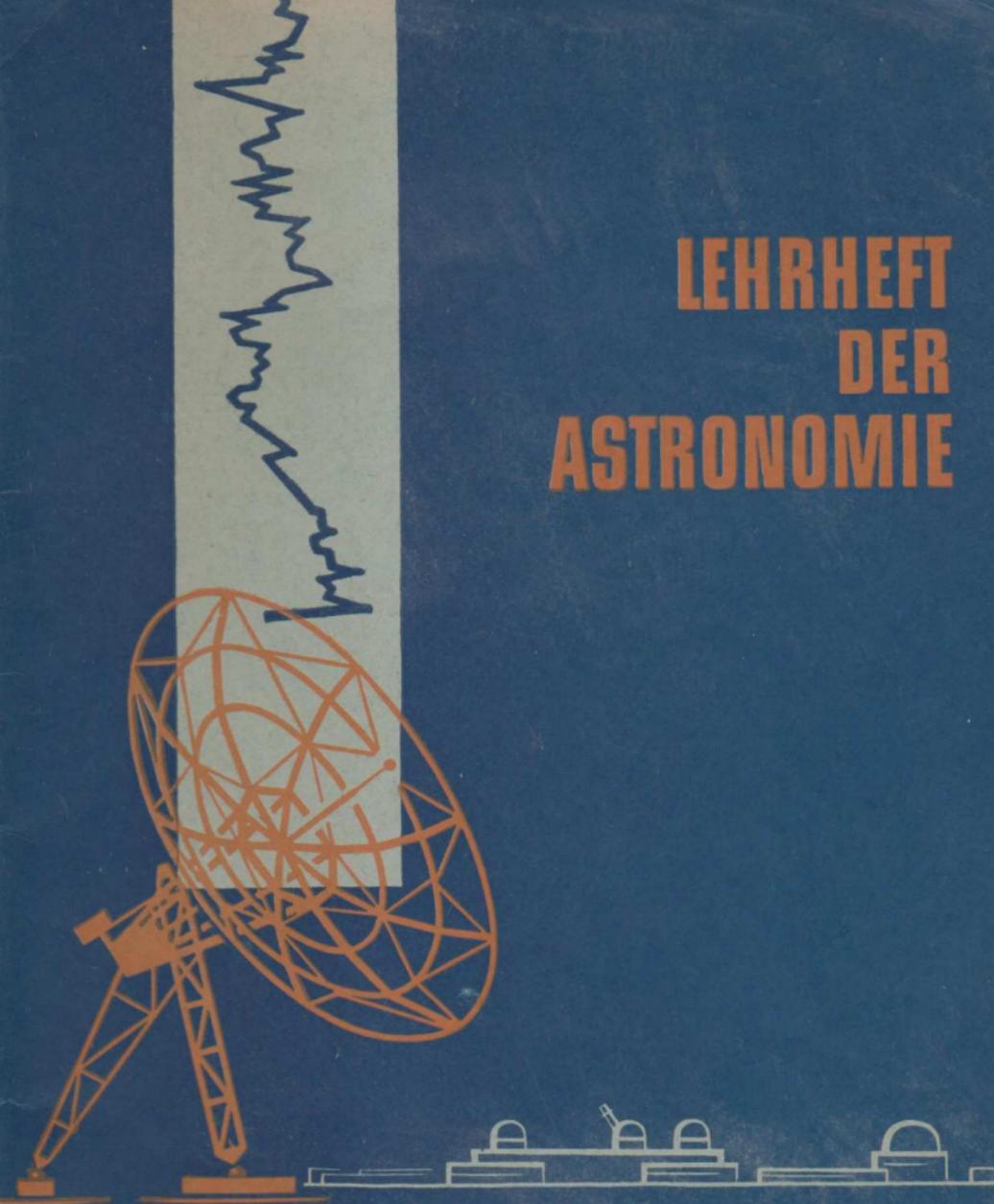


**LEHRHEFT
DER
ASTRONOMIE**



LEHRHEFT
DER ASTRONOMIE

Vorläufige Ausgabe



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1959

Verfaßt von Professor Diedrich Wattenberg
Bearbeitet von der Verlagsabteilung Erdkunde

1. Auflage

Zeichnungen: Martin Heidenreuter, Leipzig
Ausstattung: Atelier Volk und Wissen, Berlin
Redaktionsschluß: 25. Januar 1959

ES 11 F · Bestell-Nr. 04 915 · -,60 DM · Lizenz Nr. 203 · 1000/59 (E)

Für Karten: Lizenz Nr. 1 · Gen. Mdl der DDR Nr. 4675

Satz und Druck: VEB Leipziger Druckhaus, Leipzig (III/18/203)

INHALT

	Seite		Seite
DAS SONNENSYSTEM	5	Künstliche Monde der Erde	30
<i>Geschichtliche Entwicklung der Auf-</i> <i>fassungen über das Sonnensystem</i> ..	5	Merkur und Venus	33
Anschauungen des Altertums	5	Der Mars	34
Das geozentrische Weltsystem des Ptolemäus	7	Riesenplanet Jupiter	35
Ein neues Weltbild steigt empor! ...	8	Saturn und sein Ringsystem	36
Das heliozentrische Weltsystem	9	Uranus, Neptun und Pluto	36
Der Kampf um das Weltbild	10	Der erste von Menschenhand geschaffene Planet	37
Planetengesetze werden entdeckt ...	12	 <i>Die Kleinkörper des Sonnensystems</i> ..	38
Das Gesetz von der allgemeinen Schwerkraft	13	Kometen	38
Ein neuer Planet	13	Meteore	39
Planetenentdeckungen am Schreibtisch	14	Staub im Sonnensystem	39
Zwergwelten zwischen den Planeten ...	15	Schlußfolgerung	40
An den Grenzen des Sonnensystems ..	16	 DAS WELTALL	41
Übersicht über das heutige Planeten- system	17	<i>Die Fixsterne</i>	41
 <i>Die Sonne</i>	18	Die Sternbilder	41
Die Sonne als Weltkörper	18	Zahl und Helligkeit der Sterne	42
Einige Angaben zur Physik der Sonne	19	Die Farben der Sterne	43
Die Sonne als Kraftwerk	21	Spektrum und Aufbau der Sterne ..	43
Sonnenflecken	21	Temperaturen der Sterne	44
Eruptionen und Protuberanzen	22	Ertfernungen der Sterne - Das Licht- jahr	44
Elektro-magnetische Wellen von der Sonne	23	Sterne in Bewegung	46
 <i>Die Planeten und ihre Monde</i>	24	Riesen und Zwerge unter den Sternen	46
Die Erde als Planet	24	Doppelsterne	46
Zwischen Weltraum und Erde	25	Planetenähnliche Begleiter der Fix- sterne	47
Kosmische Einflüsse auf die Erde ...	26	Veränderliche Sterne	47
Der Erdmond	27	Neue Sterne	48
Beeinflußt der Mond das Erd- geschehen?	29	Gas und Staub zwischen den Sternen ..	48
		Sternhaufen	49

<i>Das Milchstraßensystem</i>	50	AUS DER ENTWICKLUNGS-	
Die Milchstraße	50	GESCHICHTE DES WELTALLS	56
Aufbau des Milchstraßensystems	51	<i>Grundzüge der kosmischen Entwicklung.</i>	56
Rotation der Milchstraße.....	52	Das Alter der Gestirne	57
<i>Ferne Milchstraßensysteme</i>	53	<i>Die Entwicklung kosmischer Systeme</i> .	59
Die Spiralnebel	53	Die Entstehung der Galaxien.....	59
Benachbarte Milchstraßen	54	Die Entwicklung der Fixsterne	59
Das Weltall ist unendlich	55	Die Entstehung der Planeten	61
		Die Erdzeitalter	62
<i>Literaturhinweise</i>	64		

DAS SONNENSYSTEM

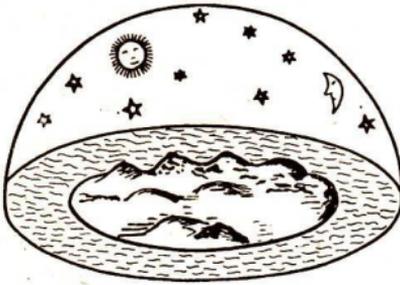
Geschichtliche Entwicklung der Auffassungen über das Sonnensystem

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 10000 Jahren. Dabei handelt es sich vorwiegend um Überlieferungen, die aussagen, wie die ersten Zeiteinteilungen der Menschen, also die ersten Kalender, entstanden. Solche Kalender fußten auf einer sorgfältigen Beobachtung des Laufs der Gestirne. Durch die Beobachtung des Himmels erkannten die Hirten- und Ackerbauvölker des Altertums, daß in der Natur bestimmte Gesetzmäßigkeiten herrschen, so daß sich die Ursache bis dahin ungeklärter Erscheinungen feststellen ließ (z. B. Nilüberschwemmung, bestimmte Windströmungen, der von den Jahreszeiten abhängige Pflanzenwuchs der Steppengebiete, die Wurfzeit der Tiere). 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 der Beurteilung dieser Leistungen ist festzuhalten, daß die Sternbeobachtung und besonders die Sterndeutung fast allein von den Priesterkasten der antiken Völker und Staaten betrieben wurden und daß diese Kasten sich schon sehr früh das alleinige Vorrecht astronomischer Beobachtungen sicherten. Denn ebenso, wie sich die Beobachtung der Gestirne und die Auswertung dieser Beobachtungen zwangsweise aus der produktiven Tätigkeit der Menschen ergab, sahen die Priester sehr bald auch deren Bedeutung für die Festigung ihrer Herrschaft ein. Jeder Zweifel an ihrer Anschauung vom gestirnten Himmel mußte daher in der Folgezeit von ihnen als ein Angriff auf ihre Vorherrschaft angesehen werden. Die Astronomie wurde somit schon sehr früh zu einem Vorrecht der herrschenden Klassen, die ihr Wissen dazu ausnutzten, ihre Macht zu festigen und die Masse der Menschen in immer stärkerem Maße auszubeuten.

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.



Weltbild des Altertums

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. Die Priester der Babylonier, der Ägypter und auch der Griechen der älteren Zeit hielten ebenso wie die der Völker Chinas und Indiens die Erde für eine Scheibe, deren Rand die Himmelskuppel trage. 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.

Den nächsten Schritt hat gegen Ende des 5. Jahrhunderts v. u. Z. ein Schüler des Pythagoras, *Philolaos aus Kroton*, getan. Er vertrat die Ansicht, daß im Mittelpunkt der Welt ein gewaltiges Zentralfeuer brenne. Um dieses Feuer sollten sich, zusammen mit der Fixsternkugel, die Erde, der Mond, die Sonne und die fünf damals bekannten Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn drehen.

Es war ein großer Rückschritt, als der griechische Philosoph *Plato* (427 bis 347 v. u. Z.) aufs neue verkündete, daß die Erde im Mittelpunkt der Welt stehe. Ebenso irrig war seine Ansicht, daß jeder Körper, der sich um die Erde bewegt, mit einer vollen durchsichtigen Kugel (Sphäre) verbunden sei. Plato meinte damit, daß sich ein System von ineinandergeschachtelten Sphären um die Erde drehe.

Dieser Rückschritt im astronomischen Denken Platons ist nur aus seiner klassenmäßigen Stellung in der griechischen Sklavenhaltergesellschaft zu erklären. Die griechische Geschichte ist eine Geschichte ständiger Klassenkämpfe zwischen Sklaven und Sklavenhaltern. Plato lebte zu einer Zeit, in der die Sklavenhalteraristokratie auf dem Höhepunkt ihrer Macht stand. Alle diese Faktoren bestimmten die Philosophie Platons, den wir als den Ideologen der extrem reaktionären Sklavenhalteraristokratie ansehen müssen. Er stammt selbst aus einem der vornehmsten Adelsgeschlechter Athens. Seine Lehren gaben noch den mittelalterlichen Reaktionären die „klassische“ Rechtfertigung für ihr Vorgehen gegen diejenigen Vertreter der Wissenschaft, die mit ihren Erkenntnissen das Zeitbild ihrer Epoche revolutionierten und die Grundlagen der herrschenden Ausbeuterklasse erschütterten.

Von Platos Schüler *Aristoteles* (384 bis 322 v. u. Z.) ist dieses eigenartige Bild von der Welt noch weiter kompliziert worden. Gegen dieses Weltbild konnten sich in der Folgezeit neue und fortschrittliche Gedanken nicht mehr durchsetzen. Das geozentrische (die Erde in den Mittelpunkt der Welt rückende) Weltbild faßte daher immer mehr Fuß.

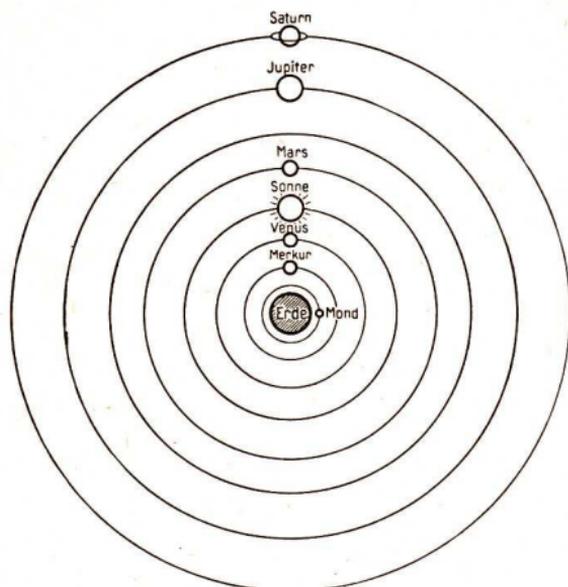
Als Beispiel dafür, wie in der Folgezeit fortschrittliche Lehren unterdrückt wurden, sei das Vorgehen gegen *Aristarch aus Samos* (310 bis 230 v. u. Z.) erwähnt. Er gelangte zu der Ansicht, daß nicht die Erde, sondern die Sonne im Mittelpunkt des Planetensystems stehe und daß sich die Erde mit den übrigen Planeten um die Sonne drehe. Die Vertreter der herrschenden Klassen in Griechenland forderten alsbald, Aristarch vor ein Gericht zu stellen und ihn wegen Gotteslästerung zu verurteilen. Er habe gewagt, den „heiligen Weltherd“, die Erde, zu verrücken, eine Drehung der Erde um ihre Achse anzunehmen und den Sternenhimmel stillstehen zu lassen.

