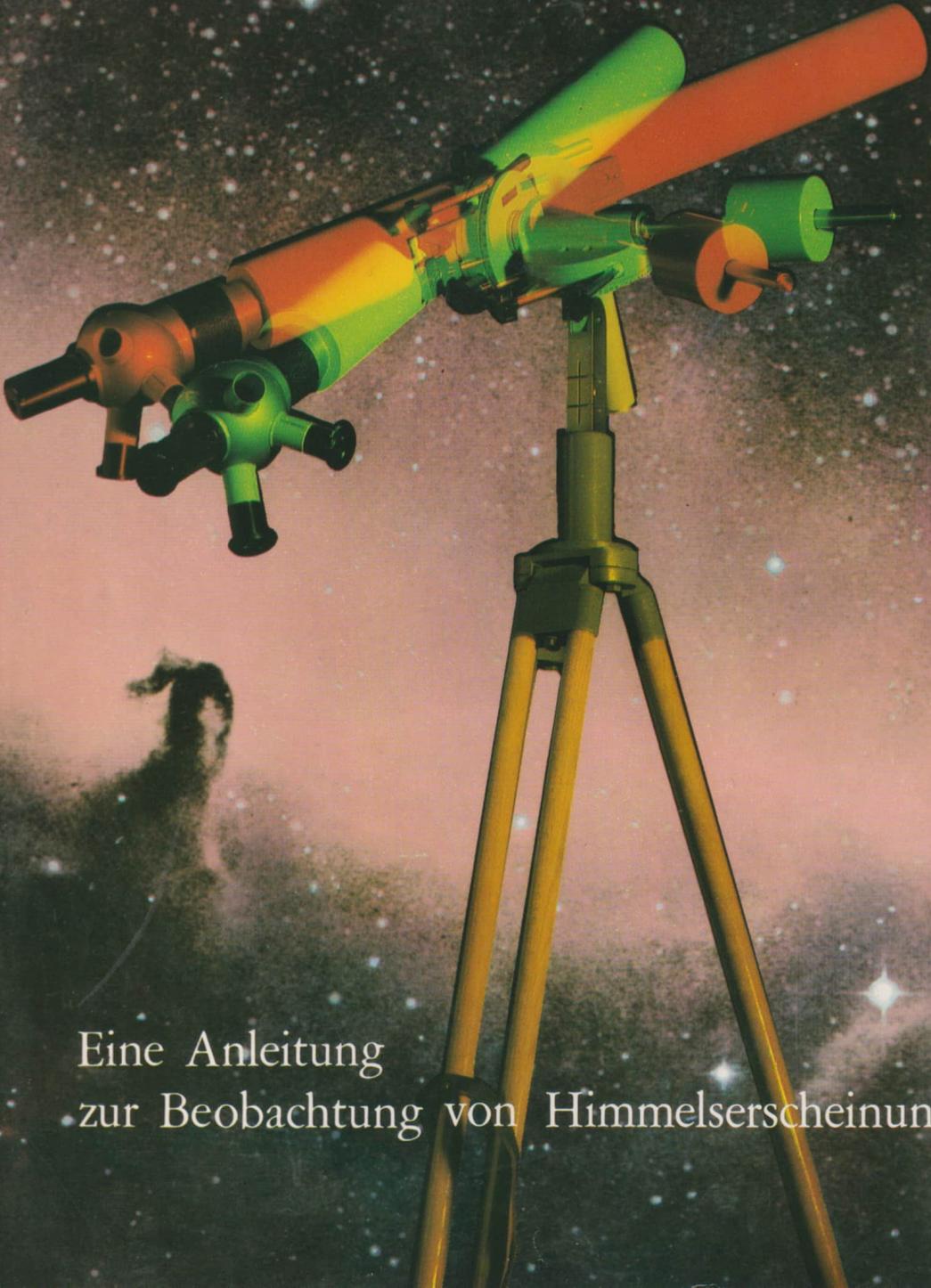


K. Lindner

# Astroführer



Eine Anleitung  
zur Beobachtung von Himmelserscheinungen

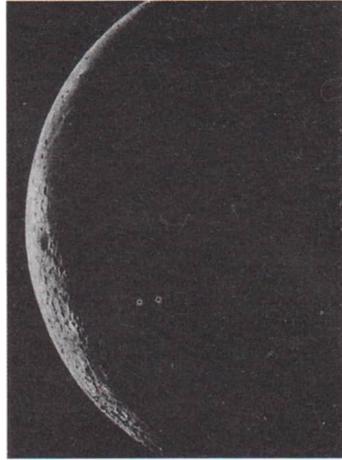


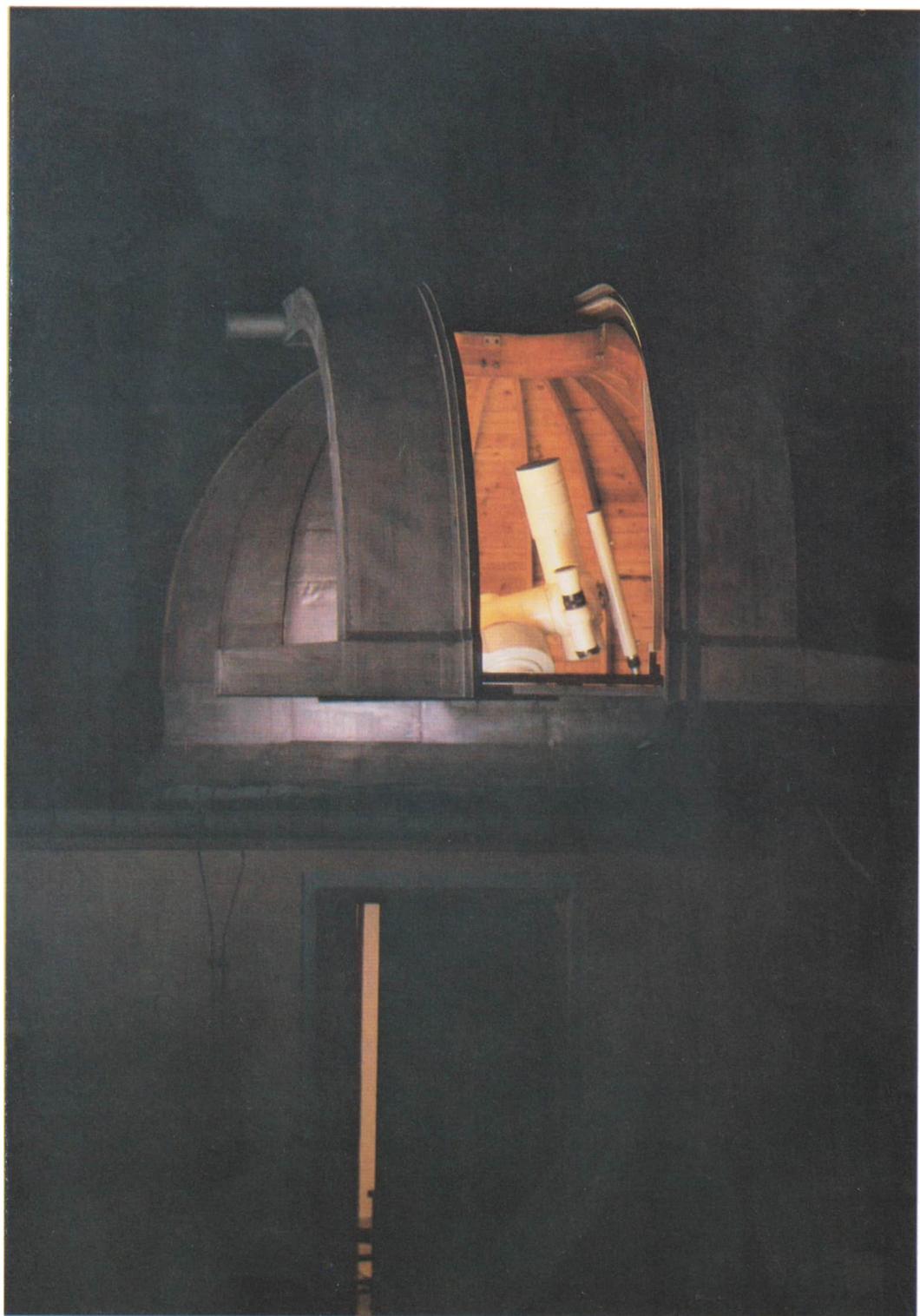


Sternkarte des  
Andreas Cellarius,  
Amsterdam: Johannes  
Jansson 1661

Nördlicher Sternhimmel

Lindner · Astroführer





Klaus Lindner

# Astroführer

Eine Anleitung  
zur Beobachtung  
von Himmels-  
erscheinungen

Zeichnungen:  
Wolfgang Parschau  
Fotografien:  
Werner Reinhold  
Astrofotos:  
Sternwarten und  
Amateurastronomen

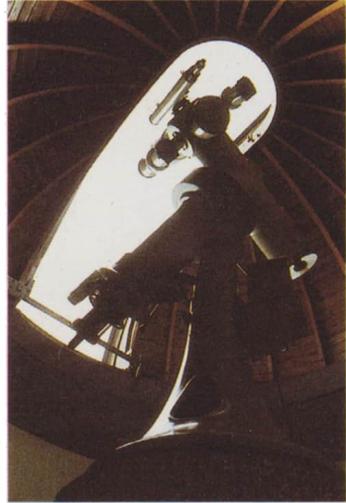
Urania -Verlag  
Leipzig  
Jena · Berlin

**Frontispiz: Blick in die  
Hauptkuppel einer Volkssternwarte**

**Lindner, Klaus:**  
**Astroführer: e. Anleitung zur  
Beobachtung von Himmels-  
erscheinungen / Klaus Lindner.**  
**Zeichn.: Wolfgang Parschau.**  
**Fotogr.: Werner Reinhold.**  
– 2. Aufl. – Leipzig; Jena; Berlin:  
Urania-Verlag, 1990.  
– 196 S.: 168 Ill. & Kt. Beil. (1 Bl.)  
ISBN 3-332-00030-6

**2. Auflage 1990**  
**Alle Rechte vorbehalten**  
**© Urania-Verlag**  
**Leipzig/Jena/Berlin,**  
**Verlag für populärwissenschaft-  
liche Literatur, Leipzig 1986**  
**VLN 212-475 · LSV 1499**  
**Lektor: Konrad Haase**  
**Illustrationen: Wolfgang Parschau**  
**Buchgestaltung: Dietmar Senf**  
**Printed in the**  
**German Democratic Republic**  
**Lichtsatz: INTERDRUCK**  
**Graphischer Großbetrieb Leipzig –**  
**III/18/97**  
**Offsetreproduktion, Druck und**  
**buchbinderische Verarbeitung:**  
**Sachsendruck Plauen**  
**Best.-Nr.: 6540707**  
**01800**

# Inhalt



|  |            |
|--|------------|
| <b>Kapitel 1</b>                           |            |
| <b>Spuren am Himmel</b>                    | <b>7</b>   |
| Die Fährten der Sterne                     | 8          |
| Astronomie für Einsteiger                  | 13         |
| <b>Kapitel 2</b>                           |            |
| <b>Auge in Auge mit dem Kosmos</b>         | <b>17</b>  |
| Die Himmelskörper – und wie man sie findet | 18         |
| Die Sterne auf die Platte bannen           | 37         |
| Der Basteltip: Meßgeräte zum Selbermachen  | 47         |
| Das All – die große alte Uhr               | 56         |
| <b>Kapitel 3</b>                           |            |
| <b>Mit dem Fernglas auf Sternenjagd</b>    | <b>67</b>  |
| Jagdtips                                   | 68         |
| Dem Kosmos auf die Pelle rücken            | 74         |
| Im Lande der professionellen Jäger         | 100        |
| <b>Kapitel 4</b>                           |            |
| <b>Mit dem Fernrohr zur Unendlichkeit</b>  | <b>109</b> |
| Baupläne für das Prunkstück                | 110        |
| Das Fernrohr aus dem Laden                 | 123        |
| Blicke in kosmische Tiefen                 | 129        |
| Heute für später: mit Fernrohr und Kamera  | 159        |
| <b>Kapitel 5</b>                           |            |
| <b>Werkzeugkiste für den Beobachter</b>    | <b>173</b> |
| <b>Anhang</b>                              | <b>192</b> |



# Kapitel 1 Spuren am Himmel

## Die Fährten der Sterne

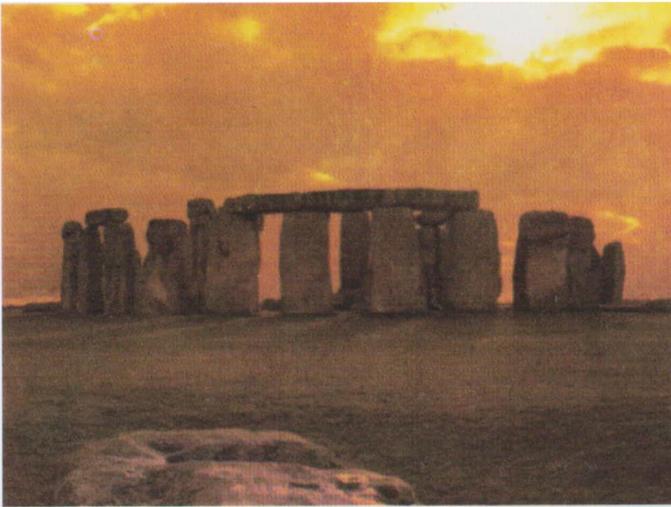
Dieses Buch ist ein Plädoyer für die nichtprofessionelle Astronomie. Allerdings lädt es dazu ein, den Sternhimmel mit den Augen der Astronomen zu betrachten. Die Sterne faszinieren – ob man eine spezielle naturwissenschaftliche Bildung besitzt oder nicht, ob man beruflich mit dem gestirnten Himmel zu tun hat oder Amateur ist. Wir wollen dieser Faszination als Amateure nachgehen und dabei »ganz klein anfangen«, nämlich ohne Sternwarte und ohne Fernrohr, nur mit unseren Augen und unserem Verstand bewaffnet. So hat auch die Ausrüstung der Astronomen über Jahrtausende hinweg ausgesehen. Astronomie gibt es schon seit mindestens 5000 Jahren, aber das Fernrohr ist noch keine 400 Jahre alt! Späterhin werden wir zu optischen Beobachtungshilfsmitteln greifen. Das Fernglas wird sich als sehr brauchbares astronomisches Instrument erweisen, und schließlich sollen auch die Besitzer größerer Fernrohre zu ihrem Recht kommen. Aber allzu eng sind diese Zuordnungen nicht. Die meisten Beobachtungen, für die ein Fernglas gebraucht wird, können auch mit einem größeren Instrument ausgeführt werden; und auch vieles von dem, wofür ein großes Amateurfernrohr empfohlen wird, ist mit einem guten Selbstbaugerät beobachtbar.

Die Astronomie hat in allen historischen Epochen ihre Spuren hinterlassen. Besonders da, wo sie für den Alltag gebraucht wurde, sind diese Spuren noch heute unverwischt erhalten. Zwischen 1900 und 1600 v. u. Z. erbauten Menschen der Bronzezeit das Monument von Stonehenge bei Salisbury in Mittelengland. Bis zu 7 m hohe Steine wurden zu einer astronomischen Beobachtungsstation zusammengefügt, die auch als religiöse Kultstätte diente. Stonehenge ist heute ein vielbesuchter Zeuge der frühen Kultur in Europa. Spuren der Astronomie unserer Vorfahren aus jüngerer Zeit finden sich auch in



Zu allen Zeiten hat es Menschen gegeben, die sich neben ihrem eigentlichen Beruf intensiv mit Astronomie befaßten. Manche haben sich im Laufe der Jahre dieser Wissenschaft gänzlich verschrieben, viele aber blieben echte Amateure – und nicht selten gelangen solchen Amateuren bahnbrechende Entdeckungen. Wir können nur einige nennen:

David Fabricius (1564–1617), Pfarrer in Ostfriesland, entdeckte im Jahre 1596 die Veränderlichkeit des Sterns Omikron Ceti (Mira Ceti). Ein anderer Geistlicher, Georg Samuel Dörffel (1643–1688), Superintendent in Weida im Vogtland, lenkte in einer Schrift über den großen Kometen von 1680 als erster die Aufmerksamkeit auf die parabolische Bewegung der Kometen. Der Bauer Christoph Arnold (1650–1695) aus Sommerfeld bei Leipzig machte ebenfalls als Kometenbeobachter von sich reden und wurde überdies durch die Beobachtung des Merkurdurchgangs von 1690 bekannt. Ein weiterer Landwirt aus dem Sächsischen, Georg Pahlitzsch (1723–1788), der in Prohlis bei Dresden lebte, entdeckte den im Jahre 1759 wieder-



1 *Der Bauer und Amateurastronom Georg Pablitzsch. Ölgemälde im Mathematisch-Physikalischen Salon des Dresdner Zwingers*

2 *Die Steinsetzung von Stonehenge kündigt seit mehr als dreieinhalb Jahrtausenden von der Astronomie unserer Vorfahren.*

unserer Nähe. Jede historische Sonnenuhr berichtet von dem Bemühen, den Zeitablauf ordnungsgemäß einzuteilen und dabei die im Laufe der Jahrhunderte immer genauer erkannten Schwankungen des scheinbaren Sonnenlaufes am Himmel zu berücksichtigen.

Wer sich einmal die Mühe macht, in seiner näheren Umgebung oder auch im Urlaub auf derartige alte Zeitweiser zu achten, der wird – bei aller Vielgestaltigkeit in der Ausführung – eine Gemeinsamkeit erkennen, die allen Sonnenuhren eigen ist: der Schattenwerfer zeigt stets nach Norden. Nur in dieser Stellung kann er im Sonnenlicht einen Schatten erzeugen, der sich zur Zeitmessung eignet. Und er hat schräg zu stehen: Der Winkel zwischen der Waagerechten und dem Schattenwerfer muß immer genau so groß sein wie die geographische Breite des Ortes, an dem die Sonnenuhr aufgestellt ist. Aber dies ist eine Entdeckung, die zu ihrer Zeit sicher eine Sensation darstellte. Vorher benutzte man senkrechte Säulen, Obelisken, oder gar sich selbst als Schattenwerfer. Die Länge des Schattens galt als Maß für die Uhrzeit – und man war mit der Genauigkeit dieses Zeitweisers zufrieden!

