ab, daß die Erscheinung fast nicht wahrgenommen werden kann; bei Beginn der totalen Verfinsterung ändert sich alles schlagartig; es wird dunkel und am Himmel sind die hellsten Sterne und die Planeten zu sehen. Rings um die Sonnenscheibe werden im Fernrohr Feuergarben und rosa Flammenzungen (Protuberanzen) sichtbar. Weiter kann man einen hellen Schein, die Sonnenkorona, wahrnehmen, die den äußeren Bereich der Sonnenatmosphäre darstellt. Nach der totalen Verfinsterung erscheint am rechten Rand der Mondscheibe eine schmale, hell leuchtende Sonnensichel, und Korona, Protuberanzen und Sterne verschwinden plötzlich. Die Sichel wird allmählich breiter; die Mondscheibe gleitet etwa eine Stunde über die Sonnenscheibe.

An einem beliebigen Punkt der Erde wird im Durchschnitt alle 300 Jahre eine totale Sonnenfinsternis beobachtet.
Gewisse Erscheinungen können nur während einer totalen Sonnenfinsternis beobachtet werden, deshalb werden Sonderexpeditionen in jene Gebiete unternommen, in denen die totale Sonnenfinsternis eintritt.

Früher fürchteten sich die Menschen sehr vor Finsternissen. Sie betrachteten diese als Vorboten nahenden Unheils oder als Ausdruck göttlichen Zornes. Diese Vorurteile wurden von den Priestern verschiedener Religionen unterstützt. Jetzt berechnen die Astronomen lange vorher (mit einer Genauigkeit von einer Zehntelsekunde) den Zeitpunkt jeder Finsternis anhand der Kenntnisse über die Theorie der Mondbewegung. Die geringsten Unstimmigkeiten zwischen den Berechnungen und den Beobachtungen dienen zur genaueren Formulierung der Theorie der Mondbewegung.

Übungen

1. Der Mond ist im ersten Viertel und wird abends am Horizont gesehen. Wieviel Uhr ist es (ungefähr)? In welchem Abschnitt des Horizonts befindet sich der Mond?
2. Der Mond ist heute um Mitternacht aufgegangen. Ungefähr zu welcher Stunde wird er morgen aufgehen?
3. Es ist fast Vollmond. Wie würde die Erde in diesem Augenblick einem Beobachter auf dem Mond erscheinen?
4. Gestern war Vollmond. Kann in einer Woche eine totale Sonnenfinsternis stattfinden?
5. Übermorgen findet eine Sonnenfinsternis statt. Wird die heutige Nacht mondhell sein?
6. Warum kann manchmal eine Mondfinsternis von einem bestimmten Ort der Erde nicht beobachtet werden?
7. Kann am 15. November am Nordpol der Erde eine Sonnenfinsternis beobachtet werden?
8. Können im Juni und im November am Nordpol der Erde Mondfinsternisse beobachtet werden?

4. Der physische Aufbau der Planeten und ihrer Satelliten

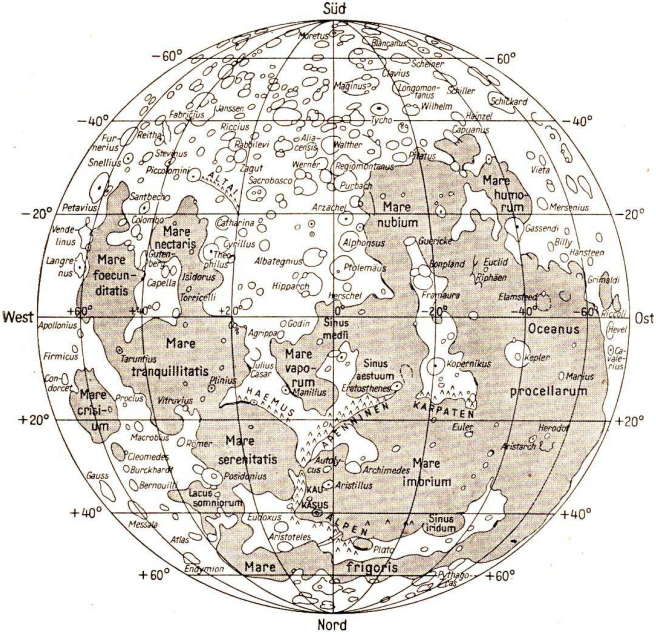
4.1. Der physische Aufbau des Mondes

4.1.1. Rotation des Mondes um seine Achse

Der Mond hat der Erde immer dieselbe Seite zugekehrt; deshalb könnte man glauben, daß er sich nicht um seine Achse dreht.

Es ist leicht zu verstehen, daß eine solche Überlegung falsch ist: wenn wir einen Gegenstand (z. B. einen Stuhl) umkreisen, ohne uns zu drehen, wenn wir also ständig einen anderen Gegenstand (z. B. die Tafel) im Auge behalten, dann wird der auf dem Stuhl sitzende Beobachter nach und nach verschiedene Seiten unseres Körpers sehen. Wenn wir dagegen ständig das Gesicht dem Beobachter zuwenden, dann müssen wir während des Umkreisens unsere Stellung zur Umgebung ändern, das heißt, wir müssen uns um eine Achse drehen.

Bild 53. Mondkarte (von der Erde aus sichtbare Seite)



Die Dauer der Rotation des Mondes um seine Achse ist gleich seiner Umlaufszeit um die Erde. Während der Drehung um seine Achse zeigt der Mond nach und nach der Sonne verschiedene Seiten, also wechseln einander auf dem Mond auch Tag und Nacht ab, genau wie auf der Erde. Die Dauer eines Mondtages ist aber gleich einem synodischen Erdmonat (der Dauer einer Rotation in bezug auf die Sonne). Auf dem Mond dauern demnach Tag und Nacht etwa je 15 Erdtage.

4.1.2. Mondoberfläche

Selbst mit freiem Auge können wir auf der Mondoberfläche große dunkle Flecken wahrnehmen, die im XVII. Jahrhundert *Meere* (mare) genannt wurden (Bild 53). Diese Bezeichnung hat sich bis zum heutigen Tage erhalten, obwohl man schon längst weiß, daß es auf dem Mond Wasser weder im flüssigen noch im festen Zustand (Eis) gibt. Die „Mondmeere" sind riesige Senken, die im Vergleich zu den unebenen Gebieten das Licht weniger gut reflektieren und daher dunkler erscheinen (Bild 54).

Durch das Fernrohr sehen wir, daß die Bodengestalt des Mondes recht mannigfaltig ist. Auf seiner Oberfläche können wir hohe Kettengebirge und zahlreiche ringförmige Vertiefungen verschiedener Durchmesser wahrnehmen. Am Rande der Mondscheibe scheinen diese Vertiefungen etwas länglich, da sie in der Perspektive gesehen werden. Die Ähnlichkeit dieser Vertiefungen mit den Vulkankratern der Erde hat ihnen die Benennung *Krater* eingebracht. Wegen ihrer Kreisform werden die großen auch *Ringgebirge* genannt. Der Durchmesser einiger Ringgebirge beträgt über 200 km. Im Inneren sind sie verhältnismäßig eben, doch die ringförmigen Gebirgsketten, welche diese Vertiefungen einschließen, haben einen sehr komplizierten Aufbau. Die Höhe dieser Gebirgsketten erreicht einige Kilometer.

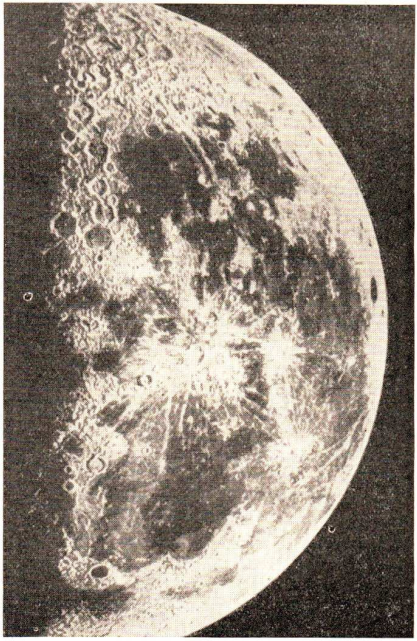


Bild 54. Photographische Aufnahme eines Teils der Mondoberfläche

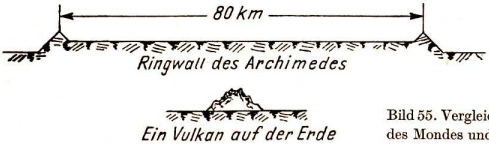


Bild 55. Vergleich von Oberflächenformen des Mondes und der Erde (schematisch)

Die Ringgebirge und Krater auf dem Mond haben wenig mit den Vulkankratern auf der Erde gemeinsam. Das Verhältnis zwischen der Höhe der Gebirge und der Tiefe der Krater auf dem Mond ist von jenem auf der Erde verschieden (Bild 55). Zum Unterschied von den Vulkankratern auf der Erde, die trichterförmige Vertiefungen mit geringem Durchmesser haben, weisen die Ringgebirge des Mondes im Vergleich zu ihrem Durchmesser eine sehr geringe Tiefe auf. Ihre Form erinnert eher an einen flachen Teller.

Die von der Sonne beleuchteten Gebirge – hauptsächlich in der Nähe der Grenze zwischen dem beleuchteten und dem unbeleuchteten Teil auf der Mondoberfläche – werfen Schatten, nach deren Länge man ihre Höhe bestimmen kann.

An einigen Stellen der Mondoberfläche sieht man riesige *Gebirgsketten*. Sie sind jenen auf der Erde ähnlich und von großen Abgründen unterbrochen.

Wenn wir abends den Vollmond betrachten, so erkennen wir leicht *helle Streifen*, die von einigen Ringgebirgen des Mondes strahlenförmig ausgehen; die längsten Strahlen gehen vom Ringgebirge Tycho (auf der südlichen Mondhalbkugel) aus. Die Natur dieser Streifen ist noch ungeklärt.

4.1.3. Die physischen Bedingungen auf dem Mond

sind von jenen auf der Erde sehr verschieden. *Die Gravitationsbeschleunigung beträgt auf der Mondoberfläche* $^1/_6$ *des Wertes der Beschleunigung auf der Erdoberfläche.* Deshalb konnte der Mond weder Luft noch Wasserdämpfe, die früher seine Atmosphäre bildeten, festhalten; auf dem Mond gibt es deshalb keine Atmosphäre und in den „Meeren" keinen Tropfen Wasser.

Einige Erscheinungen beweisen das Fehlen einer Atmosphäre auf dem Mond. Eine dieser Erscheinungen ist die Tatsache, daß während der Bedeckung der Sterne durch den Mond die Sterne ganz plötzlich hinter dem Mond verschwinden. Wäre eine Atmosphäre vorhanden, so würde die Helligkeit der Sterne wegen der Lichtabsorption in der Nähe des Mondrandes allmählich abnehmen.

Das Fehlen einer Atmosphäre auf dem Mond hat verschiedene Erscheinungen zur Folge: der Schatten der Mondgebirge ist schwarz und scharf begrenzt; auf dem Mond gibt es keine Dämmerung und auch sonst keine für eine Atmosphäre charakteristischen Anzeichen; der Himmel erscheint immer schwarz, und an ihm können Sonne, Erde und Sterne gleichzeitig wahrgenommen werden. Auf dem Mond regnet es nie, auf seiner Oberfläche gibt es niemals Wolken oder Nebel.

Das Fehlen der Atmosphäre (die sonst die Temperaturschwankungen ausgleicht) sowie die Tatsache, daß Mondtag und Mondnacht je zwei Wochen dauern, führt

zu großen Temperaturschwankungen. Während der 354 Stunden eines Mondtages erwärmt sich die Oberfläche des Mondes bis zu + 120 °C, um sich dann in der Mondnacht auf – 160 °C abzukühlen. Demnach ist unter den gegebenen Bedingungen auf dem Mond kein Leben möglich.

4.2. Allgemeines über das Sonnensystem

Zu unserem Sonnensystem gehören außer der Sonne die sich um die Sonne bewegenden Planeten, ihre Satelliten, die Kometen, eine große Anzahl von Meteoriten.

Die Reihenfolge der Planeten in bezug auf ihre Entfernung von der Sonne ist: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, Pluto. Die Entfernung des Merkur von der Sonne beträgt etwa den dritten Teil, die Entfernung des Pluto etwa das 40fache der Entfernung Sonne–Erde, das heißt der astronomischen Einheit (Bild 56). Der kleinste Planet ist Merkur, der größte Jupiter. Einen Vergleich der Ausmaße der Sonne und der Planeten zeigt das Bild 57.

Zwischen der Marsbahn und der Jupiterbahn befinden sich die Bahnen einer großen

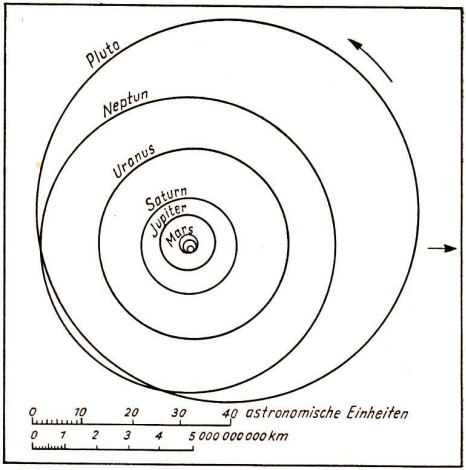
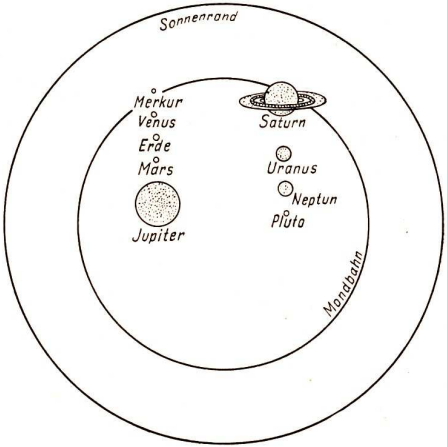


Bild 56. Schema des Sonnensystems (der Pfeil weist zum Frühlingspunkt)

Bild 57. Vergleich der Ausmaße der Sonne und der Planeten



Zahl von kleineren Himmelskörpern, Planetoiden genannt. Alljährlich entdecken die Astronomen neue Planetoiden; die Anzahl der bis jetzt entdeckten geht in die Tausende; vermutet wird eine Anzahl von etwa 40000. Von über 1600 Planetoiden sind heute die genauen Bahndaten bekannt.
Alle großen Planeten und viele Planetoiden bewegen sich um die Sonne auf Bahnen, welche sich nur wenig von Kreisen unterscheiden. Die Mehrzahl der Kometen und Meteoriten beschreiben langgezogene Ellipsen um die Sonne. Das Aphel vieler dieser Bahnen befindet sich von der Sonne viel weiter entfernt als die Bahn des Pluto.
Die großen Planeten teilt man in zwei Gruppen: *erdähnliche Planeten* und *Riesenplaneten*. Die erdähnlichen Planeten sind: Merkur, Venus, Erde und Mars. Sie sind verhältnismäßig klein, ihre mittlere Dichte ist bedeutend größer als jene des Wassers, sie besitzen eine ziemlich dünne Atmosphäre und befinden sich nahe der Sonne. Sie haben wenige Satelliten (Monde) oder gar keine. Es könnte sein, daß der Planet Pluto, der sehr weit von der Sonne entfernt ist und von dem wir sehr wenig wissen, auch zu dieser Gruppe von Planeten gehört. Die Riesenplaneten sind Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Sie sind weit von der Sonne entfernt. Ihre mittlere Dichte ist etwa gleich der Dichte des Wassers; sie besitzen eine dichte Atmosphäre mit Wolken, die das Beobachten ihrer Oberfläche verhindert. Diese Planeten drehen sich rasch um ihre Achse und haben viele Satelliten. Ihre Atmosphäre ist um so dichter, je größer die Anziehungskraft auf ihrer Oberfläche ist; diese Kraft verhindert auch das Verflüchtigen der Gase in den interplanetaren Raum. (Siehe Anhang, Tabelle 3.)

4.3. Merkur und Venus

Die Bahnen der Planeten Merkur und Venus befinden sich innerhalb der Erdbahn, und deshalb können diese Planeten, besonders Merkur, nur in geringem Winkelabstand von der Sonne gesehen werden. Aus demselben Grunde ändern sie ihr Aussehen (bilden Phasen) ähnlich dem Mond. Alle diese Bedingungen erschweren ihre Erforschung; deshalb wissen wir sehr wenig von ihnen.
Eine Halbkugel Merkurs ist ständig der Sonne zugekehrt. Aus diesem Grunde und wegen der geringen Entfernung zur Sonne ist die Temperatur auf dieser Seite höher als die Schmelztemperatur des Bleis. Hier ist ewiger Tag. Auf der entgegengesetzten Seite ist ewige Nacht und strengster Frost. Merkur besitzt keine oder höchstens eine sehr dünne Atmosphäre.
Die Venus ist fast so groß wie unsere Erde. Im Jahre 1761 entdeckte M. W. Lomonossow, daß die Venus eine dichte Atmosphäre hat. Diese Entdeckung einer Atmosphäre bei einem Planeten war eine wichtige Bestätigung für die Ähnlichkeit der Erde und der Planeten und eine wissenschaftliche Begründung des Gedankens, daß auch auf anderen Planeten unter Umständen Leben möglich wäre.
In der Atmosphäre der Venus befinden sich viele weiße dichte Wolken, welche die Oberfläche des Planeten verdecken. Darum kennen wir ihre Oberfläche nicht, und

die Umdrehungszeit um ihre Achse konnte noch nicht genau bestimmt werden. Die Venusatmosphäre enthält viel Kohlendioxyd und Stickstoff, auch Wasserdampf; Sauerstoff konnte bisher nicht exakt nachgewiesen werden. Wahrscheinlich sind auch die Wolken der Venusatmosphäre nicht aus Wasserdampf oder Eiskristallen gebildet; wir kennen ihre Zusammensetzung noch nicht. Auf der Venus, deren mittlere Temperatur bedeutend höher ist als jene der Erde, dürfte zur Zeit kaum Leben existieren.
Satelliten der Planeten Merkur und Venus sind nicht entdeckt worden.

4.4. Mars; Lebensmöglichkeiten auf anderen Planeten

Von den großen Planeten kann sich Mars am meisten der Erde nähern. Dies findet statt, wenn Mars sich in Opposition befindet, was sich nach je 780 Tagen wiederholt. Da sich die Entfernungen Erde – Sonne und Mars – Sonne wegen der Bewegung der Planeten auf ihren elliptischen Bahnen ständig ändern, wiederholt sich alle 15 bis 17 Jahre die sogenannte große Opposition (zum Beispiel 1956, 1971). Dann nähert sich Mars der Erde auf die geringste Entfernung (56 Millionen Kilometer). Diese Entfernung beträgt nur etwa den dritten Teil der Entfernung der Erde zur Sonne. Während der Opposition und hauptsächlich während der großen Opposition kann Mars unter günstigen Bedingungen beobachtet werden.
Mars ist größer als Merkur, sein Durchmesser beträgt aber nur etwa die Hälfte des Erddurchmessers. Er wird von zwei kleinen Satelliten umkreist, von denen der größere einen Durchmesser von etwa 15 km besitzt.
Mit Hilfe der dunklen Flecke auf der Marsoberfläche konnte die Rotationsdauer zu 24 h 37 min bestimmt werden; folglich ist der Wechsel von Tag und Nacht ähnlich wie auf der Erde. Die Neigung seiner Rotationsachse zur Bahnebene ist etwa gleich der Neigung der Erdachse zur Erdbahnebene. Mars hat also auch einen regelmäßigen Wechsel der Jahreszeiten wie die Erde; die Jahreszeiten auf dem Mars sind aber etwa doppelt so lang wie auf der Erde, weil ein Marsjahr (Umlaufszeit um die Sonne) etwa zwei Erdjahre ausmacht. Mars ist so wie die Erde von einer Atmosphäre eingehüllt. Da er von der Sonne $1^1/_2$mal so weit entfernt ist wie die Erde, beträgt die Intensität der Sonnenstrahlung auf der Marsoberfläche nur $^4/_9$ des Wertes für einen entsprechenden Punkt der Erdoberfläche. Aus diesem Grunde ist das Klima auf dem Mars viel rauher als auf der Erde. An den wärmsten Stellen der Marsoberfläche steigt die Temperatur wahrscheinlich nicht über +25 °C, sinkt aber nach Sonnenuntergang weit unter 0 °C und erreicht gegen Morgen —40 °C. Die Marsatmosphäre ist viel dünner als jene auf den höchsten Bergspitzen der Erde. Obwohl man in der Atmosphäre des Mars öfters Wolken und Nebel beobachten kann, ist ihr Gehalt an Wasser, Wasserdampf und insbesondere an Sauerstoff (der zum Atmen der Lebewesen der Erde nötig ist) sehr gering, geringer als 1 % von dem der Erdatmosphäre.
Im Fernrohr erkennt man an den Polen der Marsoberfläche sehr gut weiße Flecken. Die Ausdehnung dieser „Polkappen" ändert sich deutlich mit den Jahreszeiten: im Sommer werden sie kleiner, im Winter größer (Bild 58). Daraus schließt man,

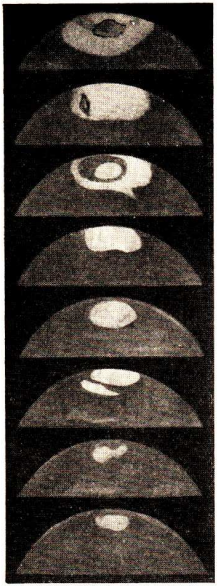


Bild 58. Veränderung der Polkappe des Mars

daß diese Kappen nichts anderes sind als eine Reif- oder Eisschicht, über der sich Nebel lagert.

Ein großer Teil der Marsoberfläche ist orangefarben. Mit freiem Auge betrachtet, erscheint der Mars als rötlicher Stern. Seine Oberfläche ist wahrscheinlich mit einer dünnen Schicht von Eisenocker bedeckt.

Es wurden Karten der Marsoberfläche angelegt. Der periodische Wechsel der Farbe der dunklen Flecke ist besonders interessant: Im Frühling erhalten sie eine grünliche Farbe, im Winter dagegen werden sie braun bis grau. Der sowjetische Gelehrte G. A. Tichow, der lange Zeit insbesondere den Planeten Mars beobachtet hat, sowie andere Astronomen bringen ernste Argumente zum Beweis ihrer Ansicht, daß die dunklen Flecke der Marsoberfläche Ebenen mit Vegetation darstellen, die ihre Farbe mit den Jahreszeiten wechselt und sich im Laufe der Jahrmillionen an das rauhe Klima des Mars angepaßt hat. Andere Gelehrte sind gegenteiliger Meinung: sie sagen, daß auf dem Mars keine entwickelte Vegetation vorhanden sein kann, da das Klima dort viel rauher ist als auf der Erde und einige Eigenschaften der grünen Flecke keine Ähnlichkeit mit den Eigenschaften der Erdvegetation haben.

Die Erforschung dieses Planeten geht weiter und sie wird den wissenschaftlichen Streit – ob es Leben auf dem Mars gibt oder nicht und insbesondere, ob dort eine Vegetation existiert – entscheiden. Die Untersuchungen werden auch die Natur der sogenannten „Marskanäle" klären. Es sind dies langgezogene, gerade, dünne, dunkle, kaum wahrnehmbare Linien, die die Marsoberfläche überqueren. Da sie eine ziemlich regelmäßige Form aufweisen, haben einige Gelehrte angenommen, daß es sich hier um Bauten intelligenter Marsbewohner handelt. Die größten dieser Kanäle wurden schon photographiert. Nach Auffassung einiger Astronomen sind es möglicherweise mit Vegetation gesäumte Gräben. Sie erscheinen uns unter regelmäßiger Form, weil wir sie aus großer Entfernung betrachten. Ebenso sehen wir die Buchstabenzeilen eines Buches als ununterbrochene Streifen, wenn wir sie von weitem betrachten.

