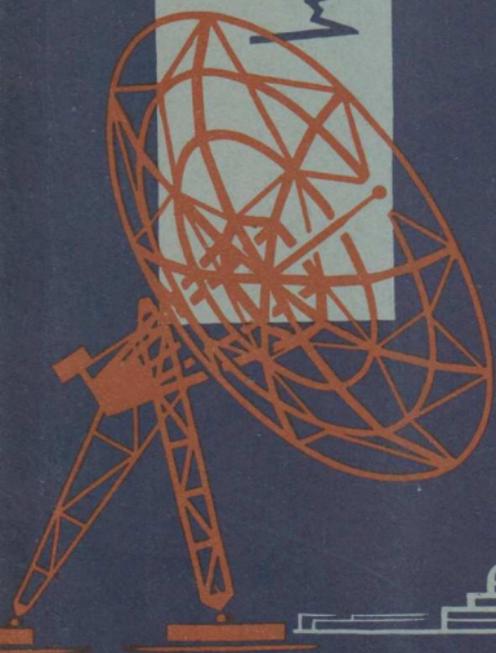


**LEHRHEFT  
DER  
ASTRONOMIE**



LEHRHEFT  
DER ASTRONOMIE

FÜR DIE 10. KLASSE DER ZEHNKLASSIGEN ALLGEMEINBILDENDEN  
POLYTECHNISCHEN OBERSCHULE



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1960

Nach Manuskripten von Professor Diedrich Wattenberg, Berlin,  
und Dr. U. Güntzel-Lingner, Potsdam, bearbeitet von der Verlagsabteilung Erdkunde

4., bearbeitete und erweiterte Auflage  
des Lehrheftes der Astronomie 04915

Zeichnungen: Kurt Dornbusch, Leipzig, und Martin Heidenreuter, Leipzig  
Ausstattung: Atelier Volk und Wissen, Berlin  
Redaktionsschluß der 4. Auflage: 28. April 1960

ES 11 F · Bestell-Nr. 04 926-1 · 0,90 DM · Lizenz-Nr. 203 · 1000/60  
Satz und Druck: Sächsische Zeitung, Dresden (III/9/1)

# INHALT

	Seite		Seite
EINFÜHRUNG .....	5	<i>Die Planeten und ihre Monde</i> .....	36
Die Astronomie, ihre Aufgaben und ihre Arbeitsmethoden .....	5	Die Erde .....	36
ORIENTIERUNG AM STERNHIMMEL ..	6	Die Vermessung der Erde .....	37
Die Erde, unser Standort im Weltall .....	6	Zwischen Weltraum und Erde .....	38
Das Horizontsystem .....	8	Kosmische Einflüsse auf die Erde .....	39
Die tägliche Bewegung des Sternhimmels; Sternbilder und Sternnamen .....	9	Der Erdmond .....	40
Anleitung zum Kennenlernen der Sternbilder	14	Beeinflußt der Mond das Erdgeschehen? .....	42
Das Äquatorsystem .....	17	Die Beobachtung des Mondes .....	43
DAS SONNENSYSTEM .....	19	Merkur und Venus .....	45
<i>Geschichtliche Entwicklung der Auffassungen über das Sonnensystem</i> .....	19	Der Mars .....	46
Anschauungen des Ältertums .....	19	Riesenplanet Jupiter .....	47
Das geozentrische Weltsystem des Ptolemäus	20	Saturn und sein Ringsystem .....	48
Ein neues Weltbild steigt empor! .....	21	Uranus, Neptun und Pluto .....	49
Das heliozentrische Weltsystem .....	22	<i>Die Kleinkörper des Sonnensystems</i> .....	50
Der Kampf um das heliozentrische Weltsystem	23	Kometen .....	50
Planetengesetze werden entdeckt .....	25	Meteoriten .....	51
Das Newtonsche Gravitationsgesetz .....	26	Staub im Sonnensystem .....	51
Ein neuer Planet .....	26	Schlußfolgerung .....	51
Planetentdeckungen am Schreibtisch .....	26	<i>Künstliche Erdsatelliten und kosmische Raketen</i> ...	52
Zwergwelten zwischen den Planeten .....	28	Begriff Erdsatellit — der erste Starterfolg ...	52
An den Grenzen des Sonnensystems .....	29	Startvorgang und Lebensdauer bei künstlichen Erdsatelliten .....	53
Übersicht über das heutige Planetensystem ..	29	Die Satellitenbahnen .....	55
<i>Die Sonne</i> .....	30	Die Beobachtung künstlicher Erdsatelliten ..	57
Die Sonne als Weltkörper .....	30	Geophysikalische und astronomische Aufgaben der künstlichen Erdsatelliten .....	60
Die scheinbare Bahn der Sonne (Ekliptik) ...	31	Kosmische Raketen und ihre Zukunft .....	62
Einige Angaben zur Physik der Sonne .....	31	DAS WELTALL .....	64
Die Bedeutung der Sonnenphysik für die Sternphysik .....	32	<i>Die Fixsterne</i> .....	64
Die Sonne als Energiespender .....	33	Zahl und Helligkeit der Sterne .....	64
Sonnenflecken .....	34	Die Farben der Sterne .....	64
Eruptionen und Protuberanzen .....	34	Temperaturen der Sterne .....	65
Unsichtbare elektromagnetische Wellen von der Sonne .....	35	Entfernungen der Sterne — das Lichtjahr ...	65
		Sterne in Bewegung .....	67
		Riesen und Zwerge unter den Sternen .....	68
		Doppelsterne .....	68

Planetenähnliche Begleiter der Fixsterne . . . . .	68	AUS DER ENTWICKLUNGSGESCHICHTE	
Veränderliche Sterne . . . . .	69	DES WELTALLS . . . . .	77
Neue Sterne . . . . .	69		
Gas und Staub zwischen den Sternen . . . . .	70	Grundzüge der kosmischen Entwicklung . . .	77
Sternhaufen . . . . .	71	Das Alter der Gestirne . . . . .	79
<i>Das Milchstraßensystem . . . . .</i>	<i>72</i>	<i>Die Entwicklung kosmischer Systeme . . . . .</i>	<i>81</i>
Die Milchstraße . . . . .	72	Die Entstehung der Galaxien . . . . .	81
Der Aufbau des Milchstraßensystems . . . . .	73	Entstehung und Entwicklung der Fixsterne .	82
Die Rotation des Milchstraßensystems . . . . .	74	Die Entstehung der Planeten . . . . .	84
<i>Ferne Milchstraßensysteme . . . . .</i>	<i>74</i>	Die Erdzeitalter . . . . .	85
Die Spiralnebel . . . . .	74		
Benachbarte Milchstraßen . . . . .	75	Tabellen . . . . .	87
Das Weltall ist unendlich . . . . .	76		

*Bildnachweis* : Die Bildvorlagen stellte uns Herr Prof. Wattenberg aus seinem Archiv zur Verfügung. Abbildung 43 überließ uns Herr Dr. Gützel-Lingner, Potsdam.

# EINFÜHRUNG

## *Die Astronomie, ihre Aufgaben und ihre Arbeitsmethoden*

Die Astronomie ist die Wissenschaft von den Himmelskörpern. Sie bedient sich, ähnlich wie alle modernen Wissenschaften, einer großen Anzahl von Erkenntnissen und Arbeitsmethoden aus anderen Wissenschaften, insbesondere aus der Mathematik und der Physik.

Die Astronomen haben sich die Aufgabe gestellt, den physikalischen und chemischen Zustand der Himmelskörper, ihre Bewegungen und ihre räumliche Verteilung zu erkennen. Darüber hinaus ist der gewaltige von leuchtenden und dunklen Staub- und Gasmassen erfüllte Raum zwischen den Himmelskörpern Forschungsgebiet der Astronomie.

Den sternerfüllten Raum mit seinem Inhalt an stofflicher und feldförmiger Materie bezeichnen wir als *Weltall* (Universum, Kosmos). Es gibt keine Grenze des Weltalls. Bei ständiger Steigerung der Reichweite unserer Beobachtungsmittel zeigen sich neue, weiter entfernte Teile des Weltalls, die in der gleichen Weise aufgebaut sind wie unsere kosmische Nachbarschaft. In allen Regionen des Weltalls herrschen die gleichen Gesetzmäßigkeiten. Die chemische Natur der kosmischen Massen ist überall die gleiche, jedoch kann das Mischungsverhältnis der Elemente von Ort zu Ort verschieden sein.

Das Weltall als Ganzes ist zeitlich und räumlich unendlich. Alle seine Teile, alle Formen und Zustände der Materie, sind einer ständigen Veränderung und Entwicklung unterworfen. Jede astronomische Forschungsarbeit gipfelt in dem Erkennen des Zustandes, der Entstehung und Entwicklung und der Gesetzmäßigkeiten des Weltalls. Diesen Teil der Astronomie nennen wir *Kosmologie*. Ein weiteres Teilgebiet ist die *Kosmogonie*. Ziel der kosmogonischen Forschung ist es, eine Vorstellung von der Entstehung unseres Planetensystems einschließlich der Sonne, der Erde und des Mondes zu gewinnen und zu verstehen, wie die Fixsterne entstanden sind.

Die Grundlagen zu allen astronomischen Erkenntnissen werden aus Beobachtungen gewonnen. Als Beobachtungsmittel dient das Fernrohr, entweder in Verbindung mit dem menschlichen Auge oder mit der fotografischen Platte. Spezielle Geräte zur Untersuchung des von den Sternen ausgestrahlten Lichtes (Photometer, Spektrographen) sind ein wichtiges Hilfsmittel der modernen Astrophysik. In jüngster Zeit hat uns die Anwendung großer Radioteleskope zur Analyse der kosmischen Radiostrahlung ein neues Tor in das Weltall geöffnet. War die Astronomie bisher gezwungen, alle ihre Erkenntnisse aus dem Studium der winzigen Lichtmenge zu gewinnen, die von den weit entfernten Sternen zu uns gelangt, so wird sie heute, wie die anderen Naturwissenschaften, immer mehr zu einer experimentellen Wissenschaft. Mit der Entsendung der ersten künstlichen Satelliten und Fernraketen durch die Sowjetunion und die USA in unseren kosmischen Nachbarraum hat der Mensch begonnen, auch im Weltall zu experimentieren.

# ORIENTIERUNG AM STERNHIMMEL

## *Die Erde, unser Standort im Weltall*

Bisher waren alle astronomischen Beobachtungsergebnisse von der Oberfläche der Erde aus gewonnen worden. Diese Einengung unserer Beobachtungsmöglichkeiten wurde durch Aufnahmen und Registrierungen, die von Raketen und künstlichen Erdsatelliten durchgeführt worden sind, und neuerdings durch die fotografische Aufnahme der Rückseite des Mondes mit Hilfe der sowjetischen Fernrakete Lunik 3 durchbrochen.

Ein Beobachter, der seinen Standort auf der Erdoberfläche hat, kann nur jeweils die Hälfte des Himmels übersehen. Die andere Himmelhälfte wird vom Erdkörper verdeckt. Die Begrenzungslinie zwischen Himmel und Erde heißt *natürlicher Horizont*. Ein Mensch von zwei Meter Körperlänge kann in vollkommen ebenem Gelände oder an der Küste des Meeres den Horizont in etwa 7 bis 15 km Entfernung sehen (F in Abb. 1).

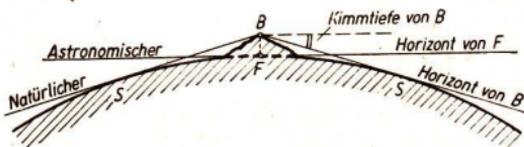


Abb. 1. Natürlicher und astronomischer Horizont.  
Beschränkung der Sichtweite infolge der Erdkrümmung

*Für die Astronomie ist der Horizont die Tangentialebene an die Erdkrümmung im Standort des Beobachters,*

ungeachtet des Profils, welches der Horizont infolge natürlicher Unebenheiten des Geländes zeigt. In Abb. 1 ist der astronomische Horizont durch die Tangente an die Erdkrümmung dargestellt. Erhebt sich der Beobachter über die Erdoberfläche, so vergrößert sich für ihn die Sichtweite. Der Beobachter B in Abb. 1 kann daher bis zum Punkt S sehen. Sein natürlicher Horizont sinkt unter den astronomischen Horizont. Der Winkel zwischen beiden Horizonten wird als *Kimmtiefe* bezeichnet. Infolge der Größe der Erde ist aber die Sichtverweigerung so gering, daß man erst in sehr großen Höhen ein erheblich größeres Gebiet der Erdoberfläche überblicken kann. Gleichzeitig mit der Sichtweite wird auch der übersehbare Teil des Himmels etwas größer. Von Sputnik 3 aus, der zu Beginn seiner Erdumkreisung eine Höhe von etwa 1800 km hatte, betrug die Sichtweite 5100 km; von ihm aus hätte man  $\frac{1}{9}$  der Erdoberfläche überblicken können. Auch die sichtbare Himmelfläche erweitert sich dabei um ein beträchtliches Maß. Aber erst in Mondentfernung, also 384000 km von der Erde entfernt, ist der ganze Himmel übersehbar. Von dort aus gesehen bedeckt die Erde nur eine kreisförmige Fläche des Himmels mit einem Durchmesser von  $1,9^\circ$ .

Verändert der Beobachter seinen Standort (Abb. 2), so wandert der Horizont mit ihm. Hinter ihm sinken scheinbar Teile des Himmels unter den Horizont, während er in Marschrichtung neue und ebenso große Teile des Himmels aus dem Horizont aufsteigen sieht. Wandert ein Beobachter vom Äquator bis zum Nordpol, so legt er einen Weg von 10000 km, einen Erdquadranten, zurück. Dabei ändert sich die Lage seines Horizontes um  $90^\circ$ . Während am Äquator infolge der Erdrotation nacheinander der gesamte Himmel über dem Horizont des Beobachters erscheint, kann man am Pol stets nur die eine Hälfte des Himmels, nämlich vom Pol bis zum Äquator, sehen. Legt der Beobachter bei seiner Wanderung vom Äquator zum Pol 111,12 km zurück, so ändert sich die Lage des Horizontes um  $1^\circ$ , bei 1,852 km Weglänge um  $1'$ , den 60ten Teil eines Meridiangrades. Diese Weglänge wird als *Seemeile* bezeichnet.

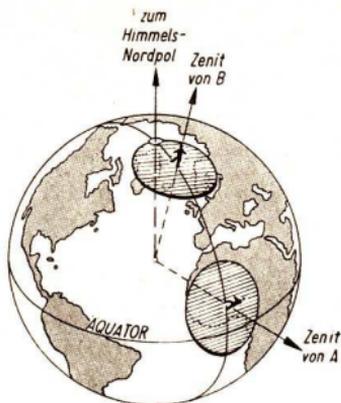


Abb. 2. Lageänderung des Horizontes bei Verschiebung des irdischen Standortes

In gleicher Weise ändert sich die Lage des Horizontes auch bei einer Wanderung in jede andere Richtung. Verschiebt sich jedoch der Beobachtungsort in westöstlicher Richtung oder umgekehrt, bewirkt die Drehung der Erde um ihre Achse eine zusätzliche Lageänderung des Horizontes bezüglich der Sternbilder. Am Äquator bewegt sich infolge der Erdrotation ein Oberflächenpunkt mit der Bahngeschwindigkeit von  $464 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  von Westen nach Osten. Mit der gleichen Geschwindigkeit müßte ein Beobachter entgegengesetzt, also von Ost nach West, eilen, wenn er den gleichen Anblick des Himmels behalten will.

Für die beobachtende Astronomie ergibt sich als Folge der Erdkrümmung, daß gewisse astronomische Erscheinungen (Finsternisse, neue Kometen, Natriumwolken von kosmischen Raketen) nicht an allen Erdorten gleichzeitig sichtbar sein können. Die Erdrotation bewirkt aber, daß solche Objekte im Laufe eines Tages an Erdorten mit verschiedenen geographischen Längen nacheinander beobachtet werden können. Eine vollkommene Erfassung des Sternhimmels ist aber nur durch eine Verteilung der Sternwarten über die ganze Erde möglich.

Umgekehrt kann aus dem Anblick des Sternhimmels auf die Lage des Erdortes geschlossen werden, den der Beobachter zur Zeit seiner Beobachtung innehat. Durch genaue Vermessung des Ortes bestimmter Sterne bezüglich des Horizontes, den sie zu einem bestimmten Zeitpunkt einnehmen, können die geographische Länge und Breite eines Beobachter-Standortes genau ermittelt werden. Messungen dieser Art sind Gegenstand der geographischen Ortsbestimmung, eines Teilgebietes der Erdvermessungswissenschaft (Geodäsie).

#### Aufgaben:

1. Geben Sie einen anschaulichen Beweis für die Erdkrümmung! — 2. Beschreiben Sie, in welcher Weise sich der Anblick des sichtbaren Himmels für einen Beobachter ändert, der seinen Standort

- vom Südpol an den Nordpol verlegt! — 3. Wie lange muß ein Beobachter auf dem Erdäquator warten, bis die Hälfte seines sichtbaren Himmels infolge der Erdrotation untergegangen ist? — 4. Die Sichtweite  $w$  an der Erdoberfläche aus der Höhe  $H$  kann nach der Näherungsformel  $w = 1,065 \cdot \sqrt{2RH}$  berechnet werden, worin  $R$  (6378 km) der Äquatorradius der Erde ist. Wie weit würde man aus einem Höhenballon in  $H = 30$  km sehen können?

### Das Horizontsystem

Von einem Punkt auf der Erdoberfläche — wir nehmen die Erde zunächst als ruhend an — sehen wir oberhalb des Horizontes in allen Richtungen Sterne unterschiedlicher Helligkeit. Sie erscheinen bis auf die Sonne, den Mond und die helleren Kometen dem bloßen Auge als Lichtpunkte. Obwohl die Entfernungen zu den Sternen sehr unterschiedlich sind, erscheinen sie dem irdischen Beobachter alle gleich weit entfernt. Der

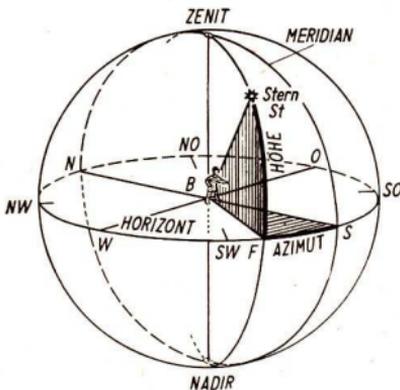


Abb. 3. Das Horizontsystem der Astronomie

gestirnte Himmel bietet sich uns als eine Halbkugel dar, die wir von innen her sehen und an die die Sterne angeheftet zu sein scheinen. Wir benutzen diese Vorstellung von der Himmelskugel, um die Lage der Sterne bezüglich des Horizontes eines irdischen Beobachters eindeutig zu bezeichnen.

In Abb. 3 sei die Kreisfläche OSWN der astronomische Horizont des irdischen Beobachters in B. Die Halbkugel über ihm ist der sichtbare Himmel, während die Halbkugel unter ihm den vom Erdkörper abgedeckten unsichtbaren Himmelsteil darstellt. Eine Senkrechte im Beobachterort B auf die Horizontebene trifft nach oben auf die Himmelskugel im Scheitelpunkt oder *Zenit*. Dieselbe Senkrechte trifft nach unten verlängert die

unsichtbare Sphäre des Himmels im Gegenseitelpunkt oder *Nadir*.

Mit Hilfe eines Kompasses oder durch Beobachtung der Richtung der Sonne im Moment ihrer Kulmination orientiert der Beobachter seinen Horizont nach den 4 Haupt-Himmelsrichtungen Norden (N), Süden (S), Osten (O) und Westen (W) und unterteilt den Horizontkreis in Abschnitte von je  $90^\circ$  (Abb. 4). Zur Angabe der Richtung eines Horizontpunktes hat man für den Horizont die Teilung in  $360^\circ$  eingeführt. Der Winkel zwischen der Südrichtung und der Richtung nach dem Horizontpunkt F in Abb. 3 heißt das *Azimuth* des Horizontpunktes oder des Sternes St, falls dieser über dem Horizontpunkt F steht. Den Horizontpunkt F erhält man als den Schnittpunkt zwischen dem Horizont und einem Kreis an der Himmelskugel, der sowohl durch den Stern als auch durch Zenit und Nadir geht und *Vertikalkreis* genannt wird. Das Azimut wird von Süden über Westen, Norden, Osten und zurück nach Süden von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$  gezählt.

Wechselt der Beobachter seine Blickrichtung vom Horizontpunkt F nach dem Stern St, so überstreicht sein Sehstrahl den Winkel FBSt, die Gestirnshöhe oder kurz die *Höhe* des Sternes. In der wissenschaftlichen Meßpraxis wird anstatt der Höhe der Winkel Zenit-Beobachter-Stern, die *Zenitdistanz*, gemessen. Höhe und Zenitdistanz ergänzen einander zu  $90^\circ$ . Die Höhe zählt man vom Horizont bis zum Zenit von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$ .

Azimum und Höhe geben die Lage eines Sternes bezüglich des Horizontes eines irdischen Beobachters unmißverständlich an.

Die *Himmelskugel mit dem Horizont und den Koordinaten Azimum und Höhe bezeichnet man als das Horizontsystem der Astronomie.*

Als Winkelmeßgerät zur Bestimmung der Horizontal-Koordinaten Azimum und Höhe wird der *Theodolit* verwendet. Auf den meisten Satelliten-Beobachtungsstationen des Weltnetzes werden die Positionen der künstlichen Erdsatelliten in Azimum und Höhe gemessen.

#### Aufgaben:

1. Welche Höhe hat ein Gestirn, das dem Beobachter im Zenit erscheint? — 2. Welches Azimum hat ein Stern, dessen Aufgang genau in Ost-Nord-Ost beobachtet wird? — 3. Welche Höhe hat die Sonne, wenn der Schatten eines senkrechten Stabes gleich seiner Länge ist? — 4. Schätzen Sie zusammen mit Ihren Mitschülern anlässlich einer Schulwanderung das Azimum eines markanten Horizontpunktes (Kirchturm, Bergspitze)! Prüfen Sie die Schätzung durch Messung nach! — 5. Beschreiben Sie das Verhalten von Azimum und Höhe der Sonne während eines Schulvormittages durch Beobachtungen während der Pausen!

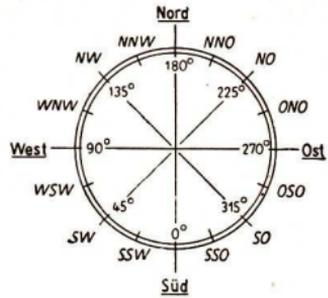
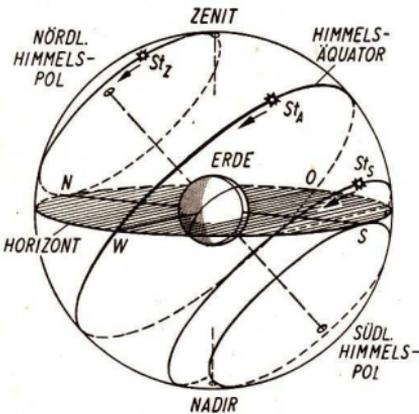


Abb. 4. Die Windrose als grobe Richtungseinteilung des Horizontes



#### Die tägliche Bewegung des Sternhimmels; Sternbilder und Sternnamen

Infolge der Rotation der Erde wandern die Sterne im Laufe der Nacht von Osten nach Westen über die Himmelskugel. Für Beobachter in Mitteleuropa, also für die nördlichen geographischen Breiten zwischen  $46^\circ$  und  $54^\circ$ , ist die Richtung dieser täglichen oder scheinbaren Bewegung der Sterne beim Auf- und Untergang nicht senk-

Abb. 5. Die scheinbaren Gestirnsbahnen an der Himmelskugel infolge der Erdrotation

recht zum Horizont, sondern die Sterne steigen schräg aus dem östlichen Horizont auf, erreichen auf dem Nord-Süd-Bogen der Himmelskugel, dem *Meridian*, ihre höchste Stellung, die *obere Kulmination*, und steigen wieder schräg zum Westhorizont hinab. Abb. 5 zeigt das Horizontsystem wie in Abb. 3. Statt des Beobachters ist die stark vergrößerte Erde in das Zentrum der Himmelskugel gesetzt. Die Erdachse ist in den Raum der Himmelskugel verlängert und führt zum nördlichen und südlichen Himmelspol. Diese Nord-Süd-Achse der Himmelskugel nennt man *Weltachse*. Die beiden Pole des Himmels behalten während der täglichen Bewegung ihre Lage bei. Alle Sterne aber beschreiben im Laufe eines Sterntages Kreise an der Himmelskugel. Diese Kreise sind um so größer, je größer ihr Winkelabstand von den Himmelspolen ist. Zwischen beiden Polen und in gleichem Winkelabstand von je  $90^\circ$  von diesen verläuft der größte unter den Bewegungskreisen der Sterne, der *Himmelsäquator*. Man erhält ihn auch, wenn man die Äquatorebene der Erde über die Erde hinaus wachsen läßt, bis sie die Himmelskugel allseitig schneidet. Ein Stern  $St_A$  auf dem Himmelsäquator geht gemäß Abb. 5 im Ostpunkt auf und im Westpunkt unter. Er ist genau so lange über dem Horizont, wie er unter ihm verweilt, nämlich jeweils einen halben Sterntag.

Ein anderer Stern  $St_S$  südlich des Himmelsäquators beschreibt in Mitteleuropa einen kürzeren Bogen über dem Horizont. Den größten Teil seiner Umlaufszeit bleibt er unter dem Horizont. Dagegen ist ein Stern  $St_Z$  nördlich des Himmelsäquators während seines ganzen Umlaufes über dem Horizont und kommt in seinem tiefsten Himmelspunkt, der *unteren Kulmination*, in den Nordpunkt N. Alle Sterne, die auf der durch den eben beschriebenen Kreis begrenzten Kugelkappe liegen, gehen daher niemals unter. Man nennt sie *Zirkumpolarsterne*. In Abb. 10 ist eine Sternkarte gezeigt, in deren Mitte der nördliche Himmelspol, der Drehpunkt unseres Sternhimmels, liegt. Der Kreis um den Himmelspol umschließt alle Sterne und Sternbilder, die für mitteleuropäische Beobachter Zirkumpolarsterne sind. Einen gleichgroßen Kreis finden wir unterhalb des Horizontes mit der Berührung im Südpunkt. Er begrenzt eine Kugelkappe, deren Sterne für uns niemals über den Horizont aufsteigen, wenn wir unseren irdischen Standort nicht in südlichere Breiten verlegen.

Dicht beim nördlichen Himmelspol finden wir einen hellen Stern, *Polarstern* oder Nordstern genannt. Da er nur etwa  $1^\circ$  vom Himmelspol entfernt steht, beschreibt er innerhalb eines Sterntages nur einen kleinen Kreis, der mit dem bloßen Auge kaum erkennbar ist. Er bleibt also jahrein jahraus zu allen Nachtstunden fast genau über dem Nordpunkt des Horizontes für alle Orte der Erde, die nördlich des Äquators liegen. Er steht um so höher über dem Nordpunkt, je größer die nördliche geographische Breite des Beobachters ist. Wer den Polarstern findet, hat damit

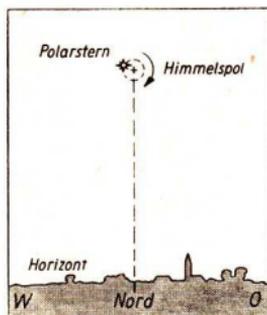


Abb. 6. Der Polarstern als Weiser der Nordrichtung des Horizontes

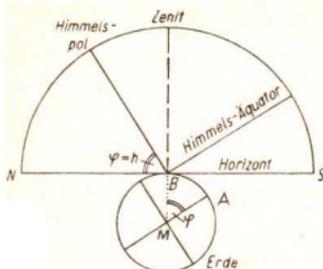


Abb. 7. Die Höhe des Polarsternes über dem Horizont und die geographische Breite sind gleich für denselben Beobachtungsort

ohne Kompaß sofort auch die Nordrichtung seines Horizontes auf wenigstens  $1^\circ$  genau ermittelt (Abb. 6). Gleichzeitig kann man die geographische Breite seines Standortes auf etwa  $1^\circ$  genau bestimmen, wenn man die Höhe des Polarsternes über dem Horizont mißt. In Abb. 7 ist die Himmelskugel mit dem Horizont als Tangente an den Beobachtungsort B auf der Erde dargestellt. Der Winkel  $P_NBN$ , die Höhe  $h$  des Him-

melspoles über dem Nordpunkt, ist gleich dem Winkel  $BMA$  am Erdzentrum, der geographischen Breite  $\varphi$  des Ortes B. Da die Schenkel beider Winkel paarweise aufeinander senkrecht stehen, ist  $h = \varphi$ , das heißt,

*die Polhöhe ist gleich der geographischen Breite.*

In einer klaren mondlosen Nacht sieht man bei allseitig freiem Horizont etwa 2000 Fixsterne am Himmel. Sie haben verschiedene Helligkeiten und sind nicht ganz gleichmäßig über die Sphäre verteilt. Dennoch findet man in jeder beliebigen Blickrichtung genügend helle Sterne, um eine Orientierung auch bei Mondschein vorzunehmen. Obwohl alle Fixsterne eine Bewegung im Raume haben, kann man infolge ihrer großen Entfernung selbst nach vielen Jahrzehnten ohne Anwendung genauer Meßverfahren keine Eigenbewegung feststellen. Die

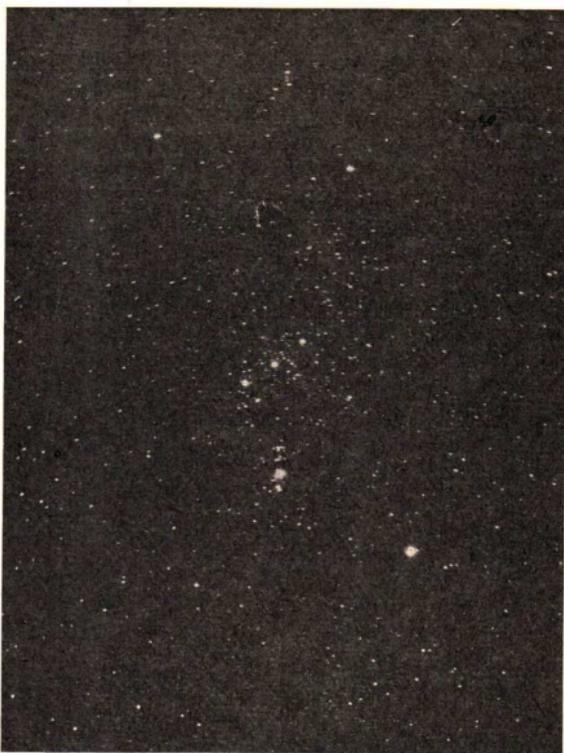


Abb. 8. Sternbild des Orion

gegenwärtige Gruppierung der Fixsterne ist zu Zeiten unserer frühen Vorfahren weitgehend die gleiche gewesen und wird Hunderte von Jahren später noch die gleiche sein.

Das bleibende Bild des gestirnten Himmels veranlaßte die Menschen schon vor mehr als 3000 Jahren, auffällige und leicht einprägsame Sterngruppen in Bildern zu sehen und ihre Sterne mit Linien zu verbinden (Abb. 8). Die Bilder wurden nach Tieren oder Personen benannt, die im Leben der antiken Völker große Bedeutung hatten (Löwe, Krebs, Andromeda, Perseus, Orion). Auch Gegenstände des täglichen Gebrauchs kommen unter den Namen der Sternbilder vor (Waage, Pfeil). In den heutigen Namen der Sternbilder finden wir uraltes Kulturgut, zumeist aus der Mythologie der Babylonier und Griechen wieder. Neben den Sternbildern haben auch hellere Fixsterne Namen aus antiken Quellen (Sirius, Antares, Wega) und vor allem von den Arabern (Algol, Betgeuze, Atair, Deneb) erhalten (vgl. Tabelle im Anhang!).

Die Sternbilder oder Konstellationen haben heute ebenso wie in den Zeiten ihrer Namensgebung zum Zwecke der Orientierung, zum Kennenlernen des Sternhimmels und als Gedankenstütze hervorragende Bedeutung. Sogar die Wissenschaft hat die lateinischen Namen der Sternbilder als Mittel zur Bezeichnung ihrer Forschungsobjekte in den Sternkarten, Sternverzeichnissen und in den Fachveröffentlichungen übernommen.