Eine völlig andere Art von Spuren begegnet uns, wenn wir den Blick zum gestirnten Himmel wenden. Besonders im Sommer, in den Tagen um den 12. August, gelingt oft die Zufallsbeobachtung einer »Sternschnuppe« oder, wie diese Erscheinung in der Wissenschaft heißt, eines Meteors. Eine pfeilschnelle Lichtspur zieht sich über den Himmel – wer denkt da nicht an die alte Mär, es sei ein Stern vom Himmel gefallen? Kein Stern, aber ein Stein- oder Eisenmeteorit könnte tatsächlich »vom Himmel fallen«, jedoch verglüht meist der betreffende Körper schon in großer Höhe. Meteoritenfunde auf der Erde sind sehr selten.

kehrenden Halleyschen Kometen als erster.

Wer weiß, daß selbst der berühmte Charles Messier (1730–1817), nach dessen Katalog der Sternhaufen und Nebel wir viele unserer Beobachtungsobjekte numerieren, bis zu seinem 41. Lebensjahr kein professioneller Astronom war? Er verdiente seinen Lebensunterhalt lange Zeit als Schreiber beim Marinearsenal. Auch Wilhelm Herschel (1738–1822) betrieb die Astronomie zunächst nur »nebenher«; Organist war sein Hauptberuf. Erst als ihm 1781 die Entdeckung des Uranus glückte und er dadurch mit einem Schläge berühmt und wohlhabend wurde – König Georg gewährte ihm ein Jahresgehalt von 200 Pfund – konnte er sich gänzlich der Astronomie widmen.

Anfang des 19. Jahrhunderts begann die Entdeckung der Planetoiden. Es war ein Bremer Arzt, Wilhelm Olbers (1758–1840), der neben seiner Praxis, mit relativ kleinen Fernrohren aus den Fenstern seines Wohnhauses beobachtend, die Planetoiden Pallas und Vesta sowie nicht weniger als 6 Kometen entdeckte.



3, 4 So unterschiedlich kann die scheinbare Sonnenbahn am Himmel aussehen! Der flache Bogen wird von der Sonne im Januar beschrieben. Auf dem anderen Bild steigt die Sonne Anfang März schon steil empor. Edmund Grunert fotografierte mit Rotfilter und Teleobjektiv.

5 Nordlicht über Thüringen! Am Abend des 4. Februar 1983 fotografieren Peter Große und Miklos Zimmerer diese in unseren Breiten ganz seltene Erscheinung. (Zu diesem Zeitpunkt hatten sich viele Amateurastronomen in Berlin zu einer Fachtagung versammelt und – Ironie des Schicksals – abtaten nichts von dem Schauspiel!)

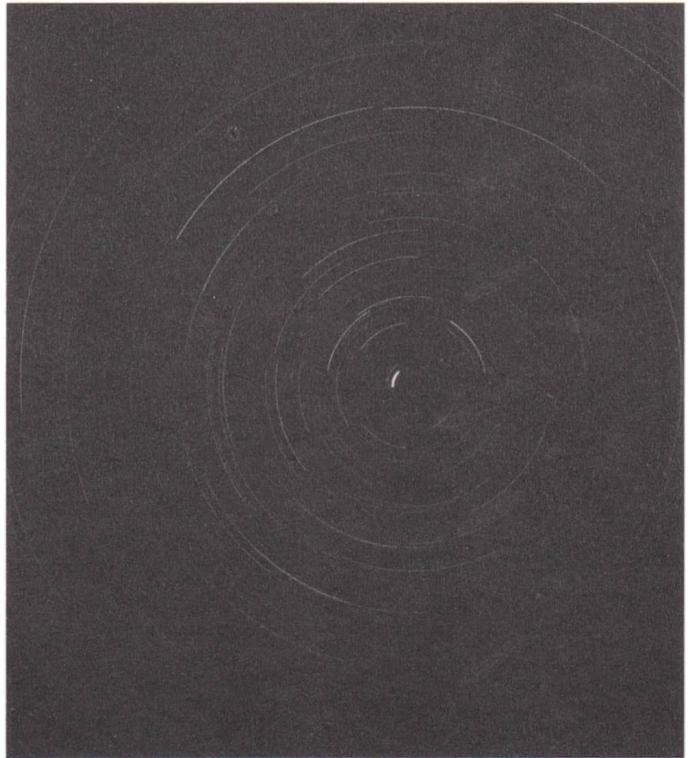
6 Majestätisch ziehen die Sterne ihre Kreisbahnen. Eine drei Stunden lang belichtete Aufnahme von Edmund Grunert

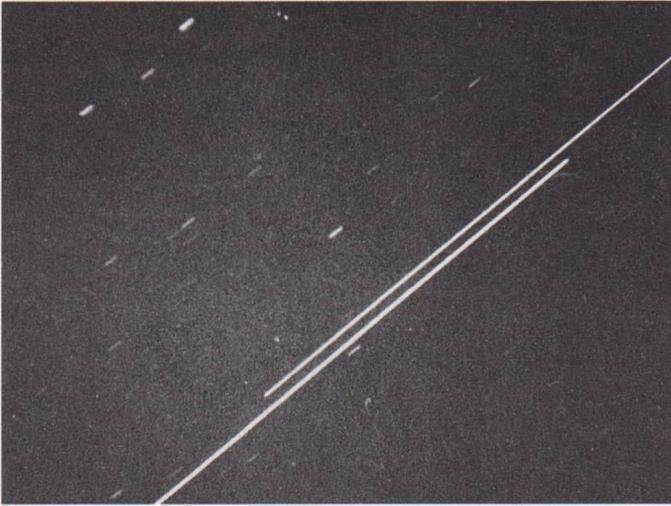


Auf dem Gebiet der Sonnenphysik verdanken wir eine wichtige Entdeckung einem Apotheker. Der Dessauer Heinrich Schwabe (1789–1875) fand aus der Analyse seiner eigenen Sonnenbeobachtungen die elfjährige Periode der Sonnenflecken.

Dem Kaufmann Isaac Roberts (1829–1903) aus Sussex gelangen 1886 die ersten fotografischen Himmelsaufnahmen. Damit hatte sich ein Amateur einer neuen Beobachtungstechnik bemächtigt – einer Technik, die in der Folgezeit der astronomischen Forschung einen ungeahnten Aufschwung ermöglichen sollte.

Noch viele Namen könnte man nennen; und viele ungenannte Liebhaberastronomen, die zur eigenen Freude beobachteten oder in weniger spektakulärer Weise wissenschaftlich tätig waren, haben an der Geschichte der Amateurastronomie mitgeschrieben.





7 *Langsam ziehen zwei Lichtpunkte über den Himmel. Die Raumstation Skylab und ihre Raketenendstufe wurden am 20. Juni 1973 von Martin Müller fotografiert.*

8 *Diese Meteorspur war nicht geplant. Sie geriet bei einer Aufnahme in das Blickfeld der Kamera (Sternwarte Sonneberg).*

Für Uneingeweihte ist die Spur auf dem Bild 7 nicht von einer Meteorspur zu unterscheiden. Dennoch haben wir es hier mit einer ganz anderen Erscheinung zu tun. Während der vielminütigen Belichtung dieser Aufnahme zogen zwei künstliche Himmelskörper langsam durch das Gesichtsfeld der Kamera. Auf der Erdoberfläche, am Standort der Kamera, war es um diese Zeit schon längst finstere Nacht, aber einige hundert Kilometer höher, auf der Bahn der Erdsatelliten, schien noch die Sonne. Ihr Licht hat sich als Satellitenspur auf der Aufnahme markiert.

Blieben wir bei Spuren auf Fotopapier! Bild 6 kann schwerlich etwas mit Meteoren oder künstlichen Himmelskörpern zu tun haben; derart geordnet bewegen sich solche Körper nicht. Es ist eine Aufnahme der Sterne in der Nähe des Himmelsnordpols, fotografiert in einer mondlosen, klaren Nacht mit 3 Stunden Belichtungszeit. Offenbar haben alle Sterne einen einzigen Punkt kreisförmig umlaufen, und einen Teil jeder dieser Kreisbahnen finden wir auf dem Foto wieder.

Man kann gut sehen, daß der Polarstern nicht genau im Drehpunkt des Himmels steht; auch er beschreibt eine kleine, gekrümmte Bahn. Daß diese Drehung des Himmels nur scheinbar ist und daß in Wahrheit die Erde sich dreht, ist seit über 400 Jahren bekannt. Wenn man weiß, daß die Erde für eine volle Umdrehung 23 Stunden und 56 Minuten benötigt, kann man aus dem Kreisbogenstück eines Sterns nachträglich ermitteln, wie lange eine solche Sternspuraufnahme belichtet wurde.

Das Bild 9 entstand, nachdem unser Zeichner einige Male morgens auf dem Wege zur Arbeit von der Sichel des abnehmenden Mondes begleitet worden war. Er, der Zeichner, ging täglich, außer an den Wochenenden, zur gleichen Zeit aus dem

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts begannen sie, sich in Vereinen und Arbeitsgruppen zusammenzufinden. Kein Geringerer als der Direktor der königlichen Sternwarte zu Berlin, Prof. Dr. Wilhelm Foerster, rief 1891 die »Vereinigung von Freunden der Astronomie und kosmischen Physik« ins Leben. Sie war über lange Zeit im deutschen Sprachraum die wichtigste Körperschaft der Amateurastronomie. Weitere Vereinigungen folgten – heutzutage muß nirgendwo ein Sternfreund auf den Kontakt mit Gleichgesinnten verzichten. Vielerorts ist durch geschicktes Arrangement die Möglichkeit geschaffen worden, gemeinsam an wissenschaftlicher Beobachtungsarbeit teilzuhaben und, wenn auch im stillen und in sehr kleinen Schritten, das Wissen über das Weltall erweitern zu helfen.

Nun glaube aber niemand, in unserem Jahrhundert sei den Amateurastronomen nur noch ein kümmerlicher Platz am Rande des wissenschaftlichen Fortschritts verblieben! Ganz so bescheiden müssen wir nicht sein. Immerhin gelang die erste Beobachtung eines künstlichen Raumflugkörpers von europäischem Territo-



Haus, und ihm fiel auf, daß der Mond Tag für Tag ein wenig anders aussah und daß er auch seinen Platz am Himmel veränderte. Der helle Lichtpunkt war die Venus. Sie machte offenbar die Wanderung des Mondes nicht mit, denn sie war jeden Tag an der gleichen Stelle des Osthimmels zu finden. So skizzierte unser Zeichner die Spur des Mondes am Morgenhimmel.

Über dergleichen Spuren auf der Erde und am gestirnten Himmel ließe sich noch viel berichten. Wir wollen es vorerst genug sein lassen und unsere Aufmerksamkeit denen zuwenden, die in ihrer Freizeit den Geheimnissen des Weltalls nachspüren, den Amateurastronomen, Sternfreunden, Liebhaber-astronomen. Was treibt sie zu ihrem Hobby?

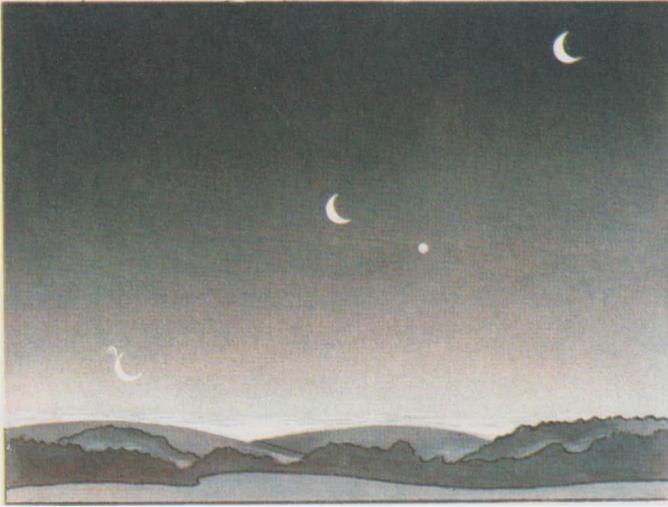
## Astronomie für Einsteiger

Die Astronomie zählt zu den Wissenschaften, die nicht nur ein bemerkenswertes Interesse in der Öffentlichkeit erregen, sondern auch in recht großem Umfange amateurmäßig betrieben werden. Nachrichtenmedien berichten über astronomische Entdeckungen und über Erfolge der Raumfahrt. Oftmals sind die betreffenden Objekte schon mit dem bloßen Auge oder mit bescheidenen optischen Hilfsmitteln zu beobachten, und deshalb kann der interessierte Laie dem Forschungsprozeß in der Astronomie innerlich näherkommen als in vielen anderen wissenschaftlichen Disziplinen.

Man kann Astronomie natürlich aus Büchern lernen. Sie vermitteln Kenntnisse und Vorstellungen, schaffen Einsichten und geben die Möglichkeit, dem Gang der Erkenntnis nachzuspüren. Mathematischen Interessen kann beim Auswerten von Beobachtungsdaten und beim Errechnen von Planetenpositio-

rium außerhalb der Sowjetunion aus am 8. Oktober 1957 dem Lehrer Edgar Penzel und seinen Schülern in der vogtländischen Stadt Rodewisch, und einige der in den letzten Jahrzehnten bekannt gewordenen Kometen tragen den Namen des japanischen Kindergartendirektors Honda in Kurashiki. Einen dieser Kometen erspähte Herr Honda im Sommer 1948 mit dem bloßen Auge!

Eigentlich ist das Interesse vieler Menschen für die Astronomie gar nicht ohne weiteres verständlich, denn der Nutzen dieser Wissenschaft für die Gesellschaft und den einzelnen erschließt sich nicht auf den ersten Blick. Warum interessieren uns die Bewegungen ferner Sterne? Diese Sterne wird kein Mensch je erreichen! Wem nutzt die Kenntnis von Störungen der Mondbahn? Diese Störungen sind so geringfügig, daß man sie erst im Verlaufe von Jahrhunderten bemerken kann! Was geht uns die Entstehung von Sternen an?



9 Der Mond und die Venus, an drei aufeinanderfolgenden Tagen jeweils morgens zur gleichen Zeit betrachtet

nen nachgegangen werden; die Faszination des Kosmos läßt sich beim Anschauen attraktiver Fotos erahnen. Aber: Den Sternhimmel und die einzelnen Himmelskörper mit eigenen Augen zu beobachten, das eigene Fernrohr – und sei es noch so bescheiden – zum Firmament zu richten, selbst eine Messung vorzunehmen oder eine fotografische Aufnahme eines kosmischen Objekts zu gewinnen, beeindruckt mehr als alle papierne Weisheit. Die Schönheit des Sternhimmels in einer glasklaren, mondlosen Nacht ist nicht mit Worten zu beschreiben, ein offener Sternhaufen bietet schon in einem Fernglas einen prachtvollen Anblick, und das Fernrohrbild des ringgeschmückten Planeten Saturn wird man so bald nicht vergessen.

Ein Wermutstropfen findet sich jedoch in dem vollen Becher amateurastronomischer Freuden: Unsere Freizeitbeschäftigung erfordert das Tätigsein in den Nachtstunden. Sternfreunde haben es schwerer als Briefmarkensammler oder Aquarienliebhaber. Während jene im behaglich geheizten Zimmer zu jeder beliebigen Tageszeit ihr Steckenpferd reiten können, müssen wir Amateurastronomen uns abends oder nachts auf dem kalten Balkon, im Garten oder auch irgendwo außerhalb der Stadt im freien Gelände einrichten, um beobachten zu können. Wir können oft nicht einmal selbst entscheiden, an welchem Abend oder in welcher Nacht wir ans Werk gehen wollen: Finsternisse, besondere Planetenkonstellationen oder die Helligkeitsänderungen Veränderlicher Sterne, um nur einige Beispiele zu nennen, haben ihren eigenen kosmischen Terminkalender. Wer aber der Astronomie verfallen ist, der empfindet das kaum als Belastung. Er wird durch die Großartigkeit und die fesselnden Ergebnisse dieser Wissenschaft entschädigt. Vielleicht kommt er sogar zu dem Entschluß, selbst wissenschaftlich tätig zu werden und als Amateur mit seinen

Sie liegt Millionen oder gar Milliarden von Jahren zurück!

Gewiß, die Astronomie ist eine Grundlagenwissenschaft, der Astronom kann kaum einmal eine Entdeckung melden, aus der sich im Alltag ein unmittelbarer Nutzen ziehen ließe. Und doch: Uhren und Kalender sind heute wie eh und je unter der Kontrolle von Astronomen. Für die Physiker ist der Weltraum ein Laboratorium, in dem sie die Materie unter extremen, auf der Erde nicht erreichbaren Bedingungen untersuchen können. Unvorstellbarer Druck und fast vollkommenes Vakuum, Temperaturen zwischen dem absoluten Nullpunkt und vielen Millionen Kelvin, elektrische und magnetische Felder, hochenergetische Teilchenstrahlung – das alles ist im Weltall vorzufinden. Die Raumfahrt hat sich, seit der erste künstliche Erdsatellit »Sputnik 1« am 4. Oktober 1957 gestartet wurde, zu einem unübersehbaren ökonomischen Faktor entwickelt. Fernmeldesatelliten ermöglichen die Nachrichtenübertragung in Wort und Bild von Kontinent zu Kontinent, meteorologische Satelliten liefern die Grundlagen für zuverlässige Wettervorher-

bescheidenen Mitteln Beobachtungsergebnisse zu erarbeiten, die den professionellen Astronomen zur Ergänzung ihrer Forschungen willkommen sind.

