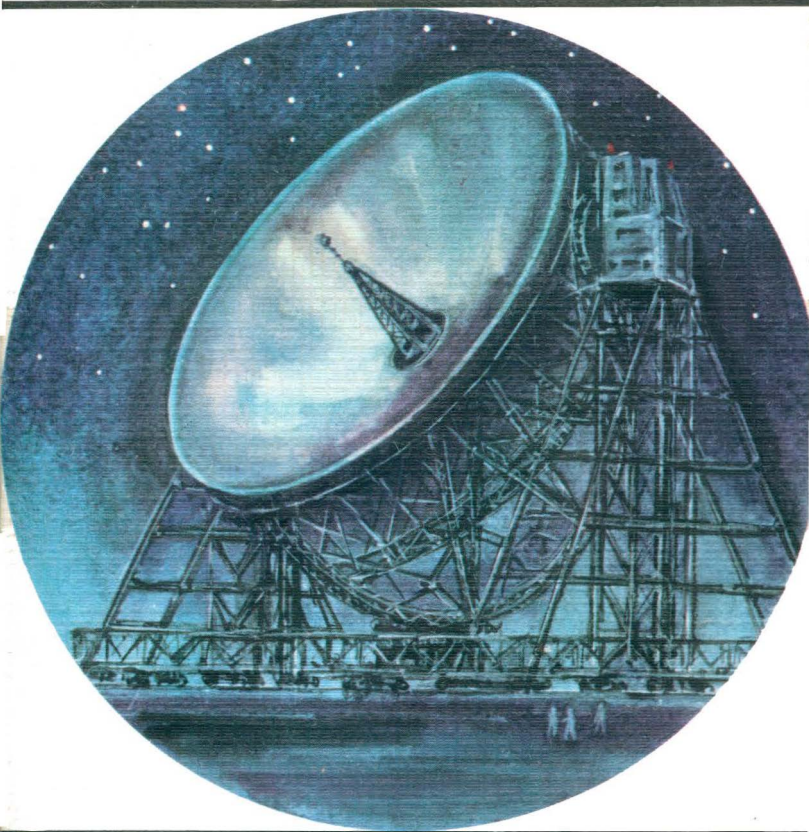


akzent

Klaus Lindner

Der Stern- himmel



Klaus Lindner

Der Sternhimmel

Urania-Verlag Leipzig Jena Berlin

Autor: Dr. Klaus Lindner
Erweiterte Oberschule »Karl Marx«, Leipzig

Illustrationen: Karl-Heinz Barnekow

3., verbesserte Auflage 1977
41.–60. Tausend. Alle Rechte vorbehalten
© Urania-Verlag, Leipzig/Jena/Berlin
Verlag für populärwissenschaftliche Literatur, Leipzig, 1974
VLN 212–475/88/77 LSV 1499
Lektor: Ewald Oetzel
Einbandreihenentwurf: Helmut Selle
Typografie: Hans-Jörg Sittauer
Fotos: APN (2), Karl-Schwarzschild-Observatorium Tautenburg (5), Deutsche Fotothek Dresden (2), Volkssternwarte Prag (1), NASA (3), Pic du Midi (1), Archiv des Verlages (7)
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: INTERDRUCK
Graphischer Großbetrieb Leipzig – III/18/97
B^ost -Nr.: 653 329 1
DDR 4.50 M

Inhalt

Blick in den Weltraum

Sternhimmel und Weltraum 7

Materie im Weltraum 10

Viel Raum und wenig Substanz 19

Unsere Nachbarschaft 46

Der Himmel über uns

Die Bewegung der Erde 66

Sternbilder 73

Kleiner Bär (Ursa Minor) 74

Großer Bär (Ursa Maior) 76

Kassiopeia (Cassiopeia) 80

Perseus (Perseus) 81

Kepheus (Cepheus) 83

Orion (Orion) 85

Stier (Taurus) 88

Fuhrmann (Auriga) 90

Zwillinge (Gemini) 91

Großer Hund (Canis Maior) 92

Krebs (Cancer) 94

Löwe (Leo) 97

Bootes (Bootes) 99

Herkules (Hercules) 100

Schütze (Sagittarius) 101

Schwan (Cygnus) 103

Leier (Lyra) 105

Adler (Aquila) 108

Andromeda (Andromeda) 108

In sternklarer Nacht 110

Andere Länder – anderer Himmel 118

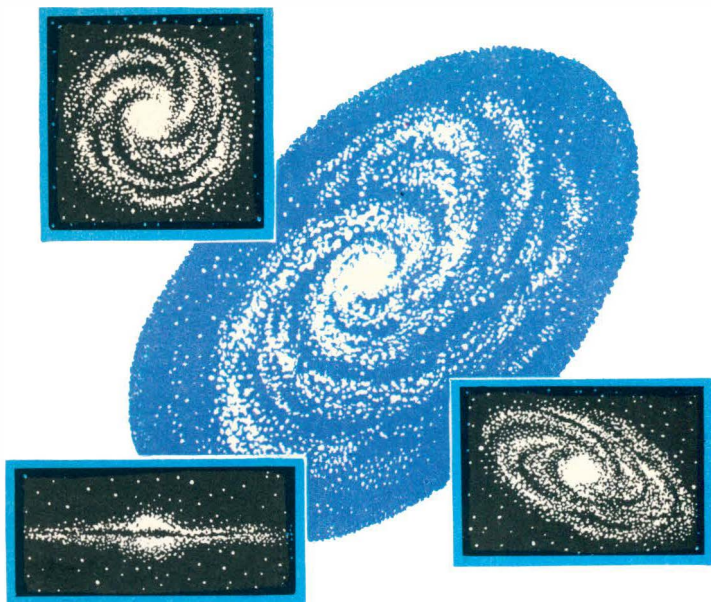
Blick in den Weltraum

Sternhimmel und Weltraum

Jeder Blick zum Sternhimmel ist ein Blick in und durch den Weltraum. Mit diesem Satz wird sicher keine besondere Neuigkeit bekanntgemacht, aber vor einem Jahrtausend hätte er nur ungläubiges Staunen und Verständnislosigkeit hervorgerufen. Damals war der Begriff Weltraum, der für uns Menschen des 20. Jahrhunderts so selbstverständlich ist, noch völlig unbekannt. Man verstand damals die Welt so, wie man sie sehen konnte; und zu sehen war und ist in klaren Nächten damals wie heute das Himmelsgewölbe mit den vielen Sternen und vielleicht dem Mond. Es vermittelt auf den ersten Blick den Eindruck von etwas Abgeschlossenem, einer Halbkugel, die sich über der mehr oder weniger flachen Erde befindet und den Blick »nach draußen« verwehrt.

Daß dieses Bild eine Täuschung ist, mußte in angestrengter Arbeit – und z. T. in erbitterten Kämpfen gegen die Vertreter des Alten, Überlebten – festgestellt werden. Aus der Geschichte der Astronomie wissen wir von Nikolaus Kopernikus, Johannes Kepler, Galileo Galilei und vielen anderen Forschern, die sich um eine richtige Erklärung der astronomischen Erscheinungen mühten. Aber auch ihnen war der Begriff Weltraum nicht geläufig. Erst um die Zeit Wilhelm Herschels, also in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts, brach sich die Vorstellung Bahn, daß die Sterne nicht an einer riesigen Himmelskugel befestigt, sondern in einem grenzenlosen Raum verteilt sind.

Inzwischen haben wir den Weltraum so in unseren All-



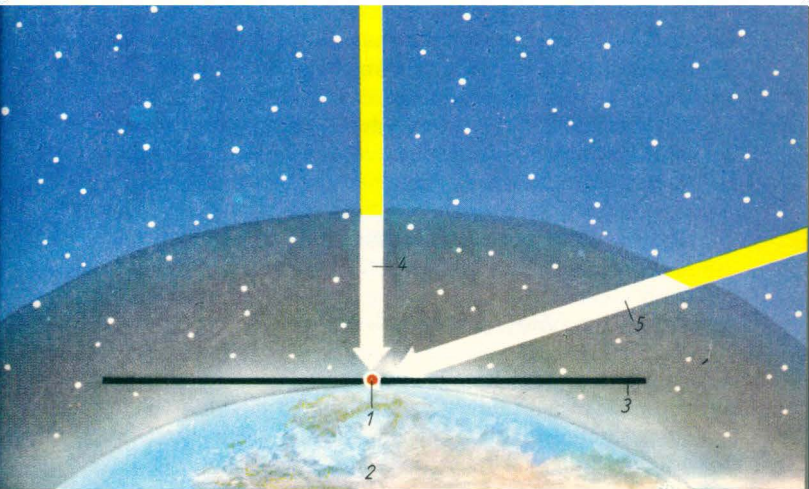
Ein Sternsystem, aus verschiedenen Richtungen gesehen

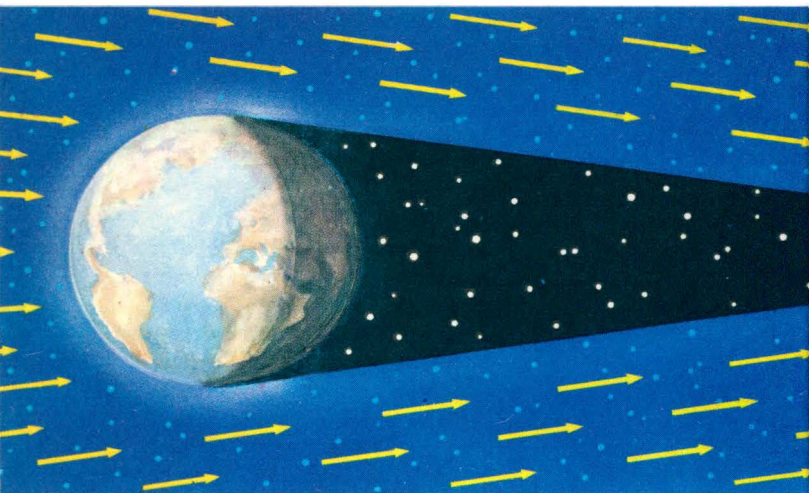
tag aufgenommen, daß er in Gesprächen, aktuellen Meldungen über astronomische Entdeckungen oder Erfolge der *Raumfahrt* – da ist dieser Begriff wieder! – bzw. auch in utopischen Erzählungen oder Filmen und bei vielen anderen Gelegenheiten als etwas Selbstverständliches erscheint. Er ist uns damit in ähnlicher Weise geläufig geworden wie die Kugelgestalt der Erde: Kein Mensch, auch wenn er die Erde noch nie als Kugel gesehen hat, stößt sich an dieser Feststellung. Dabei war sie einmal Anlaß zu ernsthaftem wissenschaftlichem und weltanschaulichem Streit, und es hat Jahrhunderte gedauert, bis die Lehre von der scheibenförmigen Erde überwunden war.

Wer in den Weltraum blicken will, muß dafür die Nachtstunden wählen und Glück haben, daß ihm keine Bewölkung den Blick versperrt. Am Tage behindert die Lufthülle der Erde den Blick nach »draußen«. (Nur der

Mond kann auch am Tage gesehen werden.) Das Licht der Sonne setzt sich bekanntlich aus Lichtwellen der verschiedenen Spektralfarben zusammen. Wenn es die Erdatmosphäre durchdringt, werden die Lichtwellen an den Gasmolekülen und in geringeren Höhen an kleinen Staubteilchen gestreut. Das geschieht um so mehr, je kürzer die Wellenlänge ist; d. h., die blaue Strahlung wird stärker gestreut als die gelbe und rote. Dieses Licht, das sozusagen dem die Erdatmosphäre durchlaufenden Strahl entzogen wird, ruft die Blaufärbung des Tageshimmels hervor. Der durchlaufende Lichtstrahl hingegen hat seine Farbe ein wenig nach Gelb oder Rot verändert und ist außerdem durch den Verlust der gestreuten Anteile etwas schwächer geworden. Je länger der Lichtweg in der Erdatmosphäre ist, desto stärker ist dieser Effekt ausgeprägt. Die Abbildung unten zeigt, daß er besonders stark auftritt, wenn die Sonne oder ein anderes Beobachtungsobjekt in geringer Höhe über dem Horizont steht. Es ist ja bekannt, daß die Sonne in Horizontnähe tieforange

Der Weg des Lichtstrahls in der Erdatmosphäre. 1 – Beobachter; 2 – Erde; 3 – Horizont; 4 – kurzer Lichtweg in der Atmosphäre; 5 – langer Lichtweg in der Atmosphäre





Erdschatten

aussieht und daß man sie dann auch mit dem ungeschützten Auge ansehen kann.

In der Nacht wird die Erdatmosphäre über unserem Beobachtungsort nicht vom direkten Sonnenlicht getroffen; sie befindet sich im Schattenkegel der Erde. Damit fällt auch die Behinderung für den Blick in das Weltall weg. Der Erdschatten macht es möglich, in den Weltraum zu sehen. Die von der Atmosphäre bewirkten Veränderungen in der Färbung des Lichtes (und übrigens auch hinsichtlich der Richtung, in der wir ein bestimmtes Beobachtungsobjekt sehen) bleiben jedoch bestehen. Der Astronom muß sie kennen und berücksichtigen, wenn er zu richtigen Forschungsergebnissen gelangen will.

Materie im Weltraum

Allseitig umgibt uns der Weltraum, ein Raum ohne Grenzen, von Materie in den verschiedensten Formen erfüllt. Schon mit dem bloßen Auge können wir bis in beträchtliche Entfernungen blicken; das entfernteste Objekt, das

ohne Fernrohr gesehen werden kann, ist der sogenannte Andromedanebel. Wenn wir ihn beobachten, überbrückt das in unsere Augen tretende Licht einen Abstand von 2300000 Lichtjahren. (Das Lichtjahr wird bekanntlich in der Astronomie als Maßeinheit der Länge verwendet. Ein Lichtjahr ist die Strecke, die das Licht in einem Jahre zurücklegt: rund 10 Billionen Kilometer.) Mit optischen oder anderen Beobachtungshilfsmitteln (z. B. Fernrohren oder Radioteleskopen) lassen sich noch viel größere Bereiche des Weltraums überblicken; gegenwärtig können wir mit den größten Instrumenten noch Objekte in mehr als 10 Milliarden Lichtjahren Entfernung beobachten.

Der Weltraum ist durchgängig von Materie erfüllt. Das mag manchem zunächst zweifelhaft erscheinen, denn die »Leere« des Weltraums ist ja nahezu sprichwörtlich. Man kommt zu diesem Zweifel, wenn man oberflächlich urteilt und als Materie nur die Sterne und Sternsysteme betrachtet. Exakt gesehen ist aber die Vorstellung vom fast leeren Weltraum falsch. Materie wird eben nicht nur durch Sterne und Sternsysteme repräsentiert, sondern es gehören dazu auch die Atome, Ionen, Elektronen sowie die Moleküle des interstellaren und intergalaktischen Gases, die Staubteilchen im Weltraum, die kosmische Strahlung, die elektrischen, elektromagnetischen und Magnetfelder, die Gravitationsfelder – kurz gesagt alles, was objektiv real im Weltraum existiert. Mit diesem viel weiter gefaßten Begriff ist nun tatsächlich an jedem Punkt des Weltraums Materie in irgendeiner Form vorhanden. Wir verwenden hier den Begriff *Materie* allerdings nicht in dem umfassenden Sinne wie in der Philosophie. Dort bezeichnet er die objektive Realität, »*die dem Menschen in seinen Empfindungen gegeben ist, die von unseren Empfindungen... abgebildet wird und unabhängig von ihnen existiert*« (Lenin). Wir wollen in unserer Betrachtung astrophysikalischer Erkenntnisse unter *Materie* die Gesamtheit der Stoffe und Felder im Weltraum verstehen.

Man kann zwei Strukturformen der Materie im Kosmos unterscheiden: die stoffliche Erscheinungsform und die Form des Feldes. Es hat historische Gründe, daß wir häufig geneigt sind, die Feldform der Materie als weniger wesentlich anzusehen. In der Physik war der Stoff – also

der physikalische Körper – schon lange als Untersuchungsobjekt akzeptiert, bevor die Felder das Interesse der Forscher erregten. Erst im Laufe der letzten Jahrhunderte lernte man, Felder (so z. B. das Gravitationsfeld) physikalisch zu beschreiben und die Schwierigkeiten zu überwinden, die dabei auftraten. Solche Schwierigkeiten ergaben sich bereits bei der Erfassung der Objekte. Alles Stoffliche besteht aus abgeschlossenen Körpern – vom Stern bis zum Atom – mit endlichem Rauminhalt. Wo dagegen ein Feld anfängt und wo es aufhört, ist nie exakt anzugeben. Jeder stoffliche Körper hat einen bestimmten Ort, ein Feld durchdringt den Raum kontinuierlich.

Die bekanntesten Formen physikalischer Felder sind bereits genannt worden. Sie durchsetzen den Weltraum in zahllosen Variationen; die bekannteste Form ist das Licht der Sterne, physikalisch betrachtet sind es die Schwingungen eines elektromagnetischen Feldes. Aber auch magnetische Felder und vor allem Gravitationsfelder finden sich überall im Weltraum.

Es mag in diesem Zusammenhang von Interesse sein, daß in einem früheren Entwicklungszustand des Kosmos der Anteil der Strahlungsenergie an der gesamten Materie wahrscheinlich sehr viel größer gewesen ist als heute. Gegenwärtig überwiegt im Weltraum die stoffliche Form der Materie, der größte Teil davon befindet sich in gasförmigem Zustand. Vor einigen Milliarden Jahren war die Situation anders; von dem damaligen Vorherrschen von Feldern – und zwar Strahlungsfeldern – berichtet die im Jahre 1965 entdeckte Drei-Grad-Kelvin-Strahlung. Sie ist ein Überbleibsel eines Frühzustandes des gegenwärtigen Kosmos.

Der vorangehende Absatz enthält einen bemerkenswerten Hinweis: Im Weltraum gibt es eine Entwicklung. Der erwähnte Frühzustand wurde von anderen Phasen abgelöst. Daran läßt sich erkennen, daß der Kosmos als Ganzes genauso wie jeder einzelne seiner Bestandteile in ständiger Entwicklung begriffen ist und daß die bekannte Aussage »*Die Bewegung ist die Daseinsweise der Materie*«¹ auch für den Kosmos gilt.

¹ So formuliert von Friedrich Engels. Hier wird unter Bewegung auch ganz allgemein die Veränderung, die Entwicklung, verstanden.

Sternsysteme sind große Massenkonzentrationen im Weltraum, Ansammlungen von jeweils einigen Milliarden Sternen. In einem solchen System können sich auch interstellares Gas und interstellarer Staub in Anteilen bis zu etwa einem Drittel der Gesamtmasse befinden. Die Staubteilchen haben dabei nur Durchmesser von einigen zehntausendstel Millimetern. Es gibt jedoch auch Galaxien, in denen das interstellare Medium¹ fast völlig fehlt. Die Sternsysteme bilden teilweise mächtige Anhäufungen; einem solchen Haufen gehören bis zu mehrere tausend Systeme an. Stellt man sich ein Sternsystem in der Größe eines Suppentellers vor, so beträgt die Entfernung zwischen zwei Mitgliedern eines dichten Galaxienhaufens rund 8 m. Verteilt man aber die Systeme gleichmäßig im Raum, dann sind sie in unserem »Suppentellermodell« jeweils immerhin rund 70 m voneinander entfernt. Das entspricht einer wahren Dichte von etwa $\frac{1}{10^{30}}$ g/cm³. Mit dieser Zahl – so klein sie uns auch vorkommt – ist die Verteilung der gesamten Masse im Weltraum erfaßt. Die Gas- und Staubmassen zwischen den Sternsystemen haben wahrscheinlich nur einen verschwindenden Anteil daran. Jedoch sind unsere Kenntnisse darüber noch sehr dürftig.

Wir beobachten die Sternsysteme am Himmelsgewölbe »durch die Sternbilder hindurch« – sie befinden sich viel weiter entfernt als alle Einzelsterne in unserer kosmischen Nachbarschaft, aus denen sich die Sternbilder zusammensetzen. Die Anzahl der beobachtbaren Systeme nimmt zu, wenn Instrumente mit höherer optischer Leistung eingesetzt werden. Mit den größten Fernrohren lassen sich auf einer vollmondgroßen Fläche in einigen Gebieten des Himmels einige hundert Galaxien feststellen.

Aus der Untersuchung des Lichtes der Sternsysteme ergibt sich, daß sich diese kosmischen Gebilde mit z. T. erheblichen Geschwindigkeiten von uns entfernen. Je weiter eine Galaxie von der Erde entfernt ist, desto schneller ist ihre »Fluchtbewegung«; dabei wurden bereits Ge-

¹ Unter diesem Begriff faßt man das interstellare Gas und den interstellaren Staub zusammen.

schwindigkeiten von mehr als 150000 km/s, das sind 50% der Lichtgeschwindigkeit, gemessen. Die Erde ist aber nur scheinbar das Zentrum dieser Bewegung, vielmehr entfernt sich jedes Sternsystem von jedem anderen. Ein Beobachter auf einer dieser Galaxien hat dabei den Eindruck, er sei der Mittelpunkt der Expansion. Der von uns überschaubare Teil des Kosmos dehnt sich aus. Auch das ist ein Hinweis auf die Bewegung und Entwicklung im Weltall.

Möglicherweise haben sich vor rund zehn Milliarden Jahren alle Sternsysteme auf engstem Raum beieinander befunden. Es wäre hingegen falsch, daraus auf eine Entstehung oder Erschaffung der Welt zu diesem Zeitpunkt schließen zu wollen. Man kann lediglich sagen, daß der damalige Zustand des Weltalls sich so stark vom heutigen unterschied, daß unsere gegenwärtigen Kenntnisse noch nicht ausreichen, um die Geschichte des Weltalls vor diesem Zeitpunkt zu beschreiben.

Der bereits erwähnte Andromedanebel ist ein Stern-

Spiralförmiges Sternsystem M 101



system, an dem wir infolge seiner geringen Entfernung viele wesentliche Einzelheiten beobachten und untersuchen können. Seine Form ist die einer Spirale, auf die wir aber nicht senkrecht, sondern schräg blicken (siehe S. 109), im Zentrum befindet sich ein sehr dichter Kern. Das ganze System rotiert aber nicht wie ein starrer Körper, sondern mit sehr unterschiedlichen Umlaufzeiten in Abhängigkeit vom Rotationsradius.

Der Andromedanebel verdankt seinen Namen erstens dem Anblick, den er dem bloßen Auge und bei der Beobachtung mit kleinen Fernrohren bietet, zweitens der Tatsache, daß er von der Erde aus in der gleichen Richtung zu sehen ist wie das Sternbild Andromeda.

Außer den Spiralsystemen gibt es elliptisch geformte und – in geringer Zahl – unregelmäßig »gebaute« Galaxien. Die elliptischen Sternsysteme zeigen meist keine Struktur und sind oft etwas kleiner als die Spiralsysteme. In ihnen wurden nur in Ausnahmefällen Anteile von interstellarem Medium festgestellt.

Die von den Sternsystemen ausgehende Strahlung besteht z. T. aus Licht, infraroter, ultravioletter und Röntgenstrahlung, z. T. handelt es sich auch um längerwellige elektromagnetische Strahlung, die mit Radioteleskopen empfangen werden kann. Normalerweise beträgt der radiofrequente Anteil weniger als 1 % der Gesamtstrahlung, es gibt aber Ausnahmen. Diese als Radiogalaxien bezeichneten Systeme können über 90 % ihrer Gesamtstrahlung in Form radiofrequenter Wellen aussenden. Wahrscheinlich beobachten wir hier die Folgeerscheinung ungeheurer Explosionen in den Kernen dieser Sternsysteme.

Eine sehr intensive Radiofrequenzstrahlung wird auch von den *quasistellaren Radioquellen*, auch *Quasare* genannt, ausgesendet. Auf fotografischen Aufnahmen erscheinen sie sternförmig. Aller Wahrscheinlichkeit nach sind die Quasare sehr massereiche, selbständige kosmische Einheiten, weit entfernt von unserem Sternsystem und den anderen Galaxien in unserer Umgebung. In ihnen sind große Massen auf sehr kleinem Raum zusammengedrängt; in ihrer Umgebung befindet sich stark verdünntes Gas. Viele Fragen, die die Natur der Quasare betreffen, sind noch ungeklärt.

Auch wir leben in einem Sternsystem. Jeder aufmerksame Beobachter des Sternhimmels hat schon einmal das schwach schimmernde Band der Milchstraße gesehen. Es ist der Anblick, den unser Sternsystem bietet, von unserem Standpunkt im Innern aus betrachtet. Die vielen einzelnen Sterne des Systems, das man auch als Milchstraßensystem oder *Galaxis* bezeichnet, fließen in der großen Entfernung zu einem einzigen Lichteindruck zusammen. Allerdings bleiben große Bereiche der Galaxis für uns unsichtbar, da der interstellare Staub teilweise dichte, optisch undurchsichtige Wolken bildet. Das Zentrum des Milchstraßensystems wird auf diese Weise verdeckt. Lediglich Radiowellen und Infrarotstrahlung verraten, daß sich dieses Zentrum in Richtung auf das Sternbild Schütze befindet.

Rund hundert Milliarden Sterne bilden die Galaxis; dazu kommen noch Gas und Staub in solcher Menge, daß daraus ungefähr zehn Milliarden weiterer Sterne geformt werden könnten. Von außen gesehen ist die Galaxis ein Spiralsystem von ziemlich flacher Gestalt (s. Abb. auf S. 18). In der Mitte befindet sich der Kern, wahrscheinlich eine überaus dichte Ansammlung von sehr vielen Sternen. Er wird von einer flachen Scheibe umgeben, in der die Mehrzahl der Sterne des Systems zu finden ist. Ihre äußeren Teile sind die Spiralarme, die vor allem aus hellen, heißen Sternen, galaktischen Sternhaufen und Ansammlungen des interstellaren Mediums bestehen. Die Spiralscheibe mit dem Kern wird von einer fast kugelförmigen Wolke umgeben, die sich aus bestimmten Typen von Einzelsternen und Sternanhäufungen zusammensetzt. Ihr Durchmesser übertrifft den der Scheibe erheblich; in dieser Wolke, dem »galaktischen Halo«¹, ist allerdings die Stoffdichte wesentlich geringer als in der Scheibe.

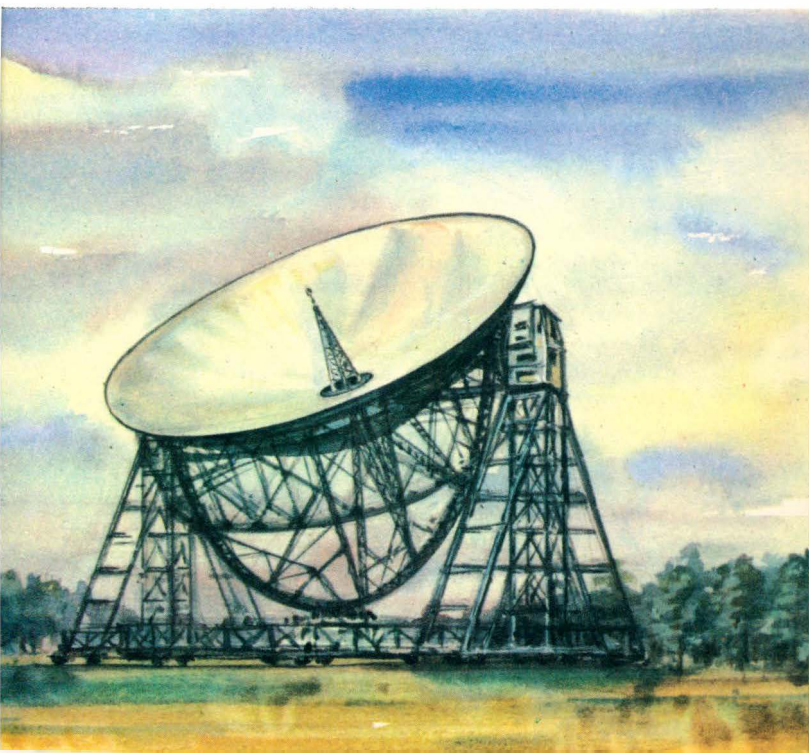
Würde man das Milchstraßensystem durch einen Schnitt senkrecht zur Scheibenebene in zwei Teile zerlegen, so könnte man an der »Schnittfläche« feststellen, daß das interstellare Medium innerhalb der Galaxis einen überaus geringen Raum einnimmt. Es ist in einer ganz

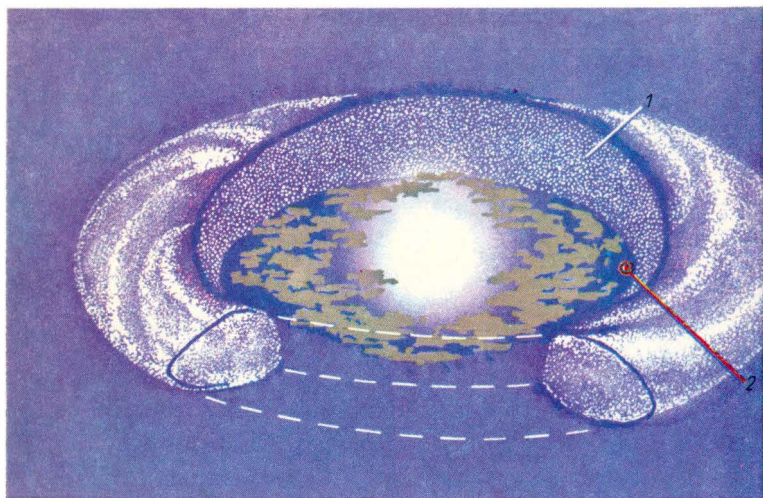
¹ Halo, grch.: Hof

flachen, spiralförmig strukturierten Schicht inmitten der Scheibe konzentriert.

Der Durchmesser der galaktischen Scheibe beträgt etwa 100000 Lichtjahre, der des Halos 160000 Lichtjahre. Der zur Scheibe senkrechte Durchmesser des Kerns liegt bei 15000 Lichtjahren. Aus diesen Angaben läßt sich der Rauminhalt des Milchstraßensystems berechnen. Aus ihm und der Masse des Systems – sie beträgt etwa $3 \cdot 10^{38} \text{ t}$ – folgt die mittlere Stoffdichte der Galaxis zu rund $\frac{1}{10^{23}} \text{ g/cm}^3$. Dieser Wert ist 10 Millionen Mal größer als der Wert der Stoffdichte im gesamten überschaubaren Teil des Weltraums. Sternsysteme – hier als Beispiel unser Milchstraßensystem betrachtet – stellen also erhebliche Konzentrationen der stofflichen Materie im Kosmos dar.

Radioteleskop





Unser Sternsystem (schematischer Schnitt).

1 – Milchstraßenband; 2 – Ort der Sonne

Die Feldform der Materie wird vor allem durch die Gravitationsfelder der vielen Sterne und durch deren Strahlungsfelder vertreten. Es existieren jedoch auch großräumige Magnetfelder, deren Feldlinien im wesentlichen parallel zu den Spiralarmen verlaufen.

Die Galaxis rotiert ähnlich wie der Andromedanebel. Die Umlaufzeit für einen Himmelskörper um das Zentrum der Galaxis hängt also davon ab, wie weit er vom Zentrum entfernt ist. Für unseren Standort beträgt sie rund 250 Millionen Jahre. Die Spiralarme werden bei der Rotation hinterhergezogen, der Kern dreht sich am schnellsten. (Wie unvorstellbar »langsam« die Rotation der Galaxis vor sich geht, kann daran ermessen werden, daß sie sich seit der Entwicklung des heutigen Menschen – also seit etwa 60000 Jahren – nur um etwa $0,1^\circ$ gedreht hat!)

Dieses kosmische Gebilde, das uns umgibt, dem wir angehören, kann als »unsere kosmische Heimat« im weitesten Sinne bezeichnet werden. Es existiert nicht seit ewigen Zeiten. Die Galaxis bildete sich vor 10 Milliarden Jahren wahrscheinlich aus einer großen Gasmasse, und sie

unterliegt seither einem Entwicklungsprozeß, der schon zu großen Teilen aufgeklärt ist. Die Astrophysiker haben heute die Möglichkeit, das Alter bestimmter Objekte unserer Galaxis zu bestimmen. Es zeigt sich, daß offenbar der Halo zuerst aus dem Urgas entstand und daß die in der Scheibenebene konzentrierten Sterne die jüngsten Objekte sind. Auch das unterschiedliche Alter der Sterne weist auf die Bewegung und Entwicklung hin, der alles im Weltraum unterliegt.

Viel Raum und wenig Substanz

Wenn man das fast unentwirrbare Gewimmel der Sterne betrachtet, neigt man zu der Annahme, die Sterne seien im Milchstraßensystem unerhört dicht gepackt. Das ist aber eine Täuschung. Wir können zwar dichte Sternwolken beobachten, aber diese Wolken besitzen eine sehr große Ausdehnung in der Gesichtslinie, und die in ihnen stehenden Sterne rücken nur scheinbar zu kompakten Ansammlungen zusammen. Nur in Einzelfällen – bei Sternhaufen – haben wir es mit physikalisch zusammen-

Unser Sternsystem, von der Seite gesehen



gehörigen und auch räumlich relativ dicht stehenden Sternen zu tun.

Der optische Eindruck stimmt also mit der Wirklichkeit nicht überein. Durchschnittlich liegen zwischen zwei Sternen in der Galaxis sechs bis sieben Lichtjahre. (Ausnahmen bilden die erwähnten Sternhaufen und wahrscheinlich die Kernregion der Galaxis, in der man Sternabstände von wenigen Hunderttausendstel eines Lichtjahres vermutet.) Wenn man die Abstände der Sterne mit ihren Durchmessern vergleicht, so kommt man zu der Überzeugung, daß zwischen den einzelnen Sternen noch sehr viel freier Raum existiert. Ein Vergleich mag das veranschaulichen: Ein sonnenähnlicher Stern hat einen Durchmesser von rund 1 Mill. km. Wenn man sich diesen Stern als Kügelchen von 1 cm Durchmesser vorstellt, befindet sich im gleichen Maßstab der nächste Stern etwa 400 km davon entfernt. Der Raum zwischen ihnen wird ausgefüllt durch große Mengen des außerordentlich fein verteilten interstellaren Mediums.

Geringere Sternabstände finden sich in den Stern-

Kugelförmiger Sternhaufen M 3



haufen. Sie treten in zwei auffällig unterschiedlichen Gruppen auf: als *offene Sternhaufen* mit mäßiger Stern-dichte und höchstens einigen tausend Mitgliedssternen und als *kugelförmige Sternhaufen* mit – im Zentrum – sehr großer Sterndichte und bis zu einigen ..zig Millionen Mitgliedssternen. In dem eben skizzierten Modell würden die Sterne – als zentimetergroße Kügelchen – im Zentrum eines kugelförmigen Sternhaufens nur 20 bis 50 km voneinander entfernt sein.