So kam es, daß etwa zu Beginn unserer Zeitrechnung, also vor fast 2000 Jahren, ein unrichtiges Weltbild das Denken der Menschen beherrschte. Es ging von der falschen Voraussetzung aus, daß die Erde im Mittelpunkt des Weltalls ruhe. Der Mensch sei der Hüter dieser Weltmitte, und alle leuchtenden Vorgänge am nächtlichen Himmel seien von göttlichen Mächten ausschließlich für ihn und zu seiner Freude geschaffen worden.

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. 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 herun veranlaßte. Der Wechsel von Tag und Nacht komme dadurch zustande, daß die Sonne sich um die Erde bewege.

Das Ptolemäische Weltbild hat rund 1400 Jahre als unantastbar gegolten, besonders auch deshalb, weil es mit den Vorstellungen der Bibel vollkommen übereinstimmte. Von der Kirche wurde jeder Versuch, dieses Weltbild anzuzweifeln, mit aller Strenge verfolgt. Der Grund ist vor allem darin zu suchen, daß es die politisch-ökonomische Feudalmacht der Kirche stützte. Durch die Übereinstimmung des



Das geozentrische Weltssystem

Ptolemäischen Systems mit dem Text der Bibel bot es der Kirche die Möglichkeit, den Unfehlbarkeitsanspruch ihrer Dogmen darauf zu gründen.

So ist das Mittelalter dadurch gekennzeichnet, daß die Entwicklung der Astronomie langsamer als in anderen Zeitabschnitten und unter schweren Auseinandersetzungen einzelner Gelehrter mit den Vertretern der Kirche vor sich ging.

Ein neues Weltbild steigt empor!

Die Vorstellungen von der Welt, die im Mittelalter herrschten, beruhen 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 der Masse von Barbaren 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 differenziertere 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 wurde. Hier aber zeigte sich, daß häufig größere Abweichungen zwischen dem vorausberechneten und dem tatsächlichen Ort eines Planeten auftraten. Für diese Abweichungen gab es zunächst keine Erklärung. Als auch die gegen Ende des 15. Jahrhunderts sich steigernde astronomische Beobachtungs- und Meßgenauigkeit zu keinen befriedigenden Ergebnissen führte, begannen sich ernsthafte Zweifel an der Richtigkeit des Ptolemäischen Weltsystems zu regen.

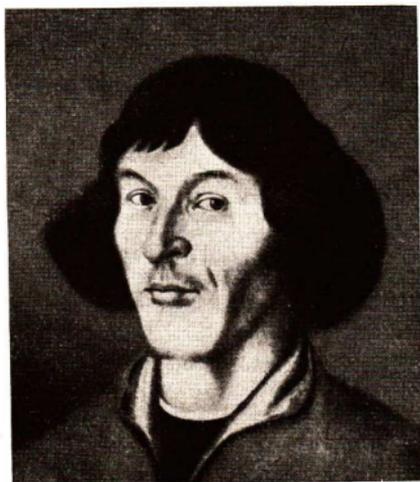
Aber noch ein weiteres kam hinzu. Die aufstrebende Bourgeoisie jener Zeit begann immer mehr, die Entwicklung in Wissenschaft und Technik ihren Bedürfnissen anzupassen. Ihre Wissenschaftler erkannten, daß sie auf ihrem Gebiet nur Fortschritte erzielen konnten, wenn sie sich von den für „unfehlbar“ gehaltenen 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:

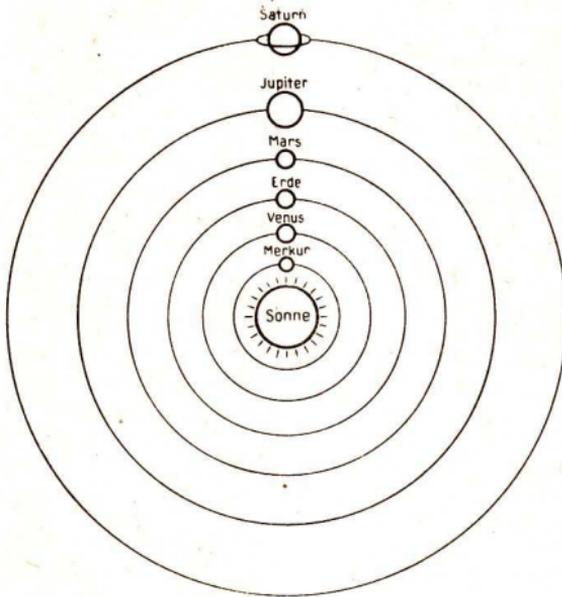
„Es war die größte progressive Umwälzung, die die Menschheit bis dahin erlebt hatte, eine Zeit, die Riesen brauchte und Riesen zeugte, Riesen an Denkkraft, Leidenschaft und Charakter, an Vielseitigkeit und Gelehrsamkeit. Die Männer, die die moderne Herrschaft der Bourgeoisie begründeten, waren alles,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

Das heliozentrische Weltsystem

Das neue, von dem polnischen Gelehrten Nikolaus Kopernikus (1473 bis 1543) begründete Weltbild vollzog konsequent den Bruch mit dem Ptolemäischen Weltsystem. 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



Nikolaus Kopernikus (1473 bis 1543)



Das heliozentrische Weltssystem

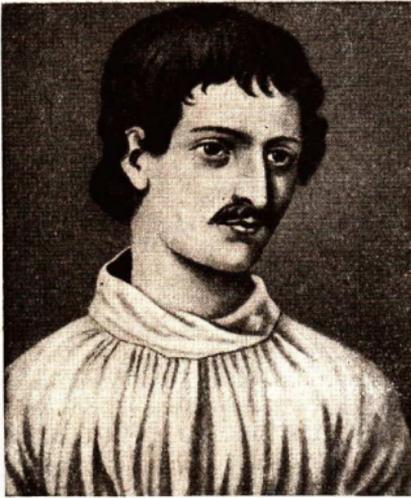
Planeten die Sonne. Im Gegensatz zum geozentrischen Weltssystem entwickelte Kopernikus somit ein heliozentrisches Weltssystem (gr. helios = Sonne), dessen Bedeutung für den Fortschritt des menschlichen Denkens ebenso entscheidend war wie für die Wissenschaft. Damit verlor nicht nur die Erde ihre zentrale 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 Weltssystem

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.

Der Kampf um das Weltbild

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



Giordano Bruno (1548 bis 1600)

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) erstmalig ein Fernrohr zum Himmel und machte dabei aufsehenerregende Entdeckungen. Er erkannte die Gebirge des Mondes, sah die Scheibenform der Planeten, entdeckte die verschiedenen Lichtgestalten 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 überzeugen. 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 geahnt 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!“

Planetengesetze werden entdeckt



Johannes Kepler (1571 bis 1630)

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. Beide Astronomen waren in Prag zusammengetroffen, nachdem sie ihre Heimat hatten verlassen müssen. Tycho Brahe war kein Anhänger von Kopernikus. Von Kepler wird dagegen berichtet, daß er sich mit voller Überzeugung zur kopernikanischen Lehre bekannte.

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 mit dem vorausberechneten übereinstimmte. Solchen Vorausberechnungen lag die aus dem Altertum übernommene und auch 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.

Das erste Keplersche Gesetz sagt: „Die Bahnen der Planeten sind Ellipsen, in deren einem 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 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 Weltssystem auf richtigen Voraussetzungen basiert.

Das Gesetz von der allgemeinen Schwerkraft

Noch im gleichen Jahrhundert konnte das kopernikanische Weltbild weiter ausgebaut werden. Der englische Physiker Isaac Newton (1643 bis 1727) entdeckte 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

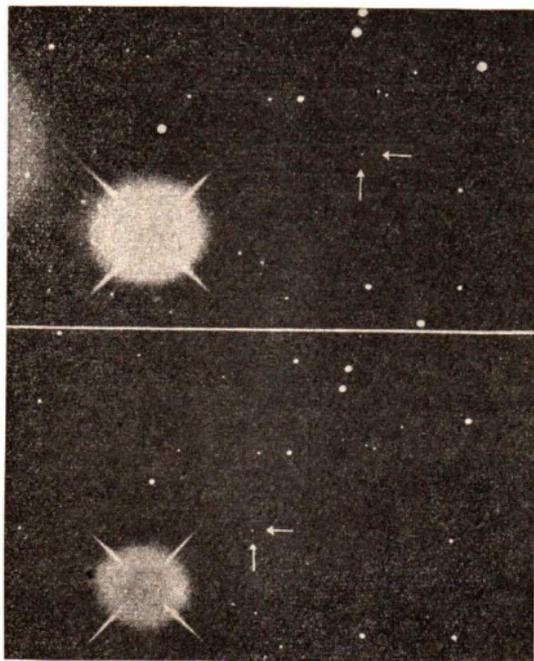
Vom Altertum an bis in das 18. Jahrhundert hinein kannte man außer der Erde nur fünf Wandelsterne (Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn). Erst im Jahre 1781 gelang es dem in England wirkenden Astronomen Wilhelm Herschel, einen bis dahin unbekannten Himmelskörper zu entdecken. Er hielt ihn zunächst für 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. Mit diesem Planeten wurden die Grenzen des Sonnensystems erheblich weiter in den Weltraum hinausgeschoben; denn Uranus zog in der doppelten Saturnentfernung seine Bahn um die Sonne.

Einige Zeit später gab der Uranus jedoch den Astronomen ein großes Rätsel auf. Seine Bahn zeigte erhebliche Abweichungen von der berechneten Bewegung. Diese Tatsache konnte nur so gedeutet werden, daß außerhalb der Uranus-Bahn noch ein weiterer Planet existierte. Dessen Anziehungskraft mußte die Bewegung des Uranus beeinflussen oder „stören“ und dadurch die Bahnabweichungen auslösen. Ohne Zweifel war es ein kühner Gedanke, eine derartige Vermutung aufzustellen. Doch er führte zur Lösung des Rätsels. Tatsächlich gelang es, aus den Beobachtungen genaue Rückschlüsse zu ziehen, die später unter Anwendung der Keplerschen und Newtonschen Gesetze zur Entdeckung des vermuteten „Störfrieds“ führten.

Damals lebte in Paris ein junger Mathematiker namens Urbain Leverrier, der sich sehr für das Uranus-Problem 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 „einzuzeichnen“, 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 Berechnungen mit und bat ihn darum, 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



Die Entdeckung des Planeten Pluto im Jahre 1930

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.

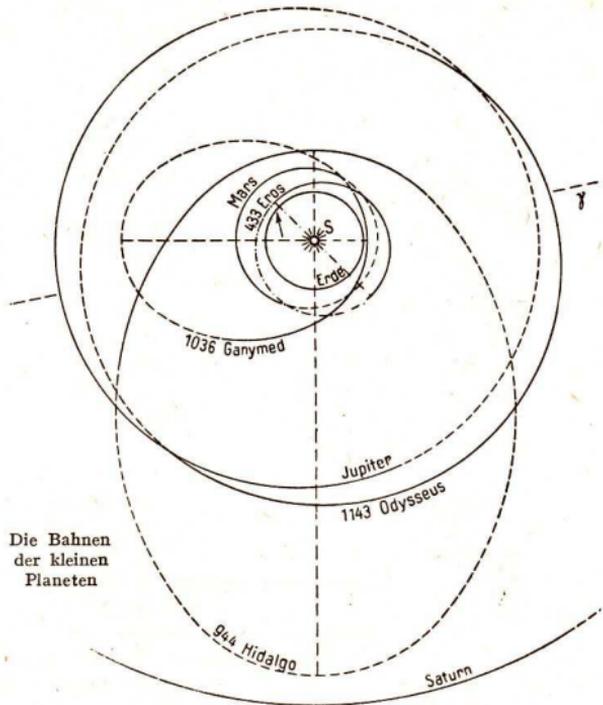
Der neue Planet erhielt den Namen *Neptun*. Er erweiterte das Planetensystem abermals, da er in einer dreißigfachen Erdentfernung von der Sonne seine Bahn zieht. Zu einem Umlauf um die Sonne benötigt der Neptun rund 164 Jahre.

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.

Wiederum machten sich kühne Rechner ans Werk, um auch diesen unsichtbaren Weltkörper mit dem Rechenstift „einzufangen“. Nach langen Bemühungen führten ihre Arbeiten im Jahre 1930 zum Erfolg. Dem amerikanischen Astronomen Tombough gelang es, den neunten Planeten der Sonne zu entdecken, der den Namen *Pluto* erhielt. Er zieht in vierfacher Saturnentfernung (40 Erdentfernungen 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 Bahn-lücke die Sonne umlief. Dieser Planet, der den Namen *Ceres* erhielt, ist nicht der

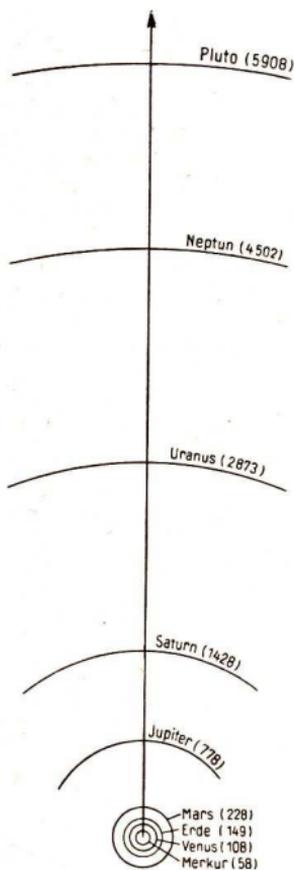


Die Bahnen der kleinen Planeten

einzig seiner Art geblieben. 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*. 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 einzel-

nen 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.

In welcher großartiger Weise die Menschen gelernt haben, die im Weltall herrschenden Gesetze zu erkennen, zeigt die Tat sowjetischer Wissenschaftler und Techniker, denen es gelungen ist, am 2. Januar 1959 den ersten künstlichen Planeten in den Weltraum zu entsenden. Er trägt den Namen „XXI. Parteitag“. Mit dieser großartigen Leistung ist erneut der Beweis erbracht, daß die moderne Wissenschaft ein richtiges Weltbild lehrt. Zugleich hat aber auch die gesamte Menschheit in aller Einprägbarkeit erfahren, daß große Leistungen nur möglich sind, wenn Wissenschaftler, Ingenieure, Techniker und Arbeiter kollektiv zusammen arbeiten. Das aber ist nur im Sozialismus möglich, der damit seine Überlegenheit über jedes andere Gesellschaftssystem auch auf dem Gebiet der wissenschaftlichen Forschung bewiesen hat (vgl. S. 37).