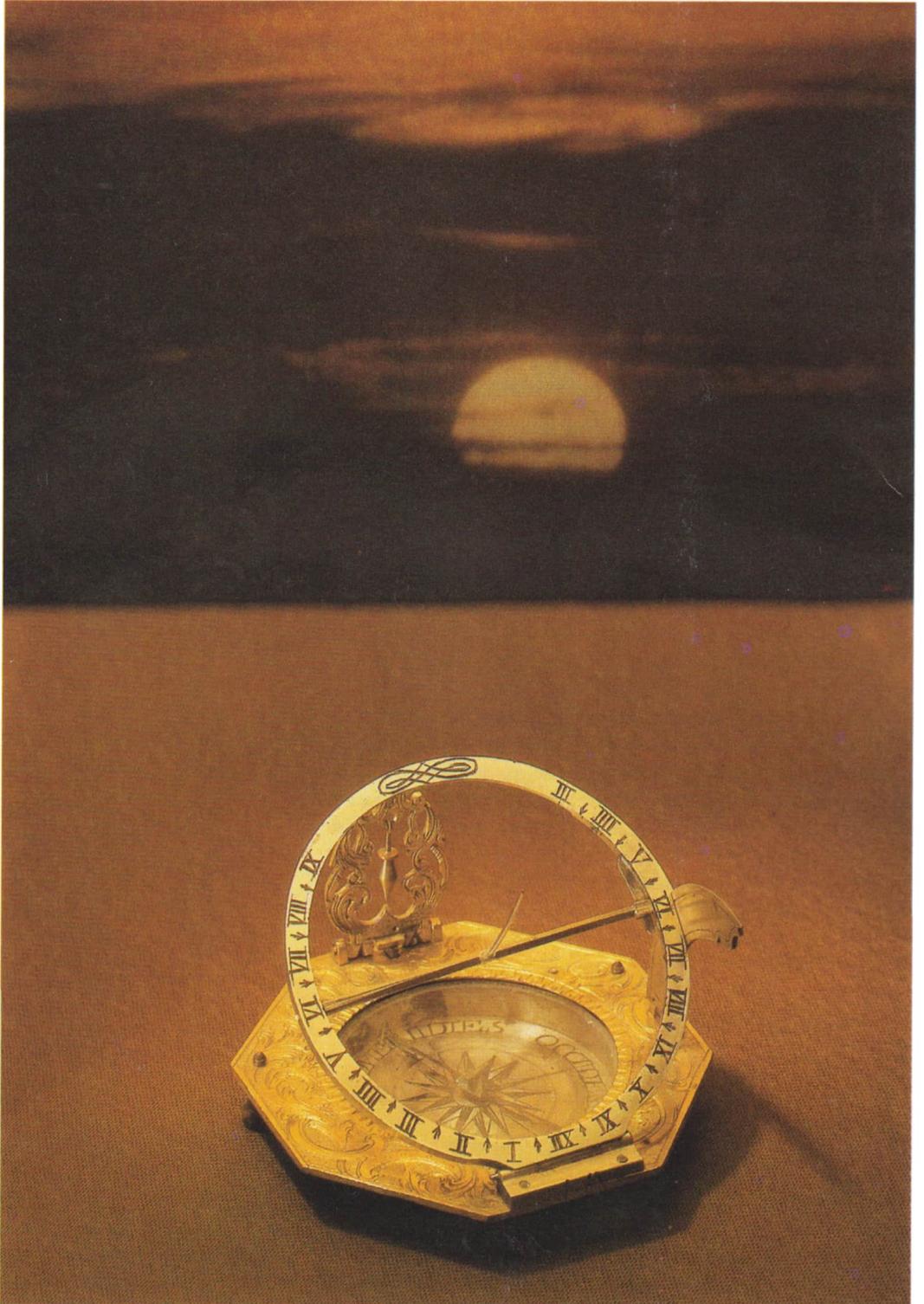
Kann der Sternfreund wissenschaftlich nützliche Arbeit leisten? Diese Frage wird durch die vielen Amateurastronomen, die in regelmäßiger, mühevoller Kleinarbeit die Helligkeiten Veränderlicher Sterne überwachen, Sternbedeckungen durch den Mond registrieren oder Meteorströme beobachten – auch das sind nur einige wenige Beispiele –, eindeutig positiv beantwortet. Keinesfalls ist für solche Arbeiten unbedingt ein mächtiges Fernrohr erforderlich; viele Veränderliche Sterne sind für kleinere Instrumente wie geschaffen, und zur Beobachtung einer Sternbedeckung genügt auch meist ein Fernrohr von weniger als 10 cm Öffnung. Meteore beobachtet man ohnehin entweder mit dem bloßen Auge oder auf fotografischem Wege.

Weit wichtiger als eine komfortable optische Ausrüstung ist vielmehr eine gediegene Kenntnis der Beobachtungsverfahren, der möglichen Fehlerquellen und der Auswerteverfahren – und natürlich eine gehörige Portion Beharrlichkeit und Ausdauer. Wissenschaftlich verwertbare astronomische Beobachtungen sind im allgemeinen nicht durch gelegentliches Hinschauen zu bewerkstelligen. Es wird nicht jedermanns Sache sein, seiner Freizeitbeschäftigung zuliebe viele Bequemlichkeiten aufzugeben. Wer es aber wagen will, der findet reichlich Arbeit!

All die anderen Sternfreunde aber mögen sich durch ein Wort des Sonneberger Astronomen Paul Ahnert trösten lassen, dessen wissenschaftliche Laufbahn auch mit der Amateurastronomie begann: »Das Wissen um die Sterne forschend zu bereichern, ist zwar nur wenigen vergönnt, aber das gilt gleichermaßen von jeder Wissenschaft. Auch die biologischen Prozesse der Pflanzen kann nur der entsprechend wissenschaftlich Geschulte studieren. Aber wie sich jeder an Pflanzen und Blumen freuen und diese Freude durch das Wissen um ihre Arten und Lebensbedingungen noch vertiefen kann, so soll auch der Zugang zur Sternenwelt und dem Wissen um ihre ewigen Gesetze jedem offenstehen.«

sagen, geodätische Meßsatelliten gestatten eine genaue Vermessung der Kontinente und Ozeane, die Geologen erhalten von Meßsatelliten und bemannten Raumstationen die Daten, die zum Auffinden von Lagerstätten wichtiger Bodenschätze benötigt werden, Umweltschäden werden aus der Erdumlaufbahn erkannt und gemeldet, Sturmwarnungen aus Beobachtungssatelliten helfen Menschenleben und Sachwerte zu schützen ... – die Aufzählung ließe sich fortsetzen.

Tatsächlich – Astronomie ist keine weltferne Wissenschaft. Wer sich näher damit befaßt, der wird überdies eine Erfahrung machen, die nicht minder wichtig ist: Astronomische Kenntnisse bestimmen – im Zusammenklang mit anderen Wissenschaften – das Weltbild, das Weltverständnis des Menschen. Auch das mag ein Grund dafür sein, daß es so viele Amateurastronomen gibt!



# Kapitel 2 Auge in Auge mit dem Kosmos

|                                   |    |  |
|-----------------------------------|----|--|
| Maßnahmen an der Himmelskugel     | 18 | Himmelskugel                           |
|                                   | 20 | Sternzeit                              |
| Wo steht mein Stern?              | 22 | Sternbilder                            |
| Der Mond – ein vertrautes Gesicht | 25 | Mondphasen und Finsternisse            |
| Feuer vom Himmel                  | 28 |  |
|                                   | 31 | Meteorströme                           |
| Wege von Raumfahrzeugen           | 32 | Erdsatelliten                          |
| Ferne Sonnen                      | 34 | Sterne                                 |
| Sternspuren                       | 37 | Zirkumpolarsterne                      |
| Der Trick mit der Nachführung     | 41 | Langzeitbelichtung                     |
| Nur ein Stückchen Himmel?         | 45 | Veränderliche Sterne                   |
|                                   | 47 | Jahreszeiten                           |
| Das »Nagelbrett«                  | 48 |  |
| Ein Pendel als Zeiger             | 48 |  |
| Koordinaten zum »Stelldichein«    | 51 | Astronomische Koordinaten              |
| Der Jakobsstab                    | 54 | Der Winkelabstand zweier<br>Gestirne   |
| Sterntage, Sternstunden           | 56 | Tag und Jahr                           |
| Die geronnene Zeit                | 58 |  |
| Schönwetteruhren                  | 59 |  |
|                                   | 60 | Zeitgleichung                          |
|                                   | 61 | Nochmals: astronomische<br>Koordinaten |
| Die wahre Zeit ist unpraktisch    | 62 |  |
| Wann kommen und gehen die Sterne? | 64 |  |

## Die Himmelskörper – und wie man sie findet

### Maßnahmen an der Himmelskugel

Das wohl älteste Beobachtungsgerät der Astronomen ist der Schattenstab, auch Gnomon genannt. Es kostet uns nur geringe Mühe, eine antike Mittagsbestimmung nachzuvollziehen. Dazu brauchen wir ein Grundbrett, etwa  $20\text{ cm} \times 40\text{ cm}$  groß. Eine Bohrung nahe einer der kürzeren Seiten trägt einen gespitzten Bleistift von etwa  $10\text{ cm}$  Länge, der genau senkrecht zum Grundbrett stehen soll (Bild 11). Das Grundbrett wird waagrecht ausgerichtet, auf ihm ist mit Klebestreifen ein Blatt Zeichenpapier befestigt.

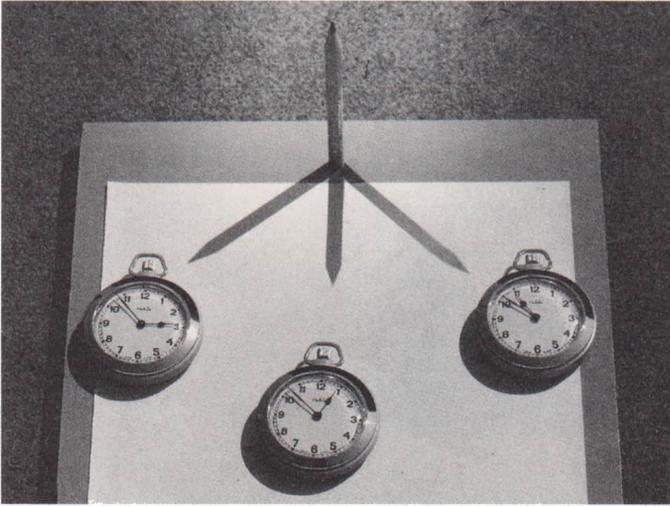
Wenn die Sonne scheint, wirft unser Gnomon einen Schatten auf das Papier. Die Messung besteht darin, daß wir von etwa  $10^{\text{h}30^{\text{min}}}$  bis  $13^{\text{h}30^{\text{min}}}$  (während der Gültigkeit der Sommerzeit von  $11^{\text{h}30^{\text{min}}}$  bis  $14^{\text{h}30^{\text{min}}}$ ) den Ort der Schattenspitze auf dem Zeichenpapier markieren und für jeden Meßpunkt die Zeit dazuschreiben. Zur Auswertung messen wir die zu jedem Punkt gehörende Schattenlänge aus und tragen sie, wie Bild 13 zeigt, in ein Diagramm ein. Die Zeit des kürzesten Schattens ist der wahre Mittag, die Richtung des kürzesten Schattens auf dem Meßblatt die Nordrichtung. Weshalb der wahre Mittag nur in seltenen Fällen auf der  $12^{\text{h}}$ -Marke liegt, werden wir später erörtern. Die Abweichung ist jedenfalls nicht durch einen Meßfehler bedingt.

Wir sollten diese Messung mehrmals im Laufe eines Jahres vornehmen. Dabei können wir feststellen, daß der Mittagsschatten unseres Gnomons nicht immer gleich lang ist. Den längsten Mittagsschatten wirft der Stab im Winter, den kürzesten im Sommer. Natürlich hängt das damit zusammen, daß im Winter die Sonne mittags weniger hoch steht als im Sommer. Aber was heißt eigentlich »hoch«? Mißt man die Sonnenhöhe



### Himmelskugel

Alle Abstände an der Himmelskugel werden in Winkelmaß angegeben. Aber was ist das eigentlich, die Himmelskugel? Der Himmel wölbt sich in Gestalt einer scheinbar etwas flachgedrückten Halbkugel über uns, und zwar so, daß wir genau im Mittelpunkt stehen. Das ist natürlich ein sehr subjektiver Eindruck, denn ein Beobachter, der zur gleichen Zeit  $1000\text{ km}$  von uns entfernt steht, hat über sich ebenfalls die Himmelskugel – und wähnt sich seinerseits im Mittelpunkt. Da nun aber eine Halbkugel doch nicht zwei Mittelpunkte haben kann, muß an der Sache ein Haken sein. In der Tat ist das Himmelsgewölbe lediglich ein Abbild des unbegrenzten Raumes, in den wir blicken, wenn der Himmel klar ist. Die scheinbare Abplattung beruht zum Teil auf atmosphärischen Einflüssen, zum Teil auf einer optischen Täuschung. Der Astronom betrachtet das Himmelsgewölbe als exakte Halbkugel mit unendlich großem Radius, sich selbst sieht er im Mittelpunkt dieser Halbkugel.



10 Taschen-Sonnenubr von Andreas Vogler. Heute befindet sie sich im Mathematisch-Physikalischen Salon des Dresdner Zwingers.

11. Das ist ein ganz einfacher Schattenstab. Aber man kann mit seiner Hilfe die Nordrichtung ebenso gut bestimmen wie mit einem Kompaß.

12 Die Höhe ist in der Astronomie immer ein Winkel.

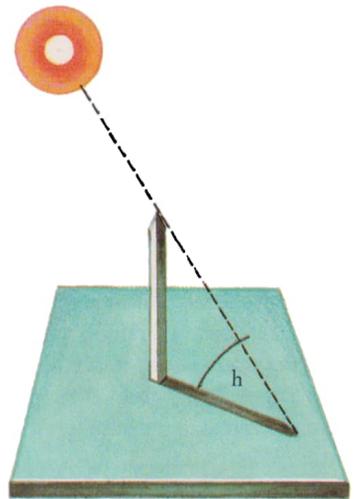
in Kilometern? Oder schon in Lichtjahren? Und wie wird sie gemessen?

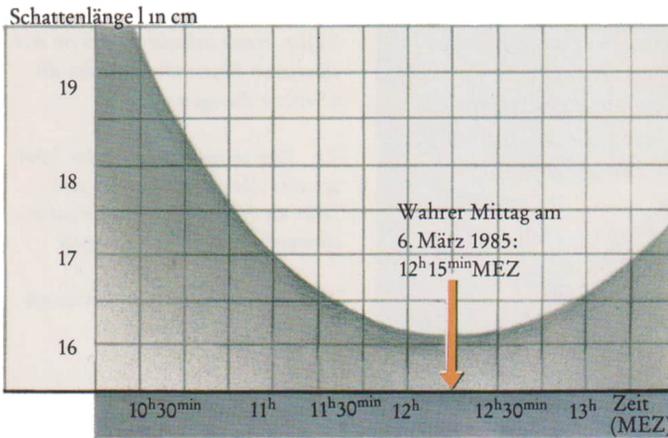
Diese Fragen lassen sich mit einem Blick auf Bild 12 beantworten. Die Höhe  $h$  ist der Winkel zwischen der Richtung zum Horizont und der Richtung zu dem anvisierten Gestirn, in unserem Falle also der Sonne. Winkel werden üblicherweise in Grad gemessen; das gilt auch für die Höhe. Aus Schattenlänge  $s$  und Stablänge  $l$  können wir die Sonnenhöhe für jede Messung errechnen:

$$\tan h = \frac{l}{s}$$

(Man kann die Höhe der Sonne auch graphisch ermitteln. Dazu zeichnet man ein rechtwinkliges Dreieck mit den Katheten  $s$  und  $l$ . Der Winkel, der der Seite  $l$  gegenüberliegt, ist die Sonnenhöhe  $h$ .)

Nicht nur die Höhe der Sonne und anderer Gestirne wird in Gradmaß angegeben. Auch die Abstände zwischen den Sternen an der Himmelskugel sind Winkel; denn wollte man die wahren Entfernungen zwischen zwei Sternen im Weltall ermitteln, dann müßten auch die Abstände dieser Sterne von der Erde bekannt sein. Diese Abstände aber sind nicht ohne weiteres zu messen. Viel leichter kann ein Beobachter die Winkelabstände von Sternen an der Himmelskugel bestimmen; notfalls ist das sogar gänzlich ohne Hilfsmittel möglich. Visiert man bei ausgestrecktem Arm über die Breite eines Fingers, über den Handrücken oder über die Handspanne hinweg, so überdecken diese Abstände am Himmel Winkel von  $2^\circ$ ,  $8^\circ$  und  $20^\circ$ . Damit sind natürlich keine Präzisionsmessungen möglich, aber dennoch ist mit dieser »Freihandastronomie« eine ganze Menge anzufangen. Sie ist z. B. bei der Beobachtung eines hellen Meteors außerordentlich wertvoll.





13 So wird der Zeitpunkt des wahren Mittags ermittelt.

Wie genau so eine Freihandmessung ist, soll an einem Sternbild ausprobiert werden, das man in jeder klaren Nacht sehen kann, nämlich am Großen Wagen. (Eigentlich ist der Große Wagen nur ein Teil des Sternbildes Großer Bär – in der wissenschaftlichen Literatur gibt es das Sternbild Großer Wagen gar nicht –, aber uns ist diese aus sieben hellen Sternen bestehende Figur so vertraut, daß wir ruhig weiter vom »Großen Wagen« sprechen wollen.) Die Abstände der Sterne dieses Sternbildes voneinander sind in Bild 14 eingetragen; sie wurden auf ganzzahlige Werte gerundet.

Der Große Wagen ist ein ideales Hilfsmittel, um den Polarstern am Himmel aufzufinden. Zu diesem Zweck verbinden wir in Gedanken die beiden hinteren »Kastensterne« und verlängern diese Verbindungslinie in der Weise, wie auf Bild 15 gezeigt. Der gar nicht sehr helle Stern, den wir damit anvisieren, ist der Polarstern. Er befindet sich inmitten eines Feldes so lichtschwacher Sterne, daß wir ihn ohne Schwierigkeiten herausfinden werden.