Auf Grund der Angaben der Wissenschaft kann Leben (in entwickelter Form) auf den Planeten, die von der Sonne weiter entfernt sind als Mars, kaum noch existieren. Unabhängig von der Tatsache, ob es gelingt oder nicht, Leben auf Venus und Mars nachzuweisen, *lehrt die marxistische Philosophie, daß Leben unvermeidlich auf jedem Planeten erscheint, auf dem sich während seines Entwicklungsprozesses dafür günstige Bedingungen ergeben.* Das Leben ist die höchste Form der Entwicklung der Materie. Leben kann nur unter bestimmten Bedingungen erscheinen und sich entwickeln:

zum Beispiel, wenn Wasser vorhanden ist, die Temperatur sich nur innerhalb jener Grenzen ändert, innerhalb derer Eiweiß nicht gerinnt, wenn ein Stoffwechsel möglich ist. Für die Photosynthese der Pflanzen ist Kohlendioxyd nötig, für die Atmung der Tiere dagegen Sauerstoff, den die Pflanzen abgeben.
Im grenzenlosen Weltall ist die Anzahl der Sterne, also der Sonnen, um die sich Planeten bewegen können, unendlich groß. Auf vielen Planeten im Weltall müssen sich früher oder später jene Bedingungen ergeben – wie es eben auf der Erde geschehen ist –, unter denen Leben entstehen und sich entwickeln kann.

4.5. Riesenplaneten

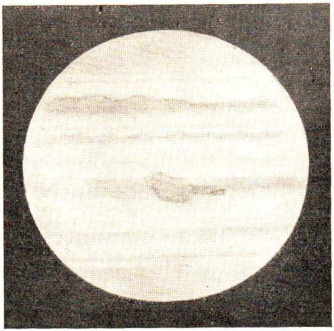
Jupiter ist der größte der vier Riesenplaneten. Sein Durchmesser beträgt das Elffache des Erddurchmessers. Der nächste in der Größe folgende Planet ist Saturn.
Die Riesenplaneten drehen sich sehr rasch um ihre Achse. Die kürzeste Rotationszeit hat Jupiter mit weniger als 10 Stunden, die größte Neptun mit 16 Stunden. Die sichtbaren, von undurchsichtigen Wolken gebildeten Oberflächen aller dieser Planeten zeigen nicht in allen Punkten die gleiche Winkelgeschwindigkeit der Drehbewegung: In den Bereichen des Äquators drehen sie sich rascher als in den vom Äquator weiter entfernten Gebieten. Ein fester Körper kann sich aber nicht auf diese Weise drehen; denn alle seine Punkte haben die gleiche Winkelgeschwindigkeit.
Wegen ihrer großen Umdrehungsgeschwindigkeit sind die Riesenplaneten an ihren Polen stärker abgeplattet als die Erde. Diese Abplattung ist vor allem bei Jupiter und Saturn beträchtlich! ($^1/_{16}$ beziehungsweise $^1/_{10}$) und kann auch mit schwachen Instrumenten wahrgenommen werden.
Die Neigung der Rotationsachse zur Bahnebene ist von Planet zu Planet verschieden. Bei Jupiter steht die Achse fast senkrecht zur Bahnebene; deshalb fehlt hier der Wechsel der Jahreszeiten. Die Achse des Saturn hat annähernd dieselbe Neigung wie jene der Erde. Bei Uranus beträgt die Neigung des Äquators zur Bahnebene etwa 98°; das hat eine Rotation im rückläufigen Sinn zur Folge. Er führt seine Bewegung um die Sonne gewissermaßen „liegend" aus.
Die Oberflächenbeschaffenheit der Riesenplaneten ist unbekannt. Man beobachtet nur die Wolkenstreifen ihrer Atmosphäre, die, wegen der Rotation der Planeten, parallel zum Äquator verlaufen. Die Atmosphären der Riesenplaneten bestehen vorwiegend aus Ammoniak und Methan. In der Zusammensetzung dieser Gase spielt Wasserstoff eine Rolle. Berechnungen haben ergeben, daß Wasserstoff die Hauptkomponente dieser Planeten, insbesondere des Jupiter, ist. In den inneren Bereichen dieser Planeten ist die Materie bis zu einer Dichte zusammengepreßt, die größer als die Dichte des Wassers ist. Die Oberflächenschicht der Riesenplaneten besteht wahrscheinlich aus Eis und erstarrten Gasen: die Temperaturmessung der Atmosphäre hat für Jupiter –138 °C und für die anderen, von der Sonne weiter entfernten Planeten noch tiefere Werte ergeben.
Die mittlere Dichte eines Planeten erhält man durch Division seiner Masse durch sein Volumen. Der scheinbare Rauminhalt dieser Planeten umfaßt aber auch die Wolken-

schicht ihrer sehr hohen Atmosphäre, hinter der sich der eigentliche Planet verbirgt. Der größte Teil der Masse des Planeten ist in seinem sehr dichten und komprimierten Kern enthalten, der sich unter einer dicken Eisschicht befindet. Darum erhalten wir auch für die mittlere Dichte der Riesenplaneten einen Wert, der dem des Wassers nahekommt.

Aus diesem Grunde folgerte man früher fälschlich, daß diese Planeten in flüssigem Zustand seien. (Die kleinste mittlere Dichte hat Saturn mit $0{,}7\ g \cdot cm^{-3}$.) In Wirklichkeit bestehen diese Planeten aus einem schweren, an der Oberfläche gefrorenen Kern im festen Aggregatzustand, umgeben von einer Schicht erstarrter Gase. Darüber befindet sich eine hohe, lichtundurchlässige und ziemlich dichte Atmosphäre.

Die tiefe Temperatur der Atmosphären der Riesenplaneten beweist uns, daß sie ihre Wärme ausschließlich von der Sonne erhalten, von der sie sehr weit entfernt sind.
Die Streifen, welche auf der Jupiteroberfläche leicht zu beobachten sind, deuten auf eine dichte Atmosphäre hin (Bild 59). Bei den anderen Planeten sind diese Streifen weniger ausgeprägt.

Saturn ist der einzige Planet des Sonnensystems mit einem *Ring* (Bild 60). Dieser Ring ist sehr dünn und befindet sich fast in der Äquatorebene des Planeten; er ist nur im Fernrohr zu sehen. Wegen der Änderung der gegenseitigen Lage von Erde und Saturn ändert sich der Anblick des Ringes (Bild 61). Wenn wir den Ring aus seiner Ebene betrachten, dann kann er,



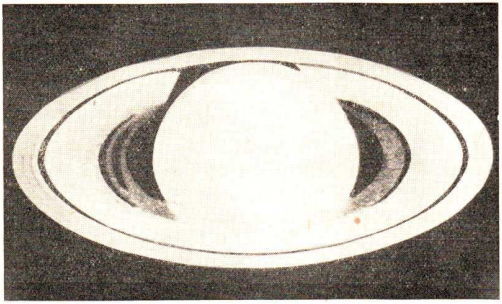


Bild 59
Jupiter (im Fernrohr)
Bild 60
Saturn (im Fernrohr)
Bild 61
Wechsel des Anblicks des Saturnrings

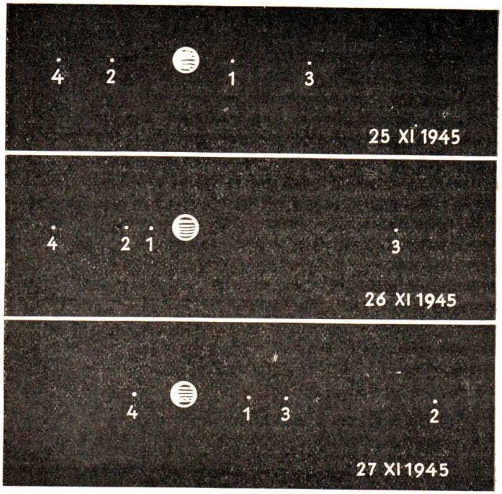


Bild 62. Verschiedene Stellungen der vier hellsten Jupitermonde zum Planeten

weil er sehr dünn (etwa 15 km) ist, nur in starken Fernrohren gesehen werden. Der Ring ist ein kompliziertes Gebilde; man unterscheidet drei konzentrische Ringe.
Der russische Astronom A. A. Belopolski, der viele in der Sternwarte Pulkowo gemachte Spektrogramme des Ringes ausgemessen hat, konnte nachweisen, daß diese drei Ringe meteoritischen Aufbau zeigen. Weitere Untersuchungen führten zu dem Schluß, daß die Dimensionen der die Ringe bildenden Teilchen sehr verschieden sind. Körper von größenordnungsmäßig 100 m Durchmesser liefern den Hauptbeitrag zur Masse der Ringe, während die beobachtete Helligkeit fast ausschließlich durch Streuung des Lichtes an winzig kleinen Teilchen zu erklären ist. Ihre Durchmesser können einige Zentimeter betragen.[1]
Bei Jupiter kennt man jetzt 12 Satelliten, bei Saturn 9, bei Uranus 5, bei Neptun 2. Einige dieser Satelliten führen eine Umlaufbewegung in entgegengesetztem Sinne wie die anderen aus. Die vier hellsten, schon von Galilei entdeckten Satelliten Jupiters können schon in kleinen Fernrohren gesehen werden. Es ist interessant, die Bewegung dieser Satelliten um Jupiter zu beobachten, weil sie verschiedene Stellungen einnehmen (Bild 62). Zum Unterschied von anderen Satelliten haben Titan (der größte Satellit Saturns) und Triton (der erste Satellit Neptuns) eine Atmosphäre mit derselben Zusammensetzung wie die Atmosphäre der Riesenplaneten.

[1] Eine theoretische Untersuchung der Stabilität des Saturnringes wurde von der bekannten russischen Mathematikerin S. W. Kowalewskaja durchgeführt.

4.6. Planetoiden

Ceres[1] – der größte der Kleinplaneten – hat einen Durchmesser von etwa 800 km; die anderen sind alle viel kleiner, und die meisten haben Durchmesser von nur einigen Kilometern. Ein solcher Planetoid könnte auf die Fläche eines großen Parks gelegt werden; diese Planetoiden können mit freiem Auge nicht wahrgenommen werden. Da die Anziehungskraft der Kleinplaneten äußerst gering ist, haben diese keine Atmosphäre.

Die Bahnen der meisten Planetoiden liegen zwischen der Mars- und der Jupiterbahn. Einige Planetoiden haben aber eine langgezogene Bahn, so daß sie sich in ihrer Bewegung um die Sonne der Erde viel mehr nähern als Mars (Bild 63).

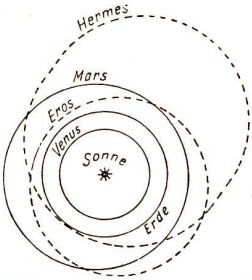


Bild 63.
Die Bahnen der Planetoiden Hermes und Eros

Es gibt auch einige Planetoiden, deren Bahnen bis in den Raum innerhalb der Erdbahn, ja sogar innerhalb der Venus- und der Merkurbahn reichen.

5. Künstliche Erdsatelliten, kosmische Sonden und Weltraumschiffe

5.1. Der erste Starterfolg

Künstliche Erdsatelliten sind Himmelskörper, die von Menschenhand geschaffen und durch Starteinrichtungen auf vorausberechnete Bahnen um die Erde geschickt werden. Sie tragen automatisch arbeitende Meßgeräte, mit denen der physikalische Zustand der Erdatmosphäre und des kosmischen Nachbarraumes der Erde erforscht werden soll. Die Satelliten bleiben stets unter dem Einfluß der Erdgravitation; nach vielen Umläufen gelangen sie infolge eines zunehmenden Verlustes von Bewegungsenergie durch Reibung und Stoß mit den Molekülen und Atomen der atmosphärischen Gase in immer tiefere Schichten der Lufthülle, bis sie schließlich noch vor Erreichen der Erdoberfläche verglühen oder aber zur Erdoberfläche zurückgeholt werden.

Die Sowjetunion war infolge des hochentwickelten Standes der sozialistischen Wirtschaft und des hervorragenden Ausbildungsniveaus ihrer Wissenschaftler und Techniker als erstes Land der Erde in der Lage, Erdsatelliten erfolgreich zu starten.

[1] Mit der Entdeckung dieses Himmelskörpers (1801) begann die Suche nach den Planetoiden.

Die ersten sowjetischen Erdsatelliten

Name	Startdatum	Flughöhe am Anfang (in km) kleinste	größte	Umlaufszeit am Anfang (in min)	Bemerkungen
Sputnik 1	4. Okt. 57	229	947	96,17	Erster künstlicher Satellit
Sputnik 2	3. Nov. 57	225	1671	103,75	Hündin Laika an Bord
Sputnik 3	15. Mai 58	226	1881	105,95	Erstes Laboratorium im Weltraum

Bisher sind die Sowjetunion und die USA die einzigen Länder, die Erdsatelliten-Experimente praktisch durchführen konnten. Für die seit Juli 1958 in den USA gestarteten Satelliten sind Bezeichnungen wie Explorer, Discoverer, Tiros I, Echo I usw. bekannt geworden. Viele andere Länder aber haben sich durch theoretische Untersuchungen und durch die Beobachtung von Erdsatelliten an den großen Experimenten beteiligt, darunter auch die Deutsche Demokratische Republik.

5.2. Startvorgang und Flugdauer bei künstlichen Erdsatelliten

Beim Start eines künstlichen Erdsatelliten muß dem Satellitenkörper durch die Schubkraft einer Anzahl von nacheinander wirkenden Raketen (Trägerstufen) in einer Höhe von mindestens 200 km über der Erdoberfläche eine Geschwindigkeit von 7,783 $km \cdot s^{-1}$ in tangentialer Flugrichtung, das heißt senkrecht zur Richtung zum Erdmittelpunkt, erteilt werden. Mit zunehmender Höhe nimmt die mindestens zu erreichende Geschwindigkeit ab (s. Tabelle). Dabei ist die Schubkraft der einzelnen Trägerstufen so abzustimmen, daß die unteren, dichten Schichten der Atmosphäre mit geringen Geschwindigkeiten durchflogen werden (andernfalls erfolgt Verbrennung durch Luftreibung).

Das Prinzip des Raketenaufstiegs durch mehrere Stufen wurde zuerst von dem russischen Gelehrten K. E. Ziolkowski ausgesprochen und mathematisch begründet (1895).

Bisher erfolgten alle Starts von künstlichen Erdsatelliten senkrecht zur Erdoberfläche, da in dieser Richtung der Widerstand der untersten Luftschichten am günstigsten zu überwinden ist.

Geschwindigkeit von Erdsatelliten auf Kreisbahnen mit verschiedenen Flughöhen

Flughöhe (in km)	Geschwindigkeit (in $km \cdot s^{-1}$)
200	7,783
500	7,611
1000	7,349
2000	6,896
4000	6,196
6378	5,589
12766	4,563

Um die letzte Trägerstufe, die den eigentlichen Satelliten nach Erreichen der Endgeschwindigkeit abschleudert, in tangentiale Flugrichtung zu bringen, wird das Raketenaggregat während des Aufstiegs durch gesteuerte Beeinflussung der Schubkraftrichtung umgelenkt. Bisher wurde in Richtung der Erdrotation (nach Osten) gestartet, weil dadurch Antriebsenergie gespart wird. Die Steuerung der Raketen kann durch elektromagnetische Wellen von der Erde aus erfolgen (Kommandosteuerung). Sie kann aber dem Raketensystem auch durch ein mitgeführtes Programm auf den Weg gegeben werden (Programmsteuerung). Die Anforderungen an die Genauigkeit der Steuerungsvorgänge sind sehr groß. Richtungsabweichungen von nur 1° und Geschwindigkeitsabweichungen von mehr als $50\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ können das Zustandekommen einer Umlaufbewegung in Frage stellen.

5.3. Satellitenbahnen

Die Bahn eines Erdsatelliten kann in drei Abschnitte eingeteilt werden (Bild 64). Der erste Bahnteil ist die *Aufstiegsbahn*. Sie beginnt auf dem Startgerüst an der Erdoberfläche. Ihre Form und ihr zeitlicher Verlauf werden bestimmt durch die Kraft und die Wirkungsdauer der Raketenmotoren. Sie endet in dem Punkt, in dem der Antrieb zu wirken aufhört (Abgangspunkt, Brennschlußpunkt). Die Aufstiegsbahn wird in der Regel in wenigen Minuten durchlaufen.

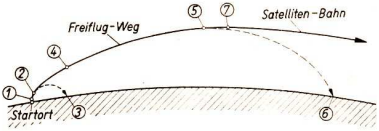


Bild 64. Startbahn eines 3-Stufen-Erdsatelliten. *1* Ende des Senkrechtaufstiegs nach 10 s in 113 m Höhe, Geschwindigkeit $0{,}027\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$. *2* Erste Stufe Brennschluß, zweite Stufe zündet nach 142 s in 53 km Höhe, Geschwindigkeit $1{,}85\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$. *3* Aufschlag der ersten Stufe in 250 km Entfernung. *4* Zweite Stufe Brennschluß nach 258 s in 196 km Höhe, Geschwindigkeit $4{,}48\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$. *4* bis *5* Antriebsloser Flug von 312 s Dauer. *5* Zweite Stufe löst sich, dritte Stufe zündet nach 570 s in 420 km Höhe, Geschwindigkeit $4{,}27\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$. *6* Aufschlag der leeren zweiten Stufe in 2170 km Entfernung. *7* Dritte Stufe Brennschluß, Satellit löst sich nach 585 s in 420 km Höhe, Geschwindigkeit $7{,}92\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$. Dritte Stufe fliegt als Trägerrakete eine Zeitlang mit um die Erde.

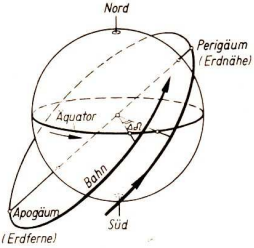


Bild 65. Scheinbare Westwärtsverschiebung der Bahn eines Erdsatelliten infolge der Erdrotation

Der zweite Bahnabschnitt, die *Umlaufbahn*, ist eine Ellipse, die sich mit Hilfe der Keplerschen Gesetze berechnen läßt. Die Bahnellipsen der Erdsatelliten liegen, von Störungen abgesehen, „fest" im Raum, nehmen also an der Erdrotation nicht teil (Bild 65). Störungen werden hervorgerufen durch die ungleiche Verteilung der Masse

im Erdkörper (Erdabplattung, Dichteschwankungen im Erdinneren), durch den Mond und durch die Sonne. Die ersteren bewirken, daß der Satellit nach Vollendung eines Erdumlaufs nicht an seinen Ausgangspunkt zurückkehrt, da sich die Ebene seiner Bahn langsam, bis zu 6° täglich gegenüber der Erdrotation verschiebt (Präzession). Außerdem dreht sich die große Achse der Bahnellipse in ihrer Ebene. Neben den Störungen durch die Schwerkraft wird die Bahn eines Erdsatelliten durch den bremsenden Einfluß der Atmosphäre ständig verändert. Dabei wird die Ellipse immer kreisähnlicher und immer enger, weswegen sich die Umlaufszeit ständig verkürzt. Hat die Umlaufszeit den Betrag von 89 min unterschritten, beginnt die dritte und letzte Phase der Bahnbewegung. Der dritte Bahnabschnitt ist die *Absturzbahn*.

Bisher konnte der Vorgang der Zerstörung eines Erdsatelliten in der niederen Atmosphäre nur bei Sputnik 2 (14. April 1958) direkt beobachtet werden. Die Verbrennung erfolgte in Höhen von 80 bis 35 km. Sie dauerte bei starken Lichterscheinungen, einer Explosion mit Rauchentwicklung und nach Auflösung in mehrere kleine Teile insgesamt 3 min. Es ist möglich, daß einige größere Bruchstücke nach der Wärmeexplosion eines Erdsatelliten sich noch mehrere Umläufe weiterbewegen, bis sie verglühen (Sputnik 1).

5.4. Beobachtung künstlicher Erdsatelliten

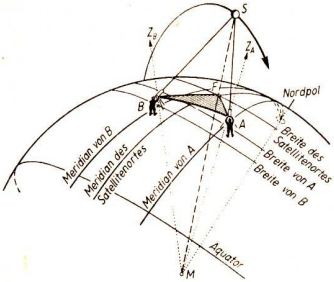
Die schnelle Veränderung der Bahn eines künstlichen Erdsatelliten macht seine ständige Kontrolle durch Beobachtung erforderlich, das heißt, sein Ort im Raum und die zugehörige Zeit müssen an mehreren Stellen eines jeden Bahnumlaufs ermittelt werden.

Im Unterschied zu den natürlichen Himmelskörpern (Mond, Planeten, Kometen) haben künstliche Erdsatelliten meist sehr kurze Umlaufszeiten. Daher müssen die Beobachtungen aus den verschiedenen Teilen der Erde zur sofortigen Auswertung fernmündlich oder fernschriftlich einer zentralen Auswertestelle zugeleitet werden. Innerhalb eines Tages umfliegt ein Erdsatellit die Erde meist mehrmals, wobei er je nach seiner Bahnneigung zum Äquator fast alle Länder der Erde berührt. Daher ist die Bahnkontrolle eines Erdsatelliten nur durch ein internationales Stationsnetz, das durch ein schnell arbeitendes Nachrichtensystem mit der Auswertezentrale verbunden ist, gewährleistet. Ein solches Netz wurde während des Internationalen Geophysikalischen Jahres 1957/58 eingerichtet. Es umfaßt zur Zeit etwa 450 Stationen.

Es gibt drei *Methoden der Satelliten-Beobachtung*. Stets anwendbar, weil unabhängig vom Wetter, ist die Methode der *Radio-Ortung*. Sie ist für alle Satelliten, deren Signalsender noch tätig sind, anwendbar. Die Radio-Ortung liefert die Position eines Satelliten auf etwa 0,1° im Ort und 1 s in der Zeit genau.
Wesentlich genauer, aber nur bei klarem Himmel anwendbar, ist die *optische Positionsbestimmung* von Erdsatelliten.

Der Satellit wird dabei von mindestens zwei Stationen mit weitwinkligen Fernrohren oder mit Vermessungs-Theodoliten gleichzeitig anvisiert, wobei neben der genauen Zeit seine Höhe über dem Horizont und sein Azimut gemessen werden. Aus den Meßergebnissen zweier Stationen, deren geographische Koordinaten bekannt sind, läßt sich dann der geozentrische Ort des Satelliten

(sein Abstand vom Erdmittelpunkt und die geographischen Koordinaten seines Projektionspunkts an der Erdoberfläche) berechnen (Bild 66). Beobachtungen dieser Art liefern den Satellitenort auf 0,1° und die Zeit auf 0,1 s genau, falls astronomisch kontrollierte Uhren verwendet werden. Sind die Satelliten hell genug, so kann man die gleichen Beobachtungsergebnisse durch photographische Aufnahmen mit Weitwinkelkameras erhalten. Die Ausmessung der Negative mit Spezialmikroskopen ergibt Positionen, die auf 1′ im Ort und auf 0,01 s in der Zeit genau sind, falls die Zeitmessung mit schnellaufenden Chronographen (Zeitschreibern) erfolgt. Die optisch-photographische Beobachtungsmethode von zwei Stationen aus ergibt die Flughöhe eines Satelliten auf 400 m genau. Mit dieser Genauigkeit lassen sich bereits Störungen in der Bahnbewegung durch die Ungleichheit der Massenverteilung im Erdinneren (Schwere-Anomalie) nachweisen.



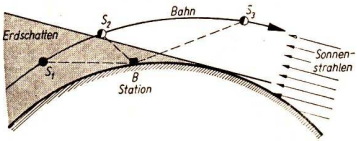


Bild 67. Sichtverhältnisse für die Beobachtung von Erdsatelliten

Bild 66. Prinzip der optischen Positionsbestimmung von Erdsatelliten

Optische Satelliten-Beobachtungen sind nur dann möglich, wenn der Satellit am Himmel als Stern erscheint, das heißt, wenn es am Ort der Station genügend dunkel ist, gleichzeitig jedoch der Satellit in der Höhe seiner Bahn noch von der Sonne beleuchtet wird (Bild 67). Für Europa sind diese Sichtverhältnisse bei Erdsatelliten von der Art der Sputniks (65° Bahnneigung) und bei Flughöhen von 1000 km (Sputnik 3 im April 1959) im Sommer die ganze Nacht hindurch, im Winter dagegen nur 1 bis 3 Stunden nach Sonnenuntergang oder 3 bis 1 Stunden vor Sonnenaufgang erfüllt. Die Satelliten-Sichtbarkeit ist weiterhin abhängig von der Stellung des Satelliten relativ zum Beobachter und zur Sonne. Ist der Winkel Beobachter – Satellit – Sonne spitz, dann schaut der Beobachter auf die voll beleuchtete Körperseite des Satelliten und sieht ihn hell. Bei stumpfem Winkel kann jedoch Unsichtbarkeit eintreten, da der Satellit dem Beobachter seine beschattete Oberflächenseite zukehrt.