Die offenen Sternhaufen finden sich in unserer Galaxis fast ausnahmslos in einer dünnen Schicht in der Scheibenebene. Sie zeigen in ihrer räumlichen Verteilung also eine gewisse Ähnlichkeit mit dem interstellaren Medium, und in der Tat hängen diese beiden Formen der stofflichen Materie in der Galaxis auch physikalisch miteinander zusammen. Es konnte nachgewiesen werden, daß viele offene Sternhaufen relativ jung sind, daß sie also vor – astronomisch betrachtet – kurzer Zeit *aus dem interstellaren Medium* entstanden. Sie befinden sich heute noch in der Nähe ihres Entstehungsortes.

Etwa 10% der Masse des Milchstraßensystems werden vom interstellaren Medium gebildet. Wir können die beiden Komponenten, Gas und Staub, jeweils in eine leuchtende und eine nichtleuchtende Erscheinungsform unterteilen. Gas wird sichtbar, wenn es zu eigenem Leuchten angeregt wird. Das kann z.B. dadurch geschehen, daß die Gasatome Strahlung von benachbarten heißen¹ Sternen aufnehmen und sie, z.T. auch in anderen Wellenlängen, wieder abgeben. Wenn die interstellaren Gasmassen in der Nähe eines solchen Sterns dicht und mächtig genug sind, beobachten wir einen leuchtenden Nebel (Emissionsnebel).² Die Gasdichte in einer derartigen Wolke ist zwar z.T. 1000mal größer als der Mittelwert und beträgt etwa 1000 Teilchen – Atome, Ionen, Elektronen – je Kubikzentimeter, aber das bedeutet nicht, daß wir es dabei mit einem unseren irdischen Alltagsvorstellungen entsprechenden Gas zu tun hätten. In unserer Atemluft enthält jeder Kubikzentimeter rund 10^{19} , das sind zehn Millionen

¹ Diese Bedingung ist sehr wesentlich. Die Strahlung kühlerer Sterne enthält zu wenig kurzwellige, d.h. energiereiche Strahlung, um genügend Gasatome zum Eigenleuchten anzuregen.

² Emission: Aussendung (von Licht)

Billionen, Teilchen. Das interstellare Gas befindet sich also selbst in den dichtesten Wolken noch in einem Zustand, der einem idealen Höchstvakuum vergleichbar ist. Die Technik ist nicht in der Lage, unter irdischen Bedingungen ein derartiges Vakuum zu erzeugen. Dennoch können einzelne Wolken des interstellaren Gases über 100 Sonnenmassen an Substanz erhalten. Wir finden hier die gleiche Erscheinung wie bei den Sternwolken in der Galaxis – durch ihre große Ausdehnung in der Blickrichtung erscheinen sie relativ dicht. Die Gaswolken werden auf diese Weise überhaupt erst sichtbar. (Leuchtendes interstellares Gas, das nicht in Wolken konzentriert ist, erfordert zur Beobachtung spezielle Geräte und Hilfsmittel.)

Eine ganz andere Ursache als beim Gas hat das Leuchten beim interstellaren Staub. Die Staubwolken werden von benachbarten Sternen angestrahlt und reflektieren das Licht dieser Sterne fast unverändert. Man spricht daher von Reflexionsnebeln. Es ist bemerkenswert, daß *jeder* hinreichend helle Stern eine Staubwolke so beleuchten kann, daß sie für uns sichtbar wird. Seine Oberflächentemperatur spielt hierbei keine Rolle.

Die Dichte des Staubes im interstellaren Raum beträgt nur etwa 1% der Gasdichte. Man kann ausrechnen, daß in 1 Mill. m³ im Mittel nur eines der mikroskopisch kleinen Staubteilchen existiert.

Auch die nichtleuchtenden Formen des interstellaren Mediums sind der astrophysikalischen Forschung zugänglich. Der interstellare Staub bewirkt beim Licht ferner Sterne eine ähnliche Erscheinung wie die Erdatmosphäre beim Licht der Sonne früh oder abends, wenn die Sonnenstrahlen einen langen Weg durch die Luftschicht nehmen. Das Sternlicht wird geschwächt, und zwar daß kürzerwellige (blaue) stärker als das längerwellige (rote). Daher nimmt es eine rötliche Färbung an. Da man für die verschiedenen Sterntypen genau angeben kann, welche Farbe ihr Licht haben muß, ist die Veränderung der Farbe ein Indiz für das Vorhandensein absorbierender Staubmassen.

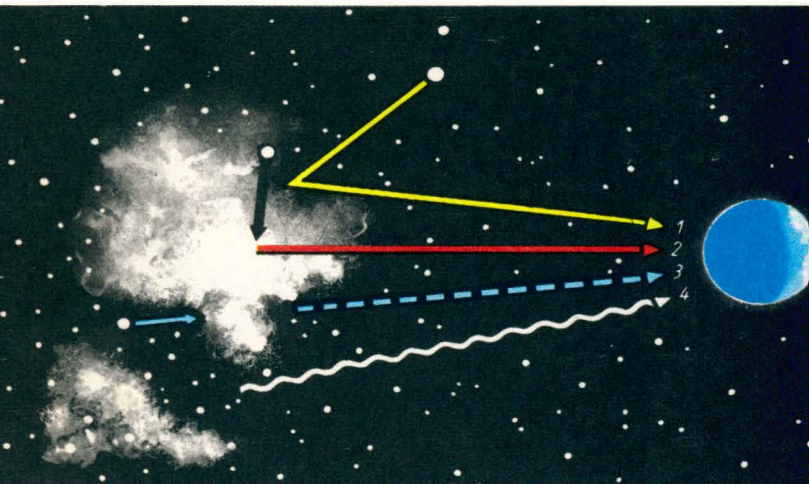
Sehr dichte Staubwolken absorbieren das Licht der dahinter befindlichen Sterne so stark, daß wir scheinbar leere oder fast leere Stellen am Himmel vorfinden. Solche



Helle Emissionsnebel und Dunkelwolken um den Stern γ Cygni (großer, weißer Fleck)

Dunkelwolken haben oft bizarre Formen; sie verdecken erhebliche Bereiche der Galaxis, unter anderem die gesamte Kernregion.

Interstellares Gas, das nicht zum Leuchten angeregt wird, kann das Licht ferner Sterne – die wir durch solche Gasmassen hindurch beobachten – in charakteristischer Weise verändern. In den Spektren dieser Sterne treten dann zusätzliche Absorptionslinien auf, die sich von denen der Sterne in charakteristischer Weise unterscheiden. Heute beobachtet man das im optischen Bereich nicht-leuchtende interstellare Gas in der Galaxis meist mit Radioteleskopen. Wasserstoff – das ist der überwiegende



Formen des interstellaren Mediums. 1 – Staub reflektiert das Sternlicht; 2 – Gas wird durch den Ultraviolettanteil des Sternlichtes zu eigenem Leuchten angeregt; 3 – Staub absorbiert das Sternlicht; 4 – Gas sendet Radiofrequenzstrahlung aus

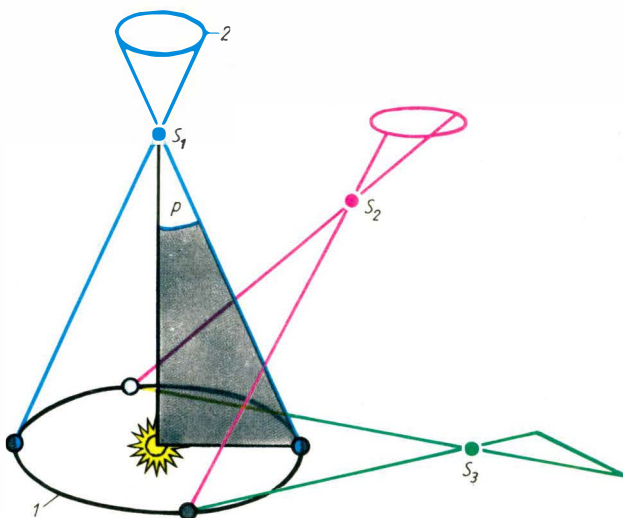
Anteil – sendet in seiner atomaren Form eine Strahlung aus, deren Wellenlänge 21 cm beträgt. Auch andere Bestandteile des interstellaren Gases emittieren radiofrequente Wellen. Da diese Strahlung die absorbierenden Staubwolken durchdringt, ist es mit Hilfe der Radioastronomie möglich geworden, die räumliche Verteilung des interstellaren Gases im größten Teil der Galaxis zu ermitteln – allerdings unter bestimmten Voraussetzungen über die Bewegungsverhältnisse im System – und daraus Schlüsse auf die Spiralform unseres Sternsystems zu ziehen. Die obige Abbildung zeigt, in welcher Weise das interstellare Medium beobachtet werden kann.

Gas und Staub kommen im interstellaren Raum selten völlig getrennt vor, sondern stehen fast ausnahmslos in den Wolken miteinander in Verbindung. Die chemische Zusammensetzung des interstellaren Mediums ist durch das Überwiegen der Wasserstoffatome und -moleküle charakterisiert. Ihre Zahl macht rund 83 % der Gesamtzahl aller

Teilchen aus. Weitere 16% sind Heliumatome, der Sauerstoffanteil beträgt 0,1%, Stickstoff und Kohlenstoff folgen mit jeweils 0,05%. Der Anteil aller anderen chemischen Elemente ist noch weit geringer. Damit kommt das interstellare Medium in seiner chemischen Zusammensetzung den jungen Sternen in der Galaxis sehr nahe. Das ist nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, daß Sterne aus interstellarem Gas und Staub entstehen.

Die mittlere Stoffdichte in der Galaxis – Sterne und interstellares Medium – ist rund zehnmal größer als die Dichte des interstellaren Mediums allein. Das ist nicht übermäßig viel, und wir finden damit bestätigt, daß die stoffliche Komponente der Materie in unserem Sternensystem außerordentlich dünn verteilt ist. (In einem Raum von der Größe unserer Erdkugel befinden sich im Mittel nur 10 kg Substanz!) Betrachtet man allerdings die riesigen Entfernungen zwischen den Sternen, so kommt man zwangsläufig zu der – völlig richtigen – Vermutung, daß die Sterne Massenkonzentrationen von erheblicher Dichte darstellen.

Die parallaktische Verschiebung der Sterne
 1 – Erdbahn; 2 – parallaktische Ellipse



Die Entfernungsangaben der Astronomie haben wesentlichen Anteil daran, daß dieser Wissenschaft von Außenstehenden der bedenkenlose Gebrauch großer Zahlen nachgesagt wird. »Astronomisch« ist geradezu ein feststehender Ausdruck für »maßlos groß«. Daran ist richtig, daß die Entfernungen der astronomischen Objekte, wenn man sie in irdischen Maßeinheiten angibt, tatsächlich unvorstellbar große Werte besitzen. Man muß aber auch daran denken, daß in diesem Falle die Maßeinheit nicht der betreffenden Entfernung angemessen ist. Niemand wird z. B. ernsthaft daran denken, seinen täglichen Weg zur Arbeitsstelle in Millimetern oder sein Lebensalter in Sekunden anzugeben. Dafür braucht man die sinnvollen Einheiten Kilometer und Jahr. In der Astronomie ist es in entsprechender Weise sinnvoll, für Entfernungsangaben die Maßeinheiten *Lichtjahr* oder *Parsek* zu verwenden.

Das Parsek (pc), das uns hier erstmalig begegnet, hat seinen Namen von den beiden Wörtern *Parallaxe* und *Sekunde*; es ist ein Kunstwort. Mit der Bezugnahme auf den Begriff Parallaxe wird gleichzeitig angedeutet, auf welche Weise in der Astronomie die Entfernungen von Sternen ermittelt werden.

Ein kleines Experiment mag das Verständnis erleichtern. Wir halten einen Bleistift etwa 25 cm senkrecht vor uns, schließen ein Auge und visieren mit dem anderen den Bleistift an. Wenn wir nun den Kopf nach rechts und links bewegen, scheint der Stift vor dem Hintergrund in jeweils entgegengesetzter Richtung zu wandern. Diese Erscheinung heißt Parallaxe; sie ist auch bei astronomischen Objekten zu beobachten. Während nämlich die Erde ihre jährliche Bahn um die Sonne – eine nahezu kreisförmige Bahn mit einem Durchmesser von 300 Mill. km – vollzieht, hat es für den Beobachter den Anschein, als ob die Sterne¹ sich im gleichen Rhythmus und in gleicher Bahnform gegen den Himmelshintergrund verschieben. Auch diese Verschiebung wird als Parallaxe bezeichnet (s. Abb. S. 25). Die Verschiebungsfigur ist ein genaues Abbild der Erdbahn, wenn sich der Stern senkrecht über der Erdbahnebene befindet; bei Sternen in anderen Stellungen

¹ exakter: die näher gelegenen Sterne

beobachtet man eine mehr oder weniger gestreckte Ellipse oder eine gerade Strecke. Stets aber ist die große Achse der Ellipse oder die Länge der Strecke abhängig von der Entfernung des Sterns.

In der Praxis kann man natürlich nicht am Fernrohr sehen, daß der Stern am Himmel eine Ellipsenbahn beschreibt. Man bestimmt vielmehr zu geeigneten Zeitpunkten die Position des Sterns relativ zu den schwachen Sternen des Himmelshintergrundes sehr genau. (Diese Sterne sind fast ausnahmslos so weit entfernt, daß der Effekt der parallaktischen Verschiebung bei ihnen unmeßbar klein bleibt. Man kann sie also als Bezugspunkte verwenden.) Dabei ergibt sich die parallaktische Ellipse, und man kann ihre große Achse ausmessen. Wie alle Entfernungen an der Himmelskugel wird sie in Winkelmaß angegeben; die gemessenen Werte sind stets außerordentlich klein. Ein Stern entfernt sich infolge der jährlichen parallaktischen Verschiebung nur um Bruchteile einer Bogensekunde von seiner mittleren Position.

Die halbe große Achse der parallaktischen Ellipse heißt jährliche Parallaxe. Sie ist in Wirklichkeit ein Winkel (s. Abb. S. 25), und zwar der Winkel am Stern im Dreieck Sonne–Erde–Stern. Je weiter der Stern entfernt ist, desto spitzer ist dieses Dreieck und desto kleiner ist der Winkel am Stern. Man kann nachweisen, daß die Parallaxe stets der Sternentfernung umgekehrt proportional ist; bei einer Parallaxe von *einer* Winkelsekunde beträgt die Entfernung 31 Billionen Kilometer, und diese Entfernung heißt *ein Parsek*. Ganz grob gerechnet sind das 3 Lichtjahre.

Mit den präzisesten Winkelmeßgeräten unserer Zeit kann man an der Himmelskugel Positionsveränderungen von Sternen noch mit einer Genauigkeit von 0,01 Bogensekunden messen. Das ist ein unwahrscheinlich kleiner Winkel; ein auf dem Berliner Fernsehturm montierter Stab von 1 cm Dicke erscheint von Gera aus unter einem Winkel von 0,01 Sekunden! (Daß man in Wirklichkeit wegen der Erdkrümmung und aus anderen Gründen von Gera aus den Berliner Fernsehturm gar nicht sehen kann, soll hier unberücksichtigt bleiben. Es geht uns ja nur um die Entfernung!) Damit wird aber auch

eine Grenze erkennbar. Die Entfernung von Sternen, deren Parallaxe kleiner als 0,01 Bogensekunden ist – weil sie weiter entfernt sind als 100 pc – kann mit dieser Methode nicht ermittelt werden. Tatsächlich liegt die Grenze aber bei noch geringeren Abständen, da unvermeidliche Meßfehler die ermittelten Abstände unsicher machen. Sind damit unsere Erkenntnismöglichkeiten beschränkt?

Da wir schon von größeren Entfernungen gelesen haben, gibt es offenbar andere Verfahren zur Entfernungsbestimmung. Eines der meistbenutzten soll als Beispiel zeigen, wie es die Wissenschaftler lernten, die durch die Technik der Beobachtungsinstrumente gesetzten Grenzen zu überwinden und mit völlig neuen Ideen zu arbeiten.

Wer nachts mit der Bahn reist, sieht hin und wieder draußen in der dunklen Landschaft ein Licht, ohne abschätzen zu können, ob sich die Lampe relativ nahe oder weit entfernt befindet. Man müßte dazu wissen, wie hell die Lampe »in Wirklichkeit« leuchtet. Aus der »wahren« Helligkeit und dem Helligkeitseindruck, den man beobachtet, könnte man ungefähr angeben, wie weit die Lichtquelle entfernt ist.

Diese Möglichkeit macht man sich in der Astronomie zunutze. Es ist nämlich möglich, die »wahre Lichtstärke« eines Sterns zu ermitteln¹. Man gibt sie entweder als *Leuchtkraft* (besser: Strahlungsleistung) mit einer Vergleichszahl zur Leuchtkraft der Sonne an, oder man berechnet die Helligkeit, in der der betreffende Stern uns erscheinen würde, wenn er sich in 10 Parsek Entfernung befände. Diese Angabe heißt *absolute Helligkeit*; die Normentfernung von 10 pc wurde aus Gründen der Einfachheit der Rechnung vereinbart. Beide Angaben, Leuchtkraft und absolute Helligkeit, sagen das gleiche aus, nämlich die wahre Helligkeit des Sterns.

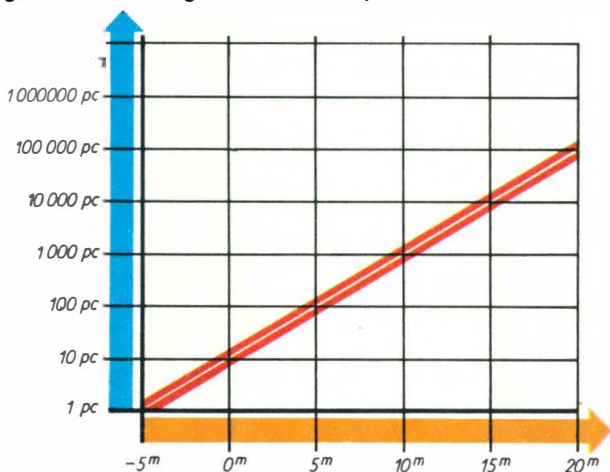
Die Helligkeit, in der uns der Stern erscheint (die *scheinbare Helligkeit*), ist schon seit dem Altertum durch eine Skala der Größenklassen festgelegt. Ursprünglich gab es nur sechs Klassen; die hellsten Sterne wurden zur 1. Größenklasse, die gerade noch mit dem bloßen Auge sichtbaren zur 6. Größenklasse gezählt. Seit man mit optischen Hilfsmitteln auch schwächere Sterne beobachten

¹ Auf welche Weise, wird später erläutert.

kann, gibt es eine 7., 8., 9., ... 23. Größenklasse¹. In der Entwicklung der Astronomie stellte sich auch heraus, daß die Astronomen des Altertums in der 1. Größenklasse eine Vielzahl von Sternen mit deutlich unterschiedlicher scheinbarer Helligkeit zusammengefaßt hatten. So kam es zur Festlegung der 0., später auch der -1., -2., -3. usw. Größenklasse. (Statt von Größenklassen wird auch oft kurz von »Größen« gesprochen. Mit dem Durchmesser des Sterns hat das nichts zu tun.) Schließlich wurden auch noch Zwischenwerte eingeführt. Beispielsweise hat der hellste Stern des Sternbildes Schwan, Deneb, eine scheinbare Helligkeit von 1,26 Größenklassen, während seine absolute Helligkeit -5,2 Größenklassen beträgt. Er strahlt mit über 10000facher Sonnenleuchtkraft.

Zwischen der scheinbaren Helligkeit m , der absoluten Helligkeit M und der Entfernung r besteht ein Zusammenhang (s. Abb. unten), der bei bekannten Werten für

Entfernungsmodul und Entfernung (r – Entfernung; die Abszisse gibt den Entfernungsmodul $m - M$ an)

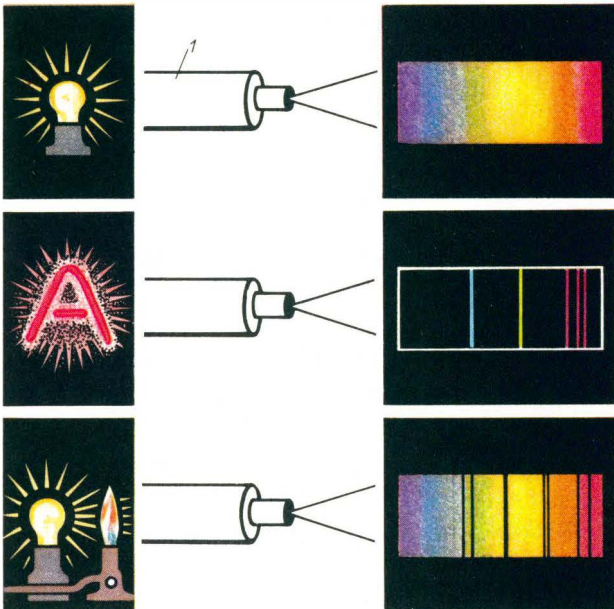


¹ Mit der Verbesserung der Beobachtungsmittel schiebt sich die erreichbare Grenzhelligkeit immer weiter hinaus.

m und M die Entfernung r eines Sterns zu ermitteln gestattet. Für unser Beispiel Deneb berechnen wir den *Entfernungsmodul* $m - M \approx 6.5$ und lesen als Entfernung 200 pc ab. Die absolute Helligkeit kann für sehr viele Sterne ermittelt werden, die scheinbare läßt sich mit geeigneten Photometern durch Beobachtungen von der Erde aus bestimmen – damit haben wir in der Tat alles, um die Entfernungen auch solcher Sterne zu bestimmen, deren Parallaxe kleiner als $\frac{1}{100}$ Winkelsekunden ist.

Alles, was wir über die Sterne wissen, erfahren wir aus dem Licht, das sie aussenden. Wir haben gesehen, daß der Lichtstrahl in zweierlei Hinsicht untersucht werden kann. Die *Richtung* (z. B. um die parallaktische Verschiebung zu ermitteln) und die *Menge* des Lichtes geben uns wichtige Anhaltspunkte für weiterführende Schlüsse. Seit reichlich einem Jahrhundert ist es auch möglich geworden,

Die Entstehung von Spektren. 1 – Spektroskop



die *Zusammensetzung* des Sternenlichtes festzustellen. Eigentlich ist die Entdeckung, daß das Licht in der Regel aus einer Mischung verschiedenartiger Strahlen besteht, schon über 300 Jahre alt (sie geht auf Newton zurück), aber die Anwendung dieses Erkenntnis in der wissenschaftlichen Praxis ist doch erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts möglich geworden. Man bezeichnet sie als *Spektralanalyse*. In der Astronomie verstehen wir darunter die Untersuchung der von den Himmelskörpern zu uns gelangenden Strahlung in bezug darauf, welche Strahlungsarten (Wellenlängen) darin enthalten sind. Weiterführende Messungen ergeben dann auch die Intensitäten dieser Strahlungen und Besonderheiten des Intensitätsverlaufs. Daß sich verschiedene Arten von Spektren beobachten lassen, haben wir schon bei der Betrachtung des interstellaren Mediums festgestellt. So ergeben z.B. heiße, strahlende, feste Körper ein *kontinuierliches Spektrum* – ein ununterbrochenes farbiges Band. Angeregte Gase geringer Ausdehnung oder in verdünntem Zustand senden dagegen einzelne farbige Linien aus. Ein Spektrum aus solchen *Emissionslinien* weist also stets auf eine gasförmige Lichtquelle hin. Wird dagegen eine Gaswolke von intensiver kontinuierlicher Strahlung durchsetzt, so zeigen sich im kontinuierlichen Spektrum an den Stellen, an denen die Gaswolke eigentlich Emissionslinien erzeugen müßte, dunkle Linien. Sie heißen *Absorptionslinien*, und ein solches Spektrum wird dann als Absorptionsspektrum bezeichnet (s. Abb. S. 30). Aus der Lage der Linien kann man bei Emissions- und Absorptionsspektren auf die chemischen Elemente schließen, aus denen die Lichtquelle und der Stoff, den das Licht durchläuft, bestehen.

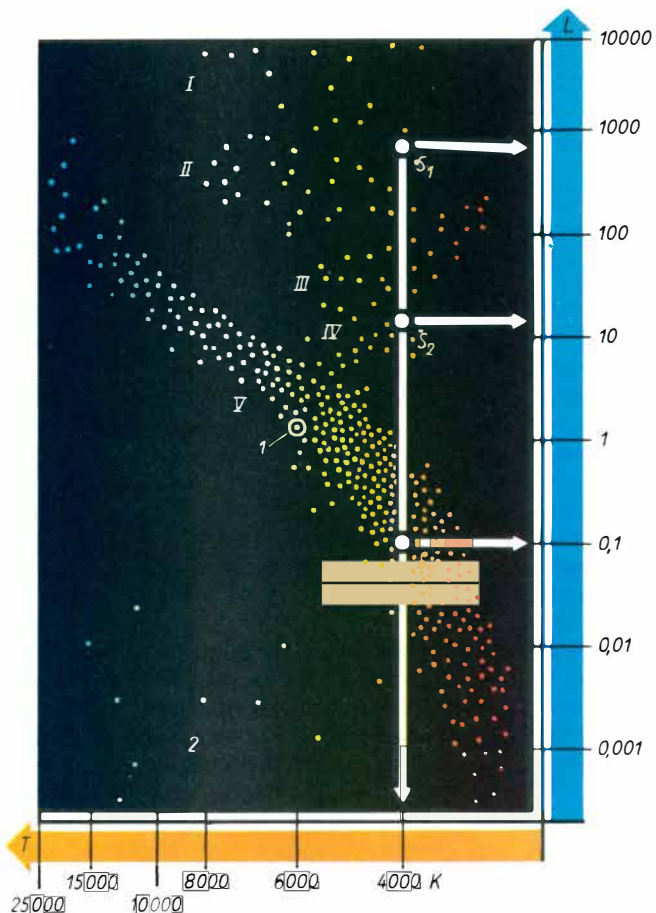
Sterne besitzen zumeist eine Atmosphäre aus Gasen, die von der aus dem Sterninnern kommenden Strahlung durchsetzt wird. Dort, wo die Strahlung entsteht, ist die Sternmaterie außerordentlich dicht, deshalb besitzt die Sternstrahlung zunächst ein reinkontinuierliches Spektrum. Durch die Sternatmosphäre werden diesem Spektrum aber Absorptionslinien aufgeprägt, so daß wir ein Absorptionsspektrum beobachten. Diese Linien verraten dabei, aus welchen chemischen Elementen die Atmosphäre besteht. Darüber hinaus kann man aus der Breite bestimmter

Spektrallinien entnehmen, welche *Strahlungsleistung* der Stern in den Raum abgibt und welche *Temperatur* an der Übergangszone zwischen Stern und Sternatmosphäre herrscht. (Die Temperaturwerte liegen zwischen 2500 K und 50000 K. Die Temperatur ergibt sich auch aus der Untersuchung des kontinuierlichen Untergrundes.) Strahlungsleistung ist aber nur ein anderer Ausdruck für Leuchtkraft, und damit haben wir eine Möglichkeit gefunden, diese für die Entfernungsbestimmung so wichtige Größe zu ermitteln. Die Leuchtkräfte der meisten Sterne liegen zwischen dem 100000fachen und einem Tausendstel der Sonnenleuchtkraft. Der schwächste verhält sich zum absolut hellsten etwa so wie eine 60-W-Lampe zur Leistung aller Kraftwerke der DDR.

Gibt es einen Zusammenhang zwischen Temperatur¹ und Leuchtkraft? Auf den ersten Blick ist man geneigt, eine sehr einfache Beziehung anzunehmen, denn es liegt offenbar auf der Hand, daß »heiße« Sterne eine größere Leuchtkraft haben müssen als »kühle« Sterne. Verschafft man sich aber Angaben über Temperatur und Leuchtkraft möglichst vieler Sterne und zeichnet sie in ein Diagramm ein, so ergibt sich eine überraschende Entdeckung (s. Abb. auf S.33): Nur die Sterne, die durch die mit »V« bezeichnete Punktmenge symbolisiert werden, entsprechen unserer Annahme. Es gibt aber auch Sterne, die bei gleicher Temperatur eine größere oder kleinere Strahlungsleistung abgeben als die Sterne der genannten Gruppe. Wir vergleichen die Sterne S_1 , S_2 und S_3 ! Ihre Temperaturen stimmen überein, aber ihre Leuchtkräfte sind deutlich voneinander verschieden. Für diese Erscheinung gibt es eine überraschend einfache Erklärung: Da zwei Sterne gleicher Temperatur auch die gleiche Energiemenge pro Quadratmeter Oberfläche und Sekunde abstrahlen, kann die höhere Leuchtkraft der Sterne S_1 und S_2 nur dadurch zustande kommen, daß diese Sterne über eine größere Oberfläche (mehr Quadratmeter) verfügen als S_3 . Das heißt aber, ihr Durchmesser ist größer.²

¹ Hier ist, wenn nicht ausdrücklich etwas anderes angegeben wird, stets die Temperatur an der Sternoberfläche gemeint.

² Dieses Diagramm ist in der Astronomie als Hertzsprung-Russell-Diagramm bekannt. Damit werden die beiden Entdecker des beschriebenen Zusammenhangs geehrt.



Temperatur-Leuchtkraft-Diagramm (1 - Sonne, 2 - Gebiet der Weißen Zwerge)

Mit voller Berechtigung bezeichnet man im Temperatur-Leuchtkraft-Diagramm daher die Sterne in den Bereichen II und III als Riesen; Sterne im Bereich I heißen Überriesen, und im Bereich IV finden sich die Sterne mit dem merkwürdigen Namen Unterriesen. Da die Bereiche I bis IV aber viel schwächer besetzt sind als der Bereich V, nennt man diesen die Hauptreihe des Diagramms. Haupt-

reihensterne entsprechen also der Annahme, daß hohe Leuchtkräfte hohe Temperaturen voraussetzen und daß Sterne geringerer Leuchtkraft auch nur eine niedrigere Temperatur an ihrer Oberfläche aufweisen. Noch kleinere Sterne müssen dann im Gebiet der Weißen Zwerge zu finden sein.

Temperatur und Farbe des Sternenlichtes hängen eng miteinander zusammen. Es wurde bereits angedeutet, daß man die Temperatur auch aus dem kontinuierlichen Untergrund im Sternspektrum erschließen kann. Heiße Sterne senden ein »blauerer« Licht aus als kühle, weil in ihrem Spektrum die maximale Intensität der Strahlung im kurzwelligen – blauen – Bereich liegt. (Man kennt diesen Effekt aus entsprechenden Erscheinungen auf der Erde: Rotglut, Gelbglut und Weißglut des Eisens oder anderer Körper stehen in ähnlicher Weise mit der Temperatur in Beziehung.) Daraus folgt aber, daß heiße Sterne bläulich, kühle Sterne rötlich leuchten müssen und daß man aus der Farbe des Lichtes eine Aussage über die Temperatur des Sterns gewinnen kann. In der Tat sind solche Farbunterschiede zu beobachten – Beteigeuze im Orion strahlt auffällig rot, verglichen mit Rigel im gleichen Sternbild! Leider ist das Farbempfinden des menschlichen Auges bei geringen Helligkeiten nur sehr schwach ausgeprägt (»Bei Nacht sind alle Katzen grau«), und so kann man mit direkter Beobachtung nur bei den hellsten Sternen Farbunterschiede feststellen. Es gibt aber Methoden, die Färbung des Lichtes auch schwacher Sterne zu ermitteln und damit ihre Temperatur zu bestimmen, selbst wenn sich kein ausdeutbares Spektrum mehr erhalten läßt. Die Sternpunkte auf Seite 33 zeigen also wirklich die Farben, die in den Spektren dieser Sterne überwiegen.

Wir haben damit eine (zwar noch nicht sehr genaue, aber für viele Sterne anwendbare) Methode gefunden, relative Sterndurchmesser zu ermitteln. Jeder Blick durch ein Fernrohr lehrt uns, daß die Sterne darin stets als Punkte erscheinen. Nicht einmal das größte Teleskop der Erde, der sowjetische 6-m-Spiegel im Kaukasus (Selentschukskaja), wäre in der Lage, sie als Scheibchen mit meßbaren Durchmessern darzustellen. Es mußte also früher als aussichtslos erscheinen, begründete Aussagen

über die wahren Durchmesser der Sterne machen zu können. Auch hier zeigt sich, daß – wie im Falle der Entfernungsbestimmung – der Mensch nicht vor Grenzen kapituliert und daß erkennbar wurde, was zunächst als unlösbares Problem erschien. Die Durchmesser der Sterne liegen in der Regel zwischen 0,01 und 300 Sonnendurchmessern. – Der kleinste Stern verhält sich zum größten wie ein Staubkorn zu einem mittleren Wohnzimmer.

Bei der Entfernungsbestimmung beginnend, haben wir einen relativ ausführlichen Abstecher in die Methodik der astronomischen Forschung gemacht. Damit sollte gezeigt werden, daß die Astronomen ihre Ergebnisse auf manchmal recht ungewöhnlichen, aber stets exakten Wegen gewinnen. Das gilt auch für die anderen Aussagen, die über Sterne und andere Objekte noch zu treffen sind, z. B. für die Bestimmung der Sternmassen. Die meisten Sterne haben Massen zwischen 0,05 und 50 Sonnenmassen.

Aus Masse und Durchmesser ergibt sich die Dichte eines Sterns. Allerdings ist diese Angabe nur ein Mittelwert. Die Stoffdichte im Stern nimmt zum Zentrum hin außerordentlich stark zu und kann so hoch werden, daß bei einem durchschnittlichen Hauptreihenstern 1 cm^3 Material – könnte man ihn ausschneiden und unverändert zur Erde bringen – hier mehr als 0,1 kp wiegen würde. Andererseits fällt die Dichte nach außen hin bis auf

$\frac{1}{10000} \text{ g/cm}^3$ ab, das entspricht einem Zehntel der Dichte

unserer Atemluft. (Dabei sind noch keine besonders extremen Fälle berücksichtigt.) Die mittleren Dichten der Sterne überdecken einen sehr großen Bereich; sie

liegen zwischen $\frac{1}{10000000}$ und 100000 g/cm^3 . (Diese hohen

Werte kommen bei den Weißen Zwergen vor.) Vergleichen wir die mittlere Stoffdichte in der Galaxis – Sterne und interstellares Medium zusammen – mit der mittleren Dichte eines Sterns, so bestätigt sich unsere Vermutung: Sterne sind Massenkonzentrationen von erheblicher Dichte. Selbst ein Stern mit einer mittleren Dichte von nur

$\frac{1}{1000000} \text{ g/cm}^3$ ist noch 100000 Billionen Mal kompakter als die Galaxis als Ganzes.

Lange Zeit hindurch ist die Sonne in der Astronomie als einmalig vorhandene Erscheinung betrachtet worden. Ihre Helligkeit und ihre Wärmestrahlung, ihre Größe am Himmel und ihre rasche scheinbare Bewegung durch die Sternbilder des Tierkreises ließen sie über Jahrtausende hinweg als etwas Besonderes erscheinen, vergleichbar höchstens dem Mond. Wir wissen heute, daß gerade dieser Vergleich den physikalischen Realitäten ganz und gar nicht entspricht. Vielmehr ist die Sonne ein Stern wie viele andere – nur ist sie eben *unser* Stern. Wir befinden uns ihr so nahe, daß sie uns heller und größer erscheint als alle anderen Sterne. Die Sonne ist auch der einzige Stern, auf dessen Oberfläche wir Einzelheiten sehen können. Es muß daher reizvoll und lehrreich sein, die an den anderen Sternen unbeobachtbaren Erscheinungen und Vorgänge an der Sonne zu studieren.