Wer mit dem Sternhimmel wirklich vertraut werden will, muß die Namen der wichtigsten Sternbilder kennen und sie auf der Sternkarte sowie zu entsprechender Jahreszeit am Himmel auffinden können. Besonders die Beobachtung von bewegten Objekten, des Mondes, der Planeten, der Kometen, der Sternschnuppen und der künstlichen Erdsatelliten, wird durch die Kenntnis der Sternbilder erleichtert. Die sich gegenseitig nicht merklich verschiebenden Fixsterngruppen bilden als ein gut vermessenes Netz von Festpunkten den Anhalt für die Bezeichnung der Stellung bewegter Objekte von Tag zu Tag oder von Stunde zu Stunde. So kann zum Beispiel durch fortgesetzten Anschluß eines Kometen an die Fixsterne, die er auf seinem Himmelsweg berührt, seine scheinbare Bahn an der Himmelskugel und vermittels Rechnung seine wahre Bahn im Weltraum bestimmt werden (Abb. 9).

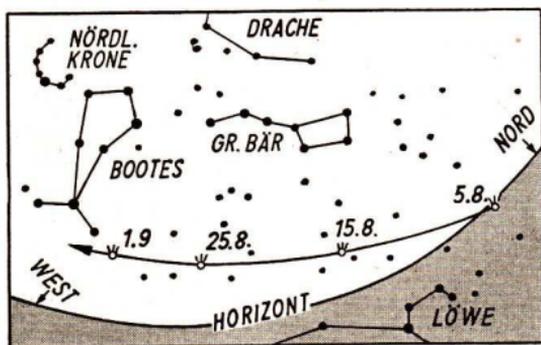


Abb. 9. Scheinbarer Bahnweg des hellen Kometen Mrkos zwischen 5. August und 1. September 1957

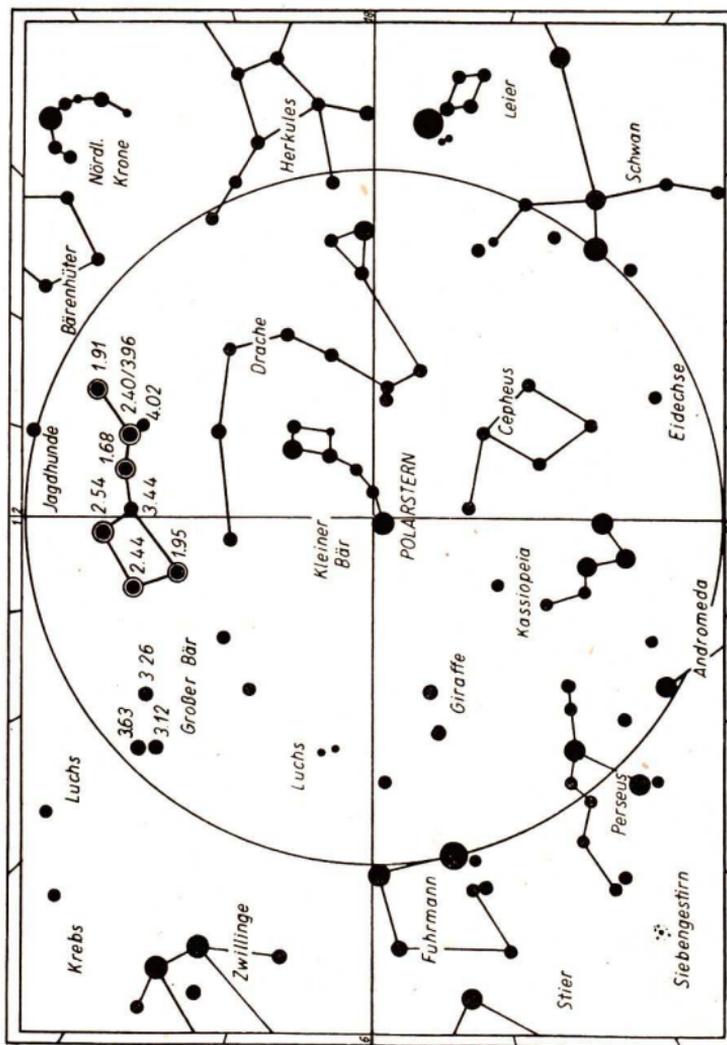


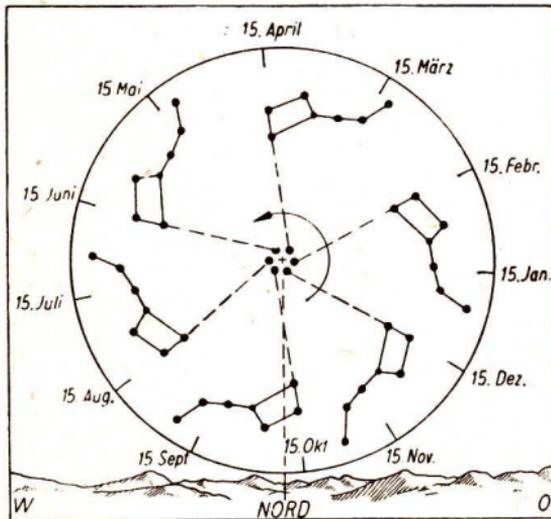
Abb. 10. Sterne und Sternbilder innerhalb des Zirkumpolarkreises für Mitteleuropa. Die Zahlen an den Sternen des Sternbildes „Großer Bär“ geben die jeweiligen Helligkeitswerte an. Dabei werden mit 0 die hellsten und mit 6 die schwächsten Sterne bezeichnet

### Aufgaben:

1. Wählen Sie sich am Abendhimmel einen helleren Stern in der Nähe des Ostpunktes aus, beobachten Sie ihn im Abstand von je einer halben Stunde und schildern Sie das Verhalten seines Azimutes und seiner Höhe! — 2. Suchen Sie sich einen helleren Stern möglichst dicht über dem Horizont in der Nähe des Nordpunktes und beobachten Sie ihn in halbstündigem Abstand! Wie verhalten sich Azimut und Höhe dieses Sternes? — 3. Suchen Sie den Polarstern und anschließend nach der Abb. 10 das Sternbild des Großen Bären! Machen Sie eine Skizze der Lage dieses Sternbildes in bezug auf den Horizont Ihres Beobachtungsortes! Wiederholen Sie die gleiche Beobachtung drei Stunden später und, wenn möglich, nochmals drei Stunden später! Beschreiben Sie den Weg des Großen Bären bezüglich des Polarsternes an Hand Ihrer Beobachtungen! — 4. Richten Sie einen Fotoapparat auf einem Stativ zum Polarstern und lassen Sie den Verschuß eine Stunde lang offen! Welche Bilder erwarten Sie von den Sternen, die die entwickelte Aufnahme zeigt? — 5. Bestimmen Sie die genäherte geographische Breite Ihres Schulortes durch Messung der Höhe des Polarsternes (möglichst mit dem Schultheodolit)!

### Anleitung zum Kennenlernen der Sternbilder

Den gesamten bei uns sichtbaren Himmel mit seinen Sternbildern lernt man nur kennen, wenn man ihn mindestens ein Jahr lang fortgesetzt beobachtet. Denn mit den Jahreszeiten ändert sich die Stellung der Erde bezüglich der Sonne durch den Umlauf auf ihrer Jahresbahn. Viele Sternbilder des sommerlichen Himmels sind im Winter unsichtbar. Das Umgekehrte gilt von den winterlichen Sternbildern. Die Zirkumpolarsternbilder stehen dagegen zu allen Jahreszeiten nachts über dem Horizont. Daher soll jede Orientierung am Himmel in der Nähe des Polarsternes beginnen.



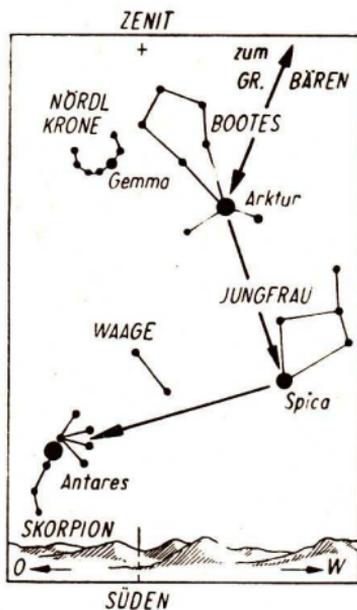
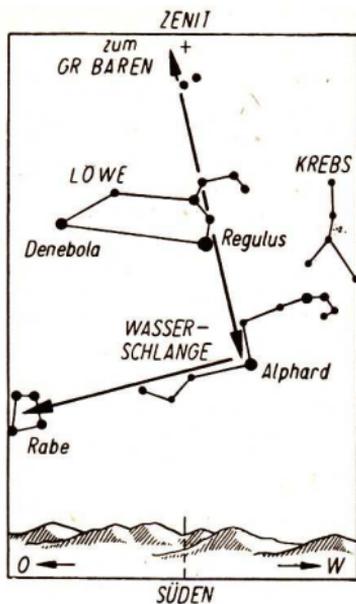
Unsere Beobachtung des Sternhimmels beginnt mit dem Aufsuchen des Polarsternes senkrecht über dem Nordpunkt (s. Abb. 6). Sodann schauen wir nach der Uhr — es ist 22<sup>h</sup> nach Radiozeit (mitteleuropäische Zeit) —, und unser Kalender vermerkt einen Tag Mitte Oktober. Aus Abb. 11 lesen wir ab, daß um diese Jahreszeit und zu dieser Stunde der

Abb. 11. Polarstern und Großer Bär im jahreszeitlichen Stellungswechsel

Große Bär (auch Großer Wagen genannt) tief unter dem Polarstern steht und dem Nordpunkt des Horizontes am nächsten ist.

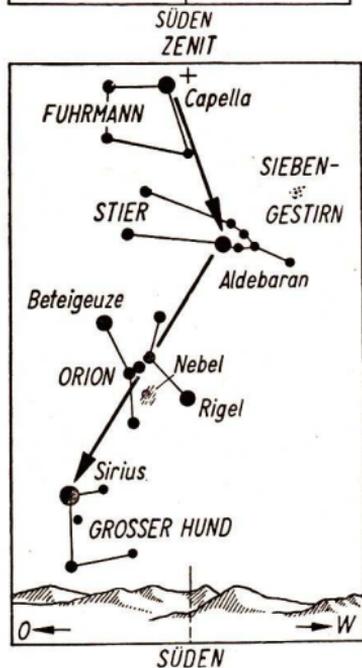
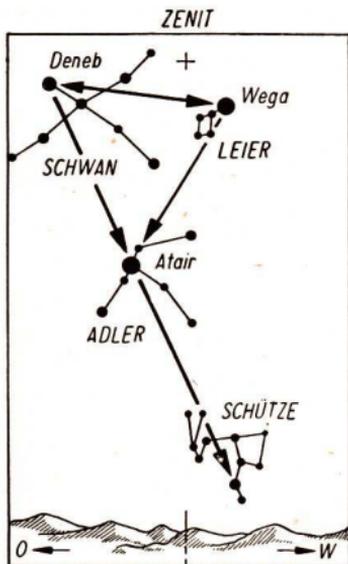
In welcher Richtung vom Polarstern aus der Große Bär zu den anderen Jahreszeiten gegen  $22^h$  zu suchen ist, kann auf dem Datumskreis abgelesen werden, der in Abb. 11 eingezeichnet ist. Polarstern und Großer Bär können gleichsam als Drehpunkt und Spitze des Zeigers einer großen himmlischen Jahresuhr angesehen werden. Beginnen wir unsere Himmelschau schon eine Stunde früher, so müssen wir den Großen Bären um  $15^\circ$  gegen seine  $22$ -Uhr-Stellung rückwärts, also gegen die Richtung des Pfeiles, versetzen. Zu Mitternacht würde der Große Bär um  $2 \cdot 15^\circ = 30^\circ$  in der Pfeilrichtung weitergerückt sein; er stünde dann auf dem aufsteigenden Ast seiner täglichen Himmelsbahn, etwa in nordöstlicher Richtung. Auf der Einstellung einer bestimmten Leitlinie am Himmel mit dem Drehpunkt im Polarstern (genauer im Himmelspol) auf Datum und Uhrzeit beruht das Prinzip der drehbaren Sternkarte.

Dem Großen Bären gegenüber auf der anderen Seite des Polarsternes steht das Sternbild Cassiopeia: 5 helle Sterne in der Anordnung eines großen lateinischen W. Zur Zeit unserer Himmelsbeobachtung — 15. Oktober,  $22^h$  — ist Cassiopeia hoch über dem Polarstern, nahe dem Zenit zu suchen. Ein anderes Paar von Sternbildern, das sich bezüglich des Polarsternes gegenübersteht, ist die Leier mit dem hellen Stern Wega zusammen mit dem Fuhrmann, dessen hellster Stern Capella heißt (s. Abb. 10). Diese beiden hellen Sterne stehen schon auf dem Zirkumpolarkreis bzw. jenseits von ihm und werden für Europa in ihrer tiefsten Nordstellung (untere Kulmination) unsichtbar.



oben: Abb. 12. Die Sternbilder an der Frühlings-Leitlinie, gültig für 1. April, 20 Uhr

unten: Abb. 13. Die Sternbilder an der Sommer-Leitlinie, gültig für 15. Juni, 22 Uhr



Haben wir einmal das Sternbildkreuz Großer Bär — Cassiopeia — Leier — Fuhrmann erkannt, lassen sich mühelos mit der Karte in Abb. 10 die übrigen dort benannten Sternbilder auffinden. Damit haben wir den gesamten Nordhimmel erfaßt.

Zu den Bildern des Himmels südlich vom Zenit, die nur für gewisse Jahreszeiten sichtbar sind, gelangen wir am sichersten, wenn wir Linien ziehen, die helle und leicht auffindbare Sterne miteinander verbinden und bei einem der Sternbilder innerhalb des Zirkumpolarkreises beginnen. In den Abb. 12 bis 15 ist für jede der 4 Hauptjahreszeiten ein Leitlinienzug dargestellt, der das Auffinden markanter südlicher Sternbilder ermöglicht.

Von Abend zu Abend erweitern wir unsere Beobachtungen, wobei wir jedesmal wiederholen, was wir vorher erkannt haben. Nach und nach finden wir auch die Bilder, die zwischen den Linienzügen liegen und weniger auffällig sind. Hierzu muß eine Sternkarte herangezogen werden, die den ganzen Himmel im Bilde darstellt.

#### Aufgaben:

1. In welchem Monat des Jahres steht das Sternbild Cassiopeia abends gegen 21<sup>h</sup> westlich des Polarsterns und etwa auf gleicher Höhe mit ihm? — 2. Beobachten Sie in mondloser Nacht den Großen Bären und bezeichnen Sie seine 7 hellsten Sterne in der Reihenfolge ihrer Helligkeit! Vergleichen Sie Ihre Schätzungen mit den in Abb. 10 angeschriebenen Helligkeiten, wobei mit 0 die hellsten und mit 6 die schwächsten mit bloßem Auge sichtbaren Sterne bezeichnet werden! — 3. Nennen Sie an Hand einer Sternkarte die Namen einiger Sternbilder, die für die geographische Breite

oben : Abb. 14. Die Sternbilder an der Herbst-Leitlinie, gültig für 1. September, 21 Uhr

unten : Abb. 15. Die Sternbilder an der Winter-Leitlinie, gültig für 15. Januar, 22 Uhr

Ihres Wohnortes im Zenit stehen können! Stellen Sie fest, wann dies geschieht! — 4. Ermitteln Sie mit Hilfe einer Taschenuhr, wieviel Minuten nach Sonnenuntergang Sie die hellsten Sterne (Wega, Capella) und sodann die Sterne des Großen Bären deutlich erkennen können! — 5. Machen Sie unter freiem Himmel eine Skizze der Sterne des Großen Bären, des Orion, des Fuhrmannes sowie anderer Bilder und vergleichen Sie ihre Zeichnungen mit den entsprechenden Bildern auf einer Sternkarte!

### Das Äquatorsystem

Die Koordinaten Azimut und Höhe, die im Horizontsystem (s. Abb. 3) die Lage eines Sterns bezüglich des Horizontes angeben, haben infolge der Änderung der Horizontlage bei einem Wechsel der geographischen Breite den Nachteil, daß sie für den gleichen Stern ganz verschieden ausfallen. Außerdem ändern sie sich laufend durch die Bewegungen der Erde. Man hat deswegen Koordinaten eingeführt, die für die ganze Erde nahezu konstante Werte haben. Sie werden nicht auf den Horizont, sondern auf den Himmelsäquator bezogen und heißen Äquatorial-Koordinaten. Das System dieser neuen Koordinaten heißt das Äquatorsystem (Abb. 16).

Ein irdischer Beobachter in B, der den Horizont OSWN hat, sieht je nach seiner geographischen Breite oder seiner Polhöhe den Himmelsäquator als mehr oder weniger schräg aufsteigenden Bogen von Osten nach Westen gespannt. Ein Stern St, der nicht auf dem Himmelsäquator steht, hat von diesem den senkrechten Abstand StG oder steht um den Winkel StBG, die *Deklination*  $\delta$ , über (nördlich) oder unter (südlich) dem Himmelsäquator. Der Bogen StG ist ein Stück des Halbkreises vom Nordpol über St und G zum Südpol. Man bezeichnet ihn als *Stundenkreis* des Sterns St.

Dieser Stundenkreis hat von einem anderen Stundenkreis, der sich ebenfalls von Pol zu Pol spannt und durch den Äquatorpunkt  $\gamma$  geht, den Winkelabstand  $\gamma$  BG, die *Rektaszension*  $\alpha$  des Sternes. Die Rektaszension wird in Richtung gegen die tägliche Bewegung, also von West nach Ost, von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$  oder im Zeitmaß von  $0^h$  bis  $24^h$  gezählt. Der Stundenkreis durch den Punkt  $\gamma$  (Tierkreiszeichen des Widders) hat dieselbe Bedeutung wie der Meridian von Greenwich in der Geographie; er gilt verabredungsgemäß als Nullkreis des Äquatorsystems. Der Punkt  $\gamma$  heißt *Frühlingspunkt* und ist bestimmt durch die Stellung der Sonne unter den Sternen am 21. März eines jeden Jahres in dem Augenblick, in dem sie von Süden kommend den Himmelsäquator nach Norden überschreitet (Frühlingsanfang oder Frühlings-Tagundnachtgleiche). Der Frühlingspunkt liegt im Sternbild Fische, er ist wie ein unsichtbarer Stern unter den Fixsternen zu behandeln, nimmt also

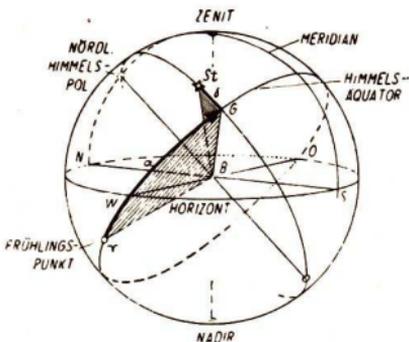


Abb. 16. Das Äquatorsystem der Astronomie

auch an der täglichen Bewegung teil, geht auf und unter und hat gemäß seiner Definition zu Frühlingsbeginn mittags 12 Uhr seine höchste Stellung über dem Horizont.

*Die Koordinaten Deklination und Rektaszension bestimmen die Lage eines Sternes bezüglich des Himmelsäquators unmißverständlich und sind unabhängig von der Rotation der Erde.*

Diese Koordinaten des Himmels entsprechen den geographischen Koordinaten Länge und Breite und bespannen die Himmelskugel ebenso wie diese die Erde mit einem Koordinatennetz, das zumeist in den Sternkarten eingezeichnet ist. Die Astronomen messen die Lage (Position) der Gestirne in den Äquatorialkoordinaten Deklination und Rektaszension und fassen diese bisher von mehr als einer Million Sterne gemessenen Daten in ihren Sternkatalogen zusammen. Diese dienen zum Aufsuchen der Sterne mit den großen Fernrohren.

Bei Beobachtungen am Fernrohr wird anstelle der Rektaszension der von der Zeit abhängige *Stundenwinkel*  $\tau$  (Tau) verwendet.  $\tau$  ist der Winkel zwischen dem Südmeridian und dem Stundenkreis des Sterns. Alle größeren Fernrohre haben Einrichtungen zum Einstellen der Deklination und des Stundenwinkels. Dabei findet man den Stundenwinkel, indem man von der Sternzeit die Rektaszension abzieht.

Von Zeit zu Zeit müssen die Äquatorkoordinaten der Sterne von neuem gemessen werden, da sich, wie bereits angedeutet, die Positionen der Sterne am Himmel infolge ihrer Eigenbewegung und infolge der Bewegungen der Erde langsam ändern. Auch die Richtung der Erdachse im Raume, an welcher das Äquatorsystem angelehnt ist, ändert sich in mannigfacher Weise. Die Astronomie ist dadurch auf fortwährende Kontrolle der Lage ihrer Objekte angewiesen und mußte eine außerordentlich hohe Meßtechnik entwickeln, um dies zu ermöglichen.

#### **Aufgaben:**

1. An welchen Orten der Erdoberfläche fallen Horizontsystem und Äquatorsystem in eines zusammen? — 2. Welchen Winkel bilden die Ebenen des Horizontes und des Himmelsäquators auf einem Ort am irdischen Äquator? — 3. Der Stern Capella im Fuhrmann hat die Deklination  $+46^\circ$ , das heißt er steht  $46^\circ$  nördlich vom Himmelsäquator. Wie groß ist sein Winkelabstand vom Himmelsnordpol (Poldistanz)?

#### **Sieben Regeln für den Himmelsbeobachter:**

1. Schauen Sie nicht ohne ein starkes Blendglas direkt in die Sonne, erst recht nicht mittels einer Lupe oder durch ein Fernrohr (Gefahr der Erblindung!)! — 2. Suchen Sie sich zur Himmelsorientierung einen Ort im freien Gelände mit allseitig freier Sicht zum Horizont aus! Astronomie vom Balkon ist eine halbe Sache. — 3. Ziehen Sie sich warm an, auch im Sommer! Auch nach warmen Sommerabenden kann es nach Mitternacht und an Orten in Tallagen unangenehm kühl werden. — 4. Vergessen Sie nicht, zur Beobachtung mit vorher genau eingestellter Taschenuhr zu gehen! Armbanduhren sind im Dunkeln wegen der kleinen Zifferblätter ungeeignet. — 5. Nehmen Sie stets eine Taschenlampe zum Beobachten mit, deren Strahler mit Grün- oder Rotpapier abgedunkelt ist! Ein helles Licht stört Sie und Ihre Mitbeobachter bei der Arbeit. — 6. Schreibblock und Bleistift gehören zur festen Ausrüstung eines Astronomen. Nie können Sie wissen, ob Sie nicht Zeuge einer seltenen Himmelserscheinung werden, deren Verlauf Sie beschreiben wollen (Nordlicht, helle Sternschnuppen, Erdsatellit). — 7. Eine kleine, auf Pappe aufgezogene Sternkarte sollten Sie bei allen astronomischen Unternehmungen mit sich führen.

# DAS SONNENSYSTEM

## Geschichtliche Entwicklung der Auffassungen über das Sonnensystem

### *Anschauungen des Altertums*

Schon in sehr früher Zeit begannen die Menschen, sich mit den Sternen zu beschäftigen. Die ältesten erhaltenen Zeugnisse dieser Art besitzen ein Alter von fast 5000 Jahren. Dabei handelt es sich vorwiegend um Überlieferungen, die aussagen, wie die ersten Zeiteinteilungen der Menschen, also die ersten Kalender, entstanden sind. Solche Kalender fußten auf einer sorgfältigen Beobachtung des Laufs der Gestirne. Durch die Beobachtung des Himmels erkannten die Hirten- und Ackerbauvölker des Altertums, daß zwischen dem Auftauchen und Verschwinden bestimmter Gestirne und Naturereignissen auf der Erde Zusammenhänge bestehen (z. B. Nilüberschwemmung, bestimmte Windströmungen, der von den Jahreszeiten abhängige Pflanzenwuchs der Steppengebiete, die Wurfzeit der Tiere). Es dauerte allerdings eine lange Zeit, bis die Menschen auch die Ursachen dieser Erscheinungen erkannten. Durch die Anpassung der Handlungen der antiken Menschen an diese Gesetzmäßigkeiten auf der Grundlage ihrer astronomischen Kenntnisse war es ihnen möglich, ihre materielle Existenzgrundlage entscheidend zu beeinflussen und zu verbessern (Anwendung der Erkenntnisse auf die Bewässerungsmaßnahmen, die Tierzucht, die Schifffahrt, den Handel). Das war einer der wesentlichen Gründe dafür, daß sich von den Hirten- und Ackerbauvölkern aus eine höhere Gesellschaftsformation entwickeln konnte, wie sie z. B. die ägyptische und die griechische Sklavenhalterordnung darstellte.

Bei den Himmelsbeobachtungen mußte schon sehr bald auffallen, daß es neben der Sonne und dem Mond zwei Arten von Sternen gibt. Eine große Zahl der Sterne schien zueinander immer die gleiche Stellung zu behalten und somit am Himmel befestigt zu sein. Sie wurden als feststehende Sterne oder Fixsterne bezeichnet. Dagegen schien eine kleine Zahl beweglicher Sterne unter den Fixsternen zu wandeln. Diese wurden Wandelsterne oder Planeten genannt.

Den Wechsel von Tag und Nacht konnten sich die Menschen anfangs nur so erklären, daß sich der Himmel mit seinen Sternen um die Erde drehe. Den Himmel stellte man sich als eine feste Kuppel vor, an deren Innenseite die Sterne als goldene Nägel befestigt waren. In der Kuppelmitte ruhte die Erde (Abb. 17). Die Priester der Babylonier, der Ägypter und auch der Griechen der älteren Zeit hielten ebenso wie die Priester der Völker Chinas und Indiens die Erde für eine Scheibe, deren Rand die Himmels-



Abb. 17. Weltbild des Altertums

kuppel trägt. Die Erde wurde nach der Meinung der Babylonier und Ägypter vom Weltmeer, in der Vorstellung der Griechen vom Fluß Okeanos umflossen.

Bereits bei den Babyloniern setzte sich jedoch der Gedanke durch, der Himmel umgäbe die Erde kugelförmig. Dieser Gedanke wurde im 6. Jahrhundert v. u. Z. auch von den griechischen Gelehrten *Thales* und *Anaximander* verbreitet. Wenig später lehrte *Pythagoras aus Samos*, daß die Erde die Gestalt einer Kugel habe und im Mittelpunkt der Welt stehe. Um diesen Weltmittelpunkt bewegten sich nach seiner Meinung der Mond, die Sonne, die Planeten und die Fixsternkugel.

*Plato* (427—347 v. u. Z.) und *Aristoteles* (384—322 v. u. Z.), die beiden bedeutendsten griechischen Philosophen des 4. Jahrhunderts v. u. Z., hielten an der Lehre des Pythagoras von der im Mittelpunkt der Welt ruhenden Erdkugel fest. Sie haben durch ihre große, auch bei den Arabern und das ganze Mittelalter hindurch lebendigen Autorität viel dazu beigetragen, daß sich dieser Irrtum so zähe erhalten hat.

Als einziger Astronom des Altertums gelangte *Aristarch aus Samos* (310 bis 230 v. u. Z.) zu der richtigen Auffassung, daß die Sonne den Mittelpunkt des Planetensystems bilde und die Erde mit den anderen Planeten um sie kreise und sich außerdem um ihre Achse drehe. Diese revolutionäre Idee stieß bei den zeitgenössischen Philosophen auf Ablehnung. Einer von ihnen soll sogar gefordert haben, Aristarch als Religionsverächter, weil er den „heiligen Weltherd“ (die Erde) verrücke, vor Gericht zu stellen. Daß sich Aristarchs genialer Gedanke damals nicht durchsetzen konnte, lag auch daran, daß Mathematik und Beobachtungskunst noch zu wenig entwickelt waren, um überzeugende Beweise liefern zu können. Gestützt durch Religion, Herkommen und den unmittelbaren Augenschein behauptete sich die irrierte Lehre von der im Mittelpunkt der Welt ruhenden Erde durch das ganze Altertum. Nachdem es Ptolemäus 400 Jahre nach Aristarch gelungen war, diese Lehre auch mathematisch darzustellen, war sie noch ein Jahrtausend die einzig anerkannte Lehre.

### *Das geozentrische Weltsystem des Ptolemäus*

Im zweiten Jahrhundert unserer Zeitrechnung lebte in Alexandria in Ägypten der griechische Astronom *Claudius Ptolemäus* (87 bis 165 u. Z.), der das gesamte astronomische Wissen der damaligen Zeit in einem umfangreichen Werk zusammenstellte, das später unter dem Namen „Almagest“ bekannt geworden ist. Dieses Werk enthält eine Darstellung des Sternen- und Planetensystems, das allgemein als „Ptolemäisches Weltsystem“ bezeichnet wird (Abb. 18). In diesem System steht die Erde im Mittelpunkt der Welt, und alle Bewegungen vollziehen sich um die Erde (geozentrisches System). Sie ist von einer Lufthülle umgeben, die an ein „Feuermeer“ grenzt. Nach außen schließen sich die Bahnen des Mondes, des Merkur und der Venus, der Sonne, des Mars, des Jupiter und des Saturn an. Jenseits des Saturn gibt es in diesem Planetensystem keine Wandelsterne mehr. Vielmehr folgt zunächst die Fixsternkugel, die das Planetensystem umschließt. Dahinter sollte sich das sogenannte „Primum mobile“, eine gewaltige Urkraft oder ein Weltrad, befinden, das die tägliche Drehung der Himmelskugel und

den Lauf der Planeten um die Erde herum veranlaßt. Der Wechsel von Tag und Nacht komme dadurch zustande, daß die Sonne sich um die Erde bewege.

Ptolemäus konnte sich — im Gegensatz zu Aristarch — auf viele gute Beobachtungen, teils griechische, teils babylonische, stützen und außerdem auf den Arbeiten seiner Vorgänger weiterbauen. So gelang es ihm tatsächlich, die Bewegungen von Sonne, Mond und Planeten für die damalige Beobachtungsgenauigkeit recht gut zu berechnen.

Das Ptolemäische Weltsystem hat rund 1400 Jahre als unantastbar gegolten, besonders auch deshalb, weil es den Vorstellungen und den Machtansprüchen des Klerus der

katholischen Kirche und anderer Angehöriger der herrschenden Klasse im Mittelalter am besten entsprach. Von der Kirche wurde daher jeder Versuch, dieses Weltsystem anzuzweifeln, mit aller Strenge verfolgt. Durch die Übereinstimmung des Ptolemäischen Systems mit den Vorstellungen der Kirche gab es dieser die Möglichkeit, den Unfehlbarkeitsanspruch ihrer Dogmen darauf zu gründen.

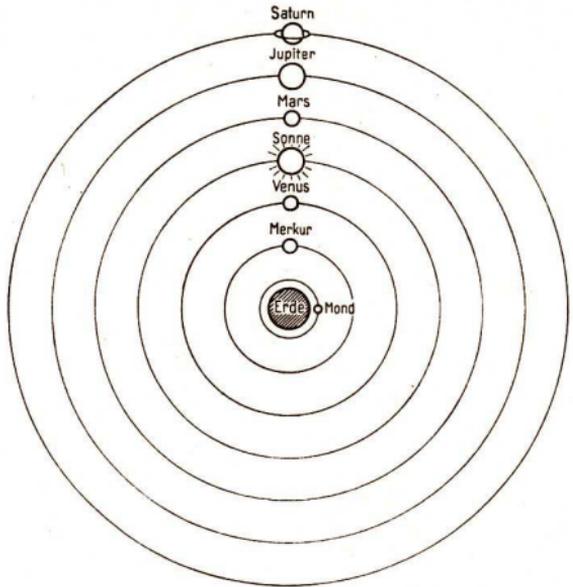


Abb. 18. Das geozentrische Weltsystem

### *Ein neues Weltbild steigt empor!*

Die Vorstellungen von der Welt, die im Mittelalter herrschten, beruhten im Gegensatz zur Antike auf einer gänzlich veränderten gesellschaftlichen Situation.

Anstatt des dünnen Kulturstreifens entlang der Mittelmeerküste, der mit anderen Gebieten auf dem europäischen Kontinent nur in lockerer Verbindung stand, sehen wir jetzt ein geschlossenes europäisches Kulturgebiet vor uns. An Stelle der Griechen und Römer, die den Völkern auf niedrigerer Entwicklungsstufe gegenüberstanden, haben wir es im Mittelalter mit einer ganzen Anzahl von entwickelten Kulturvölkern zu tun, die alle eine im wesentlichen abgeschlossene Kultursprache besaßen. Sie war ein Zeichen für die größere Vielseitigkeit der Bildung, die im Gegensatz zur antiken Welt jetzt in Europa herrschte.