Die Sichtbarkeit wird ferner durch die Form des Satellitenkörpers beeinflußt. Kugelförmige Satelliten sind für die Beobachtung am günstigsten. Rotieren die Satellitenkörper beim Flug entlang ihrer Umlaufbahn um ihre Achse, so entsteht ein Lichtwechsel, der bei langer Periode hinderlich, bei kurzer Periode aber wegen der Blinklichtwirkung fördernd für die Auffindung des Satelliten am Himmel ist (Bild 68).

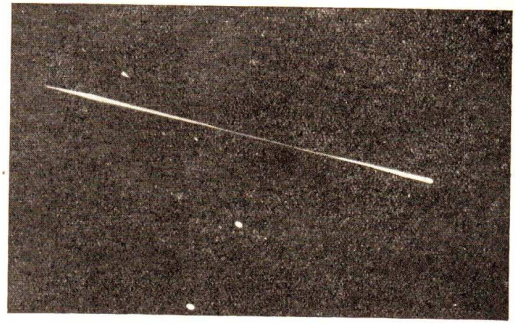


Bild 68. Photographische Aufnahme der Trägerrakete von Sputnik 3

Eine bisher nur selten angewandte Methode zur Bahnkontrolle von künstlichen Erdsatelliten ist die *Ortung durch Radargeräte.*
Später wird es möglich sein, künstliche Erdsatelliten durch mitgeführte künstliche Strahlungsquellen, die eine Folge von Lichtblitzen aussenden, auch dann zu beobachten, wenn sie eine Beobachtungsstation im Bereich des Erdschattens überfliegen.

5.5. Geophysikalische und astronomische Aufgaben der künstlichen Erdsatelliten

Alle bisher gestarteten Erdsatelliten wurden zur Erforschung der *Hochatmosphäre* der Erde eingesetzt. Von großer Bedeutung für die Langfrist- und Weltwettervorhersage sind die Ergebnisse der Dichte-, Temperatur- und Druckmessungen, die mit Hilfe der Satelliten bis in 1000 km Höhe angestellt wurden. Man fand, daß diese Zustandsgrößen, die den Aufbau der Atmosphäre in physikalischer Hinsicht bestimmen, bedeutend größer sind, als man bisher vermutete. In 230 km Höhe beträgt die Dichte der Atmosphärengase $2{,}4 \cdot 10^{-13}\,g \cdot cm^{-3}$, in 700 km noch $1{,}2 \cdot 10^{-16}\,g \cdot cm^{-3}$ und in 1000 km Höhe ist sie kleiner als $10^{-17}\,g \cdot cm^{-3}$.
Durch die Aussendung von kurzen elektromagnetischen Wellen der in den Erdsatelliten mitgeführten Meßwert- und Signalsender konnten die Bedingungen der Wellenausbreitung in den verschiedenen Schichten der Ionosphäre untersucht werden. Der Grad der Ionisation in der Ionosphäre ist örtlichen und zeitlichen Schwankungen unterworfen, die hauptsächlich von der *Ultraviolettstrahlung der Sonne* hervorgerufen werden und neben einer Änderung des Magnetfeldes der Erde starke Störungen im irdischen Funkverkehr hervorrufen. Durch den Einsatz von Meßgeräten in Erdsatelliten ist es erstmalig möglich geworden, die Intensität der Ultraviolettstrahlung der Sonne im kurzwelligen, von der Erde aus wegen der Absorption in der Ozonschicht nicht zugänglichen Gebiet zu messen. Ebenso konnten die Feldstärken des elektri-

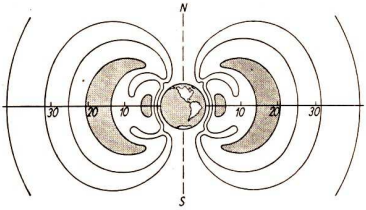


Bild 69. Die zwei kosmischen Strahlungsgürtel, die die Erde umgeben

schen und des magnetischen Feldes der Erde gleichzeitig und in schneller Folge in verschiedenen Stellen der Bahn sowie in verschiedenen Höhenschichten bestimmt werden.

Eine für die Raumfahrt mit bemannten Raketen bedeutende Erkenntnis ist der Nachweis, daß die *kosmische Strahlung* außerhalb der Erdatmosphäre stark zunimmt und in zwei Gürteln in 3000 km und in 16000 km Abstand von der Erdoberfläche Intensitäten vom Tausendfachen der an der Obergrenze der Atmosphäre gemessenen Intensität aufweist (Bild 69). Die Gürtel dieser „Van-Allen-Strahlung" sind symmetrisch zur magnetischen Achse der Erde angeordnet und lassen je ein „Fenster" in Richtung der magnetischen Pole offen.

Die kosmischen Strahlungsgürtel außerhalb der Erdatmosphäre wurden mit Hilfe des amerikanischen Satelliten Explorer 1 entdeckt, und ihre Erforschung ist besonders durch die sowjetischen Luniks und durch den amerikanischen Fernsatelliten Explorer 6 gefördert worden.

Die elektro-akustischen Zähleinrichtungen, welche die Anzahl der Zusammenstöße von *Mikrometeoriten* mit einem Teil der Oberfläche der Satellitenkörper zählen und von fast allen Erdsatelliten mitgeführt wurden, haben uns Aufschluß über den Meteoriteneinfluß bei kosmischen Flügen gegeben. Nach statistischen Schätzungen aus den bisherigen Meßergebnissen wird die Oberfläche eines Satellitenkörpers, wenn sie eine Dicke von 0,5 cm hat, im Jahr nur einmal von einem Meteoriten durchschlagen, wobei der Meteorit je nach dem Werkstoff der Satellitenwandung eine Masse von 1 bis 5 g haben muß. Dagegen ist die Zahl der Zusammenstöße mit Mikrometeoriten von Massen im Bereich eines Milligramms recht groß. Die Zählapparate im Satelliten Explorer 1 registrierten in 12 Tagen 38 Zusammenstöße mit Mikrometeoriten größer als 0,004 mm Durchmesser. Es ist damit erwiesen, daß den Raumfahrern durch Meteoriten keine größere Gefahr droht, als sie durch unvorhergesehene Zwischenfälle ohnedies gegeben ist.

Mit eingebauten Fernsehkameras können die *Wolkenfelder* ganzer Erdteile sichtbar gemacht werden, und zwar in schneller Wiederholung rings um die Erde herum.

Schwer zugängliche und daher kartographisch noch ungenügend aufgenommene Gebiete der Erdoberfläche können mit Hilfe von Erdsatelliten, die Weitwinkelkameras an Bord mitführen, photogrammetrisch erfaßt und vermessen werden. Insbesondere können die großen *kontinentalen Vermessungsnetze* (Amerika – Europa) über die Ozeane hinweg aneinandergeschlossen werden, ein Problem der Geodäsie, das bisher noch nicht gelöst werden konnte.

5.6. Kosmische Sonden

Neue Möglichkeiten der Raumforschung haben die Experimente mit den sowjetischen Luniks und den amerikanischen Pioneer-Raketen geschaffen, die man als *kosmische Sonden* oder, falls sie auf periodische Bahnen gelangen, als *Raumstationen* bezeichnet. Mit dem Start und der planmäßigen Bahneinhaltung der drei Luniks erreichte die Sowjetunion bereits große wissenschaftliche Erfolge, wenn man vor allem beachtet, daß die Anforderungen bei der Einhaltung der vorgeschriebenen Aufstiegsbahn bei kosmischen Raketen etwa hundertmal so groß sind wie bei Erdsatelliten. Lunik 1 (s. Tabelle) wurde zum ersten künstlichen Planeten im Sonnensystem, Lunik 2 traf auf der Mondoberfläche auf.

Die kosmischen Sonden (bis 1961)

Name	Startland	Startdatum	Größte erreichte Entfernung (in km)	Gesamtflugzeit	Bemerkungen
Lunik 1 (XXI. Parteitag)	UdSSR	2. Jan. 1959	Bahn um die Sonne	35 Stunden (bis Mondnähe)	443 Tage Umlaufszeit um die Sonne
Pioneer 4	USA	3. März 1959	Bahn um die Sonne	34 Stunden (bis Mondnähe)	407 Tage Umlaufszeit um die Sonne
Lunik 2	UdSSR	12. Sept. 1959	erreichte den Mond	35 Stunden	Aufschlag auf dem Mond 14. Sept. 1959 $22^h02^{min}24^s$
Lunik 3	UdSSR	4. Okt. 1959	471000	15,3 Tage (ein Umlauf)	periodische Bahn um Erde und Mond
Pioneer 5	USA	11. März 1960	Bahn um die Sonne	—	—
Venussonde	UdSSR	12. Febr. 1961	Bahn um die Sonne	—	—

Lunik 2 flog hierbei ebenso wie Lunik 1 auf einer hyperbolischen Bahn (Anfangsgeschwindigkeit größer als 11,01 km · s^{-1} in 200 km Höhe). Bei Lunik 3 wurde die Anziehungskraft des Mondes zu einem Umfliegen desselben ausgenutzt, wobei mit einer automatisch gesteuerten Kamera die Mondrückseite, die wegen der gebundenen Rotation des Mondes niemals von der Erde aus sichtbar ist, erfolgreich photographiert werden konnte (Bild 70).

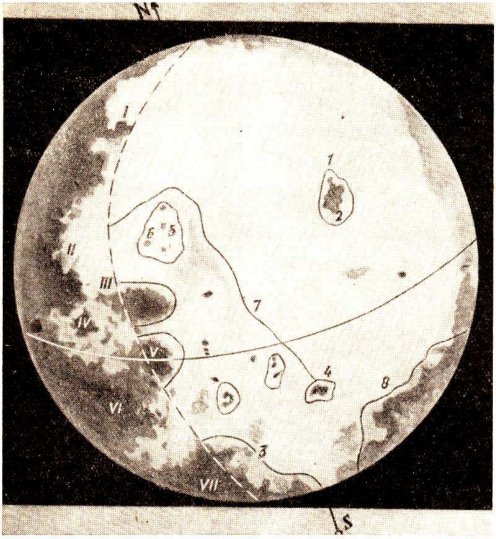


Bild 70. Photographische Aufnahme der Mondrückseite durch Lunik 3

I Mare humboldtianum
II Mare crisium
III Mare marginis
VI Mare undarum
V Mare smythii
VI Mare foecundi tatis
VII Mare australe
1. Mare Moskwa
2. Astronautenbucht
3. Mare australe
4. Krater Ziolkowski
5. Krater Lomonossow
6. Krater Joliot-Curie
7. Sowjetgebirge
8. Mare Metschta

5.7. Weltraumschiffe (Raumschiffsatelliten)

Viele Satellitenexperimente dienten unmittelbar dem Ziel, dem Menschen den Weg in das Weltall zu bahnen. Die letzten Schritte dazu sind 1960/61 durch die sowjetischen Weltraumschiffe I bis V eingeleitet worden, die ihrer Flugbahn nach gleichfalls Erdsatelliten darstellten und deshalb als *Raumschiffsatelliten* bezeichnet werden. Sie zeichneten sich durch eine große Masse aus, die sich in der Hauptsache daraus ergab, daß mit dem Raumschiff eine Kabine oder Kapsel verbunden war. Zuerst waren es Versuchstiere, die am Raumflug teilnahmen, später sollte dann der Mensch in einer solchen Kabine den kosmischen Flug ausführen.

Als ein erstes vorbereitendes Experiment brachte die Sowjetunion am 15. Mai 1960 mit dem Raumschiff I eine Rückkehr-Kapsel in den Umlauf um die Erde, in deren Innerem sich Meßgeräte zur Erforschung der biologischen Bedingungen auf Sputnikbahnen befanden. Mit dem Start des Raumschiffes II am 19. August 1960 gelang es der Sowjetunion, die beiden Hunde „Belka" und „Strelka" sowie verschiedene Kleintiere nach 16maliger Erdumkreisung wieder ohne Beschädigung von Schiff und Tieren an einem vorbestimmten Ort in der Sowjetunion zu landen. Damit waren erstmalig die Grundbedingungen für den bemannten Raumflug erfüllt worden. Am 1. De-

zember 1960 folgte das Raumschiff III, in dessen Kabine Versuchshunde gemeinsam mit anderen Tieren, Insekten und Pflanzen untergebracht waren. Allerdings gelang es nicht, diese Kabine zur Erde zurückzuholen, so daß sie nach Erfüllung der gestellten Aufgaben am 2. Dezember 1960 in der Atmosphäre verglühte. Dagegen kehrte das am 9. März 1961 gestartete Raumschiff IV am gleichen Tage mit der Versuchshündin „Tschernuschka" und anderen biologischen Objekten zur Erde zurück und landete in der Sowjetunion in dem vorgesehenen Gebiet. Dasselbe Experiment wurde mit dem am 15. März 1961 gestarteten Raumschiff V wiederholt, in dessen Kabine die Hündin „Swjosdotschka" mit anderen biologischen Objekten den Flug überstand und aus dem Kosmos zur Erde heimkehrte.

Sowjetische Weltraumschiffe (unbemannt)

Raumschiff-satellit	Start-datum	Nutzlast (in kg)	Perigäum (in km)	Apogäum (in km)	Bemerkungen
I	15. 5. 1960	4560	304	368	Rückkehr geglückt
II	19. 8. 1960	4590	306	340	Rückkehr geglückt
III	1. 12. 1960	4563	187	265	In der Atmosphäre verglüht
IV	9. 3. 1961	4700	183	249	Rückkehr geglückt
V	25. 3. 1961	4695	178	247	Rückkehr geglückt

Am 12. April 1961 startete das sowjetische Weltraumschiff „Wostok I" mit Major Juri Gagarin an Bord. Gagarin umkreiste die Erde einmal und landete wohlbehalten an einem vorausberechneten Ort in der Sowjetunion. Ihm folgte am 6. August 1961 Major German Titow, der mit dem Weltraumschiff „Wostok II" die Erde 17 mal umrundete. Auch er kehrte gesund zur Erde zurück. Diese Weltraumflüge erbrachten den entscheidenden Beweis, daß der Mensch unter den Bedingungen eines kosmischen Fluges zu leben und die komplizierten Meß- und Steuergeräte eines Weltraumschiffes sicher zu bedienen vermag.

In den USA war es im Jahre 1961 zweimal gelungen, einen Menschen mit einer Rakete auf eine ballistische Flugbahn zu bringen. Dabei wurden Höhen von etwas mehr als 180 km erreicht; die Rückkehr zur Erde erfolgte bereits nach einer Viertelstunde. Am 20. Februar 1962 glückte dann erstmalig der Start eines bemannten Erdsatelliten (Mercury-Raumkapsel). Darin konnte der Kosmonaut John Glenn die Erde dreimal umfliegen.

Mit dem Beginn des Jahres 1962 wurde in der Sowjetunion eine neue Etappe auf dem Wege zur friedlichen Eroberung des Weltalls eingeleitet. Wichtige Voraussetzungen dazu erbrachten die Flüge mehrerer unbemannter Satelliten mit der Bezeichnung „Kosmos". Diese „Kosmos"-Satelliten hatten die Aufgabe, eine Reihe von Fragen zu klären, die sich auf Bedingungen und Vorgänge in der Hochatmosphäre der Erde bezogen.

Bereits am 11. und 12. August folgte ihnen der Start der Weltraumschiffe „Wostok III" (Falke) und „Wostok IV" (Königsadler). An Bord von „Wostok III" befand sich Major Andrijan Grigorjewitsch Nikolajew. „Wostok IV" wurde von Oberstleutnant Pawel Romanowitsch Popowitsch gesteuert. Ebenso wie dies vorher bei „Wo-

stok I" und „Wostok II" der Fall gewesen war, standen beide Kosmonauten über Radio und Fernsehen mit der Erde in einem ständigen Kontakt, so daß ihr Flug mit größter Präzision verfolgt werden konnte. Alle Geräte und Einrichtungen an Bord der Raumschiffe arbeiteten einwandfrei.

Es gelang auch bei diesen Flügen, über die menschlichen Körperfunktionen unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit wertvolle Aufschlüsse zu gewinnen; zugleich konnte festgestellt werden, daß der Mensch im Weltall unter den in einem Raumschiff gegebenen Verhältnissen leben kann. Damit wurden für weitere Unternehmungen wertvolle Erkenntnisse gesammelt.

Daten von Wostok I, II, III und IV

	Wostok I	Wostok II	Wostok III	Wostok IV
Kosmonaut	J. A. Gagarin	G. S. Titow	A. G. Nikolajew	P. R. Popowitsch
Datum des Starts	12. 4. 1961	6. 8. 1961	11. 8. 1962	12. 8. 1962
Startzeit (MEZ)	$7^h\ 07^{min}$	$7^h\ 00^{min}$	$9^h\ 30^{min}$	$9^h\ 02^{min}$
Datum der Landung	12. 4. 1961	7. 8. 1961	15. 8. 1962	15. 8. 1962
Landezeit (MEZ)	$8^h\ 55^{min}$	$8^h\ 18^{min}$	$7^h\ 55^{min}$	$8^h\ 01^{min}$
Dauer des Fluges	1 h 48 min	25 h 18 min	94 h 25 min	70 h 59 min
Zahl der Erdumkreisungen	1	17	64	48
Masse des Raumschiffes	4726 kg	4731 kg	—	—
Perigäum der Flugbahn (Starttag)	175 km	178 km	180 km	177,9 km
Apogäum der Flugbahn (Starttag)	302 km	244 km	234 km	234,8 km
Umlaufszeit (Starttag)	89,1 min	88,6 min	88,3 min	88,3 min
Bahnneigung gegen den Erdäquator	65° 4′	64° 56′	64° 9′	64° 57′

Beim Vergleich der zusammengestellten Daten für die Raumschiffe „Wostok III" und „Wostok IV" tritt besonders ihre weitgehende Übereinstimmung hervor. Während des Fluges auf einer nahezu gleichen Bahn kamen sich beide Raumschiffe bis auf etwa 5 km nahe. Mit diesem „Rendezvous im Weltraum" sollte ein schwieriges Problem in Angriff genommen werden. Da für die Zukunft erwartet werden kann, daß einmal große Weltraumstationen als künstliche Großsatelliten die Erde umkreisen werden, um von ihnen aus den Flug zu anderen Gestirnen zu unternehmen, wird es aus technischen Gründen erforderlich sein, die Stationen im Weltraum zusammenzubauen. Dazu muß jedes Bauteil einzeln mit einer Rakete gestartet und auf eine bestimmte Umlaufbahn um die Erde gebracht werden. Dies setzt eine äußerste Zuverlässigkeit der Start- und Steuerungsvorgänge voraus. Hierzu hat der Gruppenflug von „Wostok III" und „Wostok IV" die ersten wertvollen Beiträge geliefert.

Damit steht der Mensch an der Schwelle zu den Weiten des Weltraums, in den er schrittweise weiter vordringen wird. Jetzt ist es ihm bereits gelungen, die Erde aus den Bordfenstern eines Weltraumschiffes als Kugel zu erleben. Der Tag wird kommen, an dem er Kurs auf ferne Welten nimmt!

Die nächsten Ziele werden sehr wahrscheinlich durch folgende Schritte zu meistern sein:

1. Die „sanfte" Landung eines unbemannten Weltraumschiffes auf dem Mond.
2. Der Flug eines Versuchstieres in einem Weltraumschiff um den Mond herum und zurück zur Erde.
3. Ein unbemannter Flug zur Venus und zum Mars mit dem Ziel, durch automatische Einrichtungen photographische Aufnahmen der Planeten aus großer Nähe zu gewinnen.
4. Der bemannte Flug zum Mond mit Landung und Rückflug zur Erde.
5. Der bemannte Flug zur Venus oder zum Mars mit dem Ziel, die Planeten zu umkreisen, vielleicht auch ihre Oberfläche zu betreten und dann zur Erde zurückzufliegen.

Übungen

1. Ein künstlicher Erdsatellit, der in einer Höhe von 35810 km auf einer Kreisbahn die Erde umläuft, benötigt zu einer Umrundung 24 Stunden. Welche Erscheinungen wären zu beobachten, wenn sich ein solcher Satellit über dem Äquator
   a) mit der Erdrotation b) entgegen der Erdrotation
   bewegen würde?
2. Berechnen Sie die Bahngeschwindigkeit des in der Übung 1 gekennzeichneten Satelliten!
3. Erläutern Sie, welche Kräfte auf einen künstlichen Erdsatelliten von der Zündung der Rakete an bis zum Verglühen des Körpers in der Erdatmosphäre einwirken!

6. Kometen, Meteore und Meteoriten

6.1. Kometen, ihre Bewegung und ihre Natur

Das Wort Komet bedeutet Haarstern[1]. Wenn in weiter Ferne ein Komet erscheint und im Fernrohr beobachtet wird, dann sieht man zuerst nur seinen „Kopf", der aus einer nebelförmigen Masse besteht; zum Zentrum hin ist die Materie konzentrierter und bildet den kugelförmigen, stärker beleuchteten Kern. Je mehr er sich der Sonne nähert, um so heller leuchtet der Komet; Gas- und Staubteilchen können den Kopf des Kometen verlassen und einen *Kometenschweif* bilden. Der Schweif ist immer von der Sonne weg gerichtet. Helle Kometen können auch mit freiem Auge gesehen werden. Der Schweif großer Kometen kann riesige Ausmaße annehmen; er erreicht manchmal eine Länge von einigen hundert Millionen Kilometern. Bei manchen Kometen ist der Schweif geradlinig, bei anderen hat er die Form eines Wasserstrahls, ja, er kann sogar aus mehreren Teilen bestehen. Selbst beim gleichen Kometen ändert sich die Form des Schweifes im Laufe der Zeit.

In der Vergangenheit hat das unerwartete Erscheinen eines Kometen mit Schweif unter der Bevölkerung oft abergläubischen Schrecken hervorgerufen. Die Menschen glaubten, daß das Erscheinen des Kometen Krieg, Epidemien oder anderes Unglück verkünde. Die Astronomie hat die Natur der Kometen und ihre Bewegungsgesetze geklärt und so den Aberglauben über das Erscheinen der Kometen unmöglich gemacht.

[1] Vom altgriechischen koma = Haar

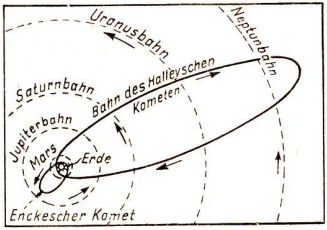


Bild 71. Die Bahnen der Kometen Halley und Encke

Die Kometen gehören dem Sonnensystem an; die meisten Kometen bewegen sich auf sehr langgezogenen Ellipsenbahnen um die Sonne. Ihre Umlaufszeiten sind sehr verschieden und schwanken zwischen einigen Jahren bis zu Zehntausenden von Jahren und mehr. Wenn ein Komet von der Erde und der Sonne weit entfernt ist, kann er nicht gesehen werden. Man kann ihn erst beobachten, wenn er sich der Sonne und unserem Planeten nähert. Die periodische Wiederkehr der Kometen in die gleichen Stellungen zu Sonne und Erde wurde zuerst von dem englischen Gelehrten Halley im XVII. Jahrhundert festgestellt. Er hat nachgewiesen, daß der von Kepler im Jahre 1607 und jener von ihm selber im Jahre 1682 beobachtete Komet der gleiche ist. Infolge von Berechnungen auf Grund des allgemeinen Gravitationsgesetzes hat Halley die Bahn dieses Kometen berechnet und das Jahr seiner Wiederkehr vorausgesagt. Die Voraussage hat sich bewahrheitet, und der Komet hat den Namen Halleyscher Komet erhalten. Er wurde das letzte Mal im Jahre 1910 gesehen und wird im Jahre 1985/86 wiederkehren (Bild 71).

Am Sternhimmel bewegen sich die Kometen, ähnlich den Planeten, langsam und bleiben einige Wochen, ja sogar Monate sichtbar. Auf Grund der Bewegung der einzelnen Kometen am Sternhimmel haben die Astronomen Form, Größe und Lage der Kometenbahnen im Raum sowie die Umlaufszeiten berechnet. Sie können für jeden einmal beobachteten Kometen den Zeitpunkt des folgenden Erscheinens und auch seinen künftigen Weg voraussagen.

Die Kometen mit großer Umlaufszeit, deren letzte Annäherung zu Sonne und Erde noch vor Beginn des wissenschaftlichen Studiums der Kometen stattfand, werden von neuem ganz unerwartet erscheinen; doch künftighin wird ihre Bewegung bekannt sein.

Die sonnenfernen Punkte der Bahnen der Kometen mit kurzer Umlaufszeit befinden sich in der Nähe der Jupiterbahn, doch jene der Kometen mit sehr langer Umlaufszeit jenseits der Plutobahn. Im Perihel umkreisen manche Kometen die Sonne in der Nähe der Erdbahn, einige sogar in sehr geringer Entfernung von der Sonne.