Mittlere Entfernungen der Planeten von der Sonne in Mill. km

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. Tatsächlich haben neuere theoretische Untersuchungen ergeben, daß mit einiger Wahrscheinlichkeit noch ein zehnter Planet zum Sonnensystem gehört. Seine Bahn müßte im Mittel etwa 75mal weiter von der Sonne entfernt sein als die Erdbahn. Zu einem vollständigen Umlauf um die Sonne würde er rund 650 Jahre benötigen. Bisher ist dieser Planet, dessen Ort am Himmel mit einiger Sicherheit errechnet werden konnte, am Fernrohr noch nicht gefunden worden.

Übersicht über das heutige Planetensystem

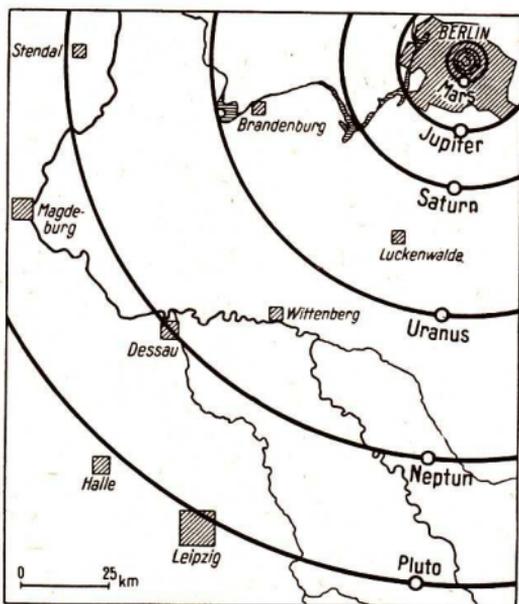
Betrachten wir das heutige Planetensystem, so gelangen wir zu einer Übersicht, wie es die Abbildung auf S. 18 zeigt. Die Grenzen sind in der Plutobahn angenommen. Die für jeden Planeten geltenden Zahlenwerte wurden in der folgenden Tabelle zusammengestellt. In dieser Tabelle taucht der Begriff *Astronomische Einheit*, abgekürzt *A. E.*, auf. Dieser Wert bezieht sich auf die Entfernung der Sonne von der Erde, die im Mittel 149,5 Millionen km beträgt.

Übersicht über das Planetensystem

Planet	Mittlere Entfernung von der Sonne		Umlaufzeit um die Sonne	
	Astronomische Einheiten (= A. E.)	Millionen km	Jahre	Tage
Merkur	0,387	57,87	—	87,97
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. Weisen Sie nach, daß das heutige wissenschaftliche Weltbild das wissenschaftlich einzig richtige Weltbild darstellt! – 4. Inwiefern bedeuten die Entdeckungen von Uranus,



von Mars (\varnothing 17 cm) befände sich fast am Stadtrand von Berlin. 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).

Neptun und Pluto einen besonderen Triumph der Naturwissenschaft? – 5. Berichten Sie vom künstlichen Sonnenplaneten „XXI. Parteitag“! – 6. Zeichnen Sie als konzentrische (Halb-) Kreise in maßstabgerechtem Abstand die Bahnen der Planeten! Benutzen Sie dazu die Übersicht auf S. 17! (1 A.E. \triangleq 1 cm).

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

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 750mal größer als die Massen aller Planeten und Monde zusammengenommen. Während alle anderen Fixsterne punktförmig erscheinen, zeigt die Sonne bereits dem bloßen Auge ein deutliches Scheibebild. Sie ist eine riesige, gasförmige Kugel mit einem Durchmesser von rund 1,4 Millionen Kilometern. Im Inneren der Sonne könnten etwa 130000 Erdkugeln finden.

Im Vergleich zur Erde ist die Masse der Sonne 332000mal so groß. An der Oberfläche der Sonnenkugel herrschen Temperaturen von fast 6000° C. Sie nehmen

nach dem Mittelpunkt hin ständig zu und erreichen dort annähernd 20 Millionen Grad C. Der von der Sonnenoberfläche austretende Lichtstrahl erreicht die Erde nach 8,3 Minuten. Erst in dieser Zeit hat er, obwohl seine Ausbreitungsgeschwindigkeit 300000 km/s beträgt, die mittlere Entfernung zwischen Sonne und Erde (149,5 Millionen km) überwunden.

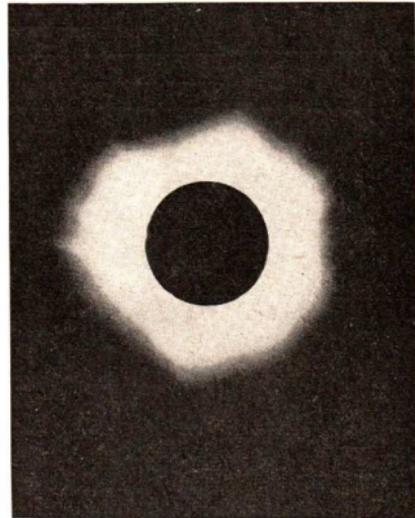
Ebenso wie die Erde dreht sich auch die Sonne um ihre Achse. Ihre Rotationsdauer beträgt rund 27 Tage.

Einige Angaben zur Physik der Sonne

Die Erforschung der Sonne ist eine der wichtigsten Aufgaben der Sonnenphysik. Sie 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 Sonnenlicht tritt aus der Sonnenoberfläche aus. Diese leuchtende Schicht wird als *Photosphäre* bezeichnet. Darüber liegt eine etwa 10000 km hohe Schicht, die *Chromosphäre*. Sie zeichnet 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. Die gasförmige, stark erhitzte Sonnenmaterie verhält sich hier so wie die sturmgepeitschte Oberfläche der irdischen Weltmeere. Statt der weißen Wellenkämme beherrschen ausgedehnte Gasspritzer und Sonnenblitze das Bild.

Über die Natur der am Aufbau der Sonne und an ihrem physikalischen Geschehen beteiligten Stoffe gibt uns das Sonnenspektrum hinreichenden Aufschluß. Ein Spektrum entsteht u. a., wenn das Sonnenlicht mit Hilfe eines Prismas in das farbige Regenbogenband zerlegt wird, das sich durch die Spektralfarben Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett auszeichnet. In der Sonnenphysik sind für solche Zwecke besondere Instrumente entwickelt worden, die eine sehr genaue Photographie des Sonnen-



Die Sonnenkorona. Es handelt sich dabei um die feinsten Ausläufer der Sonnenhülle, die bei einer totalen Sonnenfinsternis sichtbar werden.

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 Sonnenspektrums werden Kennzeichen für die chemische Zusammensetzung der Sonne sichtbar, die von der Wissenschaft vom Spektrum, der *Spektralanalyse*, erforscht werden.

Seit rund 100 Jahren ist bekannt, daß jedes Element ein eigenes Spektrum besitzt. Es zeigt Linien, die in keinem anderen Spektrum auftreten, so daß bei einer sorgfältigen Untersuchung des Spektrums ermittelt werden kann, welche Stoffe in einer Lichtquelle vorhanden sind. Wirken mehrere oder gar viele Stoffe gemeinsam an der Entstehung des Leuchtvorganges mit, so treten ihre Spektrallinien im Spektrum in bunter Mischung nebeneinander auf. Mit Hilfe sehr feiner Messungen kann festgestellt werden, zu welchem Element jede einzelne Linie gehört.

Ein derartiges gemischtes Spektrum zeigt sich auch bei der Sonne. Es ist gelungen, die meisten Linien des Sonnenspektrums in ihrer Zugehörigkeit zu den verschiedensten Stoffen zu bestimmen, so daß von der Zusammensetzung der Sonne viele Einzelheiten bekannt sind. Eine Überraschung gab es in dieser Hinsicht in den sechziger Jahren 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 bezeichnete dieses geheimnisvolle 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 Stoffe 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 anderen Fixsterne. In keinem Spektrum wurden unbekannte Elemente gefunden. Lediglich in der Häufigkeit, also in dem mengenmäßigen Vorkommen einzelner Stoffe auf den verschiedenen Gestirnen, bestehen mehr oder weniger große Unterschiede. Diese sind so zu erklären, daß sich die betreffenden Sterne oder Planeten in verschiedenen Entwicklungsstadien befinden. Das ist ein Beweis dafür, daß das gesamte Weltall aus den gleichen Stoffen aufgebaut ist, daß *das All also materiell eine Einheit bildet*.

Auf der Sonne überwiegt, wie bei allen anderen Sternen, der Wasserstoff. Er ist das leichteste Element, das in der Natur vorkommt und spielt bei den Entwicklungsvorgängen im Weltall eine große Rolle. An nächster Stelle folgt das Helium, das etwa ein Zehntel des Wasserstoffanteils der Sonnenmaterie 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 Sonne als Kraftwerk

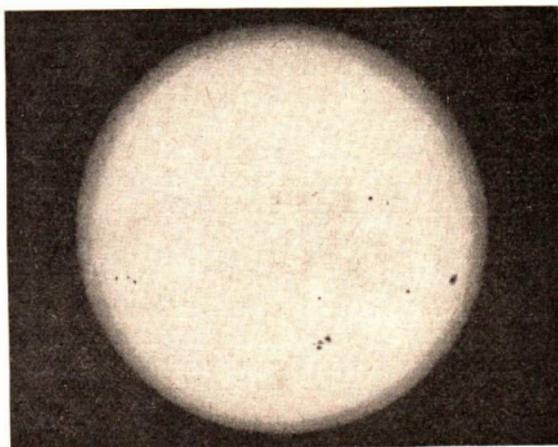
Die Tatsache, daß die Sonne unaufhörlich eine gleichbleibende Strahlungsmenge in den Weltenraum schießt, hat schon frühzeitig die Frage aufgeworfen, woher diese Energie stammt. Daß sie sich seit einer Milliarde Jahren nur unwesentlich verändert haben kann, beweisen die ältesten Lebensspuren, die auf der Erde gefunden wurden. Wäre die Sonnenstrahlung 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 Zusammenziehung ihrer Kugel (Kontraktion) ständig Energie gewinnen. Berechnungen ergaben aber, daß die Sonne durch einen solchen Prozeß ihren Energiebedarf nur für 24 Millionen Jahre decken könnte. Folglich müssen andere Reserven vorhanden sein. Auf Grund unserer heutigen Kenntnisse auf dem Gebiet der Atomphysik wissen wir, daß sich auf der Sonne ständig Helium aus Wasserstoff bildet. Bei den damit verbundenen Prozessen wird eine ungeheure Energiemenge frei. Beispielsweise erzeugt ein Gramm Wasserstoff, das auf der Sonne zu Helium „verbrannt“ wird, eine Energie von 200 000 Kilowattstunden. Der gleiche Vorgang tritt bei H-Bomben auf. Sowjetische Gelehrte sind zur Zeit darum bemüht, ihn für friedliche Zwecke auszunutzen.

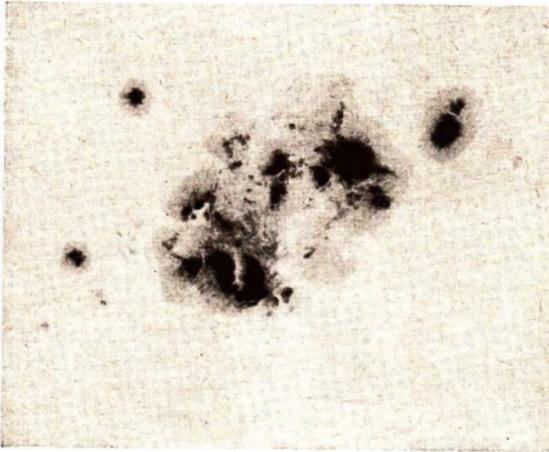
Die Sonne ist somit ein riesiges Atomkraftwerk, dessen Energieerzeugung eines Tages auch von Menschen unmittelbar ausgenutzt werden wird. Bereits heute gibt es in der Sowjetunion, in Indien, Frankreich und anderen Ländern Kraftanlagen, die mit Hilfe gewaltiger Spiegel das Sonnenlicht einfangen und zum Antrieb von Dampfmaschinen verwenden.

Sonnenflecken

Die auffälligste Erscheinung an der Sonnenoberfläche sind dunkle Fleckenbildungen, die der Sonnenforscher als *Sonnenflecken* bezeichnet. 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



Sonne mit Sonnenflecken



Große Sonnenfleckengruppe

anderen. Daneben erweisen sie sich vielfach als rasch veränderlich. Daraus ist zu ersehen, 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 Durchmesser der Sonnenflecken schwanken zwischen 1000 und 50000 Kilometern. Sie können also den Erddurchmesser um ein mehrfaches übertreffen. Bei den Sonnenfleckengruppen sind sogar Ausdehnungen bis zu 250000 km beobachtet worden.

Allgemein kann gesagt werden, daß die Sonnenflecken gewaltige wirbelähnliche Gasgebilde sind. Sie erscheinen äußerlich dunkler als ihre Umgebung, und ihre Temperatur liegt etwa 1500 Grad niedriger als die der Photosphäre. Mit den Sonnenflecken sind gewaltige Kraftentwicklungen verbunden, die sich durch einen starken Magnetismus auszeichnen. Gleichzeitig gehen von den Sonnenflecken ständig Strahlungen und Ausschleuderungen von Sonnenmaterie in Form winziger Teilchen aus. Diese dringen in den Weltraum hinaus und erreichen schließlich auch die Erde. Hier lösen sie eine Reihe von physikalischen Erscheinungen aus (z. B. Störungen im Funkverkehr, Polarlichter usw.), die deutlich machen, daß zwischen den Vorgängen auf der Sonne und der Erde Zusammenhänge bestehen.

Eruptionen und Protuberanzen

Mit den Sonnenflecken ist eine Reihe weiterer Erscheinungen auf der Sonne eng verbunden. So stehen die magnetischen Eigenschaften der Sonnenflecken mit elektrischen Strömen in Wechselbeziehung. Dadurch bilden sich von Zeit zu Zeit gewaltige Sonnengewitter aus, von denen die schon erwähnten Sonnenblitze verursacht werden. Mit ihnen lassen sich die auf der Erde bekannten Blitzentladungen kaum noch vergleichen. Was dort geschieht, sind gewaltige Explosionen, die häufig nur wenige Minuten andauern.

Daneben kennen wir auf der Sonnenoberfläche weiträumige Ausbrüche von gasförmiger Sonnenmaterie. Sie kommen ebenfalls aus dem Inneren der Sonne. Man bezeichnet sie als *Gasspritzer* oder *Protuberanzen*. Sie zeigen ein sehr eindrucksvolles Bild, das sich am Sonnenrand beobachten und filmen läßt. Die dabei ausgeworfenen Gase stehen gewaltigen Flammengebirgen gleich auf der Sonnenoberfläche. Sie steigen in kurzer Zeit nicht selten in große Höhen auf, sind aber in der Regel schnell veränderliche Gebilde. Die höchsten beobachteten Erhebungen liegen bei 1,5 Millionen km. Auf der Sonnenoberfläche erreichen die Flammengebirge Längsausdehnungen bis zu 100000 km, während ihr Querdurchmesser nur bis etwa 5000 km beträgt. 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, der sich in einem periodischen Ablauf im Inneren der Sonne abspielt.