Diese Entwicklung hatte ihre Ursache in dem weitaus höheren Entwicklungsstand der Produktivkräfte des Mittelalters im Gegensatz zu dem der Antike. Die Städte entfalteten sich unabhängig von den Feudalherren. Die Manufaktur des ausgehenden Mittelalters stellte eine differenzierte Arbeitsteilung dar, welche die Arbeit produktiver machte. Eine Reihe europäischer Feudalstaaten trat in die frühkapitalistische Periode ein. Damit betrat eine neue Klasse, die aufstrebende Bourgeoisie, den Schauplatz der Geschichte. Alle diese Faktoren trugen entscheidend dazu bei, das Zeitalter der Entdeckungen mit seinen ausgedehnten Eroberungsfahrten zu Lande und zu Wasser als gesellschaftliche Notwendigkeit einzuleiten.

Mit der Entwicklung der Hochseeschifffahrt stand auch die Astronomie an der Wende einer neuen Zeit. Auf dem Meere erwiesen sich die Sterne als die einzigen zuverlässigen Begleiter des Menschen. Der Seemann versuchte, sich nach deren Stellung zu orientieren und den Ort seines Schiffes zu bestimmen. Dazu war erforderlich, daß der Lauf von Sonne, Mond und Planeten mit größtmöglicher Genauigkeit für eine längere Zeit vorausberechnet werden mußte. Hier aber zeigte sich, daß häufig größere Abweichungen zwischen dem vorausgerechneten und dem tatsächlichen Ort eines Planeten auftraten. Für diese Abweichungen gab es zunächst keine Erklärung. Als auch die gegen Ende des 15. Jahrhunderts sich steigende astronomische Beobachtungs- und Meßgenauigkeit zu keinen befriedigenden Ergebnissen führte, begannen sich ernsthaft Zweifel an der Richtigkeit des Ptolemäischen Weltsystems zu regen.

Aber noch ein weiteres kam hinzu. Die aufstrebende Bourgeoisie jener Zeit begann immer mehr, die Entwicklung in Wissenschaft und Technik ihren Bedürfnissen anzupassen. Ihre Wissenschaftler erkannten, daß sie auf ihrem Gebiet nur Fortschritte erzielen konnten, wenn sie sich von den für „unfehlbar“ gehaltenen Dogmen der katholischen Kirche abwandten. Sie bedienten sich dabei neuer Arbeitsmethoden, indem sie bei allen wissenschaftlichen Fragen von konkreten Untersuchungen und Experimenten ausgingen.

Diese Wissenschaft war ihrer Natur nach revolutionär. Sie nahm ihren Ausgang in der Renaissance, über die *Friedrich Engels* urteilte:

„Es war die größte progressive Umwälzung, die die Menschheit bis dahin erlebt hatte, eine Zeit, die Riesen brauchte und Riesen zeugte, Riesen an Denkkraft, Leidenschaft und Charakter, an Vielseitigkeit und Gelehrsamkeit. Die Männer, die die moderne Herrschaft der Bourgeoisie begründeten, waren alles, nur nicht bürgerlich beschränkt.“

### *Das heliozentrische Weltsystem*

Das neue, von dem polnischen Gelehrten *Nikolaus Kopernikus* (1473 bis 1543) begründete Weltsystem vollzog konsequent den Bruch mit dem Ptolemäischen Weltsystem (Abb. 19). In seinem großen Werk „Über die Kreisbewegungen der Himmelskörper“, das 1543 in Nürnberg gedruckt wurde, legte Kopernikus ausführlich dar, daß die Erde nicht den Mittelpunkt der Welt bilden kann. Nach seiner Lehre steht die

Sonne im Zentrum des Planetensystems, und die Erde umkreist gemeinsam mit den übrigen Planeten die Sonne. Im Gegensatz zum geozentrischen Weltssystem entwickelte Kopernikus somit ein heliozentrisches Weltsystem (gr. helios = Sonne), dessen Bedeutung für den Fortschritt des menschlichen Denkens ebenso entscheidend war wie für die Wissenschaft (Abb. 20). Damit verlor nicht nur die Erde ihre zentrale Stellung im Weltall, auch der Mensch wurde aus der Mitte der Welt verdrängt und zum Bewohner eines Himmelskörpers, der den übrigen Planeten gleichgestellt war. Trotz der überzeugenden Einfachheit des Kopernikanischen Weltsystems und seiner sonstigen Vorzüge gegenüber dem Weltsystem des Ptolemäus fand es nicht sofort allgemeine Zustimmung. Es gab manchen Astronomen, der an den alten Vorstellungen festhielt. Vor allem waren es aber kirchliche Kreise, die sich erbittert gegen Kopernikus wandten.



Abb. 19. Nikolaus Kopernikus (1473 bis 1543)

### *Der Kampf um das heliozentrische Weltsystem*

Einige Jahre nach dem Tode von Kopernikus nahm die Kirche mit allen Kräften den Kampf gegen die neue Lehre auf. So nannte Luther den Astronomen Kopernikus einen Narren, der die ganze Astronomie umkehren wolle und dessen Worte man zügeln sollte. Als sich der ehemalige Mönch *Giordano Bruno* (1548 bis 1600) in seinen öffentlichen Reden und Schriften mit voller Überzeugung zu Kopernikus bekannte und dessen Weltbild vertrat, griff die Kirche zu. Sie ließ Bruno als Ketzer vor das römische Kirchengericht (Inquisition) stellen. Da er sich standhaft weigerte, seine Bekenntnisse zu widerrufen, wurde er zum Tode durch die Flamme verurteilt und in Rom öffentlich auf dem Scheiterhaufen verbrannt.

Brunos überragende Bedeutung liegt besonders auf philosophischem Gebiet. In großartiger Voraussicht betrachtete er das Weltall als materielle Einheit, dem an allen Punkten die gleichen objektiven Gesetzmäßigkeiten zugrunde liegen, das ständigem Werden und Vergehen unterworfen und in seinen Ausmaßen unendlich ist. Er behauptete ferner, daß auch in anderen Sternsystemen Planeten vorhanden seien und daß Leben auf ihnen existieren könne.

Der Fortschritt in der Wissenschaft ließ sich nicht mehr aufhalten. Kaum zehn Jahre nach dem Tode Brunos richtete der italienische Gelehrte *Galileo Galilei* (1564 bis 1642)

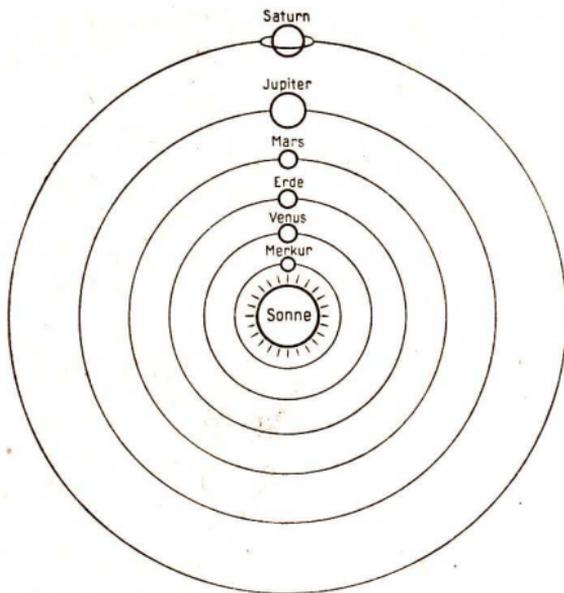


Abb. 20. Das heliozentrische Weltssystem

zeugen. Als Antwort erhielt er die Vorladung vor das Inquisitionsgericht, das in zwei Prozessen (1616 und 1633) gegen ihn vorging. Im ersten Prozeß wurde er dazu verurteilt, die weitere Verbreitung der kopernikanischen Lehre durch Wort und Schrift einzustellen. Als Galilei auf die Dauer nicht zu schweigen vermochte und ein neues Werk veröffentlichte, zwang man ihn unter Androhung von Folterungen, die von ihm erkannte Wahrheit abzuschwören.

Mit diesem Prozeß griff ein kirchliches Gericht unter Mißachtung aller wissenschaftlichen Beweismittel in Fragen der Astronomie ein, für die es niemals zuständig sein konnte. Der schon fast erblindete greise Galilei wurde zu lebenslänglicher Haft verurteilt, das gedruckte Werk des Kopernikus kurzerhand verboten. Doch die Richtigkeit der kopernikanischen Lehre konnte dadurch nicht widerlegt werden. Ganz im Gegenteil, sie begann sich schneller und überzeugender durchzusetzen, als die Richter des Galilei gehnt haben mögen. Die Wahrheit erwies sich stärker als die kirchliche Lüge. Davon war auch Galilei überzeugt. Denn wenn er auch unter dem Druck der kirchlichen Gewalt seine Ansicht von der Bewegung der Erde abschwor, so sagt die Legende, daß er seinem Schlußwort den nicht für das Gericht bestimmten Ausspruch hinzugefügt haben soll: „Und sie bewegt sich doch!“

erstmalig ein Fernrohr zum Himmel und machte dabei aufsehenerregende Entdeckungen. Er erkannte die Gebirge des Mondes, sah die Scheibenform der Planeten, entdeckte die verschiedenen Phasen der Venus und die vier hellsten Monde des Jupiter. Nun bestand kein Zweifel mehr, daß die Planeten, ebenso wie die Erde, von kugelförmiger Gestalt sind. Diese Entdeckungen bewiesen bereits weitgehend die Richtigkeit der kopernikanischen Lehre.

Galilei hatte sich bereits im Jahre 1597 zu Kopernikus bekannt. Er lud nunmehr hohe kirchliche Würdenträger Roms ein, zu ihm ans Fernrohr zu kommen und sich von der Wirklichkeit zu über-

Inzwischen machte die Astronomie weitere Fortschritte: die Gesetze der Planetenbewegung wurden entdeckt. Diese wichtigen Erkenntnisse gehen zurück auf langjährige Beobachtungen der Planetenbewegungen, die der dänische Astronom *Tycho Brahe* (1546 bis 1601) anstellte. Sein Gehilfe, *Johannes Kepler* (1571 bis 1630), bearbeitete diese Beobachtungen sehr sorgfältig (Abb. 21). Beide Astronomen waren in Prag zusammengetroffen, nach dem sie ihre Heimat hatten verlassen müssen.

Schon zu Lebzeiten Tycho Brahes hatte Kepler damit begonnen, die von jenem gesammelten Ergebnisse der Planetenbeobachtungen genauer zu untersuchen. Dabei fiel ihm auf, daß der beobachtete Ort eines Planeten am Himmel niemals genau mit dem vorausberechneten übereinstimmte. Solchen Vorausberechnungen lag die aus dem Altertum übernommene und auch

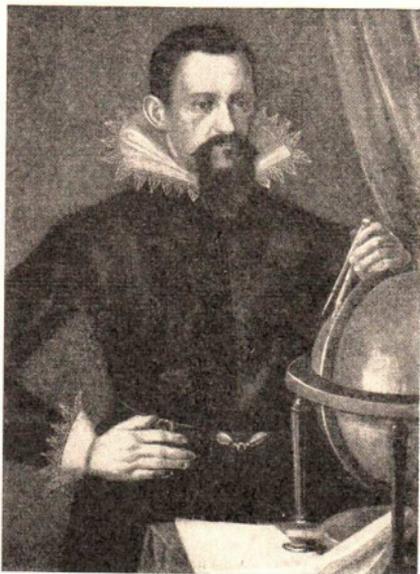


Abb. 21. Johannes Kepler (1571 bis 1630)

von Kopernikus anerkannte Vorstellung zugrunde, daß die Bewegung der Planeten in einer kreisförmigen Bahn erfolge. Kreisförmig sollte sie deshalb sein, weil nur der Kreis vollkommen gleichmäßig gekrümmt ist und weil die „Schöpfung“ nur vollendet schön sein konnte. In mühevollen Berechnungen, die sich über viele Jahre erstreckten, konnte Kepler jetzt aber nachweisen, daß sich der Umlauf der Planeten um die Sonne in elliptischen Bahnen vollzieht.

Kepler hat insgesamt drei Planetengesetze aufgestellt, die nach ihm die *Keplerschen Gesetze* genannt werden. (Vgl. „Mechanik“, ein Lehrheft für das 9. Schuljahr, Ausgabe 1959, S. 72.)

Das erste Keplersche Gesetz sagt:

„Die Bahnen der Planeten sind Ellipsen, in deren einen Brennpunkt die Sonne steht.“

Das zweite Keplersche Gesetz:

„Ein von der Sonne zum Planeten gezogener Leitstrahl überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.“

Das dritte Keplersche Gesetz:

„Die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten im Sonnensystem verhalten sich wie die dritten Potenzen der großen Halbachsen ihrer Bahnen.“

Mit Hilfe dieser Gesetze gelang es, den Lauf der Planeten für lange Zeit genauestens festzulegen. Damit war eindeutig bewiesen, daß das Kopernikanische Weltsystem auf richtigen Voraussetzungen beruht.

## Das Newtonsche Gravitationsgesetz<sup>1</sup>

Noch im gleichen Jahrhundert konnte das Kopernikanische Weltsystem weiter ausgebaut werden. Der englische Physiker *Isaac Newton* (1643 bis 1727) veröffentlichte 1687 das Gesetz von der allgemeinen Massenanziehung (Gravitationsgesetz). Danach ziehen sich alle Körper, also auch die Sonne und ein Planet, gegenseitig mit einer Kraft an, die in bestimmter Weise von ihren Massen und ihrer Entfernung abhängt. Dieser Kraft wirkt die Zentrifugalkraft entgegen, die sich aus dem Umlauf der Planeten um die Sonne ergibt, wobei sich beide Kräfte praktisch aufheben. Mit dem Auffinden dieser Gesetzmäßigkeiten konnte Newton die Ursache der Planetenbewegung erklären und die Keplerschen Gesetze auf mathematischem Wege ableiten.

Das Newtonsche Gravitationsgesetz hat sich für die gesamte Naturforschung von größter Bedeutung erwiesen. Bei der weiteren Erforschung des Planetensystems hat es zu erstaunlichen Entdeckungen geführt.

### *Ein neuer Planet*

Vom Altertum bis in das 18. Jahrhundert hinein kannte man außer der Erde nur fünf Planeten (Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn). Erst im Jahre 1781 gelang es dem in England wirkenden Astronomen *Wilhelm Herschel*, einen bis dahin unbekanntes Himmelskörper zu entdecken. Er hielt ihn zunächst für einen Kometen. Bald stellte sich jedoch heraus, daß es sich um einen Planeten handelte, der jenseits der Saturnbahn die Sonne umlief. Er erhielt den Namen *Uranus*.

Einige Zeit später standen jedoch die Astronomen vor einem großen Problem. Die beobachtete Bewegung des Uranus zeigte nämlich erhebliche Abweichungen von der berechneten Bahn. Diese Tatsache konnte nur so gedeutet werden, daß außerhalb der Uranusbahn noch ein weiterer Planet existierte. Dessen Anziehungskraft mußte die Bewegung des Uranus beeinflussen oder „stören“ und dadurch die Bahnabweichungen auslösen.

### *Planetentdeckungen am Schreibtisch*

Damals lebte in Paris ein junger Mathematiker namens *Urbain Leverrier*, der sich sehr für das Uranusproblem interessierte, alle Beobachtungen über den Uranus sammelte und genauer untersuchte. Dabei gelang es ihm im Jahre 1846, aus den mit äußerster Feinheit bestimmten Abweichungen der Uranusbewegung den angenommenen Planeten am Himmel so weit „einzukreisen“, daß sein Standort unter den Sternen und seine Entfernung von der Sonne zuverlässig angegeben werden konnte. Im Jahre 1846 teilte Leverrier dem Berliner Astronomen *Johann Gottfried Galle* die Ergebnisse seiner Be-

<sup>1</sup> Vgl. „Mechanik“, ein Lehrheft für das 9. Schuljahr, Ausgabe 1959, Seite 73

rechnungen mit und bat ihn, an dem angegebenen Ort am Himmel nach dem vermuteten Planeten zu suchen.

Die Berliner Sternwarte besaß damals die genauesten Sternkarten, außerdem verfügte sie über ein leistungsfähiges Fernrohr. So waren hier die besten Voraussetzungen für eine mögliche Auffindung des von Leverrier am Schreibtisch berechneten Planeten gegeben. Als Galle am Abend des 23. September 1846 das Fernrohr auf die von Leverrier ermittelte Stelle des Himmels richtete, fand er unter den dort sichtbaren Sternen ein punktförmiges Objekt, das auf der Sternkarte nicht verzeichnet war. Das konnte der gesuchte Planet sein. Doch erst nach zwei Tagen erwies sich bei einer weiteren Beobachtung eindeutig, daß jenes Sternchen seinen Ort gegenüber den anderen Sternen verändert hatte. Damit war erwiesen, daß der berechnete Planet wirklich existierte.

Das war einer der größten Erfolge der Astronomie. Nunmehr war bewiesen, daß die Menschen auf Grund der Kenntnis bestimmter Naturgesetze im Weltall Entdeckungen machen konnten, wenn sie die astronomischen Beobachtungen und Messungen folgerichtig zu deuten verstanden. Derartige Entdeckungen waren aber nur bei Annahme eines heliozentrischen Weltsystems möglich. Mit der Entdeckung des zuvor am Schreibtisch berechneten neuen Planeten war die Richtigkeit des Kopernikanischen Weltbildes erneut bewiesen.

Der neue Planet erhielt den Namen *Neptun*. Er zieht in einer dreißigfachen Erdentfernung von der Sonne seine Bahn. Zu einem Umlauf um die Sonne benötigt der Neptun rund 164 Jahre.

Mit der Entdeckung des Neptun waren aber die Bewegungen des Uranus noch nicht vollständig erklärt. Es blieben weiterhin geringfügige Abweichungen bestehen, die den Verdacht nahelegten, daß ein weiterer Planet vorhanden sei, von dem jenseits der Neptunbahn „störende“ Einflüsse ausgingen.

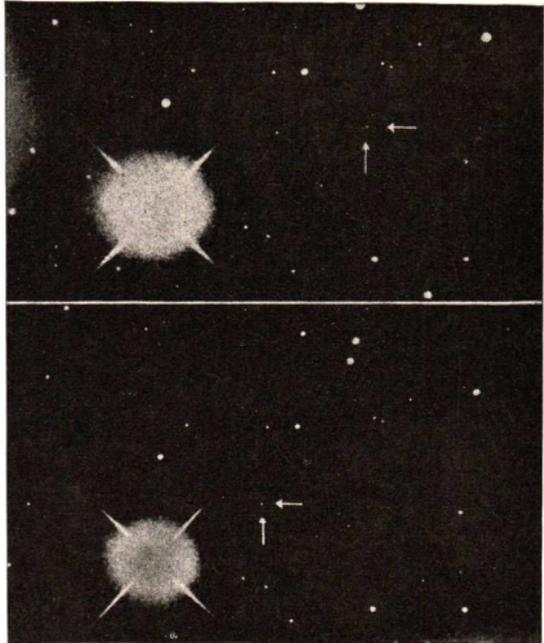
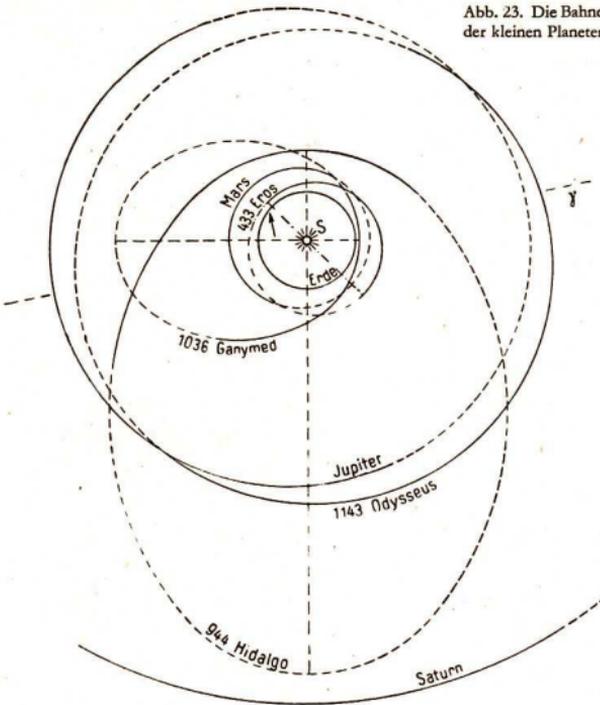


Abb. 22. Die Entdeckung des Planeten Pluto im Jahre 1930

Abb. 23. Die Bahnen der kleinen Planeten



Nach vielen Bemühungen gelang es im Jahre 1930 dem amerikanischen Astronomen Tombough, den neunten Planeten der Sonne zu entdecken, der den Namen *Pluto* erhielt. (Abb. 22) Er zieht in vierfacher Saturnentfernung (40 Erdbentfernungen von der Sonne) seine Bahn und vollendet einen Sonnenumlauf in rund 248 Jahren.

### Zwergwelten zwischen den Planeten

Wenn man die im richtigen Abstandsverhältnis gezeichneten Bahnen der großen Planeten betrachtet, so fällt auf, daß zwischen Mars und Jupiter eine verhältnismäßig große Lücke besteht. Schon Kepler hatte sie bemerkt. Sie hatte ihn zu der Vermutung

veranlaßt, daß hier ein Planet fehlte. In der Tat wurde 1801 von dem italienischen Astronomen *J. Piazzi* ein kleiner Planet gefunden, der in jener Bahnlücke die Sonne umlief. Dieser Planet, der den Namen *Ceres* erhielt, ist nicht der einzige seiner Art. Vielmehr zeigte es sich, daß in der Lücke zwischen dem Mars und dem Jupiter zahlreiche kleine Körper ihre Bahnen um die Sonne ziehen. Wir bezeichnen sie heute allgemein als *kleine Planeten* oder *Planetoiden* (Abb. 23). Unter ihnen gibt es zahlreiche winzige Exemplare, deren Durchmesser nur wenige hundert Meter beträgt. Sie vermitteln den Eindruck, als handle es sich um Trümmer eines zerstörten Planeten, der einst zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter vorhanden war. Über dessen Schicksal kann gegenwärtig aber noch nichts Genaues gesagt werden. Es hat sich allerdings erwiesen, daß die kleinen Planeten mit einzelnen Vertretern auch weit über die Bahn des Jupiter hinaus vordringen und die Saturnbahn erreichen. Andere gelangen ins Innere der Erdbahn und vereinzelt sogar bis in die Nähe der Sonne.

## An den Grenzen des Sonnensystems

Im allgemeinen nimmt man die Grenzen des Sonnen- und Planetensystems dort an, wo der am weitesten von der Sonne entfernte Planet seine Bahn zieht. Danach würde der Pluto die Planetenwelt begrenzen. Wir kennen aber heute auch Glieder des Sonnensystems, die weit über diese Grenze hinauslaufen. Das sind die *Kometen*, mit denen wir uns später noch zu beschäftigen haben. Aus deren Bahnen ist zu schließen, daß mit der Plutobahn das Sonnensystem noch nicht zu Ende ist.

### Übersicht über das heutige Planetensystem

Betrachten wir das heutige Planetensystem, so gelangen wir zu einer Übersicht, wie es die Abbildung 24 auf S. 30 zeigt. Die Grenzen sind in der Plutobahn angenommen. Die für jeden Planeten geltenden Zahlenwerte wurden in der folgenden Tabelle zusammengestellt. In dieser Tabelle taucht der Begriff *Astronomische Einheit*, abgekürzt A. E., auf. Dieser Wert bezieht sich auf die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde (149 500 000 km).

### Übersicht über das Planetensystem

	Mittlere Entfernung von der Sonne		Umlaufzeit um die Sonne	
	Astronomische Einheiten (A. E.)	Millionen km	Jahre	Tage
	Merkur .....	0,387	57,87	—
Venus .....	0,723	108,14	—	224,70
Erde .....	1,000	149,50	1	0,01
Mars .....	1,523	227,80	1	321,74
Jupiter .....	5,202	777,80	11	314,92
Saturn .....	9,555	1428,47	29	167,21
Uranus .....	19,218	2873,19	84	008,11
Neptun .....	30,109	4501,51	164	281,6
Pluto .....	39,517	5908,07	248	157

#### Aufgaben:

1. Welche Beobachtungen haben zu den falschen Auffassungen des Ptolemäischen Weltsystems beigetragen? — 2. Erklären Sie, weshalb die Durchsetzung des Kopernikanischen Weltsystems mit opfervollen Kämpfen verbunden war! — 3. Inwiefern bedeuten die Entdeckungen von Uranus, Neptun und Pluto einen besonderen Triumph der Naturwissenschaft? — 4. Zeichnen Sie als konzentrische (Halb-) Kreise in maßstabgerechtem Abstand die Bahnen der Planeten! (1 A. E.  $\Delta$  1 cm).

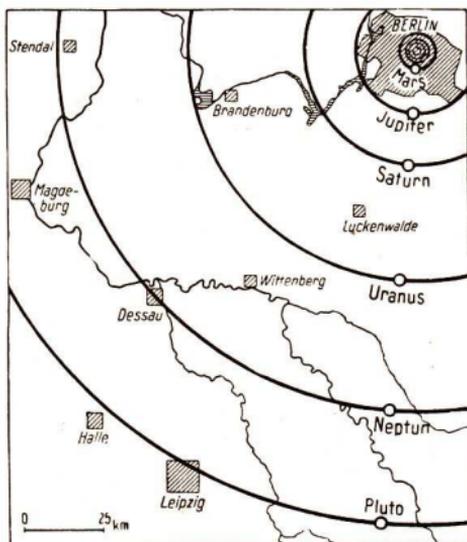


Abb. 24. Vergleich der Entfernungen in unserem Planetensystem. Würde man ein Modell unserer Sonne mit einem Durchmesser von 36 m in Berlin am Strausberger Platz aufstellen, so müsste man, im Maßstab bleibend, unseren Erdglobus mit einem Durchmesser von 33 cm am rund 4 km entfernten Brandenburger Tor aufstellen. Dazwischen stünden die Modelle von Merkur ( $\varnothing$  12 cm) und Venus ( $\varnothing$  31 cm). Das Modell vom Mars würde sich an der Begrenzungslinie der Innenstadt befinden. Die Standorte der Modelle von Jupiter ( $\varnothing$  367 cm), Saturn ( $\varnothing$  311 cm), Uranus ( $\varnothing$  128 cm), Neptun ( $\varnothing$  136 cm) und Pluto ( $\varnothing$  14 cm) sind aus der Skizze zu ersehen. (Nach Böhm und Dörge.)

## Die Sonne

### *Die Sonne als Weltkörper*

Die Sonne ist der Zentralkörper unseres Planetensystems. Sie ist selbstleuchtend und gehört zu den Fixsternen. Gegenüber den Planeten zeichnet sie sich außerdem durch ihre große Masse aus. Diese ist rund 750 mal so groß wie die Massen aller Planeten und Monde zusammengenommen. Während alle anderen Fixsterne punktförmig erscheinen, zeigt die Sonne bereits dem bloßen Auge ein deutliches Scheibenbild. Sie ist eine riesige gasförmige Kugel mit einem Durchmesser von rund 1 400 000 km. Im Inneren der Sonne könnten theoretisch etwa 1 300 000 Erdkugeln Platz finden.

Im Vergleich zur Erde ist die Masse der Sonne 332 000 mal so groß. An der Oberfläche der Sonnenkugel herrschen Temperaturen von fast 6000 °C. Sie nehmen vermutlich nach dem Mittelpunkt hin ständig zu und erreichen dort annähernd 20 000 000 °C. Ein von der Sonnenoberfläche austretender Lichtstrahl erreicht die Erde nach rund 8 min. Erst in dieser Zeit hat er, obwohl seine Ausbreitungsgeschwindigkeit rund 300 000 km · s<sup>-1</sup> beträgt, die Entfernung zwischen Sonne und Erde (im Mittel 149 500 000 km) überwunden.

Ebenso wie die Erde dreht sich auch die Sonne um ihre Achse. Ihre Rotationsdauer beträgt rund 27 Tage.

## Die scheinbare Bahn der Sonne (Ekliptik)

Das Licht der Sonne erfährt in der Atmosphäre der Erde eine Zerstreung. Das führt zu einer Aufhellung des Tageshimmels, so daß die Sterne am Tage für das bloße Auge nicht sichtbar werden. Daher fällt es kaum auf, daß sich die Sonne von Tag zu Tag um einen kleinen Betrag, nämlich um etwas weniger als  $1^\circ$ , unter den Sternen verschiebt. Sie zieht jahrein jahraus nahezu dieselbe Bahn am Himmelsgewölbe. Der Bahnlauf der Sonne ist aber nur eine scheinbare Bewegung unseres Tagesgestirns. Bedingt wird er durch den Umlauf der Erde um die Sonne. Diese scheinbare Bahn der Sonne wird *Ekliptik* (Finsternislinie) genannt. Sie ist das Abbild der Erdbahn. Verfolgt man die Sonne auf ihrem scheinbaren Jahresgang, so findet man, daß sie durch 12 Sternbilder des Himmels wandert, die von altersher bekannt sind und den *Tierkreis* bilden. Die Sonne beginnt ihren Jahreslauf am 21. März in dem Augenblick, in dem sie den Himmelsäquator von Süden nach Norden überschreitet. Diesen Schnittpunkt haben wir im ersten Teil dieses Buches als Frühlingspunkt  $\gamma$  bereits kennengelernt (vgl. Abb. 16). Von ihm aus wird die Rektaszension gezählt. Der Frühlingspunkt liegt in unserer Zeit im Sternbild Fische. Nach Ablauf eines Monats hat sich die Sonne um etwa  $30^\circ$  längs der Ekliptik weiterbewegt und ist in das Sternbild Widder gelangt. Im Laufe der nächsten Monate durchquert sie der Reihe nach die Sternbilder Stier (Ende Mai), Zwillinge (Ende Juni), Krebs (Ende Juli), Löwe (Ende August), Jungfrau (Ende September), Waage (Ende Oktober), Skorpion (Ende November), Schütze (Ende Dezember), Steinbock (Ende Januar) und Wassermann (Ende Februar). Ende März des nächsten Jahres ist sie wieder im Sternbild Fische angelangt.

### Einige Angaben zur Physik der Sonne

Die Sonnenphysik ist ein Teilgebiet der allgemeinen *Astrophysik*, die sich vorwiegend mit den physikalischen Eigenschaften der Gestirne befaßt. Die Grundlagen dazu liefern die Beobachtungen am Fernrohr und die damit verbundenen speziellen Untersuchungen des Sonnenlichtes.

Das Licht der Sonne tritt aus der Sonnenoberfläche aus. Diese leuchtende Schicht wird als *Photosphäre* bezeichnet. Darüber liegt eine etwa 10000 km hohe

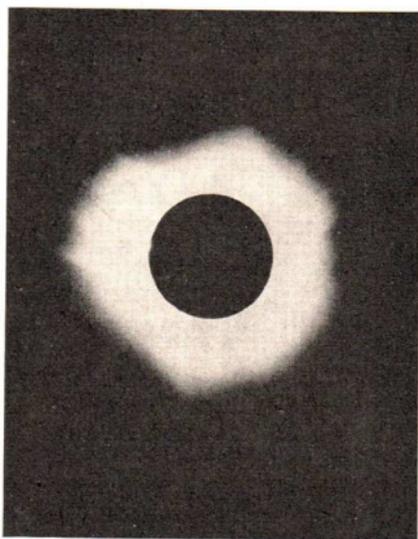


Abb. 25. Die Sonnenkorona

Schicht, die *Chromosphäre*. Den Übergang von der Chromosphäre zum Weltraum bildet die *Korona* (Abb. 25). Sie besteht aus Sonnensubstanz, die hier eine fast unmeßbar geringe Dichte besitzt. Die Photosphäre und die Chromosphäre zeichnen sich durch einen Zustand ständiger Unruhe aus. Auf diese beiden Schichten der äußeren Sonne beziehen sich im wesentlichen die am Fernrohr sichtbaren Vorgänge auf der Sonne.

Über die Natur der am Aufbau der Sonne und an ihrem physikalischen Geschehen beteiligten Stoffe gibt uns das Spektrum der Sonne hinreichenden Aufschluß. In der Physik sind dafür Instrumente entwickelt worden, die eine Fotografie des Spektrums gestatten. Man nennt diese Geräte *Spektrographen*. Sie zeigen im Spektrum des Sonnenlichtes etwa 20000 dunkle Linien, die als *Fraunhofersche Linien* bekannt sind. In diesen Linien des Spektrums werden Kennzeichen für die chemische Zusammensetzung der Sonne sichtbar.