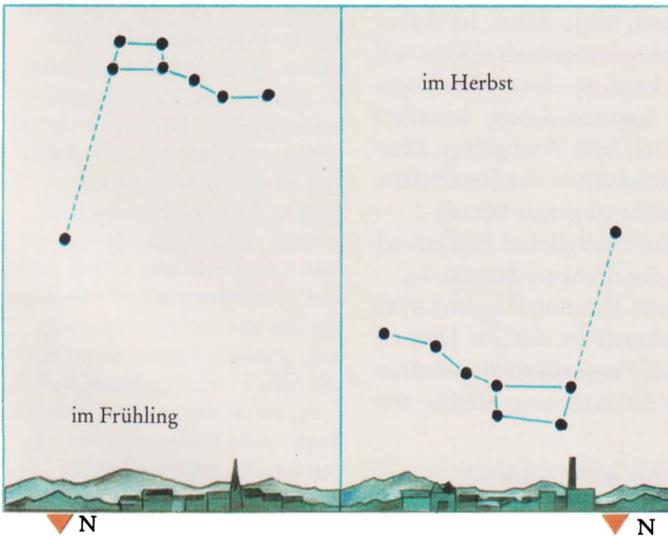
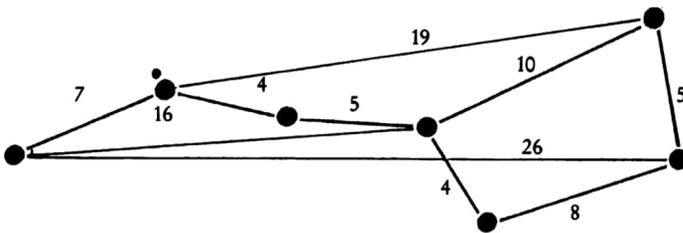
Der Polarstern markiert ziemlich genau den Himmelsnordpol; das ist der Punkt, »um den sich alles dreht«. Die ganze Himmelskugel rotiert ja scheinbar wie eine riesige Hohlkugel rund um den Beobachter. Nur der Polarstern bleibt (fast) in Ruhe. Deshalb dient er uns auch als Orientierungspunkt bei der Festlegung der Himmelsrichtungen; unter ihm liegt der Nordpunkt des Horizonts. Schauen wir dorthin, dann liegt  $90^\circ$  weiter links der Westpunkt,  $90^\circ$  weiter rechts der Ostpunkt; den Südpunkt haben wir im Rücken. Die Verhältnisse kehren sich jedoch um, wenn wir nach Süden blicken – und das werden wir oft tun, denn über dem Südhorizont spielen sich die interessantesten Himmelserscheinungen ab –, Osten ist jetzt links, Westen rechts.

Auch die Kassiopeia, das »Himmels-W«, kann in jeder klaren

### Sternzeit

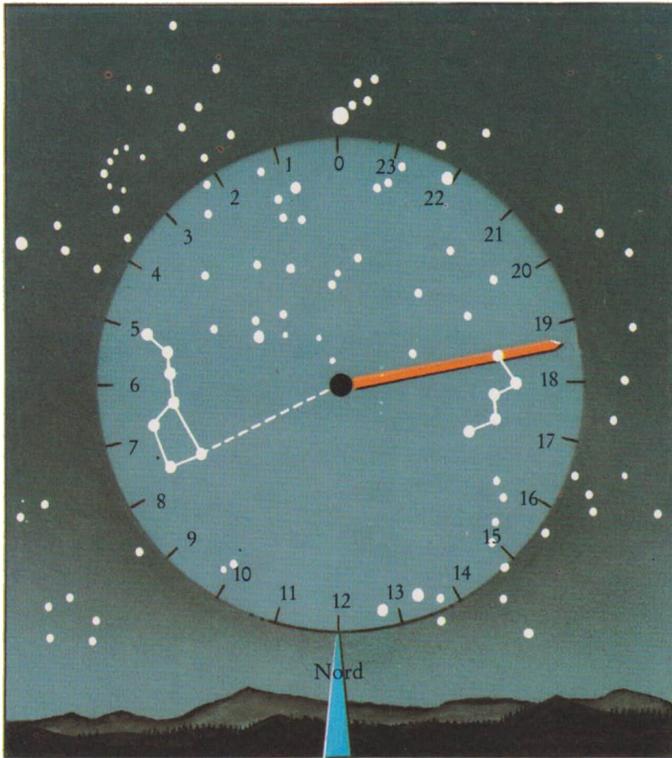
Da sich die Erde gleichmäßig um ihre Achse dreht, bekommt ein Beobachter auf der Erde im Laufe einer Umdrehung große Teile der Himmelskugel nacheinander vorgeführt. Eine Umdrehung der Erde dauert 23 h 56 min; die Astronomen nennen diese Zeitspanne einen Sterntag. Wenn man eine Uhr so einreguliert, daß sie gegen eine Normaluhr täglich um 4 min vorgeht, dann zeigt sie nach 23 h 56 min Normalzeit (Sonnenszeit) bereits 24 h an und »geht nach Sternzeit«. Solche Uhren werden in den Sternwarten benutzt. Unsere Normaluhren gehen dagegen nach Sonnenszeit. Wenn sie eine Zeitspanne von 24 h registriert haben, ist ein Sonnentag vergangen. Der Unterschied zwischen Sternzeit und Sonnenszeit beträgt also täglich 4 min; er liegt darin begründet, daß die Erde während einer Umdrehung auch noch ein kleines Stück auf ihrer Bahn um die Sonne weiterläuft.

Nacht gesehen werden. Dieses Sternbild bietet uns eine andere Möglichkeit, »Freihandastronomie« zu betreiben: Wir können an seiner Stellung die augenblickliche Sternzeit abschätzen. Die ganz gleichmäßige Rotation des Sternhimmels um den Himmelsnordpol ist ja eine ideale Uhr, aber leider ohne Zeiger. Man kann sich jedoch einen Zeiger denken, indem man den Polarstern mit dem »letzten« Stern der Kassiopeia verbindet. (Das ist der Stern, »an dem man den Stift absetzt«, wenn man das »W« geschrieben hat.) Diese gedachte Linie, die man sich gut vorstellen kann, soll der Zeiger unserer Sternzeituhr sein. Auch das Zifferblatt denken wir uns; sein Mittelpunkt ist natürlich der Himmelsnordpol, in der Praxis aber der Polarstern. Nun ist noch zu bedenken, daß sich der Sternhimmel nicht wie der Stundenzeiger einer normalen Uhr in 12 Stunden einmal um seine Achse dreht, sondern daß er dazu fast 24 Stunden benötigt. Unser Zifferblatt ist also in 24 Stunden einzuteilen. Außerdem müssen wir die Stunden entgegengesetzt zur Drehrichtung der »irdischen« Uhrzeiger zählen (Bild 16). Mit ein wenig Übung wird man nicht nur ganze, sondern recht gut auch halbe Stunden schätzen können.



14 Auch der Abstand zweier Sterne voneinander wird vom Beobachter als Winkel gesehen. Prüfen Sie Ihre Daumenbreite!

15 Den Großen Wagen muß jeder kennen. Von ihm ausgehend, findet man den Polarstern.



16 Großer Wagen, Polarstern und Kassiopeia. Das imaginäre Sternzeit-Zifferblatt verharnt immer in der gleichen Stellung. Jetzt ist es 18<sup>h</sup>40<sup>min</sup> Sternzeit.

## Wo steht mein Stern?

Großer Bär und Kassiopeia sind nur zwei von 88 Sternbildern, die, obzwar zumeist schon in den Kulturkreisen des Altertums bekannt, noch heute als praktische Hilfen für die Orientierung am Sternhimmel Verwendung finden. Eine Angabe, wie z. B. »Der Komet XY befindet sich derzeit, Mitte März, im Sternbild Schütze«, sagt einem Kenner des Sternhimmels sofort, daß er den Kometen abends nicht sehen kann, sondern seine Beobachtungen frühmorgens, kurz vor Sonnenaufgang, anstellen muß. Dabei wird auf große Genauigkeit kein Wert gelegt. Aber woher erfährt man etwas über die Sichtbarkeit der Sternbilder, wenn man den Sternhimmel noch nicht so genau kennt?

Wir verfügen zum Glück über ein vorzügliches Hilfsmittel zum Kennenlernen der Sternbilder: die drehbare Sternkarte.

Jede drehbare Sternkarte weist einen Kalenderring und eine Uhrzeitskala auf. Dabei müssen wir beachten, daß die Uhrzeit nicht in Mitteleuropäischer Zeit (MEZ) angegeben ist, sondern in Mittlerer Ortszeit (MOZ). Die Umrechnung erfolgt mit Hilfe der Formeln

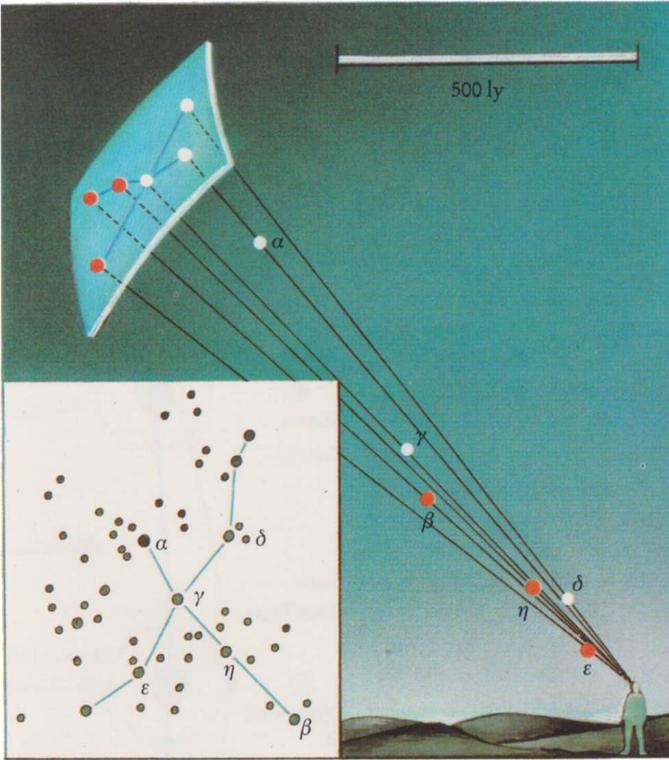
$$\text{MOZ} = \text{MEZ} - 1 \text{ h} + l, \quad \text{bzw.} \quad \text{MEZ} = \text{MOZ} + 1 \text{ h} - l.$$

Dabei ist  $l$ , die in Zeitmaß, und zwar in Minuten, ausgedrückte

## Sternbilder

Der nächtliche Himmel ist mit Sternen sehr unterschiedlicher Helligkeit übersät. Um sich in diesem Gewimmel zurechtzufinden, haben schon die Jäger und Sammler der Urgemeinschaft helle Sterne durch gedachte Konturen zu Götter- und Sagengestalten zusammengefaßt. Mythische Vorstellungen, die im Leben der damaligen Gesellschaft eine bestimmende Rolle spielten, wirkten auch in die entstehende Astronomie hinein, handelte es sich doch um Erscheinungen und Vorgänge, die mit den zu jener Zeit noch sehr geringen Kenntnissen über die Natur nicht zu deuten waren.

Heute ist die gesamte Himmelskugel in 88 Felder aufgeteilt, deren international vereinbarte Grenzen aus Gründen der Tradition die aus dem Altertum überlie-



17 Das Sternbild Schwan. Seine Sterne sind ganz unterschiedlich weit von uns entfernt. Eine Tabelle sämtlicher Sternbilder finden wir auf den Seiten 36 und 37.

geographische Länge des Beobachtungsortes. Man erhält sie, indem man die in Winkelmaß, und zwar in Grad, gegebene geographische Länge mit 4 multipliziert. Ein Rechenbeispiel soll dies erläutern:

Wieviel Uhr MOZ ist es in Berlin (geographische Länge  $13^\circ$ ) um  $21^{\text{h}30^{\text{min}}}$  MEZ?

*Lösung:*  $1_t = 13 \cdot 4 \text{ min} = 52 \text{ min};$

$\text{MOZ} = 21^{\text{h}30^{\text{min}}} - 1 \text{ h} + 52 \text{ min} = 21^{\text{h}22^{\text{min}}}.$

*Antwort:* Es ist  $21^{\text{h}22^{\text{min}}}$  MOZ.

Wir sehen daran, daß der Unterschied nicht besonders groß ist und daß wir, ohne einen bedenklichen Fehler zu begehen, meist auf die Umrechnung verzichten können. Das gilt aber nicht für die Sommerzeit (MESZ)! Die Umrechnung

$\text{MEZ} + 1 \text{ h} = \text{MESZ}$  bzw.  $\text{MESZ} - 1 \text{ h} = \text{MEZ}$

muß immer vorgenommen werden!

Ähnlich ist es mit einer anderen Besonderheit. Die drehbare Sternkarte kann nur für eine ganz bestimmte geographische Breite gelten. Unsere Karte ist für die geographische Breite von Berlin berechnet. Aber die Abweichungen in der Sichtbarkeit der Sternbilder von anderen Orten aus sind so gering, daß man die Karte in ganz Mitteleuropa benutzen kann.

ferten Sternbilder respektieren und auch nach ihnen benannt sind. Wenn die Sterne eines Sternbildes am Himmel nahe beieinander stehen, bedeutet das natürlich nicht, daß sie wirklich im Welt- raum benachbart sind und physikalisch zusammengehören. Das kann sein; meistens jedoch projizieren sich Sterne, die unterschiedlich weit von uns entfernt sind, aber zufällig in nicht wesentlich unterschiedlichen Richtungen stehen, nebeneinander auf die Himmelskugel. Wie trotz der räumlich sehr unterschiedlichen Lage der Einzelsterne die Figur eines Sternbildes zustande kommt, zeigt Bild 17 am Beispiel des Sternbildes Schwan. Wir erkennen »ein Stück Himmelskugel«, an das sich die Sterne für den dargestellten Beobachter projizieren. Im weißen Feld ist der Anblick des Sternbildes am Himmel zu sehen.

An drei Beispielen wollen wir die Arbeitsmöglichkeiten mit der drehbaren Sternkarte kennenlernen.

*Welchen Anblick bietet der Sternhimmel zu einem bestimmten Zeitpunkt?*

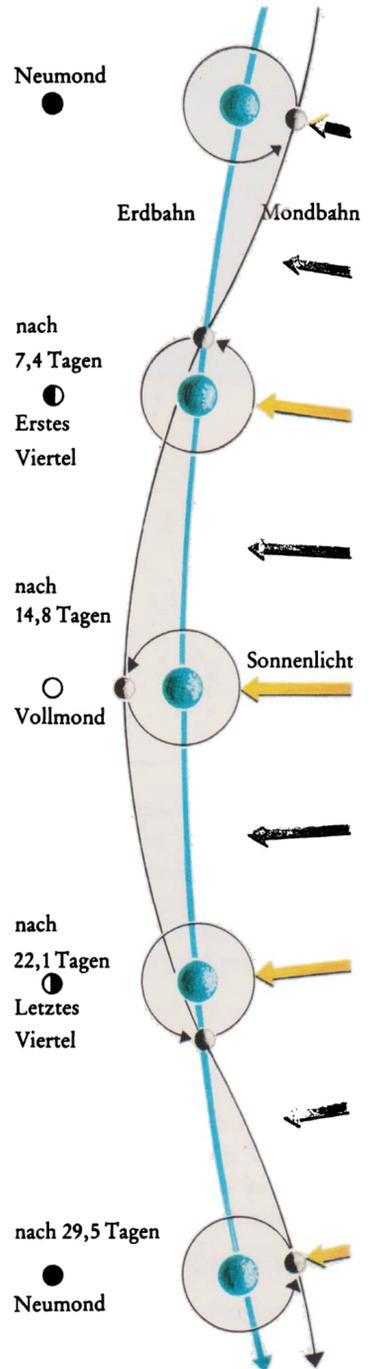
Wir stellen die Karte derart ein, daß die Markierungen von Beobachtungstag (auf dem Kalenderring) und Beobachtungszeit (auf der Uhrzeitskala) übereinstimmen. Im Kartenausschnitt erscheint dann der Sternhimmel, den wir zu diesem Zeitpunkt sehen können. Am Horizont der Karte sind die Himmelsrichtungen aufgetragen. Eigentlich müßten wir nun die Karte über uns halten und sie, von unten nach oben blickend, betrachten. Das ist aber sehr unbequem, deshalb halten wir stets die Karte ganz normal vor uns wie ein Buch, und zwar so, daß die Angabe der Himmelsrichtung, in die wir in der Natur blicken, nach unten zeigt. Wir müssen beachten, daß auf einer solchen Himmelskarte Osten links und Westen rechts ist, daß der Ostpunkt und der Westpunkt des Horizonts nach Norden verschoben erscheinen und daß der Horizont nicht als Kreis, sondern als Ellipse dargestellt ist. Den Zenit, in der Natur senkrecht über dem Beobachter, finden wir auf der Karte genau in der Mitte der Verbindungslinie Nord-Süd.

*Wann gibt ein bestimmter Stern an einem bestimmten Tage auf und unter?*

Wir stellen die Karte so ein, daß der Stern gerade am Osthorizont erscheint bzw. unter dem Westhorizont verschwindet. Dabei sehen wir zunächst gar nicht auf die Skalen. Erst nach dem Einstellen suchen wir auf dem Kalenderring den betreffenden Tag auf und lesen ab, welchen Zeitpunkt er auf der Uhrzeitskala markiert. So können wir z. B. ermitteln, daß der Stern Atair im Sternbild Adler am 1. August um  $16^{\text{h}}30^{\text{min}}$  auf- und um  $6^{\text{h}}00^{\text{min}}$  untergeht. Diese Zeitangaben sind, wie wir schon wissen, Mittlere Ortszeit. Eine Umwandlung in Mitteleuropäische Zeit ist aber nicht sinnvoll, weil zumeist wegen des Dunstes und der Sichtbarkeitshindernisse am Horizont der auf- oder untergehende Stern erheblich später sichtbar wird bzw. viel früher verschwindet, als die Karte angibt. Dagegen müssen wir während der Geltungsdauer der Sommerzeit eine Stunde Zeitverschiebung auf jeden Fall berücksichtigen.

*Wann kulminiert ein bestimmter Stern an einem bestimmten Tage?*

Der Astronom versteht unter dem Meridian des Beobachtungsortes die gedachte Halbkreislinie, die vom Nordpunkt des Horizonts über den Himmelsnordpol und den Zenit zum Süd-



18 So entstehen die verschiedenen Mondphasen. Nach 29,5 Tagen beginnt der Zyklus von vorn.

punkt des Horizonts führt. Geht ein Gestirn durch den Meridian, dann sagt man, es kulminiert. Der Zeitpunkt der Kulmination läßt sich mit der drehbaren Sternkarte wie folgt ermitteln.

Wir legen ein Lineal so auf die Karte, daß seine Anlegekante den Nordpunkt und den Südpunkt des Horizonts miteinander verbindet. Dann stellen wir die Karte so ein, daß der betreffende Stern gerade unter der Anlegekante verschwindet, und lesen auf der Uhrzeitskala die von dem betreffenden Tag markierte Zeit ab. Unser Beispielstern Atair kulminiert am 1. August um  $23^{\text{h}}15^{\text{min}}$ . Auch dies ist Mittlere Ortszeit. Im Gegensatz zum vorhergehenden Beispiel wollen wir jedoch auf die Umrechnung in MEZ oder MESZ nicht verzichten, denn die Kulmination, den Durchgang des Sterns durch den Meridian, kann man recht genau beobachten. Für Berlin würde die Umrechnung so aussehen:

$$\begin{aligned} \text{MEZ} &= \text{MOZ} + 1 \text{ h} - 1, \\ &= 23^{\text{h}}15^{\text{min}} + 1 \text{ h} - 52 \text{ min} \\ &= 23^{\text{h}}23^{\text{min}}. \end{aligned}$$

Am 1. August gilt Sommerzeit:  $23^{\text{h}}23^{\text{min}}$  MEZ =  $0^{\text{h}}23^{\text{min}}$  MESZ. Atair kulminiert also am 1. August für einen Beobachter in Berlin um  $0^{\text{h}}23^{\text{min}}$ .