Zunächst fragen wir danach, wo die Sonne im Milchstraßensystem ihren Platz hat. Da wir von der Erde aus – die sich ja, kosmisch gesehen, in unmittelbarer Nähe der Sonne befindet – die Milchstraße als ein geschlossenes Band rings um die Himmelskugel beobachten können, ist unser Standort sicher nicht gänzlich am Rande der Galaxis. Die Sonne befindet sich aber auch nicht im Zentrum, sondern etwa 30000 Lichtjahre von ihm entfernt, nahe der Mittelebene. Bei einem Scheibenhalmes von rund 50000 Lichtjahren bedeutet das, daß wir auf reichlich dem halben Wege vom Zentrum zum Rande der galaktischen Scheibe postiert sind, und zwar am Rande eines Spiralarmes. Unsere Sonne ist ein heißer, strahlender Gasball mit einem Durchmesser von 1 400 000 km, das ist die 109fache Länge des Erddurchmessers. In der Übergangszone zwischen dem Sonneninnern und der Sonnenatmosphäre beträgt die Temperatur der Gase rund 5800 K, im Zentrum liegt sie höher als 15 Mill. K. Daß wir trotz der hohen Temperatur und des gasförmigen Zustandes der Sonnenmaterie von einer »Oberfläche« sprechen können, hat seine Ursache in der starken Massenanziehung der Sonne. Wir sehen daher die Sonne immer scharf begrenzt.¹

¹ Ein diffuser Übergang ist tatsächlich in geringem Maße vorhanden. Er kann aber von der Erde aus, da die Übergangsschicht sehr dünn ist, praktisch nicht beobachtet werden.

Aus der Abbildung auf Seite 33 kann man entnehmen, daß die Sonne ihrer Leuchtkraft und auch ihrer Temperatur nach zu den Hauptreihensternen gezählt werden muß; die Leuchtkraft beträgt rund $4 \cdot 10^{20}$ – das sind 400 Millionen Billionen – Megawatt. Jeder Quadratmeter der Sonnenoberfläche gibt 64 MW Strahlungsleistung ab! (Die Gesamtleistung aller Energieerzeugungsanlagen auf der Erde betrug im Jahre 1968 25 Mill. MW. Diese Leistung strahlt ein Areal Sonnenoberfläche von der Größe eines mittleren Getreidefeldes ab!)

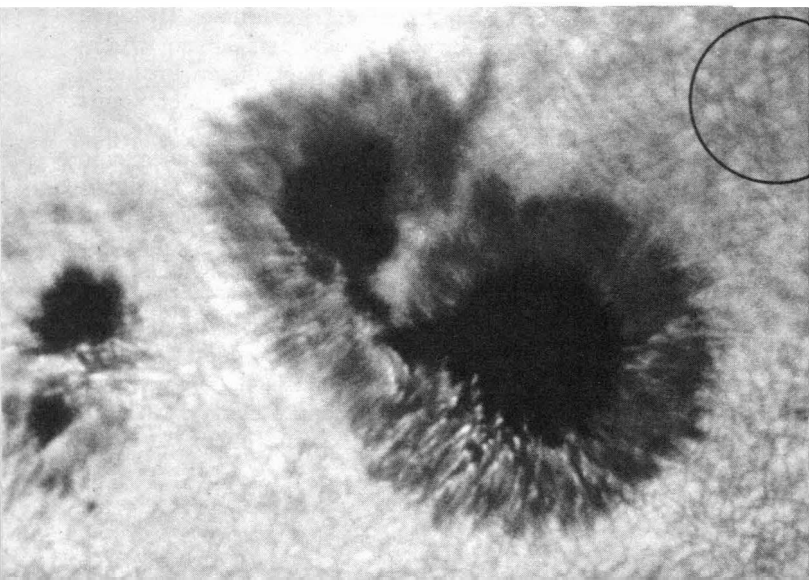
Die Frage, woher die Sonne diese immensen Energiemengen bezieht, bewegt die Wissenschaft schon seit sehr langer Zeit. Aber erst im Jahre 1938 gelang eine Lösung dieses Problems, als die Kernfusion, die »Verschmelzung« mehrerer Atomkerne zu einem neuen Kern, entdeckt wurde. Heute wissen wir, daß in der Sonne, und zwar in den innersten, heißesten Regionen, ständig Wasserstoffatomkerne (Protonen) miteinander »verschmelzen« und daß bei jeder derartigen Kernreaktion ein Energiebetrag von $\frac{1}{10^{18}}$ kWh frei wird. Das ist zwar unvorstellbar wenig, aber die große Zahl solcher Reaktionen (im Mittel 10^{38} in jeder Sekunde) ergibt insgesamt eben doch eine so große Energie, daß die Sonne ständig $4 \cdot 10^{20}$ MW Strahlungsleistung abgeben kann. Sie »verbrennt« dabei auch nicht, denn die Kernfusion ist keine chemische Reaktion; allerdings verwandelt sich ein Bruchteil der Masse der an der Reaktion beteiligten Protonen in Strahlung. Dieser Masseverlust beträgt bei der Sonne pro Sekunde etwas mehr als 4 Mill. t. Besorgnisse, die Sonne könne sich auf diese Weise selbst verzehren, sind allerdings unbegründet. Der Verlust macht in 5 Milliarden Jahren (und so alt dürfte die Sonne etwa sein) nur ein halbes Promille der Sonnenmasse aus.

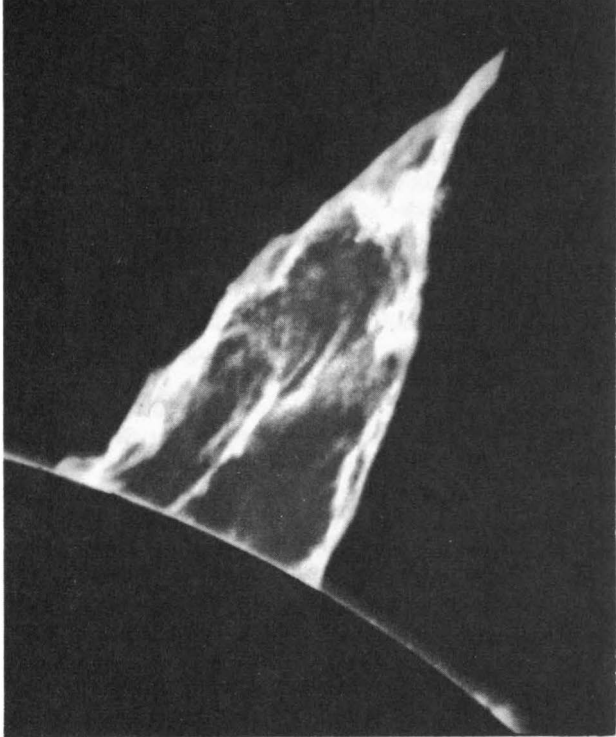
Wir haben allen Grund, anzunehmen, daß in nahezu allen anderen Sternen die gleichen oder ähnliche Prozesse ablaufen. Sie führen zur ständigen Freisetzung großer Energiemengen und können nur in den zentralen Regionen der Sterne vor sich gehen, da die elektrisch gleichnamig – positiv – geladenen Protonen sich normalerweise abstoßen. In den heißen Zentren der Sterne haben sie aber,

durch die hohen Temperaturen und die großen Dichten bedingt, genügend große Geschwindigkeiten, um die abstoßenden Kräfte zu überwinden. Die freiwerdende Energie muß sich erst in einem langwierigen Prozeß durch den Stern »hindurcharbeiten«, bis sie von der Stern»oberfläche« aus endlich in den Raum abgestrahlt werden kann. Strahlung, die wir heute von der Sonne empfangen, wurde dort zwar erst vor wenigen Minuten abgestrahlt, aber sie entstand unter Umständen schon vor mehreren tausend Jahren und benötigte diese lange Zeit, um den Weg vom Zentrum zur Oberfläche zurückzulegen.

Die Sonne wird von einer Atmosphäre umgeben. Man unterteilt sie, wie die Erdatmosphäre, in mehrere Schichten. Die innerste, nur wenige hundert Kilometer dicke Schicht ist gleichzeitig der Übergang zur eigentlichen Sonnenkugel. Man kann sie ebensogut als »Oberflächenschicht« der Sonne bezeichnen; sie wird *Photosphäre* genannt. Diese Schicht sehen wir, wenn wir die Sonne beobachten. In ihr befinden sich die *Sonnenflecken*, die als eines der äußeren Anzeichen für zeitweilig auftretende Magnetfelder auf und in der Sonne beobachtbar sind (s. Abb. unten). Alle elf Jahre treten sie gehäuft auf. Die

Sonnenflecken. Der eingezeichnete Kreis soll die Größe der Erde andeuten





Protuberanz am 11. April 1959 mit einer Höhe von 340000 km

bereits genannte »Oberflächen«temperatur der Sonne bezieht sich auf die Photosphäre.

Die nächstäußere Schicht ist die *Chromosphäre*, eigentlich ein Flammenmeer, dessen Flammen im Mittel 10000 km hoch (das ist fast die Länge des Erddurchmessers) und knapp 1000 km dick sind. Die Chromosphäre kann nur bei Sonnenfinsternissen oder nur mit Spezialgeräten gesehen werden, da sie normalerweise von der erheblich helleren Photosphäre völlig überstrahlt wird. Aus der Chromosphäre aufsteigende helle Wolken, die überwiegend aus Wasserstoff bestehen, werden Protuberanzen genannt und stehen mit den auch die Fleckenbildung auslösenden Magnetfeldern in engem Zusammenhang.

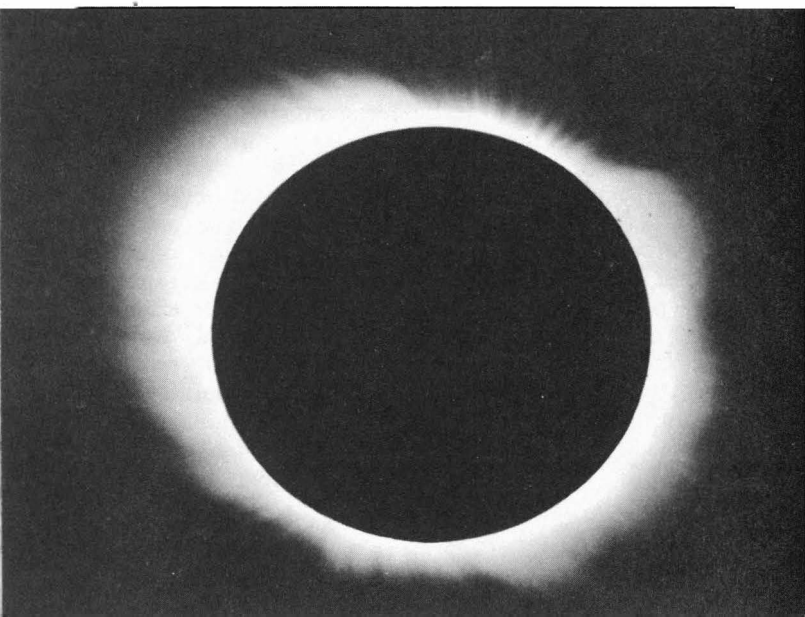
Die *Korona* ist die äußerste Schicht der Sonnen-

atmosphäre; auch sie kann nur bei Sonnenfinsternissen oder nur mit Spezialgeräten gesehen werden. Wahrscheinlich geht sie kontinuierlich in den interplanetaren Raum über.

Wir haben schon mehrfach die ständige Entwicklung und Veränderung der Materie im Kosmos erwähnt. Sterne sind auch eine – und wie wir gesehen haben, sogar eine sehr dichte – Form der Materie. Entwickelt sie sich auch? Wie entstehen Sterne? Diese Frage ist heute noch nicht geklärt. Doch gibt es Vorstellungen über den Prozeß der Sternentstehung, die einen hohen Grad an Wahrscheinlichkeit besitzen.

Sterne bilden sich aus dem interstellaren Medium. Wenn aus irgendeinem Grunde an einer Stelle dieses Gas-Staub-Gemisch etwas verdichtet wird, z.B. durch seine eigene Turbulenz, so kann diese Konzentration infolge der Gravitationskraft die Massen der Umgebung an sich ziehen, und, wenn eine genügend große Konzentration als Ausgangspunkt vorliegt, zur Zusammenballung großer Mengen des interstellaren Mediums führen. Man rechnet damit, daß diese Ansammlungen etwa 10000 Son-

Sonnenkorona



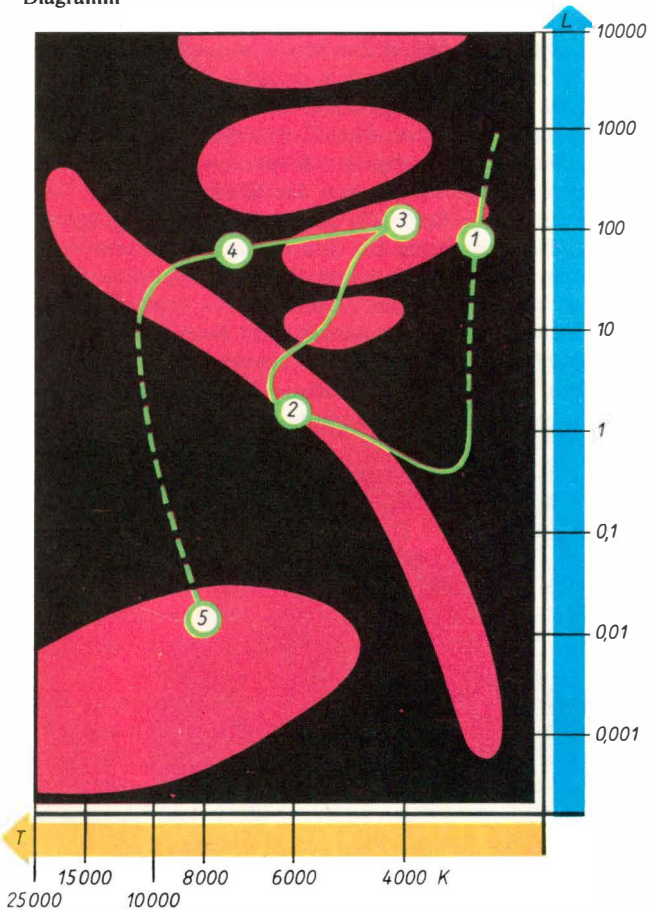
nenmassen umfassen. Während diese große Masse sich immer schneller verdichtet – mit steigender Dichte wächst ja auch die Gravitationskraft –, teilt sie sich in kleinere Bereiche auf, die ihrerseits Konzentrationen bilden und aus denen später die einzelnen Sterne hervorgehen. Sterne entstehen also nicht als Einzelgebilde, sondern immer in großen Gruppen.

Die Dichte im Innern der entstehenden Gaskugel nimmt im Verlauf der Kontraktion ständig zu. Indem die Gasatome (und später die Moleküle) zum Zentrum hin fallen, wird Energie frei, die zunächst als Strahlung durch die Gasmassen nach außen dringen kann. Erst wenn durch die weiter ansteigende Gasdichte das Zentralgebiet des entstehenden Sterns undurchsichtig wird, kann die Energie nicht mehr abgestrahlt werden. Es entsteht ein Energiestau, und das Innere der Gaskugel erhitzt sich. Dabei steigt der Gasdruck, der nach außen, entgegen der Kontraktion, gerichtet ist. Ein Stern wie unsere Sonne nimmt in diesem Zustand einen Raum ein, in den der innere Bereich unseres Sonnensystems bis zur Jupiterbahn gut hineinpassen würde. Er wird immer noch von einer riesengroßen Gas-Staub-Wolke umgeben, aus der ständig Teilchen auf die neuentstandene Gaskugel herabfallen. Dadurch und durch ihre Kontraktion steigt die Temperatur weiter.

Wenn wir den sich bildenden Stern aus einigen Lichtjahren Entfernung betrachten würden, könnten wir kaum etwas wahrnehmen. Die Gas-Staub-Wolke, die ihn umschließt, ist ja sehr dicht und wirkt wie eine kleine Dunkelwolke. Lediglich infrarote Strahlung dringt hindurch, und in der Tat sind bereits Sterne entdeckt worden, die fast ihre gesamte Energieabstrahlung im infraroten Spektralbereich aussenden. Es ist ziemlich sicher, daß zumindest einige dieser Objekte entstehende Sterne sind. Die Wolke regnet sich aber im Laufe der Zeit auf ihren Zentralkörper ab; dadurch fällt die bisherige starke Sichtbehinderung weg, so daß schließlich die zentrale Gaskugel hindurchscheint. Zu diesem Zeitpunkt könnten wir für einen sehr kurzen Zeitraum das Objekt als einen kühlen, rötlichen Stern sehen, und zwar gleich mit ziemlich hoher Leuchtkraft (Stellung (1) in der Abb. auf S. 42).

Da er sich immer weiter verkleinert, nimmt seine Leuchtkraft ab; er bewegt sich in unserem Temperatur-Leuchtkraft-Diagramm nach unten. Schließlich erreicht die Temperatur in den Kerngebieten den Wert von einigen Millionen Grad Kelvin, bei dieser Temperatur ist die Geschwindigkeit eines Teiles der Wasserstoffkerne so groß,

Der Entwicklungsweg eines Sterns im Temperatur-Leuchtkraft-Diagramm



daß ihre Bewegungsenergie die elektrostatische Abstoßung übersteigt. Sie verschmelzen miteinander – das »Wasserstoffbrennen« hat begonnen. (Ein »Brennen« im chemischen Sinne ist etwas ganz anderes; hier im Stern handelt es sich um physikalische Reaktionen zwischen Atomkernen. Man benutzt aber den Ausdruck »Brennen« gern wegen seiner Anschaulichkeit.) Der Gasdruck und der Strahlungsdruck, die beide nach außen wirken, halten der nach innen gerichteten Gravitation jetzt die Waage. Der Stern ist stabil geworden.

Es gibt allerdings auch eine ganz andere Hypothese über die Sternentstehung. Nach dieser Vorstellung, die von dem sowjetischen Astrophysiker W. A. Ambarzumjan entwickelt wurde, bilden sich die Sterne nicht durch Zusammenballung von diffuser, sondern durch Ausdehnung von überdichter stofflicher Materie. Diese Annahme – wie allerdings auch die Hypothese der Sternentstehung aus interstellarem Gas und Staub – kann die Existenz von lockeren Gruppen (Assoziationen) junger Sterne erklären, die sich im Laufe von einigen Millionen Jahren auflösen.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, daß Ambarzumjans Vermutung auf die Kerne von Sternsystemen übertragen wurde. Tatsächlich strömt aus dem Zentralgebiet des Milchstraßensystems ständig Materie ab, ein Vorgang, den man auch bei anderen Galaxien beobachten kann.

Im Temperatur-Leuchtkraft-Diagramm befindet sich der Stern, nachdem er – wie schon oben beschrieben – stabil geworden ist, auf der Hauptreihe (Abb. auf S. 42, Stellung (2)). Er behält dort seinen Platz so lange, bis in der Zentralregion der Wasserstoffvorrat zur Neige geht. Wie lange der »Brennstoff« dort reicht, hängt wesentlich von der Masse des neuentstandenen Sterns ab; die Sterne ordnen sich nämlich so auf der Hauptreihe an, daß die massereichsten ganz oben links, die massearmen unten rechts zu stehen kommen. Oben im Diagramm sind aber auch die Leuchtkräfte unverhältnismäßig viel höher als am unteren Ende der Hauptreihe; die großen, heißen und hellen Hauptreihensterne verbrauchen daher ihren »Brennstoffvorrat« viel schneller als die Sonne oder die noch kleineren Sterne. (Die Sonne verweilt eine etwa

1000mal längere Zeit auf der Hauptreihe als ein Stern von zehnmal so großer Masse!)

Das Zentralgebiet des Sterns wird nun über Millionen oder Milliarden Jahre hinweg mit Helium immer stärker angereichert.¹ Wenn der Wasserstoffanteil dort weitgehend verbraucht ist, zieht sich das Kerngebiet zusammen, und die äußere Hülle – die noch Wasserstoff enthält – dehnt sich aus. Der Stern wandert in relativ kurzer Zeit im Temperatur-Leuchtkraft-Diagramm in das Gebiet der Riesen (Stellung (3) in der Abb. auf S. 42). Gleichzeitig erhöht sich aber im Kern durch die Kontraktion die Temperatur auf etwa 100 Millionen Grad. Bei dieser Temperatur ist die Geschwindigkeit eines Teiles der Heliumkerne groß genug, die Barriere ihrer gegenseitigen elektrostatischen Abstoßung zu durchbrechen. Sie verschmelzen miteinander zu schwereren Kernen (Beryllium, Lithium, Bor, Kohlenstoff u. a.), und bei diesem Prozeß wird wiederum Energie frei. Der Stern benutzt also das »Abfallprodukt« seiner ersten Energiefreisetzungsphase, das Helium, später nochmals als »Brennstoff«. Allerdings läuft auch in den äußeren Bereichen wegen der dort herrschenden Temperaturen und Dichten die Wasserstofffusion weiter, so daß nun zwei Energiequellen zur Verfügung stehen.

Im Riesenstadium bleibt der Stern nur eine vergleichsweise kurze Zeit. Dann durchläuft er in einem großen Bogen (der aber im Einzelfall je nach der Sternmasse kleinere und größere Schleifen enthalten kann) das Temperatur-Leuchtkraft-Diagramm zunächst nach links und dann nach unten. Auf dieser Bahn durchquert der Stern auch den Bereich der pulsierenden Sterne (Stellung (4) in der Abb. auf S. 42). Sterne, deren Masse einen bestimmten Grenzwert von etwa 1,2 Sonnenmassen nicht überschreitet, können ihre Existenz als Weiße Zwerge beschließen. In diesem Stadium sind alle Energiequellen verbraucht, und die Sterne ziehen sich zunächst immer stärker zusammen. Die freiwerdende Kontraktionsenergie wird abgestrahlt. (Weiße Zwerge erreichen unvorstellbar große mittlere Dichten, die in der Größenordnung einiger 100 bis 1000 kg/cm³ liegen. In ihnen sind die Atome »zu-

¹ Damit verändert sich also die chemische Zusammensetzung im Zentralgebiet des Sterns!

sammengebrochen«, die Atomkerne liegen weitaus dichter beisammen, als in jedem »normalen« Stoff.) Die Elektronen »entarten« dann, d. h., sie bilden ein Gas, dessen Druck nicht von der Temperatur, sondern nur von der Dichte allein abhängig ist. Weiße Zwerge können in diesem Stadium langsam auskühlen, ohne sich weiter zusammenzuziehen.

Sterne mit größeren Massen entwickeln sich nach dem Riesenstadium anders weiter. Bereits vor mehreren Jahrzehnten wurde vermutet, daß bei explosionsartiger Massenabgabe eines solchen Sterns die Dichte des Restkörpers – dessen Masse zwischen 1,2 und 2 Sonnenmassen liegt – noch höher werden kann als in den Weißen Zwergen. Infolge des dabei entstehenden extrem hohen Druckes bilden sich aus den Protonen und Elektronen des Sternmaterials Neutronen. Erst die Kernkräfte können die Kontraktion aufhalten. Ein solcher Neutronenstern von rund 1,5 Sonnenmassen hat nur wenig mehr als 10 km Durchmesser. Die mittlere Dichte nimmt damit den unvorstellbaren Wert von einigen hundert Milliarden Kilogramm je Kubikzentimeter an.

Einige dieser Objekte sind in den letzten Jahren radioastronomisch beobachtet worden. Sie tragen die Bezeichnung *Pulsare*, weil ihre Radiostrahlung in regelmäßigen, sehr kurzen Abständen (einigen hundertstel Sekunden bis etwas über drei Sekunden) pulsiert. Man vermutet, daß es sich um rotierende Neutronensterne handelt, in die ein starkes Magnetfeld eingebettet ist. Die Feldlinien werden bei der schnellen Rotation mitbewegt, und beim Abströmen von Gas längs dieser Feldlinien entsteht die Radiostrahlung, die im Rhythmus der Rotationsfrequenz pulsiert. Zur Beobachtung von Pulsaren sind hochempfindliche Radioteleskope erforderlich.

Sterne, die nach Massenabgabe noch mehr als 2 Sonnenmassen aufweisen, fallen im Endstadium ihrer Entwicklung möglicherweise total in sich zusammen. Bei ihnen sind auch die Kernkräfte nicht in der Lage, die Kontraktion zu bremsen. Man nennt das bei diesem Zusammenbruch entstehende, zur Zeit noch hypothetische Objekt ein »Schwarzes Loch«. Es kann von keinem Beobachter gesehen werden, denn es dringen keinerlei Signale, also auch

kein Licht mehr, nach außen. Nur durch seine Massenanziehung auf benachbarte Sterne ist es nachweisbar.

Auch unsere Sonne wird in ferner Zukunft einmal ein Riesenstern werden. Bis dahin werden noch einige Milliarden Jahre vergehen. Es ist fraglich, ob dann noch Leben in der heutigen Form auf der Erde existiert. Sicher aber wird die Expansion der Sonne die Lebensbedingungen auf der Erde und den anderen inneren Planeten unseres Sonnensystems entscheidend verändern.

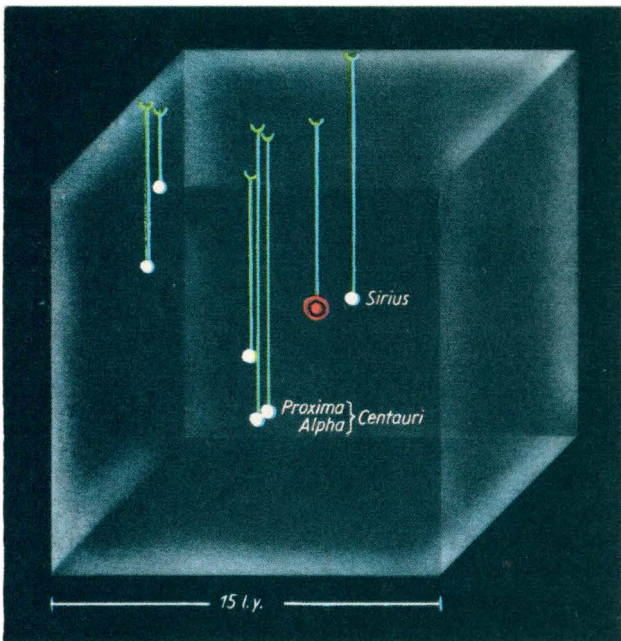
Wir haben gesehen, daß das Entwicklungsprinzip auch für die Sterne, die uns so unveränderlich erscheinen, und auch für die Sonne gilt. Es ist ein universelles Prinzip, dem alles im Weltraum unterworfen ist.

Unsere Nachbarschaft

Wir haben die Galaxis als unsere kosmische Heimat kennengelernt. Aber die großen Entfernungen zwischen den einzelnen Sternen¹ lassen doch erkennen, daß unsere Sonne recht einsam im Raum schwebt (s. Abb. S.47). Dieser Satz gilt allerdings nur in bezug auf andere *Sterne*. Es kommt unserem »kosmischen Heimatgefühl« sicher entgegen, zu wissen, daß in der unmittelbaren Umgebung der Sonne eine Vielzahl von Himmelskörpern existiert. Man kann sagen, daß die Sonne von einer dichten Materiewolke umgeben ist. Dabei fassen wir den Begriff *Materie* durchaus nicht im Sinne einer Einengung auf stoffliche Substanz auf. Auch die Feldform der Materie ist in der nahen Umgebung der Sonne reichlich vorhanden; denken wir nur an die intensive Sonnenstrahlung in den verschiedensten Wellenlängen oder an das starke Gravitationsfeld.

Jeder weiß, daß die Sonne von den *Planeten* umlaufen wird. Sie bilden das Planetensystem, bewegen sich auf sehr kreisähnlichen Ellipsen nahezu in einer Ebene und umlaufen die Sonne um so schneller, je näher sie ihr sind. Aber die Planeten sind bei weitem nicht die einzigen

¹ Selbst der nächstgelegene, Proxima Centauri am südlichen Sternhimmel, ist 1,3 pc oder 4,3 Lichtjahre von uns entfernt.



Sterne in der Umgebung der Sonne
 (l. y. – light years, Lichtjahre; ⊙ – Sonne)

Himmelskörper, die durch die Massenanziehung der Sonne im Sonnensystem gehalten werden. Schon die *Monde* der Planeten sind zahlreicher als die Planeten selbst. Während 9 Planeten die Sonne umlaufen, bewegen sich insgesamt 33 natürliche Satelliten im Sonnensystem um ihre Planeten. Die Zahl der von Menschen geschaffenen künstlichen Satelliten ist noch weit höher.

Hauptsächlich zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter liegen die Bahnen vieler kleiner Himmelskörper, die sich wie Planeten um die Sonne bewegen, deren Durchmesser jedoch in den meisten Fällen nicht einmal den Vergleich mit einem Mond zuläßt. Es sind *Kleinplaneten* (auch *Planetoiden* oder *Asteroiden* genannt), deren Zahl auf rund 50000 geschätzt wird. Mindestens eine Million Mal so groß ist nach vorsichtigen Schätzungen die Zahl

der *Kometen*, die die Sonne umlaufen. Sie bewegen sich auch auf Ellipsen, jedoch sind ihre Bahnen sehr langgestreckt. Eine schwer abschätzbare Zahl von Teilchen des *interplanetaren Mediums* (Gasatome, Staubteilchen und größere Körper) vervollständigt die Materiewolke um die Sonne, die weit über die Bahn des Pluto – des sonnenfernsten Planeten – hinausreicht.

Die Planeten sind also, verglichen mit den anderen Körpern im Anziehungsbereich der Sonne, zahlenmäßig unterlegen. Trotzdem bezeichnet man den Raum um die Sonne und die darin befindlichen Körper oft als Planetensystem. Das ist einleuchtend, denn die Planeten sind nun einmal die bekanntesten Objekte in diesem Raum, und die Gesamtmasse der neun Planeten liegt ganz erheblich über der Gesamtmasse aller anderen Körper des Sonnensystems – die Sonne natürlich ausgenommen. Der Vergleich wird durch eine Tabelle erleichtert:

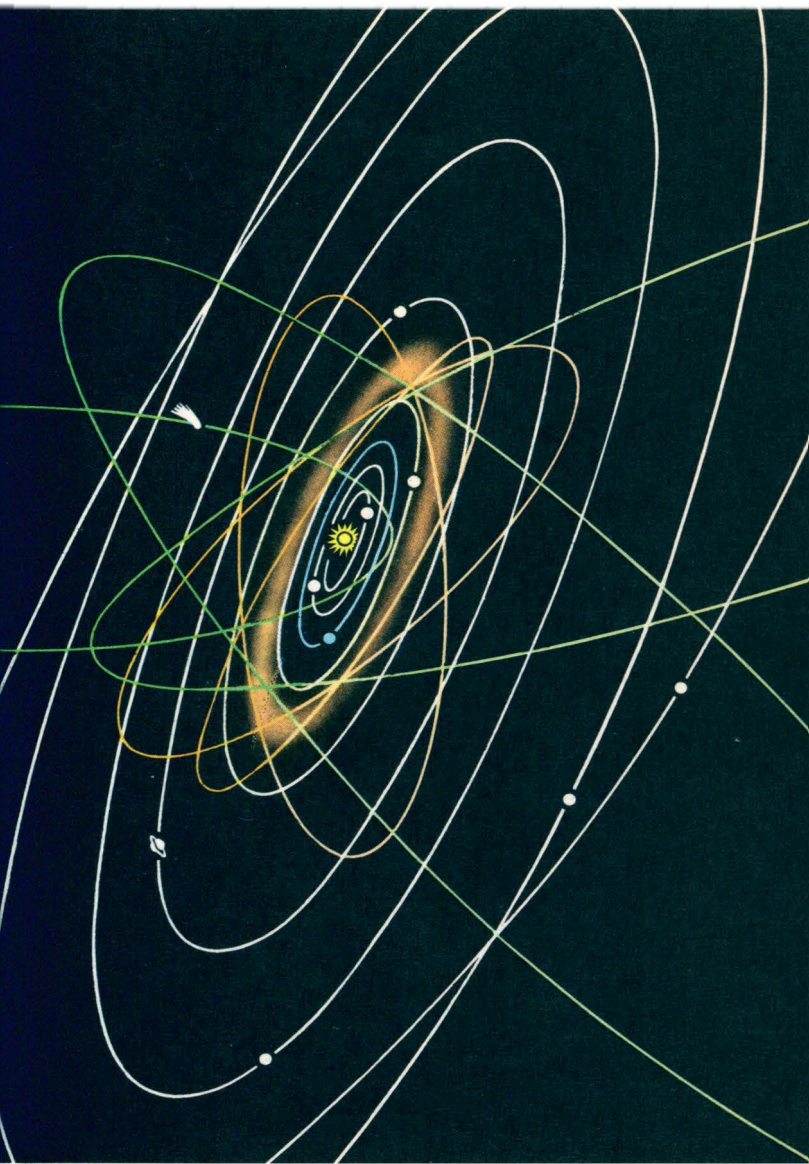
Körper im Sonnensystem	Anzahl	Gesamtmasse im Vergleich zur Erdmasse
Sonne	1	333 000 ¹
Planeten	9	448
natürl. Satelliten	33	0,1
Kleinplaneten	rund 50000	höchstens 0,1
Kometen	10 Millionen bis 10 Milliarden	höchstens 0,1
Interplanetar. Medium	nicht bekannt	vielleicht 0,000 000 1

¹ Damit liegt das Gravitationszentrum des ganzen Systems eindeutig in der Sonne!

Wir ersehen daraus, daß die zahlenmäßig weit überwiegenden kleinen Körper im Sonnensystem zur Gesamtmasse des Systems nahezu nichts beitragen. Selbst wenn man von der Sonne absieht, beträgt der Massenanteil der Monde, der Planetoiden, der Kometen und des interplanetaren Mediums zusammen nur etwa 0,06 %.