Eine Überraschung gab es in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts. Damals wurden im Sonnenspektrum einige sehr auffällige Linien entdeckt, die in den irdischen Laboratorien unbekannt waren. Es schien deshalb, als sei auf der Sonne ein Gas vorhanden, das auf der Erde nicht vorkommt. Man bezeichnet dieses Gas als Helium (Sonnengas). Um die Jahrhundertwende wurde Helium aber auch auf der Erde nachgewiesen. Heute können wir mit Sicherheit sagen, daß auf der Sonne keine Elemente auftreten, die nicht auch auf der Erde bekannt sind. Daraus folgt, daß Sonne und Erde aus den gleichen Elementen aufgebaut sind. Dasselbe gilt für alle anderen Planeten und darüber hinaus auch für die Fixsterne. In keinem Spektrum wurden unbekannte Elemente gefunden.

Auf der Sonne überwiegt der Wasserstoffanteil. An nächster Stelle folgt das Helium, das etwa ein Zehntel des Wasserstoffanteils der Sonne erreicht. Auf die Elemente Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff entfallen nur ein Tausendstel des Wasserstoffanteils. Alle anderen Stoffe zeigen noch viel geringere Anteile. Als allgemeine Regel kann herausgestellt werden, daß die einzelnen Atome oder Elemente um so seltener werden, je schwerer ihre Kerne sind.

### *Die Bedeutung der Sonnenphysik für die Sternphysik*

Als um die Mitte des 19. Jahrhunderts zum ersten Male durch die Verbindung von großen Fernrohren mit Spektroskopen das Licht der Fixsterne in Spektren zerlegt werden konnte, stellte man neben der Aufteilung in die sieben Spektralfarben ebenfalls Fraunhofersche Linien in ihnen fest. Viele Fixsterne zeigen Spektren von großer Ähnlichkeit mit dem Sonnenspektrum. Wenn auch bei anderen Fixsternen merkliche Unterschiede in der Zahl und der Verteilung der Linien im Vergleich zum Sonnenspektrum gefunden worden sind, so ist doch sicher, daß die Fixsterne gleich der Sonne selbstleuchtende Himmelskörper sind. Ihre gesamte Strahlungsenergie entsteht in ihnen selbst und wird fortgesetzt an den Weltraum abgegeben.

Indessen ist es trotz der großen Spiegelteleskope unserer Tage bisher nicht möglich

gewesen, die Spektren selbst der hellsten Fixsterne so genau zu untersuchen, wie das mit dem Spektrum der Sonne an unseren großen Sonnenobservatorien geschieht. Weil uns die Sonne so unvergleichbar viel näher steht als die Fixsterne, bekommen wir von ihr auch weitaus mehr Licht zugestrahlt. Wir können daher die Zerlegung ihres Spektrums viel weiter treiben als bei den Fixsternen, wodurch wir bei den Linien im Sonnenspektrum sogar Einblick in ihre innere Struktur erhalten haben. Die Sonnenphysik ist somit zu einem Wegbereiter für die Sternphysik geworden. Gesetzmäßigkeiten über den inneren Aufbau der Sonne und über ihren Strahlungshaushalt können wir auch auf die Fixsterne übertragen, obwohl wir bei den meisten Fixsternen viele dieser Gesetzmäßigkeiten nicht direkt feststellen können.

### *Die Sonne als Energiespender*

Die Tatsache, daß die Sonne unaufhörlich Energie in den Weltraum schießt, hat schon frühzeitig die Frage aufgeworfen, woher diese Energie stammt. Daß diese sich seit einer Milliarde Jahren nur unwesentlich verändert haben kann, beweisen die ältesten Lebensspuren, die auf der Erde gefunden wurden. Wäre die Energieabgabe vor dieser Zeit wesentlich anders gewesen als heute, so hätten auf der Erde Temperaturen auftreten müssen, die das Entstehen und die Entwicklung des Lebens verzögert oder in ganz andere Bahnen gelenkt hätten.

Man hat früher vermutet, die Sonne würde aus der Kontraktion ständig Energie gewinnen. Berechnungen ergaben aber, daß die Sonne durch einen solchen Prozeß ihren Energiebedarf nur für 24 Millionen Jahre hätte decken können. Auf Grund unserer heutigen Kenntnisse auf dem Gebiet der Atomphysik können wir sagen, daß sich auf der Sonne ständig Helium aus Wasserstoff bildet. Bei den damit verbundenen Prozessen wird eine ungeheure Energie frei. Beispielsweise erzeugt 1 g Wasserstoff, das auf der Sonne zu Helium umgewandelt wird, eine Energie von 175 000 kWh.

Die Sonne ist somit einem riesigen Atomkraftwerk vergleichbar. Eines Tages wird es sicherlich auch auf der Erde möglich sein, den Prozeß der Umwandlung von Wasserstoff in Helium für die Energieerzeugung auszunutzen.

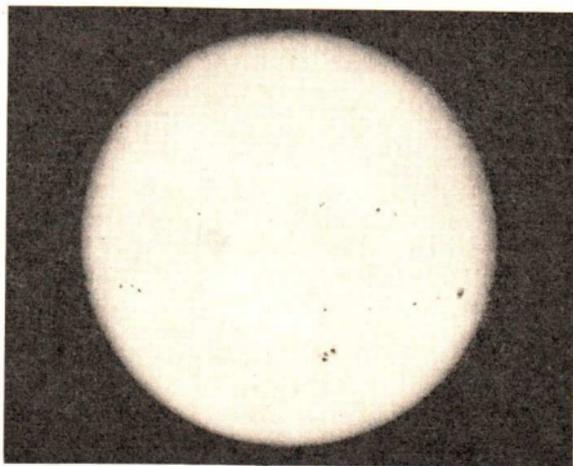


Abb. 26. Sonne mit Sonnenflecken

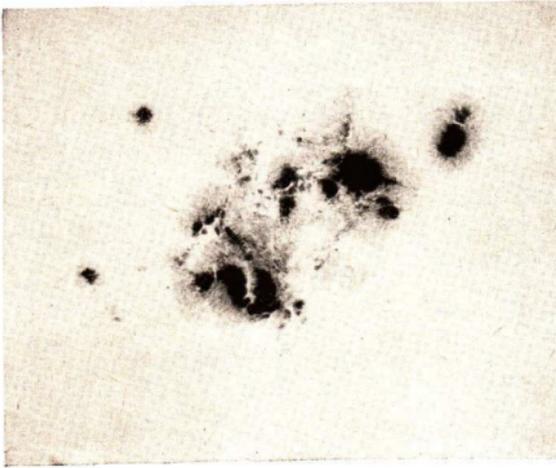


Abb. 27. Große Sonnenfleckengruppe

Die auffälligste Erscheinung an der Sonnenoberfläche sind dunkle Fleckenbildungen, die als *Sonnenflecken* bezeichnet werden (Abb. 26). Sie gehören der Photosphäre an und treten in der Regel in größeren und kleineren Gruppen auf. Durch die Rotation der Sonne verändert sich ihre Lage zum Beobachter auf der Erde von einem Tag zum anderen. Daneben erweisen sie sich vielfach als rasch veränderlich. Daraus ist zu er-

sehen, daß sie eine starke innere Bewegung besitzen. Eine weitere Eigenart der Sonnenflecken ist es, daß sie periodisch auftreten. Etwa alle elf Jahre bildet sich ein sogenanntes Sonnenfleckenmaximum aus. In dieser Zeit erreichen die Fleckenbildungen auf der Sonne ihre größte Ausdehnung. Zwischen zwei Maxima liegt jeweils eine Zeit geringer Fleckenbildungen, die als Sonnenfleckenminimum bezeichnet wird.

Die Ausdehnungen der Sonnenflecken schwanken zwischen 1000 und 50000 km. Sie können also den Erddurchmesser um ein mehrfaches übertreffen. Bei den Sonnenfleckengruppen sind sogar Ausdehnungen bis zu 250000 km beobachtet worden (Abb. 27).

Allgemein kann gesagt werden, daß die Sonnenflecken wirbelähnliche Gasgebilde sind. Sie erscheinen äußerlich dunkler als ihre Umgebung. Ihre Temperatur liegt etwa 1500° niedriger als die der Photosphäre. Mit der Bildung von Sonnenflecken ist das Auftreten großer Magnetfelder verbunden. Gleichzeitig gehen von den Sonnenflecken unsichtbare elektromagnetische Wellen und Ausschleuderungen von Masseteilchen aus. Die letzteren dringen in den Weltraum hinaus und erreichen schließlich nach ein bis zwei Tagen auch die Erde. Hier lösen sie eine Reihe von physikalischen Erscheinungen aus, zum Beispiel Störungen im Funkverkehr, Polarlichter usw.

#### *Eruptionen und Protuberanzen*

Mit den Sonnenflecken ist eine Reihe weiterer Erscheinungen auf der Sonne eng verbunden. So stehen magnetische Felder der Sonnenflecken mit elektrischen Strömen in Wechselbeziehung. Dadurch treten von Zeit zu Zeit elektrische Entladungen in Form gewaltiger *Eruptionen* auf.

Daneben kennen wir auf der Sonnenoberfläche weiträumige Gasausbrüche. Man bezeichnet sie als *Protuberanzen*. Sie zeigen ein sehr eindrucksvolles Bild, das sich am Sonnenrand beobachten und filmen läßt (Abb. 28). Die dabei ausgeworfenen Gase stehen Flammengebirgen gleich auf der Sonnenoberfläche. Sie steigen in kurzer Zeit in große Höhe auf, sind aber in der Regel schnell veränderliche Gebilde. Die höchsten beobachteten Erhebungen liegen bei 150000 km. Die Protuberanzen können Teile der Sonnenoberfläche von etwa 100000 km Länge und etwa 5000 km Breite umfassen. Die Häufigkeit dieser Erscheinungen zeigt eine auffällige Bindung an die elfjährige Sonnenfleckenperiode. Das beweist, daß die vielfältigen Vorgänge auf der Sonne auf einen gemeinsamen Ausgangsprozess zurückzuführen sind.

### *Unsichtbare elektromagnetische Wellen von der Sonne*

Seit rund dreißig Jahren weiß man, daß aus dem Weltraum radiofrequente elektromagnetische Wellen zu uns dringen. Bei dieser Entdeckung handelt es sich um einen der wesentlichsten Fortschritte der Astronomie im 20. Jahrhundert. Hiermit wurde die Entwicklung eines neuen Forschungszweiges, der *Radioastronomie*, eingeleitet.

Von der Atmosphäre der Erde ist uns bekannt, daß sie nicht für alle Wellenlängen durchlässig ist. Ihre Durchlässigkeit für Lichtwellen deckt sich weitgehend mit der Empfindlichkeit des menschlichen Auges. Weite Bereiche der kurzen und längeren Wellen werden dagegen von der Erdatmosphäre unwirksam gemacht.

Erst seit kurzer Zeit ist bekannt, daß die Atmosphäre die erwähnten elektromagnetischen Wellen nur in den Wellenlängen zwischen 1 cm und 15 m zur Erdoberfläche gelangen läßt. Derartige elektromagnetische Wellen gehen auch von der Sonne aus. Ihre Stärke ist veränderlich und steht mit den Vorgängen an der Sonnenoberfläche im engen Zusammenhang.

Die kosmischen elektromagnetischen Wellen werden mit großen *Radioteleskopen* aufgenommen und registriert (vgl. Titelzeichnung).

Außer den elektromagnetischen Wellen, deren Wellenlängen größer sind als die des sichtbaren Lichtes, sendet die Sonne auch eine Strahlung von kürzerer Wellenlänge aus, deren wichtigster Anteil die *Ultraviolett-Strahlung* ist. Diese Strahlung geht vorwiegend von den Stellen der Sonne aus, die durch Sonnenflecken und vor allem durch Eruptionen

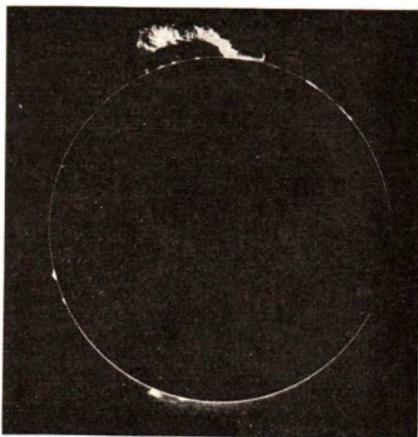


Abb. 28. Große Protuberanz am Sonnenrand

gestört sind. Die Energie der Ultraviolett-Strahlung während einer großen Eruption kann zeitweise die Gesamtenergie der Sonnenstrahlung im sichtbaren Wellenbereich übertreffen. Die kurzwellige Strahlung wird in den Schichten der Erdatmosphäre zwischen 25 und 100 km Höhe vollkommen absorbiert. Ihre Existenz wurde erst durch den Einsatz der Erdsatelliten bestätigt.

#### Aufgaben:

1. Welchen maßstabsgerechten Durchmesser müßte die Sonne haben, wenn der Durchmesser der Erde mit 1 cm angenommen würde? In welcher Entfernung müßten Sonne und Erde bei gleicher maßstäblicher Verkleinerung der zwischen ihnen liegenden Strecke stehen? — 2. Beschreiben Sie die Beschaffenheit der Sonnenoberfläche und die auf ihr ablaufenden Vorgänge! — 3. Welche physikalischen Einflüsse der Sonne auf die Erde haben sich bisher feststellen lassen?

#### Beobachtungsaufgaben:

Stellen Sie für Sonnenbeobachtungen ein Rußfilter her! Lassen Sie dazu eine gewöhnliche Glasplatte von mindestens Postkartengröße dicht beruhen und legen Sie auf die beruhte Fläche eine zweite, gleich große Glasscheibe! Umkleben Sie beide Scheiben in der Art von Diapositivplatten mit Papierstreifen! — *Schauen Sie ohne einen solchen Augenschutz niemals direkt in die Sonne, da schwere Augenschäden die Folge sein können! (Eine Sonnenbrille genügt nicht!)* 1. Beobachten Sie durch das Rußfilter die Größe der Sonnenscheibe! Vergleichen Sie diese mit der Vollmondscheibe! — 2. Betrachten Sie mit einem guten Feldstecher und vorher aufgesetztem Rußfilter die Sonnenoberfläche und stellen Sie fest, ob Sonnenflecken auftreten! Beobachten Sie wiederholt die Veränderungen! (Diese Beobachtung kann auch mit Hilfe der Projektionsmethode durchgeführt werden.)

## Die Planeten und ihre Monde

### Die Erde<sup>1</sup>

Auf unserem Streifzug durch das Sonnensystem wollen wir die Erde an den Anfang unserer Betrachtungen stellen. Viele Erscheinungen und Vorgänge auf anderen Planeten können mit ähnlichen Feststellungen auf der Erde verglichen werden. Aus diesem Grunde sollen hier die wesentlichsten Eigenschaften angeführt werden, die für die Erde als Planet von Bedeutung sind.

Der Äquatordurchmesser der Erde beträgt nach neuesten Messungen 12756,490 km; der Polabstand ist mit 12713,824 km um 42,666 km kürzer. Bezeichnet man den Äquatordurchmesser mit  $a$  und den Polabstand mit  $b$ , so ergibt sich aus der Beziehung ( $a-b$ ) :  $a = 1 : 298,3$  die *Abplattung der Erde*.

Das *Volumen* der Erdkugel beträgt  $1,083 \cdot 10^{12}$  km<sup>3</sup>, die *Masse*  $5,97 \cdot 10^{27}$  g. Aus *Volumen* und *Masse* läßt sich die *mittlere Dichte* unseres Planeten berechnen, die etwa das 5,5fache des Wassers beträgt.

<sup>1</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt „Grundzüge der allgemeinen physischen Erdkunde“, Lehrbuch der Erdkunde für die 9. Klasse, Ausgabe 1959, Seite 7—16.

In 23 h 56 min 4,1 s rotiert die Erdkugel einmal um ihre Achse (Sterntag).

Der Umlauf der Erde um die Sonne vollzieht sich in 365,242 Tagen. Die Bahn selbst ist schwach elliptisch. Da die Sonne in dem einen Brennpunkt der Erdbahn steht, ändert sich die Entfernung zwischen Sonne und Erde ständig. Der sonnennächste Punkt der Erdbahn (Perihel) wird Anfang Januar durchlaufen. Die Erde ist dann 147 000 000 km von der Sonne entfernt. Dagegen tritt die Sonnenferne der Erde (Aphel) jeweils Anfang Juli ein, wenn der Sonnenabstand auf etwa 152 000 000 km angewachsen ist. Daraus ergibt sich die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne mit 149 500 000 km.

Die Form der Erdbahn bedingt, daß die Erde ihre Bahn mit wechselnder Geschwindigkeit durchläuft. Sie läuft im (Nord-) Winter, also in Sonnennähe, schneller als im (Nord-) Sommer. Die „Wintergeschwindigkeit“ beträgt  $31 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , die „Sommergeschwindigkeit“  $29 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ . Aus diesem Umstand folgt weiter, daß die Jahreszeiten von ungleicher Länge sind. Für das Sommerhalbjahr ergeben sich auf der Nordhalbkugel 186 und für das Winterhalbjahr 179 Kalendertage.

Aus dem Erdkundeunterricht ist uns bereits bekannt, daß die Jahreszeiten eine Folge der Schrägstellung der Rotationsachse der Erdkugel auf ihrer Bahn, der *Ekliptik*, ist, die mit dieser einen Winkel von  $66,5^\circ$  bildet. Mit der Ebene des Himmelsäquators bildet die Erdachse einen Winkel von  $90^\circ$ . Der Unterschied zwischen diesen beiden Winkeln —  $23,5^\circ$  — heißt *Schiefe der Ekliptik*.

### *Die Vermessung der Erde*

Die Kenntnis von der wahren Gestalt und der Größe der Erde hat sich der Mensch durch eine fast 2000 Jahre dauernde Vermessungsarbeit erworben. Ursprünglich galt die Erdoberfläche als ebene Scheibe. Das war zu einer Zeit, als große Reisen zu Lande oder zu Wasser noch unmöglich waren. Aber schon vor unserer Zeitrechnung wurde man darauf aufmerksam, daß bei einer Wanderung auf der Erdoberfläche von Süden nach Norden der Polarstern immer höher über den Horizont aufsteigt. Diese und ähnliche Beobachtungen standen im Widerspruch zur Auffassung von der Scheibengestalt der Erde. Der griechische Gelehrte *Eratosthenes*, der um 200 v. u. Z. in Alexandria in Ägypten lebte, war der erste, der diesen Widerspruch als Anlaß zu einem Versuch benutzte, das Krümmungsmaß der Erdoberfläche und damit die Größe der Erdkugel zu bestimmen. Er stellte fest, daß zu einer bestimmten Zeit das Licht der Sonne den Boden eines tiefen Brunnenschachtes in Syene, dem heutigen Assuan, voll ausleuchtete, während zur gleichen Zeit im nördlich gelegenen Alexandria die Sonnenstrahlen schräg, das heißt unter einem Winkel von  $7,2^\circ$  gegen die Achse eines anderen Brunnenschachtes einfielen (Abb. 29). Der Gelehrte maß die Strecke zwischen beiden nahezu in Nordsüd-Richtung liegenden Brunnen längs der Erdoberfläche und fand 5000 Stadien = 785 km. Damit hatte er nicht nur die Erdkrümmung bewiesen, sondern er konnte auch den Erdumfang berechnen mittels der Verhältnisleichung

$$x : 785 = 360 : 7,2$$

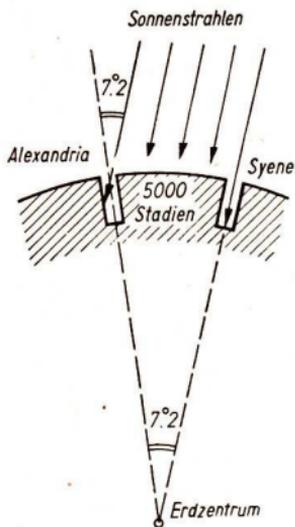


Abb. 29. Erdvermessung  
des Eratosthenes

und fand 39250 km. Da der wahre Erdumfang in Meridianrichtung 40000 km beträgt, hatte Eratosthenes die Dimensionen der Erde mit einer für damalige Verhältnisse erstaunlichen Genauigkeit ermittelt. Etwa um die Zeitenwende unternahm der griechische Philosoph *Posidonius* eine weitere derartige Messung und berechnete den Erdumfang um ebenso viel zu groß, wie ihn Eratosthenes zu klein ermittelt hatte.

Die Abplattung der Erde wurde erst 1734 durch Beobachtungen nachgewiesen, nachdem *I. Newton* eine Theorie entwickelt hatte, wonach die Erde infolge der durch die Rotation hervorgerufenen Fliehkräfte eine bestimmte Polabplattung haben müsse.

Seit 1866 haben sich zahlreiche Länder der Erde zu einem internationalen Unternehmen mit dem Ziel einer die Erde in allen Richtungen umspannenden Gradmessung zusammengeschlossen. Die neuesten Ergebnisse dieser internationalen Gradmessung, insbesondere die sowjetischen Teilergebnisse, machen wahrscheinlich, daß die Erde auch in der Äquatorebene nicht ganz kreisrund ist, daß also auch der Äquator ebenso wie die Meridiane eine Ellipse ist. Jedoch ist der Unterschied zwischen dem größten und dem kleinsten Äquatordurchmesser geringer als 400m.

Innerhalb der letzten 200 Jahre ist die feste Erdoberfläche weitgehend vermessen worden.

Die Festpunktnetze der großen Kontinente, die durch die Weltmeere getrennt sind, konnten wegen der Unmöglichkeit, vom Wasser aus genaue Erdvermessungen durchzuführen, bisher noch nicht zu einem exakten Anschluß gebracht werden. Man wird in Zukunft versuchen, diese wichtige Aufgabe der Geodäsie mit Hilfe von hochfliegenden, aber gut beobachtbaren künstlichen Erdsatelliten zu lösen.

#### Zwischen Weltraum und Erde

Die Oberfläche der Erde grenzt nicht unmittelbar an den Weltraum. Zwischen beiden Bereichen liegt die *Atmosphäre* der Erde, in der Wechselwirkungen zwischen Weltraum und Erde bestehen.

Die Masse der Erdatmosphäre macht weniger als 1 Millionstel der Erdmasse aus. Davon sind rund 90 Prozent in den untersten, etwa bis 20 km hinaufreichenden Höhenbereichen vereinigt. An der chemischen Zusammensetzung der unteren Schichten der Lufthülle sind der Stickstoff mit 78 Prozent und der Sauerstoff mit 21 Prozent beteiligt, während auf Argon, Kohlendioxyd, Krypton, Wasserstoff, Helium, Ozon und Xenon zusammen nur 1 Prozent entfallen. In größeren atmosphärischen Höhen unterliegt der Anteil der einzelnen Elemente nach neueren Erkenntnissen gewissen Schwankungen.

Für den Schichtenbau der Erdatmosphäre gilt folgendes Schema: Bis rund 10 km reicht die *Troposphäre*, die sogenannte Wetterzone. Daran schließt sich die *Stratosphäre* bis etwa 100 km Höhe an, während die *Ionosphäre* eine Höhe von ungefähr 300 km erreicht (mit ihren letzten Ausläufern mindestens 1000 km). Schließlich liegt zwischen der Ionosphären Grenze und dem Weltraum noch eine besondere Zwischenschicht, die *Exosphäre*, in der die Elemente nur in atomarer Form vorkommen. Sie erstreckt sich nach neuesten Messungen (Satellitenbeobachtungen) bis zu etwa 3000 km in den Weltraum hinaus (vgl. Aufbau der Atmosphäre im Atlas der Erdkunde, 3. Auflage).

### *Kosmische Einflüsse auf die Erde*

Auf der Erde gibt es viele Erscheinungen, die von kosmischen Einflüssen abhängig sind. So würde es zum Beispiel ohne die Sonnenstrahlung keine Lebensvorgänge, keine Witterungserscheinungen und keine Bewegungen der Luft- und Wassermassen auf der Erde geben. Weitere Erscheinungen, die ebenfalls mit Vorgängen auf der Sonne im Zusammenhang stehen, haben wir bereits kennengelernt (vgl. S. 34). Weiterhin dringen Meteoriten und große Mengen feinsten kosmischen Staubes in die hohe Atmosphäre ein. Diese Schichten werden gegenwärtig mit Hilfe der Erdsatelliten näher erforscht (vgl. S. 60). Inwieweit von der Sonne oder vom Weltraum her Einflüsse auf das Wetter, auf die Gesundheit der Menschen oder auf die irdischen Wachstumsprozesse bestehen, ist noch nicht ausreichend untersucht.

Diese realen kosmischen Einflüsse haben nichts zu tun mit der sogenannten *Astrologie* (Sterndeutung), die in unwissenschaftlicher Weise behauptet, das Schicksal einzelner Menschen und ganzer Völker sei von der Bewegung der Gestirne, insbesondere von der Stellung der Planeten, abhängig. Die astronomische Wissenschaft lehnt solche Anschauungen als primitiven Aberglauben ab. Es ist bezeichnend für die Astrologie, daß gerade die kosmischen Einflüsse — vor allem der Einfluß der Sonne auf Erscheinungen an der Erdoberfläche —, die nachweisbar vorhanden sind, in der astrologischen Lehre gar keine Bedeutung besitzen. Wenn wir den Wurzeln der Astrologie nachspüren, können wir diese Tatsache auch leicht begründen. Das „Lehrgebäude“ der Astrologie stützt sich nicht etwa auf Ergebnisse, die sich auf objektive Erfahrungen und Beobachtungen gründen, wie das in den Naturwissenschaften der Fall ist. Es beruht vielmehr auf den primitiven Anschauungen aus der Urzeit der Menschen, in der noch keine Einsicht in das Wirken von Naturgesetzen vorhanden war. Durch Jahrtausende hindurch hat so die Astrologie an altem Dämonen- und Zauberglauben festgehalten. Für sie hat es keine Entwicklung des menschlichen Denkens gegeben. Je weiter unsere Erkenntnisse von den Wirkungen der Naturgesetze voranschrritten, um so mehr klammerte sich die Astrologie an ihren primitiven Glauben, den sie mit geheimnisvollen Zeichen und Formeln umgab, um damit um so stärker auf unwissende Menschen einwirken zu können. Es ist weiterhin interessant und kennzeichnet den „wissenschaftlichen“ Charakter der Astrologie, daß ihr ein Denken zugrunde liegt, das sich auf das geozentrische Welt-

system bezieht. Das heliozentrische Weltbild und die Erkenntnis der Astronomie, daß die Planeten der Erde verwandte Himmelskörper sind, die keine eigenen Strahlungen besitzen, sondern nur im Sonnenlicht leuchten, haben der Astrologie auch hier sämtliche Voraussetzungen entzogen. Obwohl ihre völlige Unwissenschaftlichkeit erwiesen ist, findet die Sterndeutung auch heute noch vielfach Beachtung, namentlich bei solchen Menschen, deren Wissen von der Natur unzureichend ist und deren Weltanschauung in der Vorstellung wurzelt, alles Geschehen in der Welt und im eigenen Leben beruhe auf der Lenkung durch geheimnisvolle Kräfte, die wissenschaftlicher Forschung nicht zugänglich seien (vgl. S. 42).

Wir können heute mit Gewißheit sagen, daß Einwirkungen der Gestirne auf das menschliche Leben und Schicksal in der Weise, wie dies von der Astrologie behauptet wird, nicht bestehen. Somit gehört die Sterndeutung zu den vielfältigen Formen des Aberglaubens, dem die Astronomie das Wissen von den Sternen und ihren Gesetzmäßigkeiten entgegenstellt.

### Der Erdmond

Der Mond ist unser Nachbar im Weltraum. Er zieht in einer mittleren Entfernung von 384 423 km seine Bahn um die Erde. Durch seine von der Kreisform abweichende Bahn ändert sich laufend der Abstand von der Erde. Der erdfernste Punkt wird mit 406 700 km erreicht, der erdnächste liegt bei 356 400 km. Der Durchmesser des Mondes beträgt nur 3 476 km, während seine Masse lediglich  $\frac{1}{81}$  der Erdmasse umfaßt.



Abb. 30. Mondoberfläche bei Vollmond

Ein Erdumlauf des Mondes dauert 27,32 Tage. Diese Zeit wird dadurch bestimmt, daß festgestellt wird, wann der Mond (unabhängig von seiner Phase) wieder bei den gleichen Sternen am Himmel steht. Der Astronom spricht hierbei von der *siderischen Umlaufzeit* (lat. sidus = Stern), also von der auf den Sternhimmel bezogenen Bewegung des Mondes.

Im Fernrohr zeigt die Mondoberfläche ein sehr eindrucksvolles Bild (Abb. 30). Die bereits mit bloßem Auge erkennbaren

dunklen Fleckengebilde des Mondes erweisen sich als ausgedehnte Ebenen. Sie wurden früher fälschlich als „Mondmeere“ bezeichnet. Darauf weist der Begriff „Mare“ (lat. mare = Meer) hin, der noch heute für diese Gebilde Anwendung findet. Vielfach sind die Maregebiete von auffälligen Gebirgsbildungen begrenzt, die Höhen bis zu 5000 m erreichen. Unter den Gebirgsmassiven auf dem Mond sind das etwa 300 km lange Apenninen-Gebirge, die Mond-Alpen und der Mond-Kaukasus die bekanntesten.

Interessante Gebilde sind auch die zahllosen runden Mondformationen, die man ganz allgemein „Mondkrater“ genannt hat. Für die größeren wird heute meistens der Ausdruck „Ringgebirge“ verwendet. Sie erreichen im gebirgigen Südpolgebiet sogar Höhen bis zu 9000 m. Mit unseren irdischen Vulkankratern sind sie nicht zu vergleichen, da ihre Durchmesser zwischen 1 km und einigen hundert Kilometern wechseln. Insgesamt findet man heute auf modernen Mondkarten etwa 33000 Ringgebirge verzeichnet (Abb. 31).

Wie die Erde und die Sonne, so rotiert auch der Mond um seine Achse. Diese Bewegung geht aber so langsam vor sich, daß der Mond mit einem Umlauf um die Erde nur eine einzige Umdrehung vollzieht. Er wendet daher der Erde immer dieselbe Seite zu.

Es war infolgedessen das Ziel der Menschen, mit Hilfe von Raketen auch seine „Rückseite“ kennenzulernen. Erstmals gelang dies mit Hilfe der sowjetischen Fernrakete Lunik 3, die am 4. Oktober 1959 startete und auf eine weite elliptische Bahn um Erde und Mond gelangte, von wo aus sie am 6. Oktober 1959 mit Hilfe von elektronisch gesteuerten Kameras die Mondrückseite fotografierte.<sup>1</sup> Die zur Erde übertragenen Bilder haben bestätigt, daß keine wesentlichen Unterschiede in der Struktur zwischen dem sichtbaren und dem unsichtbaren Teil der Mondoberfläche bestehen.

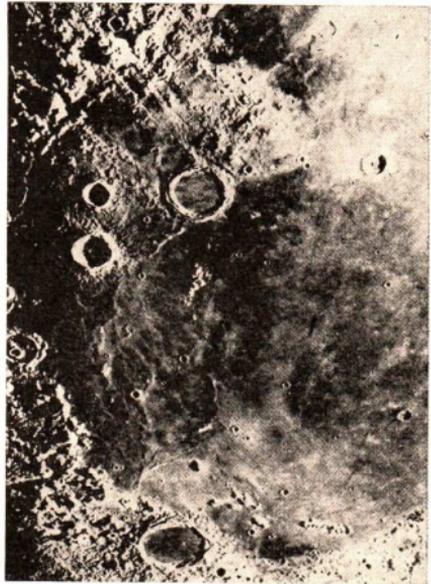


Abb. 31. Ausschnitt der Mondoberfläche mit Ringgebirgen

Lange Zeit waren die Wissenschaftler der Ansicht, der Mond habe keine Atmosphäre. Heute hat es jedoch den Anschein, als sei die Mondkugel von einer äußerst dünnen atmosphärischen Hülle umgeben, die mit der Erdatmosphäre jedoch in keiner Weise verglichen werden kann. Wie die Verhältnisse auf dem Mond auch sein mögen, das

<sup>1</sup> Vgl. Atlas der Erdkunde, 3. Auflage, S. 99.