## Der Mond – ein vertrautes Gesicht

Sonne, Mond und Planeten sind auf der drehbaren Sternkarte nicht eingetragen, weil sie ihre Positionen zwischen den Sternen im Laufe der Zeit ändern. Am schnellsten tut dies der Mond, den wir – ganz grob gerechnet – alle zwei Tage in einem anderen Sternbild finden können.

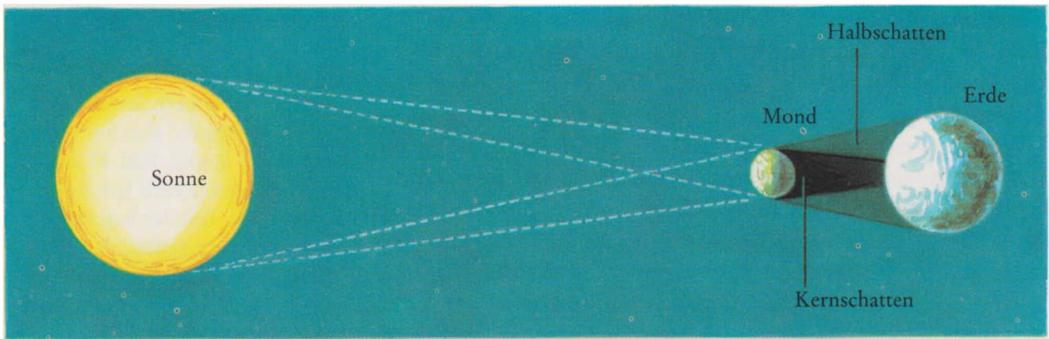
Einige Tage nach Neumond suchen wir nach Sonnenuntergang am westlichen Himmel die Mondsichel auf und skizzieren ihre Lage zum Horizont. Ein Foto des Westhimmels mit dem Horizont, Format  $13 \text{ cm} \times 18 \text{ cm}$  auf mattem Papier, eignet sich vorzüglich als Zeichenblatt. Die Beobachtungszeit muß unbedingt notiert werden. Am nächsten oder übernächsten Abend wiederholen wir diese Beobachtung zur gleichen Zeit und zeichnen die neue Position des Mondes auf das gleiche Blatt. Deutlich ist zu sehen, wie sich der Mond in den zurückliegenden 24 oder 48 Stunden weiterbewegt hat.

In den folgenden Tagen verbreitert sich die Mondsichel merklich. Eine Woche nach Neumond ist das Erste Viertel erreicht: Der zunehmende Halbmond steht bei Sonnenuntergang im Süden. Noch eine Woche, und der Vollmond leuchtet vom Himmel, abends im Osten aufgehend. Jeden Tag erscheint der Mond später über dem Horizont, so daß wir ihn am

## Mondphasen und Finsternisse

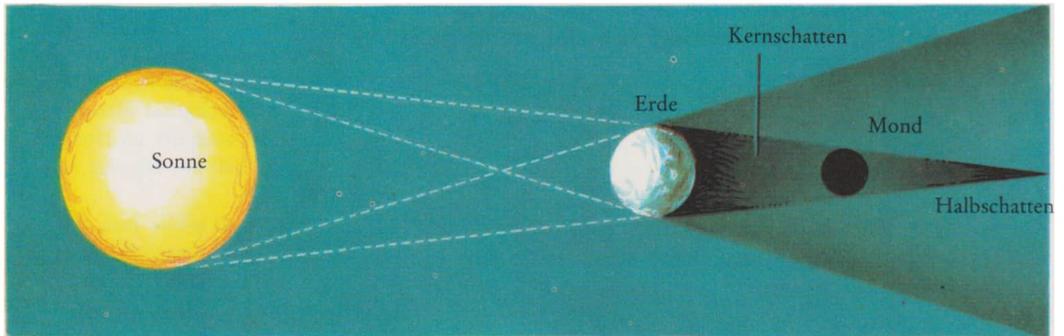
Der Mond umläuft die Erde und erreicht dabei nach jeweils 29,5 Tagen wieder die gleiche Stellung relativ zur Sonne. Bild 18 macht deutlich, daß jedoch von der Erde aus nur ein Teil der beleuchteten Mondhälfte zu sehen ist. Diese Lichtgestalt nennen wir die Mondphase. In den ersten Tagen nach Neumond (Stellung 1) wird der Mond nicht nur von der Sonne, sondern auch von der Erde beleuchtet. Er befindet sich ja in einer Stellung, in der ihm fast die gesamte sonnenüberstrahlte Hälfte der Erde zugewandt ist. So entsteht das »aschgraue Mondlicht«, durch das auch der im Dunklen liegende Teil des Mondes aufgeleuchtet wird.

Eigentlich müßte man aus Bild 18 entnehmen, daß in Stellung 1 (Neumond) gar kein Sonnenlicht zur Erde und in Stellung 3 (Vollmond) keines zum Mond gelangen kann. In der Neumondstellung steht ja der Mond zwischen Sonne und Erde, und bei Vollmond müßte die Erde dem Sonnenlicht den Weg versperren. Das ist aber nicht so, weil in der Natur die Mondbahnebene gegen die Erdbahnebene geneigt ist. Der Neigungswinkel ist zwar gering ( $5^\circ$ ), aber das reicht aus, um zu bewirken, daß der Mond bei Vollmond oder Neumond über oder unter der Erdbahnebene steht. Nur wenn diese beiden Mondphasen einmal zeitlich mit dem Durchgang des Mondes durch die Erdbahnebene zusammenfallen – wenn also Mond, Erde und Sonne tatsächlich ganz exakt in einer geraden Linie stehen –, erleben wir eine Finsternis: bei Vollmond eine Mondfinsternis, bei Neumond eine Sonnenfinsternis.



Sonnenfinsternis

Mondfinsternis



Ende der dritten Woche nach Neumond erst gegen Mitternacht aufgehen sehen. Dann aber ist er schon im Letzten Viertel angelangt, und wir beobachten einen abnehmenden Halbmond. Schließlich wird die Mondsichel wieder schmaler und schmaler; sie steigt erst frühmorgens kurz vor Sonnenaufgang am Osthorizont empor, und am Ende der vierten Woche geht sie so kurz vor der Sonne auf, daß sie in der hellen Dämmerung unsichtbar wird. Ein Monat ist vorüber.

Ob wir es mit abnehmendem oder zunehmendem Mond zu tun haben, verrät uns der Mond durch seine Form. Wir müssen nur versuchen, aus der Mondsichel die Buchstaben *a* oder *z* (hier ist das *z* der alten deutschen Schreibschrift gemeint) zu formen.

Die Veränderungen des Ortes und der Gestalt des Mondes am Himmel, die wir beobachtet haben, kommen durch die Umlaufbewegung des Mondes um die Erde zustande. Bei dieser Bewegung gerät gelegentlich der Mond in den Schatten der Erde, und wir beobachten, wenn der Mond für unseren Beobachtungsort über dem Horizont steht, eine Mondfinsternis.

Wie das Mondlicht bei einer Mondfinsternis geschwächt wird, kann man mit einer originellen Methode beobachten und messen. Man benötigt dazu einige spiegelnde Kugeln (z. B. Weihnachtsbaumkugeln oder Stahlkugeln) von unterschiedli-

*19, 20 Sonnen- und Mondfinsternis. Das sind aber nur sehr schematische Darstellungen. Die Größen- und Entfernungsverhältnisse entsprechen nicht der Wirklichkeit.*

cher Größe und ein Bandmaß. Zunächst wird die kleinste Kugel, die ungefähr einen Durchmesser von 2 cm haben sollte, zusammen mit einem Ende des Bandmaßes im Freien in etwa 2 m Höhe befestigt. Man kann sie an einer Wäscheleine aufhängen oder auf einem frei stehenden Pfahl anbringen. Bei der Messung stellen wir uns mit dem Rücken zum Mond. Ein Spiegelbild des Mondes erscheint auf der »Silberkugel« als kleiner heller Punkt, und dessen Helligkeit kann leicht mit der eines beliebigen, nicht zu hellen Sterns verglichen werden. Geht man näher an die Kugel heran, dann wird das Mond-Spiegelbild heller; entfernt man sich von ihr, dann wird es lichtschwächer. Wir suchen nun durch Probieren diejenige Entfernung zwischen der Kugel und unserem Auge, in der das Mond-Spiegelbild genauso hell erscheint wie der Vergleichsstern. Diese Entfernung lesen wir am Bandmaß ab.

Alle 10 Minuten wird gemessen, Uhrzeit und Abstand werden notiert. Um in kalten Nächten ein Beschlagen der Kugel zu vermeiden, kann man sie in den Beobachtungspausen mit trockenen, warmen Tüchern abdecken. Wenn der Abstand Auge-Kugel zu klein wird, muß eine größere Kugel genommen werden.

Zur Auswertung benötigen wir den Kugelradius  $r$  (in cm), die Helligkeit  $m_s$  des Vergleichssterns (in Größenklassen) und den Abstand Auge-Kugel, den wir  $a$  nennen wollen (in cm). Damit kann für jede Messung die Mondhelligkeit  $m_M$  nach der Gleichung

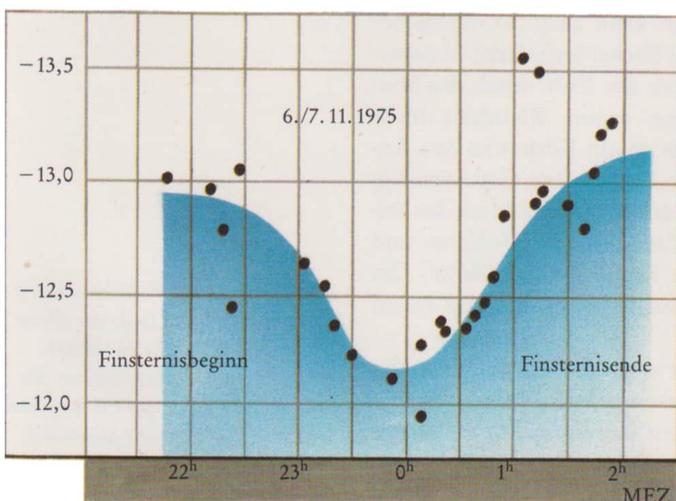
$$m_M = m_s + 5 \cdot \lg r - 5 \cdot \lg a - 1,5053$$

berechnet werden, vorausgesetzt, wir haben eine ideal reflektierende Kugel. Dieses Verfahren der Helligkeitsmessung ist so genau, daß damit sogar das Eintauchen des Mondes in den

Mondfinsternisse können von allen Bewohnern der Nachtseite der Erde bei klarem Himmel gleichzeitig beobachtet werden. Sie sind total, wenn der Mond vollständig in den Kernschatten der Erde eintritt. Wenn dagegen der Mond den Erdschatten nur streift, so daß ein Teil von ihm unverfinstert bleibt, sprechen wir von einer partiellen Mondfinsternis.

Die folgende Tabelle nennt die in Mitteleuropa beobachtbaren Mondfinsternisse in den Jahren 1985 bis 2000:

| Datum        | MEZ             | Art der Finsternis |
|--------------|-----------------|--------------------|
| 4. 5. 1985   | 21 <sup>h</sup> | total              |
| 28. 10. 1985 | 19              | total              |
| 17. 10. 1986 | 20              | total              |
| 10. 2. 1989  | 17              | total              |
| 17. 8. 1989  | 4               | total              |
| 9. 2. 1990   | 20              | total              |
| 10. 12. 1992 | 1               | total              |
| 29. 11. 1993 | 7               | total              |
| 25. 5. 1994  | 4               | partiell           |
| 4. 4. 1996   | 1               | total              |
| 27. 9. 1996  | 4               | total              |
| 24. 3. 1997  | 6               | partiell           |
| 16. 9. 1997  | 20              | total              |
| 21. 1. 2000  | 6               | total              |



21 Die Helligkeitsänderung des Vollmondes bei einer Halbschattenfinsternis. Ohne Hilfsmittel wäre sie nicht nachweisbar gewesen.

Halbschatten der Erde – das eine nur sehr geringe Helligkeitsminderung bewirkt – nachgewiesen werden kann (Bild 21). Allerdings reagiert das Verfahren sehr empfindlich auf leichten Dunst oder auf eine nicht mehr exakt spiegelnde Kugeloberfläche. Fehler können auch durch unterschiedliche Höhen von Mond und Vergleichssterne bewirkt werden.

Wenn bei einer Mondfinsternis der Mond sich im Erdschatten befindet, ist er nicht völlig unsichtbar, vielmehr erscheint er in düsterem, schmutziggelbem Licht. Ursache dafür ist das in der Erdatmosphäre gebrochene und verfärbte Licht, das einen Teil des Erdschattens merklich aufhellt. Die Erdatmosphäre wird gewissermaßen in ihrem Schattenbild stark vergrößert »abgebildet«, deshalb erlaubt die Färbung des verfinsterten Mondes Rückschlüsse auf den Zustand unserer Atmosphäre.

Die Beobachtung der Färbung des Mondes bei einer Mondfinsternis ist deshalb eine zweite interessante Aufgabe außer der Registrierung der Helligkeitsänderungen. Gewiefte Praktiker haben herausgefunden, daß dazu die Nomenklatur philatelistischer Farbkataloge recht gut genutzt werden kann.

## Feuer vom Himmel

Während Mondfinsternisse auf Jahrtausende vorausberechnet werden können – so ist z. B. schon heute bekannt, daß am 24. Juli des Jahres 2613 eine Mondfinsternis stattfinden wird –, treten manche astronomischen Ereignisse völlig unverhofft auf. Dazu gehören Meteorerscheinungen, im Volksmund auch »Sternschnuppen« genannt. Solche nur für Sekunden sichtbaren, sich schnell bewegenden Lichtpunkte am Himmel sind meist die einzige Nachricht, die wir von einem Meteoriten, einem kleinen Gesteinsbrocken (er kann auch zu einem beträchtlichen Prozentsatz Eisen und Nickel enthalten) übermittelt bekommen. Solange er noch fern der Erde durch das Sonnensystem zog, konnte er wegen seiner Kleinheit nicht wahrgenommen werden. Erst wenn so ein Körper in den Anziehungsbereich der Erde gerät und mit hoher Geschwindigkeit in die Erdatmosphäre eintritt, erhitzt er sich durch die Zusammenstöße mit den Luftmolekülen bis zur Weißglut und verdampft in der Regel schon in knapp 100 km Höhe. Die Luftmoleküle werden zum Leuchten angeregt, und das sehen wir als Meteorspur.

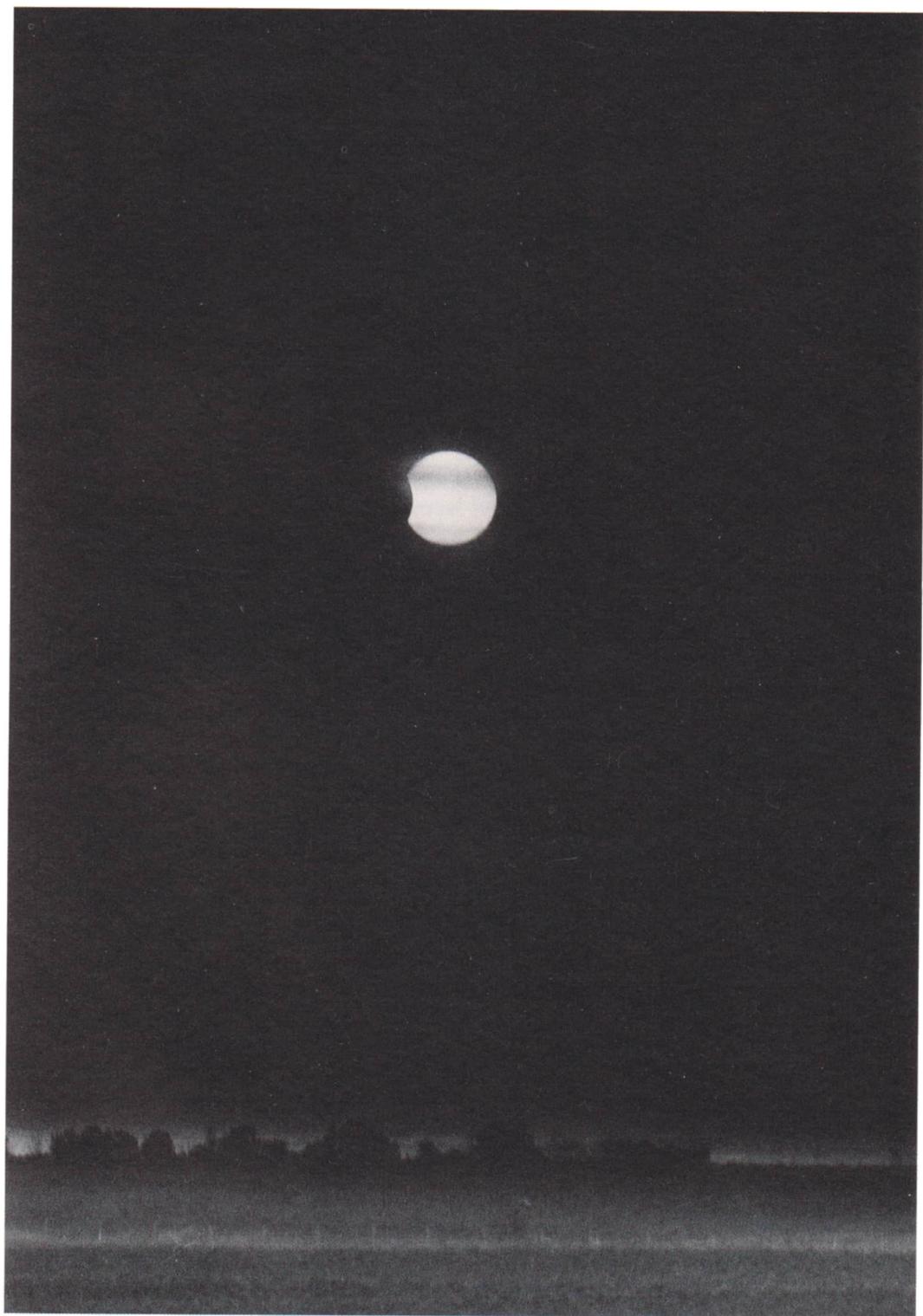
Die meisten Meteore sind in der zweiten Nachthälfte zu beobachten. Um das zu erklären, müssen wir ein Gedankenexperiment anstellen. Nehmen wir an, wir fahren bei Schneefall mit dem Auto. Auf welche Seite unseres Fahrzeugs – vorn, hinten, rechts oder links – werden bei schneller Fahrt die meisten