Gegenwärtig entdecken die Astronomen jedes Jahr mehrere neue Kometen; die meisten davon sind nur im Fernrohr sichtbar. Zahlreiche Kometen wurden von sowjetischen Gelehrten entdeckt.

Der berühmte russische Astronom F. A. Bredichin (1831 · · · 1904) untersuchte die Form der Kometenschweife, die, wie wir wissen, immer von der Sonne abgekehrt sind. Er stellte fest, daß sich vom Kometenkern Teilchen loslösen und zur Sonne hin bewegen; eine Abstoßungskraft seitens der Sonne hemmt nicht nur ihre sonnenwärts gerichtete Bewegung, sondern schleudert sie in die entgegengesetzte, das heißt der Sonne abgekehrte Richtung zurück; so bildet sich der Schweif des Kometen (Bild 72).

Bredichin konnte nachweisen, daß bei den Kometenschweifen erster Art, den geradlinigen, die Abstoßungskraft um das Zehn- und Mehrfache die Anziehungskraft übertrifft. Bei den krummen Schweifen ist die Abstoßungskraft gleich der Anziehungskraft oder auch geringer (solche sind aber selten zu beobachten). Bredichin hat auch noch zahlreiche andere an den Kometen beobachtete Erscheinungen erklärt.

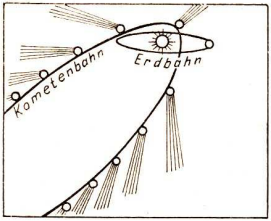


Bild 72. Der Kometenschweif wächst mit Annäherung des Kometen an die Sonne; er ist der Sonne abgekehrt

Bei den Erscheinungen, die an Kometen beobachtet werden, spielen auch elektromagnetische Kräfte eine Rolle. Diese Tatsache wurde mit genialem Scharfblick bereits von M. W. Lomonossow vermutet.

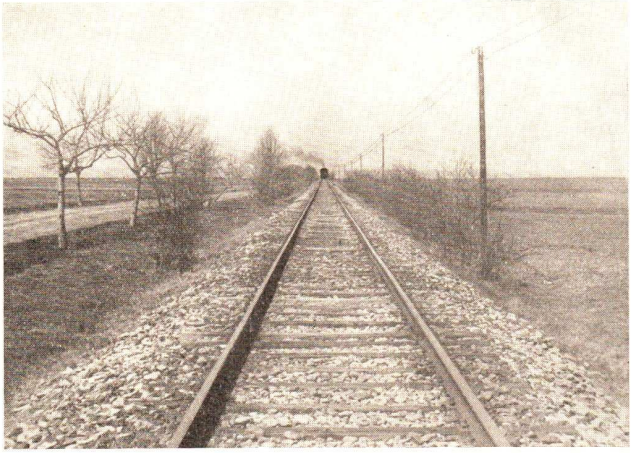
Aus dem Studium der Kometen ergibt sich, daß diese Himmelskörper größere feste Teile nur im Kern aufweisen; denn dort werden diese Teile durch erstarrte Gase zusammengehalten. Der Kometenkern ist kalt; er reflektiert das Sonnenlicht. Die Masse und der Durchmesser der Kometen sind kleiner als jene der kleinen Planetoiden. Unter dem Einfluß der Sonnenwärme lösen sich aus dem Kern verdünnte Gase, die die Hülle (die Koma) des Kerns bilden. Lösen sich größere Gasmengen los, so bilden sie Kopf und Schweif des Kometen. Manchmal lösen sich vom Kern auch kleine Staubteilchen.

Sowohl der Kopf als auch der Schweif des Kometen bestehen aus äußerst verdünnter Materie. Darum stellt ein Zusammenstoß eines Kometen mit der Erde (was übrigens schon stattgefunden hat) keinerlei Gefahr für die Erde dar, obwohl in der Zusammensetzung des Kometenkopfes Kohlenwasserstoff- und Zyandämpfe, im Schweif Kohlenoxyd vorkommen. Da die Gase des Kometen äußerst verdünnt sind, macht ihr Eindringen in die Erdatmosphäre sich nicht bemerkbar. Das Leuchten der Gase in den Kometen wird ausschließlich von der Wirkung der Sonnenstrahlen hervorgerufen.

Die Anzahl der Kometen unseres Sonnensystems ist sicherlich sehr groß. Kepler vermutete, daß es ebensoviel Kometen gibt „als Fische in einem Ozean".

6.2. Meteore (Sternschnuppen) und ihr Zusammenhang mit den Kometen

Die Erscheinung der Sternschnuppe – des Meteors – hat in der vergangenen Zeit nicht selten zu falschen, abergläubischen Vorstellungen Anlaß gegeben. Die Wissenschaft hat aber festgestellt, daß man unter Sternschnuppen die Lichterscheinung beim Fallen meteoritischer Körper versteht (das sind Sandkörner oder kleine Steine, welche mit großer Geschwindigkeit aus dem interplanetaren Raum kommend in die Erdatmosphäre eindringen und verdampfen). Ihre Geschwindigkeit erreicht Werte in der Größenordnung 10 km · s^{-1}. Die Luft hemmt ihre Bewegung. Ihre Bewegungs-



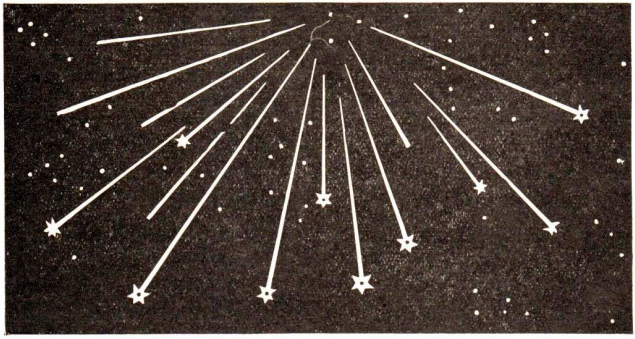


Bild 73. Sternschnuppenregen mit Radiationspunkt; Vergleich des perspektivischen Anblicks mit einer Eisenbahnlinie

energie verwandelt sich in Wärme. Die sich infolge der Erwärmung und der Luftreibung bildenden Gase werden glühend und hinterlassen entlang ihrer Bewegungsbahn eine leuchtende Spur. Diese ruft die Vorstellung eines „fallenden Sterns" hervor. Das Verdampfen der Meteore erfolgt im allgemeinen in Höhen von 80 bis 180 km über der Erdoberfläche.

Wenn wir die Sterne eines Sternbilds und ihre Orte kennen, so können wir uns leicht davon überzeugen, daß kein Stern vom Himmel fällt, selbst dann nicht, wenn wir eine große Anzahl von Meteoren beobachten.

An gewissen Tagen, zum Beispiel am 10. bis 12. August jedes Jahres, kann man viele Meteore beobachten. Sie scheinen aus demselben Punkt der Himmelskugel, dem *Radiationspunkt des Meteorstromes*, zu kommen. Der Radiationspunkt nimmt einen besonderen Platz zwischen den Sternbildern ein und ist an der täglichen Bewegung des Sternhimmels beteiligt.[1] Dies beweist, daß *die Meteore aus dem interplanetaren Raum kommen.* An der täglichen Bewegung des Sternhimmels nimmt nämlich kein zur Erde gehörender Gegenstand teil.
Das scheinbare Auseinanderstreben der Meteore aus einem Punkt der Himmelskugel ist nur eine Erscheinung der Perspektive. Ebenso scheinen die parallelen Eisenbahnschienen, aus einem entfernten Punkt kommend, auseinanderzulaufen (Bild 73). *Die Bahnen der Sternschnuppenschwärme fallen mit den Bahnen einiger Kometen zusammen.* Den Zusammenhang zwischen Sternschnuppenschwärmen und Kometen erkennt man noch besser aus folgendem:
Im Jahre 1846 konnte man beobachten, daß der vom tschechischen Liebhaberastronomen Biela entdeckte Komet in zwei Teile zerfiel, die nacheinander ihre Bahn zogen. Den Zerfall von Kometen in mehrere Teile konnte man auch später beobachten. Im Jahre 1872 sollten im November die Teile des Bielaschen Kometen sehr nahe an der Erde vorbeikommen oder sogar mit der Erde zusammenstoßen. Sie blieben aber aus und konnten nicht mehr beobachtet werden. Doch am 27. November 1872 wurde ein „Sternschnuppenregen" beobachtet, dessen Bahn sich als die des „verschwundenen", zerfallenen Kometen erwies. Es ist klar, daß der „feste" Kern des Kometen sich in einen Schwarm kleiner Körper aufgelöst hatte, die sich entlang der Kometenbahn verteilt haben und mit der Erde zusammengestoßen sind. Daraus ist ersichtlich, daß selbst der Zusammenstoß der Erde mit einem Kometenkern (was allerdings äußerst selten geschieht) keine Gefahr für die Erde bedeutet; man wird nur einen reichen Sternschnuppenregen wahrnehmen, und vielleicht werden einige größere Teile des Kometenkerns auf die Erde fallen. Die Kometen sind also in Auflösung begriffene Himmelskörper von relativ kurzer Lebensdauer.

[1] Der Radiationspunkt des Meteorschwarms vom 10. August befindet sich im Sternbild des Perseus.

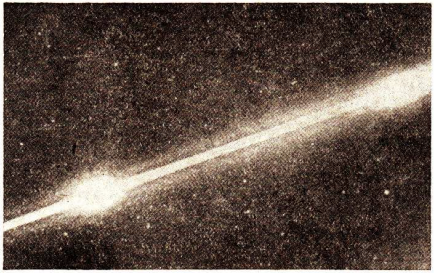


Bild 74.
Spur eines hellen Meteors (Feuerkugel)

6.3. Boliden und Meteoriten

Manchmal kann man auch sehr helle Meteore beobachten, die wie funkensprühende Feuerkugeln erscheinen und am Himmel eine Rauch- und Feuerfahne nach sich ziehen. Diese Erscheinung heißt *Bolid* oder *Feuerkugel* (Bild 74).

Die Boliden dürfen nicht mit dem Kugelblitz verwechselt werden, der in der Nähe der Erdoberfläche entsteht und sich nur langsam fortbewegt. Abergläubische Menschen des Altertums betrachteten die Feuerkugeln als fliegende Drachen und Ungeheuer.

Ein Bolid entsteht, wenn ein großer Stein aus dem interplanetaren Raum in die Erdatmosphäre eindringt und aus dem gleichen Grunde glühend wird wie die kleinen meteoritischen Körper. Doch solch ein Stein zerfällt oder verflüchtigt sich nicht so schnell wie ein Sandkörnchen. Häufig endet der Flug eines Boliden mit einem donnerähnlichen Knall sowie mit einem reichen Meteoritenfall auf die Erdoberfläche. Ein Stein oder ein Stück Eisen, das zur Erde fiel und außerirdischen Ursprungs ist, heißt *Meteorit*. Die Meteoriten gleichen dem irdischen Gestein. Einige bestehen aus Eisen, andere aus einem Gemisch von Eisen und Gestein.

Auffallende Meteoriten gaben zu verschiedenem Aberglauben Anlaß. So zum Beispiel wurde einer der Meteoriten „schwarzer Stein" genannt, von den Mohammedanern als heilig erklärt, und die Gläubigen pilgern nach Mekka, um diesen Stein anzubeten. An der Oberfläche des Meteoriten bildet sich nämlich als Folge des Schmelzvorgangs während des Fallens eine dünne schwarze Schicht.

Die größten nichtgeborstenen Meteoriten haben eine Masse von mehreren Tonnen. Manche Meteoriten lösen sich während des Fallens in mehrere Teile auf und kommen als Steinregen zur Erde.

Einer der Meteoriten mit großen Ausmaßen – der tungusische Meteorit – fiel am 30. Juni 1908 in der sibirischen Taiga und zerstörte eine große Fläche Waldes. Da er mit einer riesigen Geschwindigkeit zur Erde stürzte, übte er einen ungeheuren Druck auf die Luft aus und löste sich explosions-

artig in dem Augenblick auf, in dem er auf die Erde prallte. Aus diesem Grunde konnten keine Trümmer gefunden werden.
Ein anderer Meteorit – Sichote-Alin – fiel am 12. Februar 1947, 500 km nordöstlich von Wladiwostok. Er ist zwar während des Fallens geborsten, es blieben aber Trümmer übrig; die größten hinterließen Löcher wie Granaten. Es wurden hunderte Meteoritensplitter gesammelt.

Die Untersuchung der Meteoriten hat ergeben, daß sie sich aus chemischen Elementen zusammensetzen, die auf der Erde bekannt sind. Die Meteoriten sind wahrscheinlich Trümmer anderer Himmelskörper. *Die chemische Analyse bestätigt die materielle Einheit des Weltalls.* Die Meteoriten – die Steine aus dem Weltall – unterscheiden sich grundsätzlich nicht von den Steinen der Erde, sie haben nichts Unnatürliches oder Außergewöhnliches an sich.
In letzter Zeit hat das Studium der meteoritischen Körper durch die Methode der Radarortung großen Aufschwung genommen.

7. Die Sonne

7.1. Die Sonne, ihr Anblick im Fernrohr und ihre Achsendrehung

Die Sonne ist der Zentralkörper des Sonnensystems. Ihre Masse ist 750 mal so groß wie die Masse aller Planeten zusammengenommen und 332 000 mal so groß wie die Masse der Erde. Ihr Durchmesser ist 109 mal so groß wie der Erddurchmesser, und in ihrem Inneren hätte noch die ganze Mondbahn Platz (vgl. Bild 57). Die riesige Sonnenkugel erscheint uns aber nicht besonders groß (ihr scheinbarer Durchmesser beträgt etwa $^1/_2{}^\circ$), da sie sich in einer Entfernung von 149 600 000 km, also etwa dem Hundertfachen ihres Durchmessers, von der Erde befindet.
Die Sonne ist der einzige Himmelskörper des Sonnensystems, der selbst leuchtet. Sie ist Wärme- und Lichtquelle für alle Planeten und der Quell des Lebens auf der Erde.

Ohne Sonnenlicht und Sonnenwärme wäre das Leben auf der Erde unmöglich. Außerdem erwärmt die Sonne die Luft und das Wasser, verwandelt es in Dampf, und dies bedingt den Kreislauf des Wassers und der Luft auf der Erde. Die fließenden Gewässer, deren Energie wir in den Wasserkraftwerken nutzbar machen, die atmosphärischen Niederschläge und andere ähnliche Erscheinungen hängen von der von der Sonne erhaltenen Energie ab.

Der größte Teil der Sonnenenergie wird nicht von den Planeten empfangen, sondern zerstreut sich im interplanetaren Raum. Die Kohle unserer Erde (die verkohlten Reste von Pflanzen) ist desgleichen aufgespeicherte und in der Erdkruste aufbewahrte Sonnenenergie, da die Pflanzen zum Wachsen Sonnenenergie benötigten.
Will man die Sonne mit Hilfe eines Fernrohrs beobachten, so ist es notwendig, ihr Bild auf einen Schirm zu projizieren oder sie durch ein stark berußtes Glas zu betrachten; andernfalls können die Augen Schaden erleiden.

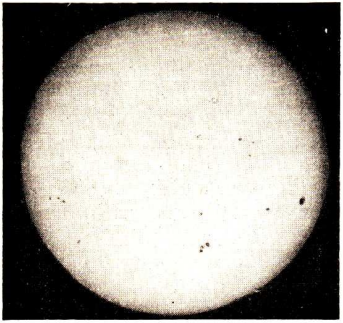


Bild 75. Photographische Aufnahme der Sonne

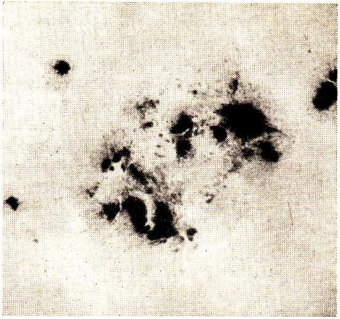


Bild 76. Große Sonnenfleckengruppe (17. 5. 1951)

Wenn wir die Sonne betrachten, sehen wir häufig dunkle Flecken, die Sonnenflecken; sie bilden oft Gruppen (Bild 75 und 76). Ihre scheinbare Bewegung auf der Sonnenscheibe läßt darauf schließen, *daß sich die Sonne um ihre Achse dreht*, doch nicht wie ein starrer Körper; je weiter ein Bereich vom Sonnenäquator entfernt ist, um so langsamer ist seine Rotation. Am Sonnenäquator beträgt die wahre (siderische) Rotationsdauer etwa 25 d, an den Polen nahezu 35 d. Da sich die Erde im gleichen Sinn wie die Drehung der Sonne auf ihrer Bahn bewegt, scheint die Rotationsdauer der einzelnen Zonen der Sonnenoberfläche für einen Beobachter auf der Erde länger; der Äquator beispielsweise scheint in 27 Tagen eine volle Drehung auszuführen.
Diese Beobachtungen führten zu dem Schluß, daß die Sonne kein fester Körper, sondern nur flüssig oder gasförmig sein kann. Die mittlere Dichte der Sonne beträgt $1{,}4\ g \cdot cm^{-3}$, etwas mehr als die Dichte des Wassers. *Die hohe Oberflächentemperatur der Sonne (etwa 6000 °K) und die Ergebnisse der Spektralanalyse zeigen, daß die Sonne aus Gasen besteht.* Ihre große mittlere Dichte wird durch die Annahme erklärt, daß die Gase im Sonnenkern unter sehr hohem Druck stehen. Die äußeren Schichten der Sonne sind weniger dicht als die Erdatmosphäre, in den zentralen Bereichen aber ist die Gasdichte um ein vielfaches größer als die des Wassers. Wissenschaftler haben auf Grund theoretischer Erwägungen die Änderung der Dichte und der Temperatur im Inneren der Sonne berechnet. Dabei benutzten sie die Gesetze der Physik und die Beobachtungsergebnisse über die Bedingungen an der Sonnenoberfläche sowie die Angaben über Masse und Volumen der Sonne. Sie haben gefunden, daß im Inneren der Sonne die Temperatur etwa $2 \cdot 10^7$ °K erreicht.
Die leuchtende Oberfläche der Sonne heißt *Photosphäre*.
Im Fernrohr sieht man die Photosphäre körnig, das heißt, sie scheint aus leuchtenden Körnern gebildet. Diese Körner *(Granulen)* der Photosphäre sind Wolken glühender Gase. Sie erscheinen und verschwinden ununterbrochen. Die dunklen Flecken sind

Stellen der Sonnenoberfläche mit tieferer Temperatur. In der Nähe der Sonnenflecken beobachtet man helle Stellen, die *Fackeln* genannt werden, weil sie in Form und Aussehen der Flamme einer Fackel gleichen. Die Fackeln sind am Sonnenrand besser zu beobachten, weil dort die Helligkeit der Photosphäre geringer ist als in der Mitte der Sonnenscheibe.

7.2. Sonnenatmosphäre und chemische Zusammensetzung der Sonne

Unter gewöhnlichen Bedingungen ist die Sonnenatmosphäre nicht zu sehen, da sie schwächer erscheint als der Hintergrund, der Himmel, auf den sie projiziert wird. Während einer Sonnenfinsternis verdeckt der Mond die leuchtende Photosphäre, die Sonnenstrahlen beleuchten nicht mehr die Luft, der Himmel verdunkelt sich und die Sonnenatmosphäre wird selbst mit freiem Auge sichtbar. Gegenwärtig kann die Sonnenatmosphäre mit besonderen Apparaten nicht nur während einer totalen Sonnenfinsternis, sondern auch an anderen Tagen beobachtet werden, wenn der Luftzustand günstig ist (z. B. von hohen Bergen aus).

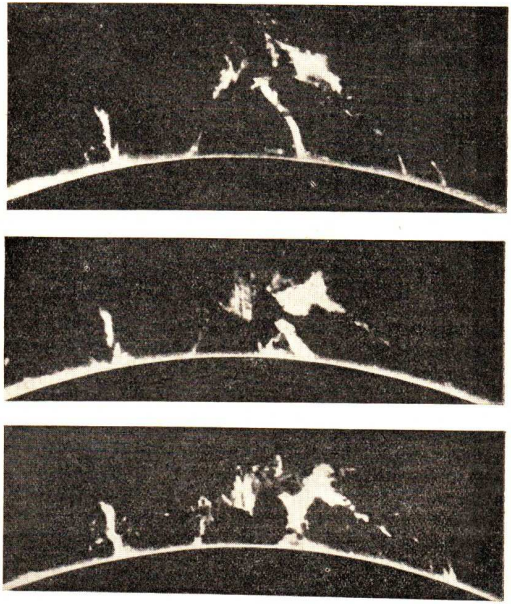
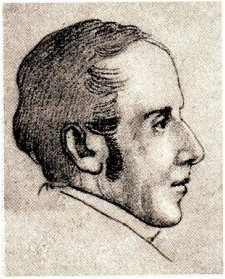


Bild 77. Die Veränderung einer Sonnenprotuberanz (nach Lyot)

Die Sonnenatmosphäre besteht aus zwei Schichten. Die der Photosphäre am nächsten liegende Schicht heißt *Chromosphäre*. In ihrem unteren Teil kann man zwischen einer „kühleren" und einer „heißeren" Komponente unterscheiden. Die zweite, sehr ausgedehnte und stark verdünnte Schicht der Sonnenatmosphäre heißt *Sonnenkorona*. Sie erscheint als perlmutterfarbiger Strahlenkranz. Von Zeit zu Zeit schießen aus der Chromosphäre Wolken glühender Gase in Form von Feuerfontänen hervor; sie werden *Protuberanzen* genannt (Bild 77). Die hochgeschleuderten Gase der Protuberanzen fallen nach einiger Zeit wieder zurück. Während dieses Zurückfallens leuchten sie bisweilen auf. Einige Protuberanzen erreichen Höhen, die größer als der Sonnenhalbmesser sind.

Die Chromosphäre besteht aus verdünnten Gasen, die in der untersten Schicht weniger heiß als die Photosphäre sind (ihre Temperatur beträgt etwa 4500 °K). In der „heißeren" Komponente der Chromosphäre steigt die Temperatur mit zunehmender Höhe bis auf etwa 35000 °K in 10000 km Höhe an.

Wenn das von der Photosphäre ausgestrahlte Licht die Chromosphäre durchdringt, werden in dieser die Lichtstrahlen bestimmter Wellenlänge absorbiert, und im Sonnenspektrum erscheinen deshalb dunkle Linien. Am Sonnenrand, beginnend mit der Chromosphäre, beobachten wir ein Spektrum, das aus mehreren hellen Linien besteht und dieser Schicht eigen ist. Diese hellen Linien befinden sich an den gleichen Stellen des Spektrums, an denen unter anderen Bedingungen die dunklen Linien sichtbar sind (dies erfolgt, wenn sich ihr Spektrum dem kontinuierlichen Spektrum überlagert). Die dunklen Linien heißen nach ihrem Entdecker, dem deutschen Physiker J. Fraunhofer, *Fraunhofersche Linien*. Wenn wir die chemische Zusammensetzung der Sonne mit Hilfe der Spektrallinien der verschiedenen Schichten ihrer Atmosphäre oder nach den Fraunhoferschen Linien bestimmen wollen, erhalten wir eigentlich nur die chemische Zusammensetzung der Sonnenatmosphäre und nicht die des Sonneninneren, da die dunklen Linien eine Folge der Lichtabsorption durch die Gase der Sonnenatmosphäre sind.



Joseph Fraunhofer (1787 bis 1826)

Bisher wurden in der Sonnenatmosphäre etwa $^2/_3$ der auf der Erde bekannten Elemente entdeckt. Sie setzt sich aus etwa 80% Wasserstoff und 18% Helium zusammen, der Anteil der anderen Elemente ist verhältnismäßig gering. Jene chemischen Elemente, die bisher auf der Sonne noch nicht entdeckt werden konnten, kommen auch auf der Erde nur in geringer Menge vor. Auf der Erde unbekannte Elemente wurden auch auf der Sonne nicht nachgewiesen. All dies bestätigt noch einmal die materielle Einheit der Erde und der anderen Himmelskörper sowie die Allgemeingültigkeit der Gesetze der Physik und Chemie im ganzen Weltall.