Wir wollen uns nach dieser ersten Orientierung nun in der Umgebung der Sonne genauer anschauen. Dabei fällt zunächst auf, daß die Sonne in eine riesige, abge-

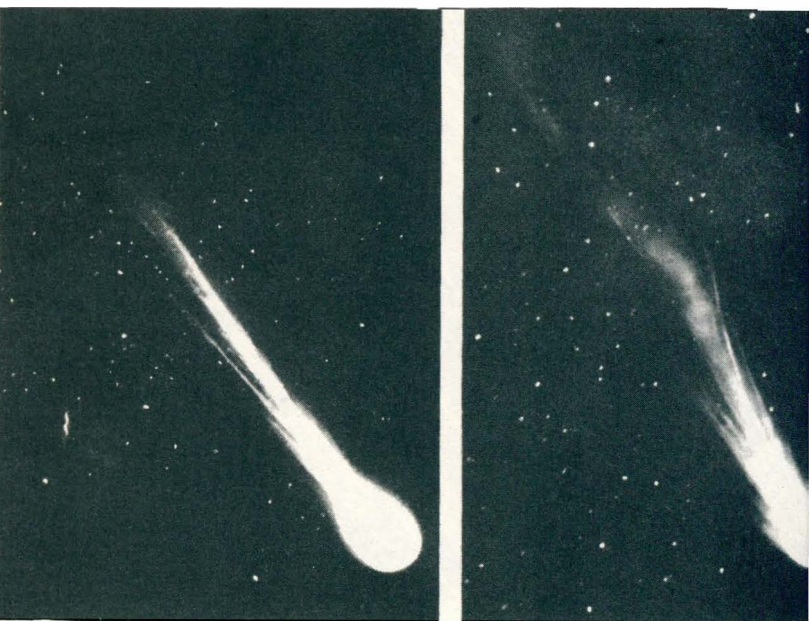
Der Aufbau des Sonnensystems



flachte Wolke von *Gas und Staub* sowie kleineren und größeren Körpern eingebettet ist. Sie führt dieser Wolke übrigens selbst neues Material zu, indem sie ständig (aber nicht gleichmäßig) Gasteilchen, Protonen, Elektronen und Heliumkerne nach allen Seiten in den Raum abgibt. Man nennt diesen Materialstrom den Sonnenwind. Direkt beobachtbar wurde das interplanetare Gas erst durch künstliche Himmelskörper und Raumsonden, obwohl die Existenz des Sonnenwindes durch seine Wirkung auf die Kometen bereits vorher vermutet worden war.

Größere Körper, *Meteorite* genannt, sind im interplanetaren Medium seltener. Man kann sie im Weltraum nicht sehen; erst wenn sie in der Erdatmosphäre verglühen, werden sie beobachtbar und erscheinen als *Meteore* (Sternschnuppen). Sie erhitzen sich und die umgebende

Komet Halley, 1910, (links) mit einer Schweiflänge von etwa 25 Mill. km. Nächste Wiederkehr: 1986. Rechts: Komet Ikeya, 1963



Luft beim Eindringen in die Erdatmosphäre so stark, daß es zum Aufleuchten kommt. Kleine Meteoriten (von wenigen Millimetern Durchmesser bis zur Größe einer Pflaume) verbrennen dabei völlig, von größeren Körpern fallen meist Bruchstücke zur Erde. Verständlicherweise hängt auch die Intensität der Leuchterscheinung von der Größe des sie erzeugenden Meteoriten ab.

Meteoriten und interplanetarer Staub werden also von der Erde – und natürlich auch von den anderen Planeten – auf Grund der allgemeinen Gravitation angezogen. Schätzungen ergaben, daß täglich 100 kg Meteoritenmaterial auf die Erdoberfläche gelangen, dazu die 100- bis 1000fache Menge an interplanetarem Staub. Das ist sehr wenig; wenn er über die ganze Erde gleichmäßig verteilt wäre, entfielen auf das Areal einer Großstadt täglich nicht mehr als 10 g Staub aus dem Weltraum. Es gibt Prozesse im Sonnensystem, die den Vorrat an interplanetarem Gas und Staub auffüllen. Dazu gehört die Auflösung der Kometen.

Das Erscheinungsbild eines *Kometen* ist weitgehend bekannt. Im hellsten Teil des »Schweifsterns« befindet sich der sternartige Kern, umgeben von der Koma, aus der sich unter günstigen Umständen der Schweif entwickelt. Das aber hängt, wie überhaupt das Aussehen der Kometenerscheinung, stark vom Abstand Sonne–Komet ab.

In sonnenfernen Regionen seiner meist sehr langgestreckten Ellipsenbahn besteht der Komet lediglich aus einer Konzentration von Meteoriten, Eis und gefrorenen Gasen. Ein derartiges Materiepaket (ein Kometenkern) dürfte im Mittel 10 km Durchmesser aufweisen und einige hundert Milliarden Tonnen Masse enthalten. Bei Annäherung an die Sonne auf etwa sechs Astronomische Einheiten¹ werden die äußeren Schichten des Kerns so weit erwärmt, daß die leichtflüchtigen Bestandteile in den gasförmigen Zustand übergehen und eine Wolke – Koma genannt – um den Kern bilden. Dabei reißen die Gase auch Staubteilchen aus dem Kern mit sich. Der Durchmesser der Koma ist etwa 1000mal so groß wie der des Kerns.

¹ Unter einer Astronomischen Einheit (AE) versteht man die mittlere Entfernung Erde–Sonne. Sie beträgt 149,6 Mill. km, bei Entfernungsangaben im Sonnensystem wird sie oft als Maßeinheit benutzt.

Die Dichte dieser Gaswolke ist außerordentlich klein; sie beträgt nur $\frac{1}{10000}$ der Dichte in irdischen Vakuumanlagen.

Die Koma leuchtet (hier spielen sich ähnliche Vorgänge ab wie beim Leuchten des interstellaren Mediums), und damit wird der Komet beobachtbar.

Erst wenn der Abstand des Kometen von der Sonne nur noch 1 bis 2 Astronomische Einheiten beträgt, bildet sich der bekannte Schweif. Er entsteht durch den Druck der Teilchenstrahlung des schon erwähnten Sonnenwindes auf das Material der Koma, das in die sonnenabgewandte Richtung weggeblasen wird. Ein solcher Kometenschweif, der wie die Koma teils ein Anregungs-, teils ein Reflektionsleuchten aussendet, kann mehrere Millionen Kilometer lang werden und in extremen Fällen sogar den Erdbahnhalmes übersteigen. Das Schweifmaterial und Teile der Koma gehen dem Kometen verloren. Man hat beobachtet, daß sich wolkenartige Strukturen im Kometenschweif mit Geschwindigkeiten von 10 bis 100 km/s nach außen bewegen.

Nach dem Durchgang durch den sonnennächsten Bahnpunkt wird der Einfluß der Sonne allmählich geringer. Zunächst läßt die Schweifintensität nach, dann verschwindet der Schweif völlig, und schließlich kondensieren die Komabestandteile, bis der Kern – für uns wegen seiner Kleinheit unbeobachtbar – allein übrigbleibt. Aber beim nächsten Durchgang in Sonnennähe beginnt das Spiel von neuem, und da sich dieser Vorgang ständig wiederholt, nimmt die Masse des Kometen mit der Zeit ab. Wegen der dadurch nachlassenden Anziehungskraft löst sich der Komet allmählich in seine Bestandteile auf. Derartige Auflösungsvorgänge sind beobachtet worden. Das Material ergänzt die Vorräte des interplanetaren Gases und des Staubes und liefert Meteoriten, die sich noch lange in großen Schwärmen entlang der Bahn des einstigen Kometen bewegen. Kreuzt die Erde eine solche Bahn, dann treten besonders viele Sternschnuppen auf. Ein Beispiel dafür ist der bekannte Perseidenstrom, dessen Meteoriten von einem im Jahre 1862 beobachteten Kometen stammen und der jährlich in den Tagen um den 12. August auftritt.

Die Kometen sind dasjenige Untersystem im Sonnensystem, das in seiner Gesamtheit den größten Raum einnimmt. Planeten, Planetoiden, ja sogar Staub und Gas bleiben in einem Bereich, den man als große Kugel mit einem Halbmesser vom 40fachen der Entfernung Erde-Sonne charakterisieren kann. Die Kometen nehmen ebenfalls einen kugelförmigen Raum um die Sonne ein, aber der Radius dieser Kugel beträgt vermutlich mehr als 100000 AE. Das ist 2500mal mehr als der Radius der Gas-Staub-Wolke! Wie weit die sehr exzentrischen Ellipsen der Kometenbahnen reichen können, wird bei folgender Überlegung noch deutlicher: 200000 AE sind ein Parsek. Der nächste Stern ist aber, wie bereits erwähnt, 1,3 pc von der Sonne entfernt. Das sind 260000 AE. Mit über 100000 AE liegen also die sonnenfernsten Bahnpunkte dieser Kometen fast schon auf halbem Wege zum nächsten Stern! Natürlich bewegen sich nicht sehr viele Kometen auf so großen Bahnen.

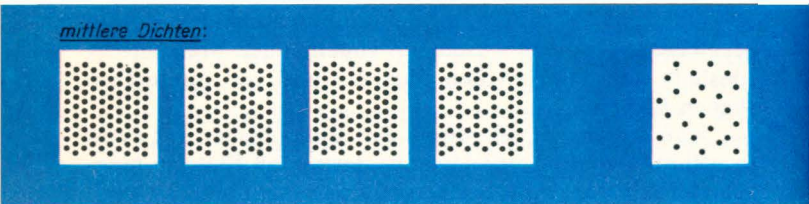
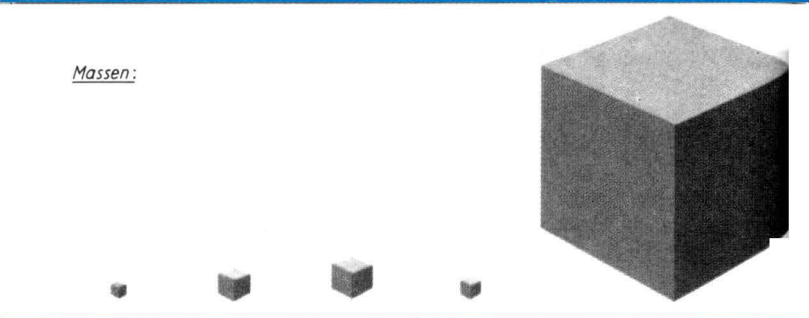
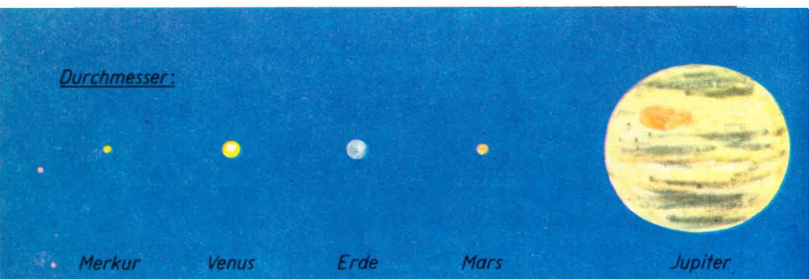
Die meisten bisher beschriebenen Formen der stofflichen Materie im Sonnensystem betrafen Körper, die die Sonne rings umgeben, ohne bei ihren Bahnbewegungen eine besondere Ebene zu bevorzugen. *Planeten und Planetoiden*, allein betrachtet, laufen dagegen in einem relativ »flachen« Bereich um die Sonne. In einem Modell sind sie, Pluto eingeschlossen, in einer Schuhkremdose unterzubringen. (Im gleichen Maßstab müßte die Kometen-»wolke« als Kugel mit einem Durchmesser von 200 Metern dargestellt werden.)

Wenn man die Planeten nach wachsenden Abständen von der Sonne ordnet, fällt sofort auf, daß die vier ersten Planeten, Merkur, Venus, Erde und Mars, sich in verschiedenen Dingen erheblich von den vier folgenden, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun, unterscheiden. Zunächst sind ihre Durchmesser viel kleiner, aber auch die Massen und die mittleren Dichten unterscheiden sich in den beiden Gruppen wesentlich voneinander. Man spricht deshalb von erdähnlichen Planeten und von jupiterähnlichen Planeten.

Nun haben wir allerdings den Pluto bisher gar nicht erwähnt. Das hat seine Ursache darin, daß Pluto in mancherlei Hinsicht eine Sonderstellung einnimmt. Der Nei-

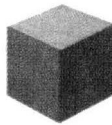
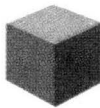
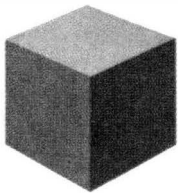
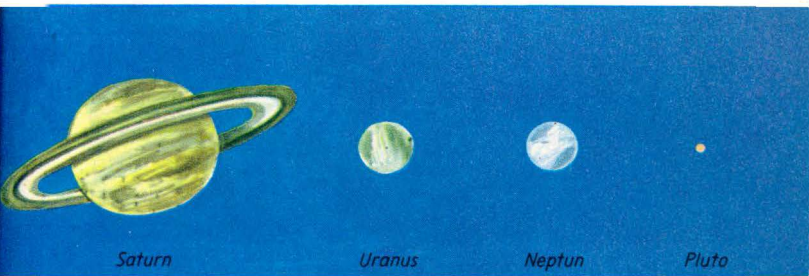
gungswinkel seiner Bahn gegen die Erdbahnebene ist mit $17,1^\circ$ mehr als sechsmal so groß wie das Mittel aus den Bahnneigungen der anderen Planeten. Die Plutobahn umschließt auch nicht die Bahn des Neptun – des nächstinneren Planeten –, sondern schneidet sie an zwei Stellen. Pluto kann also zeitweilig der Sonne näher kommen als Neptun. Außerdem ist seine Bahn die am wenigsten kreisähnliche von allen Planetenbahnen. Man hat vermutet, daß Pluto ein »entlaufener« Neptunmond ist; sicher ist dies jedoch keinesfalls. In physikalischer Hinsicht ist Pluto,

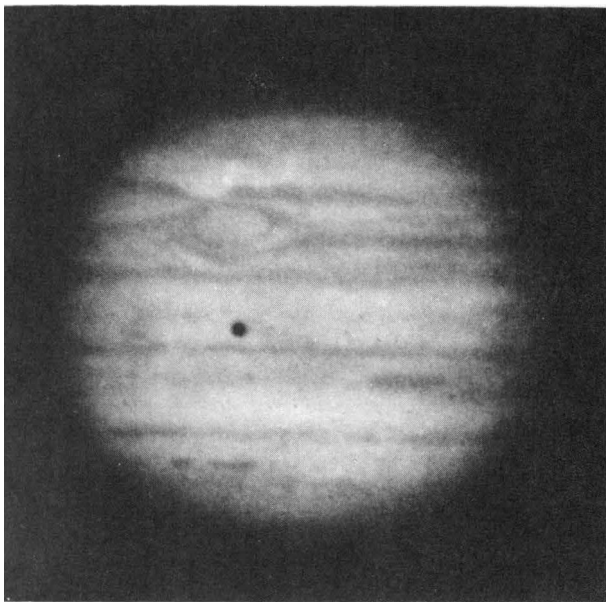
Erdähnliche und jupiterähnliche Planeten



der erst im Jahre 1930 entdeckt wurde, ein erdähnlicher Planet.

Der große Abstand zwischen Mars- und Jupiterbahn ließ schon vor mehreren hundert Jahren die Vermutung aufkommen, daß dort ein noch nicht entdeckter Planet seine Bahn ziehen müsse. Am 1. Januar 1801 wurde in diesem Bereich tatsächlich ein planetenähnliches Objekt gefunden. Bald folgten weitere solche Entdeckungen, und heute kennen wir rund 4000 kleine Himmelskörper, deren Bahnen fast alle zwischen den Bahnen von Mars und Ju-





Jupiter mit dem Schatten des Mondes Io

piter liegen. Abschätzungen der Masse haben ergeben, daß die Gesamtzahl dieser Kleinplaneten (Planetoiden) bei 50000 liegen muß; dabei sind aber sicher viele Exemplare mit Durchmessern von wenigen Metern mitgerechnet, die wegen ihrer geringen Größe von der Erde aus immer unbeobachtbar bleiben.

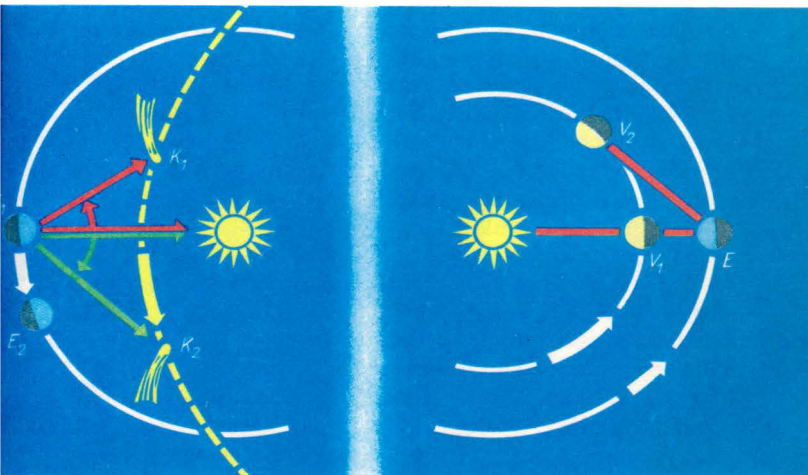
Unter welchen Bedingungen ist denn überhaupt ein Körper des Sonnensystems für uns sichtbar? Wir haben bei den Kometen gesehen, daß sie in Sonnennähe teils das Sonnenlicht reflektieren, teils ein Eigenleuchten entwickeln. Kann man sie aber in Sonnennähe sehen?

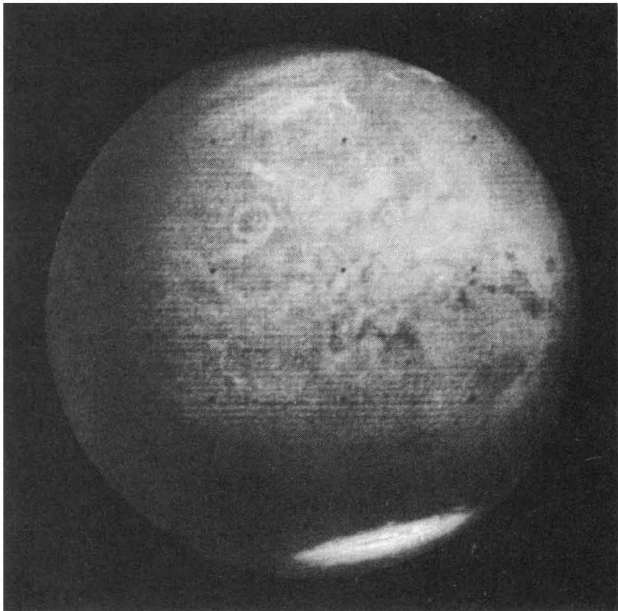
Die wichtigste Bedingung für die Sichtbarkeit jedes kosmischen Objekts ist genügend große Helligkeit und hinreichend großer Winkelabstand von der Sonne. Die Helligkeit hängt unter anderem davon ab, wie groß der betreffende Himmelskörper ist und wie weit er von der Sonne entfernt steht. Der Winkelabstand von der Sonne

hingegen ist außer von der Stellung des Objekts in seiner Bahn auch von der Stellung der Erde in ihrer Bahn abhängig. In der Abbildung unten rechts ist die Venus in der Stellung V_1 unsichtbar, in der Stellung V_2 dagegen erscheint sie uns rechts von der Sonne (und damit als Morgenstern einige Stunden vor Sonnenaufgang am Osthimmel). Der Komet in der Abbildung daneben ist vor seinem Durchgang durch den sonnennächsten Bahnpunkt am Abendhimmel zu sehen. Während des Durchganges steht er, von der Erde aus gesehen, in Richtung auf die Sonne und deshalb nur tagsüber am Himmel; in der Regel ist er dabei unsichtbar. Später können wir ihn rechts von der Sonne, also früh vor Sonnenaufgang am Osthorizont beobachten.

Wegen der wechselnden Sichtbarkeitsbedingungen der Planeten ist es auch nicht möglich, deren Position in Sternkarten ein für allemal festzulegen. Ein auf der Erde befindlicher Beobachter hat den Eindruck, als ob die Planeten mit unterschiedlicher Geschwindigkeit die Sternbilder des Tierkreises durchlaufen. Sie bewegen sich dabei auf Bahnen, die der scheinbaren Sonnenbahn (Ekliptik)

Morgen- und Abendsichtbarkeit





Mars aus einer Entfernung von etwa 450000 km

sehr nahe kommen. Im Gegensatz zur scheinbaren Bewegung der Sonne kommt es aber bei den Planeten vor, daß sie langsamer werden, stehen bleiben und sogar zeitweilig rückwärts laufen – eine Erscheinung, die sich durch die unterschiedlich schnellen wahren Bewegungen der Erde und des beobachteten Planeten erklären läßt. Je größer die mittlere Entfernung eines Planeten von der Sonne ist, um so langsamer umläuft er sie und um so mehr Zeit benötigt er für einen Umlauf.

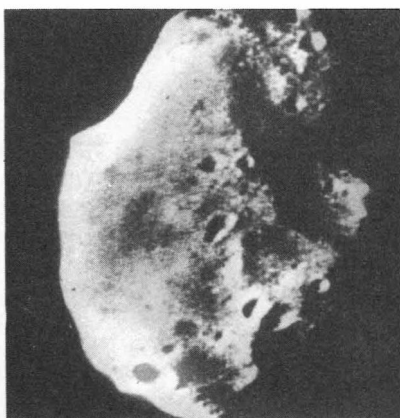
Die Erde bewegt sich in ihrer Bahn mit rund 30 km/s; diese Geschwindigkeit erscheint nach menschlichen Alltagsvorstellungen zunächst recht groß. Wir müssen aber bedenken, daß der Durchmesser der Erde immerhin über 12700 km beträgt. Erst in rund sieben Minuten hat sich die Erde in ihrer Bahn um den Betrag ihres eigenen Durchmessers weiterbewegt. (Wer einmal versucht, mit

einem Globus in der Hand diese Bewegung nachzumachen, wird überrascht sein, wie langsam das ist!)

Der Abstand eines Planeten von der Sonne ist auch von Interesse, wenn wir danach fragen, ob auf seiner Oberfläche organisches Leben möglich ist. Leben in Formen, wie wir sie von der Erde kennen, setzt unter anderem das Vorhandensein einer Atmosphäre voraus, die atembar ist und vor gefährlichen Strahlungen und großen Temperaturschwankungen schützt. Eine Atmosphäre kann aber von dem Planeten nicht festgehalten werden, wenn die Sonneneinstrahlung zu intensiv ist. Bei zu starker Erwärmung wird die Geschwindigkeit der Mehrzahl der Gasmoleküle größer als die Entweichgeschwindigkeit. (Für die Erde beträgt sie 11,2 km/s. Ein Körper, der die Erde verlassen soll, muß mit dieser Geschwindigkeit abgeschossen werden. Aber auch ein Gasatom, das sich mit dieser Entweichgeschwindigkeit – oder noch schneller – von der Erde entfernt, kehrt nicht zu ihr zurück.)

Auf den Planeten jenseits des Mars ist sehr wahrscheinlich kein Leben möglich. Die Planeten innerhalb der Erdbahn haben so hohe Oberflächentemperaturen, daß ebenfalls die Existenz von Organismen ausgeschlossen zu sein scheint. Es bleibt also außer unserem eigenen Planeten

Die Marsmonde Deimos (links) und Phobos



nur der Mars, auf dem vielleicht Spuren von Leben zu finden sind. Allerdings hat Mars eine außerordentlich dünne Atmosphäre (ihre Dichte beträgt weniger als 1% der Dichte der Erdatmosphäre). In *unserem* Planetensystem ist also wohl nur die Erde Träger höherorganisierten Lebens. Das schließt jedoch nicht aus, daß es auf *Planeten anderer Sterne* hochentwickelte Zivilisationen geben kann.

Während die Planeten die Sonne umlaufen, drehen sie sich auch um ihre eigene Achse. Die Dauer dieser Rotation ist von Planet zu Planet recht unterschiedlich. Venus benötigt zu einer Umdrehung die unverhältnismäßig lange Zeit von fast 243 unserer Tage, Jupiter dagegen nur 10 unserer Stunden. Ein Umlauf des Jupiters um die Sonne – ein »Jupiterjahr« – dauert 11 Erdenjahre und 315 Erdentage; in dieser Zeit rotiert Jupiter mehr als 10000mal. Wegen der schnellen Rotation (und des großen Radius) ist Jupiter auch stark abgeplattet. Noch stärker allerdings ist die Abplattung bei Saturn, dessen Poldurchmesser um fast 10% kürzer ist als der Äquatordurchmesser. Bei der Erde beträgt diese Abplattung nur 0,3%.

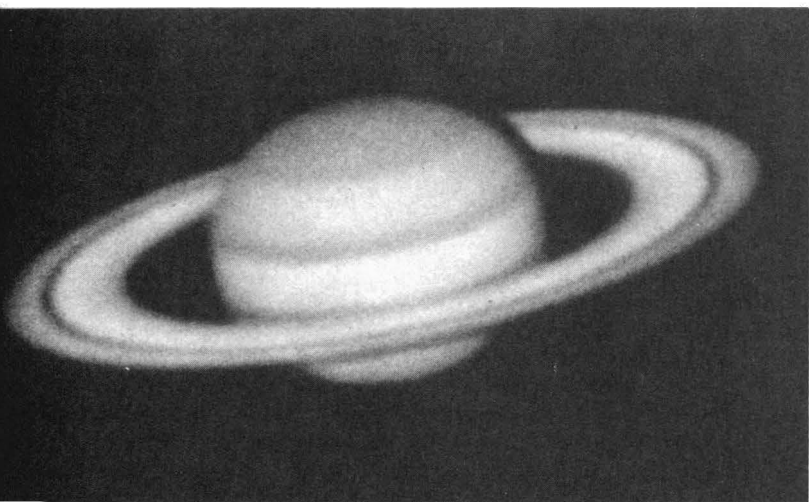
Wenn wir versuchen, unser Planetensystem maßstäblich darzustellen, dann benötigen wir entweder viel Platz für das Modell oder ein Mikroskop zur Betrachtung der einzelnen Planeten. Geben wir nämlich den kleinsten Planeten Merkur und Pluto die Größe einer Erbse, dann hat die Erde die Größe einer Kirsche, die Sonne ist ein Ballon von 1,4 m Durchmesser, und die Entfernung Erde-Sonne beträgt im Modell immerhin 150 m. Die Plutobahn müßte dann einen Durchmesser von rund 12 km haben. Ein solches Modell ist schon wieder unanschaulich! Andererseits müßte die Sonne bei einem Modell, das in einem durchschnittlichen Wohnzimmer Platz haben sollte, einen halben Millimeter groß sein, und die Modellerde mit 0,004 mm Durchmesser wäre mit dem bloßen Auge gar nicht mehr zu sehen. Auch dieses Modell ist also nicht anschaulich, und wir erkennen: Durchmesser des Planeten und Durchmesser seiner Bahn lassen sich nicht in einem einzigen Modell so darstellen, daß die Größen vorstellbar bleiben.

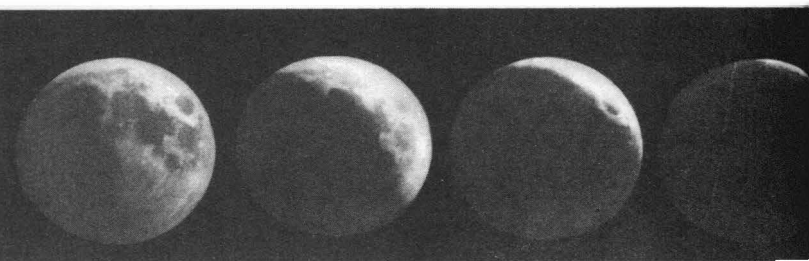
Viele Planeten werden von *Satelliten* umlaufen. Nur

Merkur, Venus und Pluto haben keine natürlichen Monde. Die meisten beobachtet man bei Jupiter (13), den im Verhältnis zum Planetendurchmesser größten hat die Erde. Saturn wird von einer Vielzahl nicht mehr als Einzelobjekte unterscheidbarer Körper umlaufen, die den berühmten Saturnring bilden; außerdem besitzt er zehn »echte« Satelliten. Eigenartigerweise ist der Teilchenschwarm, den wir bei Saturn als Ringsystem beobachten, außerordentlich flach. Seine Dicke beträgt nur wenige Kilometer. Jeder der vier konzentrisch angeordneten Ringe ist aber so breit, daß die Erdkugel bequem darauf entlangrollen könnte.

Die Erde und ihr *Mond* unterscheiden sich dadurch von den anderen Planeten und deren Monden, daß das Massenverhältnis mit 1 : 81 sehr groß ist. Man bezeichnet das System Erde – Mond deshalb häufig auch als einen Doppelplaneten. Der Mond ist der von der Erde aus am intensivsten untersuchte Himmelskörper; das erklärt sich aus der geringen Entfernung von im Mittel 384 000 km. (Das ist nur das 32fache des Erddurchmessers! Ein zu einem normalen Schulglobus passendes Mondmodell müßte einen

Saturn





Verschiedene Phasen der totalen Mondfinsternis vom 29./30. Januar 1953 (Pic du Midi)

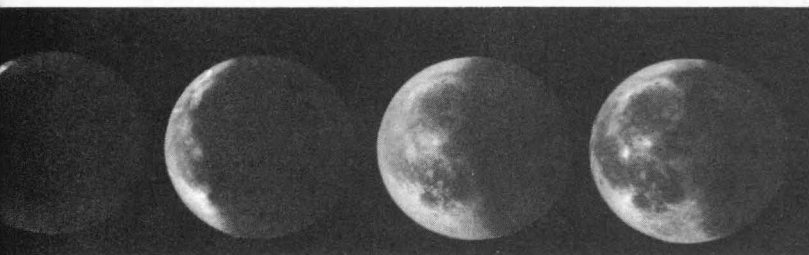
Durchmesser von rund 9 cm haben und knapp 10 m vom Globus entfernt sein). Kein anderer natürlicher Himmelskörper ist uns so nahe. Mit mittleren Fernrohren kann man auf dem Mond Einzelheiten bis zu 600 m Durchmesser erkennen.

Schon bei der Betrachtung des Mondes mit dem bloßen Auge fallen große, unregelmäßig geformte dunkle Gebiete auf. In früheren Jahrhunderten hielt man sie für große Wasserflächen; daher rührt ihre Bezeichnung als Maregebiete.¹ Auf dem Mond existiert aber kein freies Wasser (und auch keine Atmosphäre²); es handelt sich in Wahrheit bei den Maregebieten um nahezu ebene Landschaften, die vermutlich in früherer Zeit durch Überflutung der noch sehr dünnen Mondkruste mit glutflüssigem Magma entstanden sind. Die heller erscheinenden Gebiete sind stark gebirgig, wobei die charakteristischen Ringgebirge zahlenmäßig gegenüber den von der Erde bekannten Kettengebirgen weit überwiegen. Durch die Raumforschung der letzten Jahre ist gesichert, daß die meisten Ringgebirge beim Aufprall von Meteoriten auf die Mondoberfläche entstanden sind.

Da der Mond keine nennenswerte schützende Gashülle besitzt, ist seine Oberfläche der Strahlung und den Meteoriten aus dem Weltraum ständig ausgesetzt. So erwärmt die Sonne den Mondboden während des rund zwei irdische

¹ Mare (lat.): das Meer

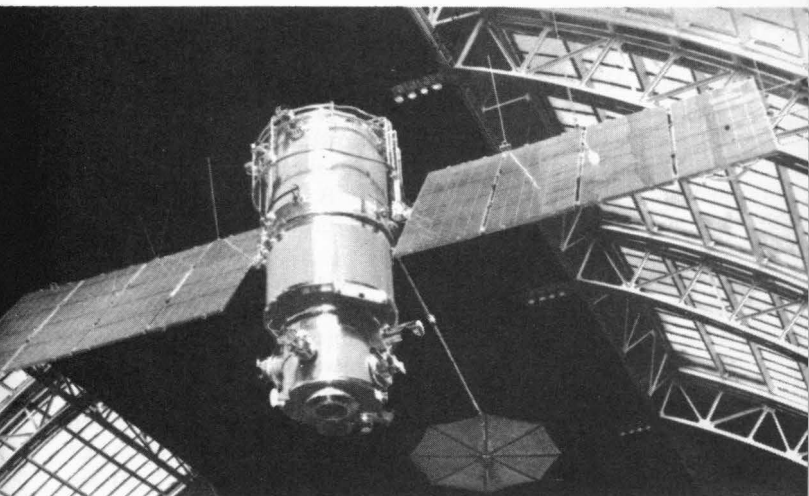
² Gase an der Mondoberfläche können bestenfalls in so geringen Mengen vorhanden sein, daß ihre Dichte 10 Billionen Mal geringer ist als die Dichte der Erdatmosphäre.



Wochen währenden »Tages« bis auf rund 130°C . In der ebenso lange dauernden »Mondnacht« sinkt die Temperatur dagegen bis unter -150°C . Diese krassen Temperaturunterschiede können zum Zerspringen der Gesteine an der Mondoberfläche geführt haben. Auch die Teilchenstrahlung von der Sonne und aus dem Weltraum kann ungehindert auf dem Mond auftreffen.

In der Nähe der Erde finden sich im Weltraum viele kleine Himmelskörper, die erst durch Menschen geschaffen

Sowjetischer Wettersatellit vom Typ »Meteor«



und auf ihre Bahnen gebracht worden sind. Die meisten umlaufen die Erde nach den gleichen Gesetzen, nach denen die Monde um ihre Planeten oder die Planeten um die Sonne laufen. Einige wenige bewegen sich auch auf planetenähnlichen Bahnen um die Sonne. Es handelt sich um die *künstlichen Himmelskörper*, deren erster unter dem Namen *Sputnik 1* am 4. Oktober 1957 von dem sowjetischen Raketenstartplatz Baikonur aus gestartet wurde. Viele dieser Erdsatelliten sind nach kürzerer oder längerer Zeit auf die Erde zurückgeführt worden oder beim Eintritt in die Erdatmosphäre wie ein Meteorit verglüht; eine große Zahl befindet sich aber im erdnahen Raum auf Bahnen, die z. T. über Jahrtausende stabil sein werden.

Künstliche Erdsatelliten dienen heute unter anderem der Überwachung des Wettergeschehens, der Informationsübermittlung, der geologischen, geodätischen und astronomischen Forschung. Raumsonden untersuchen den Mond und die Planeten des Sonnensystems.

Das große Hindernis, das alle astronomischen Forschungen von der Erde aus nachhaltig beeinflußt, ist die Atmosphäre unseres Heimatplaneten. Wir haben schon erfahren, daß sie die Färbung und die Richtung des hindurchtretenden Lichtes verändert. Dem ist hinzuzufügen, daß die Atmosphäre auch eine ganze Reihe von Strahlungsarten – kurzweiliges Ultraviolett, Röntgen- und Gammastrahlen, aber auch bestimmte Bereiche der Infrarot- und der Radiostrahlung – überhaupt nicht zum Erdboden dringen läßt, sondern absorbiert. Informationen, die durch diese Strahlung übermittelt werden, gelangen also nicht bis zu uns. Nur Meßgeräte, die oberhalb der Erdatmosphäre arbeiten, also z. B. in Erdsatelliten installiert sind, eignen sich zur Untersuchung derartiger Wellenlängenbereiche.

Allerdings darf nicht verschwiegen werden, daß die eben geschilderte Absorptionswirkung der Erdatmosphäre für uns Menschen und für alle anderen Organismen lebenswichtig ist. Unter der Dauereinwirkung von Röntgen- oder Gammastrahlung wird jegliches Leben abgetötet. Die Atmosphäre schützt uns also nicht nur vor Meteoriten und extremen Temperaturverhältnissen, sondern auch vor lebensfeindlichen Strahlungen. Selbstverständlich ist sie

auch als riesiges Reservoir für die Atemluft bedeutsam. Sie umgibt unsere Erde als eine nach außen immer dünner werdende Schicht von einigen tausend Kilometern Höhe. Eine scharfe Grenze zwischen Atmosphäre und Weltraum gibt es nicht. Wollte man die Atmosphäre um einen Schulglobus modellieren, so dürfte der Bereich, in dem die Wettererscheinungen, die Polarlichter und die Meteore zu finden sind, nur 2 bis 3 mm dick werden!