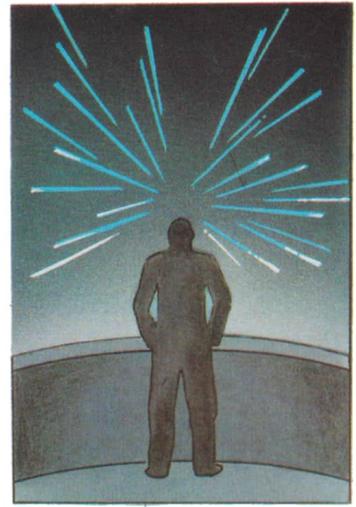
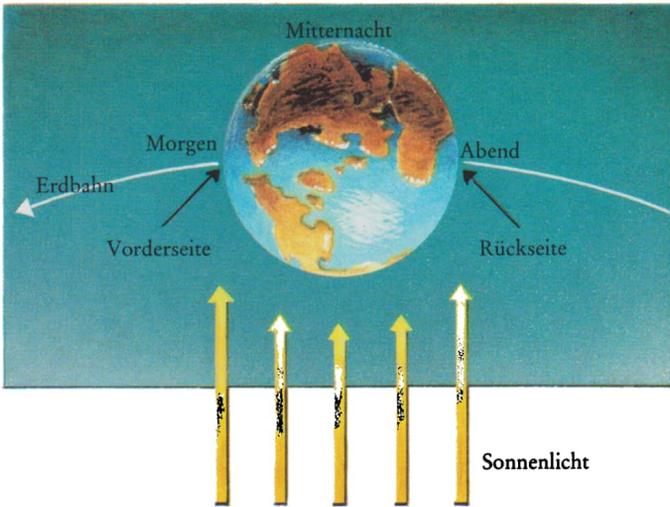
Bei Sonnenfinsternissen kann eine totale Verfinsternis der Sonne nur beobachtet werden, wenn sich der Beobachter in der Kernschattenzone des Mondschattens befindet. Diese ist aber auf der Erdoberfläche nur maximal 300 km breit, und auch die Halbschattenzone (von der aus man die Sonne teilverfinstert sieht) umfaßt keinesfalls die ganze Tagseite der Erde. Für einen bestimmten Ort auf der Erde tritt daher eine totale Sonnenfinsternis außerordentlich selten ein, und auch partielle Sonnenfinsternisse sind nicht häufig. Im Zeitraum von 1985 bis 2000 ereignen sich nur drei von Berlin aus sichtbare Sonnenfinsternisse:

| Datum        | Tageszeit   |
|--------------|-------------|
| 10. 5. 1994  | gegen Abend |
| 12. 10. 1996 | nachmittags |
| 11. 8. 1999  | vormittags  |

Die nächste für Berlin totale Sonnenfinsternis findet am 7. 10. 2135 statt.

22 Mit einem 4/200-Teleobjektiv fotografierte Christian Stolle am Abend des 30. Mai 1984 eine für Mitteleuropa partielle Sonnenfinsternis. Belichtungszeit ( $\frac{1}{100}$  s) und Filmempfindlichkeit (15 DIN) waren so gewählt, daß der Himmel auf dem Bild schon fast schwarz erscheint.





Schneeflocken auftreten? Natürlich auf die Vorderseite – und genauso geht es der Erde bei ihrer jährlichen Bahn um die Sonne. Die »Vorderseite« der Erde ist aber dort, wo die Sonne aufgeht, also am Osthimmel; wir kommen im Laufe der Nacht von der »Rückseite« auf die »Vorderseite« (Bild 23). Wenn man eine ganze Nacht lang die Meteore beobachtet, die am Osthimmel zu sehen sind, und dabei auf einer Strichliste registriert, in welcher Stunde die Erscheinung beobachtet wurde, kann man diese Zunahme der Meteorhäufigkeit leicht bestätigen.

23 Die meisten Meteoriten treffen von vorn auf die Erde. Das ist die Gegend, für die gerade die Sonne aufgeht.

Einige Male wächst im Laufe des Jahres die Meteorhäufigkeit stark an. Dies ist der Fall, wenn die Erde eine ganze Wolke von Meteoriten durchquert; wir sprechen dann von einem Meteorstrom.

24 Im Schneetreiben auf dem Aussichtsturm. Die Schneeflocken kommen scheinbar alle von einem Punkte her.

Zeichnet man bei der Beobachtung eines Meteorstroms die Bahnen der einzelnen Meteore in eine Sternkarte ein und verlängert sie nach rückwärts, dann erkennt man, daß die meisten dieser Bahnen von nahezu einem Punkte, dem Radianten des Meteorstroms, herzukommen scheinen.

Wie kann das sein? Stellen wir uns vor, wir stünden bei stürmischem Winterwetter auf der Plattform eines Aussichtsturmes, und der Wind bläst uns geradewegs ins Gesicht. Einzelne Schneeflocken huschen rechts und links vorbei und über uns hinweg. Wir haben dabei den deutlichen Eindruck (der sich verstärken läßt, wenn wir nur mit einem Auge beobachten), die Schneeflocken kämen von einem Punkte her und besäßen nach allen Seiten auseinanderlaufende Flugrichtungen. Wir können uns aber ohne weiteres davon überzeugen, daß die uns auf parallelen Bahnen entgegenfliegenden Flocken lediglich durch die Wirkung der Perspektive auseinanderzustreben scheinen (Bild 24). Der gleiche Effekt tritt auf, wenn die Erde durch eine Meteoritenwolke hindurchfliegt.

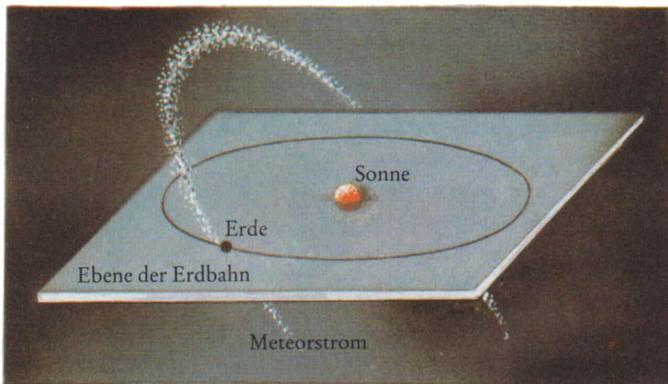
25 Eine Meteoritenwolke quert den Weg der Erde. Das gibt Sternschnuppen ...

Je geringer die Entfernung zwischen einem Meteor und seinem Radianten ist, desto langsamer scheint es sich zu bewegen. Auch das ist ein perspektivischer Effekt, denn die wahren Bahnen solcher Meteore weisen direkt auf den Beobachter.

Extrem helle oder gar von donnerähnlichem Geräusch begleitete Meteorerscheinungen heißen Feuerkugeln. Wenn wir eine Feuerkugel beobachten, notieren wir uns sofort den Anfangs- und den Endpunkt der Bahn und die Uhrzeit der Erscheinung. Falls im Verlaufe der Bahn Besonderheiten (Helligkeitsausbrüche, Verdoppelungen, nachleuchtende Schweife) auftreten, so ist das ebenfalls eine Notiz wert. Sternwarten sind für die Übermittlung derartiger Daten überaus dankbar. Sollten wir den Anfangspunkt der Bahn nicht kennen (vielleicht, weil wir erst später auf die Feuerkugel aufmerksam wurden) oder sollte der Endpunkt nicht beobachtbar sein (er könnte hinter Bäumen oder Häusern gelegen haben), so ist das kein Grund, die Mitteilung an eine Sternwarte zu unterlassen!

| Name des Stroms        | Radiant im Sternbild | Zeitspanne    | Maximum Rate am |     |
|------------------------|----------------------|---------------|-----------------|-----|
| Quadrantiden           | Bootes               | 2. 1.– 4. 1.  | 3. 1.           | 40  |
| Virginiden             | Jungfrau             | 1. 3.–10. 5.  | 9. 4.           | 5   |
| $\eta$ -Aquariden      | Wassermann           | 1. 5.–20. 5.  | 5. 5.           | 10  |
| Scorpius-Sagittariiden | Skorpion und Schütze | 1. 5.–30. 7.  | 15. 6.          | 8   |
| $\delta$ -Aquariden    | Wassermann           | 25. 7.–10. 8. | 3. 8.           | 10  |
| Perseiden              | Perseus              | 20. 7.–18. 8. | 12. 8.          | 60  |
| Cygniden               | Schwan               | 25. 7.– 8. 9. | 16. 8.          | 10  |
| Orioniden              | Orion                | 11.10.–30.10. | 20.10.          | 25  |
| Geminiden              | Zwillinge            | 8.12.–16.12.  | 12.12.          | 100 |

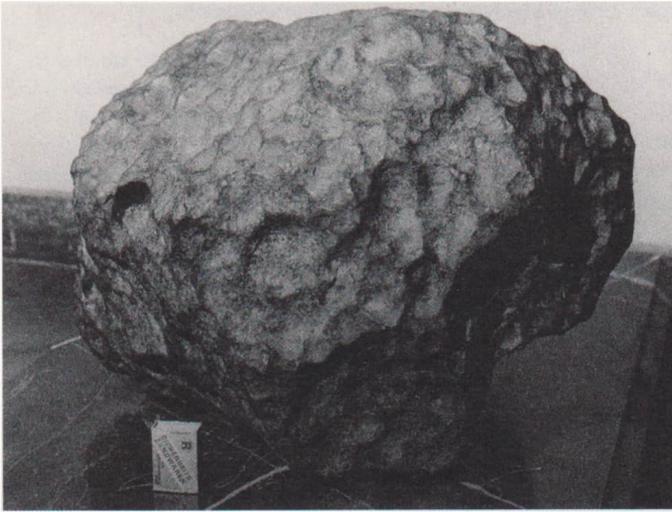
Quadrantiden und  $\eta$ -Aquariden treten vorwiegend nach Mitternacht auf. Bei den Scorpius-Sagittariiden ist der Tag des Maximums nicht genau bestimmbar; der hier angegebene 15.6. ist nur ein Näherungswert.



## Meteorströme

Wenn die Erde eine Meteoritenwolke durchquert, beobachten wir einen Meteorstrom. Haben sich die Meteorite gleichmäßig über eine Bahn um die Sonne verteilt (Bild 25), so häufen sich die Sternschnuppenfälle in jedem Jahr zur gleichen Zeit. Bilden dagegen die kosmischen Kleinkörper einen engbegrenzten Schwarm, so kommt es nur in den Jahren zu größeren Meteorhäufigkeiten, in denen Erde und Schwarm den Schnittpunkt ihrer Bahnen gleichzeitig durchlaufen. Solche »periodischen« Meteorströme sind z. B. die Andromediden und die Leoniden. Erstere entstanden bei dem Zerfall des Kometen Biela im Jahre 1852, sie sind aber gegenwärtig nicht zu beobachten. Die Leoniden dagegen sind Auflösungsprodukte des Kometen 1866 I und erzeugen alle 33 Jahre extrem hohe Meteorhäufigkeiten. (1965 und 1966 wurden bis zu 100 000 Leonidenmeteore pro Stunde beobachtet.)

Die nebenstehende Tabelle enthält einige permanente, d. h. jährlich wiederkehrende Meteorströme. Die Namen der Ströme sind meist von dem Sternbild abgeleitet, in dem sich der Radiant befindet. Allerdings verharrt ein Radiant nicht während der gesamten Aktivitätsdauer des Stroms an der gleichen Stelle. Das ist durch die Bewegung der Erde in ihrer Jahresbahn um die Sonne leicht erklärlich. Die dritte Spalte enthält die Gesamtdauer, während der Meteore des betreffenden Stroms beobachtet werden, die vierte Spalte den Tag der größten Aktivität. In der fünften Spalte steht die Zahl der Meteore, die pro Stunde unter günstigen Bedingungen von einem Beobachter (der ja nicht den ganzen Himmel übersehen kann) zu registrieren sind.



26 Dieser Eisenmeteorit mit 195 kg Masse fiel im Jahre 1930 in Namibia zur Erde. Heute kann er in der Volksternwarte in Radebeul bei Dresden bestaunt werden. Dort fotografierte Heinz Böhm den Boten aus dem Weltall.

27 Künstliche Himmelskörper senden kein eigenes Licht aus. Wir können sie nur sehen, solange sie von der Sonne beschienen sind.

## Wege von Raumfahrzeugen

Meteore erscheinen uns als pfeilschnelle Lichtbahnen am Himmel. Sie sind selten länger als eine Sekunde sichtbar. Wenn wir dagegen einen sich ganz langsam bewegenden leuchtenden Punkt beobachten, dann kann es sich nur um einen künstlichen Erdsatelliten, z. B. eine die Erde umlaufende Raumstation, handeln. Da künstliche Himmelskörper kein eigenes Licht ausstrahlen, sehen wir sie nur im reflektierten Licht der Sonne. Sie müssen sich also außerhalb des Erdschattens befinden, und für den Beobachter muß die Sonne bereits unter- oder noch nicht aufgegangen sein. Sterne kann man ohne optische Hilfsmittel am Tage nicht sehen, da dann die beleuchtete Erdatmosphäre alles überstrahlt; das gilt auch für den kleinen künstlichen Stern. Der Beobachter im Bild 27 kann nur das besonders markierte Stück der Satellitenbahn zwischen seinem Horizont und dem Erdschatten übersehen.

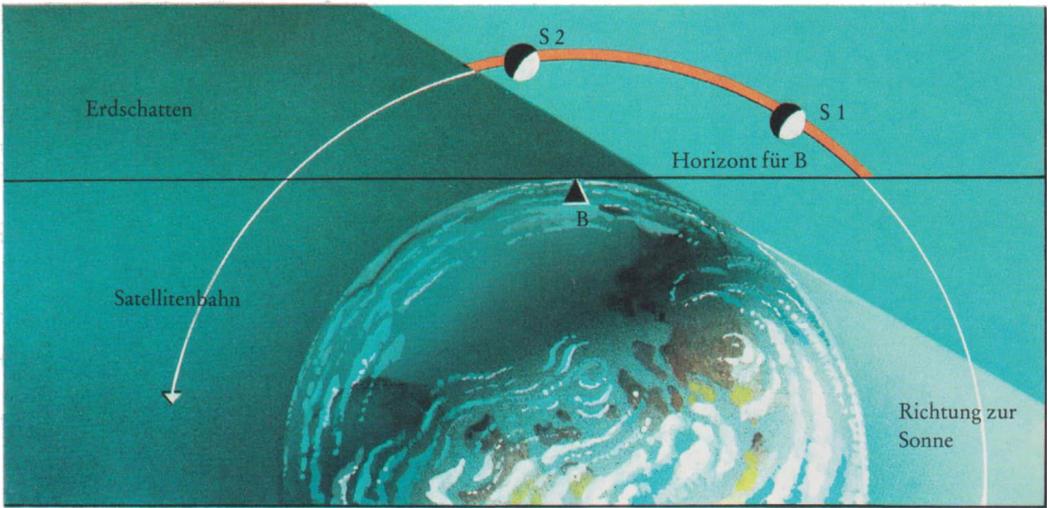
Unser Bild setzt voraus, daß die Satellitenbahn durch den Zenit des Beobachtungsortes verläuft. Ist das nicht der Fall, so gestaltet sich die Bestimmung der Sichtbarkeit weitaus komplizierter.

Beim Verfolgen der Bahn eines künstlichen Himmelskörpers achten wir auf Helligkeitsänderungen. Sie können drei Gründe haben. Regelmäßige Helligkeitsschwankungen entstehen, wenn ein nicht kugelförmiger Satellit rotiert und dem Beobachter dabei abwechselnd eine größere und eine kleinere Fläche zuwendet. Eine allmähliche Helligkeitszunahme rührt daher, daß der Beobachter (wie im Bild 27) zunächst vorwiegend auf die unbeleuchtete Seite des Satelliten blickt und daß im Verlaufe der Weiterbewegung des Satelliten (von  $S_1$  nach  $S_2$ ) immer mehr von der beleuchteten Seite für den Beobachter

## Erdsatelliten

Seit dem 4. Oktober 1957, an dem der erste von Menschen erbaute künstliche Himmelskörper, der sowjetische Testsatellit »Sputnik 1«, auf seine Bahn gebracht wurde, haben vielgestaltige Raumfahrtunternehmen das Interesse der Öffentlichkeit beansprucht. Zu den Test-, Anwendungs- und Meßsatelliten haben sich bemannte Raumstationen, Raumtransporter, Mond- und Planetensonden gesellt, und längst ist der Start eines »gewöhnlichen« Erdsatelliten keine Angelegenheit zum Aufregen mehr.