Im Jahre 1868 wurde im Sonnenspektrum eine gelbe Linie entdeckt, die in den Spektren der Elemente, die auf der Erde nachgewiesen waren, nicht gefunden werden konnte. Es wurde deshalb

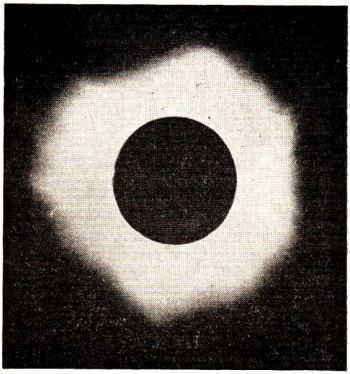


Bild 78. Die Sonnenkorona (bei totaler Sonnenfinsternis)

angenommen, daß sie von einem bisher unbekannten Element herrührt, dem man den Namen Helium gegeben hat (griechisch bedeutet helios – Sonne). Erst nach 30 Jahren wurde das Helium auf der Erde entdeckt.

Die Sonnenkorona (Bild 78) besteht aus ionisierten Gasen und aus Elektronen, die das Sonnenlicht reflektieren. Lange Zeit konnten die Spektren der Gase aus dem Inneren der Sonnenkorona nicht gedeutet werden. Erst kürzlich wurde festgestellt, daß dies die Spektren bekannter Elemente, wie Eisen, Nickel und Kalzium sind, in deren Atomen viele Elektronen fehlen und die unter den besonderen Bedingungen der Sonnenkorona (Temperatur etwa 10^6 °K und sehr geringe Dichte) Licht aussenden.

Die Deutung der Spektrallinien des Heliums und der Sonnenkorona ist ein Beispiel für die Art, wie die Wissenschaft früher oder später alle Erscheinungen klärt, wie rätselhaft oder unlösbar sie anfangs auch erscheinen mögen.

Die Hüllen der Sonne, die Photosphäre, die Chromosphäre und vor allem die Korona (Bild 79), besitzen eine so hohe Temperatur, daß sie nur aus *Atomen der Elemente* gebildet sind. Nur in der Nähe der Sonnenflecken, wo die Temperatur bis auf 4500 °K sinkt, können die Atome einfache chemische Verbindungen eingehen und zweiatomige Moleküle (Zyan, Kohlenmonoxyd, Titanoxyd usw.) bilden. Bei höheren Temperaturen zerfallen auch die einfachsten Moleküle.

In der Ebene der Erdbahn und etwa bis zur Erdbahn ist die Sonne noch von einer

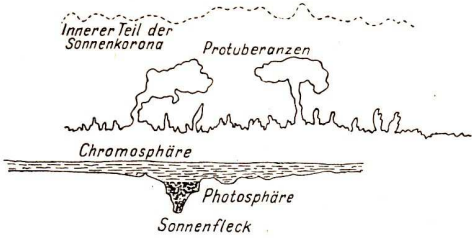


Bild 79. Aufbau der Sonnenatmosphäre (schematisch)

dünnen, aus kleinen Staubteilchen bestehenden Schicht umgeben, die die Sonnenstrahlen reflektiert. Auf Grund dieser Tatsache kann man von der Erde aus nach Sonnenuntergang oder kurz vor Sonnenaufgang entlang der Ekliptik einen leuchtenden, langen Kegel sehen, der von der Sonne ausgeht und *Zodiakallicht* heißt. Dieses Licht wird in den Tropengebieten besser wahrgenommen, da dort die Ekliptik einen größeren Winkel mit dem Horizont als in unseren Breiten bildet.

7.3. Strahlung der Sonne; Periode der Sonnenaktivität

7.3.1. Die Strahlung der Sonne und die Solarkonstante

Nur ein äußerst geringer Teil der von der Sonne ausgestrahlten Energie gelangt auf die Erde. Da man die Ausmaße der Erde und ihre Entfernung von der Sonne kennt, konnte man berechnen, daß dieser Teil etwa 1 Zweimilliardstel ($5 \cdot 10^{-10}$) beträgt. Wenn man die auf die Erde gelangende Menge der Sonnenenergie bestimmt, so kann man auch die gesamte von der Sonne ausgestrahlte Energie berechnen.
Die Leistung, die von der Sonne auf eine senkrecht zu den Sonnenstrahlen stehende Fläche in mittlerer Entfernung der Erde von der Sonne je Flächeneinheit fällt, heißt Solarkonstante (die Absorption durch die Erdatmosphäre wird dabei durch eine Korrektion berücksichtigt). Ihr Wert beträgt nach neueren Messungen 1,97 $cal \cdot cm^{-2} \cdot min^{-1}$ oder, im gesetzlichen Maßsystem, 1,374 $kW \cdot m^{-2}$. Die Solarkonstante kann zum Beispiel durch Messung der Erwärmung von Wasser in einem Spezialgefäß mit schwarzen Wänden, das eine gewisse Zeit den Sonnenstrahlen ausgesetzt ist, bestimmt werden.
Wenn man die Solarkonstante, die Entfernung und die Ausmaße der Sonne kennt, kann man die Temperatur der Sonnenoberfläche berechnen. Das auf diese Weise erhaltene Ergebnis stimmt mit dem auf anderen Wegen erhaltenen überein.

7.3.2. Sonnenaktivität und Sonnenflecken

Die Sonnenflecken erscheinen häufiger außerhalb des Sonnenäquators, nördlich und südlich. Nach einigen Tagen, manchmal nach einigen Monaten, verschwinden sie wieder. *Die Sonnenflecken sind Bereiche der Photosphäre, wo die Gastemperatur bis auf 4500 °K gesunken ist. Sie scheinen weniger hell nur im Gegensatz zu der sie umgebenden Oberfläche, wo die Gase eine höhere Temperatur haben und daher auch heller strahlen.* Hier befinden sich die Gase in einer langsamen Wirbelströmung, die ein starkes Magnetfeld erzeugt, da die sich im Inneren der Flecken bewegenden Gase ionisiert sind.
Oft sieht man Fleckenpaare. Es konnte festgestellt werden, daß in einem Fleckenpaar auf einer Sonnenhalbkugel der vordere Fleck (im Sinne der Sonnendrehung) zum Beispiel einen Magnetsüdpol, der andere einen Magnetnordpol aufweist. In den Fleckenpaaren der anderen Sonnenhalbkugel ist entgegengesetzte Magnetisierung festzustellen. So verhalten sich die Dinge etwa 11 Jahre lang; nach dieser Zeit tauschen die Magnetpole der Fleckenpaare auf beiden Sonnenhalbkugeln ihren Platz (die Magnetpole einer Fleckengruppe ändern sich).

Mit der gleichen elfjährigen Periode ändert sich sowohl die Anzahl der Flecken als auch ihre Größe; aber auch die Anzahl der beobachteten Protuberanzen und andere Erscheinungen auf der Sonne, wie zum Beispiel die Form der Sonnenkorona, ändern sich. Im Durchschnitt gehen alle 11 Jahre die Anzahl der Flecken, ihre Größe und die Anzahl der Protuberanzen durch ein Maximum; ebenso ändern sich auch die Minima. Die Änderung der Magnetpole erfolgt im Jahre des Minimums.
Oft erscheinen die Sonnenflecken in Gruppen und bedecken eine größere Fläche als die eines Großkreises der Erdkugel (Bild 76). In der Nähe der Flecken, Gebieten großer Aktivität und mächtiger Gasströme in waagerechter und senkrechter Richtung, finden von Zeit zu Zeit sogenannte *chromosphärische Eruptionen* statt. Dies sind Ausbrüche sehr heißer Gase aus dem Sonneninneren, die in den umgebenden Raum, also auch bis zur Erde, eine intensive, für unsere Augen nicht wahrnehmbare ultraviolette Strahlung und einen Strom kleiner Partikel mit großer Geschwindigkeit aussenden.
Die von der Sonne emittierte Strahlung und die mit großer Geschwindigkeit ausgeschleuderten Partikel beeinflussen nachhaltig einige Erscheinungen auf der Erde. So hat die verstärkte Sonnenaktivität eine Zunahme der magnetischen Stürme auf der Erde, das zahlenmäßige Anwachsen der Polarlichter zur Folge; der Empfang der Radiowellen mancher Frequenzbereiche wird gestört usw.

7.3.3. Polarlichter

Die Polarlichter, die in der Form von Strahlen oder hellen, oft farbigen Streifen in ständiger Schwankung erscheinen, können zeitweise von der nördlichen Halbkugel aus am nördlichen Teil des Himmels gesehen werden. Sie können um so besser und häufiger gesehen werden, je weiter der Beobachter vom Äquator entfernt ist. Bisweilen können Nordlichter auch in unseren Breiten oder sogar in Nordafrika sichtbar sein. Auf der südlichen Halbkugel der Erde sieht man Polarlichter in gleicher Art am südlichen Teil des Himmels.
Die Wissenschaft konnte feststellen, so wie es auch M. W. Lomonossow in genialer Weise vorausgesagt hat, daß die *Polarlichter eine Lumineszenzerscheinung elektrischer Natur sind, die in den obersten Schichten der Erdatmosphäre stattfindet,* und zwar in Höhen zwischen 80 und 300 km, am häufigsten aber in einer Höhe von 100 km. Der von der Sonne – wahrscheinlich aus den Bereichen der Sonnenfackeln – mit großer Geschwindigkeit kommende Elektronenfluß gelangt in das Magnetfeld der Erde, teilt sich und wendet sich zu den Polargebieten hin. Die Elektronen bewegen sich auf einer Spirale um die Kraftlinien des Magnetfeldes, dringen in die höchsten, äußerst verdünnten Schichten der Atmosphäre ein und bewirken durch den Zusammenprall mit deren Teilchen die Lumineszenz, genauso wie elektrische Ströme in Glasröhren mit stark verdünntem Gasinhalt.
Die Sonne und die Korona senden Radiowellen aus. Die Intensität dieser Radiowellen ist stark veränderlich.
Der Einfluß der sich verändernden Sonnenstrahlung auf eine Reihe von Erscheinungen auf der Erde ist mannigfaltig, aber bis jetzt noch kaum erforscht.

7.3.4. Bedeutung des Studiums der Sonne; Ursprung ihrer Energie

Aus dem dargelegten Sachverhalt wird deutlich, daß zwischen den Erscheinungen im Weltall ein Zusammenhang besteht; es folgt daraus auch, daß die Erforschung der Sonne aus praktischen Gründen notwendig ist: um das Wetter, welches auf die gesamte Wirtschaft des Landes großen Einfluß hat, besser vorhersagen zu können, um optimale Bedingungen für die drahtlose Nachrichtenübertragung zu schaffen, usw. Darum wurde in der UdSSR und auch in unserer Republik das Studium der Sonnenerscheinungen und ihres Einflusses auf die Erde auf breiter Grundlage organisiert. Dies ist ein Beispiel für die praktische Bedeutung der Astronomie.

Leider kennen wir die Ursachen vieler Sonnenerscheinungen noch nicht, insbesondere die Ursache der Periodizität der Sonnenaktivität. Trotzdem ist es schon möglich, den Zeitpunkt des Beginns verschiedener geophysikalischer Erscheinungen vorauszubestimmen, die durch die Sonnenaktivität verursacht werden.
Die Arbeiten des Internationalen Geophysikalischen Jahres, die vom 1. Juli 1957 bis zum 31. Dezember 1958 ausgeführt und im Jahre 1959 fortgesetzt wurden, verfolgten unter anderem das Ziel, den Einfluß der Sonnenerscheinungen auf die geophysikalischen Erscheinungen näher zu klären.

Die Energiequelle der Sonne und der Sterne sind *Kernreaktionen*, die im Inneren der Sonne und der Sterne vor sich gehen. Solche Reaktionen sind nur bei Temperaturen von einigen Millionen Grad möglich, mit dem Ergebnis der schrittweisen Umwandlung von Wasserstoff in Helium und dem Freiwerden riesiger Energiebeträge. *Die Wasserstoffvorräte der Sonne reichen für viele Milliarden Jahre.* Seit dem Entstehen des Lebens auf der Erde hat sich die Energieausstrahlung der Sonne nicht merklich verkleinert. Deshalb hat die Frage der Erschöpfung der Sonnenenergie für die Menschheit keine praktische Bedeutung.
Große praktische Bedeutung kommt aber einem anderen Problem zu, *dem Problem der besseren Nutzung der zur Erde gelangenden Sonnenenergie.* In dieser Richtung wurde noch wenig unternommen, obwohl in letzter Zeit Vorrichtungen mit riesigen Spiegeln gebaut wurden, die die Sonnenwärme für das Erhitzen von Wasser, zum Beispiel für Dampfmaschinen, sammeln. Außerdem wurden Metallschmelzöfen eingerichtet, in denen Temperaturen bis 3000 °C erreicht werden können. Ebenso wurden Vorrichtungen zur Gewinnung des Salzes aus dem Wasser oder Trockenanlagen sowie andere ähnliche Wärmegeräte gebaut, die die Sonnenenergie unmittelbar ausnützen. Eine besondere Perspektive in der Umwandlung des Sonnenlichts in elektrische Energie eröffnet der Gebrauch der Halbleiter-Sonnenbatterien.

Sterne und Sternsysteme

1. Physikalischer Zustand und Bewegung der Sterne

1.1. Jährliche Parallaxe und Entfernung der Sterne

Im Abschnitt 1 des Kapitels „Die wichtigsten Methoden zum Studium des Weltalls" wurde der Begriff der jährlichen Parallaxe erklärt und gezeigt, wie sie bestimmt wird. Ist die jährliche Parallaxe eines Sterns bekannt, dann ergibt die Gleichung

$$D = \frac{a}{\sin p}$$

die Sternentfernung D, wobei a der Halbmesser der Erdbahn (1 AE) ist. Messen wir p in Bogensekunden, so erhalten wir, da

$$\sin 1'' = \frac{1}{206265}$$

ist,

$$D = \frac{206265}{p}\,\mathrm{AE}.$$

Die Entfernungen der Sterne sind sehr groß, so daß man diese in Lichtjahren oder Parsec ausdrückt.

Das *Lichtjahr* (Lj.) ist jene Entfernung, die das Licht im Laufe eines Jahres zurücklegt. Um es in Kilometern auszudrücken, müssen wir die Lichtgeschwindigkeit (in $\mathrm{km \cdot s^{-1}}$) mit der Anzahl der Sekunden eines Jahres multiplizieren.

Ein *Parsec* (pc) ist die Entfernung, die einer jährlichen Parallaxe von 1 Sekunde entspricht; es ist die Entfernung, aus welcher der Halbmesser der Erdbahn unter einem Winkel von 1″ gesehen wird.

Die Anwendung dieser Entfernungseinheit führt zu einer besonders einfachen Zahlenwertgleichung. Wird die Parallaxe in Bogensekunden gemessen, so ergibt sich die Entfernung D in Parsec als der reziproke Wert der Parallaxe p:

$$D = \frac{1}{p}.$$

Die jährliche Parallaxe des uns nächsten Sterns zum Beispiel ist 0″,76, das heißt etwa $^3/_4$ Bogensekunden. Seine Entfernung ist somit $1^1/_3$ pc.

$$1\ \mathrm{pc} = 3{,}26\ \mathrm{Lj.} = 206265\ \mathrm{AE} = 3{,}084 \cdot 10^{13}\ \mathrm{km}.$$

Das von dem uns nächsten Stern (Proxima Centauri) zu uns kommende Licht braucht

etwa 4 Jahre, um diese Entfernung zurückzulegen, von anderen Sternen natürlich länger.

Um uns eine Vorstellung zu machen, wie riesig groß schon diese Entfernung ist, nehmen wir an, daß ein Flugzeug mit Strahlantrieb mit einer Geschwindigkeit von 1000 km · h^{-1} von der Erde zu diesem Stern abgeflogen ist. Dieses Flugzeug würde den Stern erst nach $4^1/_2$ Millionen Jahren erreichen.

Die meisten anderen Sterne befinden sich in einer noch weit größeren Entfernung von uns beziehungsweise von der Sonne. Ihre sehr kleinen Parallaxen können mit den beschriebenen Methoden nicht gemessen werden. Auf Grund der Meßmethode der Parallaxe naher Sterne wurden andere Methoden zur Bestimmung der Sternentfernung ausgearbeitet.

1.2. Sternhelligkeit und Sternbewegung

Jeder Stern ist eine riesige Kugel glühender Gase und strahlt daher, so wie unsere Sonne, eigenes Licht aus. Im physikalischen Aufbau und Zustand der Sterne gibt es dagegen große Unterschiede.
Diese Unterschiede erkennt man leichter, wenn man die Sterne mit der Sonne vergleicht.
Das Verhältnis der wirklichen Lichtintensität eines Sterns und der Lichtintensität der Sonne heißt Leuchtkraft dieses Sterns.
Die Leuchtkraft ist von Stern zu Stern verschieden. Von den bekannten Sternen hat der Stern S im Sternbild des Schwertfisches (Doradus) die größte Leuchtkraft. Man sieht ihn als Stern der Größenklasse 8; in Wirklichkeit strahlt er aber annähernd 500000 mal so stark wie die Sonne. Die Sterne geringster Leuchtkraft haben eine Strahlung, die etwa ein Hunderttausendstel des Wertes der Sonne beträgt. Der Leuchtkraft nach ist unsere Sonne ein „durchschnittlicher" Stern, weder sehr lichtstark, noch sehr lichtschwach.
In der Astronomie wird noch der Begriff der absoluten Helligkeit gebraucht. *Unter der absoluten Helligkeit (M) eines Sterns wird derjenige Wert der scheinbaren Helligkeit (m) verstanden, unter der der Stern aus einer Entfernung von 10 pc erscheinen würde.* Für einen Stern in 10 pc Entfernung, zum Beispiel α im Bootes (Arktur) oder β in den Zwillingen (Pollux), haben demnach scheinbare Helligkeit m und absolute Helligkeit M den gleichen Wert. Wie m wird auch M in Größenklassen gemessen.

Die Sonne, deren scheinbare Helligkeit $-26^m\!,9$ beträgt, hat eine absolute Helligkeit von nur $+4^m\!,7$. Begründen Sie diesen Zusammenhang!

Die gegenseitige Stellung der Sterne an der Himmelskugel scheint sich selbst während einiger Jahrhunderte nicht zu ändern. *In Wirklichkeit vollführen alle Sterne, einschließlich unserer Sonne, Bewegungen mit Geschwindigkeiten von einigen zehn, ja einigen hundert Kilometern je Sekunde.* Die ungeheure Entfernung dieser Sterne von uns bewirkt, daß die Änderung ihrer scheinbaren Stellung an der Himmelskugel sehr langsam vor sich geht.

Diese Bewegungen der Sterne können durch zwei Methoden entdeckt und untersucht werden: durch die Spektralanalyse und durch genaue Ortsbestimmung an der Himmelskugel.

Die Verschiebung der Spektrallinien zeigt an, ob sich ein Stern von uns entfernt oder sich uns nähert (siehe Abschnitt 2.2 des Kapitels „Die wichtigsten Methoden zum Studium des Weltalls"). Die Geschwindigkeit dieser Bewegung kann aus der Größe der Verschiebung der Spektrallinien, unmittelbar in Kilometern je Sekunde, bestimmt werden.

Die auf der Blickrichtung senkrecht stehende Geschwindigkeitskomponente wird durch die Spektralanalyse nicht angezeigt. Diese Komponente bewirkt weder eine Annäherung noch eine Entfernung uns gegenüber. Sie kann aber bestimmt werden, wenn man die Bewegung des Sterns an der Himmelskugel kennt; sie wird in Bogensekunden und Bruchteilen von Bogensekunden je Jahr gemessen, kann aber auch in Kilometern je Sekunde berechnet werden, wenn man die Sternentfernung kennt.

Wir können die Bewegung eines Sterns an der Himmelskugel feststellen, wenn wir die in Zeitabständen von einigen Jahren von demselben Bereich der Himmelskugel gemachten photographischen Aufnahmen miteinander vergleichen und sie dabei unter Spezialmikroskopen mit Präzisionsmeßgeräten untersuchen. Im Laufe der Zeit werden die Folgen solcher Bewegungen selbstverständlich auch für das freie Auge sichtbar. So zum Beispiel wird sich das Sternbild des Großen Bären, auf Grund der Eigenbewegung jedes einzelnen Sterns, in einigen zehntausend Jahren, wie das Bild 80 zeigt, ändern.

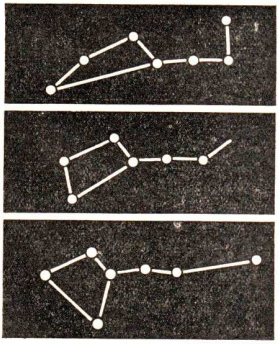
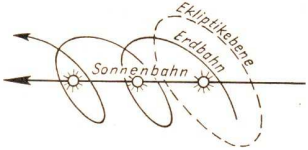


Bild 80. Die Veränderung der Figur des Großen Wagens infolge der Eigenbewegung der Sterne; oben: vor 50000 Jahren, Mitte: gegenwärtig, unten: in 50000 Jahren

Bild 81. Bewegung des Sonnensystems gegenüber den Sternen der Umgebung



Unser Sonnensystem bewegt sich in Richtung der Sternbilder Leier und Herkules mit einer Geschwindigkeit von 20 km · s^{-1} (Bild 81).

Wir erinnern noch einmal daran, daß die Sterne der Sternbilder sehr nahe beisammen gesehen werden, in Wirklichkeit aber sehr weit voneinander und von uns entfernt

sind. Deshalb und wegen der unaufhörlichen Bewegung aller Sterne im Raum hat auch die Frage: „Wann werden wir zu diesem Sternbild gelangen?“ keinen Sinn.

Je mehr wir uns den Sternen der Sternbilder Leier und Herkules nähern, um so größer werden ihre Winkelabstände, ähnlich wie die gegenseitigen Abstände der Bäume eines Waldes, dem wir uns nähern. Das Aussehen dieser Sternbilder wird sich in Zukunft ändern, andere Sterne werden in die Nachbarschaft der Sonne gelangen, doch werden die Entfernungen zu diesen Sternen immer noch beträchtlich bleiben.
In dieser allgemeinen Bewegung kann von einem Zusammenstoß der Sonne mit einem anderen Stern wegen der außergewöhnlich großen Sternentfernungen gar keine Rede sein. Ein solcher Zusammenstoß ist ebensowenig wahrscheinlich wie der Zusammenstoß zweier Staubkörnchen, die sich an den entgegengesetzten Enden eines großen Theater- oder Klubsaals befinden.

1.3. Temperatur und Ausmaße der Riesen- und Zwergsterne

Man kann leicht beobachten, daß die Sterne verschiedene Farbtönungen aufweisen: einige sind weiß, andere gelb, rot usw. So zum Beispiel sind die hellen Sterne Sirius und Wega weiß, Kapella ist gelb, Beteigeuze und Antares sind rot. Verschiedenfarbige Sterne haben verschiedene Spektren.
Das Spektrum eines Sterns erscheint als helles Band mit den Spektralfarben von Rot bis Violett; es zeigt dunkle Absorptionslinien, mitunter auch helle Emissionslinien. Die Sternspektren unterscheiden sich durch die Verteilung der Strahlungsintensität in den einzelnen Bereichen sowie durch Lage und Anzahl der Linien. Man kann sie in eine Reihe von *Spektralklassen* einordnen. Diese werden mit lateinischen Großbuchstaben bezeichnet, die wichtigsten Klassen sind

O B A F G K M

(Bild 82). Jede Spektralklasse wird noch weiter unterteilt, in der Regel dezimal (0 bis 9). Die Sonne gehört zur Spektralklasse G 1.
Aus der Energieverteilung im Spektrum läßt sich die Oberflächentemperatur des betreffenden Sterns ermitteln. Die Reihe der Spektralklassen schreitet von hohen Oberflächentemperaturen zu niederen fort (siehe folgende Tabelle).

Spektralklassen der Sterne

Spektralklasse	Farbe	Oberflächentemperatur (in °K, im Mittel)
O	bläulich	25000
B	bläulichweiß	15000
A	weiß	9000
F	gelblich	7000
G	gelb	5200
K	orange	4000
M	rot	3000

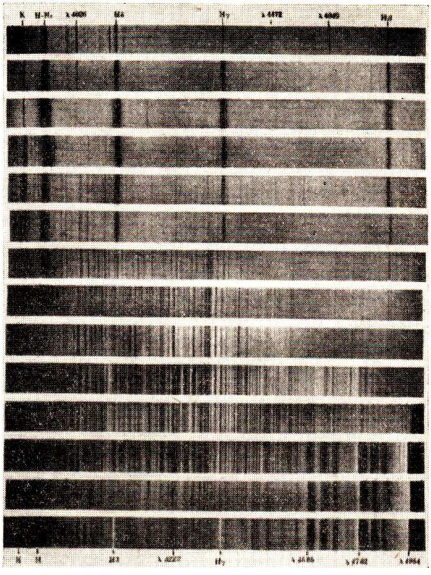


Bild 82. Typische Sternspektren der einzelnen Spektralklassen; von oben nach unten: B0, B5, A0, A5, F0, F5, G0, G5, K0, K5, Ma, Mb, Mc, Md

Im Inneren der Sterne erreicht die Temperatur einen Wert von einigen Millionen Grad.