Wir haben in unseren Betrachtungen einen weiten Weg zurückgelegt. Ausgehend vom unvorstellbar großen, unbegrenzten Weltraum sind wir bis in die unmittelbare Umgebung der Erde gekommen. Dabei haben wir eine Vielzahl von Objekten, ihre Eigenschaften und Besonderheiten, kennengelernt. Immer aber handelte es sich um Materie in zahllosen, vielgestaltigen Erscheinungsformen. Stoffliche Materie und Felder waren in allen Bereichen des Weltraums zu finden – von den fernsten Galaxien bis in die Erdatmosphäre hinein. Wir haben die Materie in ihrer Entwicklung betrachtet und gesehen, daß Bewegung und Veränderung ein Existenzprinzip der Materie ist. Es beherrscht auch diejenigen Himmelskörper, bei denen das nicht ausdrücklich erwähnt wurde, eingeschlossen die Erde.

Der Himmel über uns

Die Bewegung der Erde

Jedes Kind weiß heute, daß »sich die Erde um die Sonne dreht«. In dieser häufig benutzten, aber etwas unexakten Formulierung sind zwei Aussagen enthalten: Die Erde bewegt sich um die Sonne und die Erde dreht sich. Der Umlauf um die Sonne dauert ein Jahr, das sind ziemlich genau $365 \frac{1}{4}$ Tage. Wie lange dauert aber ein Tag? Gemeinhin heißt es: »24 Stunden sind ein Tag« – das ist aber keine Antwort auf unsere Frage, sondern besagt nur, daß zur besseren Übersicht die Zeitspanne »Tag« in 24 kleinere Einheiten unterteilt worden ist. Also antworten wir lieber: »Ein Tag ist die Zeitdauer, die die Erde zu einer Umdrehung benötigt.«

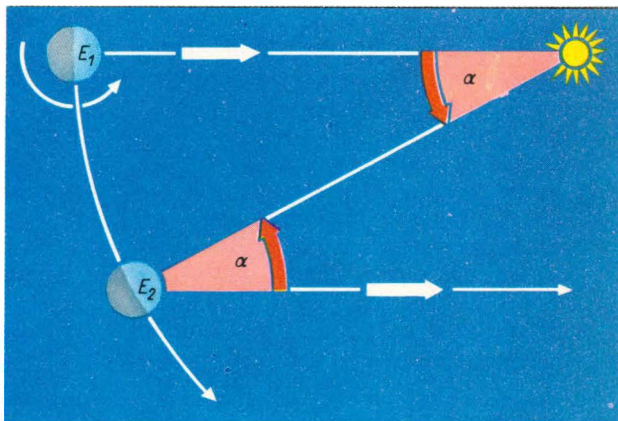
Untersuchen wir diese Problematik genauer, dann können wir eine sehr interessante Feststellung treffen. Die Dauer einer Erdrotation stimmt nämlich nicht mit 24 unserer »üblichen« Stunden überein, sie ist um rund 4 Minuten kürzer. Die folgende Abbildung macht uns das klar: Ein Beobachter auf der Erde blickt zu einem bestimmten Zeitpunkt, zu dem sich die Erde in E_1 befindet, zur Sonne. (Nehmen wir an, die Sonne kulminiere für ihn gerade zu diesem Zeitpunkt.) Nach Ablauf einer vollständigen Rotation um 360° ist die Erde in E_2 angekommen; sie hat sich ja während dieses einen Tages auch auf ihrer Bahn um die Sonne weiterbewegt. Der Beobachter kann in seinem Fernrohr, dessen Stellung seit dem Vortag nicht verändert wurde, die Sonne noch nicht wieder sehen. Erst wenn sich die Erde noch um den Winkel α weitergedreht

hat, kulminiert die Sonne wieder. (Strenggenommen läuft die Erde in dieser Zeit auch noch ein kleines Stück in ihrer Bahn weiter).

Der Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kulminationen der Sonne ist der für unsere alltägliche Zeitrechnung maßgebliche »Tag«. Er ist also gar nicht die Zeit, die für genau eine Erdrotation benötigt wird, sondern er ist etwas länger. Anders gesagt: Die Dauer einer Erdrotation beträgt etwas weniger als 24 Stunden. Der so definierte Tag heißt »Sonnentag«. Man kann auch die Rotationsdauer als Tag definieren; das ist dann der »Stern- tag«. Wenn man ihn ebenfalls in 24 Stunden unterteilt, so erhält man die Zählung der Sternzeit.

Die Differenz zwischen *Sonnentag* und *Stern- tag* kann man leicht abschätzen: In einem Jahr (ganz grob gesehen also in 360 Tagen) bewegt sich die Erde auf einer sehr kreisähnlichen Bahn um die Sonne. Der Vollkreis hat einen Zentriwinkel von 360° . Also entfällt in unserer Näherung auf jeden Tag rund 1° . Um diesen Winkel muß sich die Erde über 360° hinaus weiterdrehen, damit nach einmaliger Rotation die Sonne für einen irdischen Beobachter wieder kulminiert. Wie lange dauert eine Drehung um 1° bei der Erde? Wieder rechnen wir näherungs-

Stern- tag und Sonnentag (E_1, E_2 – Erdbahn)



weise: In 24 Stunden dreht sich die Erde um 360° , also in 1 Stunde um 15° . Demnach entsprechen 4 Minuten einem Grad. Der Sonnentag ist also rund 4 Minuten länger als der Sterntag – oder, anders ausgedrückt, der Sterntag dauert nur 23 Stunden 56 Minuten Sonnenzeit. Genau: Eine Stunde Sonnenzeit ist gleich einer Stunde und 9,86 Sekunden Sternzeit.

Die Rotation der Erde führt bekanntlich dazu, daß sich das Himmelsgewölbe scheinbar um den Beobachter dreht. Das muß natürlich in entgegengesetzter Richtung, aber mit der gleichen Geschwindigkeit geschehen, in der die wahre Erddrehung abläuft. Ein scheinbarer Umlauf des Sternhimmels dauert also einen *Sterntag* (daher der Name!); in einem *Sonnentag* – 24 Stunden Sonnenzeit – dreht sich, wie die Erde, auch der Sternhimmel um etwa 361° . Da wir nun leicht feststellen können, daß die Bewegung der Sterne von Ost über Süd nach West erfolgt, muß die wahre Rotation der Erde gerade entgegengesetzt, von West nach Ost gerichtet sein. Für einen östlich von uns, etwa in der UdSSR, befindlichen Beobachter kulminieren daher die Sterne und die Sonne eher als für uns. Wir bezeichnen als »wahren Mittag« den Zeitpunkt der Sonnenkulmination. Daher können wir sagen, für alle östlich von uns befindlichen Orte sei eher Mittag als für uns. Anders formuliert heißt das, die Uhren dieser Beobachter müssen gegenüber unserer Uhr vorgehen. Entsprechend müssen die Uhren der westlich von uns befindlichen Beobachter nachgehen. Damit ist nicht gesagt, daß diese Beobachter andere Sternbilder oder andere Planeten zu sehen bekämen – sie sehen sie nur früher oder später als wir.¹

Auch die jährliche Bewegung der Erde hat Konsequenzen für die Zeitrechnung. Die Erde rotiert in der Zeit, in der sie ihre Bahn um die Sonne genau einmal durchläuft, etwas mehr als 365mal; ein Jahr hat also mehr als 365, aber weniger als 366 Tage. Der Überschuß beträgt 0,2422 Tage, also rund 5 Stunden und 49 Minuten. Wohin mit dieser Zeit? Man kann sie ja nicht an die 24 Stunden des 31. Dezember anhängen – etwa zur willkommenen Verlängerung der Silvesterfeier – und am Morgen des 1. Ja-

¹ Dies gilt aber nur, wenn sich die Beobachter auf der gleichen geographischen Breite befinden wie unser Beobachtungsort.

nuar erklären, jetzt, um 5 Uhr 49 Minuten, sei es eigentlich erst 0 Uhr.

Die schon im Altertum praktizierte Lösung des Problems sieht so aus, daß diese rund 6 Stunden vorläufig »auf Eis gelegt« werden, bis sie sich zu einem vollen Tag summiert haben. Das ist nach 4 Jahren der Fall, und dieser so gewonnene ganze Tag wird dann als der bekannte Schalttag in den Kalender eingefügt. Daß er ausgerechnet an das Ende des Februar gestellt wurde, liegt daran, daß dieser Monat im römischen Kalender am Ende des Jahres stand. Nun ist aber der Differenzbetrag nicht genau gleich 6 Stunden, also darf nicht schlechthin jedes vierte Jahr ein Schaltjahr sein, sondern in 400 Jahren können nur 97 Schalttage untergebracht werden. Deshalb ist beispielsweise das Jahr 1900, obwohl die Jahreszahl durch 4 ohne Rest teilbar ist, kein Schaltjahr gewesen. Die auch bei dieser Schaltung noch verbleibende Differenz ist sehr klein und wächst erst in einigen tausend Jahren auf einen vollen Tag an.

Aus der Umlaufbewegung der Erde ergibt sich auch, daß bestimmte Sternbilder nur zu bestimmten Jahreszeiten gesehen werden können. Es gibt charakteristische *Wintersternbilder*¹, wie z. B. den Orion und den Stier, und typische *Sommersternbilder*,¹ z. B. den Skorpion und den Schützen. Dieser Wechsel der Sichtbarkeit hat seine Ursache darin, daß – von der Erde aus gesehen – die Sonne scheinbar im Laufe eines Jahres auf einer großen Kreisbahn rund um die Himmelskugel läuft. Sie erscheint dabei nacheinander in Richtung der Sternbilder Steinbock, Wassermann, Fische, Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Waage, Skorpion und Schütze. Der Bereich dieser Sternbilder, die zum großen Teil Tiernamen tragen, heißt *Tierkreis*. (Die Bahn der Sonne durch den Tierkreis ist aber nur eine Kreislinie, die *Ekliptik*.) Natürlich kann man ein solches Sternbild nicht sehen, solange sich die Sonne in seiner Richtung befindet. Die betreffende Himmelsgegend steht ja dann zusammen mit der Sonne am Tageshimmel.

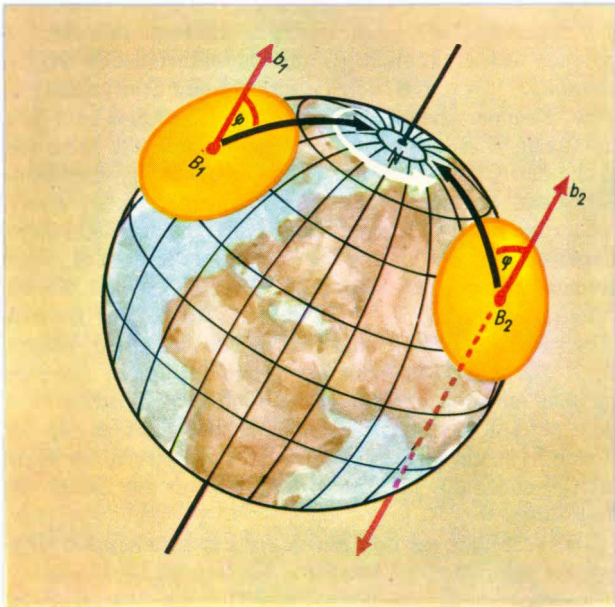
Was ist aber mit den Bereichen der scheinbaren Him-

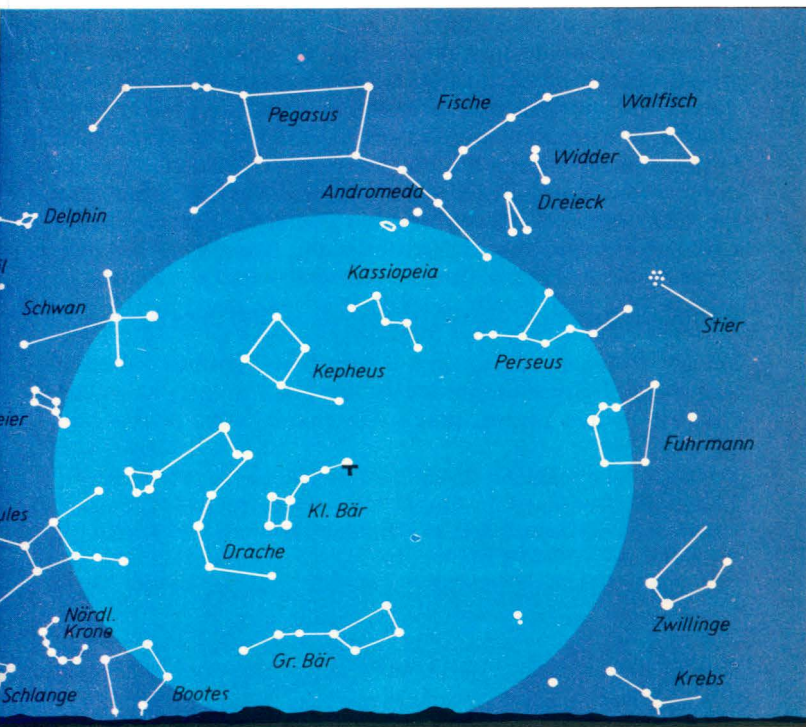
¹ Diese Bezeichnungen treffen für Beobachter auf der Nordhalbkugel der Erde zu.

melskugel, die weit genug von der Ekliptik entfernt sind? Dorthin kann ja die Sonne nie gelangen. Sie müßten also immer zu sehen sein. Wenn man unter »immer« in diesem Falle »in jeder klaren Nacht« versteht, dann ist die Folgerung richtig. Tagsüber ist, das haben wir schon festgestellt, kein Stern sichtbar. Aber das Gebiet um den Himmelsnordpol beispielsweise kann in jeder klaren Nacht beobachtet werden. Dabei behält der Pol selbst – er wird durch den in seiner Nähe befindlichen Polarstern markiert – seine Position an der scheinbaren Himmelskugel unverändert bei, und alle Sterne »drehen sich um ihn«.

Um das zu verstehen, müssen wir uns die Erde mit einer langen Achse vorstellen (s. Abb. unten). Diese Achse durchstößt in einem unendlich fernen Punkte die scheinbare Himmelskugel. Ein Beobachter im Punkte B_1 sieht diesen Durchstoß in der Richtung b_1 , die mit seinem Horizont den Winkel φ bildet und nach Norden weist. Nach

Erdkugel und Horizontebene





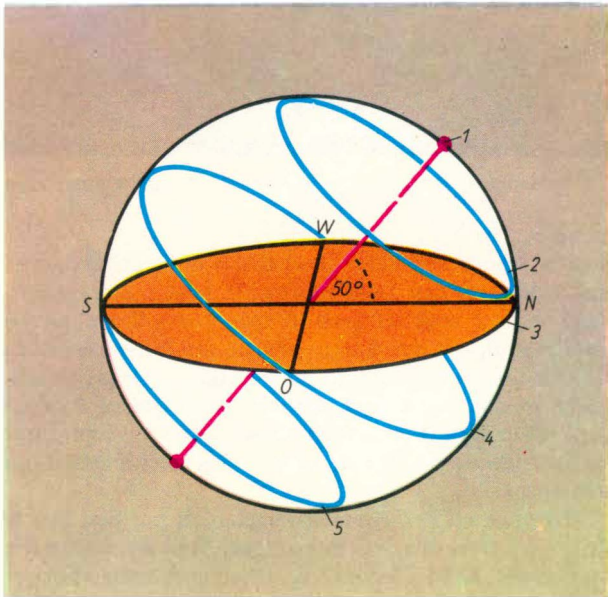
Die Zirkumpolarsterne (für die geographische Breite von Berlin)

einigen Stunden ist unser Beobachter in B_2 angekommen und sieht jetzt den Durchstoßpunkt in der Richtung b_2 . Nach wie vor zeigt sie nach Norden und schließt mit der Nordrichtung auf der Horizontebene den Winkel φ ein. Es hat sich also an der räumlichen Orientierung des Himmelsnordpols nichts geändert. Den Himmelssüdpol dagegen kann unser Beobachter nicht sehen, weil er nicht durch die Erdkugel hindurchzublicken vermag (gestrichelte Linie von B_2 aus).

Der Bereich der Himmelkugel rund um den Pol ist also in jeder klaren Nacht sichtbar. Man nennt ihn den Bereich der *Zirkumpolarsterne*. Genaugenommen handelt

es sich um jene Sterne, die den Polpunkt in so geringem (Winkel-) Abstand umkreisen, daß sie dabei den Nordhorizont nicht berühren (s. Abb. unten). Der Winkelabstand dieser Sterne vom Pol muß dabei offenbar kleiner sein, als der Winkelabstand des Pols vom Horizont. Für Berlin beträgt dieser Abstand – die Polhöhe – $52,5^\circ$. Alle Sterne, deren Polabstand größer ist als dieser Wert, tauchen also bei ihrer täglichen Bahn um den Pol unter den Horizont, und zwar um so länger, je weiter ein Stern vom Pol entfernt ist. Bei 55° Polabstand verweilt ein Gestirn – von Berlin aus gesehen – rund $2\frac{3}{4}$ Stunden unter dem Horizont, bei 65° Polabstand dagegen schon fast 7 Stunden. Fallen nun diese 7 Stunden gerade in die Nacht, dann kann das Gestirn in der betreffenden Jahreszeit nicht beobachtet

Nördliche und südliche Zirkumpolarsterne für 50° nördl. Breite.
 1 – Himmelsnordpol; 2 – Bereich der nördlichen Zirkumpolarsterne; 3 – Horizontebene; 4 – Himmelsäquator; 5 – Bereich der südlichen Zirkumpolarsterne



werden, denn dann geht es abends unter und früh – mit der Sonne – auf.

Wir haben jetzt, ohne das besonders zu betonen, stets die Umgebung des Himmelsnordpols betrachtet. Für den Himmelssüdpol ergibt sich eine ähnliche Situation, aber mit umgekehrtem Vorzeichen. Die nahe dem Südpol der scheinbaren Himmelskugel befindlichen Sterne können bei uns nie gesehen werden, weil sie nicht über den Horizont heraufkommen (s. Abb. S. 72). Während die nördlichen Zirkumpolarsterne bei uns nie untergehen, gehen die südlichen bei uns nie auf. Nur Sterne, deren Abstand vom Südpol größer ist als $52,5^\circ$, können von Berlin aus¹ beobachtet werden.

Sternbilder

Schon im Altertum haben die Beobachter des Sternhimmels immer wieder versucht, Ordnung in die Vielfalt der Gestirne zu bringen. Es lag dabei nahe, die Objekte, die relativ zueinander ihre Stellung unverändert beibehielten, in bestimmten Gruppen, in Sternbildern, zusammenzufassen. Wir benutzen heute im wesentlichen die Sternbildnamen, die die Griechen geprägt haben. Natürlich meint kein Mensch unserer Zeit wirklich einen Stier oder einen Löwen am Himmel zu sehen; die Figuren sind auch nur grobe Hilfen zum Auffinden der betreffenden Himmelsgegend. Für die Astronomen bedeutet nämlich heute ein Sternbild nichts anderes als einen bestimmten Teil der scheinbaren Himmelskugel. Seit 1925 gibt es internationale Vereinbarungen über die Grenzen dieser Bereiche. Glücklicherweise wurden die alten Sternbildfiguren – über die Lage der Verbindungslinien gibt es übrigens viele unterschiedliche Ansichten – bei dieser »Grenzziehung« weitgehend berücksichtigt.

Wenn die Sterne eines Sternbildes am Himmel nahe beieinander stehen, bedeutet das natürlich nicht, daß sie wirklich im Weltraum benachbart sind und physikalisch zusammengehören. Das *kann* sein; meistens jedoch pro-

¹ Für andere geographische Breiten gelten andere Werte.

jizieren sich Sterne, die unterschiedlich weit entfernt sind, aber zufällig von uns aus in nicht wesentlich unterschiedlichen Richtungen stehen, nebeneinander auf die scheinbare Himmelskugel.

Man benennt die hellsten Sterne jedes Sternbildes mit griechischen Buchstaben und dem angehängten Genitiv des lateinischen Sternbildnamens. Alpha Tauri bedeutet z. B. den Stern α »des Taurus«, d. h. des Stieres, Gamma Leonis ist der Stern γ des Sternbildes Löwe. Auffallend helle oder aus anderen Gründen bemerkenswerte Sterne tragen zusätzlich Eigennamen, die meist von den Arabern übernommen wurden: Rigel, Aldebaran, Sirius, Alkor u. a.

Die bekanntesten Sternbilder, die von unserer geographischen Breite aus gut beobachtet werden können, sind:

rund um den Himmelsnordpol ¹	abends im Winter und im Frühling	abends im Sommer und im Herbst
Kleiner Bär	Orion	Bootes
Großer Bär	Stier	Herkules
Kassiopeia	Fuhrmann	Schütze
Perseus	Zwillinge	Schwan
Kepheus	Großer Hund	Leier
	Krebs	Adler
	Löwe	Andromeda

¹ Diese Sternbilder sind im Laufe des Jahres in jeder klaren Nacht zu sehen.

Kleiner Bär (Ursa Minor)

Der Kleine Bär, auch Kleiner Wagen genannt, ist das polnächste Sternbild. Sein Hauptstern Alpha, der Polarstern, dient als Polmarkierung, obwohl er etwa 1° vom eigentlichen Drehpunkt der scheinbaren Himmelskugel entfernt ist. Wegen einer langsamen Richtungsänderung der Erdachse, der Präzession, wird der Himmelspol in den nächsten 100 Jahren noch etwas näher an den Polarstern heranrücken. Dann aber entfernt er sich rasch, und im Jahre 4000 wird ein Stern im Sternbild Kepheus die Stelle des heutigen Polarsterns einnehmen.

Seinen Namen hat der Kleine Bär wohl auf Grund seiner Ähnlichkeit mit dem Sternbild Großer Bär erhalten. Es gibt allerdings eine Sage, die den Kleinen Bären

als Arkas, den verzauberten Sohn der Kallisto, darstellt. Was es damit für eine Bewandnis hat, wird später erwähnt.

Der hellste Stern des ganzen Sternbildes ist der Polarstern. Er wurde im Jahre 1857 von dem englischen Astronomen Pogson als Eichstern für eine einheitliche Helligkeitsskalagewählt. Später stellte sich jedoch heraus, daß gerade dieser Stern keine konstante Helligkeit besitzt. Seine scheinbare Helligkeit schwankt zwischen 2,1 und 2,2 Größenklassen.¹

Der Polarstern ist durch die bekannte Hilfslinie vom Sternbild Großer Bär (Großer Wagen) aus leicht aufzufinden und kann kaum mit einem anderen Stern verwechselt werden, da er in dieser Himmelsgegend das hellste Objekt ist.

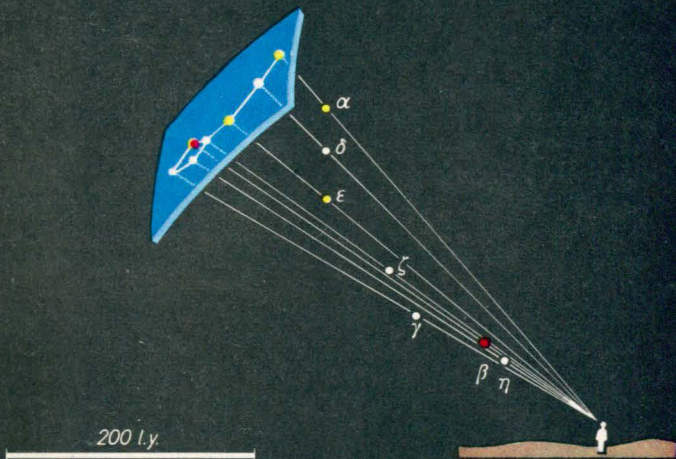
Wie trotz der räumlich sehr unterschiedlichen Lage der Einzelsterne die Figur des Kleinen Wagens zustande kommt, zeigt die Skizze auf S. 76 mit einem Stück »Himmelskugel«, an das sich die Sterne für den dargestellten Beobachter projizieren. Die folgende Abbildung gibt den Anblick wieder, der sich dem Beobachter bietet. Außerdem werden darin die Sterne im Hinblick auf ihre wahren Durchmesser und auf ihre Leuchtkräfte untereinander und mit der Sonne verglichen.² Es zeigt sich, daß fast alle Sterne des Kleinen Wagens die Sonne an Größe wesentlich übertreffen. Die Farben entsprechen den Farben des Sternlichtes (die wir beobachten könnten, wenn das Farbempfinden des menschlichen Auges bei geringen Helligkeitswerten besser wäre) und damit auch den Temperaturen an den Sternoberflächen:

unter 4000 K	rot
4000 K bis 6000 K	gelb
6000 K bis 15000 K	weiß
über 15000 K	blau

Die Durchmesser sind lediglich Näherungswerte. Bei den Skalen für die Leuchtkräfte ist der logarithmische Maßstab

¹ Diese und die meisten anderen Zahlenangaben in diesem Abschnitt wurden dem Katalog zum Atlas Coeli 1950.0 von Antonin Bečvář entnommen.

² Diese Hinweise gelten auch für die entsprechenden Abbildungen zu den Sternbildern Großer Bär, Orion, Löwe, Schwan und Leier.

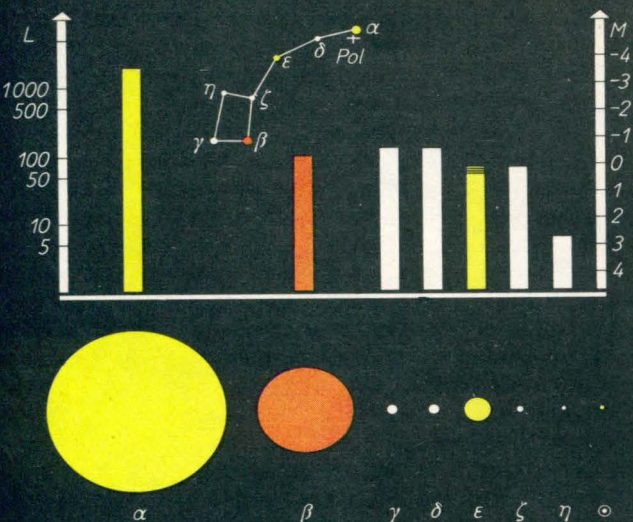


Kleiner Bär (l.y. – light years, Lichtjahre; L – Leuchtkraft im Vergleich zur Sonne; M – absolute Helligkeit; ☉ – Sonne)

zu beachten. Doppelte Länge der Diagrammsäule bedeutet also nicht nur doppelte Leuchtkraft!

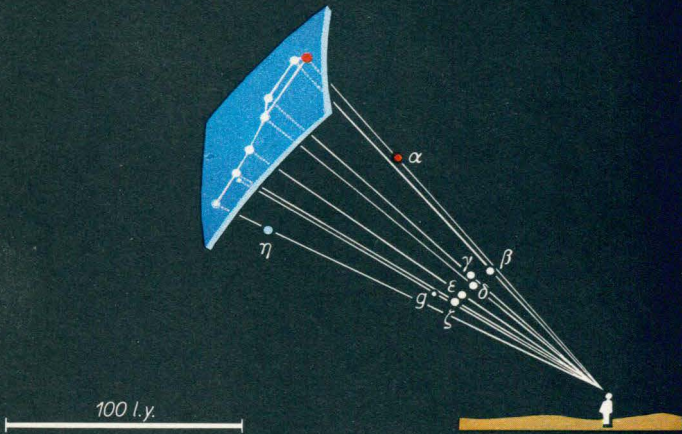
Großer Bär (Ursa Maior)

In den meisten Kulturkreisen werden die sieben hellsten Sterne dieses wohl bekanntesten Sternbildes als zusammengehörige Figur betrachtet. Die Römer sahen in ihnen sieben Dreschochsen, die um den Göpel (den Himmelsnordpol) laufen und dabei vom Ochsentreiber Bootes beaufsichtigt werden. Auch als ein von Ochsen gezogener Wagen, dem der Treiber folgt, erschienen diese Sterne. Unsere Leseart »Großer Wagen« ist wohl damit verwandt. In der Mythologie sieht die Geschichte dieser Sternfigur aber ganz anders aus: Jupiter liebte die schöne Kallisto, eine Jagdfährtin der Diana. Begreiflicherweise geriet



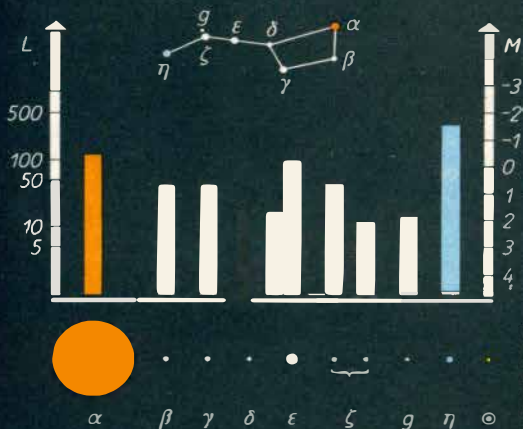
Juno, Jupiters rechtmäßige Gemahlin, darüber in Zorn. Sie verwandelte die Geliebte ihres Mannes und deren Sohn Arkas – die Frucht der heimlichen Liebe – aus Rache in eine Bärin und ihr Junges. Um die Strafe zu verschärfen, müssen die Bärin und der Kleine Bär, bewacht von Bootes als Bärenhüter, ewig im Kreise herumlaufen, ohne sich jemals durch ein Bad im Ozean erfrischen zu dürfen.

Dieser »Strafverschärfung« liegt eine ganz richtige Beobachtung zugrunde. Wie in Mitteleuropa, sind auch in Griechenland die beiden Sternbilder zirkumpolar. Sie gehen also nie unter und sind tatsächlich nicht in der Lage, »ins Meer zu tauchen«. An die griechische Sage erinnert auch die lateinische Form Ursa Maior (die Bärin, nicht Ursus, der Bär); der Kleine Bär wurde in der lateinischen Schreibweise zu Ursa Minor »verweiblicht«.



Großer Bär (l.y. – light years, Lichtjahre; L – Leuchtkraft im Vergleich zur Sonne; M – absolute Helligkeit; ☉ – Sonne)

Der bekannteste Stern ist *Mizar*, der mittlere Deichselstern der bekannten Wagenfigur; dort, wo »die Deichsel gebrochen« ist. Dicht neben ihm findet man *Alkor*, das sogenannte Reiterlein, einen schwachen Stern, der mit guten Augen ohne Hilfsmittel von Mizar getrennt gesehen werden kann. Die Benennung »Augenprüfer« deutet darauf hin, daß Alkor nicht ohne weiteres erkennbar ist. Das liegt nicht an seiner Helligkeit, denn mit 4 Größenklassen wäre Alkor allein am dunklen Nachthimmel leicht zu sehen, sondern an dem geringen Abstand zu dem mit 2,4 Größenklassen erheblich helleren Mizar, der den schwächeren Alkor überstrahlt. Beide Sterne sind nur 11 Bogenminuten (11') voneinander entfernt. Dennoch haben sie physikalisch nichts miteinander zu tun; zwischen ihnen liegen rund 8 Lichtjahre. Solche scheinbaren Sternpaare, die in Wirk-



lichkeit keine sind, werden *optische Doppelsterne* genannt.

Mizar selbst ist ein echter Doppelstern. Hauptstern (2,4 Größenklassen) und Begleiter (4 Größenklassen) umlaufen einander mit einem scheinbaren Abstand von 14,5 Bogensekunden (14,5"); beide sind nur wenig größer als die Sonne. Auf spektroskopischem Wege wurde festgestellt, daß der Hauptstern selbst wiederum ein enges Doppelsternsystem bildet.

Die Verbindungslinie der Sterne Alpha und Beta Ursae Maioris liefert die bekannte Orientierungshilfe, mit der der Himmelsnordpol gefunden werden kann. Verlängert man diese Linie in der entgegengesetzten Richtung, dann weist sie zum Sternbild Löwe.

Kassiopeia (Cassiopeia)

Verbindet man den Stern Mizar im Großen Bären und den Polarstern durch eine Gerade und verlängert man diese Linie über den Polarstern hinaus, so trifft man auf die charakteristische W-Form der Kassiopeia. In der Sagenwelt des klassischen Altertums war Kassiopeia eine Königin von Äthiopien, die durch ihre maßlose Prahlerei berühmt wurde. Sie hatte behauptet, ihr Haar sei schöner als das aller Nixen. Die beleidigten Meeresbewohnerinnen entsandten einen schrecklichen *Walfisch*, der die Küsten des Landes blockierte und die Prinzessin *Andromeda* zum Fraße forderte. Weder König *Kepheus* noch die Weisen des Hofes wußten Rat, und Andromeda war schon ans Meer gebracht worden – antike Darstellungen zeigen sie an einen Felsen geschmiedet –, da erschien der heldenmütige *Perseus*. Er erschlug den Walfisch und befreite so das Land. Kassiopeia, Andromeda, Perseus und der Walfisch wurden zur Erinnerung an dieses Ereignis unter die Sterne versetzt und sind in klaren Herbstnächten gemeinsam zu sehen.

Kassiopeia ist für uns zirkumpolar. Sie befindet sich inmitten des Milchstraßenbandes, d. h., der Blick zu diesem Sternbild ist gleichzeitig ein Blick in die Symmetrieebene der Galaxis. Da dort das interstellare Medium und die jungen Sterne konzentriert sind, ist im Sternbild Kassiopeia eine Häufung solcher Objekte zu erwarten. In der Tat kann man bereits mit einem kleinen Fernrohr bzw. mit einem lichtstarken Feldstecher drei offene Sternhaufen beobachten, ganz abgesehen von dem Sternreichtum der Milchstraße im Hintergrund.

Im Jahre 1572 erschien im Sternbild Kassiopeia eine *Supernova*. Das ist ein Stern, der infolge seiner fortgeschrittenen Entwicklung einen plötzlichen Energieausbruch erleidet. Die Intensität seiner Strahlung wird dabei unter Umständen 100 Millionen Mal größer als der Normalwert, die scheinbare Helligkeit kann um 20 Größenklassen steigen. Bei einem Supernovaausbruch stößt der Stern auch Masse ab; für das Ereignis von 1572 wurde ein Verlust von über 10 Sonnenmassen abgeschätzt. Das Wort *Supernova* hängt mit *Nova* (eigentlich *nova stella*, neuer Stern) zusammen. Früher glaubte man, in diesen

und ähnlichen Erscheinungen das Entstehen eines Sternes zu beobachten. Daß alle Nova- und Supernovaausbrüche von bereits vorhandenen Sternen ausgehen, ließ sich erst feststellen, als man den Himmel auf fotografischem Wege systematisch zu überwachen begann.