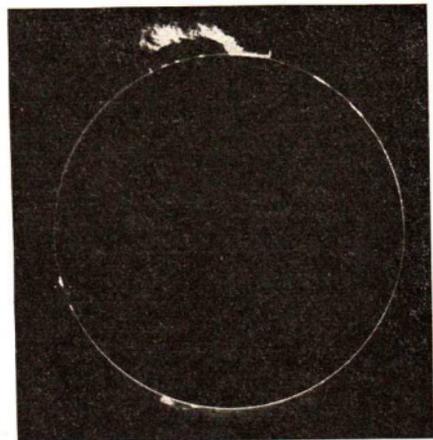
Elektro-magnetische Wellen von der Sonne

Seit rund dreißig Jahren weiß man, daß aus dem Weltraum elektro-magnetische 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 *Heinrich Hertz* (1857 bis 1894) wurde die Erkenntnis begründet, daß elektro-magnetische Wellen und Lichtwellen ihrer Natur gemäß ein und dasselbe sind. Sie unterscheiden sich nur in ihrem Ursprung und ihren Wellenlängen.

Von der Atmosphäre der Erde wissen wir, 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 von der Erdatmosphäre verschluckt und dadurch unwirksam gemacht.

Erst seit kurzer Zeit ist bekannt, daß die Atmosphäre die erwähnten elektro-magnetischen Wellen nur in den Wellenlängen zwischen 1 cm und 15 m zur Erdoberfläche gelangen läßt. Derartige elektro-magnetische Wellen gehen auch von der Sonne aus. Die Stärke der elektro-magnetischen Wellenstrahlung der Sonne



Große Protuberanz am Sonnenrand

ist veränderlich und steht mit den physikalischen Vorgängen an der Sonnenoberfläche im engen Zusammenhang.

Die kosmischen elektro-magnetischen Wellen werden mit großen Antennen- oder Radioteleskopen aufgenommen und hörbar gemacht (vgl. Titelzeichnung). Damit ist ein Abschnitt der Forschung eingeleitet worden, der nicht nur die Beobachtung der Sternenwelt mit dem Auge, sondern auch das Abhören von Vorgängen in der in ewiger Bewegung befindlichen kosmischen Materie ermöglicht hat.

Aufgaben:

1. Welchen maßstabgerechten Durchmesser müßte die Sonne haben, wenn der Durchmesser der Erde mit 1 cm angenommen würde? In welcher Entfernung müßten sie 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 sich für Sonnenbeobachtungen ein Rußfilter her! Lassen Sie dazu eine gewöhnliche Glasplatte von mindestens Postkartengröße dicht berußen und legen Sie auf die berußte Fläche eine zweite, gleich große Glasscheibe! Umkleben Sie beide Scheiben in der Art von Diapositiv-Platten 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 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.) – 3. Beobachten Sie durch das Rußfilter den Ablauf einer Sonnenfinsternis! Stellen Sie den Vorgang in einzelnen Phasen zeichnerisch dar!

Die Planeten und ihre Monde

Die Erde als Planet

Auf unserem Streifzug durch die Körperwelt des Sonnensystems wollen wir die Erde in den Mittelpunkt unserer Betrachtungen stellen. Alle Erscheinungen und Vorgänge auf anderen Planeten können zumeist mit gleichartigen 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 äquatoriale Durchmesser der Erdkugel beträgt nach neuesten Messungen 12756,490 km; der polare Durchmesser ist mit einer Länge von 12713,824 km um 42,666 km kürzer. Bezeichnet man nun den Äquatordurchmesser mit a und den Polardurchmesser mit b , so ergibt sich aus der Beziehung $(a - b)$: a die

Abplattung der Erde. Für die Abplattung wurde ein Verhältnis von 1:298,3 errechnet.

Der Rauminhalt der Erdkugel, das Volumen, beträgt 1083320000000 km³. Die darin vereinigte Masse umfaßt $5,97 \times 10^{27}$ Gramm. Aus Volumen und Masse läßt sich die mittlere Dichte unseres Planeten berechnen, die etwa das 5,5fache des Wassers beträgt.

In 23 Stunden 56 Minuten und 4,1 Sekunden rotiert die Erdkugel 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 Millionen km von der Sonne entfernt. Dagegen tritt die Sonnenferne der Erde (Aphel) jeweils Anfang Juli ein, wenn der Sonnenabstand auf etwa 152 Millionen km angewachsen ist. Daraus ergibt sich die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne mit 149,5 Millionen km.

Die Form der Erdbahn bedingt (im Zusammenhang mit dem zweiten Keplerschen Gesetz), daß die Erdkugel ihre Bahn mit wechselnder Geschwindigkeit durchläuft. Sie läuft im (Nord-)Winter, also in der Sonnennähe, schneller als im (Nord-)Sommer. Die „Wintergeschwindigkeit“ beträgt 31 km/s, die „Sommergeschwindigkeit“ 29 km/s. Aus diesem Umstand folgt weiter, daß die Jahreszeiten von ungleicher Länge sind. Für das Sommerhalbjahr ergeben sich 186 und für das Winterhalbjahr 179 Kalendertage (im Schaltjahr 180 Tage).

Erwähnt sei schließlich noch, daß die Jahreszeiten eine Folge davon sind, daß die Rotationsachse der Erdkugel auf ihrer Bahn nicht senkrecht steht, sondern mit ihr einen Winkel von 66,5 Grad bildet.

Zwischen Weltraum und Erde

Die Oberfläche der Erde grenzt nicht unmittelbar an den Weltraum, sondern zwischen beiden Bereichen liegt die in mehrere Stockwerke gegliederte *Atmosphäre* der Erde. Sie ist Schauplatz der zwischen Weltraum und Erde bestehenden Wechselwirkungen.

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 *Strato-*

sphäre bis etwa 100 km Höhe an, während das dritte „Stockwerk“, die *Ionosphäre*, eine Höhe von ungefähr 400 km erreicht (mit ihren letzten Ausläufern mindestens 1000 km). Innerhalb der Ionosphäre werden noch verschiedene „Zwischenstockwerke“ unterschieden. Schließlich liegt zwischen der Ionosphären­grenze 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.

Kosmische Einflüsse auf die Erde

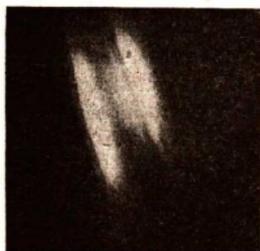
Die Erde ist in vielen Erscheinungen von kosmischen Einflüssen abhängig. Ohne die Sonnenstrahlung würde es keine irdischen Lebensvorgänge und in der Atmosphäre sowie an der Erdoberfläche keine Witterungserscheinungen und Bewegungen der Luft- und Wassermassen geben. Die Sonne ist somit der große kosmische Motor, der die Weltmeere in Bewegung hält und an ihren Oberflächen Wasser zur Verdunstung bringt. Dadurch bilden sich regenführende Wolken, die von den Luftströmungen, die ihre Wirkung gleichfalls der Sonnenstrahlung verdanken, über die Festländer getragen werden.

Daneben sind zahlreiche andere kosmische Einwirkungen auf die Erde bekannt, die mit den Veränderungen auf der Sonne zusammenhängen. Als Beispiele sollen hier das Problem der Funkstörungen und die Erscheinung des Polarlichtes angeführt werden.

Es ist schon lange bekannt, daß es sich bei der Ionosphäre um Schichten der Erdatmosphäre handelt, die elektrisch leitend sind und die bestimmte, von den Rundfunksendern ausgestrahlte elektro-magnetische Wellen zurückwerfen. Auf solche Weise gelingt es der Funktechnik, elektro-magnetische Wellen um die Erde zu senden. Treten nun auf der Sonne Störungen auf, wie wir sie in den Sonnengewittern und Sonnenflecken kennengelernt haben, so breitet sich innerhalb der Ionosphäre ebenfalls eine starke Störungswelle aus. Diese unterbricht für kürzere oder längere Zeit deren Reflexionsfähigkeit gegenüber den Funkwellen, so daß es zu empfindlichen Funkstörungen und Funkstillen kommt.

Das Einfallen von elektrisch geladenen Teilchenströmen aus den Störungsfeldern der Sonne in die Erdatmosphäre ist vielfach vom Auftreten ausgedehnter Polarlichter begleitet. Derartige Erscheinungen sind in der Regel auf die Polargebiete der Erde beschränkt. Sie dringen jedoch im Sonnenfleckenmaximum, wenn die Störungen ihren Höhepunkt erreichen, auch bis in die Breite von Mitteleuropa vor.

Die Polarlichter entstehen dadurch, daß die von der Sonne ausströmenden Teilchen außerhalb der Erdatmosphäre vom Magnetfeld der Erde erfaßt und nach



Polarlichterscheinung

den magnetischen Polen abgelenkt werden. Hier strömen sie in die Hochatmosphäre hinein und rufen infolge ihrer Einwirkungen auf den atmosphärischen Stickstoff und den Sauerstoff den als Polarlicht bezeichneten Leuchtprozeß hervor. Das Polarlicht ist das äußere Kennzeichen eines gewaltigen magnetischen Sturms, der zu solchen Zeiten die Erdatmosphäre durchtobt.

In die Atmosphäre fallen auch noch andere Strahlungen ein, die ebenfalls vorwiegend von der Sonne kommen. Desgleichen dringen unentwegt Meteore und große Mengen feinsten kosmischen Staubes in die hohe Atmosphäre ein. Die sich hier darbietenden Berührungsflächen zwischen Erde und Weltall werden gegenwärtig genau untersucht. Das geht besonders aus dem Programm der Erdsatelliten hervor. Inwiefern von der Sonne oder aus dem Weltraum her Einflüsse auf das Wetter, auf die Gesundheit der Menschen oder auf die irdischen Wachstumsprozesse bestehen, ist noch nicht ausreichend erforscht.

Diese Fragen 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. Seine Wurzeln reichen bis in das Altertum zurück. Damals setzten die Babylonier die Planeten den Göttern gleich. Sie gaben den Planeten auch die Namen ihrer Götter und übertrugen damit gleichzeitig die den Göttern unterstellten Eigenschaften auf die Planeten. Außerdem liegt der Astrologie ein Denken zugrunde, das nur im geozentrischen Weltsystem entstehen konnte. 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 sämtliche Voraussetzungen entzogen. Trotzdem findet die Sterndeutung in den kapitalistischen Ländern auch heute noch vielfach Beachtung, namentlich bei solchen Menschen, deren Wissen von der Natur völlig 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. 29/30).

Wir können heute mit völliger 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 384403 km seine Bahn um die Erde. Durch seine von der Kreisform abweichende Bahn ändert sich laufend der Abstand von der Erde. Der erdfernste Punkt ist mit 406700 km erreicht, der erdnächste liegt bei 356400 km. Der Durchmesser des



Mondoberfläche bei Vollmond

Mondes beträgt nur 3476 km, während seine Masse lediglich $\frac{1}{81}$ der Erdmasse umfaßt.

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 Sternenhimmel bezogenen Bewegung des Mondes.

Im Fernrohr zeigt die Mondoberfläche ein sehr eindrucksvolles Bild. 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 9000 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 sie wird heute meistens der Ausdruck „Ringgebirge“ verwendet. 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.

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 ist infolgedessen das Ziel der Menschen, mit Hilfe von Mondraketen auch seine „Rückseite“ kennenzulernen.

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 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,

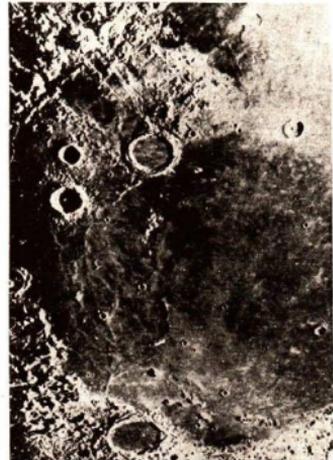
empfängt er auch die gleichen Strahlungsmengen je Quadratmeter seiner Oberfläche. Auf der Erde wird die Sonneneinstrahlung durch die Atmosphäre weitgehend daran gehindert, wieder in den Weltraum zu entweichen. Auf dem Monde ist dies nicht der Fall. Infolgedessen bestehen zwischen den Tages- und Nachttemperaturen 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 $+130^{\circ}\text{C}$ auf. In der Nacht dagegen sinken die Temperaturen bis auf -150°C ab.

In jüngster Zeit ist die Erforschung der Mondoberfläche mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen betrieben worden. Dabei ist es gelungen, irdische Funkwellen zum Monde zu senden, wo sie von der Mondoberfläche zurückgeworfen werden. Aus dem Echo der elektro-magnetischen Wellen, die nach der Zurückwerfung durch die Mondoberfläche von Empfängern auf der Erde wieder aufgenommen werden, kann geschlossen werden, daß die Mondoberfläche nicht felsig-starr ist, sondern von einer dicken Staubschicht bedeckt zu sein scheint. Diese besitzt eine Stärke von etwa einem Meter. Die Staubschicht ist wahrscheinlich durch die großen Temperaturunterschiede, die die Oberflächen-gesteine 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 in den Volksschichten, denen in der kapitalistischen Vergangenheit Bildung und Anteil am geistigen Leben vorenthalten wurden. 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 wurden auch den verschiedenen Phasen der Lichtgestalten des Mondes vielfach Einflüsse auf alle möglichen Erdvorgänge beigemessen. Viele Menschen glauben



Ausschnitt der Mondoberfläche mit Ringbergen

heute noch daran und verbreiten diese Märchen sogar. So sollen die Lichtgestalten einmal das Wetter und zum anderen Krankheiten und Ernteaussichten beeinflussen. Das kommt zum Beispiel darin zum Ausdruck, daß manche Bauern nur an bestimmten Tagen und bei bestimmtem Mondlicht ihre Aussaat beginnen. Die moderne Wissenschaft hat nachweisen können, daß diese Ansichten auf einem sehr primitiven Aberglauben beruhen. 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.

Künstliche Monde der Erde

Eine überragende wissenschaftliche Bedeutung kommt den ersten künstlichen Monden der Erde zu. Mit dem Start des Sputniks 1 am 4. Oktober 1957 zeigte die sozialistische Sowjetunion der ganzen Welt, welchen hohen Stand die Raketentechnik in ihrem Lande erreicht hat. Diese schuf eine wesentliche Voraussetzung für das Gelingen des Fluges künstlicher Monde oder Satelliten.