Fehlen oder die sehr geringe Dichte einer Atmosphäre hat zur Folge, daß die Temperaturen an der Mondoberfläche starken Schwankungen unterliegen. Da sich der Mond etwa in gleicher Entfernung von der Sonne befindet wie die Erde, empfängt er auch die gleiche Strahlung je Quadratmeter seiner Oberfläche. Auf der Erde wird die Sonneneinstrahlung durch die Atmosphäre weitgehend daran gehindert, wieder in den Weltraum zu entweichen. Auf dem Monde ist diese Wirkung nicht vorhanden. Infolgedessen bestehen zwischen den Tages- und Nachttemperaturen des Mondes ganz erhebliche Unterschiede. Auf der Erde geht die Temperatur zur Nachtzeit ebenfalls je nach Jahreszeit und Wetterlage mehr oder weniger zurück. Auf der Mondoberfläche sind die Temperaturunterschiede aber weitaus stärker. In den Gebieten, die senkrecht von den Sonnenstrahlen getroffen werden, treten Mittagstemperaturen von etwa 130 °C auf. In der Nacht dagegen sinken die Temperaturen bis auf -150 °C ab.

In jüngster Zeit ist die Erforschung der Mondoberfläche mit Hilfe von Radargeräten betrieben worden. Dabei ist es gelungen, Funkwellen zum Monde zu senden, die von der Mondoberfläche zurückgeworfen werden. Aus dem Echo der elektromagnetischen Wellen kann geschlossen werden, daß die Mondoberfläche nicht felsig-starr ist, sondern von einer dicken Staubschicht bedeckt zu sein scheint. Ihre Dicke wird auf einen Meter geschätzt. Die Staubschicht ist wahrscheinlich durch die großen Temperaturunterschiede, die die Oberflächengesteine sehr gründlich zerstören, entstanden.

### *Beeinflußt der Mond das Erdgeschehen?*

Es gehört zu den Methoden idealistischer Lehren, sich auf abergläubische Vorstellungen der Menschen zu stützen. Der Aberglaube beruht auf der mangelnden Aufgeklärtheit über die Ursachen von gesetzmäßigen Erscheinungen in Natur und Gesellschaft (vgl. S. 39). Der Aberglaube versetzt die Menschen in Furcht, er macht sie demütig und in ihr Schicksal ergeben. Er lähmt damit ihre gesellschaftliche Aktivität und ist so ein bevorzugtes Mittel der Ausbeuterklassen, ihre Machtpositionen zu halten und zu festigen. Der Aberglaube spekuliert auf das Gefühl der Menschen, nicht auf ihren gesunden Verstand. Darum ist er auch so schwer auszurotten.

So werden auch den verschiedenen Phasen oder Lichtgestalten des Mondes vielfach Einflüsse auf alle möglichen Erdvorgänge beigemessen. Viele Menschen glauben heute noch daran und verbreiten diese Märchen sogar. Alle diese „Mondregeln“ beruhen auf primitiven Fehlschlüssen. Es werden Dinge in Zusammenhang gebracht, die nichts miteinander zu tun haben. Das hört sich dann so an: Was zunehmen soll, gedeiht bei zunehmendem Mond, was abnehmen soll, bei abnehmendem. Der Vollmond ist gut für Dinge, die „voll“ werden sollen, der Neumond für das, was „leer“ werden und verschwinden soll! Der zunehmende Mond sei günstig zum Aussäen und Pflanzen, um Dung aufs Feld zu bringen, Hühner anzusetzen, Schafe zu scheren, Wiesen zu mähen usw. Bei abnehmendem Mond sollte man Krankheiten entfernen lassen, Früchte abnehmen usw. Zahlreich sind auch die „Regeln“, die sich auf das Wetter beziehen,

zum Beispiel „Bringt der Neumond Kälte, so nimmt sie bis zum Vollmond zu, bringt er Schönwetter, so hält es sich bis zum Vollmond“.

Wie leicht können wir durch Beobachtungen selbst nachprüfen, daß es sich dabei nur um Aberglauben handelt. Alle irrtümlich mit dem Mond in Verbindung gebrachten Vorgänge lassen sich wissenschaftlich erklären und beweisen. Wer daher auch heute noch an Mondregeln glaubt, bezeugt damit eindeutig, daß er einem aus dem Mittelalter oder gar der Frühzeit der Menschheit überlieferten Aberglauben verfallen ist.

### Die Beobachtung des Mondes

Kein Objekt liefert dem Anfänger der beobachtenden Astronomie so viele anregende und lehrreiche Übungen wie der Mond. Er ist der uns nächste natürliche Himmelskörper. Weil er keine dichte Atmosphäre besitzt, können wir schon mit bescheidenen optischen Hilfsmitteln, mit Feldstechern und kleinen Fernrohren, die Erscheinungen an seiner Oberfläche genau betrachten.

Der Mond ist nicht immer sichtbar. Zur Zeit des *Neumondes*, angezeigt in jedem guten Kalender, steht er nahe in Richtung zur Sonne und kehrt uns seine unbeleuchtete Seite zu. Wir können ihn dann auch mit dem stärksten Fernrohr nicht sehen (Abb. 32).

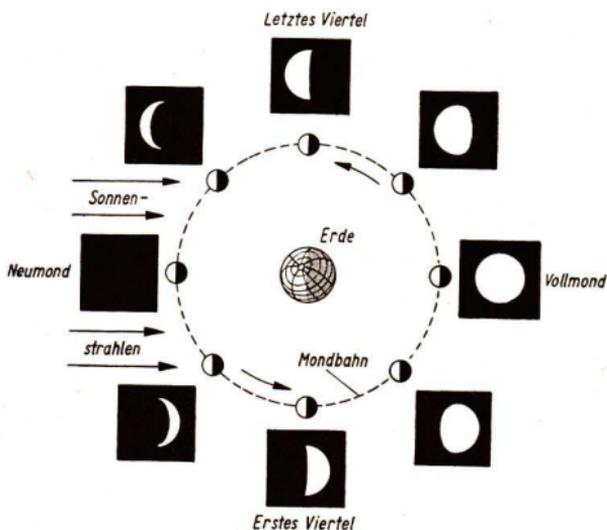


Abb. 32. Die Entstehung der Mondphasen

Sichtbar wird der Neumond nur in dem Fall, wenn Sonne und Neumond genau in gleicher Richtung stehen, so daß die dunkle Neumondscheibe vor die Sonne tritt. Dann entsteht eine *Sonnenfinsternis*. Aber schon zwei Tage nach Neumond entdecken wir den Mond als schmale Sichel, deren Krümmung nach Westen gewölbt ist, am abendlichen Dämmerungshimmel in westlicher oder südwestlicher Richtung. Von Tag zu Tag wächst der beleuchtete Teil des Mondes, die *Lichtgestalt* oder *Phase*. Am Anfang, etwa bis zum vierten Tage nach Neumond, sehen wir die nicht sonnenbeluchtete Seite des Mondes schwach im Gegenlicht der Erde schimmern (das sogenannte *aschgraue Mondlicht*). Nach 7 bis 8 Tagen ist *Halbmond* oder „Erstes Viertel“. Der Mond steht dann  $90^\circ$  östlich der Sonne, man findet ihn hoch im Süden, wenn die Sonne gerade untergeht. Nach weiteren 7 bis 8 Tagen ist die Lichtgestalt zur Vollscheibe angewachsen, es ist *Vollmond*. Sonne und Mond stehen sich am Himmel fast gegenüber. Zu Mitternacht, wenn die Sonne unter dem Nordhorizont steht, finden wir den Vollmond im Süden. Ist der Stellungsunterschied zwischen Sonne und Vollmond genau  $180^\circ$  (Opposition), steht die Erde also genau zwischen Sonne und Mond, dann gelangt der Mond in den Erdschatten. Es ist *Mondfinsternis*. Nun beginnt die Abnahme der Lichtgestalt am westlichen Rand. Nach abermals 7 bis 8 Tagen sehen wir den Mond wiederum als Halbmond, jedoch ist seine Krümmung jetzt nach Osten gekehrt, es ist „Letztes Viertel“. Der Mond steht in dieser Phase  $90^\circ$  westlich der Sonne, muß also im Süden gesucht werden, wenn die Sonne gerade aufgeht. Daher ist der abnehmende Mond ein nachmittägliches Gestirn, wohingegen der zunehmende Mond stets am Abendhimmel zu suchen ist.

29 Tage, 12,7 Stunden nach Neumond hat der Mond wieder die Neumondphase erreicht und ist unsichtbar. Die Periode von Neumond zu Neumond bezeichnet man als den *synodischen Monat*.

Zur Beobachtung der Krater, Ringgebirge und Mondberge sind die Phasen des ersten und des letzten Viertels am günstigsten, weil dann die sichtbare Mondlandschaft schräg vom Licht der Sonne getroffen wird und die Berge lange Schatten werfen. Zur Vollmondzeit fällt das Licht der Sonne aus derselben Richtung auf die Mondlandschaft wie unser Blick. Wir sehen keine Schatten mehr, und die Mondoberfläche erscheint ohne jede plastische Wirkung.

Die Bahn des Mondes am Himmel, seine scheinbare Bahn, ist eine sich ständig etwas verlagernde Bogenlinie, weil der Mond mehrere beträchtliche Störungen seitens der Erde und der Sonne erfährt.<sup>1</sup> Wir finden aber den Mond immer nahe der scheinbaren Sonnenbahn (Ekliptik), die durch die bekannten 12 Sternbilder des Tierkreises verläuft. Aus diesem Grunde befindet sich der Mond zur Winterszeit nachts allgemein sehr hoch am Himmel, nämlich in den Sternbildern Stier, Zwillinge, Krebs oder Löwe. Dagegen müssen wir den sommerlichen Mond nachts in den südlichen Regionen des Sternhimmels, in den Bildern Waage, Skorpion, Schütze oder Steinbock suchen.

Täglich wandert der Mond unter den Sternen um etwa  $13^\circ$  von Westen nach Osten weiter. In einer Stunde sieht man ihn daher um etwa  $\frac{1}{2}^\circ$ , seinen eigenen scheinbaren

<sup>1</sup>) Vgl. Atlas der Erdkunde, 3. Auflage, Seite 99

Durchmesser, weiterwandern. Von Zeit zu Zeit schiebt er sich dabei scheinbar vor hellere Fixsterne, wobei er ihr Licht schlagartig auslöscht, sobald sich sein vorausgehender Rand über den Ort des Sternes schiebt. Solche *Sternbedeckungen* durch den Mond bieten eine interessante Beobachtung mit dem Feldstecher. Sie werden auch von den wissenschaftlichen Instituten zur Kontrolle der Mondbahnbewegung regelmäßig durchgeführt.

#### Aufgaben:

1. Die Erde durchläuft Anfang Januar den sonnennächsten Punkt ihrer Bahn. Wie kommt es, daß bei uns in dieser Jahreszeit Winter ist? — 2. Für welche Vorgänge in der Erdatmosphäre haben sich kosmische Ursachen nachweisen lassen? — 3. Wieso sind die üblichen Bezeichnungen „Mondmeer“ und „Mondkrater“ irreführend? — 4. Nehmen Sie zu Ihnen bekannten Wetterregeln, die sich auf den Mond beziehen, kritisch Stellung!

#### Beobachtungsaufgaben:

1. Beobachten Sie mit einem guten Feldstecher die Mondoberfläche a) bei Vollmond, b) im ersten oder letzten Viertel! — Achten Sie auf das Aussehen der Oberflächenformen in beiden Phasen und erklären Sie Unterschiede! Schreiben Sie alle Ihre Beobachtungen in Berichtsform nieder! — 2. Überprüfen Sie die landläufige Wetterregel „Bei Mondwechsel erfolgt Witterungswechsel“, indem Sie regelmäßig entsprechende Beobachtungen anstellen und die Ergebnisse schriftlich festhalten!

### *Merkur und Venus*

Merkur und Venus beschreiben ihren Sonnenumlauf innerhalb der Erdbahn.

Über die Bedingungen, die auf dem *Merkur* herrschen, ist sehr wenig bekannt. Infolge seiner Sonnennähe kann der Planet nur schwer beobachtet werden. Der Merkur ist der kleinste der neun Hauptplaneten (Abb. 33). Sein Durchmesser wird allgemein mit 4800 km angegeben. Es besteht aber die Möglichkeit, daß er kleiner ist. Seine Masse erreicht nur  $\frac{1}{6000000}$  der Sonnenmasse. Über seine Oberfläche ist wenig bekannt, desgleichen über seine Rotationszeit. Es gilt als wahrscheinlich, daß die Oberfläche des Merkur weitgehend der des Mondes ähnlich ist, also wüstenähnlichen Charakter besitzt. Die Rotationszeit dürfte der Umlaufzeit des Planeten um die Sonne entsprechen und etwa 88 Tage betragen.

Lange Zeit war man der Meinung, der Merkur habe keine Atmosphäre. Neuerdings haben sich aber Anzeichen dafür ergeben, daß eine äußerst dünne Gashülle vorhanden ist, in der jedoch nur ein Druck von etwa 1 Torr auftreten dürfte.

Auf der von der Sonne beschienenen Halbkugel des Merkur liegen die Temperaturen bei 400 °C, während auf der von der Sonne abgewandten Halbkugel wahrscheinlich Temperaturen von —100 °C vorhanden sind.

Im Gegensatz zum Merkur entsprechen die räumlichen Ausmaße der *Venus* weitgehend denen der Erde. Der Durchmesser der Venus beträgt 12200 km, so daß das

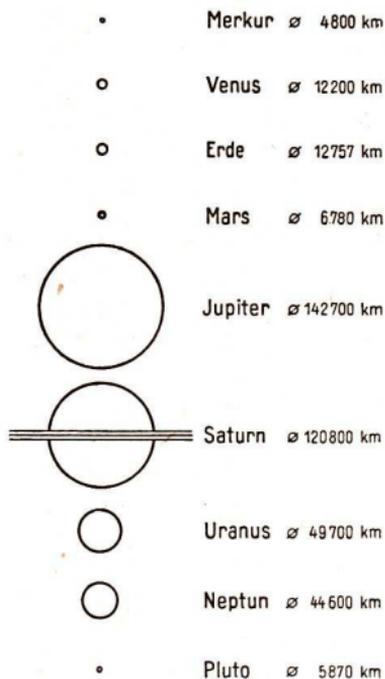


Abb. 33. Größenverhältnisse der Planeten

Volumen 0,876 des Volumens der Erde umfaßt. Ihre Oberfläche liegt ständig unter dichten Wolken verborgen. Infolgedessen ist es kaum möglich, durch Beobachtungen am Fernrohr Einzelheiten über die Beschaffenheit der Venusoberfläche zu ermitteln. Vermutlich vollziehen sich hier noch vulkanische Vorgänge.

Die Atmosphäre der Venus enthält große Mengen Kohlendioxyd. Das Vorkommen von Wasserdampf ist nach neuen Forschungsergebnissen sehr wahrscheinlich.

An der Grenze der Atmosphäre der Venus wurden Temperaturen von  $-39^{\circ}\text{C}$  gefunden, während unter der Wolkendecke an der unmittelbaren Planetenoberfläche Tagestemperaturen zwischen  $50$  und  $60^{\circ}\text{C}$  zu erwarten sind. Nachts sinken sie vermutlich auf etwa  $0^{\circ}\text{C}$  ab.

Es ist möglich, daß auf der Venus Lebewesen existieren, allerdings gibt es dafür noch keine stichhaltigen Beweise.

Über die Rotationszeit der Venus ist erst in jüngster Zeit Klarheit geschaffen worden. Lange Zeit wurde angenommen, die Umdrehungsdauer des Planeten stimme mit seiner Umlaufzeit um die Sonne überein, betrage also 225 Tage. Beobachtungen mit Radio-

teleskopen haben wahrscheinlich gemacht, daß die Venus in 22 h 17 min rotiert, so daß ein Venustag nur wenig kürzer ist als ein irdischer.

Merkur und Venus haben keine Monde.

### Der Mars

Der Planet Mars gilt allgemein als der interessanteste Planet des Sonnensystems. An seiner Oberfläche werden nämlich seit langem Lebensvorgänge vermutet. Allerdings konnten diese Vermutungen durch die moderne Forschung noch nicht bestätigt werden.

Der Mars ist wesentlich kleiner als die Erde. Sein Durchmesser beträgt 6780 km, sein Volumen nur 0,15 des Erdvolumens. Mars rotiert in 24 h 27 min 23 s um seine Achse. Während eines Sonnenumlaufs, der 687 Tage dauert, kann sich der Mars der Sonne bis auf 207000000 km nähern und bis auf 249000000 km von ihr entfernen. Der Abstand des Planeten von der Erde kann zwischen 401000000 km und 560000000 km schwanken.

Im Fernrohr zeigt der Mars gelblich-rote und dunkle Gebiete, die früher für Kontinente und Meere gehalten wurden (Abb. 34). Heute kann man sagen, daß die Marsoberfläche außerordentlich trocken ist, so daß sie überall einen wüstenähnlichen Charakter haben dürfte. Offene Wasserflächen sind bisher nicht festgestellt worden. Nach neueren Forschungen ist es sehr fraglich geworden, ob auf dem Mars eine einfache Pflanzenwelt auftritt. Allenfalls besteht die Möglichkeit, daß in einigen Gebieten anspruchslose Flechten und Moose vorhanden sind, die lange Zeit ohne größere Feuchtigkeit auskommen können.

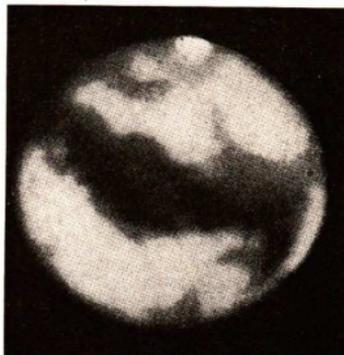


Abb. 34. Der Mars

Der Mars besitzt eine sehr dünne und durchsichtige Lufthülle, in der häufig ausgedehnte Trübungen festgestellt werden konnten. Als Ursachen werden Staubwolken angenommen, die von der Marsoberfläche emporgewirbelt werden oder aus dem Welt- raum eindringen.

Trotz des wüstenhaften Charakters der Marsoberfläche gilt als sicher, daß eine geringe atmosphärische Feuchtigkeit vorhanden ist. Hierfür sprechen vor allem die weißen Polargebiete, die äußerlich eine gewisse Ähnlichkeit mit den polaren Eispanzern der Erde zeigen. Sie bestehen aber nicht aus dickem Eis, sondern aus feinen Reif- bildungen. Die in der Marsatmosphäre vermuteten geringen Wassermengen würden bei gleichmäßiger Verteilung über die gesamte Marsoberfläche nur eine Wasserschicht von weniger als 0,1 mm ergeben.

Die mittlere Temperatur auf dem Mars liegt bei  $-15^{\circ}\text{C}$ . Hinter diesem Durch- schnittswert verbergen sich aber ganz erhebliche Extremtemperaturen. In den von der Sonne senkrecht beschienenen Gebieten erreichen sie mittags bis zu  $20^{\circ}\text{C}$ , nachts betragen sie dagegen  $-40^{\circ}\text{C}$ . In den Polargebieten sinken die Temperaturen sogar bis auf  $-100^{\circ}\text{C}$  ab.

Der Mars wird von zwei Monden, *Phobos* und *Deimos*, umlaufen. Die Durchmesser beider Monde betragen nur 20 bis 25 km, so daß diese sehr schwierig zu beobachten sind. Ihre Umlaufzeiten um den Mars betragen 7 h 39 min für Phobos und 30 h 18 min für Deimos.

### *Riesenplanet Jupiter*

Jupiter ist der größte Planet des Sonnensystems. Sein Äquatordurchmesser mißt 142700 km; der Polabstand ist um 9500 km kürzer. Der Planet weist also eine merkliche Abplattung auf. Sein Volumen übertrifft das Volumen der Erde 1394 mal, doch ist seine Masse nur 317 mal so groß wie die der Erde. Vergleichen wir Masse und Volumen

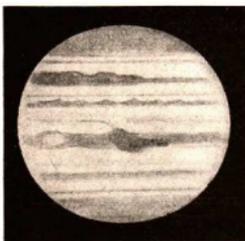


Abb. 35. Der Jupiter

miteinander, so ergibt sich aus der Division  $317 : 1394$  das Dichteverhältnis des Jupiter zur Erde, das  $0,23$  der Erddichte beträgt.

Die Oberfläche des Jupiter liegt unter einer hohen und dichten Wolkenschicht verborgen. Im Fernrohr erscheint die Hülle des Planeten von auffälligen Streifenbildungen durchzogen, in denen sich ständige Veränderungen vollziehen (Abb. 35). Diese Erscheinungen sind zum Teil Spiegelbilder von Vorgängen an der eigentlichen Planetenoberfläche. In der Jupiterhülle sind die Gase Methan und Ammoniak stark vertreten.

Die Rotation der riesigen Jupiterkugel vollzieht sich in  $9\text{ h } 50,5\text{ min}$ . Die Umlaufzeit

um die Sonne beträgt  $11\text{ Jahre und } 315\text{ Tage}$ .

Jupiter wird von  $12$  Monden begleitet, unter denen die vier hellsten unter günstigen Bedingungen bereits mit einem Feldstecher zu erkennen sind. Letztere wurden bereits im Jahre  $1610$  durch Galilei entdeckt.

Die vier hellen Jupitermonde Io, Europa, Ganymed und Kallisto laufen in  $42, 85, 172$  und  $384$  Stunden einmal um den Planeten. Die beiden innersten Monde Io und Europa zeigen schon nach einstündiger Beobachtung mit einem Fernrohr oder einem guten Feldstecher eine deutliche Verschiebung. Gelegentlich treten die Monde in den Schatten des Jupiter und verschwinden allmählich. Wir sind dann Zeugen von astronomischen Finsternissen in fernen Systemen. Ein anderes Mal wandern die Monde vor der hellen Jupiterscheibe einher, wobei man ihre Schatten auf dem Planeten wahrnehmen kann.

Aus der zeitlichen Verzögerung der Verfinsternerung der Jupitermonde bestimmte *Olav Roemer*  $1675$  die Lichtgeschwindigkeit.

#### *Saturn und sein Ringsystem*

Das schönste Bild unter den Planeten der Sonne zeigt der Saturn, der im Fernrohr von einem prächtigen Ringgebilde umgeben erscheint (Abb. 36). Als Weltkörper ist der Saturn nur wenig kleiner als der Jupiter. Der Äquatordurchmesser des Planeten mißt  $120\,800\text{ km}$ , doch ist der Abstand der Pole  $11\,800\text{ km}$  kürzer, so daß die Abplattung größer ist als beim Jupiter. Die Rotation des Saturn dauert  $10\text{ h } 14\text{ min}$ .

Das Fernrohrbild des Planeten ähnelt dem des Jupiter, ist aber viel blasser. Es gibt aber nicht die eigentliche Planetenoberfläche, sondern die äußere Grenze einer Atmosphäre wieder, deren Aufbau und Zusammensetzung der der Jupiteratmosphäre ähnlich ist.

Saturn hat insgesamt  $9$  Monde. In gewissem Sinne kann man auch das Ringsystem des

Planeten zu den Monden zählen. Die drei ineinanderliegenden Ringe bestehen vermutlich aus zahllosen kleinen festen Teilchen, die wie Monde die Saturnkugel umschweben. Wahrscheinlich handelt es sich dabei um solche Stoffe, die sich nicht zu einem weiteren Mond vereinigt haben.

Der äußere Durchmesser des Saturnringes beträgt 276 700 km. Seine Dicke dagegen ist sehr gering. Sie beträgt höchstens 350 km, ist aber wahrscheinlich noch kleiner.

Der Saturn umwandert mit seinem Ringsystem die Sonne in 29 Jahren und 167 Tagen in einer mittleren Entfernung von 1 428 000 000 km. Auf Grund seiner großen Entfernung von der Sonne herrschen auf dem Saturn durchschnittlich Temperaturen von etwa  $-140^{\circ}\text{C}$ .

### *Uranus, Neptun und Pluto*

Über diese drei Planeten sind nur wenige physikalische Einzelheiten bekannt. Uranus und Neptun gleichen einander insofern, als in ihrer Atmosphäre Methan vorkommt. Außerdem sind sie fast gleich groß. Der Äquatordurchmesser des Uranus beträgt 49 700 km, der des Neptun 44 600 km.

Infolge ihrer großen Entfernungen von der Sonne findet man auf beiden Planeten nur noch Temperaturen von  $-200^{\circ}\text{C}$ . Ähnliches gilt auch für den Pluto, der jedoch wesentlich kleiner ist als die Erde. Sein Durchmesser beträgt 5 870 km. An seiner Oberfläche dürften die Temperaturen nicht über  $-230^{\circ}\text{C}$  liegen.

Über die sonstigen Zahlenbeziehungen in den Entfernungen der Planeten gibt die Tabelle auf S. 29 näheren Aufschluß.

Ergänzende Werte sind aus der folgenden Tabelle zu ersehen:

### *Physische Eigenschaften der Planeten*

Planet	Äquatordurchmesser km	Rotationszeit		Masse (Masse der Erde = 1)	Volumen (Volumen der Erde = 1)	Abplattung	Zahl der Monde
		h	min				
Merkur .....	4800	—	—	0,055	0,053	—	—
Venus .....	12200	22	17	0,814	0,876	—	—
Erde .....	12756	23	56	1,000	1,000	1:298,3	1
Mars .....	6780	24	27	0,107	0,150	1:200	2
Jupiter .....	142700	9	50	317,0	1394,0	1:15	12
Saturn .....	120800	10	14	94,8	847	1:10	9
Uranus .....	49700	11	—	14,51	59	1:15	5
Neptun .....	44600	15	50	17,19	51,8	—	2
Pluto .....	5870	—	—	1,006	—	—	—

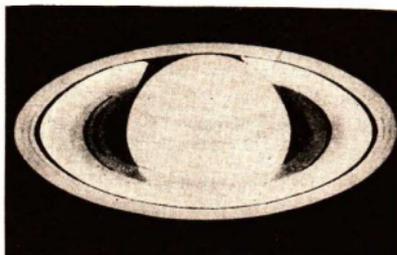


Abb. 36. Der Saturn

## Die Kleinkörper des Sonnensystems

### *Kometen*

Eigenartige Angehörige des Sonnensystems sind die Kometen. Im Altertum und besonders im Mittelalter verbreiteten sie bei ihrem Auftauchen Angst und Schrecken und waren mit manchem Aberglauben verbunden. Sie galten als Vorboten von Krieg und anderem Unglück, so daß bei ihrem Auftreten ängstliche Gemüter zahlreiche Schutzmaßnahmen zu treffen begannen.

Heute wissen wir, daß die Kometen recht harmlose Himmelskörper sind. Sie erscheinen unter den Sternen als nebelförmige Gebilde, die sich in der Regel durch einen mehr oder weniger ausgeprägten Schweif auszeichnen.

Das Kennzeichen eines Kometen ist neben seinem Schweif der meistens sternartig erscheinende Kometenkopf. Er besteht aus meteoritischen Teilchen, die von einer Hülle, der sogenannten *Koma*, umgeben sind (Abb. 37). Die Kometen bewegen sich auf langgestreckten elliptischen Bahnen um die Sonne, wobei ihre Umlaufzeit zwischen drei und einigen tausend Jahren liegt. Unter der Einwirkung der energiereichen Sonnenstrahlung bilden sich an den Bestandteilen des Kometenkopfes Verdampfungen und Vergasungen, die aus dem Kometenkern hervortreten. Dabei kommt es zur Herausbildung des Kometenschweifs, der vorwiegend aus Verbindungen des Kohlenstoffs und Wasserstoffs besteht. Er ist immer von der Sonne abgekehrt.

Insgesamt sind etwa 100 kurzperiodische Kometen (mit Umlaufzeiten bis zu 100 Jahren) bekannt. Die Gesamtzahl der zum Sonnensystem gehörigen Kometen wird auf 100 Milliarden geschätzt. Allerdings beschreiben die meisten dieser Kometen ihre Bahnen in sehr großen Sonnenentfernungen.

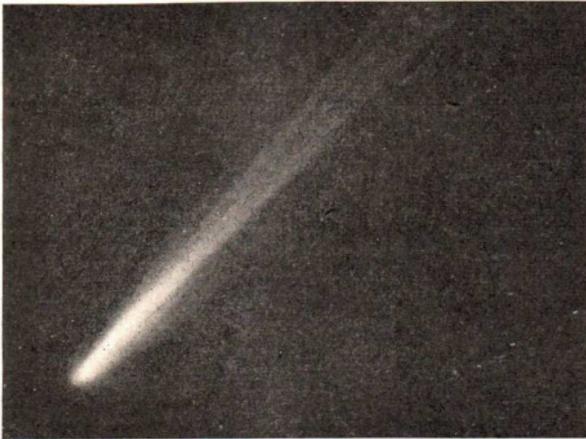


Abb. 37. Komet Halley im Jahre 1910

## Meteoriten

Meteoriten sind die kleinsten Himmelskörper. Man unterscheidet *Eisen-* und *Steinmeteorite*. Es wird angenommen, daß sie verschiedener Herkunft sind. Ein großer Teil von ihnen stellt Auflösungsreste der Kometenköpfe dar, die im Laufe der Zeit zerfallen sind. Andere rühren wahrscheinlich von Zerstörungen kleiner Planeten her. Ihre Massen sind sehr unterschiedlich. Sie können einige Milligramm, aber auch einige Tonnen betragen.

Die Meteoriten durchmessen das Sonnensystem vielfach auf geschlossenen elliptischen Bahnen, die von der Erde an bestimmten Tagen des Jahres gekreuzt werden, so daß es dann zu größeren Meteoritenfällen kommt.

In den Meteoriten sind keine anderen Stoffe gefunden worden, als wir sie auf der Erde, der Sonne und auf allen anderen Gestirnen kennen. Die Meteoriten sind daher ein weiteres Beispiel für die einheitliche Zusammensetzung der Körper im ganzen Weltall.

## Staub im Sonnensystem

Der Raum zwischen den Bahnen der großen Planeten wird nicht nur von den kleinen Planeten, Kometen und Meteoriten durchdrungen, sondern ist daneben noch von gas- und staubförmigen Stoffen erfüllt, die in sehr starker Verdünnung auftreten. Die Sonne ist zwar der einzige gasförmige Weltkörper des Sonnensystems, doch zeigt sich in ihrer unmittelbaren Umgebung, daß bereits die feinsten Ausläufer der Sonnenkorona in eine Staubhülle übergehen (vgl. Abb. S. 31). Diese erstreckt sich weit in den Raum der Planeten hinein und reicht noch über die Erdbahn hinaus. Von der Existenz einer solchen Staubhülle haben die Erdsatelliten neue Beweise erbracht. Auch dadurch, daß ständig kosmischer Staub in die Atmosphäre der Erde eindringt, wird klar bezeugt, daß der Raum zwischen den Planeten nicht leer ist. Neuere Forschungen haben keinen Zweifel daran gelassen, daß der Staub des Planetensystems auch mit gasförmigen Stoffen untermischt ist.

Teile des Staubes zwischen den Planetenbahnen können im März am frühen westlichen Abendhimmel und im September am östlichen Morgenhimmel gesehen werden, wenn dort pyramidenartig das *Tierkreis-* oder *Zodiakallicht* auftaucht. Es entsteht dadurch, daß das Sonnenlicht von staubförmigen Massen in Sonnennähe reflektiert wird.

## Schlußfolgerung

Der Aufbau des gesamten Sonnensystems zeigt die völlige Einheitlichkeit der daran beteiligten Stoffe. Die Bestandteile der Sonne sind angesichts der dort herrschenden hohen Temperaturen gasförmig. Einen solchen Zustand werden wahrscheinlich auch die Planeten durchlaufen haben. Die geologischen Befunde auf der Erde lassen

jedenfalls keinen Zweifel daran, daß sie einst flüssig war und somit aus dem vorhergehenden gasförmigen Zustand kondensierte, bis mit der völligen Erstarrung der Oberfläche der dritte Schritt der Abkühlung eingeleitet wurde.

Wie wir später sehen werden, bedeutet die einheitliche Zusammensetzung des Planetensystems gleichzeitig eine gleichartige Entwicklung und somit eine gemeinsame Geschichte.

#### **Aufgaben:**

1. Entwerfen Sie eine schematische Zeichnung der Umlaufbahnen von Venus und Erde! Verdeutlichen Sie an Hand der Zeichnung, daß die Venus in allen möglichen Stellungen zur Erde — wenn überhaupt — nur in Nähe der Sonne zu sehen ist, d. h. kurz nach Sonnenuntergang (als Abendstern) oder kurz vor Sonnenaufgang (als Morgenstern)! — 2. Stellen Sie die Größenverhältnisse der Planeten zeichnerisch dar! Benutzen Sie dazu die Übersicht auf S. 46 (1000 km  $\Delta$  1 mm). — 3. Erklären Sie die Begriffe „Komet“, „Meteorit“!