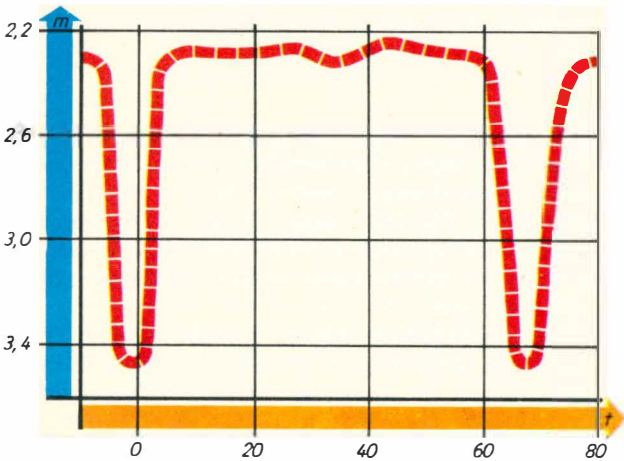
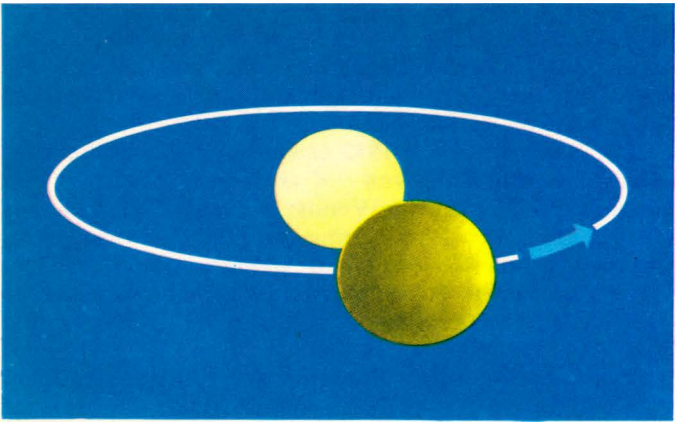
Die Supernova von 1572 erreichte im Maximum eine scheinbare Helligkeit von -4 Größenklassen. Das entspricht der Helligkeit der Venus; das Objekt muß damals also auch in der Dämmerung zu sehen gewesen sein. Heute ist seine Helligkeit auf weniger als 19 Größenklassen gesunken. Nur die größten Fernrohre zeigen es noch als ganz schwachen Stern. Seine Entfernung beträgt 16000 Lichtjahre.

Der Überrest einer Supernova, die schon im Jahre 1181 östlich des Sterns Epsilon Cassiopeiae aufleuchtete und über die alte chinesische und japanische Chroniken berichten, ist noch heute als Radiostrahlungsquelle beobachtbar.

Perseus (Perseus)

Der Held Perseus gehört zu den bereits erwähnten Sagenfiguren um Kassiopeia. Ihm wird auch die Überwindung der Medusa zugeschrieben, deren Kopf er noch in der Hand hält. Beim Anblick dieses Kopfes versteinerten alle Menschen vor Entsetzen, so grauenerregend sah das Ungeheuer aus. (Perseus hatte es deshalb mit abgewandtem Gesicht erschlagen.)

Ein Auge des Medusenhauptes blinzelt noch im Tode. Es ist *Algol*, der Teufelsstern, dessen Helligkeit tatsächlich nicht konstant ist, sondern mit großer Regelmäßigkeit alle 2 Tage und 20 Stunden für 10 Stunden von 2,2 Größenklassen auf 3,5 Größenklassen sinkt. Algol ist ein *Bedeckungsstern*, d. h. ein Doppelsternsystem, in dem zwei sehr eng beieinanderstehende Sterne – die auch in großen Fernrohren nicht mehr einzeln gesehen werden können – einander umlaufen und sich dabei für einen Beobachter auf der Erde gegenseitig zeitweilig verdecken. Solange der hellere der beiden Sterne hinter dem lichtschwächeren steht, erscheint uns das Gesamtsystem weniger hell (siehe Abb. S. 82). Außerdem existiert ein dritter Stern, der die beiden genannten in knapp 2 Jahren einmal umläuft. Er



Der Bedeckungsstern Algol und seine Helligkeitskurve (m – scheinbare Helligkeit; t – Zeit seit Minimum in Stunden)

hat aber keinen Einfluß auf die beobachtbare Helligkeit, da seine Bahnebene nicht mit der Blickrichtung Erde–Algol zusammenfällt.

Im Sternbild Perseus leuchtete 1901 eine Nova auf. Novaausbrüche sind, oberflächlich betrachtet, den Supernovaerscheinungen ähnlich. Sie kommen aber öfter vor und

erreichen bei weitem nicht die Heftigkeit einer Supernova. Die Strahlungsintensität steigt »nur« auf den 1000- bis 100000fachen Betrag.

Das Sternbild Perseus ist dem der Kassiopeia benachbart und wird ebenfalls von der Milchstraße durchzogen. Deshalb konzentrieren sich auch hier offene Sternhaufen, von denen zwei sehr eng beieinanderstehend sogar mit dem bloßen Auge erkannt werden können. Sie befinden sich mitten im Milchstraßenband; ihre Bezeichnungen lauten Chi Persei und h Persei. Chi Persei ist der schwächere von beiden; er umfaßt etwa 300 Sterne und hat eine Gesamthelligkeit von 4,7 Größenklassen. Mit 4,4 Größenklassen und rund 350 Mitgliedssternen ist h Persei aber nur unwesentlich heller. Die wahren Durchmesser der beiden Haufen liegen bei je 80 Lichtjahren. Sie bilden ein physikalisch zusammengehöriges System, von dem das Licht bis zu uns 7400 Jahre unterwegs ist.

An der Grenze der Sichtbarkeit mit dem bloßen Auge liegt der offene Sternhaufen M 34. Er trägt außer dieser Katalognummer – das M weist darauf hin, daß es sich um den Katalog der Sternhaufen und Nebel des französischen Astronomen Charles Messier (1730–1817) handelt – keinen Eigennamen. 80 Sterne bilden dieses Objekt, das mit 5,5 Größenklassen Gesamthelligkeit nur in ganz klaren, dunklen Nächten als schwacher, nebliger Lichtfleck zu sehen ist. Es ist nur ein kleiner Sternhaufen; 7,5 Lichtjahre beträgt sein Durchmesser, 1440 Lichtjahre seine Entfernung.

Kepheus (Cepheus)

König Kepheus von Äthiopien ist uns bereits in der Kassiopeia-Andromeda-Perseus-Sage begegnet. Das Sternbild ist wenig auffällig; es steht dem nördlichen Himmelspol näher als alle in diesem Zusammenhang erwähnten Figuren.

Als bekanntestes Objekt im Sternbild Kepheus gilt der Stern Delta (Delta Cephei). Er ist Prototyp einer großen und sehr wichtigen Gruppe veränderlicher Sterne, die auch nach ihm benannt sind (Delta-Cephei-Sterne; Cepheiden). Der 930 Lichtjahre entfernte Stern pulsiert, d. h., er ändert in genau eingehaltenem Rhythmus seinen Durchmesser, seine Temperatur, seine Leuchtkraft und damit

die scheinbare Helligkeit, die mit einer Periode von 5 Tagen und 8 Stunden zwischen 4,1 und 5,2 Größenklassen hin- und herschwankt. (Auch im Helligkeitsmaximum ist Delta Cephei also kein sehr auffälliger Stern.) Die Änderung des Durchmessers ist beachtlich; im »voll aufgeblähten« Zustand ist der Sterndurchmesser um 10%, nämlich um über 5 Mill. km – fast das Vierfache des Sonnendurchmessers! – größer als im Minimum. Die Temperatur an der Sternoberfläche schwankt zwischen 5 500 K und fast 7 000 K.

Sterne vom Typ Delta Cephei gehören zu den Riesen und Überriesen, es sind also Sterne in einer fortgeschrittenen Entwicklungsphase. In ihren Zentralgebieten ist bereits der Wasserstoff verbraucht; die Energiefreisetzung erfolgt durch die Umwandlung von Helium in schwerere Elemente. In diesem Zustand kann eine kleine Störung des Gleichgewichtes von Gasdruck, Strahlungsdruck und Schwerkraft im Sterninneren zu Pulsationsschwingungen führen. Die Schwingungsperiode hängt dabei von der mittleren Dichte ab. Könnte man die Sonne derart pulsieren lassen, dann würde eine Schwingung nur 2 Stunden dauern.

Delta Cephei ist nicht nur ein veränderlicher Stern, sondern auch ein Doppelsternsystem. Der Veränderliche wird von einem lichtschwachen Begleiter im Abstand von 41 Bogensekunden umlaufen.

Die große Bedeutung der Delta-Cephei-Sterne liegt darin, daß bei ihnen zwischen der Dauer der Lichtwechselperiode und der Leuchtkraft eine Beziehung besteht. Die amerikanische Astronomin Miß Leavitt entdeckte 1912, daß die Leuchtkraft und damit die absolute Helligkeit eines Delta-Cephei-Sterns um so größer ist, je länger die Periode des Lichtwechsels dauert. (Die verschiedenen Sterne dieses Typs haben unterschiedliche Periodenlängen zwischen 1 und 50 Tagen, aber sie stimmen in der Form der Helligkeitskurve annähernd überein.) Da man von der Erde aus sehr leicht die Periodenlänge und die – mittlere – scheinbare Helligkeit durch Beobachtung ermitteln kann, sind die Entfernungen dieser Sterne auch ohne trigonometrische Messungen, nämlich schon durch den Vergleich zwischen scheinbarer und absoluter Helligkeit bestimmbar. Das ist von besonderem Interesse für die Entfernungsbestimmung von Sternhaufen, Galaxien u. a., in denen man

zwar noch Einzelsterne erkennen, aber keine parallaktischen Verschiebungen mehr messen kann.

Ein zweiter bekannter Veränderlicher im Sternbild Kepheus ist der sogenannte Granatstern, ein rötliches Objekt mit einer scheinbaren Helligkeit von 3,6 bis 5,1 Größenklassen. Sein Durchmesser übertrifft den der Sonne um das Siebzigfache.

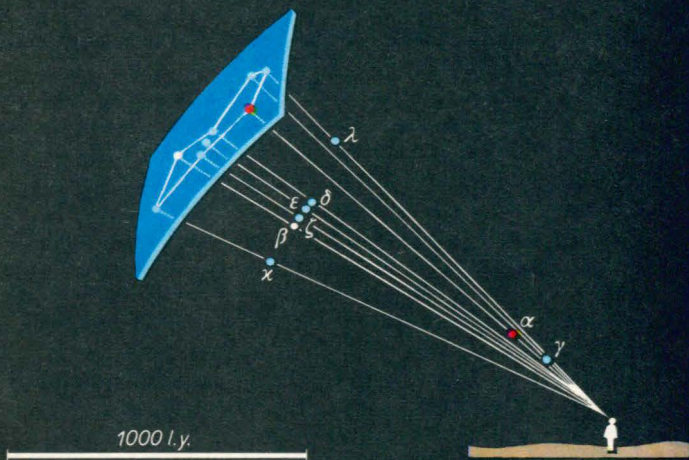
Orion (Orion)

Die griechische Mythologie kennt den Jäger Orion, der, von seinen beiden *Hunden* treu begleitet, gegen den wilden *Stier* kämpft. Er soll auch der Geliebte der Aurora, der Göttin der Morgenröte, gewesen sein. Im Auftrage der Jagdgöttin Diana wurde er durch den Giftstachel eines *Skorpions* getötet und mitsamt dem Skorpion an den Himmel versetzt. Aber selbst da flieht Orion vor dem giftigen Insekt.

Beide Sternbilder sind niemals gleichzeitig sichtbar; erst lange nachdem der Skorpion untergegangen ist, kommt Orion am Osthimmel herauf.

Die meisten Orionsterne gehören zu einer *Sternassoziation*, einer Gruppe extrem junger Sterne mit sehr hohen Oberflächentemperaturen. Auch der bekannte *Orionnebel*, ein Gas-Staub-Nebel unterhalb der drei »Gürtelsterne«, hängt mit dieser Assoziation zusammen. Die Sterne, die ihn zum Leuchten anregen, sind wahrscheinlich aus Teilen dieser großen Ansammlung von interstellarem Medium entstanden. Wir treffen also beim Orion auf den seltenen Fall, daß von den 8 Sternen, die die charakteristische Figur bilden, 6 nicht nur optisch, sondern auch physikalisch zusammengehören. Das macht sich auch in den nahezu übereinstimmenden Entfernungen (1300 Lichtjahre) bemerkbar. Nur Alpha und Gamma, die beiden Schultersterne, sind mit 600 und 450 Lichtjahren erheblich näher. Immerhin – das Licht, das wir heute von Alpha Orionis (*Beteigeuze*) empfangen, hat diesen Stern noch vor Lebzeiten Kopernikus' verlassen.

Der Orionnebel ist bereits mit dem bloßen Auge sichtbar. Seine Helligkeit beträgt 2,9 Größenklassen, sein Durchmesser rund 60 Bogenminuten. (Der scheinbare Durchmesser des Erdmondes ist nur halb so groß). In ihm



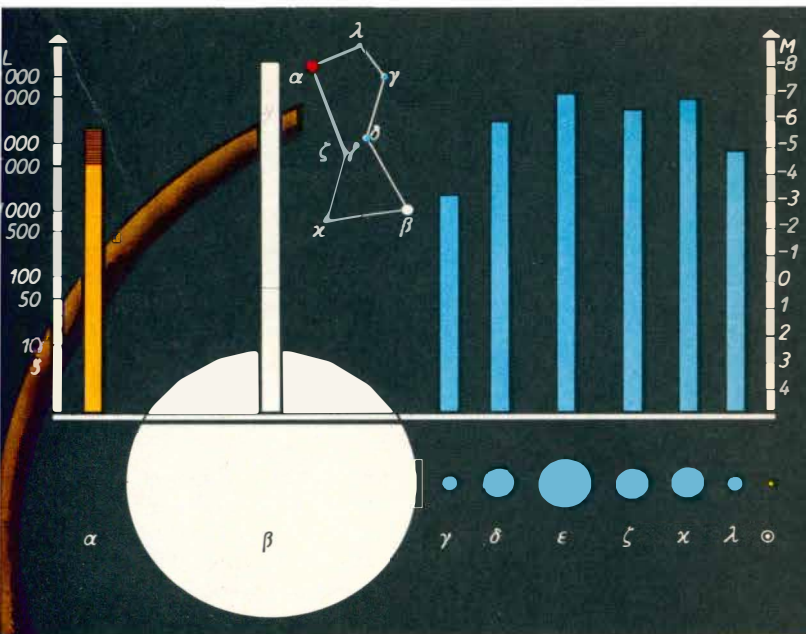
Orion (l.y. – light years, Lichtjahre; L – Leuchtkraft im Vergleich zur Sonne; M – absolute Helligkeit; ☉ – Sonne)

vereinigt sich die Masse von schätzungsweise 700 Sonnen.

Im Fernrohr erkennt man im Innern des Nebels einen sechsfachen Stern, das »Trapez«. Seine Gesamthelligkeit ist 4,9 Größenklassen, die Komponenten¹ sind zwischen 10 und 20 Bogensekunden voneinander entfernt. Aus den Spektren dieser Sterne geht hervor, daß sie zu der schon erwähnten Assoziation gehören.

Im Zusammenhang mit dem Orionnebel ist der »Pferdekopf« erwähnenswert. Das ist eine eigenartig geformte, scharf begrenzte Wolke dichten interstellaren Staubes, die Teile eines dahinter befindlichen hellen Nebels ver-

¹ Als Komponenten bezeichnet man die in einem Doppel- oder Mehrfachsystem vereinigten Sterne.



deckt. Sie zeigt die absorbierende Wirkung des interstellaren Staubes in besonders augenfälliger Weise und macht deutlich, daß im Bereich des Sternbildes Orion eine starke Konzentration des interstellaren Mediums in leuchtender und in nichtleuchtender Form existiert.

Der Hauptstern des Orion, *Beteigeuze*, ist ein roter Riesenstern. Sein Durchmesser übertrifft den der Sonne um das Vierhundertfache. Beteigeuze ist veränderlich, seine Leuchtkraft schwankt zwischen 5000 und 15000 Sonnenleuchtkräften. Trotzdem bleibt die Temperatur an seiner Oberfläche mit 3000 K weit unter dem entsprechenden Wert für die Sonne. Würde man unser Sonnensystem konzentrisch in diesen Stern versetzen, so fänden die Sonne und die Bahnen der Planeten Merkur bis Mars noch im Innern Platz.

Der Fußstern *Rigel* ist ein fünffacher Stern. Seine Hauptkomponente übertrifft die Sonne erheblich an Masse; der Stern erreicht mit 40 Sonnenmassen schon fast die obere Grenze des Möglichen. Sterne mit mehr als 50 oder 60 Sonnenmassen sind nicht mehr stabil.

Stier (Taurus)

Als Zeus die schöne phönizische Prinzessin Europa entführte, hatte er die Gestalt eines weißen, zahmen Stieres angenommen. Die Königstochter, der das unbekannte Tier gefiel, setzte sich im Spiel darauf. Da stürmte der Stier plötzlich davon, und erst auf Kreta gab der Göttervater sich zu erkennen. Das Sternbild sollte die Erinnerung an diesen Vorgang wachhalten. Aber auch als bekämpfenswertes Untier wird der Stier dargestellt; Orion ist sein Gegner.

Die zum Sternbild Stier gehörenden *Plejaden* (das Siebengestirn) wurden im Altertum als selbständiges Sternbild betrachtet. Die Plejaden sind der am besten beobachtbare offene Sternhaufen. Man kann ihn schon mit dem bloßen Auge sehen. Die Gesamthelligkeit des aus mehr als hundert Sternen bestehenden, knapp 400 Lichtjahre entfernten Objekts beträgt 1,4 Größenklassen. Am Himmel überdecken die Plejaden eine Fläche von fast 2° Durchmesser, das entspricht einem wahren Durchmesser von 25 bis 30 Lichtjahren. Langbelichtete fotografische Aufnahmen zeigen in der Umgebung der hellsten Plejadensterne ausgedehnte Staubnebel, die das Licht dieser Sterne reflektieren und dadurch auf den Aufnahmen in Erscheinung treten.

Nicht weit von den Plejaden, um den Stern *Aldebaran* (Alpha Tauri, das »Auge« des Stieres) herum, befindet sich ein weiterer offener Sternhaufen, der ebenfalls mit bloßem Auge leicht gesehen werden kann. Es sind die *Hyaden*, die Regensterne. Wenn sie abends sichtbar werden, beginnt der Herbst. Etwa 300 Sterne bilden dieses Objekt, das mit einer Gesamthelligkeit von 0,8 Größenklassen noch auffälliger als die Plejaden sein könnte, wären die Sterne nicht über eine viel größere Fläche am Himmel verteilt.

Orionnebel



Der scheinbare Durchmesser der Hyaden beträgt $5,5^\circ$. Von diesem Sternhaufen benötigt das Licht nur 130 Jahre bis zu uns, seine Sterne – und noch einige andere Sterne der Umgebung – weisen eine einheitliche Bewegung auf. Sie entfernen sich in jeder Sekunde um 32 km von ihrem gegenwärtigen Ort.

Im Sternbild Stier, unweit der Ekliptik, befindet sich der *Crabnebel* (Krebsnebel, nach seinem Aussehen in kleinen Fernrohren so genannt). Es ist eine Gaswolke, die sich beim Ausbruch einer Supernova im Jahre 1054 gebildet hat. Der Zentralstern – der Supernova-Reststern – ist extrem heiß, erreicht aber im sichtbaren Licht nur die 16. Größenklasse. Es ist ein Pulsar mit einer Periode von 0,033 Sekunden; der einzige, der bisher auch im optischen Bereich beobachtet werden konnte. Seine Helligkeit »pulsiert« auch im optischen und im Röntgenbereich mit der gleichen Periode. Der von ihm zum Leuchten angeregte Nebel ist mit 8,4 Größenklassen erheblich heller. Die Nebelhülle dehnt sich ständig aus, noch heute mit einer Geschwindigkeit von über 1000 km/s. Die Entfernung dieses Objekts beträgt rund 3000 Lichtjahre.

Fuhrmann (Auriga)

Der Erfinder des Wagens, der auch zum ersten Male das Pferd als Zugtier nutzte, wurde zur Belohnung für diese große Tat unter die Sterne versetzt. Er trägt eine Ziege und drei kleine Zicklein im Arm. (Zeus wurde als Kind von einer Ziege genährt. Er versetzte sie später zum Dank an den Himmel; möglicherweise besteht ein Zusammenhang zwischen dieser und der Fuhrmannsage.)

Das Sternbild wird vom Milchstraßenband durchzogen und enthält mehrere offene Sternhaufen, darunter M 36, M 37 und M 38, die nahezu auf einer Geraden liegen und bereits mit kleinen Fernrohren gesehen werden können. Sie sind 3000 bis 4000 Lichtjahre von uns entfernt und enthalten jeweils 60 bis 150 Sterne.

Der Hauptstern *Kapella*, die Ziege, besteht aus 2 Einzelsternen, die einander in sehr geringer Entfernung umlaufen. Beide sind ihrer Spektralklasse und damit ihrer Temperatur nach der Sonne sehr ähnlich, jedoch handelt

es sich um Riesensterne mit Durchmessern von 8 bzw. 10 Sonnendurchmessern. Die Massen sind fast gleich groß (jeweils etwa 3 Sonnenmassen), die Leuchtkräfte übertreffen die Leuchtkraft der Sonne um das Achtzig- bzw. Hundertfache. Dieses Doppelsternsystem ist von uns nur 45 Lichtjahre entfernt. Es gehört zu dem »Wintersechseck« der hellsten Sterne um Orion und steht von diesen 6 Sternen dem Nordpol des Himmels am nächsten. Deshalb kann Kapella auch im Sommer in klaren Nächten tief über dem Nordhorizont gesehen werden und ist bereits ein Zirkumpolarstern.

Kapella kann vom Polarstern aus leicht gefunden werden. Die Verbindungslinie Polarstern – Kapella steht senkrecht auf der Orientierungslinie, mit der man vom Großen Wagen (bzw. Großen Bären) aus den Polarstern aufsucht.

Der schwache Stern RW Aurigae hat einer Gruppe unregelmäßiger Veränderlicher seinen Namen verliehen. Das sind Sterne, die ganz unperiodische Helligkeitsveränderungen zeigen und oft in der Nähe von Gas- und Staubnebeln stehen.

Zwillinge (Gemini)

Kastor und Pollux, die Söhne des Zeus und der Leda, wurden zur Belohnung für ihre brüderliche Treue unter die Sterne versetzt.

Es sind die beiden Hauptsterne des Sternbildes Zwillinge. Beide sind nicht sonderlich weit von uns entfernt: Kastor 45, Pollux 35 Lichtjahre. Als die Astronomen *Bayer* und *Flamsteed* im 17. Jahrhundert die Sterne in der noch heute gebräuchlichen Weise mit griechischen Buchstaben bezeichneten, nannten sie den hellsten Stern jeweils Alpha, den zweithellsten Beta usw. Bei den Zwillingen gab es jedoch einen Irrtum. Kastor heißt Alpha Geminorum, obwohl er um 0,37 Größenklassen schwächer ist als Pollux.

Die beiden Sterne sind auf den ersten Blick wirklich so ähnlich wie Zwillinge. Schaut man aber genauer hin, so findet man außer dem kleinen Unterschied in der Helligkeit auch unterschiedliche Färbungen. Kastor leuchtet

weiß, Pollux rötlich. Exakte Untersuchungen zeigen noch mehr. Pollux ist ein Einzelstern, und zwar ein Riese, Kastor dagegen ein sehr kompliziertes Sechsfachsystem. Drei jeweils doppelte Sterne bewegen sich umeinander mit einer Umlaufzeit von fast 400 Jahren.

Das Sternbild Zwillinge befindet sich zum Teil in der Milchstraße und wird auch von der Ekliptik durchzogen. Sehr nahe der scheinbaren Sonnenbahn und noch im Bereich des Milchstraßenbandes befindet sich der offene Sternhaufen M 35. Seine rund 120 Sterne bedecken am Himmel ein Gebiet von 40 Bogenminuten Durchmesser, das ist etwas größer als der Vollmond. In Wirklichkeit beträgt der Durchmesser dieses Sternhaufens 30 Lichtjahre. Seine Sterne senden ihr Licht aus 2600 Lichtjahren Entfernung zu uns.

Das Objekt besitzt eine scheinbare Gesamthelligkeit von 5,3 Größenklassen, die einzelnen Sterne darin weisen aber nur die 8. bis 12. Größenklasse auf. Schon ein kleiner Feldstecher zeigt diesen Haufen sehr deutlich. Bei sehr guten Sichtverhältnissen und genauer Kenntnis seines Ortes kann er auch mit bloßem Auge gesehen werden.

Da die Bahnen der Planeten und des Mondes in der Nähe der Ekliptik liegen, kann der Sternhaufen M 35 zeitweilig von einem dieser Objekte verdeckt werden. Besonders bei einer Bedeckung durch den zunehmenden Mond ist es sehr eindrucksvoll, wenn der unsichtbare, dunkle Mondrand die Sterne rasch nacheinander »verschluckt«. Diese Beobachtung erfordert jedoch schon ein größeres Fernrohr. Sternbedeckungen durch den Mond werden zur genauen Ermittlung der Mondbahn beobachtet. Allerdings muß dabei die Position des Beobachters auf der Erde bekannt sein, da wegen der geringen Entfernung Mond-Erde eine parallaktische Verschiebung eintritt. Zwei Beobachter in verschiedenen Orten stellen in der Regel das Verschwinden oder Wiederauftauchen eines Sterns hinter dem Mond zu unterschiedlichen Zeiten fest.

Großer Hund (Canis Maior)

Orion, der Jäger der antiken Sage, wurde bei seinen Streifzügen stets von seinen beiden Hunden begleitet. Sie erhielten als Lohn für ihre Treue mit Orion zusammen einen

Platz am Himmel. Wenn *Sirius*, der »Hundsstern«, im alten Ägypten am Morgenhimmel kurz vor der Sonne sichtbar wurde, dann richtete man sich auf den baldigen Beginn der alljährlichen Nilüberschwemmung ein. Sirius war also ein wichtiger Kalenderstern; lange Zeit hindurch wurde der Zeitpunkt seines Wiedererscheinens am Morgenhimmel (im Juli bzw. August unseres Kalenders) sogar als Jahresbeginn festlich begangen. Die »Hundstage« tragen ihren Namen noch heute nach ihm. Es ist ein merkwürdiges Zusammentreffen, daß sie nach einem Sternbild genannt sind, das man in den kältesten Winternächten am besten sehen kann.

Selbst zur Zeit seiner Kulmination steht Sirius nur wenig mehr als 20° über dem Horizont. Er fällt trotzdem jedem aufmerksamen Betrachter des Sternhimmels sofort auf. Sirius ist der hellste Stern, den wir am Himmel sehen können. (Ausgenommen natürlich die Sonne! Auch einige Planeten werden heller.) Seine scheinbare Helligkeit beträgt $-1,37$ Größenklassen, sein Licht ist reinweiß, wird aber durch die Wirkung der Erdatmosphäre oft in auffälliger Weise verändert. Luftschlieren, die wie kleine Prismen wirken, zerlegen das Licht des Sterns, so daß er dem Beobachter in allen Spektralfarben schillernd erscheint. Sirius ist zweimal so groß wie die Sonne und nur 9 Lichtjahre entfernt.

Wegen seiner Nähe macht sich die Eigenbewegung des Sirius im Weltraum für einen Beobachter auf der Erde besonders deutlich bemerkbar. Jährlich legt er am Himmel einen Weg von 1,3 Bogensekunden zurück, in 1400 Jahren eine Vollmondbreite. Sirius bewegt sich aber nicht auf einer Geraden, sondern beschreibt, wie Friedrich Wilhelm Bessel schon 1834 bemerkte, eine Wellenlinie. Jede dieser Wellen beansprucht eine Dauer von rund 50 Jahren. Bereits Bessel vermutete, daß Sirius von einem lichtschwächeren Begleiter umlaufen wird, jedoch wurde dieser Begleiter (8,7 Größenklassen) erst im Jahre 1862 gefunden. Im 20. Jahrhundert stellte sich dann heraus, daß man in diesem »Sirius B« einen Weißen Zwerg entdeckt hatte. Sein Durchmesser beträgt nur $\frac{1}{40}$ des Sonnendurchmessers – weniger als 3 Erddurchmesser! Es han-

delt sich also um einen Stern mit den Abmessungen eines Planeten, der jedoch fast eine ganze Sonnenmasse enthält. Daraus errechnet sich die mittlere Dichte zu rund $130\,000\text{ g/cm}^3$. Mit anderen Worten: 1 cm^3 Sternmaterie würde, unverändert zur Erde gebracht, hier 130 kp wiegen, eine Streichholzschachtel voll wäre eine Masse von fast 4t.

Das Sternbild Großer Hund liegt zum Teil in der Milchstraße. Sie zieht sich hier aus dem für uns unsichtbaren Teil des südlichen Sternhimmels nach Norden, durch Zwillinge, Fuhrmann und Perseus hindurch in Richtung auf die Sommersternbilder Schwan, Leier und Adler.

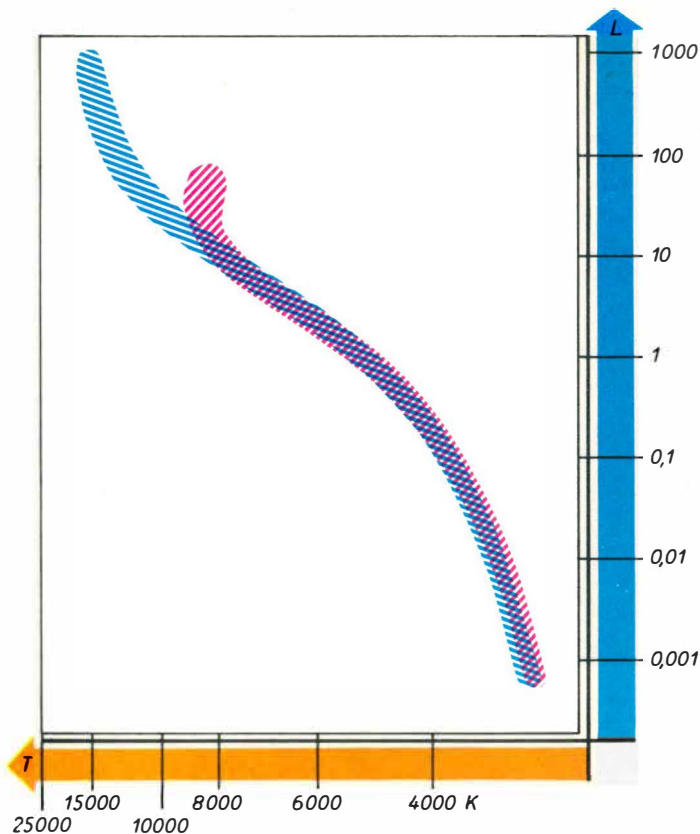
Krebs (Cancer)

Zeus verfolgte einst eine reizende Nymphe, konnte ihrer aber nicht habhaft werden. Da kam ihm ein riesiger Krebs zu Hilfe, der die Widerstrebende so lange mit seinen Scheren festhielt, bis sich der Göttervater ihr nahen konnte. Zum Dank für diese Unterstützung versetzte Zeus später den Krebs an den Himmel.

Der Krebs ist ein Tierkreissternbild, allerdings kein sehr auffälliges. Keiner seiner Sterne ist heller als 4 Größenklassen. Mitten durch das Sternbild führt die Ekliptik hindurch; die Sonne befindet sich alljährlich in den letzten Julitagen in unmittelbarer Nähe des Sterns Delta Cancri.

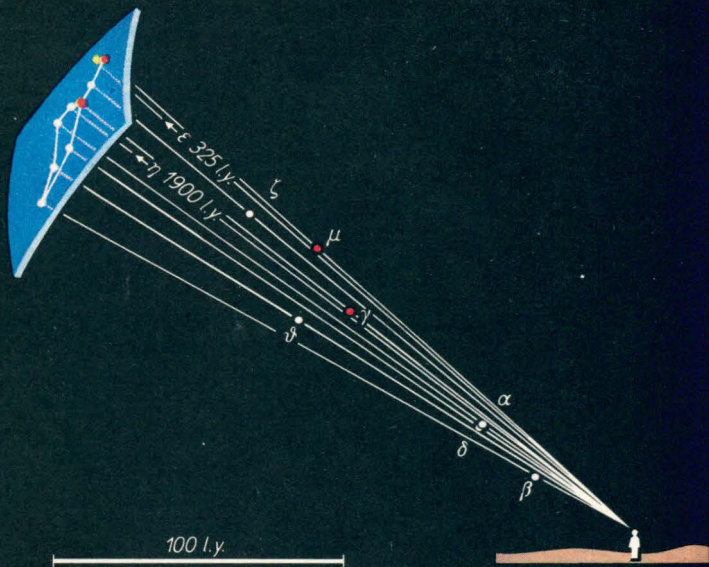
2° nordwestlich dieses Sterns befindet sich der bekannte offene Sternhaufen *Praesepe* (Krippe), der die Katalognummer M 44 trägt. Er ist gut mit dem bloßen Auge zu sehen, da die Gesamthelligkeit seiner Sterne 3,7 Größenklassen erreicht. Annähernd 75 Sterne nehmen einen Raum von 13 Lichtjahren Durchmesser ein; die Entfernung dieses Haufens beträgt 520 Lichtjahre.

Die Praesepe ist erheblich älter als die Plejaden im Sternbild Stier. Wenn man die Temperatur-Leuchtkraft-Diagramme dieser beiden Sternhaufen zeichnet – man trägt also dann nur Sterne ein, die den beiden Sternhaufen angehören – und miteinander vergleicht, kann man diesen Altersunterschied auf einen Blick erfassen (s. Abb. S. 95). Die Plejaden bestehen ausschließlich aus Hauptreihensternen. Auch die massereichsten unter ihnen, die am oberen Ende der Hauptreihe, haben sich noch nicht zu Riesen



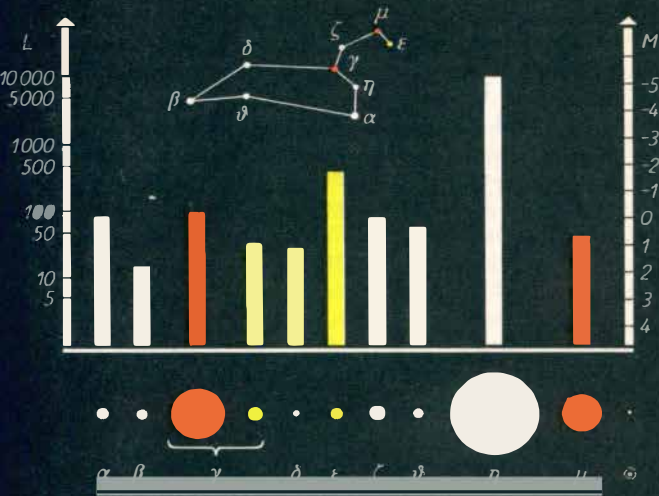
Temperatur-Leuchtkraft-Diagramm eines jüngeren und eines älteren Sternhaufens

weiterentwickelt. Offenbar besteht dieser Sternhaufen noch nicht lange genug, so daß selbst die massereichen Sterne, die ihren Wasserstoffvorrat am schnellsten verbrauchen, gegenwärtig noch genug Wasserstoff zur Energiefreisetzung zur Verfügung haben. (Allerdings gibt es auch jüngere Sternhaufen, zu denen Riesensterne gehören; dabei handelt es sich stets um Objekte mit relativ hoher Mitgliederzahl.) Anders die Praesepe. Ihre Hauptreihe enthält nur noch die Sterne mit geringerer Masse, etwa



Löwe (l.y. - light years, Lichtjahre; L - Leuchtkraft im Vergleich zur Sonne; M - absolute Helligkeit; \odot - Sonne)

2 Sonnenmassen und darunter. Bei einer Oberflächen-temperatur von etwa 8000 K biegt sie ab, und einige Sterne finden sich im Bereich der Riesen wieder. Die Praesepe existiert bereits seit so langer Zeit, daß die massereichen Hauptreihensterne inzwischen zu Riesen wurden. Im Laufe der Zeit wird der Auflösungspunkt auf der Hauptreihe immer weiter nach unten wandern, und immer masseärmere Sterne werden sich zu Riesen entwickeln. Man kann also aus der Lage des Auflösungspunktes eine Aussage über das Alter der Sterne gewinnen. Hieraus ergibt sich eine überaus wichtige Erkenntnis: Es ist möglich, durch geschickte Kombinationen von Meßwerten auch solche Größen zu ermitteln, die einer direkten Messung nicht zugänglich sind. Es ist sogar möglich, die Entwicklung der Sterne nach Maß und Zahl zu erfassen.