Künstliche Himmelskörper, die die Erde umlaufen, können unter günstigen Umständen ohne spezielle Hilfsmittel beobachtet werden. (Mond- und Planetensonden entziehen sich wegen ihrer Lichtschwäche jeder optischen Beobachtung!) Entscheidend für die Sichtbarkeit sind die Höhe der Bahn über der Erdoberfläche, die Größe und Beschaffenheit der das Sonnenlicht reflektierenden Oberfläche des Raumflugkörpers, die geographische Breite des Beobachtungsortes, die jahreszeitliche Änderung des Sonnenstandes und



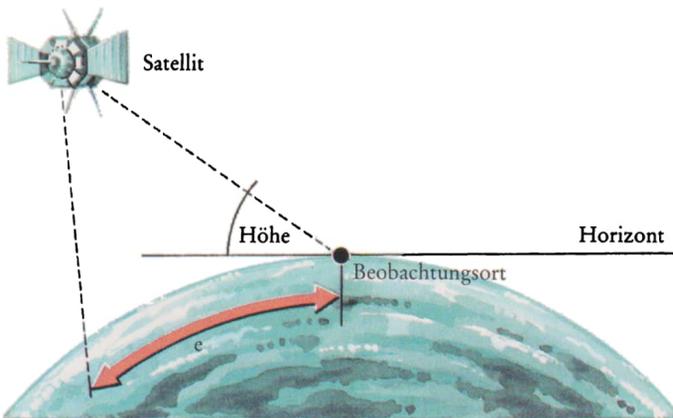
sichtbar wird. Ein rasches Unsichtbarwerden des Satelliten ist beim Eintauchen in den Erdschatten zu erwarten. Auch die Entfernung Satellit-Beobachter, die sich während des Überfluges beträchtlich ändert, beeinflusst die Helligkeit des künstlichen Sternchens.

| Entfernung<br>in km | Höhe über dem Horizont für eine Bahnhöhe<br>des Satelliten von |        |         |         |
|---------------------|--|--------|---------|---------|
|                     | 250 km   | 500 km | 1000 km | 1500 km |
| 0                   | 90°  | 90°    | 90°     | 90°     |
| 100                 | 68   | 73     | 84      | 86      |
| 200                 | 50   | 58     | 76      | 80      |
| 500                 | 25   | 32     | 58      | 67      |
| 1000                | 9  | 13     | 38      | 48      |
| 2500                | -  | -      | 9       | 17      |

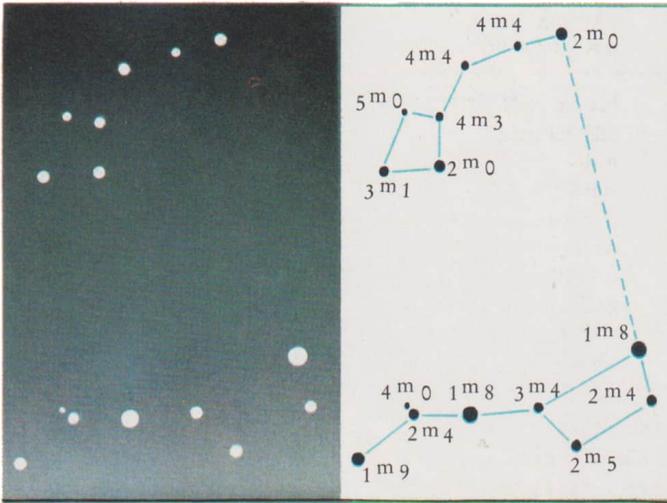
die Lage der Bahn zum Erdäquator.

Nun muß ein Erdsatellit nicht unbedingt den Zenit unseres Beobachtungsortes durchlaufen, damit wir ihn sehen können. Es ist wie mit einem Flugzeug: Je höher der Satellit fliegt, aus desto größerer Entfernung ist er sichtbar. In nebenstehender Tabelle wird die Höhe über dem Horizont (in Grad) genannt, in der wir den Satelliten sehen, wenn er sich im Zenit eines von uns entfernten Ortes befindet (Bild 28).

In Flughöhen unter 250 km werden die Bahnen durch die oberen Schichten der Erdatmosphäre noch derart beeinflusst, daß die auf ihnen befindlichen Raumflugkörper nur eine geringe Lebensdauer haben.



28 Je höher der Satellit fliegt, desto weiter ist er zu sehen.



29 Die »Helligkeitszensuren« der Sterne des Großen und des Kleinen Wagens

### Ferne Sonnen

Unsere »Astronomie ohne Fernrohr« begann mit dem Gnomon und mit freihändigen Winkelmessungen an Sternen. Zum Schluß dieses Abschnitts kommen wir noch einmal auf die Sterne zurück.

Wenn wir aufmerksam hinschauen, können wir feststellen, daß die hellsten Sterne des Himmels in unterschiedlichen Farben leuchten. Die Ursache dafür sind die unterschiedlichen Oberflächentemperaturen dieser riesigen Gaskugeln.

Bei dieser Beobachtung müssen wir eine Fehlerquelle berücksichtigen und nach Möglichkeit ausschließen, mit der die Astronomen oft zu rechnen haben. Die Atmosphäre unserer Erde verfälscht die Farbe des Sternlichts. Wenn der darin verlaufende Lichtweg sehr lang ist – der Stern also eine geringe Höhe über dem Horizont hat – oder wenn es sehr dunstig ist, können selbst bläuliche Sterne dem Beobachter rötlich erscheinen. Wir dürfen also nur bei sehr klarem Himmel beobachten und sollten Sterne, die sich weniger als 30° über dem Horizont befinden, bei der Beurteilung der Farbe außer acht lassen.

Leider läßt sich nur bei den hellsten Sternen eine Färbung erkennen. Das liegt an der geringen Empfindlichkeit der Netzhautzapfen in unserem Auge. Sie und die Stäbchen nehmen die Lichtreize auf und leiten sie an den Sehnerv weiter, dabei sind die Stäbchen für das Hell-Dunkel-Sehen und die Zapfen für die Farbwahrnehmung verantwortlich. Wegen der viel größeren Zahl und der größeren Empfindlichkeit der Stäbchen funktioniert das Hell-Dunkel-Sehen schon bei geringen Lichtintensitäten. Die Zapfen jedoch benötigen eine weit größere Mindestlichtstärke, um überhaupt anzusprechen. Diese Schwelle wird aber nur vom Licht der helleren Sterne überschritten:

### Sterne

Nicht jeder Stern hat einen eigenen Namen. Wohl haben die arabischen Astronomen vor mehr als einem Jahrtausend vielen Sternen Eigennamen verliehen, aber davon sind nur noch wenige in Gebrauch. Wir benutzen heute weiterhin eine Bezeichnungsweise, die auf Johann Bayer (1572–1625) zurückgeht: die Kombination eines griechischen oder lateinischen Buchstabens mit dem Genitiv des lateinischen Sternbildnamens. So heißt der helle Stern *Spika* im Sternbild Jungfrau  $\alpha$  *Virginis* (von Virgo, die Jungfrau; eigentlich also »Stern  $\alpha$  der Jungfrau«), Alkor (der »Augenprüfer« im Großen Bären) *g Ursae Maioris* und der Stern im Schwan, an dem im Jahre 1838 die erste Sternentfernung gemessen wurde, *61 Cygni*. Wie das letzte Beispiel zeigt, kommen also auch Zahlen statt Buchstaben vor. In der wissenschaftlichen Literatur stehen meist Abkürzungen an Stelle der Sternbildnamen:  $\alpha$  *Vir*, *g UMa*, *61 Cyg*.

Sterne sind riesige Gaskugeln großer Masse und sehr hoher Temperatur, die in ihrem Innern Kernenergie freisetzen und diese Energie abstrahlen. Die Farbe der

| Name des Sterns | Im Sternbild | Färbung des Sternlichtes |
|-----------------|--------------|--------------------------|
| Spica           | Jungfrau     | bläulichweiß             |
| Regulus         | Löwe         | bläulichweiß             |
| Wega            | Leier        | weiß                     |
| Deneb           | Schwan       | weiß                     |
| Kastor          | Zwillinge    | weiß                     |
| Atair           | Adler        | weiß                     |
| Prokyon         | Kleiner Hund | gelblich                 |
| Kapella         | Fuhrmann     | gelblich                 |
| Arktur          | Bootes       | rötlich                  |
| Aldebaran       | Stier        | rötlich                  |

Strahlung ist abhängig von der Temperatur der oberflächennahen Schichten des Sterns:

| Farbe des Sternlichtes | Temperatur an der Sternoberfläche |
|------------------------|-----------------------------------|
| bläulich               | 25 000 K                          |
| bläulichweiß           | 15 000 K                          |
| weiß                   | 9 000 K                           |
| gelblichweiß           | 7 000 K                           |
| gelblich               | 6 000 K                           |
| gelborange             | 4 000 K                           |
| rötlich                | 2 500 K                           |

Diese Tabelle enthält eine Reihe heller Sterne, die so große Höhen über dem Horizont erreichen können, daß ihre Farben ohne atmosphärische Beeinträchtigungen erkennbar sind. Mit den Farben haben wir, wenn auch ganz grob, die Oberflächentemperaturen der Sterne bestimmt und damit durch bloßes Hinschauen eine astrophysikalische Beobachtung vorgenommen.

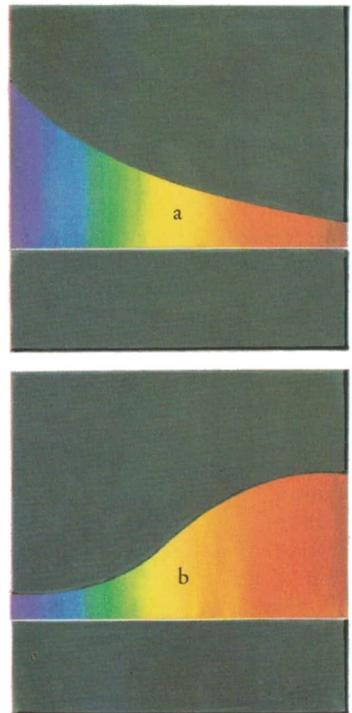
Auch die Helligkeiten, in denen uns die Sterne erscheinen, weisen Unterschiede auf. Diese Unterschiede sind weit deutlicher wahrzunehmen als die Farbunterschiede.

Bei den Sternen des Großen und des Kleinen Wagens fallen die Helligkeitsunterschiede besonders auf, denn unter ungünstigen Sichtbedingungen ist oft der Kleine Wagen gar nicht als »Wagen« erkennbar. Der Polarstern und die »Hinterräder« sind dann gerade noch sichtbare Reste des Sternbildes. Wir skizzieren beide Sternbilder und numerieren die Sterne in der Reihenfolge ihrer Helligkeit von 1 bis 14.

Einen Eindruck von der Häufigkeit der Sterne mit unterschiedlichen scheinbaren Helligkeiten vermittelt die folgende Beobachtung: Wir wählen uns einen bestimmten Himmelsausschnitt und zählen alle 20 Minuten, von Sonnenuntergang an gerechnet, die Sterne, die wir dort sehen können. Das Ergebnis wird in eine Tabelle eingetragen:

| Zeit nach Sonnenuntergang | Anzahl der Sterne | Zeit nach Sonnenuntergang | Anzahl der Sterne |
|---------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|
| 0 h 20 min                |                   | 1 h 20 min                |                   |
| 0 h 40 min                |                   | 1 h 40 min                |                   |
| 1 h 00 min                |                   | 2 h 00 min                |                   |

Dabei wird sich zeigen, daß mit zunehmender Dunkelheit die Zahl der mit dem bloßen Auge erkennbaren Sterne wächst, aber nicht gleichmäßig. Es gibt nämlich viel mehr schwache Sterne als solche mit großer scheinbarer Helligkeit!



30 Ein Überschuß von rotem oder blauem Licht läßt den Stern rötlich oder bläulich erscheinen. Bei weißen Sternen ist die Bilanz ausgeglichen.

Sternbilder

(Der Punkt unter der Silbe gibt die Betonung an.)

| Deutscher Name    | Lateinischer Name | Lateinischer Genitiv | Abkürzung |
|-------------------|-------------------|----------------------|-----------|
| Achterdeck        | Puppis            | Puppis               | Pup       |
| Adler             | Äquila            | Äquiliae             | Aql       |
| Andromeda         | Andromeda         | Andromedae           | And       |
| Becher            | Crater            | Crateris             | Crt       |
| Bootes            | Bootes            | Boötis               | Boo       |
| Cepheus           | Cepheus           | Cephei               | Cep       |
| Delphin           | Delphinus         | Delphini             | Del       |
| Drache            | Draco             | Draconis             | Dra       |
| Dreieck           | Triangulum        | Trianguli            | Tri       |
| Eidechse          | Lacerta           | Lacertae             | Lac       |
| Einhorn           | Monoceros         | Monocerotis          | Mon       |
| Eridanus          | Eridanus          | Eridani              | Eri       |
| Fische            | Pisces            | Piscium              | Psc       |
| Füchlein          | Vulpecula         | Vulpeculae           | Vul       |
| Fuhrmann          | Auriga            | Aurigae              | Aur       |
| Giraffe           | Camelopardalis    | Camelopardalis       | Cam       |
| Großer Bär        | Ursa Maior        | Ursae Maioris        | UMa       |
| Großer Hund       | Canis Maior       | Canis Maioris        | CMA       |
| Haar der Berenike | Coma (Berenices)  | Comae (Berenices)    | Com       |
| Hase              | Lepus             | Leporis              | Lep       |
| Herkules          | Hercules          | Herculis             | Her       |
| Jagdhunde         | Canes Venatici    | Canum Venaticorum    | CVn       |
| Jungfrau          | Virgo             | Virginis             | Vir       |
| Kassiopeia        | Cassiopeia        | Cassiopeiae          | Cas       |
| Kleiner Bär       | Ursa Minor        | Ursae Minoris        | UMi       |
| Kleiner Hund      | Canis Minor       | Canis Minoris        | CMi       |
| Kleiner Löwe      | Leo Minor         | Leonis Minoris       | LMi       |
| Krebs             | Cancer            | Cancri               | Cnc       |
| Leier             | Lyra              | Lyrae                | Lyr       |
| Löwe              | Leo               | Leonis               | Leo       |
| Luchs             | Lynx              | Lyncis               | Lyn       |
| Nördliche Krone   | Corona Borealis   | Coronae Borealis     | CrB       |
| Orion             | Orion             | Oriónis              | Ori       |
| Pegasus           | Pegasus           | Pegasi               | Peg       |
| Perseus           | Perseus           | Persei               | Per       |
| Pfeil             | Sagitta           | Sagittae             | Sge       |
| Pferdchen         | Equuleus          | Equulei              | Equ       |
| Rabe              | Corvus            | Corvi                | Crv       |
| Schild            | Scutum            | Scuti                | Sct       |
| Schlange          | Serpens           | Serpentis            | Ser       |
| Schlangenträger   | Ophiuchus         | Ophiuchi             | Oph       |
| Schütze           | Sagittarius       | Sagittarii           | Sgr       |
| Schwan            | Cygnus            | Cygni                | Cyg       |
| Sextant           | Sextans           | Sextantis            | Sex       |
| Skorpion          | Scorpius          | Scorpii              | Sco       |
| Steinbock         | Capricornus       | Capricorni           | Cap       |

Natürlich senden die Sterne kein einfarbiges Licht aus, sondern eine Mischung aus verschiedenfarbigen Lichtarten. Weißes Licht ist ja auch aus allen Regenbogenfarben zusammengesetzt. Daß ein rötlicher Stern von uns so wahrgenommen wird, liegt an dem relativ hohen roten Anteil in seinem Gesamtlicht; bläuliche Sterne haben einen überdurchschnittlich hohen blauen Anteil in ihrem Licht (Bild 30).

Die Unterschiede in den Helligkeiten, in denen uns die Sterne am Himmel erscheinen, haben drei Ursachen. Zunächst sind da die unterschiedlichen Entfernungen der Sterne von der Erde zu nennen; von zwei gleich starken Lichtquellen erscheint einem Beobachter ja die weiter entfernte immer schwächer als die nähergelegene. Dann muß darauf verwiesen werden, daß die Sterne »an sich« unterschiedlich hell sind, d.h., sie weisen Unterschiede in den abgebenen Strahlungsleistungen auf. Und schließlich müssen wir in Rechnung stellen, daß der Weltraum nicht leer ist, sondern daß sich Gas- und Staubmassen zwischen den Sternen befinden. Sternlicht, das auf dem Wege zu uns solche Staubmassen durchdringen muß, wird geschwächt.

Die von uns beobachtete Helligkeit eines Sterns nennen wir seine *scheinbare Helligkeit*. Maßeinheit für die scheinbare Helligkeit ist die *Größenklasse*, die man sich als eine Art »Zensur« für die Helligkeit vorstellen kann. Die hellsten Sterne erhalten die »1«, die gerade noch mit dem bloßen Auge sichtbaren die »5« oder gar die »6«. Diese Skala ist schon seit dem Altertum in Gebrauch. Da sie sich im Laufe der Zeit als zu ungenau erwiesen hatte, wurde sie auf Null und negative Werte erweitert. Zwischenwerte wurden eingefügt, und mit zunehmender Leistungs-

| Deutscher Name | Lateinischer Name | Lateinischer Genitiv | Abkürzung |
|----------------|-------------------|----------------------|-----------|
| Stier          | Taurus            | Tauri                | Tau       |
| Waage          | Libra             | Librae               | Lib       |
| Walfisch       | Cetus             | Ceti                 | Cet       |
| Wassermann     | Aquarius          | Aquarii              | Aqr       |
| Wasserschlange | Hydra             | Hydrae               | Hya       |
| Widder         | Aries             | Arietis              | Ari       |
| Zwillinge      | Gemini            | Geminorum            | Gem       |

fähigkeit der Fernrohre kamen auch höhere positive Werte hinzu. »Größenklasse« heißt lateinisch »magnitudo«; so erklärt sich die Schreibweise 1<sup>m</sup>, 2<sup>m</sup> für Sterne erster bzw. zweiter Größenklasse usw. Für die Zwischenwerte gibt es eine besondere Schreibung: 1<sup>m</sup>,5 bedeutet 1,5 Größenklassen. Diese Schreibweise ist in der Astronomie weit verbreitet.

## Die Sterne auf die Platte bannen

Visuelle Beobachtungen, d. h. Beobachtungen mit dem Auge, mit und ohne Fernrohr, machen viele Schönheiten des gestirnten Himmels zugänglich und liefern interessante Erkenntnisse. Sie sind jedoch nicht wiederholbar; ihre Ergebnisse können im allgemeinen durch spätere Beobachtungen nicht nachgeprüft werden. Die unaufhörlichen Bewegungen der Himmelskörper schaffen ja immer wieder neue Konstellationen.

Das ist einer der Gründe, weshalb die Astronomen schon vor vielen Jahrzehnten dazu übergegangen sind, ihre Beobachtungen fotografisch auszuführen. Auch in der Amateurastronomie spielt die Himmelfotografie heute eine beachtliche Rolle. Sie kann ohne sonderlich großen Aufwand betrieben werden. Für den Anfang braucht man nicht einmal ein Fernrohr, es genügt eine handelsübliche Kleinbildkamera. (Nur die allereinfachsten »Anfängerkameras« sollten wir nicht verwenden, ihre Objektive sind zu lichtschwach.)