Um einen künstlichen Satelliten in eine kreisförmige Bahn um die Erde zu tragen, muß ihm von der Rakete eine Geschwindigkeit von 7,92 km/s erteilt werden. Bleibt die Geschwindigkeit kleiner, stürzt der Satellit unter dem Einfluß der Anziehungskraft zur Erde zurück. Übersteigt die Geschwindigkeit 7,92 km/s, wird die Bahn ellipsenförmig. Erreicht die Geschwindigkeit aber einen Wert von 11,2 km/s, so wird die Erdanziehung überwunden, und der Satellit fliegt in den Planetenraum hinaus. Das hat der erste sowjetische Sonnenplanet auch praktisch bewiesen.

Die Bahn von Sputnik 1 war eine Ellipse, wie wir sie nach der Begründung der Keplerschen Gesetze auch bei den Planeten kennengelernt haben. Dasselbe gilt für die Bahn von Sputnik 2, der am 5. November 1957 gestartet wurde, sowie für den am 15. Mai 1958 emporgesandten Sputnik 3. Während sich die sowjetischen Erdsatelliten als komplizierte Weltraumlaboratorien erwiesen, die sich gleichzeitig durch ein hohes Eigengewicht auszeichneten, blieben die ersten USA-Satelliten, die im Jahre 1958 gestartet wurden, mit ihren technischen Ausrüstungen und Abmessungen weit hinter den Sputniks zurück (vgl. Tabelle S. 32).

Zusammen mit den Sputniks haben auch die Trägerraketen Umlaufbahnen um die Erde beschrieben. Sie waren in der Hauptsache die sichtbaren Teile der Versuche, da sie als helle „Sterne“ über den Himmel dahinzogen und von vielen Menschen beobachtet werden konnten.

Mit diesen Experimenten, die noch vor wenigen Jahren utopisch erschienen, ist ein neues Zeitalter angebrochen. Damit wurde der erste Schritt getan, um einen alten Traum der Menschheit zu verwirklichen, nämlich in das Weltall hinaus zu fliegen. Der zweite Schritt folgte mit dem Abschub des ersten künstlichen Sonnenplaneten „XXI. Parteitag“.

Durch die Existenz der Satelliten hat der Mensch bewiesen, daß er die Gesetze der Bewegung im Weltall erkannt hat und sie beherrscht. Die Satelliten sind ein Beweis für die Gestaltungskraft des Menschen, der hier bewußt in den Kosmos eingreift und durch Anwendung der Naturgesetze die Herstellung von kleinen Weltkörpern zum Zwecke der Forschung betreibt.

Wenn wir die Erfahrung machen, daß die künstlichen erdnahen Satelliten nach einer bestimmten Umlaufzeit in der tieferen Erdatmosphäre verglühen, so läuft auch damit ein gesetzmäßiger Vorgang ab, der genau zu berechnen ist. Die Bahn eines künstlichen Erdsatelliten wird nämlich dadurch verändert, daß die hohe Erdatmosphäre die Bewegung bremst. Als Folge dieser Einwirkungen ergibt sich, daß die Satellitenbahn allmählich kreisförmig wird, wobei sich die Umlaufzeit verkürzt und nach Unterschreiten einer bestimmten Zeit (zumeist 90 Minuten) das Verglühen des Satelliten in tieferen und dichteren Luftschichten einsetzt. Dasselbe gilt für die Trägerraketen.

Die als Laboratorien ausgestatteten Satelliten haben zahlreiche neue Forschungsergebnisse erbracht und zum Fortschritt der Weltraumforschung und Astronomie wesentliche Beiträge geleistet. Insbesondere gilt dies für die Erforschung der in die irdische Hochatmosphäre eindringenden Strahlung der Sonne und für die kosmischen Staubmassen, von denen schon die Rede war. Weitere wichtige Erkenntnisse werden uns die künstlichen Sonnenplaneten bringen.

Aufgaben:

1. Die Erde durchläuft Anfang Januar den sonnennächsten Punkt. 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! – 5. Wieso zeugt der Start der Sputniks von der Überlegenheit der sowjetischen Wissenschaft?

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 Berichtform nieder! – 2. Überprüfen Sie die landläufige Wetterregel „Bei Mondwechsel erfolgt Witterungswechsel“, indem Sie regelmäßig entsprechende Beobachtungen anstellen und die Ergebnisse schriftlich festhalten! – 3. Beobachten Sie nach den Angaben in der Tagespresse den Überflug der sowjetischen Sputniks! –

Die sowjetischen Erdsatelliten

	Sputnik 1	Sputnik 2	Sputnik 3	Der sowjetische künstliche Planet
Starttag	4. Okt. 1957	3. Nov. 1957	15. Mai 1958	Starttag
Gewicht (Nutzlast)	83,6 kg	508,3 kg	1327 kg	Höchstgeschwindigkeit ...
Größte Höhe	925 km	1700 km	1880 km	1472 kg (ohne Brennstoff)
Kleinste Höhe	210 km	165 km	215 km	Perihel
Umlaufzeit (Anfang) ..	96,2 Min.	103,7 Min.	106 Min.	Aphel
Neigung der Bahn zum Erdäquator	64,3°	62,5°	65°	Größte Entfernung von der Erde
				Kleinste Entfernung von der Erde
				Umlaufzeit um die Sonne 447 Tage

Die amerikanischen Erdsatelliten

	Explorer 1	Explorer 2 (= Vanguard)	Explorer 3	Explorer 4	Atlas
Starttag	1. Febr. 1958	17. März 1958	26. März 1958	26. Juli 1958	19. Dez. 1958
Gewicht (Nutzlast)	14 kg	1,47 kg	14 kg	17,5 kg	3915 kg ¹
Größte Höhe	2450 km	3960 km	2800 km	2210 km	1006 km
Kleinste Höhe	370 km	650 km	190 km	260 km	186 km
Umlaufzeit (Anfang)	115,0 Min.	134,3 Min.	115,9 Min.	110,2 Min.	100 Min.
Neigung der Bahn zum Erdäquator	33,1°	34,3°	33,5°	50,3°	32°

¹ Nutzlast der „Atlas“-einschließlich Rakete; ein Vergleich mit den anderen Raketen, besonders mit den sowjetischen Sputniks, ist daher nicht möglich.

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. Sein Durchmesser wird allgemein mit 4800 km angegeben. Es besteht aber die Möglichkeit, daß er kleiner ist. Seine Masse erreicht nur $\frac{1}{6130000}$ 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.

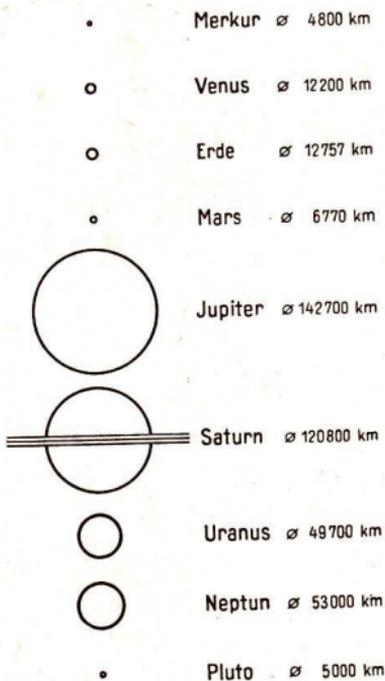
Lange Zeit war man der Meinung, der Merkur habe keine Atmosphäre. Neuerdings haben sich aber Anzeichen dafür ergeben, daß eine äußerst dünne Gashülle vorhanden ist, in der jedoch nur ein Druck von etwa 1 mm Quecksilbersäule auftreten dürfte.

Auf der von der Sonne beschienenen Halbkugel des Merkur liegen die Temperaturen bei $+400^{\circ}\text{C}$, während auf der von der Sonne abgewandten Halbkugel Temperaturen von -100°C gemessen wurden. Der Merkur kann somit kein höheres Leben tragen.

Im Gegensatz zum Merkur entsprechen die räumlichen Ausmaße der *Venus* weitgehend denen der Erde. Der Durchmesser der Venus beträgt 12200 km, so daß der Rauminhalt (Volumen) 0,876 des Rauminhalts der Erde umfaßt. Ihre Oberfläche liegt ständig unter dichten Wolken verborgen. Infolgedessen ist es schwierig, durch Beobachtungen am Fernrohr genauere Einzelheiten über die Beschaffenheit der Venusoberfläche zu ermitteln. Vermutlich vollziehen sich hier noch vulkanische Vorgänge. Neuerdings gilt es als wahrscheinlich, daß die Venusoberfläche auch offene Wasserflächen aufweist.

Die Atmosphäre der Venus enthält große Mengen Kohlendioxyd, doch schweben darin vermutlich auch Eiskristalle. Damit wird das Vorkommen von Wasserdampf angedeutet.

An der Grenze der Atmosphäre der Venus wurden Temperaturen von -39°C gefunden,



Größenverhältnisse der Planeten

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°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. Jetzt hat sich jedoch ergeben, daß die Venus in 22 Std. 17 Min. rotiert, so daß ein Venus-tag 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, während sein Volumen nur 0,15 des Erdvolumens erreicht. Mars rotiert in 24 Std. 27 Min. 23 Sek. um seine Achse. Während eines Sonnenumlaufs, der 687 Tage dauert, kann sich der Mars der Sonne bis auf 207 Millionen km nähern und bis auf 249 Millionen km von ihr entfernen. Auf Grund des Bahnunterschieds kann der Abstand des Planeten von der Erde zwischen 400 Millionen km und 57 Millionen km schwanken.

Im Fernrohr zeigt der Mars gelblich-rote und dunkle Gebiete, die früher für Kontinente und Meere gehalten wurden. Heute kann man sagen, daß die Marsoberfläche außerordentlich trocken ist, so daß sie überall einen wüstenähnlichen Charakter haben dürfte. Offene Wasserflächen kommen nicht vor. 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 bestehen, die lange Zeit ohne größere Feuchtigkeit auskommen können.

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 Weltraum 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



Der Mars

äußerlich eine gewisse Ähnlichkeit mit den polaren Eispanzern der Erde zeigen. Sie bestehen aber nicht aus dickem Eis, sondern aus feinen Reifbildungen. 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.

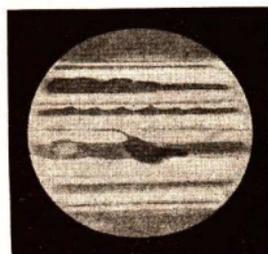
Die mittlere Temperatur auf dem Mars liegt bei -15°C . Hinter diesem Durchschnittswert verbergen sich aber ganz erhebliche Extremtemperaturen. In den von der Sonne senkrecht beschienenen Gebieten erreichen sie mittags bis zu $+20^{\circ}\text{C}$, nachts gehen sie dagegen bis auf -40°C zurück. In den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

Die vielbesprochenen Marskanäle existieren nach neueren Untersuchungen nicht. Obwohl diese Erscheinungen seit dem Jahre 1877 angeblich beobachtet wurden, ist es niemals gelungen, die feinen Strichnetze zu fotografieren. Selbst mit den größten Fernrohren haben sich keinerlei Marskanäle nachweisen lassen.

Der Mars wird von zwei Monden, Phobos und Deimos, umlaufen. Die Durchmesser beider Monde betragen nur 58 und 16 km, so daß diese sehr schwierig zu beobachten sind. Ihre Umlaufzeiten um den Mars betragen 7 Std. 39 Min. für Phobos und 30 Std. 18 Min. für Deimos.

Riesenplanet Jupiter

Jupiter ist der größte Planet des Sonnensystems. Sein Äquatordurchmesser mißt 142700 km; der polare Durchmesser ist um 9500 km kürzer. Der Planet weist also eine merkliche Abplattung auf. Sein Rauminhalt übertrifft die Größe der Erdkugel 1394 mal, doch ist seine Masse nur 317mal so groß wie die der Erde. Vergleichen wir Masse und Volumen miteinander, so ergibt sich aus der Division $317 : 1394$ das Dichteverhältnis des Jupiter zur Erde, das 0,23 der Erddichte beträgt.

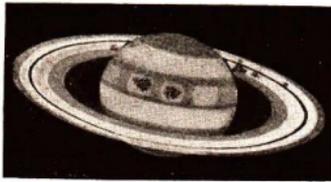


Der Jupiter

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. Diese Erscheinungen sind wahrscheinlich Spiegelbilder von Vorgängen an der eigentlichen Planetenoberfläche, deren Bild vermutlich noch stark vulkanisch bestimmt ist. Hierfür sprechen auch die Gase Methan und Ammoniak, die in der Jupiterhülle stark vertreten sind.

Die Rotation der riesigen Jupiterkugel vollzieht sich in 9 Std. 50,5 Min. Der Sonnenumlauf dauert 11 Jahre und 315 Tage.

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



Der Saturn

Saturn und sein Ringsystem

Das schönste Bild unter den Planeten der Sonne zeigt der Saturn, der im Fernrohr von einem prächtigen Ringgebilde umgeben erscheint. Als Weltkörper ist der Saturn nur wenig kleiner als der Jupiter. Der Äquatordurchmesser des Planeten mißt 120800 km, doch ist der polare Durchmesser 11800 km kürzer, so daß die Abplattung größer ist als beim Jupiter. Die Rotation des Saturn dauert 10 Std. 14 Min.

Das Fernrohrbild der Planetenoberfläche gleicht fast dem Anblick des Jupiter. Es gibt aber nicht die eigentliche Planetenkruste, 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 nämlich 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 Saturnrings beträgt 276700 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 1428 Millionen km. Auf Grund seiner großen Entfernung von der Sonne herrschen auf dem Saturn durchschnittlich Temperaturen von etwa -140°C .

Uranus, Neptun und Pluto

Über diese drei Planeten sind nur wenige physikalische Einzelheiten bekannt. Uranus und Neptun gleichen einander insofern, als in ihren Atmosphären Methan vorkommt. Außerdem sind sie fast gleich groß. Der äquatoriale Durchmesser des Uranus mißt 49700 km, der des Neptun 44600 km. Infolge ihrer großen Entfernungen von der Sonne findet man auf beiden Planeten nur noch Temperaturen von -200°C . Ähnliches gilt auch für den Pluto, der jedoch wesentlich kleiner ist als die Erde. Sein Durchmesser mißt 5870 km. An seiner Oberfläche dürften die Temperaturen nicht über -230°C liegen.

Über die sonstigen Zahlenbeziehungen in den Entfernungen der Planeten gibt die Tabelle auf S. 17 näheren Aufschluß.