#### **Beobachtungsaufgaben:**

1. Stellen Sie durch Beobachtung fest, ob die Venus — als auffallend heller Stern — am Abend oder am Morgenhimmel zu sehen ist! — 2. Informieren Sie sich in einem Sternkalender oder in der Presse, welche Planeten zur gegebenen Zeit sichtbar sind! Suchen Sie mit Hilfe der vorgefundenen Angaben den helleuchtenden Jupiter! Betrachten Sie den Planeten im Feldstecher! Bereits bei sechsfacher Vergrößerung läßt sich die Beobachtung des Galilei wiederholen, der 1610 die vier hellsten Jupitermonde als Pünktchen entdeckte. Halten Sie die beobachtete Stellung der Monde zum Planeten zeichnerisch fest! Wiederholen Sie die Beobachtung an den folgenden Tagen und notieren Sie die Veränderungen! (Die Beobachtung ist nur bei klarem, mondscheinfreiem Himmel möglich!)

## **Künstliche Erdsatelliten und kosmische Raketen**

### *Begriff Erdsatellit — 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 Nachbarräumens der Erde erforscht werden soll. Die Messungen werden durch Meßwertsender zur Erdoberfläche übertragen. Die Satelliten bleiben stets unter dem Einfluß der Erdschwerkraft. 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.

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 (s. untenstehende Tabelle). Vier Monate später folgten ihr nach einigen Fehlversuchen die USA.

*Künstliche Erdsatelliten, die über Europa sichtbar waren oder noch sind*

(Stand: 15. 4. 1960)

Name	Startland	Startdatum	Flughöhe am Anfang (km)		Umlaufzeit am Anfang (min)	Bemerkungen
			kleinste	größte		
Sputnik 1 . . . .	UdSSR	4. Okt. 57	229	947	96,17	Ende 4. Jan. 58
Sputnik 2 . . . .	UdSSR	3. Nov. 57	225	1 671	103,75	Ende der Umlaufzeit 14. Apr. 58 beobachtet
Sputnik 3 . . . .	UdSSR	15. Mai 58	226	1 881	105,95	Ende der Umlaufzeit 6. Apr. 60
Explorer 4 . . . .	USA	26. Juli 58	300	2 200	112,2	Ende 23. Okt. 59
Explorer 6 . . . .	USA	7. Aug. 59	253	42 450	768,0	Erster Fernsatellit
Explorer 7 . . . .	USA	13. Okt. 59	554	1 091	101,4	
Tiros 1 . . . . .	USA	1. Apr. 60	690	754	99,15	Wettersatellit
Transit 1B . . . .	USA	13. Apr. 60	288	766	95,12	Navigationssatellit

*Bemerkungen:* Die angegebenen 8 Erdsatelliten haben Bahnneigungen zwischen 65° (Sputniks) und 48°; daher waren oder sind sie zeitweise über Europa sichtbar. Alle Satelliten sind von den Beobachtungsstationen in der DDR beobachtet worden. Außerdem wurden von den USA 8 Erdsatelliten vom Typ Discoverer gestartet. Sie waren kurzlebige Objekte und umflogen die Erde auf Bahnen, die über die Polgebiete führten. Weiterhin wurden von den USA 3 Satelliten vom Typ Vanguard gestartet, die sich durch sehr hochreichende Bahnen auszeichnen und daher sehr lange auf ihren Bahnen bleiben.

Bisher sind die Sowjetunion und die USA die einzigen Länder, die Erdsatelliten-Experimente praktisch durchführen konnten. 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.

*Startvorgang und Lebensdauer bei künstlichen Erdsatelliten*

Der Start eines künstlichen Erdsatelliten ist als erfolgreich zu bezeichnen, wenn 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 nicht weniger als  $7,783 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  in tangentialer Flugrichtung, das heißt senkrecht zur Richtung zum Erdmittelpunkt, erteilt werden kann. Mit zu-

Flughöhe (km)	Geschwindigkeit (km/s)
200	7,783
500	7,611
1000	7,349
2000	6,896
4000	6,196
6378	5,589
12766	4,563

nehmender Höhe nimmt die mindestens zu erreichende Geschwindigkeit ab (s. obenstehende Tabelle). Dabei ist die Schubkraft der einzelnen Trägerstufen so abzustimmen, daß die unteren dichten Schichten der Atmosphäre mit geringen Geschwindigkeiten ( $3 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ) durchflogen werden, andernfalls erfolgt Verbrennung durch Luftreibung. Das Prinzip des allmählich beschleunigten Raketenanstiegs durch mehrere Stufen wurde zuerst von dem russischen Gelehrten *K. E. Ziolkowski* (1895) ausgesprochen und mathematisch begründet.

Bisher erfolgten alle Starts von künstlichen Erdsatelliten senkrecht zur Erdoberfläche, da in dieser Richtung der Widerstand der untersten Luftschichten am günstigsten zu überwinden ist. Um die letzte Trägerstufe, die den eigentlichen Meßsatelliten nach Erreichen der Endgeschwindigkeit abschleudert, in tangentialer Flugrichtung zu bringen, wird das Raketenaggregat während des Aufstieges durch elektronisch gesteuerte Beeinflussung der Schubkraft-

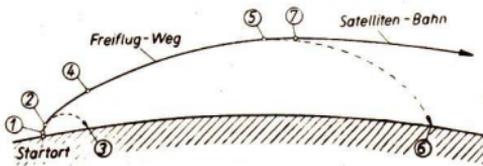


Abb. 38. Startbahn eines 3-Stufen-Erdsatelliten. 1) Ende des Senkrechtaufstiegs nach 10 s in 113 m Höhe, Geschwindigkeit  $0,027 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ . 2) Erste Stufe Brennschluß, zweite Stufe zündet nach 142 s in 53 km Höhe, Geschwindigkeit  $1,85 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ . 3) Aufschlag der ersten Stufe in 250 km Entfernung. 4) Zweite Stufe Brennschluß nach 258 s in 196 km Höhe, Geschwindigkeit  $4,48 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ . 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  $4,27 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ . 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  $7,92 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ . Dritte Stufe fliegt als Trägerrakete eine Zeitlang mit um die Erde.

einflussung der Schubkraft- richtung um  $90^\circ$  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 Raketen system auch durch ein mitgeführtes Programm auf den Weg gegeben werden (*Programmsteuerung*). Die Anforderungen an die Genauigkeit der Steuerungsvorgänge sind unvorstellbar groß. Die letzte Trägerstufe muß nach einer genau vorgeschriebenen Zeit die richtige Höhe erreicht haben. Im gleichen

Augenblick muß die Trägerrakete tangentielle Richtung haben und mit vorgeschriebener Geschwindigkeit fliegen. Kurz danach muß sich der Meßsatellit selbsttätig lösen. Richtungsabweichung von nur  $1^\circ$  und Geschwindigkeitsabweichungen von mehr als  $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  können das Zustandekommen einer Umlaufbewegung in Frage stellen.

Die *Lebensdauer* eines künstlichen Erdsatelliten hängt ab von Form und Masse seines Körpers, von der Höhe, der Geschwindigkeit und der Flugrichtung in dem Zeitpunkt, in dem sich der Meßsatellit von der Trägerrakete löst. Einige Daten über diese Anfangsgrößen und die daraus folgende Lebensdauer sind in untenstehender Tabelle zusammengestellt.

*Lebensdauer von künstlichen Erdsatelliten von kugelförmiger Gestalt  
in Abhängigkeit von Gewicht und Bahnform*

Flughöhen im		Durchmesser (cm)	Gewicht (kg)	Anzahl der Erdumläufe	Lebensdauer (Tage/Jahre)	Art
Perigäum (km)	Apogäum (km)					
200	400	50	10	44	2,7 Tage	
240	1700	120	510	7600	160 Tage	(1)
240	1800	200	1350	9500	1,8 Jahre	(2)
360	800	50	10	7200	1,2 Jahre	
500	1500	50	10	174000	30 Jahre	

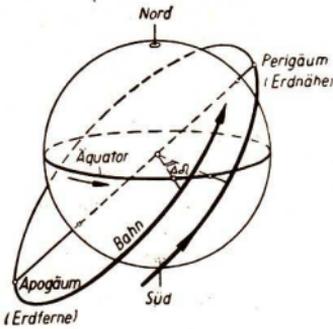
(1) Entspricht etwa Sputnik 2 (2) Entspricht etwa Sputnik 3

*Die Satellitenbahnen*

Die Bahn eines Erdsatelliten kann in drei Abschnitte eingeteilt werden (Abb. 38). Der *erste* Bahnteil ist die *Aufstiegsbahn* (Antriebsbahn, aktive Bahn). 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 wenigen Minuten durchlaufen. Ihre rechnerische Beherrschung ist außerordentlich kompliziert.

Der *zweite* Bahnabschnitt, die *Umlaufbahn* (Freiflugbahn, passive Bahn), ist eine Ellipse, die sich mit Hilfe der Keplerschen Gesetze genauer berechnen läßt. Die Bahnellipsen der Erdsatelliten liegen, von Störungen abgesehen, fest im Raum, nehmen also an der Erdrotation nicht teil (Abb. 39). 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 Erdumlaufes nicht an seinen Ausgangspunkt zurückkehrt, da sich die Ebene seiner Bahn langsam, bis zu  $6^\circ$  täglich, mit oder gegen die Erdrotation

Abb. 39. Scheinbare Westwärtsverschiebung der Bahn eines Erdsatelliten infolge der Erdrotation



verschiebt (Präzession). Außerdem dreht sich die große Achse der Bahnellipse in ihrer Ebene. Die Störungen durch Mond und Sonne werden erst nach Tausenden von Umläufen merklich. 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 die

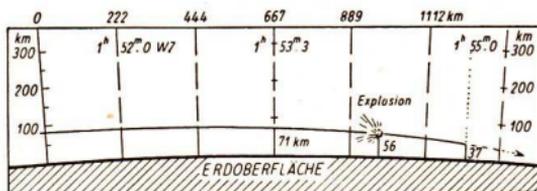
Umlaufzeit sich ständig verkürzt (s. untenstehende Tabelle). Hat die Umlaufzeit den Betrag von 89 min unterschritten, beginnt die dritte und letzte Phase der Bahnbewegung, die mit der Zerstörung des Erdsatelliten endet.

### Änderung der Bahnelemente von Sputnik 3

Datum 1958/59/60	Umlaufzeit (min)	Große Halbachse (km)	Flughöhe im Perigäum (km)	Flughöhe im Apogäum (km)
Mai 15. ....	105,96	7414	213	1859
Juni 25. ....	105,49	7396	204	1832
Aug. 1. ....	105,01	7375	208	1786
Okt. 23. ....	103,64	7288	188	1632
Jan. 2. ....	102,05	7232	181	1527
Febr. 24. ....	101,25	7178	176	1424
Mai 1. ....	99,90	7120	187	1297
Juli 5. ....	98,70	7072	192	1196
Sept. 28. ....	97,02	6994	196	1036
Nov. 7. ....	95,91	6940	187	937
Dez. 4. ....	95,07	6900	191	853
Jan. 1. ....	94,04	6845	193	741
April 4. ....	88,44	6575	138	256

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 (Abb. 40). Es ist möglich, daß einige größere Bruchstücke nach der Wärmeeexplosion eines Erdsatelliten sich noch mehrere Umläufe weiter bewegen, bis sie verglühen (Sputnik 1).

Abb. 40. Absturzbahn von Sputnik 2 am 14. April 1958 über der Karibischen See



### Die 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 Bahnlaufes ermittelt werden. Im Gegensatz zu den natürlichen Himmelskörpern (Mond, Planeten, Kometen) haben die Erdsatelliten sehr kurze Umlaufzeiten (92 bis 134 min). 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 13 bis 17 mal, 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 Auswertestelle verbunden ist, gewährleistet.

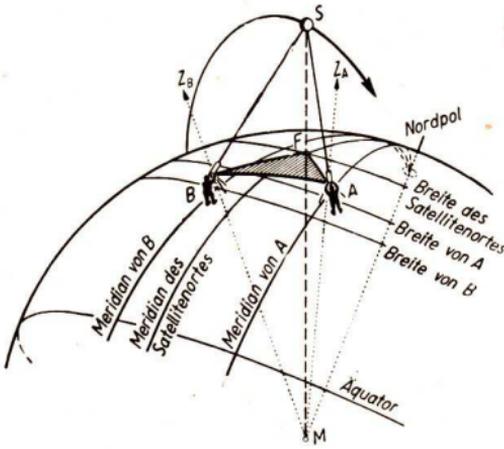
Ein solches Netz wurde während des Internationalen Geophysikalischen Jahres eingerichtet. Es umfaßt zur Zeit 450 Stationen. Die Deutsche Demokratische Republik ist mit 9 Stationen daran beteiligt: Kühlungsborn, Potsdam, Babelsberg, Bautzen, Eilenburg, Jena, Ilmenau, Rodewisch und Sonneberg. In der Sowjetunion befinden sich 85, in England 35, in den Niederlanden 18, in der Tschechoslowakischen Republik 13, in der Volksrepublik Polen 11, in Frankreich 8, in Westdeutschland 5 und in der Ungarischen Volksrepublik 3 Stationen. Rechenzentren mit elektronischen Rechenmaschinen zur Bahnbestimmung für Erdsatelliten befinden sich in Moskau, Leningrad, Washington und Bedford (USA). Täglich einmal erhält jede Station von ihrem Rechenzentrum je eine Vorhersage für die auf der Bahn befindlichen Satelliten, wodurch das Auffinden der Objekte am Himmel sehr erleichtert wird.

Je aktiver die Stationen des Weltnetzes beobachten, um so zutreffender sind die Vorhersagen. Zur Zeit ist das internationale Stationsnetz so aktionsfähig, daß es praktisch unmöglich ist, einen einmal gestarteten Erdsatelliten aus der Kontrolle zu verlieren.

**Methoden der Satellitenbeobachtung.** Es gibt drei Methoden der Satellitenbeobachtung. 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  $0,1^\circ$  im Ort und 1 s in der Zeit genau.

Wesentlich genauer, aber nur bei klarem Himmel anwendbar, ist die *optische Positionsbestimmung* von Erdsatelliten.

Abb. 41. Prinzip der optischen Positionsbestimmung von Erdsatelliten



Der Satellit wird dabei von mindestens zwei Stationen mit weitwinkligen Fernrohren oder mit Vermessungs-Theodoliten gleichzeitig geschnitten, 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 Projektionspunktes an der Erdober-

fläche) berechnen (Abb. 41). Beobachtungen dieser Art liefern den Satellitenort auf  $0,1^\circ$  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 fotografische 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 schnell laufenden Chronographen (Zeitschreibern) erfolgt. Die optisch-fotografische 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.

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 den Sonnenstrahlen beleuchtet wird (Abb. 42). Für Europa sind diese Sichtverhältnisse bei Erdsatelliten von der Art der Sputniks ( $65^\circ$  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.

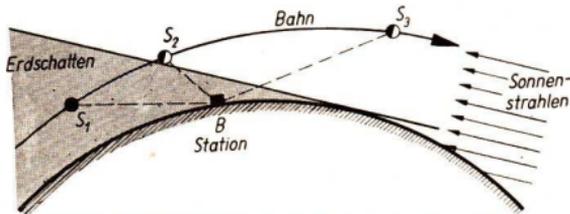


Abb. 42. Sichtverhältnisse für die Beobachtung von Erdsatelliten

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. Die meisten optischen Satelliten-Beobachtungen werden durch Bewölkung oder Dunst vereitelt. Für Mitteleuropa sind im Durchschnitt 30 bis 40 Prozent der sichtbaren Durchgänge beobachtbar (Abb. 43).

Eine bisher nur selten angewandte Methode zur Bahnkontrolle von künstlichen Erdsatelliten ist die *Ortung durch Radargeräte*. Von einem an der Erdoberfläche befindlichen sehr starken Sender wird ein eng gebündelter Strahl elektromagnetischer Wellen kurzer Wellenlänge in Richtung auf den Satelliten geschickt. Diese Wellen werden von der festen Oberfläche des Satellitenkörpers reflektiert. Die reflektierten Wellen werden durch einen starken Empfänger, der neben dem Sender steht, aufgenommen. Auf diese Weise läßt



Abb. 43. Trägerrakete von Sputnik 3

sich die Bahnbewegung eines über dem Horizont befindlichen Erdsatelliten auf einem Radarschirm ebenso sichtbar machen wie ein Flugzeug oder wie die Spur eines Meteoriten. Bisher ist die Radarmethode zur routinemäßigen Bahnkontrolle nicht eingesetzt worden, weil es nur einige wenige Radarstationen mit derartig starken und weitreichenden Sende- und Empfangsanlagen gibt.

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 Bereiche des Erdschattens überfliegen.

Die Verwendungsmöglichkeiten von künstlichen Erdsatelliten zur Erweiterung unserer Kenntnisse über den bisher unzugänglichen Bereich der Atmosphäre und über den kosmischen Nachbarraum der Erde sind sehr vielseitig. Alle bisher gestarteten Erdsatelliten wurden zur Erforschung der *Hochatmosphäre* der Erde, die nach modernen Anschauungen bis in Höhen von 3000 km reicht, 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 Atmosphärgase  $2,4 \cdot 10^{-13} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , in 700 km nur noch  $1,2 \cdot 10^{-16} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  und in 1000 km Höhe ist sie kleiner als  $10^{-17} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

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. So konnte der elektrische Zustand dieser für den Funkverkehr wichtigen Atmosphärenschicht erforscht werden.

Der Grad der Ionisation in der Ionosphäre ist örtlichen und zeitlichen Schwankungen unterworfen, die hauptsächlich von der *Ultraviolett-Strahlung* 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 Ultraviolett-Strahlung der Sonne im kurzwelligen, von der Erde aus wegen der Absorption in der Ozonschicht nicht zugänglichen Gebiet zu messen. Ebenso konnten die Feldstärken des elektrischen und des magnetischen Feldes der Erde gleichzeitig und in schneller Folge in verschiedenen Stellen der Bahn sowie in verschiedenen Höhengschichten bestimmt werden.

Mit Erdsatelliten, welche die 1000-km-Grenze überschreiten, konnten wir erstmalig Einblick in den physikalischen Zustand im Grenzgebiet zwischen Erdatmosphäre und

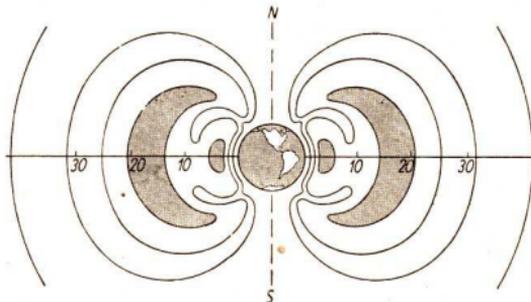


Abb. 44. Die zwei kosmischen Strahlungsgürtel, die die Erde umgeben

kosmischem Raum gewinnen. Eine für die zukünftige 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 (Abb. 44). 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, durch welche die zukünftigen bemannten Raumfahrzeuge in den Raum gelangen können, ohne die für den Organismus von Lebewesen gefährlichen Strahlungsgürtel zu passieren. 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.

Der Raum jenseits der Erdatmosphäre ist nicht leer, sondern mit einem außerordentlich dünnen Medium aus Gas und Staub angefüllt. Zur Messung der Dichte dieses Mediums sind Fernsatelliten und kosmische Raketen eingesetzt worden, aber die Ergebnisse widersprechen sich stark. Sie schwanken zwischen  $0,005 \text{ g} \cdot \text{km}^{-3}$  und  $\frac{1}{100000}$  dieses Wertes. Den festen Anteil der interplanetaren Materie bilden die *Meteoriten* und vor allem der *meteoritische Staub* (Mikrometeoriten). Die elektro-akustischen Zählrichtungen, 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 Milligrammes 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 von morgen durch Meteoriten keine größere Gefahr droht, als sie durch unvorhergesehene Zwischenfälle ohnedies gegeben ist.

Die Möglichkeiten der Verwendung von Erdsatelliten zur Erforschung der Natur beschränken sich nicht auf die irdische Atmosphäre und den kosmischen Raum. Die künstlichen Erdsatelliten können auch zur Erweiterung der Kenntnisse über unseren Planeten und seine Oberfläche beitragen. Mit eingebauten Fernsehkameras können die Wolkenfelder ganzer Erdteile sichtbar gemacht werden, und zwar in schneller Wiederholung rings um die Erde herum. In wenigen Stunden kann ein Erdsatellit daher die Wolkenbeobachtungen von mehreren tausend Wetterstationen abbilden. Dadurch würde sich die Treffsicherheit der *Wettervorhersage* für die ganze Erde wesentlich erhöhen lassen.

Schwer zugängliche und daher kartographisch noch ungenügend aufgenommene Gebiete der Erdoberfläche können mit Hilfe von Erdsatelliten, die Weitwinkelkameras an Bord mitführen, fotogrammetrisch 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. Durch langjährige Wiederholung solcher großräumigen Vermessungen kann festgestellt werden, wie weit sich die Kontinente gegeneinander verschieben. Die künstlichen Erdsatelliten werden dadurch auch zum Forschungsinstrument der Geologen.

Erdsatelliten, die in 35810 km Höhe die Erde entlang des Äquators auf Kreisbahnen von West nach Ost umlaufen, benötigen für einen Umlauf 24 Stunden. Sie bleiben also beständig über dem Ort der Erdoberfläche stehen, an dem sie ihre Umlaufbahn begonnen haben. Solche *stationären Satelliten* kann man als *Fernseh-Relais-Stationen* für eine weltweite Übertragung von Fernsehsendungen benutzen.

Erdsatelliten, deren Bahnen ganz außerhalb der Atmosphäre verlaufen, jedoch nicht in die Nähe des Mondes gelangen, sind geeignet als *astronomische Raumobservatorien*. Ihre Ausrüstung mit einem großen astronomischen Teleskop setzt allerdings voraus, daß sie entsprechend groß und sehr gut stabilisiert sind. Die Möglichkeiten, die Himmelskörper und ihre Strahlung von solchen Observatorien aus, das heißt ohne den störenden Einfluß der Erdatmosphäre, zu beobachten, würden vor allem der Astrophysik ungeahnte neue Erkenntnisse bringen.

### *Kosmische Raketen und ihre Zukunft*

Während die Satellitenforschung bereits ihr Versuchsstadium überschritten hat, sind die bisherigen Experimente mit den Luniks und den Pioneer-Raketen, die man als *kosmische Raketen* oder, falls sie auf periodische Bahnen gelangen, als *Raumstationen* bezeichnet, die ersten Vorversuche der praktischen Astronautik.

Mit dem Start und der planmäßigen Bahneinhaltung der drei Luniks erreichte die Sowjetunion bereits ungeahnt große wissenschaftliche Erfolge, wenn man beachtet,

#### *Die kosmischen Raketen*

Name	Startland	Startdatum	Größte erreichte Entfernung (km)	Gesamtflugzeit	Bemerkungen
Pioneer 1 . . . .	USA	11. Okt. 58	113 000	28 Stunden	Fiel zur Erde zurück
Pioneer 3 . . . .	USA	6. Dez. 58	102 300	26 Stunden	Fiel zur Erde zurück
Lunik 1 . . . . .	UdSSR	2. Jan. 59	Bahn um die Sonne	35 Stunden (bis Mondnähe)	443 Tage Umlaufzeit um die Sonne
Pioneer 4 . . . .	USA	3. März 59	Bahn um die Sonne	34 Stunden (bis Mondnähe)	407 Tage Umlaufzeit um die Sonne
Lunik 2 . . . . .	UdSSR	12. Sept. 59	erreichte den Mond	35 Stunden	Aufschlag auf dem Mond 14. Sept. 22 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup> 24 <sup>s</sup>
Lunik 3 . . . . .	UdSSR	4. Okt. 59	471 000	15,3 Tage (ein Umlauf)	periodische Bahn um Erde und Mond
Pioneer 5 . . . .	USA	11. März 60	Bahn um die Sonne	—	—

daß die Anforderungen bei der Einhaltung der vorgeschriebenen Aufstiegsbahn bei kosmischen Raketen etwa hundertmal größer sind als bei Erdsatelliten. Lunik 1 (s. Tabelle auf S. 62) wurde zum ersten künstlichen Himmelskörper im Sonnensystem. Durch den Fortschritt in der technischen Beherrschung der Lenkung oder Steuerung (Navigation) auf dem aktiven Bahnteil gelang es mit Lunik 2, den Mond zu treffen. Lunik 2 flog hierbei ebenso wie Lunik 1 auf einer hyperbolischen Bahn (Anfangsgeschwindigkeit  $11,2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Dadurch ist bewiesen, daß man bei Steigerung der Navigationsgenauigkeit jeden beliebigen Himmelskörper im Sonnensystem, zum Beispiel die uns nächsten Planeten Venus und Mars, treffen kann. Dabei ist es nicht unbedingt erforderlich, die Schubkraft des Trägerraketensystems zu erhöhen, wenn man beim Start darauf achtet, daß die Erdbahngeschwindigkeit ( $30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ) sich zur Raketengeschwindigkeit addiert. Eine weitere Vervollkommnung der Raumnavigation wurde mit Lunik 3 dadurch erreicht, daß die Anziehungskraft des Mondes zu einem Umfliegen desselben ausgenutzt wurde, wobei mit einer elektronisch gesteuerten Kamera die Mondrückseite, die wegen der gebundenen Rotation des Mondes niemals von der Erde aus sichtbar ist, erfolgreich fotografiert werden konnte.

Mit den drei Luniks wurde gleichzeitig der Raum zwischen Erde und Mondbahn in mannigfacher Weise auf seine physikalische Beschaffenheit untersucht, vor allem hinsichtlich der Intensität der kosmischen Strahlung.

Die sowjetischen Lunik-Erfahrungen bilden die Grundlage für alle astronautischen Unternehmungen in der Zukunft. Die nächsten Stufen des Fortschrittes in der praktischen Astronautik werden sein:

1. *der bemannte Flug in einem Erdsatelliten mit anschließender Rückkehr zur Erde.* Als ein erstes vorbereitendes Experiment hierzu brachte die Sowjetunion am 15. Mai 1960 mit dem Sputnik-Raumschiff 1960 eine Rückkehr-Kapsel in den Umlauf um die Erde, in deren Inneren sich Meßgeräte zur Erforschung der biologischen Bedingungen auf Sputnikbahnen befinden.

2. *die „sanfte Landung“ auf dem Mond und der Start vom Mond aus mit dem Ziel, die Erde ohne Bruchlandung zu erreichen,*

3. *der unbemannte Start zur Venus und zum Mars und die fotografische Aufnahme der Oberfläche dieser Planeten,*

4. *die „barte“ und*

5. *die „sanfte“ Landung auf dem Mars und die Rückkehr vom Mars zur Erde.*

#### **Aufgaben:**

1. Verfolgen Sie Angaben der Presse über Satellitendurchgänge! — 2. Berechnen Sie die Geschwindigkeit eines stationären Satelliten (als Kreisbahn)! — 3. Wo ist die nächste Beobachtungsstation für Satelliten? — 4. Welche Kräfte wirken auf Erdsatelliten und interplanetare Flugkörper?

# DAS WELTALL

## Die Fixsterne

### *Zahl und Helligkeit der Sterne*

Bei einer Betrachtung des nächtlichen Himmels fällt uns auf, daß uns die Sterne unterschiedlich hell erscheinen. Diese Erscheinung hat die Veranlassung gegeben, alle Sterne in bestimmte Größenklassen oder Helligkeitsstufen einzuteilen. Aus der Gesamtheit kann aber nicht auf die Entfernungen der Sterne von der Erde geschlossen werden, das heißt die hellsten Sterne sind nicht immer die nächsten Sterne. Es sind ebenso zahlreiche sehr lichtschwache Sterne bekannt, die der Erde verhältnismäßig nahe stehen.

Vielfach wird die Zahl der mit bloßem Auge sichtbaren Sterne stark überschätzt. Mit normalen Augen könnten wir an der gesamten Himmelskugel etwa 5000 Sterne zählen. Da wir aber jeweils nur die Hälfte des Himmels überschauen können, würde die Gesamtzahl dadurch auf etwa 2500 Sterne herabsinken. Hinzu kommt noch, daß der Horizont mit seinen Dunstbildungen zahlreiche Sterne unsichtbar macht, so daß wir dadurch allenfalls 2000 Sterne mit bloßem Auge auffinden können.

Im Feldstecher steigt die Zahl der Sterne sehr schnell an. Die großen Fernrohre unserer Sternwarten erhöhen das Sehvermögen des Auges schließlich so weit, daß Hunderttausende von Sternen erkennbar werden. Durch ein Fernrohr mit einem Durchmesser von 25 cm können bereits 10 Millionen Sterne erfaßt werden.

Zahlreiche Sterne sind von den Astronomen in Sternkarten eingetragen oder auf fotografischen Platten abgebildet worden. Auf diese Weise sind umfangreiche Sternatlanten entstanden. Viele dieser Sterne sind in Sternverzeichnissen erfaßt worden. Dabei wurde ihr Standort am Himmel durch die Koordinaten Deklination und Rektaszension (vgl. S. 17 und 18) genau festgelegt.

### *Die Farben der Sterne*

Bei genauer Betrachtung des gestirnten Himmels fällt auf, daß die Sterne auch in ihren Farben Unterschiede zeigen. Manche senden gelbliches Licht aus, andere bläulichweißes oder rötliches Licht. Diese Farben sind von der Temperatur der Sterne abhängig. Das bedeutet, daß die roten Sterne eine tiefere Temperatur aufweisen als die bläulichweißen Sterne, während die gelblichen eine Mittelstellung einnehmen. Unsere Sonne gehört als Stern zu den gelben Typen, die man deshalb auch als Sonnensterne bezeichnet hat. Die nähere Erforschung dieser Zusammenhänge ist mit Hilfe der Spektralanalyse möglich gewesen.

Die Farbe eines Sternes ist bereits ein Kennzeichen seiner Temperatur. Außerdem läßt sich mit Hilfe der von der Physik erforschten Strahlungsgesetze aus dem Spektrum die jeweilige Sterntemperatur bestimmen. Dabei hat sich gezeigt, daß die Sonnensterne auch eine der Sonne entsprechende Temperatur von etwa  $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$  besitzen. Diese Temperatur bezieht sich auf die strahlende Oberfläche der jeweiligen Sterne. Bei den rötlichen und roten Sternen finden wir Temperaturen zwischen  $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$  und etwa  $5000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , während bei den weißen und blauen Sternen Temperaturwerte zwischen  $8500\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $25000\text{ }^{\circ}\text{C}$  auftreten.

Entfernungen der Sterne — Das Lichtjahr

Über die Verteilung der Sterne im Weltraum kann man nur Aussagen machen, wenn man ihre Entfernungen kennt. Diese Frage stellte die Astronomen vergangener Jahrhunderte vor große Schwierigkeiten.

Erschwerend für die Astronomie (*Astrometrie*) ist die Tatsache, daß die Erde, unser kosmischer Standort, verschiedene Bewegungen im Raum ausführt. Jeder Erdort wird infolge der Erdrotation in  $23\text{h } 56\text{ min } 4,1\text{ s}$  einmal auf kreisförmiger Bahn um die Erdachse geführt, ausgenommen sind die Erdpole. Die Erde selbst wandert auf einer elliptischen Bahn in  $365,25$  Tagen einmal um die Sonne. Außerdem bewegt sich die Sonne mit der Erde und den übrigen Planeten mit einer Geschwindigkeit von  $268\text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  auf einer sehr weiten, wahrscheinlich nahezu kreisförmigen Bahn um das Zentrum unseres Milchstraßensystems. Diese Bewegung wird *Translation* genannt. Die Verschiebungen der Himmelskörper durch die Rotation nennt man die *tägliche Parallaxe*, die Verschiebung infolge der Bahnbewegung der Erde die *jährliche Parallaxe*. Die erste ist nur an Körpern innerhalb unseres Planetensystems, die letztere an den näheren Fixsternen meßbar. Die relative Bewegung von Sonne und Fixsternen infolge der Translation und die Raumbewegung der Fixsterne ergeben die sogenannte *Eigenbewegung* der Fixsterne, die bei den meisten Sternen erst im Verlauf längerer Zeiträume erkennbar wird.