Die Sternspektren deuten nicht nur auf eine Verschiedenheit der Temperatur, sondern auch auf einige Verschiedenheiten ihrer chemischen Zusammensetzung hin, die bei allen Sternen im allgemeinen gleich und ähnlich der der Sonne und der Erde ist. *Das Studium der Sternspektren zeigt, daß in den Sternen dieselben Elemente vorhanden sind, wie wir sie von der Erde und der Sonne her kennen.* Dies bestätigt zum wiederholten Male die materielle Einheit der Stoffe, aus denen die Erde und die anderen Himmelskörper aufgebaut sind.

Die Wissenschaft verfügt gegenwärtig über mehrere Verfahren für die Bestimmung der Sternausmaße. Eines dieser Verfahren ist folgendes:

Es ist bekannt, daß die von 1 cm² Sternoberfläche in der Zeiteinheit ausgestrahlte Energie mit der Temperatur wächst. Außerdem ist die Leuchtkraft der Oberfläche des Sterns (und damit dem Quadrat seines Durchmessers) proportional. Hat ein Stern dieselbe Oberflächentemperatur und dieselbe Leuchtkraft wie die Sonne, dann folgt daraus sofort, daß seine Ausmaße gleich jenen der Sonne sind.

Beträgt bei gleicher Temperatur die Leuchtkraft eines Sterns das 16fache der Leuchtkraft der Sonne, so ist dessen Oberfläche 16mal, also der Durchmesser 4mal so groß wie bei der Sonne. In gleicher Weise werden die Durchmesser auch anderer Sterne mit anderen, höheren oder niedrigeren Temperaturen als die der Sonne durch Temperaturkorrektionen bestimmt. Die so erhaltenen Ergebnisse werden mit den durch andere Verfahren ermittelten verglichen und stimmen zufriedenstellend überein.

Sterne mit großer Leuchtkraft werden Riesensterne, jene mit kleiner Leuchtkraft Zwergsterne genannt.

Werden in einem Diagramm als Abszisse die Spektralklassen (bzw. die Oberflächen-

temperaturen) und als Ordinate die absoluten Helligkeiten (als Maß für die Leuchtkräfte) gewählt, so zeigt sich ein bemerkenswerter gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen diesen Größen. In bestimmten Gebieten dieses Diagramms ergeben sich Konzentrationen, andere Gebiete sind schwächer besetzt oder gar leer (Bild 83). Es läßt sich erkennen, daß Sterne gleicher Spektralklasse (und damit annähernd gleicher Oberflächentemperatur) in Bereichen verschiedener absoluter Helligkeit auftreten; diese Sterne unterscheiden sich also in ihrer Leuchtkraft. Das im Bild 83 dargestellte Diagramm wird nach den Gelehrten, die diese gesetzmäßigen Zusammenhänge als erste klar erkannt haben, *Hertzsprung-Russell-Diagramm* genannt.

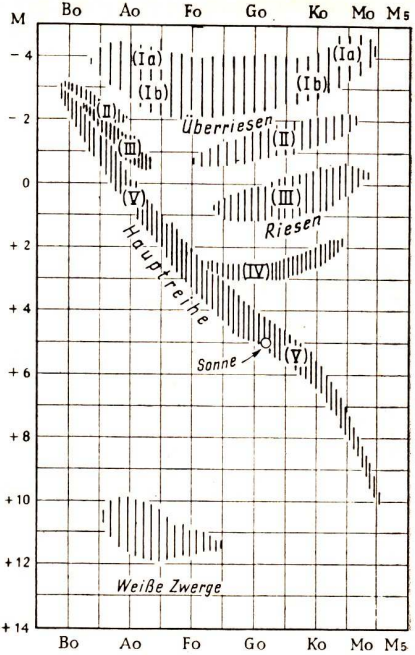
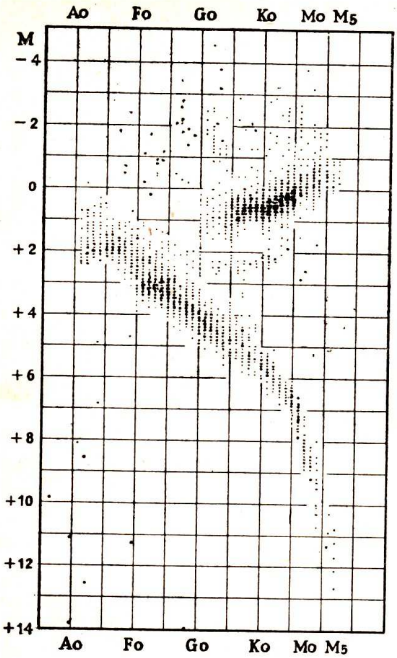


Bild 83. Hertzsprung-Russell-Diagramm
a) schematisch

Zur genauen Charakteristik eines Sterns ist somit neben der Angabe der Spektralklasse noch eine weitere Größe, die *Leuchtkraftklasse*, notwendig. Die Leuchtkraftklassen werden mit römischen Ziffern in der Reihe abnehmender Leuchtkräfte (I bis V) bezeichnet. Die Angabe für die Sonne lautet vollständig G 1 V. Da die Leuchtkraft eines Sterns mit seinem Radius zusammenhängt, deutet die Bezeichnung Riesenstern oder Zwergstern auch auf seine Ausmaße hin (Bild 84). Die größten Unterschiede zwischen Riesen- und Zwergsternen gibt es bei den Sternen mit niedriger Oberflächentemperatur, das heißt bei den roten Sternen. Von den Riesensternen sind die roten Riesen die größten. Solche Sterne sind zum Beispiel Beteigeuze und Antares. Der Durchmesser von Beteigeuze ist etwa 400 mal, der von Antares etwa 300 mal so groß wie der Sonnendurchmesser. Im Inneren der Beteigeuze hätten die Planetenbahnen des Sonnensystems bis zur Marsbahn Platz. Die Dichte der Gase, aus denen die roten Riesensterne bestehen, ist äußerst gering, sie beträgt etwa ein Zehntausendstel der Dichte der atmosphärischen Luft unter Normaldruck.



b) Diagramm von einigen tausend Sternen der Sonnenumgebung

Die roten Zwergsterne können mit freiem Auge nicht gesehen werden. Einer davon (Krüger 60, also der Stern mit der Kennzahl 60 im Sternkatalog von Krüger) ist uns sehr nahe. Sein Durchmesser beträgt nur wenig mehr als $^1/_3$ des Sonnendurchmessers. Die Gase, aus denen er besteht, sind so stark verdichtet, daß seine mittlere Dichte das 4,5fache der Dichte des Wassers oder etwa das 3fache der Dichte der Sonne beträgt.

Je kleiner die Sterne sind, um so größer ist ihre Anzahl im Weltall; rote Riesensterne sind sehr selten.

In bezug auf ihre Ausmaße ist unsere Sonne ein „mittelgroßer" Stern.

Es gibt Sterne, die auf Grund ihrer Leuchtkraft zur Kategorie der Zwergsterne gehören, aber eine weiße Farbe und eine hohe Temperatur haben. Von den Zwergsternen sind die weißen Sterne die kleinsten. Einige sind sogar kleiner als die Erde. Der Begleiter des Sirius ist ein Beispiel für einen weißen Zwergstern. Dieser weiße Zwergstern bewegt sich um Sirius wie ein

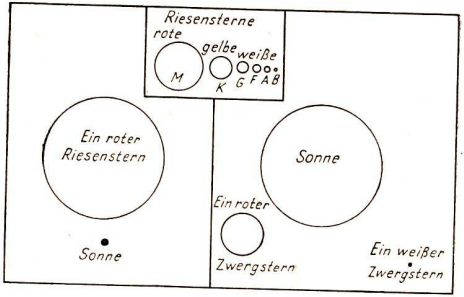


Bild 84. Vergleich der Ausmaße von Riesen- und Zwergsternen mit der Sonne

Planet, obgleich seine Masse fast ebenso groß ist wie jene der Sonne und er eigenes Licht ausstrahlt.
Die mittlere Dichte der weißen Zwergsterne ist ungewöhnlich groß; sie beträgt ein Vieltausendfaches der Dichte des Wassers, so daß eine Stoffmenge von der Größe eines Fingerhutes mit einer Lokomotive massegleich ist (Dichte: $5 \cdot 10^7\,\mathrm{g \cdot cm^{-3}}$). Auf der Erde kennen wir keine Substanzen mit einer so großen Dichte. Die weißen Zwergsterne bestehen aber aus denselben Elementen wie die Erde. Dieses Rätsel wird durch das Studium des Atombaus und der physikalischen Bedingungen im Sterninnern gelöst.

Die Atome der Elemente sind komplexe Systeme, bestehend aus einem Kern, um den Elektronen kreisen. Fast die ganze Masse des Atoms ist in seinem Kern vereinigt. Seine Ausmaße werden jedoch von den Ausmaßen jener Elektronenbahnen bestimmt, die vom Kern am weitesten entfernt sind. Diese Ausmaße der Atome bestimmen die Grenze, bis zu der die Atome durch äußere Druckwirkung einander genähert werden können. Im Inneren der weißen Zwergsterne herrscht eine extrem hohe Temperatur und ein ungeheuer großer Druck. Wegen dieser hohen Temperatur bewegen sich die Atome mit einer großen Geschwindigkeit, so daß beim Aufeinanderprallen der Atome die Elektronen aus ihren Bahnen geworfen werden und vom Atom nur der Kern übrigbleibt, dessen Ausmaße im Vergleich zu den Elektronenbahnen sehr gering sind. Unter diesem riesigen Druck können die Atome – mit so reduzierten Ausmaßen – einander stark genähert werden, und es ergibt sich eine außergewöhnlich dichte Substanz. Auf der Erde gibt es aber weder so hohe Temperaturen noch so hohen Druck, welche die Substanzen in diesen Zustand versetzen könnten.

Das Beispiel der weißen Zwergsterne verdeutlicht die Art und Weise, wie die Astronomie unsere Kenntnisse über den Aufbau der Materie bereichert.
Man konnte feststellen, daß die Massen der Riesensterne größer als die Massen der Zwergsterne sind, doch ist dieser Unterschied nicht besonders groß. Die Masse der „schweren" Sterne ist etwa 10mal so groß wie die Masse der Sonne, die Masse der „leichten" Sterne dagegen beträgt kaum weniger als etwa ein Zehntel der Masse der Sonne. Somit ist die Sonne, auch was die Masse betrifft, ein „mittlerer" Stern.

1.4. Doppelsterne und veränderliche Sterne

Viele Sterne bilden Systeme von zwei Sternen, die unter der Einwirkung ihrer gegenseitigen Anziehungskraft ihren gemeinsamen Schwerpunkt umlaufen. Sie heißen *physische Doppelsterne.* Mit freiem Auge können wir sie nicht auseinanderhalten; wir sehen sie als einen einzigen Stern. Nur mit Hilfe des Fernrohrs und manchmal sogar nur mit Hilfe der Spektralanalyse kann der Doppelcharakter solcher Sterne bestimmt werden.
Es kann auch vorkommen, daß zwei Sterne so weit voneinander entfernt sind, daß sie durch gegenseitige Anziehungskraft nicht mehr verbunden sein können, obwohl sie in der Perspektive in derselben Richtung erscheinen und als „Doppelstern" wahrgenommen werden. Sie heißen *optische Doppelsterne.*
Die Umlaufszeiten und die gegenseitigen Entfernungen der physischen Doppel-

sterne sind verschieden (Bild 85). Im allgemeinen sind ihre Umlaufszeiten um so kürzer, je näher die Komponenten benachbart sind. Bei geringen Entfernungen beobachten wir Umlaufszeiten von einigen Stunden, bei großen Entfernungen solche von einigen Jahrhunderten.

Häufig haben die zwei Sterne verschiedene Farben: einer ist zum Beispiel gelb oder rot und der andere ist von anderer Farbe (weiß oder blau beispielsweise). Es ist sehr interessant, sie im Fernrohr zu beobachten.

Viele Doppelsterne wurden vom ersten Direktor der Sternwarte Pulkowo, W. Struve, und von seinem Sohn O. W. Struve entdeckt.

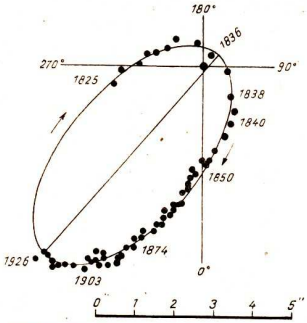


Bild 85. Die Bahn des Begleiters eines Doppelsterns um den Hauptstern (γ in der Jungfrau)

Wir kennen auch Systeme von drei und sogar vier Sternen. Sie heißen *mehrfache Sterne*.

Manchmal sind die zwei Sterne, die sich um ihren gemeinsamen Schwerpunkt bewegen, so nahe beieinander, daß auch das stärkste Teleskop sie nicht voneinander trennen kann. In diesem Fall kommt uns die Spektralanalyse zu Hilfe. Da ihre Geschwindigkeiten während der Bewegung auf der Bahn in bezug auf uns (in der Blickrichtung) verschieden sind, verschieben sich ihre Spektrallinien in entgegengesetzten Richtungen, das heißt, sie lösen sich in zwei Einzellinien auf. Die Größe der Verschiebung der Spektrallinien ändert sich periodisch, da sich jeder Stern während seiner Bewegung einmal uns nähert und einmal von uns entfernt. Doppelsterne, die nur durch die Spektralanalyse nachgewiesen werden können, heißen *spektroskopische Doppelsterne*.

In manchen Fällen liegt die Bahnebene der Sterne genau in der des Beobachters, und jeder Stern verdeckt periodisch den anderen. Aus diesem Grunde verändert sich die Helligkeit des Sternsystems periodisch. Doppelsterne, deren Helligkeit sich eben wegen ihrer Doppelnatur periodisch ändert, nennt man *Bedeckungsveränderliche* (weil jeder Stern periodisch den anderen verdeckt). Ein typisches Beispiel dafür ist der Stern Algol (β im

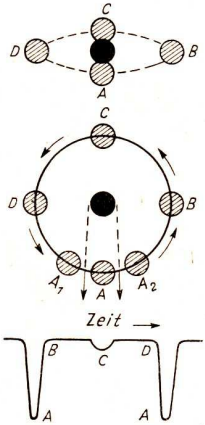


Bild 86. Das Algol-Doppelsternsystem und die Kurve seiner periodischen Helligkeitsänderung

Perseus). Die Veränderung der Helligkeit Algols (typisch für diese Art Sterne) ist durch die Kurve im Bild 86 dargestellt. Zu Beginn der Bedeckung nimmt die Helligkeit rasch ab und erreicht in ihrer Mitte ein Minimum. Dann wächst sie von neuem an. Zur Zeit ist bewiesen, daß sich die Sterne ebenso wie die Sonne um ihre Achse drehen.

Wir haben gesehen, daß es Sterne gibt, die ihre Helligkeit wegen einer Bedeckung scheinbar verändern. Die ausgestrahlte Energiemenge dieser Sterne je Zeiteinheit ändert sich aber in Wirklichkeit nicht. Es gibt jedoch auch Sterne, deren ausgestrahlte Energiemenge sich ändert. Solche Sterne heißen *veränderliche Sterne.*

Es gibt mehrere Arten von veränderlichen Sternen; sie unterscheiden sich sowohl durch die Kurve ihrer Helligkeitsänderung als auch durch andere physikalische Kriterien.

Zunächst werden sie in *periodisch veränderliche* und *unregelmäßig veränderliche Sterne* eingeteilt. Bei den ersteren ändert sich die Helligkeit streng periodisch, so daß ihre Helligkeit für einen bestimmten zukünftigen Zeitpunkt vorausberechnet werden kann. Bei den letzteren ändert sich die Helligkeit unregelmäßig, unperiodisch: sie ist einmal größer, das andere Mal kleiner. Bisher konnte noch keine Gesetzmäßigkeit ihres Lichtwechsels entdeckt werden.

Die Kurve der Veränderung der Helligkeit einiger Sterne ist im Bild 87 wiedergegeben. Die Ursachen der Veränderung der Helligkeit bei den unregelmäßig veränderlichen Sternen sind noch nicht genügend geklärt.

Bei manchen periodisch veränderlichen Sternen beträgt die Periode nur eine Stunde, bei anderen ein Jahr und mehr. Die Ursache der Veränderung ist regelmäßiges Pulsieren, das heißt Ausdehnung und Zusammenziehung, begleitet von Temperaturschwankungen.

Die Leuchtkraft hängt bei einigen veränderlichen Sternen — *Delta-Cephei-Sternen*[1] — von der Periode und der Art und Weise der Helligkeitsänderung ab; sie kann anhand der durch Beobachtung ermittelten Periode der Helligkeitsänderung bestimmt werden. Vergleicht man die Leuchtkraft eines solchen Sterns mit seiner scheinbaren Helligkeit, so kann man seine Entfernung bestimmen. So konnten die Entfernungen vieler entfernter Sternsysteme bestimmt werden, in denen veränderliche Sterne des Typs der Delta-Cephei-Sterne vorhanden sind.

Man hat beobachtet, daß an einem Ort des Himmels plötzlich ein Stern erscheint, der

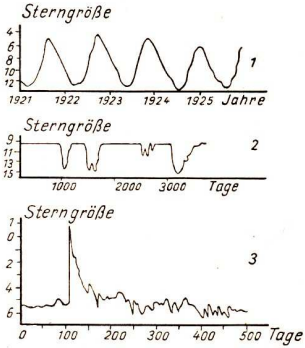


Bild 87. Kurven der Helligkeitsänderung einiger veränderlicher Sterne

1 periodisch (X im Schwan)

2 unregelmäßig (SU im Stier)

3 Nova

[1] Benannt nach dem zuerst erforschten Stern dieses Typs, dem Stern δ im Kepheus.

vorher nicht gesehen worden war; nachher wird er schwächer und verschwindet schließlich ganz. Solche Sterne wurden *Novae* genannt. Man konnte später feststellen, daß diese Sterne gar nicht „neu" sind. Sie bestanden auch schon vorher, allerdings als schwache Sterne, die dann plötzlich aufleuchteten, so daß ihre Helligkeit einige zehntausendmal größer wurde. *Novae werden jene Sterne genannt, deren Helligkeit plötzlich ansteigt, dann aber allmählich wieder bis zur ursprünglichen Helligkeit abnimmt.* So ist zum Beispiel die Nova im Sternbild des Adlers ein Stern von der Größenklasse 10,5; im Jahre 1918 aber leuchtete sie einige Tage als Stern 1. Größe.
Das vielseitige Studium der Novae hat bewiesen, daß die plötzliche Helligkeitszunahme auf eine rasche Vergrößerung der Oberfläche zurückzuführen ist. Die Sternatmosphäre, die einen Durchmesser von der Größenordnung unserer Sonne hat, dehnt sich innerhalb weniger Stunden wie eine Seifenblase aus, so daß ihr Durchmesser größer als der Erdbahndurchmesser wird. Diese Ausdehnung wird durch eine Explosion im Inneren des Sterns verursacht.

In der Sonne sind keine solchen Explosionen zu befürchten. Man hat nämlich festgestellt, daß Explosionen dieser Art nur in sehr heißen Sternen eines bestimmten Typs stattfinden können. Unsere Sonne gehört diesem Typ nicht an.

Im Augenblick, in dem die Helligkeit beziehungsweise die Ausdehnung ihr Maximum erreicht, trennen sich von der Atmosphäre des Sterns Gase los und zerstreuen sich in allen Richtungen mit einer Geschwindigkeit von einigen hundert Kilometern je Sekunde. Die so entstandene „Gaswolke" verflüchtigt sich nachher im Raum. Nach der Explosion, aber noch vor ihrer Auflösung im Weltraum, bilden die aus sehr hellen Novae hervorgegangenen Nebel die stärksten Strahlungsquellen unseres Sternsystems.
Veränderliche Sterne und Novae können auch von den Schülern beobachtet werden. Es ist bemerkenswert, daß einige Novae von Liebhaberastronomen entdeckt wurden.

2. Sternsysteme und diffuse Materie

2.1. Sternhaufen, Milchstraße und Milchstraßensystem (Galaxis)

An einigen Stellen des Himmels können im Fernrohr oder auch mit freiem Auge Sternansammlungen, bestehend aus vielen Sternen, beobachtet werden. Sie werden *Sternhaufen* genannt. Es gibt zwei Arten von Sternhaufen: *offene Sternhaufen* und *Kugelsternhaufen.*
Die offenen Sternhaufen bestehen aus einigen zehn oder hundert unregelmäßigen, über einen kleinen Bereich des Himmels zerstreuten Sternen. Diese sind tatsächlich nahe beisammen und durch gegenseitige Anziehung miteinander verbunden.
Die Kugelsternhaufen bestehen aus hunderttausenden Sternen; ihre Dichte nimmt zur Mitte hin zu. Die Sterne eines Kugelsternhaufens sind ebenfalls durch die allgemeine

Bild 88. Offener Sternhaufen (Krippe im Krebs)

Bild 89. Kugelsternhaufen (im Herkules)

Gravitation miteinander verbunden und sind um so näher beieinander, je näher dem Zentrum sie sich befinden. Die Ausmaße der Kugelsternhaufen sind um ein vielfaches größer als die der offenen Sternhaufen. Da sie aber von uns weiter entfernt sind, kann ihre Struktur nur durch starke Fernrohre wahrgenommen werden.

Das typische Beispiel eines offenen Sternhaufens stellt die „Krippe" im Sternbild des Krebses dar (Bild 88). Mit freiem Auge sieht man in diesem Haufen kaum hellere Einzelsterne, mit dem Feldstecher einige zehn; im Fernrohr ist das ganze Gesichtsfeld von Sternen übersät.

Ein typisches Beispiel für einen Kugelsternhaufen ist jener im Sternbild des Herkules. Im Feldstecher oder in einem kleinen Fernrohr erscheint dieser Haufen als „verschwommener Stern". Nur in starken Fernrohren kann man sehen, daß der Sternhaufen aus Hunderttausenden von Sternen besteht (Bild 89). Der Durchmesser der Kugelsternhaufen beträgt einige hundert Parsec, während der Durchmesser eines offenen Sternhaufens, zum Beispiel der Plejaden, nur einige Parsec beträgt.

Das helle, in mondlosen Nächten am Himmel sichtbare Band heißt Milchstraße. Die Milchstraße umspannt den Himmel wie ein riesiger Ring, ist an manchen Stellen breiter, an anderen schmäler, stellenweise leuchtender oder blasser.

Im Fernrohr, besser noch auf photographischen Aufnahmen, erscheint die Milchstraße als aus einer außergewöhnlich großen Zahl von schwachen Sternen bestehend (Bild 90).

Dies beweist, daß unser Sternsystem in jenen Bereichen die größere Ausdehnung hat, in denen die schwächeren (also entfernteren), aber zahlreicheren Sterne zu sehen sind, nämlich in der Milchstraßenebene. Da sich uns die Milchstraße ungefähr längs eines Großkreises an der Himmelskugel darbietet, können wir daraus folgern, daß unser Sternsystem zur Milchstraßenebene hin abgeflacht ist und wir uns in der Nähe dieser Ebene befinden.

Bild 90. Ein Teil der Milchstraße

Das Studium der Verteilung der Sterne im Raum hat gezeigt, daß *die Gesamtheit der mit freiem Auge sichtbaren Sterne und jene, die zur Milchstraße gehören, ein einziges gigantisches Sternsystem bilden. Es wird Galaxis (Milchstraßensystem) genannt.* Insgesamt besteht das Milchstraßensystem aus mehr als hundert Milliarden Sternen, zu denen auch unsere Sonne gehört. Die Form des Milchstraßensystems gleicht einer Bikonvexlinse (einem Linsenkorn).

Das Bild 91 zeigt den Anblick des Milchstraßensystems, wie es sich einem Beobachter an verschiedenen Orten des kosmischen Raumes darbieten würde.

Die Sterne des Milchstraßensystems häufen sich in seiner Symmetrieebene und gegen seinen Mittelpunkt. In der Vielzahl dieser Sterne gibt es aber riesige, wolkenähnliche Ansammlungen, die aus Sternen bestehen, und im Inneren dieser Wolken kleinere Ansammlungen, die Sternhaufen.