Nicht nur räumlich ist die Welt erkennbar, sondern auch im Hinblick auf zeitliche Abläufe!

Löwe (Leo)

Herkules, der sagenhafte Held der Griechen, erwürgte den nemeischen Löwen. Jedoch gönnte Hera, die Gemahlin des Zeus, dem Helden diesen Sieg nicht und versetzte – um ihn zu ärgern – sein Opfer an den Himmel.

Der Löwe ist ein Tierkreissternbild, und sein Hauptstern *Regulus*, der »Königsstern«, befindet sich in unmittelbarer Nähe der Ekliptik. Alljährlich um den 22. August passiert die Sonne diesen Punkt. Häufig wird Regulus auch vom Mond oder von einem Planeten bedeckt.

Regulus ist ein dreifacher Stern, seine Gesamthelligkeit ist mit 1,34 Größenklassen recht hoch. Die Begleiter

sind allerdings sehr schwach: 7,7 und 13,0 Größenklassen. Ein bekannter Doppelstern ist Gamma Leonis. 130 Lichtjahre von uns entfernt umlaufen 2 Riesensterne, 20- und 6mal so groß wie die Sonne, ihren gemeinsamen Schwerpunkt. Ein Umlauf dauert über 600 Jahre. Die scheinbaren Helligkeiten der beiden Komponenten sind 2,6 und 3,8 Größenklassen, der scheinbare Abstand beträgt 4 Bogensekunden. Schon mit einem kleinen Fernrohr kann man dieses Objekt als Doppelsternsystem identifizieren.

Im Sternbild Löwe finden sich viele, allerdings nur in größeren Instrumenten beobachtbare, außergalaktische Sternsysteme. 850 Mill. Lichtjahre ist ein Galaxienhaufen entfernt, den wir durch die Sterne des Löwen hindurch sehen können und der annähernd 300 Sternsysteme umfaßt. (Das ist aber noch relativ wenig. In den benachbarten Sternbildern *Haar der Berenike* und *Jungfrau* wurden Galaxienhaufen mit 1000 und 2500 Mitgliedern entdeckt!) Wir können diese Gebilde beobachten, weil

Galaxienfeld im Sternbild Jungfrau



der Löwe (wie Haar der Berenike und Jungfrau) genügend weit von der Milchstraße entfernt und deshalb unser Blick nahezu senkrecht zur Scheibenebene gerichtet ist. Die Sichtbehinderung durch das interstellare Medium bleibt dabei sehr gering.

Der Stern R Leonis, westlich von Regulus, kann zuweilen mit dem bloßen Auge gesehen werden. Es ist ein Veränderlicher, wahrscheinlich ein pulsierender Stern, jedoch treten die Pulsationen nicht regelmäßig auf. Mit einer Periode von etwas mehr als 10 Monaten ändert er seine Helligkeit von 4,4 auf 11,6 Größenklassen. Im Minimum ist er also nicht nur für das bloße Auge, sondern auch für ein kleines Fernrohr unsichtbar. Nach dem bekanntesten Vertreter dieser Klasse von Veränderlichen, dem Stern Mira im Sternbild Walfisch, bezeichnet man derartige Objekte als *Mirasterne*.

Bootes (Bootes)

Bootes ist der Bärenhüter aus der Sage vom Großen und Kleinen Bären. Auch als Rinderhirte oder Ochsentreiber wurde er betrachtet, namentlich bei den Römern, die die Bärensterne – wie beschrieben – als Dreschochsen bezeichneten.

Der Hauptstern des Bootes, *Arktur*, fällt durch sein rötliches Licht auf. An seiner Oberfläche herrscht eine Temperatur von 4200 K, also erheblich weniger als in der Sonnenphotosphäre. Da Arktur mit 0,2 Größenklassen einer der hellsten Sterne am Himmel ist, können wir bei ihm die rötliche Farbe des Lichtes direkt wahrnehmen. Er ist ein Riesenstern mit einer Strahlungsleistung von über 80 Sonnenleuchtkräften; sein Durchmesser übertrifft den der Sonne um mehr als das Zwanzigfache. Das Licht, das wir von ihm empfangen, war 35 Jahre unterwegs. Auch bei Arktur fällt die Eigenbewegung auf, in einem Jahrtausend bewegt sich der Stern am Himmel um mehr als ein halbes Grad vorwärts.

Der veränderliche Stern R Bootis gehört wie R Leonis zur Gruppe der *Mirasterne*. Seine Helligkeit schwankt um mehr als 7 Größenklassen. Vergleicht man sein Spektrum mit dem einer ruhenden Lichtquelle, so fällt eine geringfügige Verschiebung aller Absorptionslinien in

Richtung auf das kurzwellige – violette – Ende des Spektralbandes auf. Daraus geht hervor, daß sich dieser Stern der Erde mit einer Geschwindigkeit von 58 km/s nähert. Da er ansonsten von seiner Position kaum »seitlich« abweicht, muß die räumliche Eigenbewegung von R Bootis tatsächlich genau auf unser Sonnensystem gerichtet sein. In jeder Stunde kommt er uns also um 210000 km näher – das ist mehr als die Hälfte des Weges Erde–Mond. Trotzdem brauchen wir keinen Zusammenstoß zu befürchten: Auch die Sonne bewegt sich mitsamt dem ganzen Sonnensystem durch den Raum und legt dabei in jeder Sekunde rund 20 km zurück. Sollte R Bootis in sehr ferner Zukunft einmal unseren gegenwärtigen Standort passieren, dann werden wir uns weit entfernt davon befinden.

Herkules (Hercules)

Herkules, bekanntester Held der griechischen Sage, besiegte die Schlange, den Löwen und den Drachen. Er fand seinen Platz am Sternhimmel in der Nähe dieser Figuren.

Herkules ist ein ziemlich ausgedehntes Sternbild, besitzt aber nur einen einzigen Stern, der heller als 3 Größenklassen ist. Die Araber nannten ihn Ras Algethi, »Kopf eines knieenden Mannes«. Es handelt sich um ein Mehrfachsystem, 540 Lichtjahre von uns entfernt, dessen beide Komponenten weitaus größer sind als die Sonne. Der Durchmesser des Hauptsterns übertrifft den Sonnendurchmesser um das Achthundertfache. Er wird von einem schwachen Begleiter umlaufen, der sich nur durch Veränderungen im Spektrum des Überriesen bemerkbar macht. Außerdem gibt es einen sichtbaren Begleiter in knapp 5 Bogensekunden Abstand.

Im Herkules befindet sich der einzige kugelförmige Sternhaufen, den man mit dem bloßen Auge beobachten kann. Er trägt die Katalognummer M 13 und besitzt eine scheinbare Gesamthelligkeit von 5,7 Größenklassen. Im Trapez des »Herkuleskörpers« läßt er sich bei klarem, mondlosem Himmel als nebliges Wölkchen ohne Schwierigkeiten auffinden. Die hellsten Sterne dieses Kugelhaufens sind mit 13,8 Größenklassen schon sehr schwach; die relativ große Gesamthelligkeit wird durch die sehr große

Zahl der Mitgliedssterne bewirkt. Es sind wahrscheinlich mehr als eine Million. M 13 ist 22500 Lichtjahre von uns entfernt, um ihn zu durchqueren, benötigt das Licht fast 100 Jahre.

Nicht mehr mit dem bloßen Auge ist dagegen der kugelförmige Sternhaufen M 92 zu sehen. Seine scheinbare Helligkeit liegt bei 6,1 Größenklassen, seine Entfernung beträgt 36000 Lichtjahre. M 92 befindet sich etwa 10° nordöstlich von M 13.

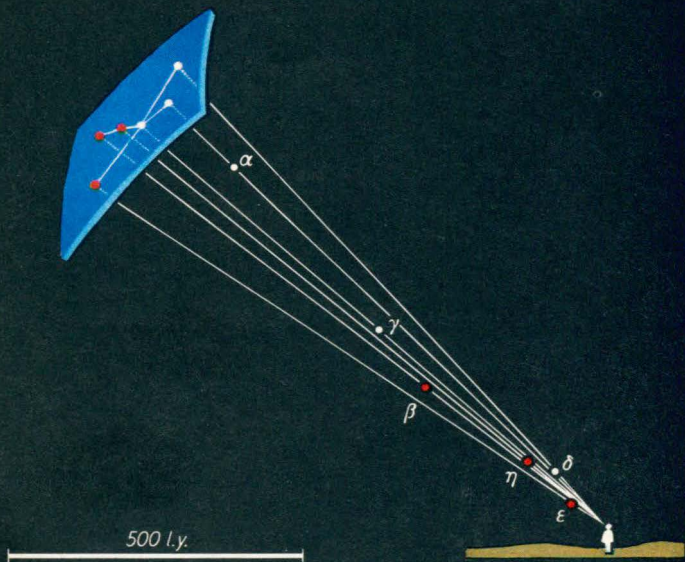
Im Sternbild Herkules, an der Grenze zwischen Herkules und Leier und knapp 10° in nordwestlicher Richtung von deren Hauptstern Wega entfernt, leuchtete im Jahre 1934 eine *Nova* auf, die im Maximum 1,3 Größenklassen erreichte. Damit war sie so hell wie Regulus. Die heutige Helligkeit dieses Sterns beträgt nur 15,5 Größenklassen.

Schütze (Sagittarius)

Der Erfinder von Pfeil und Bogen war ein begeisterter Verehrer der Musengesänge. Die geschmeichelten Musen erwirkten, daß er an den Himmel versetzt wurde.

Das Sternbild Schütze ist ein Tierkreisbild, das von der Sonne in den Monaten Dezember und Januar durchlaufen wird. Am Neujahrstag steht sie in der Nähe des Sterns ν Sagittarii (ν Sagittarii), eines optischen – also nur scheinbar zusammengehörigen – Doppelsternsystems. ν_1 Sagittarii ist ein Stern von 5,0 Größenklassen, der von einem Begleiter (11,0 Größenklassen) umlaufen wird; bei ν_2 Sagittarii handelt es sich um einen spektroskopischen Doppelstern. Die beiden Komponenten des »unechten« Doppelsterns sind also »echte« Doppelsterne.

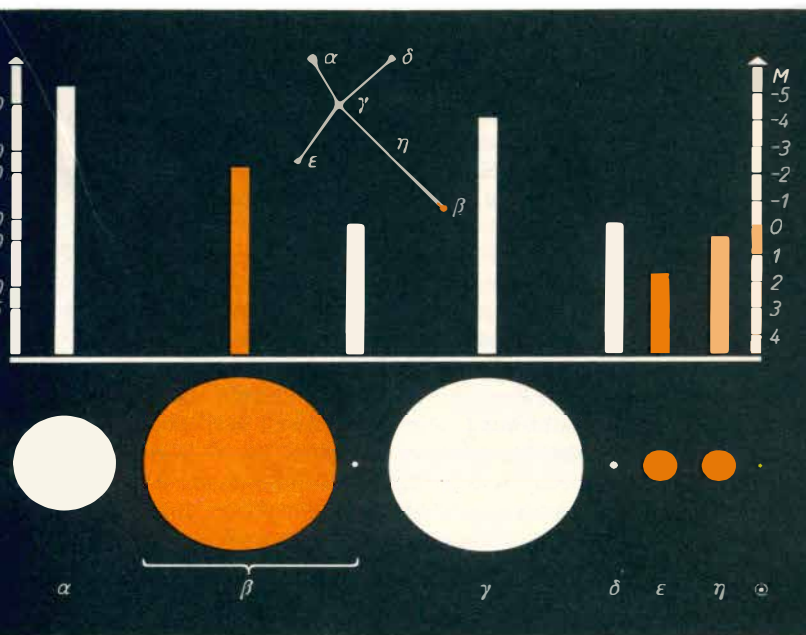
Der Schütze liegt in den dichtesten und hellsten Bereichen des Milchstraßenbandes, in unseren Breiten erhebt er sich auch in der Kulmination nur zum Teil über den Horizont. Die Richtung zum Zentrum des Milchstraßensystems weist auf einen Punkt zwischen den Sternbildern Schütze und Schlangenträger. Dieser Punkt kulminiert in Berlin in nur 9° Höhe. Sehen kann man das galaktische Zentrum jedoch nicht. Gerade in seiner Richtung befinden sich ja dichte, absorbierende Staubwolken. Im Kern der Galaxis, 30000 Lichtjahre von uns entfernt, befindet sich eine starke Quelle von Radiofrequenzstrah-



Schwan (l. y. – light years, Lichtjahre; L – Leuchtkraft im Vergleich zur Sonne; M – absolute Helligkeit; ☉ – Sonne)

lung. Ihr Durchmesser wurde zu nicht weniger als 2° bestimmt, sie besteht wahrscheinlich aus mehreren Teilen von unterschiedlicher Natur. Außerdem markiert sich das galaktische Zentrum durch eine Quelle infraroter Strahlung, deren Durchmesser wahrscheinlich über 30 Lichtjahre beträgt und in der möglicherweise eine große Zahl von Sternen zusammengeballt ist.

Auch das leuchtende interstellare Medium ist im Sternbild Schütze sehr häufig vertreten. Man beobachtet viele Gas-Staub-Nebel, die z. T. phantasievolle Namen erhalten haben: *Trifidnebel*, *Omeganebel* u.a. Wer in Richtung auf den Schützen auch junge Sternhaufen erwartet, sieht sich nicht getäuscht. Der Katalog zum Atlas Coeli von Antonín Bečvář nennt in diesem Sternbild allein 15 offene Sternhaufen. Sie sind alle nur im Fernrohr sichtbar.



Schwan (Cygnus)

Für das Sternbild Schwan gibt es, wie für viele andere, mehrere mythologische Deutungen. Bekannt ist die Sage von der schönen Leda. Zeus erschien ihr als Schwan, und aus ihrer beider Zuneigung gingen die Zwillinge (Kastor und Pollux) hervor. Nach einer anderen Lesart ist der Schwan ein Freund des Phaeton, des Sohnes des Sonnengottes. Phaeton versuchte, den Sonnenwagen seines Vaters zu lenken, aber die Pferde gingen durch. Der in Flammen aufgehende Wagen raste über den Himmel – die Aschespur ist noch heute als Milchstraße zu sehen – und stürzte in den Fluß Eridanus, an den auch ein Sternbild erinnert. Der Schmerz des Freundes über Phaetons Tod rührte die Götter so sehr, daß sie den Weinenden als Schwan unter die Sterne versetzten.

Das Sternbild Schwan, inmitten des Milchstraßenbandes gelegen, enthält einige astrophysikalisch recht bemerkenswerte Objekte. Sein Hauptstern *Deneb*, ein Überriese mit 11000 K Oberflächentemperatur, übertrifft die Sonne in bezug auf den Durchmesser um das Fünfunddreißigfache. In seiner Umgebung befinden sich dichte Sternwolken der Milchstraße, die im Feldstecher einen prachtvollen Anblick bieten. Unmittelbar südlich von Deneb beginnt eine ausgedehnte Dunkelwolke, die schon mit dem bloßen Auge als scheinbare Teilung des Milchstraßenbandes in zwei Äste zu sehen ist. Sie trägt die kuriose, aber treffende Bezeichnung »Nördlicher Kohlensack«.

Wenige Grade östlich von Deneb kann man in mondloser, klarer Nacht mit einem lichtstarken Feldstecher den sogenannten *Nordamerikanebel* finden. Das Gas wird von Deneb zum Leuchten angeregt, allerdings ist die Flächenhelligkeit nur gering. Der Durchmesser dieses Nebels beträgt an der Himmelskugel rund 100 Bogenminuten, seine Entfernung ist 910 Lichtjahre.

Eine sehr intensive Radioquelle im Schwan (Cygnus A) konnte als ein äußerst schwaches optisches Objekt (18. Größenklasse) identifiziert werden. Es befindet sich etwa 4° westlich des Sterns Gamma Cygni. Die große Entfernung von 750 Mill. Lichtjahren zeigt, daß es sich dabei um ein außergalaktisches Sternsystem handelt. Man bezeichnet Galaxien, die – wie Cygnus A – im Radiowellenbereich viel stärker als im optischen Bereich strahlen, als *Radiogalaxien*. Eigenartigerweise fällt das optisch beobachtbare Sternsystem nicht genau mit der Radioquelle zusammen. Diese besteht vielmehr aus zwei Teilen, die die Galaxie flankieren.

Der Doppelstern Beta Cygni (Albireo) ist bereits mit einem kleinen Fernrohr getrennt zu beobachten. Von uns 410 Lichtjahre entfernt, umlaufen ein rötlich und ein bläulich leuchtender Stern (3,2 und 5,4 Größenklassen) ihren gemeinsamen Schwerpunkt. Ihr scheinbarer Abstand beträgt rund 35 Bogensekunden.

P Cygni, eine *Nova*, die im Jahre 1600 aufleuchtete, ist heute ein unregelmäßiger Veränderlicher. Im Maximum erreicht er die 3., im Minimum die 6. Größenklasse. Eine

sehr helle Nova leuchtete im Jahre 1975 unweit von Deneb auf. Sie erreichte im Maximum nach einem ungewöhnlich schnellen und sehr großen Helligkeitsanstieg 1,8 Größenklassen.

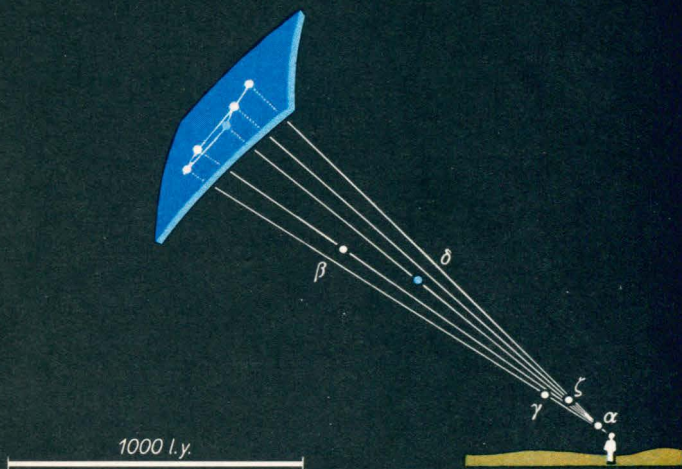
Der mit dem bloßen Auge gerade noch sichtbare Stern 61 Cygni, südöstlich von Deneb, hat historische Bedeutung. An ihm konnte Friedrich Wilhelm Bessel im Jahre 1838 die erste exakte Entfernungsbestimmung durch Parallaxenmessung durchführen. Bessel wählte diesen Stern, weil er eine sehr große Eigenbewegung hat (5,2 Bogensekunden pro Jahr, das ist ein Mondhalbmesser in weniger als 200 Jahren) und deshalb zu vermuten war, der Stern könne nicht allzuweit entfernt sein. Dann aber mußte seine jährliche parallaktische Verschiebung auch leicht gemessen werden können. Die Vermutung stimmte; 61 Cygni ist nur knapp 10 Lichtjahre entfernt. Es handelt sich übrigens um einen Doppelstern, dessen Komponenten 27 Bogensekunden voneinander entfernt sind.

Leier (Lyra)

Die Lyra war ein altgriechisches Musikinstrument, mit dessen Klängen der berühmte Sänger Orpheus der Sage nach selbst wilde Tiere zu besänftigen vermochte.

Wega, der Hauptstern des Sternbildes Leier, ist der hellste Stern des bekannten »Sommerdreiecks« Wega-Deneb-Atair und mit 0,14 Größenklassen auch einer der hellsten Sterne des Himmels. Sie strahlt ein intensiv weißes Licht aus, entsprechend einer Oberflächentemperatur von 12000 K. Der Durchmesser der Wega beträgt 2 Sonnendurchmesser, ihre Masse 3 Sonnenmassen. Daß sie die Sonne in bezug auf die Leuchtkraft 50mal übertrifft, ist im wesentlichen in der hohen Oberflächentemperatur begründet, zum kleineren Teil auch in dem größeren Durchmesser. Wega ist von uns nur 26 Lichtjahre entfernt.

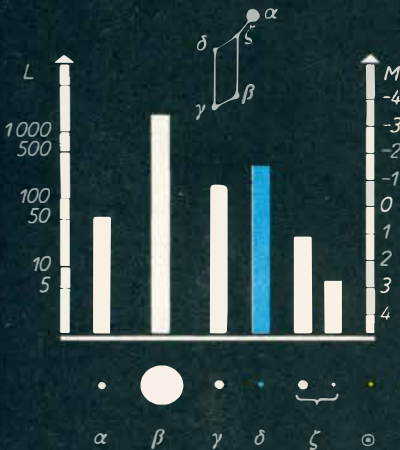
In der Leier finden sich einige komplizierte Mehrfachsterne. Gamma Lyrae ist ein optischer (scheinbarer) Doppelstern mit 14 Bogensekunden Abstand zwischen den beiden Komponenten (3,3 und 12,0 Größenklassen). Bei Delta Lyrae (δ Lyrae) sind die beiden Komponenten δ_1 und δ_2 optisch doppelt; sie können schon mit dem



Leier (l.y. – light years, Lichtjahre; L – Leuchtkraft im Vergleich zur Sonne; M – absolute Helligkeit; ☉ – Sonne)

bloßen Auge getrennt gesehen werden, da ihr Abstand 12,5 Bogenminuten beträgt – rund ein Fünftel des Monddurchmessers! δ_1 (5,5 Größenklassen) ist ein spektroskopischer Doppelstern; δ_2 (4,5 Größenklassen) ist nochmals optisch doppelt mit knapp 1,5 Bogenminuten Abstand. Die zweite Komponente ist ein Sternchen von 10,6 Größenklassen.

Epsilon Lyrae (ϵ Lyrae) stellt demgegenüber ein echtes Vierfachsystem dar. Die beiden Zweifachsterne ϵ_1 und ϵ_2 (4,7 und 4,5 Größenklassen) bilden miteinander wiederum einen weiten Doppelstern mit 3,5 Bogenminuten Abstand. Bei ϵ_1 beträgt die Umlaufzeit der beiden Komponenten um ihren gemeinsamen Schwerpunkt mehr als 1100 Jahre, bei ϵ_2 fast 600 Jahre. Die scheinbaren Abstände dieser engen Paare liegen bei 2 Bogensekunden.



Ein eigenartiges System ist Beta Lyrae, ein Bedeckungsstern mit 13tägiger Periode in einer Entfernung von 1100 Lichtjahren. Aus dem Spektrum ist abzulesen, daß die eine Komponente ein heißer Riesenstern ist und die andere ein kühlerer, kleinerer Stern. Beide Sterne sind sich so nahe, daß sich ihre Oberflächen fast berühren. Auf Grund der starken Massenanziehung haben sie sich zu Ellipsoiden verformt. Von dem heißen Stern strömt Gas zu der schwächeren Komponente und umgekehrt. Da die beiden Sterne aber in relativ kurzer Zeit ihren gemeinsamen Schwerpunkt umlaufen, erreichen diese Gasströme nur zum Teil die jeweils andere Komponente und bilden einen sich ausdehnenden Gasing um das System. Es geht also ständig Sternmasse an den interstellaren Raum verloren, pro Woche etwa eine Erdmasse.

Fast in der Mitte zwischen Beta und Gamma Lyrae liegt der *Ringnebel*, ein planetarischer Nebel. Sein Durchmesser beträgt reichlich eine Bogenminute, seine Helligkeit 9,3 Größenklassen. Der Stern, der ihn zum Leuchten anregt, hat allerdings nur eine scheinbare Helligkeit von 14,7 Größenklassen. Das Objekt ist 2150 Lichtjahre von uns entfernt.

Adler (Aquila)

Der Adler erhielt seinen Platz am Himmel als Lohn dafür, daß er den Göttern einen Mundschenk von der Erde brachte – den Knaben Antinous.

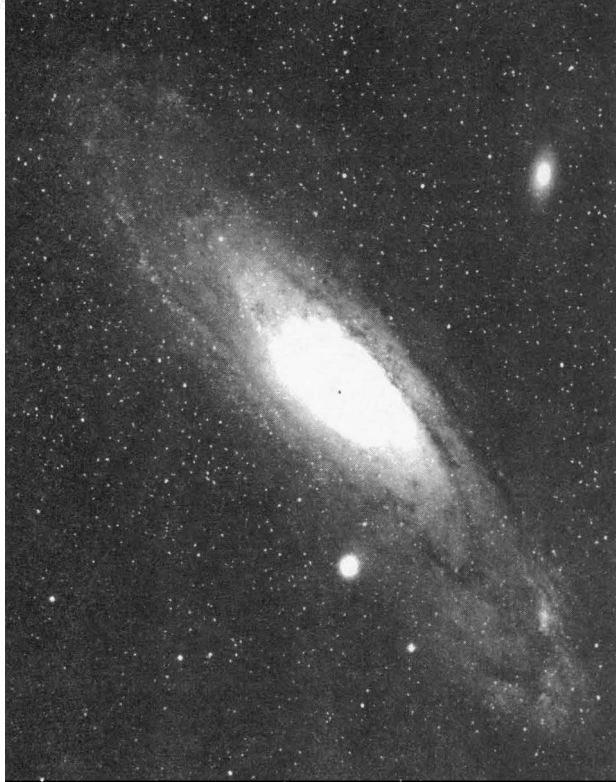
Zwischen dem Schwan und dem Schützen im Band der Milchstraße gelegen, vom Himmelsäquator durchquert, gehört der Adler zu den charakteristischen Sternbildern des Sommer- und Herbsthimmels. Sein Hauptstern *Atair* ist der südliche Eckpunkt des »Sommerdreiecks«. Die absolute Helligkeit dieses Sterns beträgt nur 2,4 Größenklassen; seine scheinbare Helligkeit von 0,9 Größenklassen ist durch die geringe Entfernung bedingt. *Atair* ist nur 16 Lichtjahre von uns entfernt. Er ist doppelt so groß wie die Sonne und besitzt eine Oberflächentemperatur von fast 9000 K.

Im Jahre 1918 leuchtete im Adler, dicht an der Grenze zum Sternbild Schlange und fast auf dem Himmelsäquator, eine *Nova* auf. Sie wurde heller als die Hauptsterne des Sommerdreiecks. Mit -1,1 Größenklassen erreichte sie fast die Helligkeit des Sirius, so daß für einige Zeit statt des »Sommerdreiecks« ein »Sommerviereck« am Himmel stand. Inzwischen ist das Objekt längst zu einem unscheinbaren Sternchen der 11. Größenklasse geworden.

Andromeda (Andromeda)

Den ganzen Herbst über steht das wenig auffällige Sternbild Andromeda am Himmel; im Oktober um Mitternacht fast im Zenit. Welche Rolle die Andromeda in der antiken Sage spielte, wurde bei der Beschreibung des Sternbildes Kassiopeia erläutert.

Das bekannteste Objekt im Sternbild Andromeda ist der *Andromedanebel*. Er ist das einzige außergalaktische Sternsystem, das von Mitteleuropa aus auch mit dem blo-



Andromedanebel (M 31) mit seinen beiden Begleitsystemen

Ben Auge gesehen werden kann. Seine scheinbare Helligkeit beträgt 4,8 Größenklassen, seine scheinbaren Abmessungen am Himmel sind die einer Ellipse, deren große Achse 160 Bogenminuten und deren kleine Achse 40 Bogenminuten lang ist. Man müßte also den Vollmond mehr als 5mal nebeneinanderstellen, um den Andromedanebel zu bedecken! Allerdings sind die Ausläufer des Nebels, die Spiralarme, so lichtschwach, daß sie in einem kleinen Fernrohr nicht gesehen werden können. Der Andromedanebel ist ein Spiralsystem von 150 000 Lichtjahren Durchmesser; seine Entfernung beträgt 2 300 000 Lichtjahre.

Mit Alpha Andromedae kann der Frühlingspunkt gefunden werden, indem man die Strecke Polarstern–Alpha Andromedae (die durch Beta Cassiopeiae halbiert wird) um 50% in südlicher Richtung verlängert. Der Frühlingspunkt ist der Schnittpunkt zwischen dem Himmelsäquator und der scheinbaren Sonnenbahn unter den Sternen; in ihm befindet sich die Sonne zu Frühlingsanfang. Der Stern Alpha im Sternbild Andromeda bildet einen Eckpunkt des großen Pegasusvierecks. Derartige Fälle gibt es am Himmel öfter. So gehört ein Eckpunkt des Fuhrmann-Fünfecks zum Sternbild Stier, und einige schwächere Sterne werden in den wissenschaftlichen Katalogen sogar als Angehörige von jeweils zwei Sternbildern angegeben.

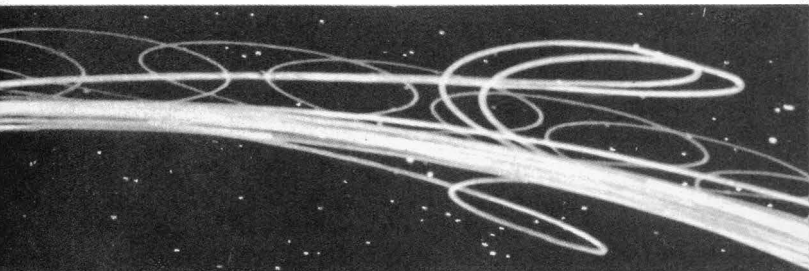
In sternklarer Nacht

Die Fähigkeit, sich am Sternhimmel zurechtzufinden, ist sicher in vergangenen Jahrhunderten verbreiteter gewesen als heute. Abergläubisches Interesse am »Stand der Sterne« mag dabei eine Rolle gespielt haben. Aber gewiß war es früher auch leichter, die Sterne zu erblicken. Industrie- und Straßenbeleuchtung, Verkehr, dichte und hohe Bebauung und meist auch eine »Dunstglocke« behindern in den Städten solche Beobachtungen ganz erheblich. Wer aber außerhalb der Stadt einmal den Sternhimmel in seiner ganzen Pracht zu Gesicht bekam, wird es vielleicht bedauert haben, nicht mehr als den *Großen Wagen* oder den *Orion* zu kennen.

Die nachfolgenden Himmelskarten 1 bis 6 sollen zur schnellen Orientierung am Sternhimmel dienen. Sie enthalten die wichtigsten Sternbilder in ihrer gegenseitigen Stellung und in ihrer Lage zum Horizont.

Auf diesen 6 Karten sind die Planeten nicht mit enthalten, da sich ja deren Positionen am gestirnten Himmel ständig ändern.

Auf den Karten (S. 112–117) sind die Himmelsrichtungen Ost und West vertauscht. Das ist kein Versehen. Hält man das Buch nämlich so über den Kopf, daß man zu den



In einem Planetarium lassen sich die Planetenbahnen über viele Jahre hinweg darstellen. Unser Foto zeigt die scheinbaren Schleifen von Mars, Venus und Merkur und die rückläufigen Bewegungen von Jupiter und Saturn innerhalb von etwa 10 Jahren

Datum	Uhrzeit					
	19.30	21.30	23.30	1.30	3.30	5.30
1. Jan.	6		1		2	
1. Feb.		1		2		3
1. März	1		2		3	
1. April		2		3		
1. Mai			3		4	
1. Juni		3		4		
1. Juli			4			
1. Aug.		4		5		
1. Sept.			5		6	
1. Okt.		5		6		
1. Nov.	5		6		1	
1. Dez.		6		1		2

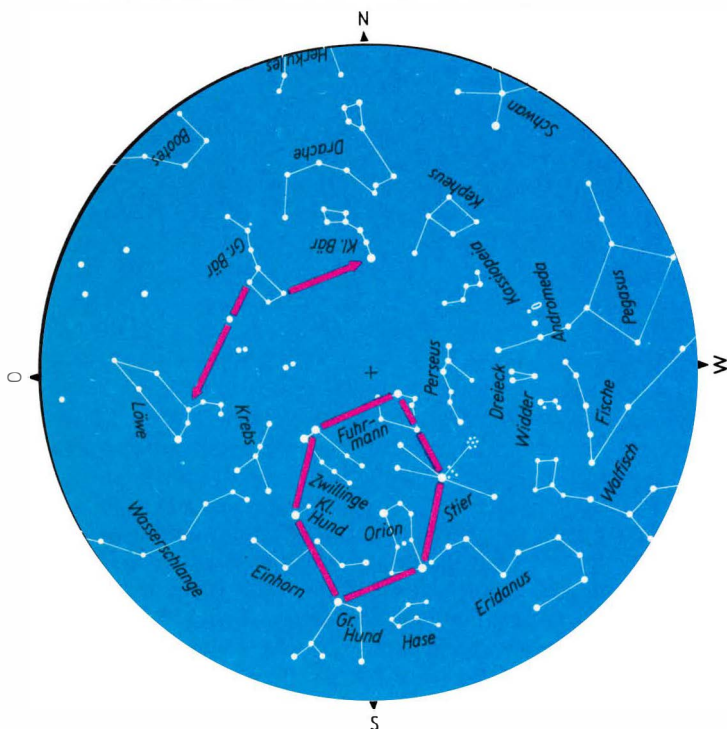
Karten – wie zum wirklichen Sternhimmel aufblickt, so stimmen Nord-, Süd-, Ost- und Westrichtung auf den Karten und in der Natur überein. (Allerdings ist es unzumutbar, in dieser Haltung Sternhimmel und Kartenbild miteinander zu vergleichen. Vielmehr sollte man, wenn man den Himmel über dem Nordhorizont beobachtet, das Buch so halten, daß die Markierung »Nord« auf dem Kartenrand zum Leser weist; steht man nach Osten gewendet,

so muß im Buch die Markierung »Ost« zum Leser zeigen usw. Auf diese Weise kann das Buch in normaler Lage und Haltung benutzt werden.) Eine Reihe weniger wichtiger Sternbilder wurde nicht mit eingezeichnet, um die Karte nicht zu überladen.

Die Gültigkeit der Karten ist jedoch nicht auf die angegebenen Tage und Stunden beschränkt. Die Übersicht auf Seite 111 gibt an, wie sie auch für andere Zeitpunkte genutzt werden können.