Ergänzende Werte sind aus der folgenden Tabelle zu ersehen:

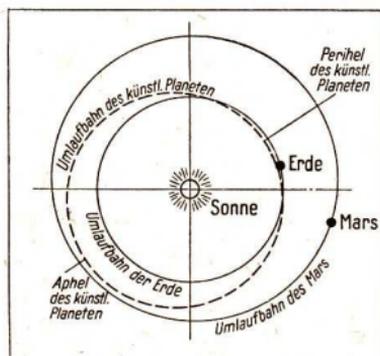
Physische Eigenschaften der Planeten

Planet	Äquator- durch- messer km	Rotations- zeit		Masse (Erde = 1)	Volumen (Erde = 1)	Abplattung	Zahl der Monde
		Std.	Min.				
Merkur	4 800	—	—	0,055	0,053	—	—
Venus	12 200	22	16	0,814	0,876	—	—
Erde	12 756	23	56	1,000	1,000	1 : 298,4	1
Mars	6 800	24	37	0,107	0,150	1 : 200	2
Jupiter	142 700	9	50	317,0	1394,0	1 : 15	12
Saturn	120 800	10	14	94,8	847	1 : 10	9
Uranus	49 700	11	—	14,51	59	1 : 15	5
Neptun	44 600	15	50	17,19	51,8	—	2
Pluto	5 870	—	—	1,006	—	—	—

Der erste von Menschenhand geschaffene Planet

Seit dem 7. Januar 1959 kreist ein neuer kleiner Planet um die Sonne. Es ist die am 2. Januar 1959 gestartete kosmische Rakete „XXI. Parteitag“, deren Schöpfer sowjetische Wissenschaftler, Techniker und Arbeiter waren. Im Gegensatz zu den anderen kleinen Planeten, die im wesentlichen im Raum zwischen Mars und Jupiter um die Sonne kreisen, zieht er zwischen den Bahnen von Erde und Mars seine Kreise, wobei er eine Höchstgeschwindigkeit von 32 km/s erreicht. Der sonnennächste Punkt seiner Bahn liegt bei 146,4 Millionen km, seine größte Entfernung bei 197,2 Millionen km. Zu einem Umlauf um die Sonne benötigt er 447 Tage, also rund 15 Monate. Etwa alle fünf Jahre erreicht er seine größte Erdnähe, wird aber auch dann noch einige Millionen Kilometer von ihr entfernt sein. Wegen seiner Kleinheit entzieht er sich allerdings der unmittelbaren Beobachtung von der Erde aus, sofern er nicht in Zukunft einmal der Erde besonders nahe kommt oder sich die Beobachtungsmethoden wesentlich verbessern.

Mit der Entsendung des ersten künstlichen Planeten hat der Mensch begonnen, auch den Kosmos zu verändern, nachdem er bisher die Erde weitgehend umgestaltet hat. Der Ruhm, diesen ersten Schritt ins All getan zu haben, gebührt für alle Zeiten den Menschen der sozialistischen Sowjetunion.



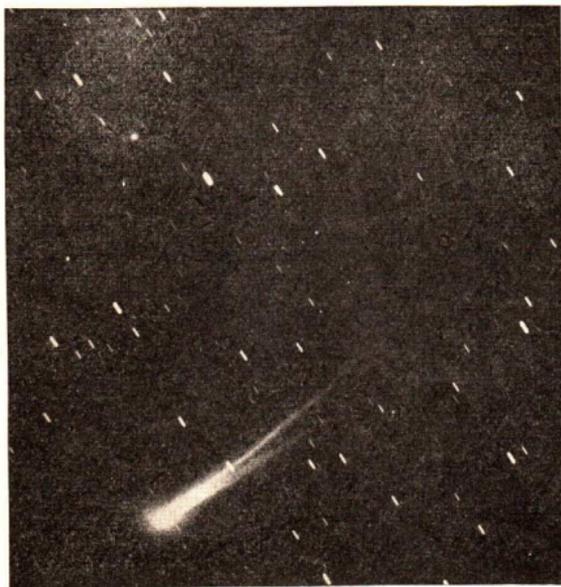
Umlaufbahn des künstlichen Planeten

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 Erscheinungen des nächtlichen Himmels sind. Sie erscheinen unter den Sternen als nebelförmige Gebilde, die sich in der Regel durch einen mehr oder weniger ausgeprägten Schweif auszeichnen.

Das typische 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. 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 energie-



Aufnahme eines Kometen

reichen Sonnenstrahlung bilden sich an den Bestandteilen des Kometenkopfes Verdampfungen und Vergasungen, die aus dem Kometenkern hervortreten und nach rückwärts gedrängt werden. Dabei kommt es zur Herausbildung des Kometenschweifs, der vorwiegend aus Verbindungen des Kohlenstoffs und Wasserstoffs besteht. Er erscheint immer von der Sonne abgekehrt.

Die Masse eines Kometen ist sehr klein und läßt sich bequem in einem Ozeandampfer verfrachten.

Insgesamt sind etwa 100 kurzperiodische Ko-

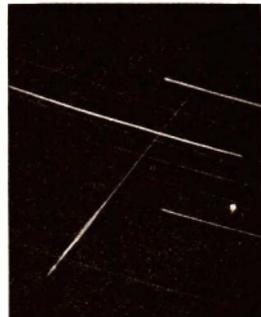
meten (mit Umlaufzeiten bis zu 100 Jahren) bekannt. Die Gesamtzahl der zum Sonnensystem gehörigen Kometen wird auf 100 Milliarden geschätzt. Allerdings beschreiben die meisten dieser Kometen ihre Bahnen in sehr großen Sonnenentfernungen. Sie reichen vereinzelt bis in die Nähe der nächsten Fixsterne.

Meteore

Meteore sind Leuchterscheinungen des Himmels, die auch als *Sternschnuppen* bezeichnet werden. Fallen sie auf die Erde herab, werden sie *Meteorite* genannt. 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; andere rühren aus Zerstörungen von kleinen Planeten her; wieder andere kommen wahrscheinlich, wenn auch in sehr geringer Zahl, aus dem Weltall außerhalb des Sonnensystems. Ihr Gewicht kann zwischen wenigen Milligramm und einigen Tonnen schwanken.

Die Meteore 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 Meteor- oder Sternschnuppenfällen kommt.

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



Aufnahme einer Sternschnuppe

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. 19). Diese erstreckt sich weit in den Raum der Planeten hinein und reicht über die Erdbahn hinaus. Von der Existenz einer solchen Staubhülle haben die Sputniks 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 an staubförmigen Massen in Sonnennähe reflektiert.

Schlußfolgerung

Der physische Aufbau des gesamten Sonnensystems zeigt die völlige Einheitlichkeit der daran beteiligten kosmischen Stoffe. Die Bestandteile der Sonne sind angesichts der dort herrschenden hohen Temperaturen gasförmig. Einen solchen Zustand werden 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 sich 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) bzw. kurz vor Sonnenaufgang (als Morgenstern)! – 2. Stellen Sie die Größenverhältnisse der Planeten zeichnerisch dar! Benutzen Sie dazu die Übersicht auf S. 37! (1000 km \cong 1 mm). – 3. Erklären Sie die Begriffe „Komet“, „Meteor“, „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!)

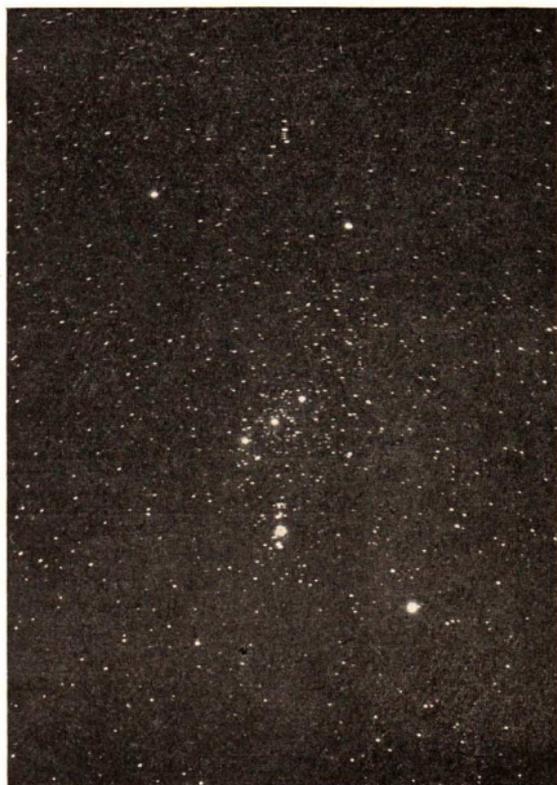
DAS WELTALL

Die Fixsterne

Die Sternbilder

Bei einer Betrachtung des nächtlichen Himmels fällt auf, daß es schwächere und hellere Sterne gibt. Die hellen Sterne sind zahlenmäßig am wenigsten vertreten. Sie lassen sich vielfach zu geometrischen Figuren verbinden, so daß bestimmte Kennzeichen für einzelne Gruppen heller Sterne gewonnen werden, die ihr Auffinden am Himmel erleichtern. In ähnlicher Weise sind die Menschen auch im Altertum verfahren. Sie zierten den Himmel mit Sternbildern, die ihrer Einbildungskraft entstammten und vielfach mythischen Vorstellungen entnommen waren.

Betrachten wir als bekanntestes Beispiel den Großen Bären. „Großer Bär“ wurde er von den Griechen genannt. Bei den Germanen war dafür die Bezeichnung „Himmelswagen“ oder „Großer Wagen“ gebräuchlich. Der Große Bär wird aus sieben fast gleich hellen Sternen gebildet. Was im Großen Bären als Bärenschwanz



Sternbild des Orion

angesehen wird, ist im Großen Wagen die Deichsel. Wir finden dieses Sternbild zu allen Jahreszeiten mehr oder weniger hoch über dem Horizont. Verfolgen wir seinen Lauf am Himmel, so stellen wir fest, daß es im bestimmten Abstand einen Punkt des Himmels, den Himmelspol, umkreist. In unmittelbarer Nähe des Himmelspols steht in einer sonst sternarmen Umgebung ein heller Stern, der Polarstern.

Man kann den Polarstern leicht auffinden, indem man die „hinteren“ Sterne im Viereck des Großen Bären um das Fünffache verlängert. Der Polarstern gehört zum „Kleinen Bären“, einem Sternbild, das wie eine verkleinerte Wiedergabe des „Großen Bären“ aussieht.

Das gesamte Himmelsgewölbe scheint sich im Laufe eines Tages um den Himmelspol zu drehen. Wir können diese Bewegung erkennen, wenn wir eine Photokamera auf den Polarstern richten und das schwache Sternlicht etwa zwei Stunden auf die Photoschicht einer Platte oder eines Films einwirken lassen. Dann zeigen sich strichförmige Spuren der Sterne, die sich zu einem vollen Kreis ergänzen lassen.

Die darin zum Ausdruck kommende Bewegung der Himmelskugel ist jedoch nur eine scheinbare Bewegung. In Wirklichkeit dreht sich die Erde von Westen nach Osten um ihre Achse. So erklärt sich der Aufgang der Gestirne im Osten und ihr Untergang im Westen.

Die Namen der Sternbilder des Altertums haben sich bis heute erhalten. Sie stellen reine Phantasiegebilde dar, die ganz anders aussehen würden, wenn wir die einzelnen Sterne, die zu jenen Gruppierungen gehören, aus größerer Entfernung oder aus anderer Richtung betrachten könnten. Insgesamt finden wir am Nord- und Südhimmel 88 Sternbilder. In der heutigen Himmelskunde spielen sie nur noch zur Kennzeichnung der einzelnen Bereiche des Himmels eine Rolle.

Zahl und Helligkeit der Sterne

Die unterschiedlichen Helligkeiten der Sterne haben Veranlassung dazu gegeben, alle Sterne in bestimmte Größenklassen oder Helligkeitsstufen einzuteilen. Diese Helligkeitsmerkmale sind aber kein Ausdruck für die Entfernungen der Sterne von der Erde, das heißt, die hellsten Sterne sind nicht immer die nächsten Sterne. Es sind ebenso zahlreiche sehr schwache 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. In einem Fernrohr mit einem Durchmesser von 25 cm können bereits 10 Millionen Sterne festgestellt werden.

Alle Sterne sind von den Astronomen in Sternkarten eingetragen worden. Auf diese Weise sind umfangreiche *Sternatlanten* entstanden. Noch viel größer ist die Zahl der Sterne, die nur in *Sternverzeichnissen* erfaßt sind. Dabei hat jeder Stern am Himmel einen genauen Ort nach „Länge“ und „Breite“ erhalten, und zwar ebenso, wie jeder Punkt auf der Erdoberfläche geographisch festgelegt ist.

Die Farben der Sterne

Bei genauer Betrachtung des gestirnten Himmels fällt auf, daß die Sterne auch in ihren Farben Unterschiede zeigen. Manche strahlen gelbliches Licht aus, andere leuchten bläulich-weiß oder rötlich. In diesen Eigentümlichkeiten treten uns Eigenschaften der Sterne entgegen, die von ihrer Temperatur abhängig sind. Das bedeutet, daß die roten Sterne eine geringere Temperatur aufweisen als die bläulich-weißen 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.

Spektrum und Aufbau der Sterne

Läßt man das Sternlicht durch ein Prisma fallen, so erhält man ebenso wie beim Sonnenlicht ein Spektrum. In einem solchen Sternspektrum zeigen sich viele interessante Einzelheiten, von denen aus man auf die Eigenschaften der Sterne schließen kann. Ebenso verschiedenartig, wie die Sterne dem bloßen Auge erscheinen, ist auch ihr Spektrum. Die Astronomen mußten daher auch hier bestimmte Gruppenbildungen vornehmen und faßten Sterne mit gleichen oder ähnlichen Spektren zu sogenannten Spektralklassen zusammen.

Allgemein können wir die Feststellung treffen, daß die Sterne gasförmig sind. Das gilt auch für ihr Inneres, deren Erforschung eine Angelegenheit der Astrophysik und der Atomphysik geworden ist.

Weiterhin hat sich herausgestellt, daß in den Sternspektren keine Anzeichen für das Vorkommen unbekannter Elemente auf den Sternen vorhanden sind. Das beweist, daß die Fixsterne im Aufbau unserer Sonne ähneln.

Außerdem ist damit ein weiterer Beweis erbracht, daß das gesamte Weltall aus den gleichen Stoffen aufgebaut ist, daß es also materiell eine Einheit bildet.