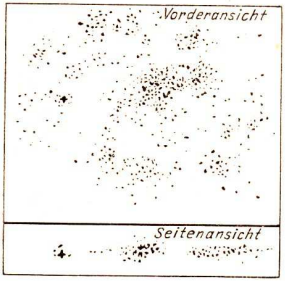


Bild 91. Schema der Struktur des Milchstraßensystems (das kleine Kreuz bezeichnet den Ort des Sonnensystems)

Der Vergleich unseres Milchstraßensystems mit anderen Sternsystemen (die im folgenden Abschnitt beschrieben werden) führt zur Annahme, daß es die Form einer Spirale hat (Bild 91).

Unser Sonnensystem befindet sich im Inneren des Milchstraßensystems, in der Nähe seiner Symmetrieebene. Deshalb begegnet unser Blick in Richtung dieser Ebene (in Richtung ihrer maximalen Ausdehnung) viel mehr Sternen als in jeder anderen Richtung.

Wir sehen hier viele entfernte Sterne, die sehr schwach leuchten und mit freiem Auge nur zusammen als das „neblige", stetige Band der Milchstraße gesehen werden.

Unser Sonnensystem befindet sich jedoch nicht im Zentrum des Milchstraßensystems, das in der Richtung des Sternbilds des Schützen liegt. Die Entfernung des Sonnensystems von diesem Zentrum ist ungefähr gleich 8200 Parsec, während der Durchmesser des Milchstraßensystems etwa 25000 Parsec beträgt. Das Licht durchquert es von einem Ende zum anderen in etwa 100000 Jahren. Es ist hervorzuheben, daß unser Milchstraßensystem keine genau abgesteckten Grenzen hat.
Das ganze Milchstraßensystem rotiert um eine Achse, die durch seinen Mittelpunkt geht und auf seiner Symmetrieebene senkrecht steht, welche deshalb auch *Ebene des Milchstraßenäquators* genannt wird. Es rotiert um seinen Schwerpunkt. Das Sonnensystem nimmt an dieser Drehung teil, bewegt sich auf seiner Bahn um den Mittelpunkt der Galaxis mit einer Geschwindigkeit von etwas mehr als 200 $km \cdot s^{-1}$ und vollführt einen Umlauf in etwa 200 Millionen Jahren.
Die Bewegung des Sonnensystems mit einer Geschwindigkeit von 20 $km \cdot s^{-1}$, die weiter vorne (Seite 107) beschrieben wurde, bezieht sich auf die Sterne der näheren Umgebung des Sonnensystems. Unsere Kenntnisse über das Milchstraßensystem werden von Jahr zu Jahr umfassender.

2.2. Andere Sternsysteme

Es wurde festgestellt, daß unser Sternsystem, das Milchstraßensystem, nicht das einzige ist. *Im Weltall gibt es viele ähnliche Sternsysteme, die extragalaktische Systeme oder Galaxien genannt werden.* Eine der nächsten Galaxien ist der Spiralnebel im Sternbild Andromeda (Bild 92). Er kann mit freiem Auge oder auch im Fernrohr als Nebelfleck wahrgenommen werden. Mit Hilfe großer Teleskope erhaltene photographische Aufnahmen haben gezeigt, daß dieser Nebel wie das Milchstraßensystem eine riesige Ansammlung von Sternen ist.
Da unsere Blickrichtung mit der Achse dieses Sternsystems, das in Wirklichkeit Spiralstruktur hat, einen schiefen Winkel bildet, erscheint es in länglicher Form. Einen anderen, ähnlichen Spiralnebel im Sternbild der Jagdhunde (Bild 93) sehen wir von oben (entlang der Achse) und können daher seine Spiralarme erkennen. Einige Spiralnebel sehen wir von der Seite, und daher erscheinen sie uns als Spindel (Bild 94), obwohl sie selbst auch Spiralform haben. Unter ähnlichen Formen könnte auch unser Milchstraßensystem gesehen werden, wenn man es aus großer Entfernung und unter verschiedenen Winkeln betrachten könnte. Manche extragalaktischen Systeme haben Kugelform oder auch unregelmäßige Form.
Der Andromedanebel, eines der uns benachbarten Systeme, befindet sich von der Erde in einer Entfernung von etwa 2 Millionen Lichtjahren. Die mit dem größten Teleskop der Welt, mit einem Spiegel von 5 m Durchmesser photographierten, am weitesten entfernten Nebel sind etwa 2 Milliarden Lichtjahre von uns entfernt.
Die Ausmaße und die Anzahl der Sterne dieser Galaxien sind ungefähr gleich denen unseres Milchstraßensystems, obwohl dieses eines der größten Sternsysteme ist. Jede dieser Galaxien vollführt, ebenso wie unsere Galaxis, eine Rotationsbewegung um ihre eigene Achse.

Bild 92. Der Spiralnebel in der Andromeda mit seinen zwei Begleitern

Bild 93. Spiralnebel in den Jagdhunden

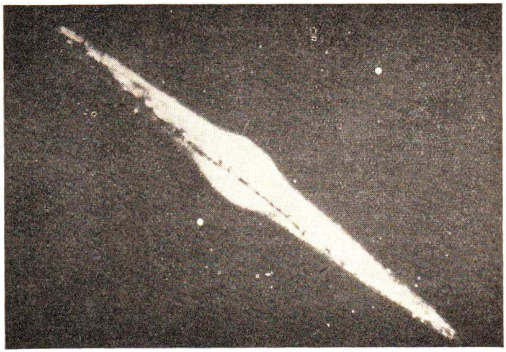


Bild 94. Spiralnebel, von der Seite gesehen

Bild 95. Diffuser Nebel im Orion

2.3. Nebel

Außer den Nebelflecken, die in Wirklichkeit weit entfernte Sternsysteme sind, können wir am Himmel auch *leuchtende, gasförmige Nebel sehen, deren Dichte äußerst gering ist. Sie werden kurz Nebel (galaktische Nebel) genannt.*

Ihrer Form nach unterscheidet man *diffuse* (unregelmäßige) und *planetarische* (kleine, kreisförmige) *Nebel.*

Im Mittelpunkt der planetarischen Nebel befindet sich immer ein weißer Stern, während der Nebel selbst oft scheinbar die Form eines Reifens oder eines Ringes hat. Ein Beispiel eines planetarischen Nebels ist der Nebel im Sternbild der Leier. Die planetarischen Nebel haben mit den Planeten nichts gemein; sie haben ihren Namen erhalten, weil sie im Fernrohr ähnlich wie die Planeten als Scheibe erscheinen. Ein Beispiel für einen diffusen Nebel ist jener im Sternbild des Orion (Bild 95), der auch schon durch einen starken Feldstecher gut gesehen werden kann. Bei hellem Mondlicht können die Nebel aber nicht gesehen werden. Ihre Struktur tritt am deutlichsten auf photographischen Aufnahmen in Erscheinung.

Man hat mit Hilfe der Spektralanalyse entdeckt, daß einige leuchtende Nebel (zu denen alle planetarischen Nebel gehören) aus Gasen von äußerst geringer Dichte und verhältnismäßig tiefer Temperatur bestehen. Diese Gase leuchten unter der Strahlungswirkung der in den Nebeln befindlichen Sterne höherer Temperatur. Dieses Leuchten ist in gewissem Maße ähnlich der Lumineszenzerscheinung in Röhren mit verdünnten Gasen, in denen elektrische Entladungen stattfinden.

Andere Nebel bestehen aus einem Gemisch von Staub und Gasen, unter denen Wasserstoff, Sauerstoff, Helium und Stickstoff überwiegen.

Die Ausmaße der planetarischen Nebel können größer als 1 Parsec sein, jene der diffusen Nebel erreichen auch 100 Parsec. Sowohl die einen als auch die anderen kommen in unserer Galaxis und in anderen Galaxien vor. Darum haben sie die gemeinsame Bezeichnung *galaktische Nebel* erhalten.

Neben den leuchtenden Nebeln gibt es innerhalb des Milchstraßensystems auch *dunkle Nebel,* ähnlich einem schwarzen Fleck auf dem hellen Hintergrund der Milchstraße.

Auf jeder Himmelshalbkugel haben zwei ganz besonders dunkle Flecke der Milchstraße den Namen „Kohlensäcke" erhalten.
Untersuchungen haben gezeigt, daß die Dunkelnebel riesige Nebelwolken sind, deren Staubteilchen das Licht der dahinter befindlichen entfernteren Sterne absorbieren. Auf diese Wolken als Hintergrund projizieren sich nur jene Sterne, die uns näher sind als die Wolken. Die meisten Dunkelnebel befinden sich in der Äquatorebene unserer Galaxis. Die dunklen Streifen entlang der Spiralarme der als Spindel zu sehenden Spiralnebel (Bild 94), also jener Galaxien, die wir nur in ihrer Äquatorebene sehen können, erklärt man sich durch die Absorption des Lichtes durch die Dunkelnebel in diesen Systemen.
Werden die Dunkelnebel von einem nahen und sehr hellen Stern beleuchtet, dann nehmen sie das Aussehen von leuchtenden Nebeln an.
Der Raum zwischen den Planeten, Sternen, Nebeln und Galaxien ist nicht absolut leer. Darin bewegen sich Körper und Teile von Meteoriten, Staubteilchen, Moleküle, Atome und Elektronen.
Die mittlere Dichte dieses diffusen Mittels ist äußerst gering. Sie beträgt etwa ein Quadrillionstel (10^{-24}) der Dichte des Wassers, während die Dichte der aus Gas und Staub bestehenden Nebel hundert- oder sogar einige tausendmal so groß ist wie die jenes Mittels. Aber auch diese Dichte kann gegenwärtig durch Verdünnung der Luft unter Laboratoriumsbedingungen noch nicht erreicht werden.
Wie klein auch immer die Dichte des interstellaren Raumes sein mag, dieses diffuse Mittel absorbiert das Licht der entfernteren Sterne. Es schwächt die Helligkeit der Sterne und rötet ihre Farbe.

Schon im Jahre 1847 hat der berühmte Astronom W. Struve festgestellt, daß das Licht im interstellaren Raum absorbiert wird. Diese Tatsache wurde jedoch erst im XX. Jahrhundert von allen Astronomen anerkannt.

Die Materie des interstellaren Raumes konzentriert sich zur Milchstraßenebene hin. Die Gasnebel und die Gase des interstellaren Raumes senden Radiowellen aus; ihr Studium hilft uns, die Natur und die Lage der Nebel im Raum zu bestimmen, selbst dort, wo sie nicht beleuchtet sind beziehungsweise nicht selbst leuchten.

2.4. Das Weltall ist unendlich

Die Anhänger mancher idealistischer Auffassungen behaupten, daß unser Weltall begrenzt sei; diese Behauptung führte zur Anerkennung der Hypothese, daß es jenseits der materiellen Welt eine andere, eine geistige, nicht wahrnehmbare Welt gäbe, die deshalb auch nicht erforscht werden könne. Diese Gegenüberstellung der beiden „Welten" bildet die Grundlage jeder idealistischen Weltanschauung.
Die fortgeschrittene Wissenschaft stützt sich auf die feste Überzeugung, daß die Welt eine Einheit darstellt, daß ihre Einheit in der Materialität alles dessen besteht, was existiert und folglich vollständig unserer Erkenntnis zugänglich ist. In der Welt gibt es nichts Übernatürliches und nichts, das nicht erkennbar wäre.

Die neueren wissenschaftlichen Entdeckungen bestätigen immer wieder diese grundlegenden Prinzipien.

Es hat eine Zeit gegeben, in der man glaubte, daß alle Himmelskörper an Himmelssphären befestigt seien, die sich einige tausend Kilometer von der Erde entfernt befinden. Dann wurde festgestellt, daß die Entfernung allein bis zur Sonne etwa 150 Millionen Kilometer beträgt. Diese Entfernung wurde als astronomische Einheit angenommen. Später wurde die Entfernung bis zu einigen näheren Sternen bestimmt und eine neue größere Einheit – das Parsec – eingeführt. Einige Forscher nahmen an, daß das ganze Weltall in der Milchstraße enthalten sei. Danach wurde entdeckt, daß die kleinen Spiralnebelflecken andere Sternsysteme sind, in einer Entfernung von Hunderttausenden und Millionen Parsec von unserem System (Bild 96). Diese Tatsache machte die Einführung neuer, größerer Einheiten notwendig: das Kiloparsec und das Megaparsec (1 kpc = 10^3 pc; 1 Mpc = 10^6 pc).

Da die Fernrohre immer stärker und die Forschungsmethoden immer vollkommener werden, entdeckt man immer mehr und immer entferntere Welten, und somit kommen wir zur Überzeugung, *daß das Weltall keine Grenzen hat, daß es unendlich ist.* In welcher Richtung wir uns von der Erde entfernen würden, wir stießen nie auf eine Grenze des Weltalls, sondern begegneten immer neuen Welten, die sich in einem Zustand stetiger Bewegung und Veränderung befinden.

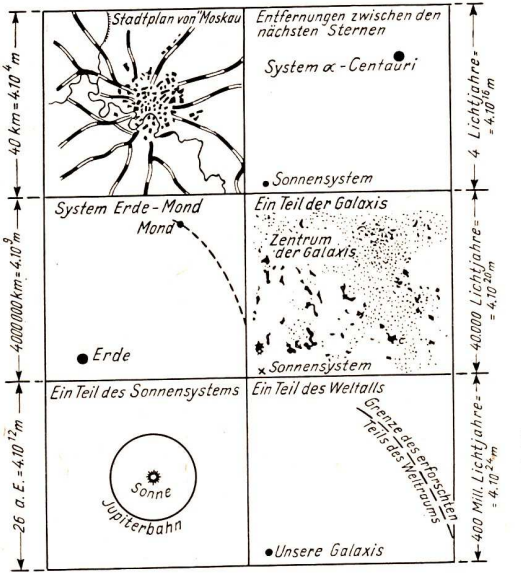


Bild 96.
Ausmaße im Weltall

Ursprung und Entwicklung der Himmelskörper

1. Das Problem des Ursprungs der Himmelskörper und ihr Alter

Das Problem des Ursprungs der Erde und der Himmelskörper hat den Menschen seit dem ersten Augenblick seines bewußten Lebens beschäftigt. Die alten Völker haben sich zur Lösung dieses Problems an die Priester, die Diener des Kults, gewandt, von denen sie glaubten, daß sie alle Geheimnisse der Natur kennen. Die Priester verfügten aber über keinerlei wissenschaftliche Daten, weder über den Ursprung der Himmelskörper noch über die Natur oder den Aufbau dieser Körper. Andererseits pflegten die Priester die Religion, den Gehorsam den Göttern und ihrer Kaste gegenüber und konnten deshalb solche Fragen nicht unbeantwortet lassen. Sie haben daher Legenden verbreitet, wonach Gott (oder mehrere Götter, je nach der Natur der Religion des betreffenden Volkes) die Welt nach seinem Willen erschaffen hätte.

Dieser Schöpfungsmythus widerspricht in krasser Weise den jahrtausendealten Erfahrungen der menschlichen Gesellschaft, vor allem den Ergebnissen der Wissenschaft. Es hat sich durch die gesellschaftliche Praxis erwiesen, daß kein Ding aus dem Nichts erschaffen werden kann, daß die Materie ewig ist und weder erschaffen noch zerstört werden kann; sie befindet sich aber in ständiger Veränderung. Unzerstörbar ist auch die Bewegung der Materie und ewig ist auch die Energie, die ihr eigen ist. Die Energie ändert gleichfalls ständig ihre Art und ihre Formen. Die Gesetze der Erhaltung der Masse und der Energie bilden die Grundlage der wissenschaftlichen Theorien über den Ursprung der Welt; sie wurden zum ersten Mal im Jahre 1748 von Lomonossow klar formuliert.

Die Legende über die Erschaffung der Welt und ihre Darstellung als „göttliche Offenbarung", die nicht kritisiert werden durfte, hat die Entwicklung der Wissenschaft gehemmt und spielt auch heute noch eine ausgesprochen reaktionäre Rolle.

Da wir wissen, daß Materie und Bewegung unzerstörbar sind, *können wir die Frage nach dem Ursprung des Weltalls in seiner Gesamtheit gar nicht stellen.* Eine solche Frage ist sinnlos. Man kann die Frage nach dem Ursprung der Himmelskörper, wie Erde, Sonne, Sternsysteme stellen, da diese aus Materie bestehen und Bewegungen durchführen, die es auch vorher, jedoch in anderer Form, gegeben hat. Nach seinem Erscheinen bleibt jeder Himmelskörper sowie eben alles, was in der Natur besteht, nicht unverändert, sondern entwickelt sich, verändert sich also andauernd. Deshalb sind Ursprung und Entwicklung der Himmelskörper eng miteinander verknüpft.

Jener Teil der Astronomie, der sich mit dem Problem des Ursprungs und der Entwicklung der Himmelskörper beschäftigt, heißt *Kosmogonie.*

Unter dem *Alter der Himmelskörper* verstehen wir die von ihrer Entstehung bis in die Gegenwart verflossene Zeit. Diese Zeitspanne ist sehr groß. Im Vergleich zu ihr ist das Leben des Menschen und das Alter der Wissenschaft auf der Erde nur ein Augenblick. Zu dieser Schlußfolgerung gelangen wir, wenn wir uns auf den langsamen Ablauf der Veränderungen der Erdoberflächenformen und auf die Tatsache berufen, daß seit dem Bestehen der Menschheit die von der Sonne ausgestrahlte Energie je Zeiteinheit sich nicht merklich geändert hat.
Das Alter der Erde kann durch verschiedene Methoden bestimmt werden. Die genaueste dieser Methoden beruht auf dem Zerfall radioaktiver chemischer Elemente.

Es ist bekannt, daß die Atome radioaktiver Elemente zerfallen und sich in Atome anderer Elemente verwandeln. Eine Menge Uran zum Beispiel verwandelt sich im Laufe der Zeit in eine gewisse Menge Blei, deren Masse vorausbestimmt werden kann. Wenn wir also das Mengenverhältnis Blei und Uran eines radioaktiven Minerals kennen, so können wir feststellen, wie lange der Zerfall des Urans in diesem Mineral gedauert, also welches Alter das Mineral hat.

Die Altersbestimmung verschiedener Gesteine hat ergeben, daß die ältesten vor etwa 2 bis 3 Milliarden Jahren entstanden sind. Das ist offenbar das Alter der Erdrinde.
Das Alter der Erde, seit ihrer Entstehung als Himmelskörper, muß aber größer als das Alter ihrer Rinde sein, also mehr als 2 bis 3 Milliarden Jahre betragen. Das Studium der fossilen Pflanzen aus der Erdrinde hat gezeigt, daß in hunderten Millionen Jahren sich die Intensität der Sonnenstrahlung kaum geändert hat. Folglich *ist das Alter der Sonne größer als das der Erde.*
Das Alter unseres Sternsystems, der Galaxis, ist ohne Zweifel größer als das der Sonne und also auch größer als das der Erde.

2. Ursprung der Planetensysteme

Die Lösung der Frage nach den Ursprung des Sonnensystems, also nach der Entstehung der Planeten, im besonderen der Erde, stößt auf viele Schwierigkeiten. Eine der bedeutendsten Schwierigkeiten ist die Tatsache, daß wir kein anderes ähnliches System kennen. Könnten wir nämlich auch andere Planetensysteme beobachten, so würden wir wahrscheinlich viele auf verschiedener Entwicklungsstufe finden. Durch Vergleichen dieser Systeme untereinander könnten wir die Geschichte der Entstehung und Entwicklung des Sonnensystems rekonstruieren.
Wir dürfen nicht vergessen, daß wir auch mit den Riesenteleskopen von heute nicht feststellen können, ob selbst die nächsten Sterne von Planeten umkreist werden, da diese vom Zentralstern viel zu schwach beleuchtet werden. Die Tatsache, daß wir sie nicht sehen, ist jedoch keinesfalls ein Beweis dafür, daß sie in Wirklichkeit nicht existieren.
Trotzdem haben wir schon jetzt Hinweise auf die Existenz sehr großer, zunächst noch unsichtbarer Planeten einiger Sterne. Ihr Vorhandensein wurde auf Grund der Stö-

rungen durch die Anziehung in der Bewegung der Sterne entdeckt. *Deshalb kann die Bildung von Planetensystemen keine vereinzelte Erscheinung sein.*

In der Mitte des XVIII. Jahrhunderts hat der deutsche Philosoph Immanuel Kant zum ersten Male eine wissenschaftliche Hypothese über die Entstehung des Sonnensystems formuliert. Eine ähnliche Hypothese wurde etwas später und unabhängig von Kant von dem französischen Gelehrten Laplace aufgestellt. Kant nahm an, daß sich das Sonnensystem aus kleinen, festen, aber kalten Teilchen gebildet hat. Da das Chaos dieser Teilchen nicht homogen war, verursachte es das Anwachsen der schon bestehenden Teilchenhaufen, und ihr gegenseitiges Zusammenprallen verlieh den Anhäufungen eine Rotationsbewegung um die größte Ansammlung, die dann zur Sonne wurde. Die kleineren Teilchenhaufen aus der Umgebung der Sonne wurden zu Planeten.

Laplace nahm an, daß sich das Sonnensystem aus einem großen, rotierenden Gasnebel gebildet hat. Wegen der Zusammenziehung des Gasnebels als Folge der Abkühlung wurde die Rotationsgeschwindigkeit größer und dies führte zu einer Abplattung. Durch das stetige Anwachsen der Drehgeschwindigkeit lösten sich entlang des Äquators Gasringe ab, die sich zu kugelförmigen Planeten kondensierten. Die Anziehungskraft zum Nebelzentrum hin äußerte sich als Zentralkraft. Bei genügend großer Rotationsgeschwindigkeit konnte die Anziehungskraft die Teilchen des Nebels nicht mehr auf ihrer Bahn halten, so daß sich diese auf Grund der Trägheit vom Zentrum zu entfernen begannen. Dies führte anfangs zu einer Abplattung und später zum Loslösen der Teilchen in Form von gasförmigen Ringen.

Die Daten, über die wir gegenwärtig verfügen, zeigen uns, daß die Planetensysteme auf die von Kant oder Laplace gezeigte Art aus verschiedenen Gründen nicht entstanden sein können. Die Hinweise von Kant und Laplace auf die Möglichkeit der Entstehung und allmählichen Entwicklung der Himmelskörper aus anderen Formen der Materie wurde trotzdem zur wichtigsten Stütze der materialistischen Erklärung der Entwicklung des Weltalls.

Die sowjetischen Gelehrten haben gegenwärtig die materialistischen Ideen Kants über die Entstehung der Planeten aus kleinen, kalten Teilchen und Gasen weiterentwickelt, indem sie sich auf die genaue Kenntnis der Gesetze der Mechanik, der Physik und der Chemie stützten.

Sie haben mit aller Strenge nachgewiesen, daß eine große, aus Gas und Staub bestehende Wolke, die sich um die Sonne bewegt, infolge des gegenseitigen Zusammenprallens der Teilchen eine abgeplattete Form haben muß. Es konnte weiter nachgewiesen werden, daß das Zusammenprallen der Teilchen die Ursache zum Zusammenschluß und zur Haufenbildung der Teilchen ist. Da diese Haufen eine Anziehungskraft auf die kleineren Teilchen ausüben, müssen sie auf Kosten der umgebenden Materie wachsen. Die Bahnen der sich aus der abgeplatteten Wolke bildenden Haufen müssen fast kreisförmig sein und annähernd in derselben Ebene liegen. Die Haufen wurden die Keime, aus denen sich die Planeten durch Absorption fast der ganzen zwischen ihren Bahnen befindlichen Materie gebildet haben (Bild 97).