**Tägliche und jährliche Parallaxe.**

Die Lageänderung eines Erdortes infolge der Erdrotation beträgt höchstens einen Erddurchmesser ( $12756\text{ km}$ ) und ruft nur bei den uns nächsten Himmelskörpern eine meßbare Parallaxe, die sogenannte tägliche Parallaxe, hervor. In Abb. 45 ist die Erde von Norden gesehen gezeichnet. Vom Erdort A aus sieht ein Beobachter den Mond an der Stelle A' des Sternhimmels. Nach einem Vierteltag ist der Ort A infolge der Erdrotation nach B gelangt und der Beobachter sieht den Mond jetzt an der Stelle B' des Himmels (falls der Mond als nicht bewegt angenommen wird). Der Winkel am Mond ist die tägliche Parallaxe, sie beträgt im Mittel  $57'$ . Ein Beobachter auf dem

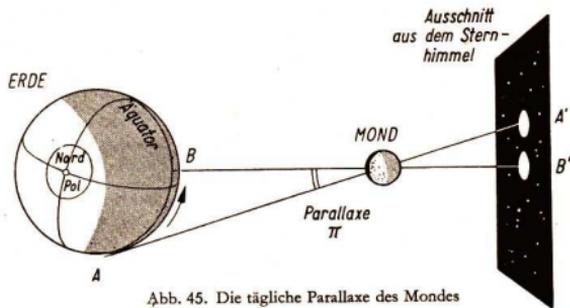


Abb. 45. Die tägliche Parallaxe des Mondes

Mond würde, wie Abb. 45 zeigt, den Erdradius unter dem gleichen Winkel sehen. Für die viel weiter entfernte Sonne beträgt die tägliche Parallaxe  $8,8''$ , das heißt von der Sonne aus gesehen erscheint die Erde als ein kleines Lichtscheibchen von  $17,6''$  Durchmesser.

Aus der Parallaxe kann auf die Entfernung der Himmelskörper geschlossen werden. Je weiter ein Himmelskörper von uns entfernt ist, umso kleiner messen wir seine Parallaxe. Die uns nächsten Fixsterne sind rund 270 000 mal so weit von uns entfernt wie die Sonne. Ihre Verschiebung durch die Erdrotation, ihre tägliche Parallaxe, ist unmeßbar klein. Jedoch kann man eine Verschiebung auch bei den Fixsternen messen, wenn man hierzu den Durchmesser der Erdbahn, das heißt die Veränderung des Standorts der Erde bezüglich der Sonne im Laufe eines halben Jahres, als Basis benutzt. Sehen wir uns dazu die Abbildung 46 an. Die Sonne wird von der Erde umlaufen, deren Bahn in einer stark übertriebenen Ellipse dargestellt ist. Die Punkte F, S, H und W bezeichnen die Stellung der Erde bei Frühlings-, Sommer-, Herbst- und Winteranfang. Von jedem Punkt ist eine Verbindungslinie zu dem Stern gezogen, dessen Entfernung mit Hilfe der Erdbewegung gemessen werden soll. Entsprechend den Verbindungslinien versucht der Astronom nun, zu jeder Jahreszeit (oder an jedem beliebigen Tag im Jahr) den genauen Ort des Sterns am Himmel festzustellen. Dabei weist die Verbindungslinie über den Stern hinaus zum Sternhintergrund, der durch die scheinbare Wölbung des Himmels gebildet wird. Es zeigt sich, daß der Stern im Jahreslauf eine geringe elliptische Bewegung ausführt, die das Spiegelbild der Erdbewegung wiedergibt. Aus einer solchen Messung, die

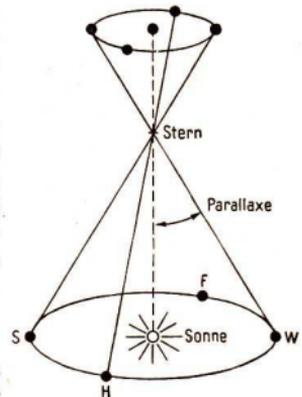


Abb. 46. Die jährliche Parallaxe eines Fixsterns

im Grunde eine sehr genaue Winkelbestimmung ist, läßt sich nun die Entfernung des beobachteten Sterns berechnen.

Diese jährliche Parallaxe ist für den uns nächsten Fixstern nicht größer als  $0,75''$ . Das ist der 2560te Teil des scheinbaren Sonnendurchmessers. Es handelt sich dabei um den hellsten Stern des Sternbildes Centaur am Südhimmel, der die Bezeichnung „Alpha Centauri“ führt. Aus der Umrechnung der gemessenen Verschiebung des Sternortes in Entfernungswerte, auf die wir hier nicht näher eingehen können, ergibt sich für den erwähnten Stern ein Sonnenabstand von rund  $41 \cdot 10^{12}$  km. Dabei ist „Alpha Centauri“ der nächste Fixstern, den wir am Himmel erkennen (vgl. Tabelle im Anhang!).

Es ist in der Astronomie aber nicht üblich, die Entfernungen der Sterne in Kilometern anzugeben, da man sonst zu sehr hohen Zahlenwerten kommen würde. Der Astronom hat ein anderes Entfernungsmaß entwickelt — das *Lichtjahr*. Man versteht darunter den Weg, den der Lichtstrahl innerhalb eines Jahres zurücklegt:  $1 \text{ Lichtjahr} = 300000 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365,25 = 9,5 \cdot 10^{12}$  km. Für „Alpha Centauri“ bedeutet dies, daß seine Entfernung von  $41 \cdot 10^{12}$  km etwa 4,3 Lichtjahren entspricht. Will man sich die als Lichtjahr bezeichnete Entfernung verdeutlichen, so muß man sich folgendes vorstellen: Ein Auto, das im Durchschnitt  $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  fährt, würde in ununterbrochener Fahrt fast 11 Millionen Jahre brauchen, um diese Strecke zurückzulegen! Es gibt noch andere Methoden, Entfernungen im Weltall zu messen, auf die wir aber nicht eingehen wollen. Es sei hervorgehoben, daß sich durch die gelungenen Messungen der Sternentfernungen ganz allmählich ein Bild von der räumlichen Verteilung der Sterne ergab. Die kleinsten Entfernungen liegen bei wenigen Lichtjahren. In einem Umkreis von 16 Lichtjahren um die Sonne sind rund 50 Sterne gefunden worden. Allerdings wurden unter den zahllosen, im Fernrohr sichtbaren Sternen auch solche Entfernungen gefunden, die viele tausend und hunderttausend Lichtjahre betragen.

### *Sterne in Bewegung*

Die Verfeinerung der astronomischen Messungen führte sehr bald zu der Feststellung, daß die Sterne neben ihrer durch die Erdbewegung hervorgerufenen scheinbaren Verschiebung auch wirkliche Ortsveränderungen vornehmen, die nur als räumliche Bewegungen verstanden werden konnten. Durchschnittlich liegt die Raumbewegung der Sterne bei einer Geschwindigkeit von  $20 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ . Es gibt aber auch Werte bis zu  $100 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  und mehr. Insgesamt sind heute von etwa 300000 Sternen Eigenbewegungen bekannt. Jedoch sind die davon am Himmel verursachten Ortsveränderungen der Sterne so gering, daß sie bestenfalls in einigen hundert Jahren eine Vollmondbreite erreichen.

## *Riesen und Zwerge unter den Sternen*

Könnte man Sonne und Sterne immer aus der gleichen Entfernung untersuchen, das heißt, wäre die Sonne genauso weit von uns entfernt wie die mit ihr verglichenen Sterne, so würde es sich zeigen, daß es Sterne gibt, die nur  $\frac{1}{10000}$  der Leuchtdichte der Sonne besitzen, während andere 100000mal so hell sind wie sie. Desgleichen zeigen die Sternmassen große Abweichungen von der Sonnenmasse. Wir kennen Sterne, deren Masse bis zu 50mal so groß wie die der Sonne ist und solche, die nur ein Zehntel der Sonnenmasse aufweisen. Ähnliches gilt auch für die Sterndurchmesser, die teilweise dem Sonnendurchmesser entsprechen, in anderen Fällen nur einige Erddurchmesser und bei anderen Sternen wiederum einige hundert Sonnendurchmesser erreichen.

Diese Tatsachen zeigen, daß es unter den Sternen des Weltalls Riesen und Zwerge gibt. Die Sonne nimmt dabei eine Mittelstellung ein, wobei sie allerdings mehr den Zwergsternen zugerechnet werden muß. Bei den Zwergsternen werden mehrere Typen (Weiße Zwerge, Rote Zwerge, Unterzwerge) unterschieden. Der kleinste bisher gefundene Zwergstern ist nicht viel größer als der Mond der Erde. Der nach den gegenwärtigen Kenntnissen größte Riesenstern dagegen würde, setzte man ihn an die Stelle der Sonne, mit seiner Oberfläche über die Bahn des Saturn hinausreichen!

## *Doppelsterne*

Mit bloßem Auge kann man gelegentlich erkennen, daß zwei Sterne sehr nahe beieinander stehen. Ein sehr schönes Beispiel dafür liefert der mittlere Schwanzstern des Großen Bären, der den Namen „Mizar“ führt. Über dem hellen Stern erkennt man mit bloßem Auge ein schwaches Sternchen, das „Alkor“ genannt wird. In solchen Fällen spricht man von einem Sternpaar. Richten wir aber auf Mizar ein Fernrohr, so zeigt sich dieser Stern nochmals doppelt. Zwei Sterne bilden hier eine sehr enge Gemeinschaft, einen Doppelstern, wie man sie außerdem noch bei etwa 40000 anderen Sternen des Himmels findet. Beobachtet man solche Doppelsterne über einen langen Zeitraum hinweg, so zeigt sich in vielen Fällen, daß die beiden Sterne ihre gegenseitige Stellung verändert haben. Sie bewegen sich umeinander, genauer, sie bewegen sich um einen zwischen ihnen liegenden Schwerpunkt. Sie sind also durch die Wirkung der Schwerkraft in gleicher Weise verbunden, wie die Erde mit ihrem Mond oder die Sonne mit ihren Planeten.

## *Planetenähnliche Begleiter der Fixsterne*

In neuerer Zeit sind einige Doppelsterne gefunden worden, bei deren Bewegung sich geringe Abweichungen zeigen. Das deutet auf eine ähnliche „Störung“ hin, wie wir sie früher bei der Bewegung des Planeten Uranus gefunden haben. Aus den „Störungen“ solcher Doppelsterne hat sich berechnen lassen, daß daran Begleitsterne sehr

geringer Masse beteiligt sind. Diese Tatsache deutet darauf hin, daß zu einigen Doppelsternen für uns unsichtbare Begleiter gehören, die durchaus Planeten sein können. Die weitere Erforschung dieser Sterne wird zeigen, ob die Astronomen fernen Planetensystemen auf die Spur gekommen sind. Wäre das der Fall, dann würde damit der schon von Giordano Bruno geäußerte Gedanke, auch andere Sterne oder Sonnen seien von Planeten umgeben, durch die moderne astronomische Beobachtungskunst bestätigt.

### *Veränderliche Sterne*

Eine weitere Gruppe von Sternen sind die sogenannten „Veränderlichen“. Sie verändern in kürzeren oder längeren Zeiträumen periodisch oder nichtperiodisch ihre Helligkeit, so daß sie zeitweise heller oder schwächer erscheinen. Die Ursachen der Helligkeitsschwankungen sind unterschiedlicher Natur. Größtenteils werden sie durch Temperaturveränderungen hervorgerufen. Auch Veränderungen der Sternoberfläche, die sich vergrößert oder verkleinert und dadurch das Aufblähen und Zusammenziehen der Sternmasse bedingt, sind eine Ursache. Bei etwa einem Sechstel aller veränderlichen Sterne wird der Lichtwechsel durch den Vorübergang eines dunklen oder lichtschwachen Begleiters an dem hellen Hauptstern herbeigeführt. In solchen Fällen sprechen die Astronomen von Bedeckungs- oder Verfinsterungs-Veränderlichen. Bei diesen Sternen dauert der Ab- und Anstieg des Sternlichts in der Regel nur einige Stunden. Bei den übrigen Sternen kann eine Lichtwechselperiode länger als ein Jahr sein. Andere Sterne zeigen einen völlig unregelmäßigen Verlauf der Lichtschwankung.

### *Neue Sterne*

Eigentlich gehören die „Neuen Sterne“ oder Novae (lat. novus = neu) ebenfalls zu den veränderlichen Sternen. Sie sind nämlich gar nicht „neu“ im Sinne des Wortes. Sie fallen nur dadurch auf, daß sie plötzlich innerhalb weniger Stunden oder Tage einen gewaltigen Lichstanstieg zeigen, der ihre Helligkeit um das 5000- bis 100000fache steigert. Schon nach relativ kurzer Zeit klingt der Lichtausbruch ab, und der Stern kehrt allmählich zu seiner ursprünglichen Helligkeit zurück.

Was ist hier vor sich gegangen? Die Ursachen sind noch nicht bis in alle Einzelheiten geklärt. Soviel kann aber bereits gesagt werden: Der Lichtausbruch einer Nova ist mit einer explosionsartig ablaufenden Vergrößerung des Sterns verbunden, die ihn für kurze Zeit zu einem Riesenstern werden läßt. Dabei lösen sich von der Sternoberfläche gasförmige Stoffe ab, die einer Nebelhülle gleichen und allmählich in den Weltraum entweichen. Der Nova-Ausbruch eines Sterns ist also mit dem Verlust von Masse verbunden.

Fotografische Aufnahmen aus der Sternenwelt zeigen, daß der Himmel an zahlreichen Stellen von mehr oder weniger hellen und dichten Nebelschleiern durchdrungen ist. Sie werden als *kosmische* oder *galaktische Nebel* bezeichnet. Am Himmel treten mehr als 1000 derartige Nebel auf. Der bekannteste unter ihnen ist der große Oriónnebel, der bereits mit bloßem Auge zu sehen ist (vgl. Abb. 8 auf S. 11!). Durchweg erscheinen die Nebel in unregelmäßigen Begrenzungen oder in Form feiner Fäden und Schleier (Abb. 47).

Ihr äußerer Anblick spricht dafür, daß es sich bei den kosmischen Nebeln um wolkenähnliche Ansammlungen von gasförmigen Stoffen handelt. Nähere Untersuchungen haben jedoch ergeben, daß mit den Gasen sehr häufig große staubförmige Massen vermischt sind, so daß man auch von *Gas-Staub-Nebeln* sprechen kann. Das Leuchten dieser Stoffe beruht nicht auf eigene Strahlung. Teilweise ist es so, daß die Staub-



wolken auftreffendes Sternlicht zurückwerfen, so daß von einem Reflexionsleuchten, ähnlich wie beim Mond und den Planeten, gesprochen werden kann. In anderen Fällen laufen in den gasförmigen Nebeln unter der Einwirkung der energiereichen Strahlung von sehr heißen Sternen, die in den Nebeln oder an ihren Rändern stehen, komplizierte Leuchtvorgänge ab, die den Eindruck vermitteln, die Nebel seien selbstleuchtend. In Wirklichkeit sind sie aber nur zum Leuchten „angeregt“ worden.

Weite Gebiete des Raumes zwischen den Sternen sind von nicht leuchtenden Staubmassen erfüllt, die das Licht der hinter ihnen stehenden

Abb. 47. Gasnebel

Sterne entweder stark schwächen oder völlig auslöschen. Vielfach sind die Staubwolken auch in enger Nachbarschaft mit hellen Nebeln anzutreffen, wie der sogenannte Pferdekopfnebel im Orion bezeugt, der als dunkle Höhlung vor einem hellen Nebelhintergrund erscheint.

### *Sternhaufen*

Als „Sternhaufen“ werden zahlreiche am Himmel hervortretende Ansammlungen von Sternen bezeichnet, die unter sich eine Zusammengehörigkeit zeigen (Abb. 48). So sind etwa 400 Sternhaufen bekannt, denen in der Regel einige hundert Sterne angehören. Als bekanntestes Beispiel seien die Plejaden (auch „Siebengestirn“) im Sternbild Stier erwähnt. Die Sterne solcher Haufenbildungen zeigen mancherlei Ähnlichkeiten, so daß sie sehr wahrscheinlich von Anfang an zusammengehört haben und deshalb als gleichaltrig anzusehen sind. Zahlreicher sind die Sterne einer kleineren Gruppe von kugelförmigen Sternhaufen, von denen etwa 100 bekannt sind. Auf fotografischen Aufnahmen zeigt sich, daß sie sehr dicht beieinander stehen. Manche Sternhaufen enthalten weit über hunderttausend Sterne, die gleichfalls auf eine gemeinsame Geschichte hindeuten. Darüber soll in einem späteren Abschnitt gesprochen werden.

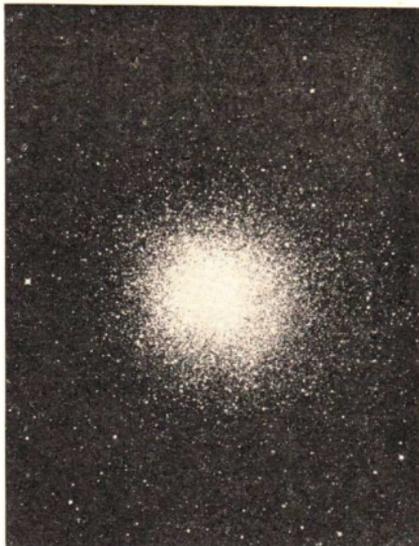


Abb. 48. Kugelsternhaufen im Sternbild Herkules

#### **Aufgaben:**

1. Wie ist es den Astronomen möglich, Schlüsse auf die Beschaffenheit der Fixsterne zu ziehen? —
2. Beschreiben Sie das Verfahren, nach dem Entfernungen im Weltraum gemessen werden! —
3. Wie lassen sich Helligkeitsschwankungen erklären?

#### **Beobachtungsaufgaben:**

1. Beobachten Sie im Abstand von einigen Stunden die Stellung des Großen Bären! Stellen Sie zeichnerisch dar, wie sich die Stellung des Sternbildes zum Nordhorizont verändert hat! Um wieviel Grad hat sich das Himmelsgewölbe in der Beobachtungszeit scheinbar gedreht? —
2. Betrachten Sie bei abnehmendem Mond an einem besonders klaren Abend den Sternhimmel! Suchen Sie an Hand einer Sternkarte (Atlas) einige Sternbilder auf! Achten Sie auf die unterschiedliche Helligkeit und Farbe der Fixsterne! Prägen Sie sich die Namen der hellsten sichtbaren Fixsterne ein!

## Das Milchstraßensystem

### *Die Milchstraße*

Neben den bisher besprochenen Gebilden fällt am gestirnten Himmel eine eindrucksvolle Erscheinung auf, die als Milchstraße bezeichnet wird. Dem bloßen Auge bietet sich die Milchstraße als ein blasser, nebelähnlicher Lichtstrom dar (Abb. 49). Sie erstreckt sich durch zahlreiche Sternbilder. Die Milchstraße ist zu jeder Jahreszeit zu sehen. Sie ändert zwar durch die Bewegungen der Erde scheinbar ihre Stellung am Himmel, doch kann sie in jeder sternklaren Nacht wahrgenommen werden.

Mit bloßem Auge sind innerhalb der Milchstraße hellere und dunklere Teile zu erkennen. Vielfach erscheint ihr Nebelstrom von dunklen Höhlen und Zwischenräumen durchdrungen, so daß ihr Gesamtbild äußerst vielgestaltig ist.

Richten wir ein größeres Fernrohr auf die Milchstraße, so löst sich ihr Lichtschleier in unzählige Sterne auf. Die Milchstraße stellt also eine gewaltige Ansammlung von Sternen dar. Auffällig ist, daß die hellen Sterne am Himmel vornehmlich in der Nähe der Milchstraße anzutreffen sind, so daß sie ihr zugehörig erscheinen. Die nähere Erforschung dieser Zusammenhänge hat das in vollem Umfange bestätigt. Auch die offenen Sternhaufen treten besonders in der Nähe der Milchstraße auf, während



Abb. 49. Milchstraße im Sternbild Cepheus

die Kugelsternhaufen zum Teil weiter von ihr entfernt sind. Desgleichen treten die hellen Nebel und die dunklen Staubwolken des Weltalls in der Nähe des Milchstraßenbandes häufiger als an anderen Stellen des Himmels auf. Es hat sich mit Sicherheit herausgestellt, daß die zahlreichen dunklen Höhlen und sternarmen Gebiete der Milchstraße durch vorgelagerte dunkle Staubwolken vorgetäuscht werden.

Diese Tatsachen haben keinen Zweifel daran gelassen, daß die Milchstraße mit ihren zahlreichen Gebilden und Erscheinungen im Weltall eine besondere Stellung einnimmt.

### *Der Aufbau des Milchstraßensystems*

Aus zahlreichen Messungen der Entfernungen von Sternen, Nebeln und Staubwolken hat sich herausgestellt, daß alle bisher dem bloßen Auge und in großen Fernrohren sichtbaren Sterne im Weltraum eine inselähnliche Zusammenballung zeigen. Die Astronomen sprechen hierbei von *Sternsystemen*. Da auch die Sterne der Milchstraße zu einem solchen Sternsystem gehören, wird die von ihnen gebildete Sterninsel als das Milchstraßensystem oder als die Galaxis (gr. = Milchstraße) bezeichnet. Zu diesem Sternsystem gehört auch die Sonne, deren Ort unter den Milchstraßensternen durch Messungen ermittelt werden konnte.



Abb. 50. Das Milchstraßensystem im Querschnitt

Weiterhin konnte festgestellt werden, daß die Milchstraße ein stark abgeplattetes Sternensystem ist, das etwa mit der Gestalt eines Diskus verglichen werden kann (Abb. 50).

Die Untersuchung des feineren Aufbaus der Milchstraßenwelt ist erst in den letzten Jahrzehnten in Angriff genommen worden und hat in unseren Tagen zu sehr beachtlichen Ergebnissen geführt. Zunächst ergab sich der große Durchmesser des Milchstraßensystems zu etwa 80000 Lichtjahren, während der kleine (senkrecht dazu stehende) Durchmesser etwa 16000 Lichtjahre beträgt. Diese äußeren Grenzen umschließen etwa 100 Milliarden Sterne. Unsere Sonne steht darin in einer Entfernung von rund 25000 Lichtjahren vom Mittelpunkt des Milchstraßensystems.

Beobachtungen von offenen Sternhaufen, hellen jungen Sternen und der 21-cm-Linie des Wasserstoffs im Bereich der kurzwelligen Radiostrahlung haben darüber hinaus ergeben, daß die Milchstraßenwelt außer ihrer Abplattung noch eine spiralförmige Struktur aufweist. Aus der Kernregion der Milchstraße treten mehrere Spiralarme aus, die sich um das Zentrum herumlegen und aus Sternen, Gas und Staub zusammengesetzt sind (Abb. 51).



Abb. 51. Spiralform des Milchstraßensystems

lauf um den Mittelpunkt der Milchstraße. Die dabei von der Sonne entwickelte Umlaufgeschwindigkeit beträgt  $268 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### *Die Rotation des Milchstraßensystems*

Die Spiralform des Milchstraßensystems deutet bereits darauf hin, daß sich in ihr Bewegungen vollziehen. Das Studium der Bewegungen der Sterne hat dieses Bild uneingeschränkt gefestigt, so daß wir über die Rotation der Milchstraße sehr gut unterrichtet sind. Die Drehung der Milchstraße um ihren Mittelpunkt vollzieht sich in einem Zeitraum von 230 Millionen Jahren. In dieser Zeit vollführt auch unsere Sonne einen Um-

## Ferne Milchstraßensysteme

### *Die Spiralnebel*

Das Milchstraßensystem ist nach unseren heutigen Kenntnissen nicht das einzige Sternsystem des Weltalls. Die Riesenteleskope unserer Zeit haben unzählige andere Sternsysteme sichtbar gemacht, die spiralförmig, kugelförmig oder unregelmäßig gestaltet sind. Wegen ihres äußeren Bildes im Fernrohr hat man die spiralförmigen Gebilde in der Vergangenheit durchweg als Spiralnebel bezeichnet. Ursprünglich waren die Astronomen sogar der Meinung, daß alle Spiralnebel zum Sternsystem der Milchstraße gehörten. Doch vom Jahre 1924 an gelang es, einige jener Gebilde durch lange belichtete fotografische Aufnahmen an großen Fernrohren in einzelne Sterne aufzulösen. Damit wurde der Nebelcharakter widerlegt und ihre Stellung im Weltall in dem Sinne entschieden, daß es sich hier nur um ferne Sternsysteme handeln kann.

Bald wurden in jenen Sternsystemen, die in der Sprache der Astronomen als Galaxien bezeichnet werden, kugelförmige und offene Sternhaufen, Gas- und Staubnebel, Veränderliche Sterne und Novae entdeckt. Es bestehen daher keine Zweifel mehr, daß die Galaxien der Milchstraße gleichzustellen sind.

Mit Hilfe der Riesenteleskope sind am gesamten Himmel zahlreiche Galaxien aufgefunden worden. Sie erreichen an manchen Stellen des Firmaments so starke Häufungen, daß auf eine Fläche von der Größe der Vollmondscheibe etwa 400 Galaxien entfallen. Würde man die ganze Himmelsfläche fotografisch aufnehmen, so würden sich etwa 100 Millionen ferner Sternsysteme sichtbar machen lassen.

In ihren Größenverhältnissen zeigen die Galaxien starke Unterschiede. Zwar ist es sehr schwierig, ihre äußeren Grenzen mit völliger Sicherheit aufzunehmen, doch kann allgemein als sicher angenommen werden, daß es Zwerg- und Riesengalaxien gibt. Die Durchmesser schwanken zwischen 6000 und 150000 Lichtjahren. Das bedeutet, daß die Milchstraße nicht das größte Sternsystem ist. In der Regel gehören die spiralförmigen Galaxien zu den größeren, der Milchstraße verwandten Systemen. Die Zwerggalaxien sind vielfach elliptisch oder kugelähnlich gestaltet.

Die Rotation der Galaxien läuft in gleicher Weise wie im Milchstraßensystem ab. Desgleichen hat sich gezeigt, daß auch die Verteilung und Anordnung der Sterne innerhalb der Spiralwindungen mit den in der Milchstraße gefundenen Verhältnissen übereinstimmt. Allerdings stellen ihre Entfernungen an das menschliche Vorstellungsvermögen größte Anforderungen. Die der Milchstraße unmittelbar benachbarten Systeme sind ungefähr 160000 Lichtjahre von uns entfernt. Die fernsten, in unseren größten Teleskopen noch sichtbaren Galaxien liegen in kosmischen Weiten von 2 bis 3 Milliarden Lichtjahren.

#### *Benachbarte Milchstraßen*

Bei den der Milchstraße benachbarten Systemen mit den geringsten Entfernungen handelt es sich um zwei wolkenähnliche Gebilde, die am Südhimmel mit bloßem Auge sichtbar sind. Nach ihrem Entdecker hat man sie als *Magellansche Wolken* bezeichnet (Abb. 52). Sie zeichnen sich durch einen großen Reichtum an Sternen, Nebeln und Veränderlichen Sternen aus. Obwohl diese Wolken äußerlich unregelmäßig begrenzt erscheinen, haben neuere Untersuchungen der von ihnen ausgehenden Radiostrahlung Andeutungen einer Spiralstruktur ergeben. Sie scheinen auch zu rotieren, so daß sie für selbständige Sternsysteme gehalten werden müssen.

Ähnliche Erscheinungen finden wir auch beim sogenannten *Andromedanebel*, der deutliche Spiralwin-

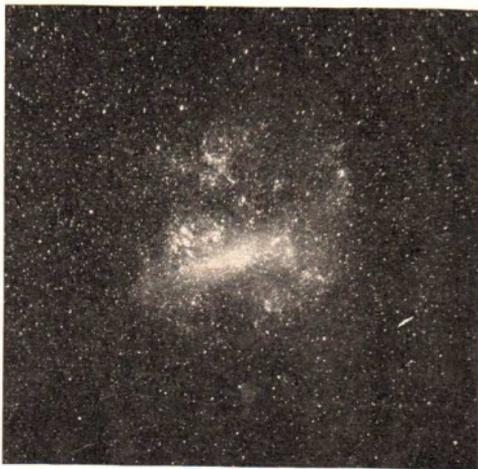


Abb. 52. Große Magellansche Wolke am Südhimmel

dungen zeigt (vgl. Abb. 53 auf S. 79). Für den Beobachter auf der Erde besitzt er aber eine so starke Neigung, daß seine voll ausgeprägte Spirale nicht gesehen werden kann. Infolgedessen erscheint er elliptisch. Er läßt sich heute mühelos in einzelne Sterne auflösen. Seine Entfernung beträgt mindestens 2 Millionen Lichtjahre. Ebenso übertreffen seine räumlichen Ausmaße die Größenverhältnisse der Milchstraße, so daß dieses Sternsystem bereits zu den Riesengebilden gehört.

Außerdem macht der Andromedanebel, der den Zusatz „Nebel“ fälschlicherweise führt, deutlich, daß die spiralförmigen Galaxien stark abgeplattet sind, so daß sie von der Kante her wie eine feine Spindel erscheinen.

Insgesamt haben sich in der Umgebung der Milchstraße bisher 15 Sternsysteme nachweisen lassen, die eine kleine Gruppe bilden, zu der aber noch weitere nahe Galaxien gehören dürften. Man hat diese Nachbarn der Milchstraße als „lokale Gruppe“ von Sternsystemen bezeichnet, unter denen die fernsten Gebilde etwa dem Abstand des Andromedanebels entsprechen. Ähnliche Anhäufungen zeigen sich auch in großen kosmischen Entfernungen, wo sich die Galaxien zu förmlichen Haufen zusammenballen.

### *Das Weltall ist unendlich*

Die ungeheuren Entfernungen, die uns bei den Galaxien entgegentreten, lassen erkennen, daß die moderne Astronomie den Menschen in unvorstellbare Weiten des Weltalls hinausgeführt hat. In dieser Welt stellen die Galaxien die größeren Bausteine dar. Sie bauen das Weltall auf, und sie sind in diesem Weltall auch entstanden. Vielfach läßt sich nachweisen, daß einzelne Galaxien durch einen feinen Schweif kosmischer Massen brückenähnlich miteinander verbunden sind. Sie haben offenbar von Anfang an zusammengehört und sind somit keine unabhängig voneinander existierenden kosmischen Gebilde.

Aus all diesen Forschungsergebnissen ist eindeutig abzuleiten, daß die Welt für den Menschen erkennbar ist, daß sie überall aus den gleichen Stoffen aufgebaut ist und daher ein einheitliches Ganzes bildet, in dem überall die gleichen Gesetzmäßigkeiten gelten.

Eine verständliche Frage ist es aber, ob das Weltall Grenzen hat. Je größer die Fernrohre sind, die den Astronomen zur Verfügung stehen, desto tiefer kann ihr Blick in das Weltall hinausgehen. Immer größere Fernen sind durch neue Riesenfernrohre erkennbar geworden, doch niemals zeigte sich den Astronomen etwas anderes, als sie schon in der kosmischen Nachbarschaft der Milchstraße kennengelernt hatten: immer nur fernere Galaxien. Das Weltall hat keine Grenzen; es ist unendlich in Zeit und Raum! In dieser Unendlichkeit laufen aber endliche, also zeitlich begrenzte Vorgänge ab. In ihnen spiegelt sich die Geschichte des Weltalls wider.

#### **Aufgaben:**

1. Wie ist nach dem heutigen Stand der Kenntnisse das Milchstraßensystem aufgebaut? —
2. Wieso sind Spiralnebel ein Beweis dafür, daß unser wissenschaftliches Weltbild richtig ist?

#### **Beobachtungsaufgaben:**

1. Beobachten Sie den Verlauf der Milchstraße am Sternhimmel! Welchen Anblick bietet die Milchstraße im Feldstecher? Wie verteilen sich die hellen Sterne am Himmel auf die Milchstraße? —
2. Suchen Sie mit Hilfe einer Sternkarte (Atlas) den Andromedanebel auf und betrachten Sie ihn durch den Feldstecher!

## *Grundzüge der kosmischen Entwicklung*

Wir haben bisher erkannt: Das Weltall ist seiner Natur nach materiell. Es baut sich aus verschiedenartig gestalteten Sternsystemen auf, die sich aus Sternhaufen, Sterngruppen, Doppel- und Mehrfachsternen, Einzelsternen sowie aus gas- und staubförmigen Massen zusammensetzen. Alle genannten Formen bestehen aus Atomen und Molekülen, über deren Verhalten unter den verschiedensten Zustandsformen, wie z. B. Druck und Temperatur, die Atomphysik versucht, Aufschluß zu geben.