Temperaturen der Sterne

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 Sternentemperatur bestimmen. Dabei hat sich gezeigt, daß die Sonnensterne auch eine der Sonne entsprechende Temperatur von etwa 6000°C besitzen. Diese Temperatur bezieht sich auf die strahlende Oberfläche der jeweiligen Sterne. Bei den rötlichen und roten Sternen finden wir Temperaturen zwischen 3000°C und etwa 5000°C , während bei den weißen und blauen Sternen Temperaturwerte zwischen 8500°C und 25000°C auftreten. Vereinzelt sind bei sehr hellen Sternen auch Temperaturen bis zu 50000°C und darüber gemessen worden.

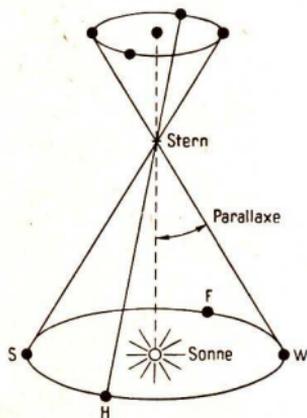
Entfernungen der Sterne – Das Lichtjahr

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, die fast unlösbar erschienen.

Zur Entfernungsmessung verwenden die Astronomen zunächst die gleichen Methoden wie die Landvermesser, wenn diese auf der Erdoberfläche große Entfernungen bestimmen. Diese führen Winkelmessungen und eine Streckenmessung (Standlinie) durch und gelangen dann durch Berechnungen zu ihrem Ziel, ohne in der Landfläche direkte Abmessungen mit einem Metermaß durchgeführt zu haben (Triangulation).

Die Bestimmung der Entfernung der Fixsterne ist eng mit den wissenschaftlichen Beweisen für die Richtigkeit des Kopernikanischen Weltbildes verbunden. Die Widersacher des Kopernikus hatten nämlich eingewandt, daß sich die Bewegung der Erde um die Sonne in einer geringfügigen Bewegung der Sterne widerspiegeln müsse.

Sehen wir uns dazu die Abbildung 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 einem 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 Jahre) 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 nun, daß der Stern im Jahreslauf tatsächlich eine geringe elliptische Bewegung ausführt, die das gesuchte Spiegelbild der Erdbewegung wiedergibt. Aus einer solchen Messung, die im Grunde eine sehr genaue Winkelbestimmung ist, läßt sich nun die Entfernung des beobachteten Sterns berechnen.

Die in der angegebenen Weise gefundene Verschiebung des Sternortes am Himmel, die in Wirklichkeit nur scheinbar erfolgt, bezeichnet man als *Parallaxe*. Sie drückt aus, unter welchem Winkel der Abstand der Erde von der Sonne erscheint, wenn von dem gemessenen Stern derartige Beobachtungen möglich wären.

Allerdings haben sich solche Verschiebungen als äußerst klein erwiesen. Sie konnten erst gefunden werden, als die astronomische Meßkunde und Meßgenauigkeit einen sehr hohen Stand erreicht hatte. Die größte bei einem Stern jemals gemessene Parallaxe beträgt 0,75 Bogensekunden. Das ist der 2560. Teil des scheinbaren Sonnendurchmessers. Es handelt sich dabei um den hellsten Stern des Sternbildes Centaur am Südhimmel, der in der Wissenschaft 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 38 Billionen km. Dabei ist „Alpha Centauri“ der nächste Fixstern, den wir am Himmel erkennen.

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, wenn er in das Weltall hinausleitet. Vom Lichtstrahl wissen wir, daß er in jeder Sekunde 300000 km durchmißt. Da ein Jahr rund 31,5 Millionen Sekunden hat, ergibt sich aus der Multiplikation von 300000×31500000 die Länge der Jahresstrecke des Lichts, nämlich fast 9,5 Billionen km. Diese ungeheure Entfernung ist ein Lichtjahr. Für „Alpha Centauri“ bedeutet dies, daß seine Entfernung von 38 Billionen km etwa 4 Lichtjahren entspricht.

Will man sich die als Lichtjahr bezeichnete Entfernung verdeutlichen, so muß man sich folgendes vorstellen: Ein Auto, das im Durchschnitt 100 km/h fährt, würde in ununterbrochener Fahrt mehr als 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 km/s. Es gibt aber auch Werte bis zu 100 km/s und mehr. Insgesamt sind heute von etwa 300 000 Sternen die Eigenbewegungen bekannt. Jedoch sind die davon am Himmel verursachten Ortsveränderungen der Sterne so gering, daß sie bestenfalls in etwa 20 000 Jahren eine Vollmondbreite erreichen.

Riesen und Zwerge unter den Sternen

Könnte man Sonne und Sterne immer aus der gleichen Entfernung untersuchen, d. h., 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 $\frac{1}{1000}$ der Sonnenleuchtkraft besitzen, während andere 100 000mal heller sind als 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 Hundertstel oder gar wenige Tausendstel 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 kann. 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 Doppelstern. Richten wir aber auf Mizar ein Fernrohr, so zeigt sich dieser Stern nochmals doppelt. Zwei Sterne bilden hier eine sehr enge Gemeinschaft, wie man sie außerdem noch bei etwa 30 000 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. Damit ist bewiesen, daß das Gesetz von der allgemeinen Schwerkraft im gesamten Weltraum gültig ist.

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 sehr geringe Massen beteiligt sind, die planetenähnlich zu sein scheinen. 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 Veränderungen der Sternoberfläche hervorgerufen, die sich vergrößert oder verkleinert und dadurch das Aufblähen und Zusammenziehen der Sternmaterie hervorruft. 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 Sekunden. 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 Lichtanstieg zeigen, der ihre Helligkeit um das 5000- bis 10000fache steigert. Schon nach 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 sich entwickeln läßt. Vielfach lösen sich dabei von der Sternoberfläche gasförmige Stoffe ab, die einer Nebelhülle gleichen und allmählich in den Weltraum entweichen.

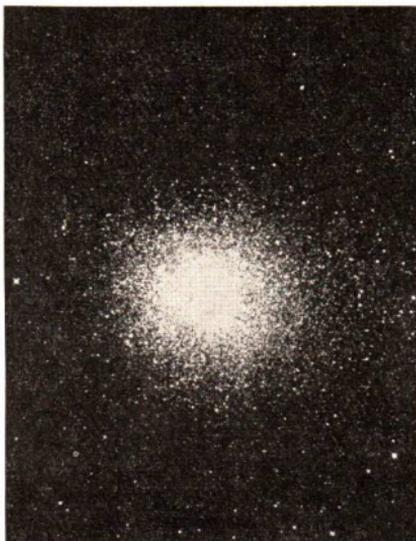


*Gas und Staub
zwischen den Sternen*

Photographische Aufnahmen aus der Sternwelt 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 Orionnebel, der bereits mit bloßem Auge zu sehen ist. Durchweg erscheinen die Nebel in unregelmäßigen Begrenzungen oder in Form feiner Fäden und Schleier.

Gasnebel

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 eigenen Strahlungen. Teilweise ist es so, daß die Staubwolken auftreffendes Sternlicht zurückwerfen, so daß von einem Reflexionsleuchten, ähnlich wie beim Monde 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, ohne dabei eine entsprechende Temperatur zu entwickeln. Die Nebel sind folglich kalte Gebilde.



Kugelsternhaufen im Sternbild Herkules

Weite Gebiete des Raumes zwischen den Sternen sind von nicht leuchtenden Staubmassen erfüllt, die das Licht der hinter ihnen stehenden Sterne entweder stark schwächen oder völlig auslöschen. Dem Staub sind metallische Teilchen von mikroskopischer Winzigkeit beigemischt. 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.

Es gilt jetzt als sicher, daß Gas- und Staubbenebel bei der Entstehung der zur Zeit bestehenden Sterne eine wesentliche Rolle gespielt haben und auch heute noch spielen.

Sternhaufen

Als „Sternhaufen“ werden zahlreiche am Himmel hervortretende Ansammlungen von Sternen bezeichnet, die unter sich eine Zusammengehörigkeit zeigen. 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 photographischen 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.

Aufgaben:

1. Sternbilder sind reine Phantasiegebilde. Begründen Sie diese Behauptung! –
2. Wie ist es den Astronomen möglich, Schlüsse auf die Beschaffenheit der Fixsterne zu ziehen? –
3. Beschreiben Sie das Verfahren, nach dem Entfernungen im Weltraum gemessen werden! –
4. Wie lassen sich Helligkeitsschwankungen von Fixsternen 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. 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. Ihre größte Helligkeit erreicht sie im Hochsommer, wenn sie von Süden her zum hohen Osthimmel aufsteigt und von dort nach Norden niedersinkt.

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 Fernrohr auf den milchigen Schimmer des Nachthimmels, so lösen sich die Lichtschleier in unzählige Sterne auf. Die Milchstraße stellt also eine



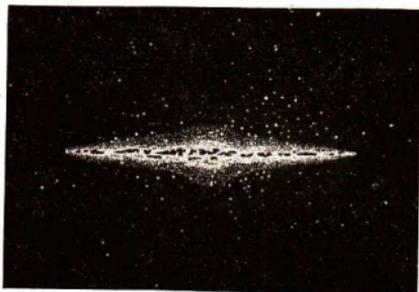
Milchstraße im Sternbild Cepheus

gewaltige Ansammlung von Sternen dar, die meistens viele tausend Lichtjahre voneinander entfernt sind. 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 die Kugelsternhaufen weiter von ihr entfernt sind. Desgleichen treten die hellen Nebel und die dunklen Staubwolken des Weltalls in der Nähe des Milchstraßenbandes häufiger auf als an anderen Stellen des Himmels. 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



Das Milchstraßensystem im Querschnitt

geplattetes Sternensystem ist, das etwa mit der Gestalt eines Wagenrades verglichen werden kann.

Die Untersuchung des feineren Aufbaus der Milchstraßenwelt ist erst in den letzten Jahrzehnten in Angriff genommen worden und hat auch in unseren Tagen noch 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.

Genaue Sternzählungen 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 vorwiegend aus Sternen, Gas und Staub zusammengesetzt sind. Neuerdings hat die Radioastronomie diese Feststellung durch Beobachtungen von elektro-magnetischen Wellen, die aus der Milchstraße in die Erdatmosphäre eintreten, bestätigen und weitgehend ergänzen können.

Die Rotation der Milchstraße

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 Umlauf um den Mittelpunkt der Milchstraße. Die dabei von der Sonne entwickelte Umlaufgeschwindigkeit beträgt 270 km/s.

zeigen. Die Astronomen sprechen hierbei von Sternsystemen. Da auch die Sterne der Milchstraße zu einem solchen Sternsystem gehören, wird die von ihnen gebildete Sterneninsel als das *Milchstraßensystem* oder als die *Galaxis* (gr. = Milchstraße) bezeichnet. Zu diesem Sternsystem gehört auch die Sonne, deren Ort unter den Milchstraßensternen durch Messungen genau ermittelt werden konnte.

Weiterhin konnte festgestellt werden, daß die Milchstraße ein stark ab-

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 photographische 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 zahllose 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 photographisch 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 kugelförmig gestaltet.

Die Rotation der Galaxien läuft in gleicher Weise wie in der Milchstraßenwelt 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 schweben in kosmischen Weiten von 2 bis 3 Milliarden Lichtjahren.



Große Magellansche Wolke am Südhimmel

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. 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 elektro-magnetischen Strahlungen 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 Spiralwindungen zeigt (vgl. Abb. S. 57). 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 1,5 Millionen Lichtjahre; wahrscheinlich ist sie aber größer. Ebenso übertreffen seine räumlichen Ausmaße die Größenverhältnisse der Milchstraße, so daß dieses Sternsystem bereits zu den Riesengebilden zu gehören scheint.

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 zusammenzuballen scheinen.

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 Materie 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. Die Welt ist materiell, wie die Philosophen sagen.

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 Ries fernrohre sichtbar 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 folglich 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. Daher können wir die Entwicklung der ganzen Sternenwelt erforschen und begreifen.

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!

AUS DER ENTWICKLUNGSGESCHICHTE DES WELTALLS

Grundzüge der kosmischen Entwicklung

Wir haben bisher erkannt: Das Weltall ist seiner Natur nach materiell. Alle Vorgänge in ihm sind für den Menschen erkennbar. So können wir uns auch den Gang der kosmischen Entwicklung vorstellen und erklären.

Die moderne Astronomie hat eindeutige Beweise dafür erbracht, daß in der Sternenwelt *Entwicklungsvorgänge* ablaufen. Diese wirkten nicht nur in der Vergangenheit, sondern auch heute und werden auch in aller Zukunft wirksam sein.

In ihren Erscheinungsformen ist die Materie ungemein mannigfaltig. Sie ist ewig und in ihren Grundformen unzerstörbar. Sie ist nicht entstanden und stammt auch nicht aus dem Nichts, sondern sie war immer gegenwärtig. Indessen wandeln sich ihre *Zustandsformen*.

Die Daseinsweise der Materie ist die *Bewegung*. Wir finden sie bereits in den einfachsten Formen der Materie. Die Bewegung ist nicht ziellos, sondern verläuft in bestimmten Bahnen. Wenn aber Form und Bewegung natürliche Eigenschaften der Materie sind, so war auch kein Eingreifen eines Schöpfers erforderlich, um innerhalb der von Ewigkeit her existierenden Materie das Signal zu einer Entwicklung zu geben.

Die Gesetzmäßigkeit der Entwicklungsprozesse im Weltall bedeutet nicht, daß alle Vorgänge nach einem einheitlichen Schema ablaufen. Es gibt durchaus Unterschiede in den äußeren Formen der Entwicklungsbilder, z. B. spiralförmige oder unregelmäßige Galaxien. Sie sind nicht immer ein Ausdruck für verschiedene Entwicklungsstufen, sondern auch für verschiedene Entwicklungswege. Dasselbe gilt für die Sterne, unter denen wir massereiche und massearme Körper kennen.