Es konnte weiter auf Grund des allgemeinen Gravitationsgesetzes nachgewiesen werden, daß der Abstand zwischen den Planeten in dem Maße größer wird, je weiter sie

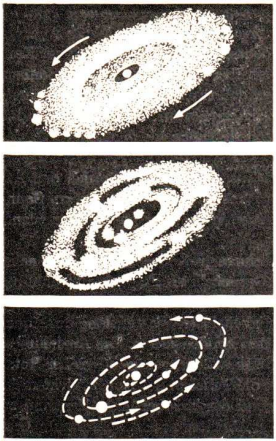


Bild 97. Bildung der Planeten aus einer Gas- und Staubwolke (schematisch)

von der Sonne entfernt sind. Dies kann auch in unserem Sonnensystem beobachtet werden. Woher diese Gas- und Staubwolke stammt, die die Sonne umkreiste, ist weniger klar. Nach der Auffassung des Mitglieds der Akademie der Wissenschaften der UdSSR W. G. Fessenkow ist es wahrscheinlich, daß sich aus solch einer Riesenwolke eine Ansammlung gebildet hat, die zur Sonne wurde, und daß diese die anfangs verdünnte Materie in ihre Äquatorebene geschleudert hat. So wurde die Wolke mit Materie aus der Sonne aufgefüllt. Aus dieser mit Sonnenmaterie aufgefüllten Wolke bildeten sich die Planeten. Auf Grund der Berechnungen Fessenkows hat die Sonne dann ihre Ausmaße wesentlich verkleinert; dadurch hat sich auch ihre Temperatur verändert, bis sie in den heutigen Zustand gelangt ist.
Zur Zeit gibt es viele Theorien über die Entstehung des Sonnensystems, aber keine einzige ist befriedigend, weil keine seine gegenwärtige Struktur ganz zu erklären vermag. Dies wird erst später in dem Maße möglich sein, wie die Wissenschaft sich entwickelt.

3. Entwicklung der Sterne, der Sonne und der Nebel. Der ewige Bestand des Weltalls

Gegenwärtig kennen wir nur ungenügend den physikalischen Zustand der Sterne. Deshalb können wir auch keine sichere Schlußfolgerung bezüglich der Entstehung und der Geschichte der Sterne, im besonderen der Sonne, ziehen.
Es ist aber möglich, daß sich im Laufe der Zeit, an einigen Stellen des interstellaren Raumes, der Staub und die Gase zu größeren Körpern kondensieren. Ihr andauerndes Zusammenschrumpfen hat das Ansteigen der Temperatur zur Folge, dadurch wird der Körper glühend und verwandelt sich in einen Stern. Bei genügend großer Temperatur im Inneren mußte dort die Umwandlung von Wasserstoff in schwerere Elemente in großem Maßstab beginnen. Dieser Prozeß ist von der lang andauernden Abgabe einer großen Energiemenge begleitet. Sterne mit etwa gleicher Masse wie die Sonne verbleiben in diesem Zustand mindestens einige zehn Milliarden Jahre lang. In diesem Zustand befindet sich jetzt unsere Sonne.
Zusammen mit den Sternen, oder etwas später, bilden sich aus dem Mittel von Gas und Staub, in dem sich die Sterne befinden, auch die Planeten. Ergeben sich nun

günstige Bedingungen für die Entstehung des Lebens auf den Planeten, wie zum Beispiel auf der Erde, so bilden sich gesetzmäßig auch lebende Organismen heraus.
Wir kennen die Zukunft der Sterne nicht genau. Zweifellos wird aber ihre Energie in einer gewissen Zeit erschöpft sein, und sie werden aufhören zu leuchten. Aus ihrer Materie werden sich neue Himmelskörper bilden. Sowjetische Gelehrte haben nachgewiesen, daß sich in unserer Galaxis auch jetzt noch diffuse Nebel aus den Zusammenballungen der von heißen Sternen und von den Novae ausgeschleuderten Gase bilden. Diese Gase können sich kondensieren, so daß dann im Laufe der Zeit von neuem Sterne entstehen. V. A. Ambarzumjan und andere sowjetische Gelehrte haben festgestellt, daß viele Sterne jünger sind als die Erde und auch heute noch entstehen. Wir dürfen natürlich nicht glauben, daß sich ständig Sterne in Nebel und Nebel in Sterne umwandeln, das heißt, daß anstelle einer Entwicklung eine einfache Wiederholung der alten Formen der Materie stattfindet.
Das Studium der Entwicklung der Himmelskörper stößt auf große Schwierigkeiten. Diese Schwierigkeiten bestehen vor allem im langsamen Ablauf dieser Entwicklung, so daß im Vergleich zur Dauer dieser Entwicklung nicht nur das Leben eines Menschen, sondern selbst die Dauer der Existenz der Menschheit auf der Erde (etwa eine Million Jahre) sehr kurz ist. Seitdem wissenschaftliche Beobachtungen durchgeführt werden, haben die meisten Himmelskörper keine merklichen Veränderungen erfahren.
Im Gegensatz zur Religion, die alles auf Gott zurückführt und behauptet, daß die Welt für die Menschen nicht erkennbar ist, ermittelt die Wissenschaft Schritt für Schritt vieles Neue über das Weltall. Die Wissenschaft grenzt die gut bekannten Erscheinungen von den Annahmen (Hypothesen) und diese von den noch unbekannten Erscheinungen streng ab.
Die Wissenschaft beweist immer wieder die Erkennbarkeit der Natur und führt zu einer größeren Genauigkeit der Erkenntnisse. Wenn wir auch manchmal genötigt sind, einige wissenschaftliche Ideen durch andere, neue zu ersetzen, so beweist das durchaus nicht die Schwäche der Wissenschaft, sondern ihre Stärke, weil die neuen Ideen der Wahrheit näher kommen als die alten. Das Ersetzen der alten wissenschaftlichen Ideen durch neue gleicht dem Aufstieg über Treppenstufen zu dem Gipfel der Erkenntnis.
Der scheinbare Widerspruch zum Beispiel zwischen der Bewegung des Planeten Uranus und dem Gesetz der allgemeinen Gravitation führte, wie wir wissen, zur Vermutung, daß es jenseits des Uranus noch einen Planeten geben müsse. Auf Grund dieser Vermutung wurde dann der bis dahin unbekannte Planet Neptun entdeckt.
Die Wissenschaft erklärt die Entstehung und Entwicklung der Himmelskörper mit Hilfe von Hypothesen, also wissenschaftlichen theoretischen Annahmen.
Den Hypothesen kommt in der Wissenschaft eine sehr große Rolle zu. Friedrich Engels nannte die Hypothese eine Entwicklungsform der Naturwissenschaften und unterstrich, daß wir ohne Hypothesen nie zu Gesetzen gelangen könnten.
Die Hypothesen machen neue theoretische Untersuchungen notwendig, die zu neuen wissenschaftlichen Entdeckungen führen. Sie unterscheiden sich von den beliebigen Annahmen dadurch, daß sie sich auf alle unsere Kenntnisse zum betreffenden Zeitpunkt stützen und strengen logischen Erfordernissen genügen. Weil das Weltall nach

unserer wissenschaftlichen Erkenntnis unendlich im Raum ist, ist es auch unendlich in der Zeit, also ewig. *Das Weltall hatte nie einen Anfang und wird nie ein Ende haben.* Dies bezieht sich natürlich auf das Weltall in seiner Gesamtheit, genauer gesagt auf die Materie, aus der es besteht. Demgegenüber entstehen ununterbrochen, hier und dort, einige seiner Teile, wie zum Beispiel Erde, Sonnensystem, Sterne und Sternsysteme. Sie entstehen, durchlaufen einen langen Entwicklungsweg, beenden schließlich ihre Existenz, und ihre Materie nimmt eine neue Form an. Die Materie selbst verändert sich wohl, wird aber nie zerstört. Sie ist ebenso ewig wie ihre Bewegung. Anstelle überalterter, nicht mehr existenzfähiger Körper entstehen neue, auf denen mit der Zeit auch Leben entstehen und durch einen stufenweisen, komplizierten Prozeß zu seiner höchsten Form, dem denkenden Wesen, führen kann.

Anhang

1. Zahlenwerte wichtiger astronomischer Größen

Scheinbarer Durchmesser der Sonne (im Mittel)	32′
Scheinbarer Durchmesser des Mondes (im Mittel)	31′
Neigung der Ekliptik zum Äquator	23° 27′
Erdhalbmesser (Mittelwert)	6370 km
Abplattung des Erdkörpers $\frac{a-b}{a}$	$\frac{1}{297}$
Dauer des tropischen Jahres	365 d 5 h 48 min 46 s
Synodischer Monat (Zeitdauer zwischen zwei gleichen Mondphasen)	29 d 12 h 44 min 3 s
Siderischer Monat (Umlaufszeit des Mondes um die Erde)	27 d 7 h 43 min 11 s
Masse der Sonne, in Erdmassen ausgedrückt	≈330000
Kürzeste Umlaufszeit eines Planeten (Merkur)	≈88 d
Längste Umlaufszeit eines Planeten (Pluto)	≈248 a
Durchmesser Jupiters, des größten Planeten	≈11 Erddurchmesser
Mittlere Entfernung Erde – Mond	384000 km
Mittlere Entfernung Sonne – Erde (1 astronomische Einheit)	$149{,}6 \cdot 10^6$ km
1 Parsec	206265 astronomische Einheiten oder $30{,}84 \cdot 10^{12}$ km
Mittlere Entfernung Sonne – Merkur (der sonnennächste Planet)	≈0,4 AE
Mittlere Entfernung Sonne – Pluto (der sonnenfernste Planet)	≈40 AE
Entfernung des nächsten Sterns Proxima Centauri vom Sonnensystem	≈1,3 pc ≈270000 AE
Durchmesser des Milchstraßensystems	≈25 kpc
Entfernung bis zum nächsten extragalaktischen System (Andromedanebel)	≈830 kpc
Zahl der mit freiem Auge sichtbaren Sterne	≈6000
Monddurchmesser, in Erddurchmessern ausgedrückt	$\approx\frac{1}{4}$
Sonnendurchmesser, in Erddurchmessern ausgedrückt	≈109
Oberflächentemperatur der Sonne	≈5850 °K

Mittlere Periode der Sonnenaktivität	11 a
Oberflächentemperatur der Sterne	von 3000 °K (rote Sterne) bis 30000 °K (blau-weiße Sterne)
Alter der Erdkruste	$\approx 2 \cdot 10^9$ a
Frühlingsäquinoktium	ungefähr 21. März
Sommersolstitium	ungefähr 22. Juni
Herbstäquinoktium	ungefähr 23. September
Wintersolstitium	ungefähr 22. Dezember
Erde im Perihel	ungefähr 1. Januar
Erde im Aphel	ungefähr 1. Juli

2. Griechisches Alphabet (Kleinbuchstaben)

α – Alpha	ι – Jota	ϱ – Rho
β – Beta	$\varkappa$ – Kappa	σ – Sigma
γ – Gamma	λ – Lambda	τ – Tau
δ – Delta	μ – My	υ – Ypsilon
ε – Epsilon	ν – Ny	φ – Phi
ζ – Zeta	ξ – Xi	χ – Chi
η – Eta	o – Omikron	ψ – Psi
ϑ – Theta	π – Pi	ω – Omega

3. Sonnensystem

Planet (bzw. Zentralkörper)	Periode des siderischen Umlaufs (in Jahren)	Periode des synodischen Umlaufs (in Tagen)	Mittlere Entfernung zur Sonne (in astronomischen Einheiten)	Mittlere Entfernung zur Sonne (in 10^6 km)	Neigung der Bahn zur Ekliptik	Masse (Erdmasse = 1)	Dichte (in g/cm³)	Äquatordurchmesser (in Erddurchmessern)	Äquatordurchmesser (in km)	Abplattung	Periode der Rotation um die Achse	Neigung des Äquators zur Bahnebene	Zahl der bekannten Satelliten
Merkur	0,241	116	0,387	58	7°	0,05	5,3	0,39	4840	—	88 d	0° (?)	—
Venus	0,615	584	0,723	108	3°	0,815	4,95	0,97	12400	—	30 d (?)	32° (?)	—
Erde	1,000	—	1,000	150	—	1,00	5,5	1,00	12756	1/297	23h 56 min 4 s	23° 27′	1
Mars	1,881	780	1,524	228	2°	0,11	4,0	0,53	6770	1/192	24h 37 min 23 s	25° 12′	2
Jupiter	11,86	399	5,203	778	1°	318,00	1,3	11,20	142800	1/16	9h 50 min	3° 7′	12
Saturn	29,46	378	9,546	1425	2°	95,22	0,7	9,47	120800	1/10	10 h 14 min	26° 45′	9
Uranus	84,02	370	19,20	2868	1°	14,55	1,6	3,75	47600	1/16	10,7 h	98°	5
Neptun	164,8	367	30,09	4494	2°	17,23	2,3	3,50	44600	1/50	15,8 h (?)	29°	2
Pluto	248,4	367	39,5	5915	17°	1(?)	4 (?)	1,1 (?)	14400 (?)	(?)	6 d 9,4 h (?)		—
Sonne	—	—	—	—	—	331950	1,4	109,1	1390600	—	25 d (am Äquator)	7° 15′ (zur Ekliptik)	—

4. Sterne großer scheinbarer Helligkeit

Name des Sterns	Sternbild	Entfernung (in pc)	Scheinb. visuelle Helligk. (in m)	Spektralklasse	Leuchtkraft ($L_\odot = 1$)	Leuchtkraftklasse
Sirius α CMa	Großer Hund	2,7	−1,43	A 1	20	V
Canopus α Car	Schiffskiel	≈170	−0,77	F 0	≈ 80000	Ib
Arktur α Boo	Bootes	10	0,03	K 0	150	III
Wega α Lyr	Leier	8	0,05	A 0	50	V
Alpha Centauri α Cen	Centaur	1,3	0,06	G 0	1,3	V
Capella α Aur	Fuhrmann	14	0,13	G 1	100	III
Rigel β Ori	Orion	≈200	0,14	B 8	≈ 100000	Ia
Prokyon α CMi	Kleiner Hund	3,5	0,35	F 5	5,8	IV
Achernar α Eri	Eridanus	22	0,60	B 5	200	IV
Beteigeuze α Ori	Orion	83	0,7 var. (0,1 ··· 1,2)	M 2	≈ 10000	Ib
Atair α Aql	Adler	4,8	0,78	A 7	8,3	V
Beta Centauri β Cen	Centaur	28	0,86	B 1	≈ 1000	V
Aldebaran α Tau	Stier	21	0,87	K 5	200	III
Antares α Sco	Skorpion	125	0,98	M 1	≈ 10000	Ib
Spica α Vir	Jungfrau	70	1,03	B 1	≈ 1500	V
Pollux β Gem	Zwillinge	10	1,12	G 9	28	III
Fomalhaut α PsA	Südlicher Fisch	7	1,20	A 3	12	V
Deneb α Cyg	Schwan	≈500	1,23	A 2	≈100000	Ia
Regulus α Leo	Löwe	26	1,31	B 8	100	V
Castor α Gem	Zwillinge	14	1,50	A 1	40	V

5. Bau einer Sonnenuhr

Die Äquatorsonnenuhr (Bild 26a) ist sehr einfach gebaut: Vom Mittelpunkt eines Brettchens werden nach allen Richtungen Strahlen gezogen, die einen Winkel von 15° einschließen und auf denen die Stunden 12; 13; 14 usw. angeschrieben werden, da sich auf der Äquatorebene der Schatten mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Im Ursprung dieser Strahlen wird senkrecht ein Stab angebracht, der das Brettchen durchstößt.

Wir neigen das Brettchen um den Winkel $(90° - \varphi)$ zum Horizont (wobei φ die geographische Breite des Beobachtungsortes ist) und befestigen es so, daß die 12-Uhr-Gerade mit der Mittagslinie zusammenfällt.

Diese Sonnenuhr hat den Nachteil, daß die Sonne das Brettchen vom 23. September bis zum 21. März von oben nicht beleuchtet.

Die Horizontsonnenuhr (Bild 26b) ist in dieser Hinsicht vorteilhafter. Auf einem Brettchen und senkrecht dazu wird eine dreieckförmige Platte befestigt, deren spitzer Winkel gleich φ, der geographischen Breite des Ortes, ist. Anstelle der Platte kann auch ein Stab, der in die entsprechende Richtung weist, angebracht werden. Der Strahl längs der Basis der Platte beziehungsweise die Spurgerade des Stabes ist die 12-Uhr-Linie. Die den anderen Stunden entsprechenden Strahlen zeichnen wir so ein, daß sie den Winkel x untereinander bilden, der von der geographischen Breite abhängt und aus der Formel $\tan x = \sin \varphi \cdot \tan t$ berechnet wird, wobei t in Graden und nicht in Stunden ausgedrückt ist, und zwar 15°, 30°, 45° usw. anstatt 1 Stunde, 2 Stunden, 3 Stunden usw. Der Winkel zweier aufeinanderfolgender Stunden kann nicht mehr konstant 15° betragen wie bei der Äquatoruhr, da wegen der gleichförmigen Bewegung der Sonne um die Weltachse der Stabschatten sich ungleichförmig über das Brettchen bewegt.

Die 12-Uhr-Gerade einer Horizontsonnenuhr muß ebenfalls in der Mittagslinie liegen.

Die Sonnenuhr zeigt die wahre Sonnenzeit. Zur Umwandlung der angezeigten Zeit in die Zonenzeit müssen wir die Differenz zwischen der Ortszeit und der Zonenzeit kennen. Nach dieser Umwandlung bleibt aber noch eine Differenz, die ihren Wert während des Jahres ändert und eine Viertelstunde erreichen kann. Diese Differenz, die Zeitgleichung, ist in eigens dafür hergestellten graphischen Darstellungen oder in astronomischen Jahrbüchern zu finden. Im Frühling und im Sommer allerdings, wenn die Sonnenuhren hauptsächlich gebraucht werden, beträgt die Differenz nicht mehr als 4 Minuten, ausgenommen die Zeit von Anfang Juli bis Mitte August. In dieser Zeit bleibt die wahre Sonnenzeit um 5 bis 6 Minuten hinter der mittleren Sonnenzeit zurück.

6. Anleitungen zur Himmelsbeobachtung

Die Beobachtung der wichtigsten Himmelserscheinungen durch die Schüler ist im Fach Astronomie ebenso wichtig wie die Schülerexperimente im Fach Physik. Diese Beobachtungen können jedoch nur bei heiterem Himmel durchgeführt werden. Alle Himmelskörper, ausgenommen die Sonne und manchmal der Mond, können nur abends beobachtet werden. Manche Erscheinungen finden nur gegen Morgen oder zu bestimmten, ganz seltenen Zeitpunkten statt, wie zum Beispiel Finsternisse; sie können nicht in jedem gewünschten Augenblick beobachtet werden. Deshalb müssen astronomische Beobachtungen bei der ersten Gelegenheit durchgeführt werden, selbst wenn das Beobachtete mit dem in der Klasse eben Vorgetragenen nicht übereinstimmt. Diese Übereinstimmung kann wegen der atmosphärischen Einflüsse nicht immer verwirklicht werden.

In den Monaten September und Oktober müssen also die meisten Beobachtungen angestellt werden, da es in dieser Zeit viele klare Abende gibt und es noch nicht kalt ist. Im Winter erschwert die Kälte die Beobachtung. Beginnend mit dem Monat März wird das Wetter für Beobachtungen wieder günstiger, jedoch wird es immer später dunkel.

Beobachtungen sollen an Orten angestellt werden, die vor fremdem Licht geschützt sind. Sternbeobachtungen müssen in mondlosen Nächten durchgeführt werden.

Es ist gut, eine nicht zu starke Lampe zur Verfügung zu haben, mit der man die Sternkarte beleuchten und Aufzeichnungen oder Skizzen machen kann.

Im September und Oktober ist es notwendig, folgende Beobachtungen durchzuführen:

1. Etwa jede zweite Woche (je nach dem Wetter) sollen die Punkte des Sonnenauf- und -untergangs in bezug auf den scheinbaren Horizont bestimmt und in eine Skizze gezeichnet werden. Die Zeichnung muß immer vom gleichen Platz aus gemacht werden.
2. Es ist zweckmäßig, entsprechende Aufzeichnungen auch für den Mond zu machen, wobei auch die Zeitpunkte dieser Ereignisse festgehalten werden sollen. Für den Mond werden die Beobachtungen innerhalb 3 bis 4 Tagen täglich ausgeführt.
3. Es soll durch tägliche Beobachtungen ein ganzer Phasenzyklus des Mondes verfolgt werden. In derselben Zeit sind an zwei aufeinanderfolgenden Tagen auch wenigstens zwei Skizzen von der Mondphase und dem Mondort zwischen den Sternen anzufertigen. Diese Skizzen werden auf der Kopie einer Sternkarte angefertigt, und zwar dann, wenn das Mondlicht nicht zu stark ist und das Beobachten schwächer leuchtender Sterne erlaubt. Zeichnet man die Stellung des Mondes nur in bezug auf die hellsten Sterne auf, so kann es vorkommen (da deren Anzahl klein ist), daß man die Bewegung des Mondes um 13° in 24 Stunden nicht klar erkennt. Diese Beobachtungen werden die Bewegung des Mondes am Sternhimmel in der Richtung nach Osten anzeigen.
4. Mit Hilfe der drehbaren Sternkarte sollen im Herbst die Sternbilder des Großen Bären, des Kleinen Bären, der Polarstern und andere helle Sternbilder und Sterne aufgesucht und eingeprägt werden. Um sich das leichter zu merken, soll jeder

Schüler diese Sternbilder von Zeit zu Zeit selber am Himmel aufsuchen. Es ist auch günstig, die Sternbilder, die abends am südlichen Himmel aufgefunden werden, zu notieren.

5. Weiter sollen im Frühling (besser noch im Winter) die am südlichen Himmel sichtbaren Sternbilder beobachtet und die bekannten zirkumpolaren Sternbilder wiedererkannt werden. Während des Aufsuchens der Sternbilder muß die Sternkarte so orientiert werden, daß ihre Kardinalpunkte mit jenen des Geländes übereinstimmen. Dabei muß dem Helligkeitsunterschied der Sterne Rechnung getragen werden. Die Sterne werden durch gedachte Linien verbunden, so wie es die Karte zeigt. Wir finden ein Sternbild und schreiten von diesem weiter zum nächsten.
6. Bei der Beobachtung der Sternbilder soll auch die Farbe der hellen Sterne beachtet werden, die der Oberflächentemperatur der Sterne entspricht.
7. Während der ersten Beobachtungen der Sternbilder soll die Stellung einiger heller Sterne im Osten, Westen, Süden und Norden zu Beginn und zum Schluß dieser Beobachtungen aufgezeichnet werden; ihre Bewegungen in bezug auf den Horizont und in Abhängigkeit von ihrer Poldistanz sind dabei zu beobachten. Es ist erwünscht, von der Rotation des Himmels um den Pol eine photographische Aufnahme zu machen.
8. Die Schüler sollen beschreiben, wie sie den Polarstern finden und mit dessen Hilfe die Kardinalpunkte im Gelände bestimmen können.
9. Im Schulhof soll während der praktischen Arbeiten mit der ganzen Klasse oder von jedem Schüler allein (zu Hause) die Mittagslinie mit Hilfe der Sonne festgestellt und markiert werden.
10. Mittels der Mondphase und der Stellung des Mondes zum Horizont sollen annähernd die Kardinalpunkte bestimmt werden.
11. Unter Benutzung eines astronomischen Jahrbuches und der Sternkarte soll jeder Schüler allein oder mit Hilfe des Lehrers die in diesem Monat sichtbaren Planeten aufsuchen. Diese Beobachtung soll im September erfolgen. Die Stellung des Planeten unter den Sternen des Sternbilds, in dem er sich gerade befindet, soll besonders genau gezeichnet werden. Nach 1 bis 2 Monaten soll die Beobachtung wiederholt werden, damit die Bewegung des Planeten klar ersichtlich wird.
12. Die in dieser Zeit beobachteten Meteorbahnen sollen aufgezeichnet werden.
13. Beobachtungen mit Fernrohr oder Feldstecher.
    Der Feldstecher soll ein Prismenfeldstecher sein und mindestens 6mal vergrößern. Mit diesem Feldstecher kann man folgendes sehen: 1. große auf der Sonne vorhandene Sonnenflecken (durch Schutzfilter oder berußtes Glas); 2. die Unebenheiten des Mondrandes (abends oder morgens) und die größten Ringgebirge; 3. viele Sterne der Milchstraße oder des Sternhaufens der Plejaden (von denen man mit freiem Auge nur 6 Sterne wahrnehmen kann); 4. den Gasnebel im Orion (im Winter) und den Andromedanebel (im Herbst), die mit freiem Auge fast nicht wahrnehmbar sind; 5. Doppelsterne (im Großen Bären, in der Leier); 6. die hellen Jupitermonde.

Im Fernrohr kann man je nach dessen Vergrößerung viel mehr sehen; die Instrumente müssen fest montiert sein und dürfen nicht vibrieren. Es wird den Schülern geraten, selbst Fernrohre, zum Beispiel mit den hierzu lieferbaren Optiksätzen des VEB Carl Zeiss Jena, zu bauen.

Der Besuch von Planetarien oder Sternwarten ist sehr nützlich; er ist jedoch kein Ersatz für die unmittelbare Beobachtung der Naturerscheinungen durch die Schüler.

02 948-1