Grundsätzlich können wir ferner feststellen, daß alle Vorgänge im Weltall gesetzmäßig bedingt sind. Die Welt, zu der auch Sonne und Erde gehören, ist für den Menschen erkennbar. Das bedeutet nicht, daß wir über alle Einzelheiten des Universums bereits ausreichend unterrichtet wären. Wir dürfen aber sagen, daß die astronomische Forschung in geduldiger Arbeit immer tiefer in das Weltall eindringt. Mit immer leistungsfähigeren Instrumenten gelingt es ihr, immer weitere Teile des Weltalls der Forschung zu erschließen. Durch neue Untersuchungsmethoden vermehrt sie aber auch unser Wissen von Vorgängen und Erscheinungen, die räumlich der Umgebung der Erde, der Sonne und den Fixsternen angehören. Auf diese Weise wird die Astronomie schließlich auch solche Fragen lösen, auf die uns heute noch eindeutige Antworten fehlen.

Der Mensch möchte aber nicht nur wissen, wie sich das Weltall aufbaut, sondern ihn interessiert im besonderen auch die Geschichte des Universums.

Die moderne Astronomie hat zahlreiche Beweise dafür erbringen können, daß innerhalb der Sternwelt *Entwicklungsvorgänge* ablaufen. Derartige Prozesse bestimmten die Ereignisse im Weltall sowohl in der Vergangenheit, wie sie es ebenfalls in der Zukunft tun werden.

Im allgemeinen gehen die Veränderungen im Weltall zumeist sehr langsam vor sich. Die Dauer des menschlichen Lebens ist in der Regel viel zu kurz, um wesentliche Merkmale der Entwicklung eines einzelnen Sterns oder Sternsystems unmittelbar wahrzunehmen. Die Wissenschaft kann aber dadurch, daß sie zahlreiche kosmische Gebilde in unterschiedlichen Entwicklungsstadien im Raume nebeneinander beobachtet, den allgemeinen Verlauf der Entwicklung weitgehend zur Darstellung bringen. Sie bedient sich dabei besonderer Hypothesen und Theorien, die nicht immer sogleich zu endgültigen Erkenntnissen führen und deshalb von Zeit zu Zeit neueren Forschungen angepaßt werden müssen. Auf diese Weise gelingt es aber, von der Entwicklung im Weltall bestimmte Vorstellungen zu gewinnen, die sich der Wahrheit allmählich immer mehr nähern werden.

Was wir im Weltall als Entwicklung bezeichnen, ist im Grunde der ständige Wandel des Zustandes der Materie. Ihre Erscheinungsformen sind ungemein vielgestaltig. Die Materie ist ewig und in ihren Grundformen unzerstörbar. Sie ist infolgedessen auch nicht entstanden und ebensowenig aus dem Nichts hervorgegangen, sondern sie war immer gegenwärtig. Lediglich ihr äußeres Bild, die Form ihres Zustandes, unterlag

vielfältigen Veränderungen. Wie die Materie, so ist auch das Weltall als Ganzes ewig und nicht, wie die Religionen behaupten, von einem Schöpfer „geschaffen“ worden.

Ein Grundzug aller Vorgänge im Weltall ist die *Bewegung*. Wir finden die Sterne und Planeten im Zustand ständiger Ruhelosigkeit; sie folgen entsprechend den Naturgesetzen bestimmten Bahnen. In Bewegung sind ferner die Stoffe zwischen den Sternen. Die Bewegung ist die Daseinsweise der Materie. Bewegung ist selbst den einfachsten Formen der Materie eigentümlich. Sie bestimmt daher im Zusammenwirken mit anderen Naturgesetzen auch die Grundzüge der kosmischen Entwicklung.

Die Gesetzmäßigkeiten innerhalb der Entwicklungsprozesse im Weltall bedeuten allerdings nicht, daß alle Vorgänge nach einem bestimmten oder einheitlichen Schema ablaufen und immer zu dem gleichen Ergebnis führen. Zwar wird sich aus dem Zusammenwirken von Gravitation und Rotation immer ein nahezu kugelförmiger Weltkörper ergeben, doch hinsichtlich des inneren Aufbaues und der Ausgangsmassen der Sterne sind, wie noch zu zeigen sein wird, sehr wohl erhebliche Unterschiede vorhanden. Das gilt auch für die Sternsysteme oder Galaxien, die spiralförmig, kugelhähnlich oder unregelmäßig gestaltet auftreten, aber darüber hinaus auch innerhalb jeder Gruppe zum Teil ganz erhebliche Unterschiede erkennen lassen. Diese Verschiedenartigkeit der äußeren Formen ist nicht immer ein allgemeiner Ausdruck für verschiedene Entwicklungs- oder Altersstufen, sondern zumeist ein Kennzeichen für einen anders verlaufenden Entwicklungsgang. Maßgebend dabei sind jeweils die Anfangszustände der betreffenden Gebilde, und zwar im wesentlichen die Gesamtmasse, die sich zu einem Urgebilde vereinigte und dadurch den weiteren Entwicklungsablauf bestimmte.

Zum Verständnis dieser schwierigen Zusammenhänge haben die Astronomen der Sowjetunion und anderer Länder besonders in den letzten Jahren viele neue Beiträge geliefert. Vor allem kommt es darauf an, die Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung im Weltall in ihrem dialektischen Zusammenhang zu erkennen. Alle bisher gewonnenen Forschungsergebnisse der Astronomie bestätigen dabei die Auffassungen des dialektischen Materialismus.

*Friedrich Engels* hat den Zusammenhang zwischen Natur und Dialektik einmal wie folgt charakterisiert:

Die Dialektik erfaßt „die Dinge und ihre begrifflichen Abbilder wesentlich in ihrem Zusammenhang, ihrer Verkettung, ihrer Bewegung, ihrem Entstehen und Vergehen“. „Die Natur ist die Probe auf die Dialektik, und wir müssen es der modernen Naturwissenschaft nachsagen, daß sie für diese Probe ein äußerst reichliches, sich täglich häufendes Material geliefert und damit bewiesen hat, daß es in der Natur, in letzter Instanz, dialektisch ...“ zugeht.

Über das Alter der Galaxien, Sterne und der Erde lassen sich heute nur relativ verlässliche Angaben machen. Hinweise auf das Alter des Milchstraßensystems bieten neben anderen Merkmalen die Sternhaufen, die sich aus etwa gleichaltrigen, also nahezu gleichzeitig entstandenen Sternen aufbauen. Bestimmte physikalische Eigenschaften dieser Sterne gestatten die Berechnung ihres Alters. Auf diese Weise hat sich ergeben, daß die ältesten Kugelsternhaufen etwa 10 Milliarden Jahre alt sind. Das bedeutet gleichzeitig, daß sich innerhalb des Milchstraßensystems Sterne dieses Alters befinden und unser System wahrscheinlich seit mindestens 10 Milliarden Jahren existiert.

Zu ähnlichen Ergebnissen haben auch die Untersuchungen über das Alter zahlreicher anderer Sterne und der Sonne geführt.

Wir können uns nämlich bei den meisten Sternen eine Vorstellung von ihrem Strahlungshaushalt machen. Das heißt, wir können ungefähr angeben, welche Strahlungsmengen ein Stern ständig an den Weltraum abgibt. Da alle Strahlungsvorgänge mit dem Verbrauch oder Verlust von Energie verbunden sind, läßt sich annähernd berechnen, wie lange ein Stern einen einmal erreichten Zustand seiner Ausstrahlung aufrechterhalten kann. Zu solchen Rechnungen ist allerdings die Kenntnis der Masse eines Sterns erforderlich. Aus bekannter Masse und Ausstrahlung läßt sich berechnen, wie lange ein Stern einerseits noch bestehen kann, und zum anderen, wie lange er schon die gleiche Strahlung aussendet.

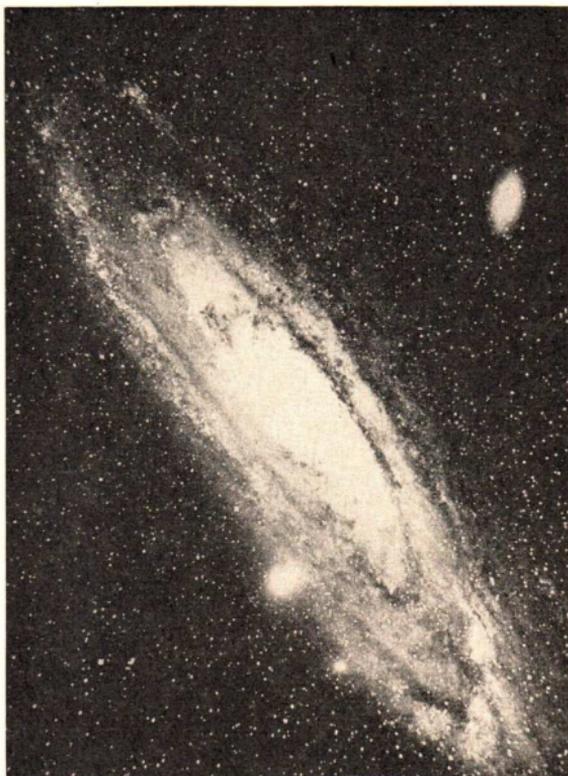


Abb. 53. Der Andromedanebel



Abb. 54. Milchstraße im Sternbild Schwan (links der Nordamerikanebel)

Aus den diesbezüglichen Berechnungen der Astronomen hat sich ergeben, daß zahlreiche Sterne ein Alter von einigen Milliarden Jahren haben. Die ältesten Sterne unseres Milchstraßensystems sind, wie schon gesagt, etwa 10 Milliarden Jahre alt. Daneben gibt es aber auch zahllose junge Sterne, deren Alter zwischen 10 Millionen und einigen hundert Millionen Jahren schwankt. Die Entwicklung dieser Sterne hat also erst begonnen, als die Erde längst existierte und an ihrer Oberfläche bereits so weit abgekühlt und gestaltet war, daß sich das Leben entwickeln konnte.

Ohne Zweifel gibt es daneben noch jüngere Sterne als diese; denn auch heute noch bilden sich Sterne. Unsere Sonne dagegen besitzt bereits ein Alter, das nach neuesten Forschungen mindestens 5 Milliarden oder noch mehr Jahre beträgt. Sie gehört somit zu den älteren Sternen, wenn auch nicht zu den ältesten. Sie ist also zu einer Zeit entstanden, als es ringsum im Sternsystem der Milchstraße bereits zahlreiche andere Sterne oder Sonnen gab.

Wie aber steht es mit dem Alter der Erde? Den Schlüssel dazu hat die Wissenschaft im Verhalten verschiedener Elemente gefunden, die das Bestreben haben, von selbst zu zerfallen und dabei in andere Elemente überzugehen (Radioaktivität). So entsteht beispielsweise aus dem Zerfall von Uran ein Isotop des Bleis. Da die einzelnen Halbwertszeiten dieser Zerfallsreihe bekannt sind, kann man den Zeitraum berechnen, der in einer bestimmten Menge Uran zur Ablagerung einer bestimmten Bleimenge geführt

hat. Aus solchen Untersuchungen hat sich schließlich das Gesamtalter der Erde ergeben, das wie das der Sonne bei etwa 5 Milliarden Jahren liegt. Sonne und Erde sind also nahezu gleichaltrig.

## Die Entwicklung kosmischer Systeme

### *Die Entstehung der Galaxien*

Der Entwicklung der Sterne ist die Bildung von Frühstadien der Sternsysteme oder Galaxien vorangegangen. Man nimmt an, daß ein solches Frühstadium die Verdichtung diffuser kosmischer Massen darstellt. Bedingt durch Bewegungsvorgänge entstanden wahrscheinlich innerhalb jener Massen allmählich ausgedehntere und kleinere Verdichtungen. Sie besaßen Ausdehnungen zwischen 10000 und 100000 Lichtjahren. Unter dem Einfluß der Gravitation werden die anfangs recht ungeordnet verlaufenden Bewegungen innerhalb der entstandenen Verdichtungen sehr bald eine bestimmte Richtung angenommen haben, so daß sie sich zu drehen und in kugelhähnliche Formen überzugehen begannen. Mit ansteigender Drehgeschwindigkeit platteten sich die gewaltigen Kugeln schließlich ab, so daß aus ihnen sehr flache Gebilde hervorgingen.

Es ist möglich, daß schon während dieser Vorgänge innerhalb der sich bildenden Systeme örtliche Verdichtungen auftraten. Dort werden die ersten Sterne entstanden sein, die ja ihrerseits aus verdichteten Gasmassen bestehen. Im Zusammenhang damit hat sich vielleicht auch teilweise der kosmische Staub entwickelt, der den Raum zwischen den Sternen überall durchdringt. Wahrscheinlich ist aber auch, daß die Sterne nicht einzeln entstanden, sondern sich immer in Gruppen bildeten.

Die ersten Sterngruppen des Milchstraßensystems waren, wie schon erwähnt, die Kugelsternhaufen. Von ihnen nehmen wir an, daß ihre Sterne gleichaltrig sind und infolgedessen auch gemeinsam entstanden sind. Weiter kann von ihnen gesagt werden, daß sie sich bereits bildeten, als sich die gewaltige Urkugel des Milchstraßensystems noch nicht abgeplattet hatte. Dies dürfte der eigentliche Grund dafür sein, daß die Kugelsternhaufen weit außerhalb der flachen Mittelregion des Milchstraßensystems auftreten. Sie sind also in jener Anordnung verblieben, in der sie einst entstanden sind und haben die später vor sich gehende Abflachung des gesamten Sternsystems nicht mitgemacht.

In anderen, der Milchstraße benachbarten Gebilden nahm die Entwicklung aller Wahrscheinlichkeit nach einen ähnlichen Verlauf.

Von den großen Systemen, zu denen die Milchstraße und der Andromedanebel gehören, kann gesagt werden, daß sie ihre Spiralstruktur einer weiteren Entwicklung ihrer stark abgeplatteten Systeme verdanken (Abb. 55). Eine solche Entwicklung läßt sich aber sicherlich nicht verallgemeinern; denn wir kennen zahlreiche andere Sternsysteme, die kugelhähnlich, linsenförmig oder gar unregelmäßig gestaltet sind, ohne daß

eine Spiralform erkennbar wäre. Hier sehen sich die Astronomen noch vielen ungelösten Problemen gegenüber. Aber soviel kann doch schon gesagt werden: Die Sterne sind das Ergebnis von Verdichtungen gas- und staubförmiger Massen innerhalb der Galaxien. Es ist nicht anzunehmen, daß sich die Sterne gesondert, also außerhalb einer Galaxie, gebildet und dann erst zu Systemen vereinigt hätten. Ihre Entwicklung wird vielmehr der zweite Schritt in der kosmischen Entwicklungsgeschichte sein, wenn wir die Bildung der Sternsysteme oder Galaxien an den Anfang stellen und in ihnen den ersten Schritt sehen.

#### *Entstehung und Entwicklung der Fixsterne*

Nach der Hypothese des sowjetischen Astronomen *Ambarzumjan* bilden sich die Fixsterne innerhalb der Galaxien gruppenweise. Dabei bezeichnet man Sterngruppen, die auf eine gemeinsame Entstehungsgeschichte hinweisen, als *Assoziationen*.

Bei den Sternen ist ein Entstehungs- und ein Entwicklungsprozeß zu unterscheiden. Ihre Entstehung vollzieht sich innerhalb der kosmischen Massen in Form von Verdichtungen, wobei die verdichtete Masse unter der Einwirkung der Gravitation Kugel-

gestalt annimmt. Grundsätzlich kann ein Stern mit einer kleinen, mittleren und großen Masse entstehen. Allerdings wird der Umfang der in ihm vereinigten Masse immer die weitere Entwicklung bestimmen. Denn je größer die Anfangsmasse ist, um so mächtiger wird sich später der Strahlungsprozeß des betreffenden Sterns entwickeln. Andererseits wird eine kleine Sternmasse auf Grund ihres geringen Energiegehaltes ihren Entwicklungsgang langsam durchmessen, da ihre Leuchtkraft ebenfalls sehr gering ist.

Die sich zu einem Stern oder einer Assoziation verdichtenden kosmischen Massen nehmen



Abb. 55. Spiralsystem im Sternbild Dreieck

infolge des ansteigenden Druckes eine immer höhere Temperatur an. Mit der voranschreitenden Verdichtung leitet sich somit die eigentliche Entwicklungsgeschichte eines Sternes ein, bis er schließlich infolge der weiter ansteigenden Temperaturen Licht aussendet und als roter Stern sichtbar zu werden beginnt.

Es hat sich aber ferner gezeigt, daß die weitere Entwicklung der Sterne recht kompliziert verläuft. Selbst bis in die neueste Zeit hinein glaubte die Wissenschaft, den Ablauf der Sternentwicklung so deuten und veranschaulichen zu können, daß am Anfang der Sternentwicklung immer ein sogenannter roter Riesenstern steht, der sich zunehmend verdichtet und in seinem weiteren Dasein einen großen Teil seiner Energie verbraucht. Er sollte dann zu einem gelblichen oder sonnenähnlichen Stern werden und schließlich in das Stadium eines roten Zwergsterns übergehen. Die Entwicklung der Atomphysik hat heute zu anderen Vorstellungen geführt, die wir hier jedoch nur kurz skizzieren können.

Das Anfangsstadium eines Sterns ist, wie oben gesagt, durch eine voranschreitende Kontraktion seiner Masse gekennzeichnet. Infolge der Kontraktion steigt die Temperatur, die für jeden Stern stark verschieden sein kann, an. Die sich dabei immer mehr verringende Oberfläche verändert die Leuchtkraft eines solchen Sterns kaum. Erst wenn das Innere eines Sterns eine Temperatur von etwa 20000000 °C erreicht hat, beginnt für ihn ein anderer Lebensabschnitt. Jetzt läuft nämlich der schon erwähnte physikalische Prozeß an, in dessen Verlauf sich aus Wasserstoff das Helium zu bilden beginnt. Voraussetzung dazu ist also eine bestimmte Mindesttemperatur. Bei diesem Prozeß werden ständig ungeheure Energien frei, die den Strahlungshaushalt der Sterne für viele Milliarden von Jahren zu decken vermögen. Wenn sich dann der Wasserstoff nach einer langen Entwicklungszeit in Helium verwandelt hat, setzt innerhalb des Kerns der Sterne eine weitere Kontraktion ein, wobei die Temperaturen im Sterninneren wiederum ständig ansteigen. Durch diese Kontraktion wird zusätzlich Energie frei, die nach außen wirkt und dadurch den Stern von innen her aufzublähen beginnt. Damit vollzieht der Stern den Übergang in das sogenannte Riesenstadium. Wenn dabei die Temperaturen im Sterninnern Werte von etwa 200000000 °C erreicht haben, beginnen neue kernphysikalische Vorgänge einzusetzen. Aus dem Helium bauen sich weitere und schwerere Elemente, zumeist Kohlenstoff, auf, was zur Folge hat, daß der Riesenstern nun wieder zusammensinken beginnt. Möglicherweise beginnt im Zusammenhang damit sein Licht zu schwanken, so daß er zu einem Veränderlichen Stern wird. Das bedeutet, daß die zahlreichen Veränderlichen Sterne Durchgangszustände der Sternentwicklung darstellen. In der weiteren Entwicklung stellen sich neue Prozesse ein, die zu erheblichen Verlusten an Masse führen. Bei einem Teil der Sterne werden die Massenverluste durch Nova-Ausbrüche verursacht, wobei gasförmige Stoffe in den Weltraum entweichen. Wahrscheinlich steht am Ende der Sternentwicklung ein sogenannter Weißer Zwergstern, der sich durch geringe Leuchtdichte (etwa  $\frac{1}{1000}$  der Leuchtdichte der Sonne), einen kleinen Radius (etwa  $\frac{1}{50}$  des Sonnenradius) und eine sehr große Dichte (100000- bis 1000000 fache Sonnendichte) auszeichnet.



Abb. 56. Spiralförmiges Sternsystem im Sternbild Jagdhunde

Über die Entwicklungsgeschichte des Planetensystems sind zahlreiche Hypothesen aufgestellt worden. Es gilt aber als sicher, daß die Entstehung der Planeten von der Geschichte der Sonne nicht getrennt werden kann; denn die Sonne bildet ja den Mittelpunkt der Planetenfamilie. Ihre Zusammensetzung ist mit der stofflichen Beschaffenheit der Planeten weitgehend gleichartig. Außerdem wissen wir, daß Sonne und Erde nahezu gleichaltrig sind. Daraus läßt sich schließen, daß Sonne und Planeten eine gemeinsame Entstehungsgeschichte haben.

Für die Sonne gilt, was über die Entwicklung der Sterne gesagt worden ist. Eine Frage ist es jedoch, ob die Planeten im Laufe ihrer eigenen Entwicklung einmal selbstleuchtende Körper gewesen sind. Bei ihren geringen Massen

kann ein solcher Zustand nur kurze Zeit bestanden haben. Die weitere Entwicklung ergab bei der Erde durch die voranschreitende Abkühlung zunächst einen glutflüssigen Oberflächenzustand, aus dem schließlich die erstarrte feste Erdkruste hervorging.

Über den Beginn der Entwicklung der Erde und der übrigen Planeten gibt es noch keine einheitliche Auffassung. Manche Forscher haben die Meinung vertreten, die Planeten seien von der Sonne abgeschleudert worden. Andere sind der Meinung, die Sonne habe sich bei ihrer Bewegung durch das Milchstraßensystem staub- und gasförmige Stoffe angegliedert, aus denen sich später die Entwicklung der Planeten vollzogen habe. Damit steht aber die Gleichaltrigkeit von Sonne und Erde im Widerspruch. Es ist deshalb im hohen Maße wahrscheinlich, daß sich die Sonne und die Planeten gemeinsam und gleichzeitig aus einer ursprünglich großen Staub- und Gaswolke gebildet haben.

Diese Sonnenwolke besaß am Anfang bereits eine bestimmte Drehung. Sie plattete sich allmählich ab und nahm dabei eine linsenähnliche Form an. Die innere Region dieses Staub- und Gasgebildes wurde dabei zur Sonne, während die äußeren Zonen zerfielen und schließlich in größere und kleinere Einzelteile übergingen, aus denen sich die weitgehend selbständige Entwicklung der Planeten zu vollziehen begann. Die

Planeten verdichteten sich, und zwar um so schneller, je kleiner ihre Masse war. Das hatte zur Folge, daß sich bei den massearmen und dabei der Erde weitgehend verwandten Planeten (Merkur, Venus, Mars und Pluto) verhältnismäßig rasch eine feste Oberfläche bildete, während bei den großen Planeten (Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun) eine langsamere Prozeß vor sich ging.

Bei den inneren Planeten von Merkur bis Mars bildeten die schwersten Stoffe den Kern der Kugel, der wahrscheinlich aus Metallen besteht. Die leichteren Stoffe verblieben in der äußeren Hülle und setzten bei den erdähnlichen Planeten den Gesteinsmantel zusammen, der den Kern umschließt.

Für die Erde lassen sich über den Gang der Entwicklung von ihrer Entstehung an bis zur Erdneuzeit einige genauere Angaben machen, die wir den Forschungen der Geologen verdanken.

Ganz allgemein können wir aber sagen, daß das Planetensystem der Sonne im Weltall keine Sonderstellung einnimmt, sondern daß bei vielen anderen Sternen ähnliche Planetensysteme als wahrscheinlich gelten. Man schätzt, daß es im Milchstraßensystem etwa 10 Milliarden Planetensysteme gibt. Jeder zehnte Fixstern würde demnach von Planeten umgeben sein. Unter diesen Planeten werden sich zahlreiche der Erde verwandte Planeten befinden, die auch Leben tragen. Insgesamt mögen innerhalb unseres Milchstraßensystems etwa 10 Millionen erdähnliche Planeten existieren.

Alle diese Planeten haben eine eigene Entwicklungsgeschichte. Sie sind von vornherein Körper mit geringen Massen, die ihre Entwicklung viel schneller durchlaufen als ihre Sonnen, da sie sich schneller abkühlen und sich dadurch vom physikalischen Zustand der Fixsterne unterscheiden.

### *Die Erdzeitalter*

Die Geologie teilt die Entwicklungsgeschichte der Erde in fünf große Abschnitte ein, die als *Erdzeitalter* bezeichnet werden. Den längsten Abschnitt dieser Entwicklungszeiten beansprucht die *Erdurzeit* (Azoikum). Für sie wird eine Dauer von rund 3 Milliarden Jahren angenommen. Während dieser Zeit waren bereits Anfänge einer atmosphärischen Hülle der Erde vorhanden, die in späteren Zeiten eine vielfältige Entwicklung durchlaufen hat. Die Erdurzeit endete mit der Bildung einer festen Erdkruste, so daß damit das planetarische Zeitalter begann, das die Geologen mit der *Erdfrühzeit* (Proterozoikum) einsetzen lassen. Diese Zeit ist durch die Bildung der ersten Gebirge und durch den beginnenden Kreislauf des Wassers gekennzeichnet. Gleichzeitig lassen sich die ersten Spuren des Lebens auf der Erde nachweisen. Die Erdfrühzeit begann vor rund 2 Milliarden Jahren und endete vor rund 540 Millionen Jahren.

In dem sich anschließenden *Erdaltertum* (Paläozoikum), das vor rund 240 Millionen Jahren zu Ende ging, bildeten sich neben vielen anderen Einzelheiten der Erdoberfläche die großen Weltmeere, während das Leben mit einer großen Vielfältigkeit auftrat.

Die höher entwickelten Lebensformen, unter ihnen die Säugetiere, erschienen jedoch erst im *Erdmittelalter* (Mesozoikum). In dieser Zeit erreichten die Meere der Erde ihre größte Ausdehnung. Weite Gebiete der festen Erdoberfläche versanken im Meere, während andererseits die Auffaltung der heutigen ausgedehnten Hochgebirge der Erde (Alpen, asiatische Faltengebirge, Kordilleren) einsetzte.

Als Beginn der *Erdneuzeit* (Känozoikum) wird die Zeit vor 60 Millionen Jahren angenommen. In dieser Zeit setzte sich die Bildung von Faltengebirgen fort. Der Vulkanismus trat in den ersten Epochen verstärkt in Erscheinung. Das Meer zog sich zurück, während in einem warmen, erst allmählich sich abkühlenden Klima ausgedehnte Sumpfwälder entstanden, aus denen schließlich die mächtigen Braunkohlenflöze hervorgingen, die wir heute abbauen. Die voranschreitende Abkühlung der Erdoberfläche führte zu starker Niederschlagsbildung; das Klima wurde weiterhin ungünstig beeinflusst, so daß weite Gebiete der Erdoberfläche unter Eismassen gerieten, die zur Entstehung der *Eiszeiten* führten.

In der Erdneuzeit, die bis in die Gegenwart hinein reicht, entwickelten sich die heutigen Oberflächenformen der Erde. Der Mensch hat ihre letzte Phase, das *Eiszeitalter*, die vor 600 000 bis eine Million Jahren einsetzte, bereits miterlebt.

Der Ablauf dieser langen Entwicklungsgeschichte der Erde und des Lebens ist eindeutig *natürlich* zu erklären. Es hat keine Eingriffe und Einwirkungen übernatürlicher Wesen in die Geschichte der Erde und des Weltalls gegeben. Alles das, was wir heute als Werden und Vergehen in der Welt erkennen, beruht auf dem ewigen Wechsel der Erscheinungen, auf dem stetigen Wandel der Zustands- und Erscheinungsformen der Materie, die gesetzmäßig bedingt sind.

Wir kennen noch nicht alle Einzelheiten, die zur Ausbildung der im Weltall heute auftretenden vielgestaltigen Formen der kosmischen Massen geführt haben. Eines aber ist sicher: Die gesamte Sternwelt, zu der auch unsere Erde und damit auch der Mensch gehört, ist das Ergebnis von weiträumigen Entwicklungen, die sich über viele Milliarden Jahre erstrecken. Diese Entwicklung schreitet auch heute noch voran. Der Mensch wird die damit verbundenen Vorgänge und die ihnen zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten immer tiefer durchdringen. Er wird sie um so mehr verstehen lernen, je mehr er sich von Irrtümern frei macht, den materiellen Charakter der Welt erkennt und die materialistische Weltanschauung konsequent zur Grundlage seiner Forschungen macht.

## Anhang

## Die hellsten Fixsterne

Name des Sterns	Sternbild	Größenklasse (Helligkeit)	Parallaxe in Bogen- sekunden	Entfernung in Lichtjahren	Leuchtdichte (Sonne = 1)
Sirius	Gr. Hund	-1,58 <sup>1</sup>	0,377	8,6	23
Alpha ( $\alpha$ )- Centauri <sup>2</sup>	Centaur	0,06	0,756	4,3	1,3
Wega	Leier	0,14	0,121	27	47
Beteigeuze <sup>3</sup>	Orion	0,1 - 1,2	0,011	300	3500
Kapella	Fuhrmann	0,21	0,071	46	127
Arktus	Bootes	0,24	0,087	38	82
Rigel	Orion	0,34	0,006	540	16000
Prokyon	Kl. Hund	0,48	0,291	11,2	5,8
Achernar	Eridanus	0,60	0,045	72	220
Beta ( $\beta$ )- Centauri	Centaur	0,86	0,017	190	1200
Atair	Adler	0,89	0,205	15,9	8,2
Aldebaran	Stier	1,06	0,051	46	113
Spika	Jungfrau	1,21	0,017	190	880
Pollux	Zwillinge	1,21	0,098	33	26
Antares <sup>2</sup>	Skorpion	1,22	0,014	230	9100
Fomalhaut	Südl. Fisch	1,29	0,145	22	11,4
Deneb	Schwan	1,33	0,005	650	9100
Regulus	Löwe	1,34	0,042	78	128
Kastor	Zwillinge	1,58	0,070	47	37
Alioth	Gr. Bär	1,68	0,067	49	37
Bellatrix	Orion	1,70	0,014	230	830
Beta ( $\beta$ )	Stier	1,78	0,025	130	240
Alginib	Perseus	1,90	0,012	280	940
Benetnasch	Gr. Bär	1,91	0,017	190	460
Zeta ( $\zeta$ )	Orion	1,91	0,008	410	2100
Gamma ( $\gamma$ )	Zwillinge	1,93	0,042	78	74
Delta ( $\delta$ )	Gr. Hund	1,98	0,005	650	5000
Beta ( $\beta$ )	Gr. Hund	1,99	0,011	300	1060

<sup>1</sup> - 1,58 bedeutet, daß die Helligkeit um 1,58 Größenklassen höher liegt als die Helligkeit 0,00.

<sup>2</sup> Doppelstern <sup>3</sup> Veränderlicher Stern

*Verzeichnis der in Mitteleuropa sichtbaren Sternbilder*

Deutscher Name	Lateinischer Name	Hellster Stern	Deutscher Name	Lateinischer Name	Hellster Stern
Adler	Aquila	Atair	Krone (nördl.)	Corona (borealis)	Gemma
Andromeda	Andromeda	Sirrah	Krebs	Cancer	Wega
Becher	Crater		Leier	Lyra	Regulus
Bootes	Bootes	Arktur	Löwe	Leo	
Delphin	Delphinus		Luchs	Lynx	Beteigeuze
Drache	Draco		Orion	Orion	Markat
Dreieck	Triangulum		Pegasus	Pegasus	Alginib
Eidechse	Lacerta		Perscus	Perscus	
Eridanus	Eridanus	Achernar	Pfeil	Sagitta	
Fische	Pisces		Rabe	Corvus	
Fuhrmann	Auriga	Kapella	Schlange	Serpens	
Füllen	Equuleus		Schlangenträger	Ophiuchus	
Graffe	Camelopardalis		Schütze	Sagittarius	
Großer Bär	Ursa maior	Dubhe	Schwan	Cygnus	Deneb
Großer Hund	Canis maior	Sirius	Skorpion	Scorpius	Antares
Haar der Berenice	Coma Berenices		Steinbock	Capricornus	
Hase	Lepus		Stier	Taurus	Aldebaran
Herkules	Hercules	Ras Algethi	Südl. Fisch	Piscis austrinus	Fomalhaut
Jagdhunde	Canes venatici		Waage	Libra	Menkar
Jungfrau	Virgo	Spica	Walfisch	Cetus	
Kassiopeia	Cassiopeia		Wassermann	Aquarius	Alphard
Kepheus	Cepheus		Wasserschlange	Hydra	
Kleiner Bär	Ursa minor	Polarstern	Widder	Aries	
Kleiner Hund	Canis minor	Prokyon	Zwillinge	Gemini	Pollux