Zum Verständnis dieser Zusammenhänge haben insbesondere die Forschungen in der Sowjetunion zahlreiche Beiträge geliefert. Derartige Untersuchungen stützen sich konsequent auf den dialektischen Materialismus. *Friedrich Engels* charakterisierte den Zusammenhang zwischen Natur und Dialektik wie folgt:

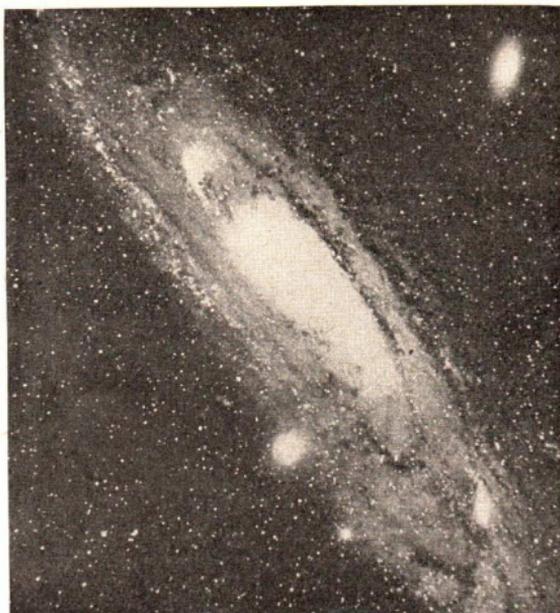
Die Dialektik erfaßt „die Dinge und ihre begrifflichen Abbilder wesentlich in ihrem Zusammenhang, ihrer Verkettung, ihrer Bewegung, ihrem Entstehen und Vergehen“. „Die Natur ist die Probe auf die Dialektik, und wir müssen es der modernen Naturwissenschaft nachsagen, daß sie für diese Probe ein äußerst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

In bezug auf das Weltall können wir daraus schließen, daß seine heutigen Formen aus weitläufigen Entwicklungen hervorgegangen sind. Wären sie das Ergebnis einer „Schöpfung“, so müßten sie alle gleichaltrig sein. Das ist nicht der Fall; denn es gibt ältere und jüngere Galaxien und ebenso alte und junge Sterne.

Das Alter der Gestirne

Über das Alter der Galaxien, Sterne und der Erde lassen sich heute sehr verlässliche Angaben machen. Freilich bezieht sich dieses Alter nur auf die Zeit, die seit dem Beginn ihrer Bildung verstrichen ist. Hinweise auf das Alter des Milchstraßensystems bieten neben anderen Merkmalen die Sternhaufen, die nicht beliebig lange als offene oder kugelförmige Anhäufungen von Sternen existieren können. Durch die verschiedensten innerhalb der Milchstraße wirksamen Kräfte wie Bewegung und Schwerkraft werden die Sternhaufen allmählich aufgelöst. Es läßt sich deshalb berechnen, wie lange ein Sternhaufen in seiner heutigen Form bestehen kann. Die gefundenen Zeiten liegen zwischen einer Milliarde und 10 Milliarden Jahren. Da alle Gebilde, die wir heute als Sternhaufen bezeichnen, noch keine Kennzeichen einer Auflösung zeigen, müssen sie durchweg jünger sein als 10 Milliarden Jahre. Man nimmt daher an, daß es Sternhaufen mit einem Alter zwischen einigen hundert Millionen und einigen Milliarden Jahren gibt.

Zu ähnlichen Ergebnissen haben auch die Untersuchungen der Entwicklungsalter der Sterne und der Sonne geführt. Wir kennen für zahlreiche Sterne deren Strahlungshaushalt. Das heißt, wir können angeben, welche Strahlungsmengen ein Stern ständig an den Weltraum abgibt. Da alle Strahlungsvorgänge mit dem Verbrauch von Energie verbunden sind, läßt sich berechnen, für welche Zeit der unveränderte Strahlungsprozeß erhalten bleiben kann. Entsprechende Berechnungen haben gezeigt, daß es Sterne gibt, die ein Alter von einigen Milliarden Jahren besitzen. Daneben sind sehr junge Sterne vorhanden, deren Alter kaum 10 Millionen Jahre beträgt. Die Entwicklung der letztgenannten Sterne hat also zu einer Zeit begonnen, als es auf der Erde bereits Leben gab. Zweifellos gibt es auch noch



Der Andromedanebel

jüngere Sterne, die erst vor kurzer Zeit entstanden sind oder noch heute entstehen. Unsere Sonne besitzt ein Alter von rund 5 Milliarden Jahren und gehört damit zu den entwicklungsmäßig älteren Sternen.

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 gleichaltrig.



Milchstraße im Sternbild Schwan (links der Nordamerikanebel)

Die Entwicklung kosmischer Systeme

Die Entstehung der Galaxien

Wir wissen heute, daß die Sterne aus gasförmigen Massen aufgebaut und daß im Raum zwischen den Sternen noch gewaltige Mengen gas- und staubförmiger Massen vorhanden sind. Die astronomische Wissenschaft schließt daraus, daß zu einem früheren Zeitpunkt am Anfang der kosmischen Entwicklung nur gas- und staubförmige Massen vorhanden waren, die das gesamte Weltall bis in die Unendlichkeit hinein erfüllten. Unter dem Einfluß der Schwerkraft, die überall dort wirksam wird, wo Masse vorhanden ist, begannen sich innerhalb der kosmischen Massen zunächst große kugelhähnliche oder kugelförmige Wolken aus Gas und Staub abzusondern. Die Größen solcher Gebilde waren offenbar recht unterschiedlich. Es gilt für die weitere Entwicklung als wahrscheinlich, daß sich die entstandenen Gebilde zu drehen begannen, wobei sie sich allmählich abplatteten und immer flacher wurden.

Während dieser Vorgänge traten an verschiedenen Stellen, vorwiegend in den äußeren Bereichen der Gas- und Staubkugel, bereits Verdichtungen ein, aus denen sich schließlich die ersten Sterne eines Systems bildeten. Wie noch zu zeigen sein wird, entstanden und entstehen Sterne niemals einzeln, sondern immer in großen Gruppen oder Kolonien. Die ersten Gruppegebilde könnten dabei die Kugelsternhaufen gewesen sein, die in den Außenbereichen derjenigen Gaswolke entstanden, aus der später das Milchstraßensystem hervorging. Jedenfalls würde ein in dieser Richtung verlaufender Vorgang verständlich machen, warum die Kugelsternhaufen nicht innerhalb der sternreichen Milchstraße, sondern in ihren äußeren Randzonen vorkommen.

Andere Gebilde nahmen einen davon abweichenden Entwicklungsverlauf. Er beweist, daß es kein einheitliches Schema für kosmische Entwicklungen gibt. Dieser Prozeß bestand darin, daß die sich allmählich abplattende Gas- und Staubkugel in eine Spirale überging. Möglicherweise haben sich dabei auch einige Abtrennungen größerer Teilwolken vollzogen. Schließlich gingen diese in Begleiter der großen Mutterwolken über, wie das in den beiden Nebensystemen des Andromedanebels und in den Magellanschen Wolken der Milchstraße sichtbar wird. Die große Spirale zerfiel schließlich in einzelne Sterne.

Die Entwicklung der Fixsterne

Wie schon erwähnt, bilden sich die Fixsterne aus den Wechselwirkungen zwischen gas- und staubförmigen Massen der einzelnen Sternsysteme. Nach der heute allgemein angenommenen Hypothese des sowjetischen Astronomen *Ambarzumjan* bilden sich die Sterne aus Verdichtungsprozessen nur in größeren und kleineren Gruppen. Eine solche Gruppe bezeichnet man als Assoziation. Innerhalb der Milch-



Spiralsystem im Sternbild Dreieck

straße sind zahlreiche Assoziationen entdeckt worden. Erst im Zuge der weiteren Entwicklung lösen sich die Assoziationen auf, so daß ihre ursprüngliche Zusammenghörigkeit nicht mehr ohne weiteres erkannt werden kann.

Welche Vorgänge zur Entstehung einer Assoziation führen, ist noch nicht eindeutig geklärt. Doch dürfte es sehr wahrscheinlich so sein, daß sich die kosmische Materie zu Kugeln verdichtet, die ganz beliebige Massen umschließen können. Früher waren die Astronomen der Meinung, alle Sterne hätten am Anfang die gleiche Masse

in sich vereinigt. Dies gilt aber nach neueren Vorstellungen als unwahrscheinlich. Offenbar verläuft die erste Phase der Sternentwicklung so, daß die zunehmende Verdichtung einer solchen Kugel zu einer ständigen Steigerung der inneren Temperatur führt, so daß ein zunächst rot leuchtender Stern entsteht. Die so sich bildenden Sterne können beliebige Massen haben; sie können in diesem Sinne von Anfang an sowohl Riesen- als auch Zwergsterne sein, die sich allmählich verdichten. Ist in ihrem Inneren die Temperatur auf etwa 20 Millionen Grad angestiegen, so entstehen die ersten Atomkernprozesse, von denen der weitere, sehr komplizierte Entwicklungsverlauf bestimmt wird. Dabei spielt auch die weiter ansteigende Außen- und Innentemperatur eine maßgebliche Rolle. Manche Sterne verdichten sich weiter, andere dehnen sich aus und ziehen sich wieder zusammen, so daß Veränderliche Sterne entstehen.

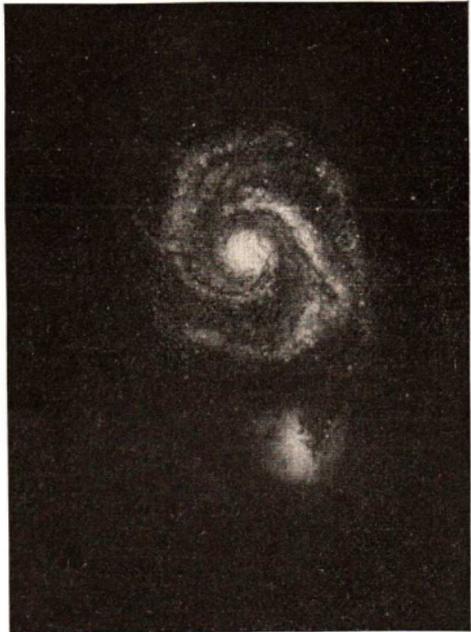
Die Entstehung der Planeten

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 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 und damit fixsternartige Körper gewesen sind. Die *Geologie*, die Wissenschaft vom Aufbau der Erde, nimmt dies für die Erde mit Gewißheit an. Sie vertritt die Auffassung, daß die Erde ein Sternzeitalter durchlief, das mit einem gasförmigen Zustand begann. Aus diesem Zeitalter verlief die weitere Entwicklung durch die voranschreitende Abkühlung zu einer zunächst flüssigen Zustandsform der Erde, aus der schließlich die erstarrte feste Erdkugel hervorging.

Über den Anfang des *Sternzeitalters 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



Spiralförmiges Sternsystem im Sternbild Jagdhunde

linsenähnliche Form an. Die innere Region dieser Staub- und Gaslinse 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 die massearmen und dabei der Erde weitgehend verwandten Planeten (Merkur, Venus, Mars und Pluto) verhältnismäßig rasch ihr eigentliches Sternstadium erreichten, dabei selbstleuchtend wurden, aber sehr bald in den schon erwähnten flüssigen Zustand übergingen und schließlich eine feste Oberfläche bildeten, während bei den großen Planeten (Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun) eine langsamere Entwicklung vor sich ging.

Bei allen Planeten bildeten die schwersten Stoffe den Kern der Kugel, der wahrscheinlich einen metallähnlichen Charakter trägt. Die leichteren Stoffe verblieben in der äußeren Hülle und setzten dort den Gesteinsmantel zusammen, der den inneren Planetenkern umschließt.

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

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* oder das *Sternzeitalter*. Für sie wird eine Dauer von rund 3 Milliarden Jahren angenommen. Während des Sternzeitalters waren bereits Anfänge einer atmosphärischen Hülle der Erde vorhanden, die in späteren Zeiten eine vielfältige Entwicklung durchlaufen hat. Das eigentliche Sternzeitalter endete mit der Bildung einer festen Erdkruste, so daß damit das planetarische Zeitalter begann, das die Geologen mit der *Erdfrühzeit* (*Eozoikum*) 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 700 Millionen Jahren.

In dem sich anschließenden *Erdaltertum* (*Paläozoikum*), das vor rund 200 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, Kordillern) vor sich ging.

Als Beginn der *Erdneuzeit* (*Känozoikum*) wird die Zeit vor 60 Millionen Jahren angenommen. Diese Zeit begann mit der weiteren Bildung von Gebirgen. Der Vulkanismus trat verstärkt in Erscheinung. Das Meer zog sich zurück, während in einem sich allmählich weiter 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, begann die Entwicklung der heutigen Oberflächengestalt der Erde. Damit brach eine sehr wechselvolle Zeit an, die erst ganz allmählich abklang. Der Mensch hat ihre letzte Phase, das *Eiszeitalter*, die vor 60000 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 Materie geführt haben. Eines aber ist sicher: Die gesamte Sternenwelt, 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 und verstehen lernen, je mehr er sich von Irrtümern frei macht und den materiellen Charakter der Welt deutlicher erkennt und wenn er die darauf beruhende materialistische Weltanschauung zur Richtschnur seines Handelns und Wirkens erhebt.

Die Bildvorlagen stellte uns Herr Prof. Wattenberg
aus seinem Archiv zur Verfügung.

LITERATURHINWEISE

- AHNERT, PAUL: Himmelskalender 1959
(erscheint jährlich).
Verlag Joh. Ambrosius Barth, Leipzig 1958.
- BÖHM, K., DÖRGE, R.: Auf dem Weg zu fernen Welten.
Verlag Neues Leben, Berlin 1958.
- GÜNTZEL-LINGNER, U.: Wie schwer sind
die Himmelskörper?
Urania-Verlag, Leipzig 1955.
- KIENLE, H.: Maßstäbe des Kosmos.
Akademie-Verlag, Berlin 1949.
- KRINOW, E. L.: Himmelssteine.
Urania-Verlag, Leipzig-Jena 1954.
- NEWCOMB-ENGELMANN: Populäre Astronomie,
8. Auflage.
Joh. Ambrosius Barth, Leipzig 1948.
- POPOW, P. I.: Sonne und Erde.
Aufbau-Verlag, Berlin 1954.
- SCHARONOW, N. W.: Gibt es Leben
auf anderen Planeten?
Aufbau-Verlag, Berlin 1954.
- SCHULZ, B.: Steine, die vom Himmel fallen.
A. Ziemsen Verlag, Wittenberg 1956.
- WALDMEIER, M.: Ergebnisse und Probleme
der Sonnenforschung, 2. Auflage.
Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1955.
- WATTENBERG, D.: Die Welt der Planeten, 2. Auflage.
Urania-Verlag, Leipzig-Jena 1954.
- WATTENBERG, D.: Mars - der erste Planet.
Urania-Verlag, Leipzig-Jena 1956.
- WATTENBERG, D.: Die Entstehung der Erde
im kosmischen Entwicklungsgeschehen.
Urania-Verlag, Leipzig-Jena 1956.
- WATTENBERG, D.: Der gestirnte Himmel.
Kinderbuch-Verlag, Berlin 1953.
- WATTENBERG, D.: Die Sonne im Fernrohr.
Kinderbuch-Verlag, Berlin 1954.
- Weltall - Erde - Mensch, 7. Auflage.
Verlag Neues Leben, Berlin 1959.