Es ist durch die meist große scheinbare Helligkeit der Planeten relativ leicht, sie von den Sternen zu unterscheiden. In Zweifelsfällen hilft der Vergleich mit der Himmelskarte oder die Feststellung, daß Planeten im Gegensatz

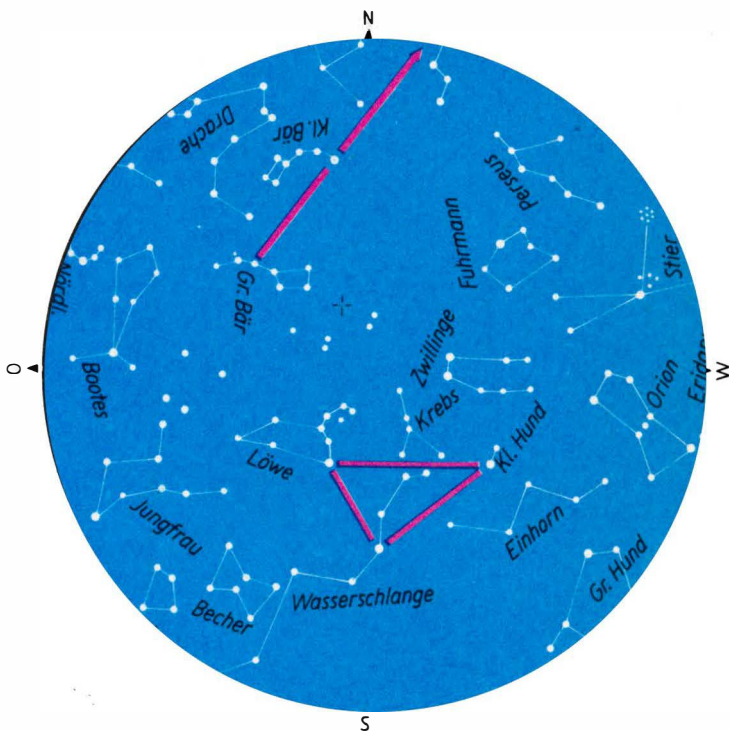
Karte 1 Sternhimmel am 1. Februar, 21^h30^{min}



zu Sternen nicht »flimmern« oder »funkeln«, sondern ein viel ruhigeres Licht ausstrahlen. Stehen mehrere Planeten in einem Sternbild, so ist meist *Venus* durch ihre überragende Helligkeit und *Mars* durch die merklich rote Färbung seines Lichtes zu identifizieren. *Jupiter* unterscheidet sich von *Saturn* in der Regel durch seine größere Helligkeit.

Beim Aufsuchen der Sternbilder bedient man sich am besten der sogenannten Leitlinien (Alignements). Sie verbinden, ähnlich wie die gedachten Figurenlinien der Sternbilder, markante Sterne benachbarter Sternbilder miteinander und ermöglichen es dadurch, auch unbekannte Figuren schnell aufzufinden.

Karte 2 Sternhimmel am 1. April, 21^h30^{min}

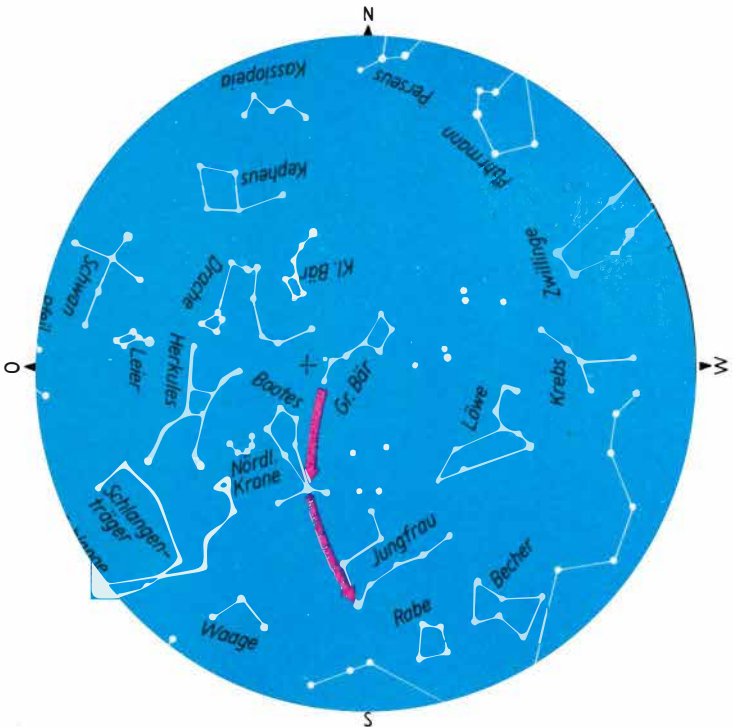


Die wohl bekannteste Leitlinie ist die fünfeinhalbfache Verlängerung der Sterne Alpha und Beta im Großen Bären. Sie trifft auf den Polarstern. Die genannten Sterne Alpha und Beta bilden im Großen Wagen die »Hinterwand des Wagenkastens« oder die »Hinterachse des Wagens« (Karte auf S. 112).

Verlängert man die Verbindung von Epsilon (ϵ) im Großen Bären (dem dritten Stern der »Wagendeichsel«) zum Polarstern über diesen hinaus, so findet man in etwa der gleichen Entfernung jenseits des Polarsterns die Kassiopeia (Karte auf S. 113).

Eine Verlängerung der ersten Leitlinie über den Polarstern hinaus führt mitten in das Sternbild Kepheus (Karte

Karte 3 Sternhimmel am 1. Juni, 21^h30^{min}



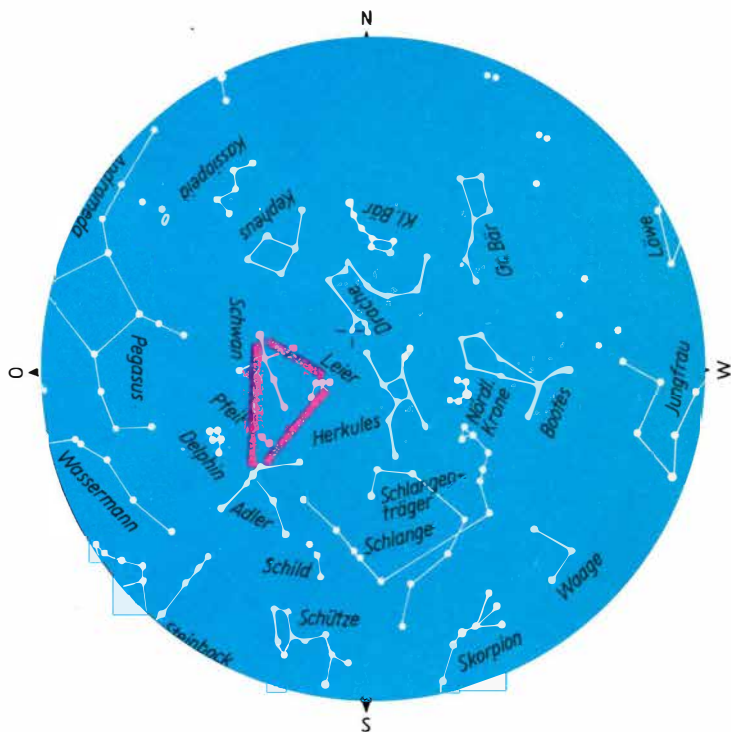
auf S. 117). Biegt man dagegen am Polarstern nahezu rechtwinklig nach rechts ab, dann findet man den Hauptstern des Fuhrmanns (Karte auf S. 117).

Die Verlängerung der Verbindungslinie zwischen Gamma und Delta im Großen Bären (das ist die »Vorderwand des Wagenkastens«) in südwestlicher Richtung führt zum Hauptstern des Löwen (Karte auf S. 112).

Der schönste Teil des bei uns sichtbaren Sternhimmels ist das Gebiet um den Orion herum. Es handelt sich um typische Wintersternbilder, in denen viele helle Sterne nahe beieinander stehen. Die auffälligsten bilden ein nahezu regelmäßiges Sechseck (Karte auf S. 112).

Die Hauptsterne des Löwen und des Kleinen Hundes,

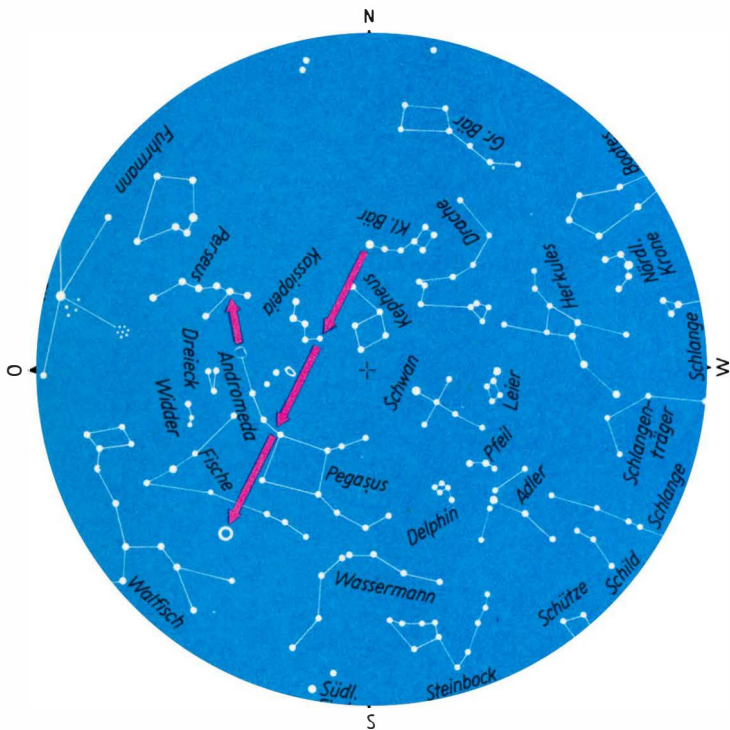
Karte 4 Sternhimmel am 1. August, 21^h30^mlⁿ



Regulus und *Prokyon*, bilden die Basis eines nach Süden zu »hängenden«, fast rechtwinkligen Dreiecks, in dessen südlicher Ecke der Hauptstern des Sternbildes Wasserschlange, *Alphard*, leicht aufzufinden ist (Karte auf S.113). Diese Himmelsgegend ist abends im zeitigen Frühjahr im Süden zu sehen. Ebenfalls am Frühjahrshimmel ist der »Deichselsschwung« zu beobachten, eine gekrümmte Leitlinie, die – den Bogen der »Deichsel« des Großen Wagens verlängernd – zuerst zu *Arktur* im Bootes und, nach nochmaliger Verlängerung um den gleichen Betrag, zu *Spica* im Sternbild Jungfrau führt (Karte auf S. 114).

Die hellsten Sterne der im Sommer und Herbst am Abendhimmel sichtbaren Sternbilder Schwan, Leier und

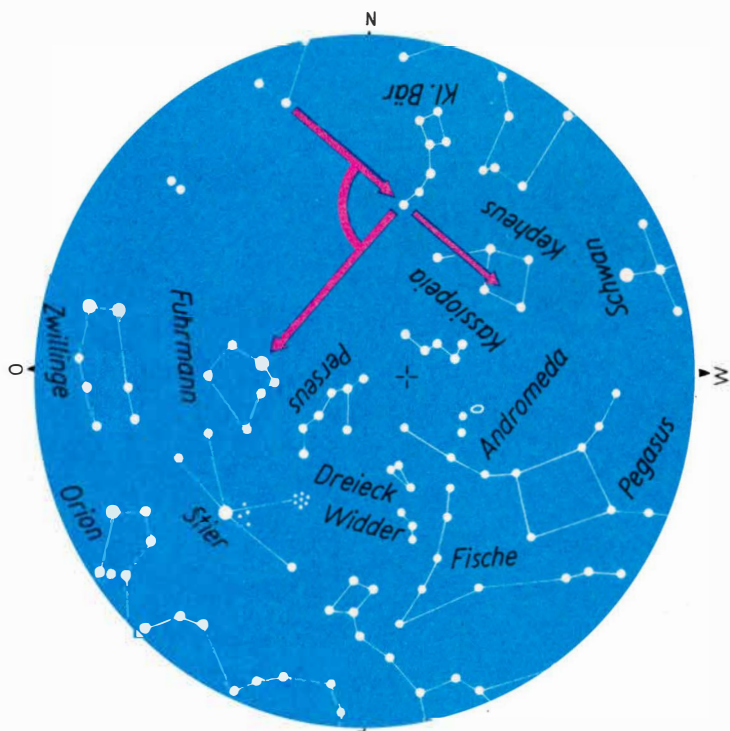
Karte 5 Sternhimmel am 1. Oktober, 21^h30^{min}



Adler (Deneb, Wega und Atair) bilden ein großes, etwa gleichschenkliges Dreieck mit der Basis Deneb – Wega, das die Bezeichnung »Sommerdreieck« führt. Da es in den Sommermonaten gegen Mitternacht kulminiert, ist der Name berechtigt, aber man kann diese Figur auch noch im Spätherbst und sogar im Winter am Abendhimmel sehen (Karte auf S. 115).

Im Herbst steht abends der Frühlingspunkt am Südhimmel. Die Kolurlinie verbindet ihn mit dem Polarstern (Karte auf S. 116). Im Zuge der Kolurlinie stehen die Sterne Beta Cassiopeiae und Alpha Andromedae. Durch Verlängerung des Andromeda-Linienzuges findet man den Stern Alpha im Perseus (ebenfalls Karte auf S. 116).

Karte 6 Sternhimmel am 1. Dezember, 21^h30^m

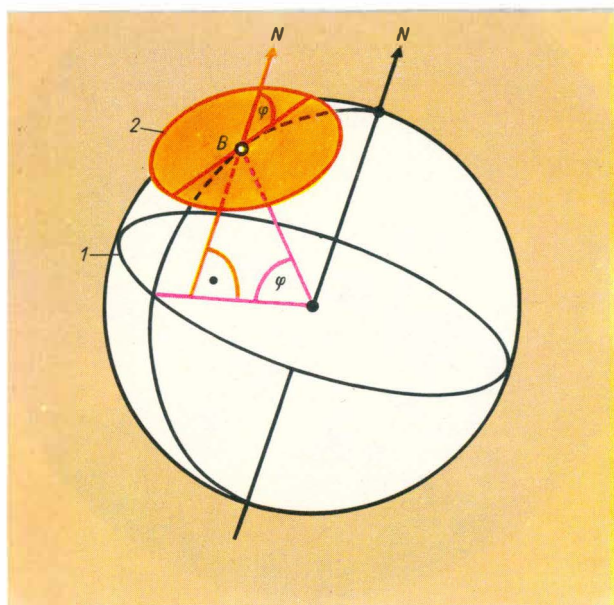


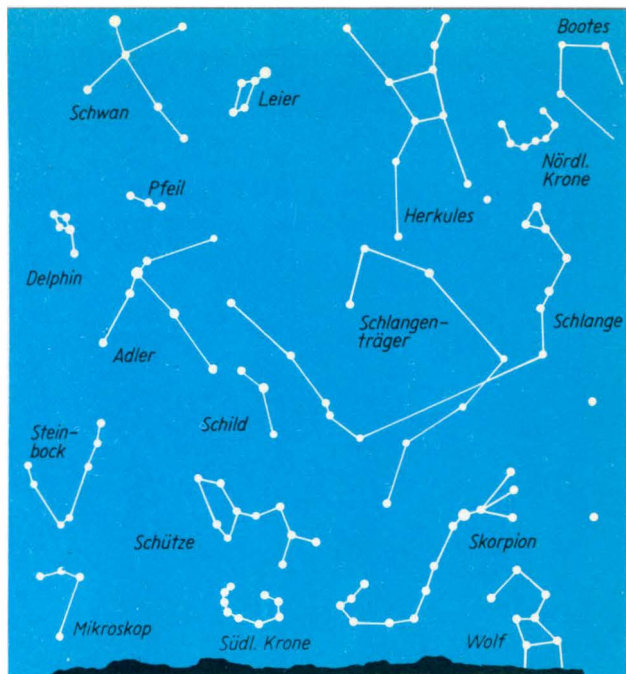
Andere Länder – anderer Himmel

Eines der berühmtesten Sternbilder ist das *Kreuz des Südens*. Fast jeder hat schon einmal davon gehört oder gelesen, aber zu Gesicht bekommen haben es nur die wenigsten Mitteleuropäer. Wer es sehen will, muß reisen, und zwar in südlicher Richtung, mindestens bis auf die geographische Breite von Assuan. Aus vielen Reiseberichten geht das Staunen über einen im Vergleich zur Heimat so ganz anders aussehenden Sternhimmel hervor. Da werden – bei Reisen nach Süden – am Südhimmel neue, unbekannte Sternbilder sichtbar, im Norden verschwinden bekannte Sternbilder, und im Zenit finden sich Figuren, die sonst in der Nähe des Horizonts standen. Wie hängt das zusammen?

Sicher verändert sich nicht der Sternhimmel, wenn

Polhöhe und geographische Breite des Beobachtungsortes.
1 – Äquator; 2 – Horizontebene des Beobachters B

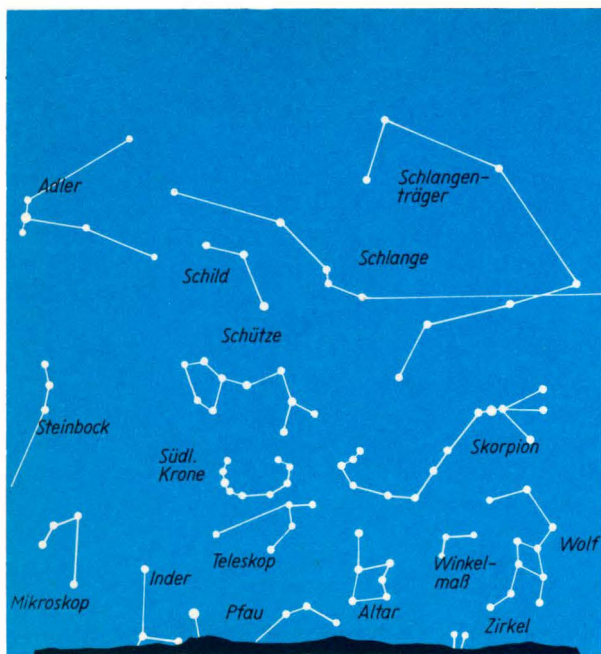




S

Himmel über dem Südhorizont in Samarkand am 1. August, 21^h30^{min} Ortszeit

ein Beobachter seinen Standort auf der Erde wechselt. Was sich verändert, sind die Grenzen, bis zu denen der Himmel überschaut werden kann. Man macht sich das am besten an der Stellung des Himmelsnordpols klar (s. Abb. S. 118). Die Horizontebene des Beobachters B ist, geometrisch betrachtet, eine im Punkte B tangential an die Erdkugel gelegte Ebene. Blickt man von B aus zum unendlich weit entfernten Himmelsnordpol, so blickt man parallel zur Erdachse. Der Winkel zwischen der Blickrichtung und der Horizontebene ist φ ; er ist stets genau so groß wie der Winkel φ im Erdmittelpunkt, der die geographische Breite des Beobachters angibt. Die Höhe des Himmelsnordpols über dem Nordhorizont ist demnach immer gleich der geographischen Breite des Beobachters.

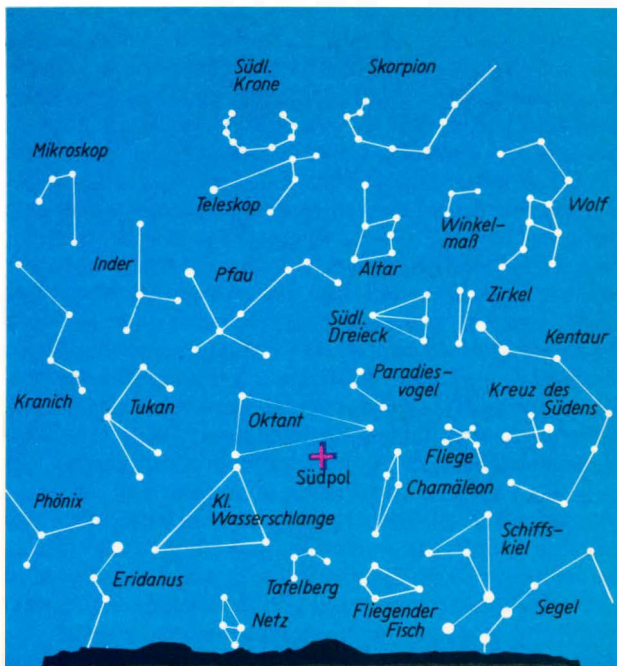


S

Himmel über dem Südhorizont in Havanna am 1. August, 21^h30^{min} Ortszeit

ortes. Davon hängt es auch ab, ob polnahe Sternbilder in ihrer tiefsten Stellung noch über dem Horizont bleiben, also zirkumpolar sind. Schon in Nessebar sieht man Mitte September um Mitternacht den Großen Wagen nur noch dicht über dem Horizont, und in Samarkand taucht der letzte »Deichselstern« bereits unter den Horizont. Dafür kann dort im Sommer am Südhimmel der lange, gekrümmte Schweif des *Skorpions* gesehen werden, der bei uns immer unsichtbar bleibt (s. Abb. auf S. 119).

Die Bürger von Havanna kennen an ihrem Himmel nur ein einziges zirkumpolares Sternbild: den Kleinen Bären. Er steht dort sehr tief im Norden; der Polarstern befindet sich nur 23° über dem Horizont. Am kubanischen Südhimmel erreicht aber *Fomalhaut*, der helle Hauptstern



Himmel über dem Südhorizont in Sydney am 1. August, 21^h30^{min} Ortszeit

des Südlichen Fisches (bei uns mit nur 9° Kulminationshöhe meist im Horizontdunst verschwindend) immerhin 37° Höhe. Wenn dort im Frühling das *Kreuz des Südens* tief über dem Südhorizont sichtbar ist und links daneben die hellen Sterne Alpha und Beta Centauri funkeln, dann steht der Löwe fast im Zenit. Am Sommerhimmel werden die Sternbilder Mikroskop, Teleskop und Altar im Süden sichtbar (s. Abb. auf S. 120).

Aber nicht nur andere Sternbilder beherrschen den Himmel über fremden Ländern. Auch die Bewegungsrichtungen sind anders als bei uns. Je weiter wir nach Süden reisen, desto steiler steigen die Sternbilder am Osthimmel empor – und ihre große Neigung gegen den Horizont schafft zusätzliche Schwierigkeiten bei der Orientierung.

In Kuba ist der Orion am Ost- und am Westhorizont kein schreitender Jäger, sondern ein riesiger Schmetterling! Auch der Mond und die Planeten finden sich nicht in der für uns gewohnten Himmelsgegend, sondern viel höher – bis zum Zenit. Und schließlich gilt das auch für die Sonne, die schon in der kubanischen Hauptstadt einmal im Jahr, zum Sommersanfang, mittags den Zenit erreicht.

Reisen wir noch weiter nach Süden, dann werden viele bislang benutzte Orientierungshilfen unbrauchbar. In Sydney (34° südlicher Breite) z. B. geht die Sonne zwar auch, wie bei uns, im Osten auf, wenige Stunden später finden wir sie aber im Nordosten, und wenn sie ihren höchsten Stand erreicht, steht sie genau im Norden. Nachts suchen wir vergeblich nach dem vertrauten Bild des Großen Wagens. Nur 3 seiner Sterne werden bei ganz klarem Himmel im März und April abends knapp über dem Nordhorizont sichtbar. Über ihm ist in mittlerer Höhe, aber in völlig ungewohnter Stellung – nämlich kopfstehend – das Trapez des Löwen zu sehen, noch weiter oben und ebenfalls kopfstehend, die Jungfrau mit der hellen Spica. In der Gegend des Zenits zieht sich das riesige Sternbild Wasserschlange von Ost nach West, nach Süden zu steht der Zentaur und, immer noch sehr hoch am Himmel, das Kreuz des Südens. Der Südhimmel wird beherrscht von den bei uns völlig unbekanntem Sternbildern Tukan, Kleine Wasserschlange (mit der Kleinen Magellanschen Wolke), Tafelberg (mit der Großen Magellanschen Wolke)¹, Chamäleon, Paradiesvogel und Pfau. Einen Polarstern für den Himmelssüdpol gibt es nicht. Man benutzt statt dessen das Kreuz des Südens als Orientierungshilfe. Verlängert man seinen »Längsbalken« über den südlichsten Stern hinaus um das Fünffache, so trifft man auf den Südpol (s. Abb. auf S. 121).

Reisen nach Süden führen also unbekannte Sternbilder über den Horizont herauf. Ist das auch der Fall, wenn wir uns dem Nordpol der Erde nähern?

Wer in Archangelsk den nächtlichen Himmel beobachtet, findet zu keiner Jahreszeit neue Sternbilder, jedoch haben die bekannten ihre Plätze verändert. Sternbilder,

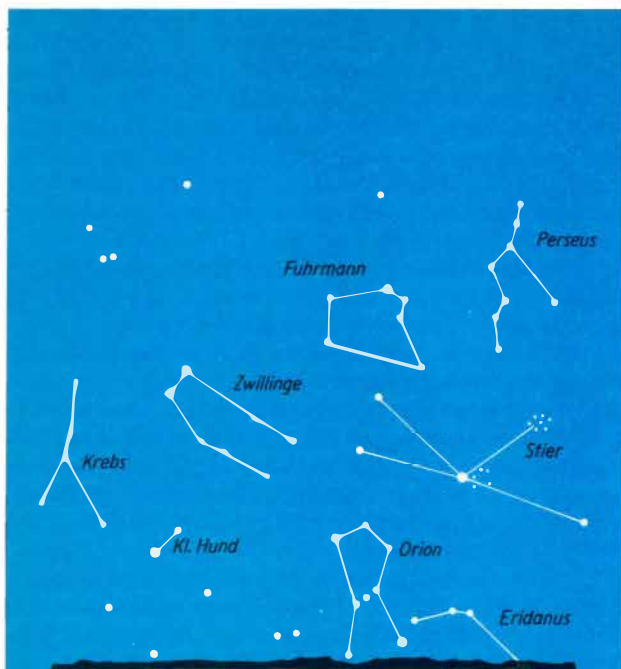
¹ Die beiden Magellanschen Wolken sind unserer Galaxis benachbarte Sternsysteme.

die bei uns untergehen, sind dort zirkumpolar. So kann man an Septemberabenden Kastor und Pollux über dem Nordhorizont stehen sehen, im Frühling ist in dieser Himmelsrichtung der ganze Schwan abends sichtbar. Allerdings zieht diese Erweiterung der Sichtbarkeit nach Norden eine Beeinträchtigung der südlich des Äquators stehenden Sternbilder nach sich. Sirius steht im Winter keine 10° über dem Südhorizont, und auch Orion kulminiert merklich tiefer als bei uns.

Auch die Bahn der Sonne am Tageshimmel sieht im hohen Norden anders aus, als wir es gewohnt sind. Sie erreicht ihren Kulminationspunkt auf einer erheblich flacheren Bahn und steht auch am längsten Tag des Jahres mittags in Archangelsk nur 48° hoch. (Bei uns sind es 61° .) Dafür taucht sie in dieser Zeit nachts aber auch nur ganz wenig unter den Horizont, so daß es selbst um Mitternacht noch fast taghell ist. In den Tagen um die Winter Sonnenwende dagegen wird es nur in den Mittagsstunden richtig hell, wenn die Sonne ein bis zwei Grad über den Südhorizont emporsteigt.

Je weiter wir nach Norden vordringen, desto weniger Sternbilder des südlichen Sternhimmels bleiben über dem Horizont. Auf Kap Tscheljuskin »steht« Orion in den Winternächten förmlich »auf dem Horizont« (s. Abb. S. 124), Sirius ist verschwunden. Dafür sind Sternbilder wie Zwillinge, Stier, Krebs, Löwe, Bootes, Herkules, Pegasus in jeder klaren Nacht zu sehen – wenn sie nicht vom Polarlicht überstrahlt werden. Die Sonne verschwindet Mitte Oktober, und nachdem noch tagelang mittags helle Dämmerung geherrscht hat, versinkt die Gegend in eine wochenlange Polarnacht. Erst Mitte Februar ist die Sonne wieder sichtbar. Sie revanchiert sich aber durch einen ununterbrochenen Polartag von Mitte April bis Ende August.

Für einen Beobachter auf dem Nordpol der Erde steht der Polarstern in unmittelbarer Nähe des Zenits, und die scheinbare tägliche Umdrehung des Sternhimmels erfolgt so, daß die Bahnen aller Sterne parallel zum Horizont verlaufen. Der Himmelsäquator befindet sich im Horizont, Sterne südlich des Himmelsäquators – z. B. die Fußsterne des Orion, Sirius, Spica, die Sterne des



5

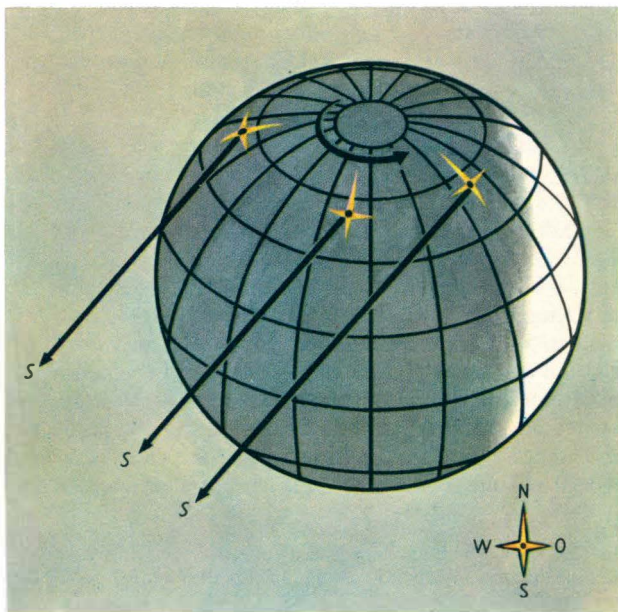
Himmel über dem Südhorizont auf Kap Tscheljuskin am 1. Februar, 21^h30^m Ortszeit

Skorpion, Schütze und Steinbock – sind nie zu sehen. Dafür sind alle Sterne, die nördlich des Himmelsäquators stehen, zirkumpolar. Die Sonne leuchtet ein halbes Jahr lang ununterbrochen am Himmel und »umkreist den Beobachter« Tag für Tag. Nur die Höhe ihrer Bahnen über dem Horizont ändert sich langsam. Nacheiner wochenlangen Dämmerung wird es dann für fast ein halbes Jahr dunkel. Nur der Mond und das Polarlicht erhellen die unwirtliche Landschaft, der Mond jeweils zwei Wochen lang ohne Unterbrechung. Seine tägliche Bahn ist stärker gegen den Horizont geneigt, so daß er sich von Tag zu Tag deutlicher am Himmel »hoch-« und wieder »herunterschraubt«. Die Planeten sind nur zu sehen, wenn sie

nördlich des Himmelsäquators stehen. Dadurch kann z. B. Saturn vom Nordpol der Erde aus fast 15 Jahre lang gar nicht beobachtet werden. In ähnlicher Weise – aber mit umgekehrtem Vorzeichen – stellt sich der Himmelsanblick vom Südpol der Erde aus dar. Nur ist dort Polar­sommer, wenn am Nordpol Winter herrscht, wie ja überhaupt die Jahreszeiten auf der Südhalbkugel der Erde denen auf der Nordhalbkugel entgegengesetzt sind.

Nun haben wir bei den »Reisebetrachtungen« jeweils immer nur auf die Nord-Süd-Richtung Rücksicht genommen. Die Frage ist berechtigt, ob bei Reisen in West-Ost-Richtung nicht auch Veränderungen des Himmelsanblicks zu erwarten sind. Schließlich ist ja die Erde allseitig gekrümmt, und deshalb muß auch von einem östlich oder westlich von uns gelegenen Standort ein anderer Teil der Himmelskugel überschaut werden können als von uns

Sirius, von verschiedenen Standorten auf der Erde aus beobachtet. S – Richtung zum Sirius



aus. Diese Überlegung ist richtig. Aber um uns zu dem erwähnten anderen Beobachtungspunkt zu begeben, brauchen wir nicht zu verreisen. Es genügt, geduldig einige Stunden zu warten, denn die Rotation der Erde befördert uns ja mit Sicherheit jeden Tag einmal auf einer Bahn entlang, die einer Rundreise auf einem Breitenkreis entspricht.

Im Abschnitt »Die Bewegung der Erde« haben wir erfahren, daß die Erde von West nach Ost rotiert und daß daher für alle östlich von uns gelegenen Orte die Sonne und alle anderen Himmelskörper eher aufgehen, kulminieren und untergehen als für uns. Irkutsk – auf nahezu der gleichen Breite wie Berlin gelegen – hat fast genau 6 Stunden eher Sonnenuntergang als Berlin. In Petropawlowsk-Kamtschatski ist der Unterschied auf fast 10 Stunden angewachsen. Anders betrachtet: Um den gleichen Himmelsanblick zu haben wie ein Beobachter in Kamtschatka, muß man in Berlin knapp 10 Stunden später beobachten. Umgekehrt hat man an einem auf der gleichen Breite westlich von Berlin gelegenen Ort – z. B. Kap St. Charles an der Ostküste von Labrador – den gleichen Himmelsanblick um einige Stunden später. Wenn zu Silvester kurz nach Mitternacht in Berlin die Kulmination des Sirius beobachtet wird, dann liegt dieses Ereignis in Magnitogorsk schon 3 Stunden zurück. Und erst wenn in Berlin der Neujahrsmorgen heraufdämmt, kulminiert Sirius für einen Beobachter am Winnipeg-See (s. Abb. auf S. 125).

Daß der Anblick des Sternhimmels vom Ort des Beobachters auf der Erde abhängt, war vor vielen Jahrhunderten einmal ein starkes Argument für die Lehre von der Kugelgestalt der Erde. Es charakterisiert den historischen Weg der menschlichen Kenntnisse über das Weltall, daß der Mensch seine eigene Stellung in seinem Weltbild immer objektiver zu sehen vermochte. Er rückte immer weiter aus der »Weltmitte« heraus. Die Vorstellung von der unbeweglich im Zentrum der Welt ruhenden Erde mußte vor mehr als 400 Jahren aufgegeben werden. Seit

In 2000 km Höhe über dem Mond fotografierte der sowjetische Raumflugkörper »Sonde 7« am 11. August 1969 den Mondhorizont mit der darüber sichtbaren Erde



rund 150 Jahren ist es gesichertes Erkenntnis, daß die Sonne keine Einmaligkeit im Weltall darstellt, sondern einer von Milliarden Sternen ist. Und erst seit rund einem halben Jahrhundert wissen wir, daß auch die Galaxis nur eines der vielen Sternsysteme im Kosmos ist. Die Entwicklung unserer Kenntnisse über das Weltall vollzieht sich unaufhaltsam weiter. Sie beruht auf der Überzeugung, daß die Welt erkennbar ist, daß man durch die gezielte Erforschung aller Erscheinungsformen der Materie im Kosmos das Universum zu entdecken und seinen Geheimnissen auf die Spur zu kommen vermag.