### Sternspuren

Wir befestigen unsere auf Unendlich eingestellte Kamera mit voll geöffneter Blende starr auf einem Stativ und richten sie zum Himmelsnordpol. Die Belichtungszeit wird auf die Marke »B« eingestellt. Dann wird belichtet, am besten mit einem Drahtauslöser mit Feststellvorrichtung. (Bei den meisten Kameras geht der Verschluss sofort wieder zu, wenn man bei der Einstellung »B« den Auslöseknopf losläßt.) Als Filmmaterial sollten wir den empfindlichsten Film wählen, dessen wir habhaft werden können. Die Belichtungszeit kann je nach Umgebungs- und Himmelhelligkeit zwischen 3 und 30 Minuten liegen. Wenn wir länger als 10 Minuten belichten, decken wir 5 Minuten nach Beginn der Aufnahme das Objektiv für eine Zeitdauer von 4 Minuten vorsichtig ab, ohne die Stellung der Kamera zu verändern.

### Zirkumpolarsterne

Aufnahmen der Himmelsregion um den Polarstern mit stillstehender Kamera zeigen sehr deutlich, daß die Erde rotiert. Sie zeigen aber auch, daß keinesfalls alle Sterne täglich auf- und untergehen, wie Sonne und Mond. Gerade die in unmittelbarer Umgebung des Himmelsnordpols befindlichen Sterne beschreiben ja viel zu kleine Kreise um den Pol, sie erreichen den Horizont gar nicht. Solche Sterne nennt man Zirkumpolarsterne. Sie befinden sich immer über dem Horizont,



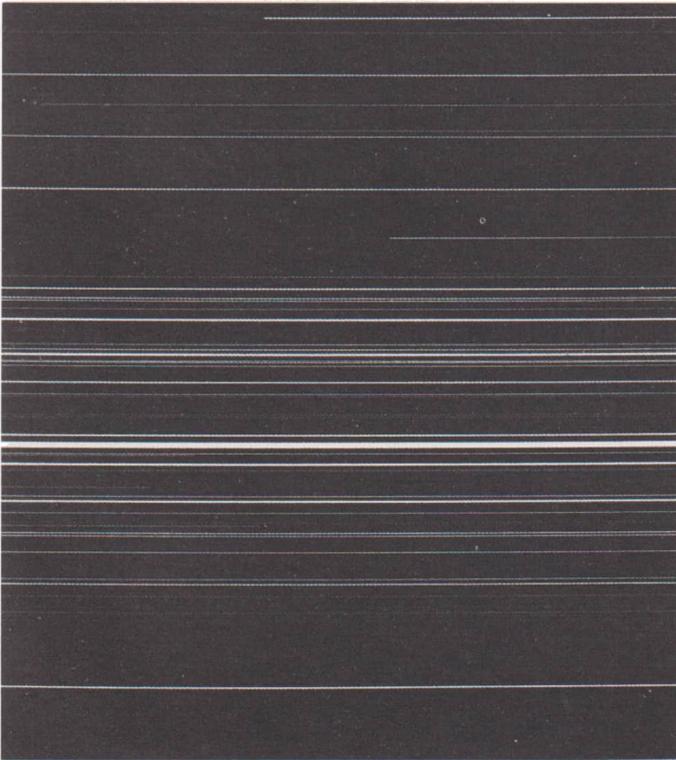
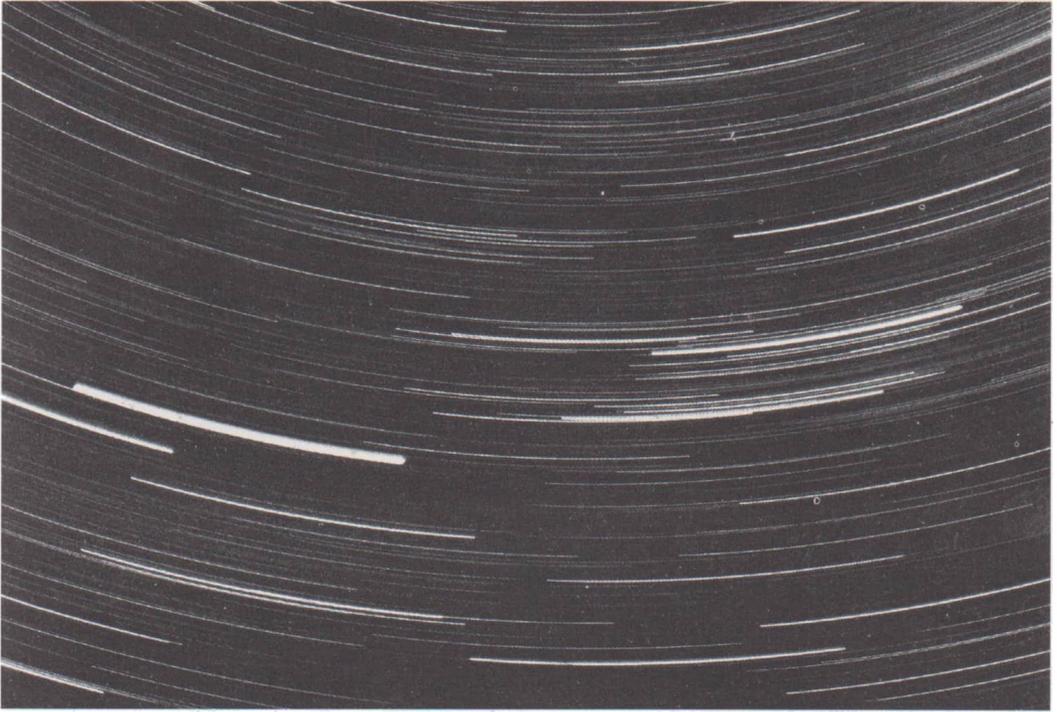
Auf den Bildern, die wir zweckmäßigerweise auf hartes oder extrahartes Papier vergrößern, sehen wir die Spuren der Sterne, die sich während der Aufnahme scheinbar um den Himmelsnordpol bewegen. Es läßt sich auch feststellen, daß der Polarstern nicht genau im Himmelsnordpol steht, sonst wäre er als Punkt abgebildet worden. Da sich die Erde in 4 Minuten um  $1^\circ$  dreht, muß die Unterbrechung der Spuren genau einem Winkel von  $1^\circ$  entsprechen. Die Sternspuren sind Kreisbögen um den Himmelsnordpol (Bild 6).

Wenn wir andere Gebiete des Himmels in gleicher Weise fotografieren wollen, dürfen wir nicht so lange belichten wie bei Polaufnahmen. Sternspuraufnahmen des Südhimmels sollten nur maximal 15 bis 20 Minuten belichtet werden.

Aus den Vergrößerungen lassen sich auf einfache Weise recht genaue Sternkarten herstellen. Zu diesem Zweck durchstechen wir die Endpunkte der Spuren mit einer Nadel. Der Lochdurchmesser soll mit der Dicke der jeweiligen Spur übereinstimmen. Legen wir dann in der Dunkelkammer diese Lochschablone über ein gleich großes Blatt Fotopapier und belichten, so erhalten wir eine Sternkarte, auf der die Sterne als schwarze Punkte auf weißem Grund erscheinen. Darauf sind – bei Verwendung höchstempfindlichen Films und eines lichtstarken Kameraobjektivs – nicht nur die mit dem bloßen Auge in der betreffenden Himmelsgegend sichtbaren Sterne abgebil-

gehen niemals unter und sind demzufolge in jeder klaren Nacht zu sehen.

Der Bereich der Zirkumpolarsterne ist unterschiedlich groß, je nachdem, an welcher Stelle der Erde sich der Beobachter befindet. Genaugenommen entscheidet die geographische Breite des Beobachtungsortes darüber, denn die Höhe des Pols über dem Nordhorizont ist für jeden Beobachtungsort genauso groß wie die geographische Breite dieses Ortes. Für Berlin beträgt die geographische Breite  $\varphi = 52,5^\circ$ . Sterne, die  $52,5^\circ$  vom Himmelsnordpol entfernt sind, berühren also, von Berlin aus gesehen, an der tiefsten Stelle ihrer täglichen Bahn um den Pol gerade den (mathematischen) Horizont. Sterne mit  $53^\circ$  Polabstand gehen für einen Beobachter in Berlin auf und unter – wenn auch ihr unter dem Horizont verlaufendes Bahnstück winzig klein ist.



31 Die kurze Belichtungszeit von weniger als einer Minute läßt auf dieser Sternspuraufnahme noch alle Sterne punktförmig erscheinen.

32, 33 Das sind Sternspuraufnahmen, die den Pulsschlag eines Sternfreundes beschleunigen! Der helle Stern im oberen Bild ist Kapella; das Foto wurde eine halbe Stunde lang belichtet. Auf dem Bild unten sind die Spuren der hellen Plejadensterne am Südbimmel (wo die Bahnen fast waagerecht verlaufen) zu sehen. Hier betrug die Belichtungszeit 28 Minuten. Beide Bilder wurden mit Teleoptik auf 27-DIN-Film von Karlbeinz Müller aufgenommen.

det, sondern auch weit lichtschwächere bis zur 8. oder sogar bis zur 9. Größenklasse.

Sternspuraufnahmen können auch so kurz belichtet werden, daß die entstehenden Spuren noch nicht von einem kleinen Kreisscheibchen zu unterscheiden sind. Hierbei muß aber der Abstand der betreffenden Himmelsregion vom Himmelsnordpol einkalkuliert werden. Bei einer Normalobjektivkamera (Brennweite  $f = 50$  mm, volle Blendenöffnung) gelten folgende maximale Belichtungszeiten:

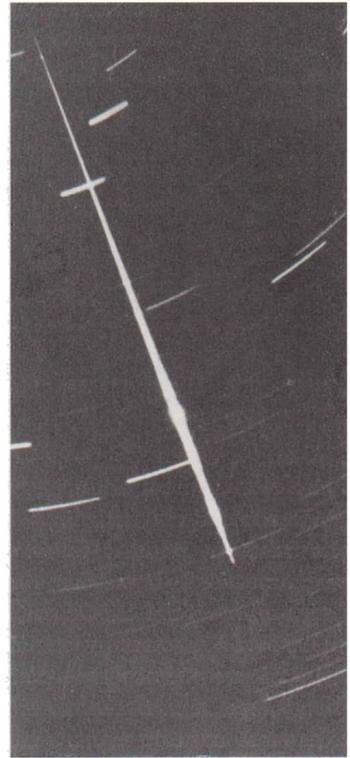
| Abstand vom Himmelsnordpol | Belichtungszeit maximal | Abstand vom Himmelsnordpol | Belichtungszeit maximal |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 10°                        | 48 s                    | 50°                        | 11 s                    |
| 20°                        | 24 s                    | 70°                        | 9 s                     |
| 30°                        | 16 s                    | 90°                        | 8 s                     |
| 40°                        | 13 s                    | 110°                       | 9 s                     |

Bild 31 ist eine nur 48 Sekunden belichtete Sternspuraufnahme der Polgegend. Sie zeigt in der unmittelbaren Umgebung des Pols punktförmige Sterne.

Auch mit diesem Verfahren lassen sich Sterne bis zur 8., in günstigen Fällen (Polnähe) bis zur 10. Größenklasse erfassen. Wer seine Filme nicht selbst entwickeln und vergrößern kann, muß auf jeden Fall im Fotogeschäft darauf hinweisen, daß die Sterne nur mit der Lupe zu erkennen sind. Es soll schon vorgekommen sein, daß solche Aufnahmen gar nicht mit vergrößert wurden, weil »da doch nichts drauf« sei! Glückliche Besitzer einer eigenen Dunkelkammerausrüstung haben derartige Probleme nicht.

Bei Sternspuraufnahmen können wir nicht damit rechnen, durch längere Belichtung mehr und schwächere Sterne auf den Film zu bekommen. Die vom Kameraobjektiv entworfenen Sternbildchen bewegen sich ja über den Film hinweg, und jeder Punkt des Films wird nur eine bestimmte Zeitlang vom Licht eines Sterns getroffen. Aber da gibt es Unterschiede: Je geringer der Abstand eines Sterns vom Himmelsnordpol ist, desto langsamer ist die Bewegung seines Abbildes auf dem Film. Deshalb steht den polnahen Sternen erheblich mehr Zeit zur Verfügung, die betreffenden Stellen des Films zu belichten, als den polfernen. Die Folge ist, daß wir auf den Aufnahmen von polnahen Gebieten noch erheblich schwächere Sterne finden als auf den Aufnahmen des Südhimmels. Das ist beim Vergleich von Sternkarten, die mittels Sternspuraufnahmen gewonnen wurden, zu beachten.

Auch Farb-Umkehrfilme eignen sich als Aufnahmematerial für Sternspuraufnahmen. Hochempfindliches Aufnahmematerial und eine lichtstarke Kamera liefern Bilder, die die Farben der Sterne deutlicher zeigen als eine visuelle Beobachtung.



Für Orte, die sich auf höheren geographischen Breiten als Berlin befinden, ergibt sich demnach ein größerer Kreis von Zirkumpolarsternen, denn dort steht ja der Himmelspol auch höher über dem Horizont. In Leningrad beträgt die Polhöhe 60°, folglich sind da alle Sterne mit Polabständen bis zu 60° zirkumpolar. Das Gegenbeispiel ist Rom: Nur die Sterne in einem Kreis um den Pol mit 42° Radius können für dortige Beobachter des Sternhimmels niemals untergehen.

Welche Sterne und Sternbilder für Mitteleuropa zirkumpolar sind, kann sehr einfach mit Hilfe der drehbaren Sternkarte festgestellt werden. Wir schlagen einen Kreis um den Himmelsnordpol, dessen Radius die Strecke Pol-Nordpunkt ist. Die zirkumpolaren Sternbilder liegen innerhalb dieses Kreises.



### Der Trick mit der Nachführung

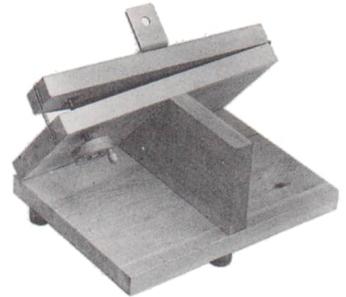
Langbelichtete Himmelsaufnahmen, auf denen sich die Sterne so abbilden, wie sie mit bloßem Auge oder im Fernrohr zu sehen sind, also als leuchtende Punkte, sind schwieriger anzufertigen. Man muß dazu die Kamera während der Aufnahme ganz langsam bewegen, so daß sie der scheinbaren Drehung des Sternhimmels folgt. Das ist natürlich nicht aus freier Hand oder mit einem normalen Fotostativ zu bewerkstelligen; wir benötigen in diesem Falle eine spezielle Kameramontierung. Die nachfolgend beschriebene, von dem Prager Astronomen Antonin Růkl empfohlene Montierung kann mit ein wenig handwerklichem Geschick selbst gebaut werden.

#### Benötigte Materialien:

- 4 Brettchen (die Maße sind, mit einer Ausnahme, die Teil 3 betrifft, beliebig)
  - 1 Stück Scharnierband oder 2 kleine Scharniere
  - 1 lange Schraube mit abgerundetem Ende sowie 1 dazu passende Schraubenmutter
  - 1 kleiner Gummiring
  - 1 Haltewinkel aus Metall
  - Kleinteile (Holzschrauben, Nägel usw.).
- Bild 35 zeigt, wie die Teile zurechtgesägt und miteinander

34 Die Sternspuraufnahme der Volkssternwarte in Radebeul wurde durch ein belles Meteor verzerrt.

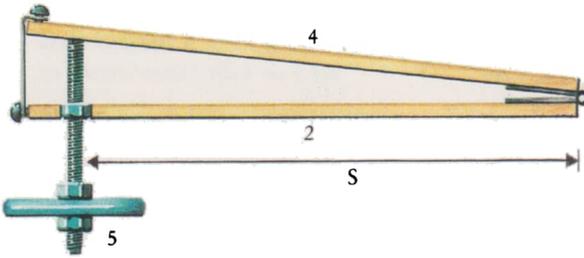
35 Diese Nachführeinrichtung für Himmelsaufnahmen ist leicht herzustellen.



### Langzeitbelichtung

Himmelsaufnahmen, bei denen die Kamera der scheinbaren Bewegung des Himmels nachgeführt wird, unterscheiden sich in mehreren Punkten ganz wesentlich von den herkömmlichen Fotos: Die Objekte sind extrem lichtschwach und zumeist absolut punktförmig. Die meisten Sterne auf einer 5 min lang belichteten Aufnahme sind ja mit dem bloßen Auge gar nicht zu sehen. Wegen ihrer geringen Helligkeiten brauchen wir diese extrem langen Belichtungszeiten.

Die letztgenannte Besonderheit verlangt die Beachtung eines fotografischen Effekts, der in der »Alltagsfotografie« praktisch keine Rolle spielt. Es ist der Schwarzschild-Effekt, benannt nach seinem Entdecker, dem deutschen Astrophysiker Karl Schwarzschild



verbunden werden. Teil 3 muß besonders beachtet werden: Der Winkel  $\varphi$  ist so groß zu wählen, wie die geographische Breite unseres Beobachtungsortes (für Berlin also  $52,5^\circ$ ) beträgt. Und nun kommt das Wichtigste: Wir bestimmen mit einer Lupe für unsere lange Schraube die Anzahl  $n$  der Gewin-

(1873–1916), dessen Namen übrigens auch die große Sternwarte bei Tautenburg in der Nähe von Jena trägt. Der Schwarzschild-Effekt besagt folgendes:

Bei den kurzen Belichtungszeiten, die in der »Alltagsfotografie« üblich sind, führt eine Verdoppelung der Belichtungszeit auch zu einer Verdoppelung der Schwärzung auf dem Film. Bei längerer Belichtungszeit trifft dies aber nicht mehr zu; die Schwärzung nimmt langsamer zu als die Belichtungszeit. Anders ausgedrückt: Auch dann, wenn die auf die foto-



36 Der Abstand Schraube – Scharnier ist ein kritisches Maß. Im Text steht, wie er berechnet wird.

37 Nur 4 km vom Zentrum der Stadt Leipzig entfernt, entstand diese Aufnahme des Sternbildes Leier und seiner nördlichen Umgebung. Während der sechsminütigen Belichtung wurde die Kamera mit der oben beschriebenen Nachführeinrichtung bewegt.

38 Dieses Amateurfoto von Karlbeinz Müller wurde dagegen mit einer am Fernrohr befestigten Kamera aufgenommen. Es zeigt einen Ausschnitt der Milchstraße im Sternbild Schwan. Die Belichtungszeit betrug 25 Minuten.

degänge auf 1 cm und errechnen daraus die Strecke  $s$  zwischen Scharnierachse und Schraube:

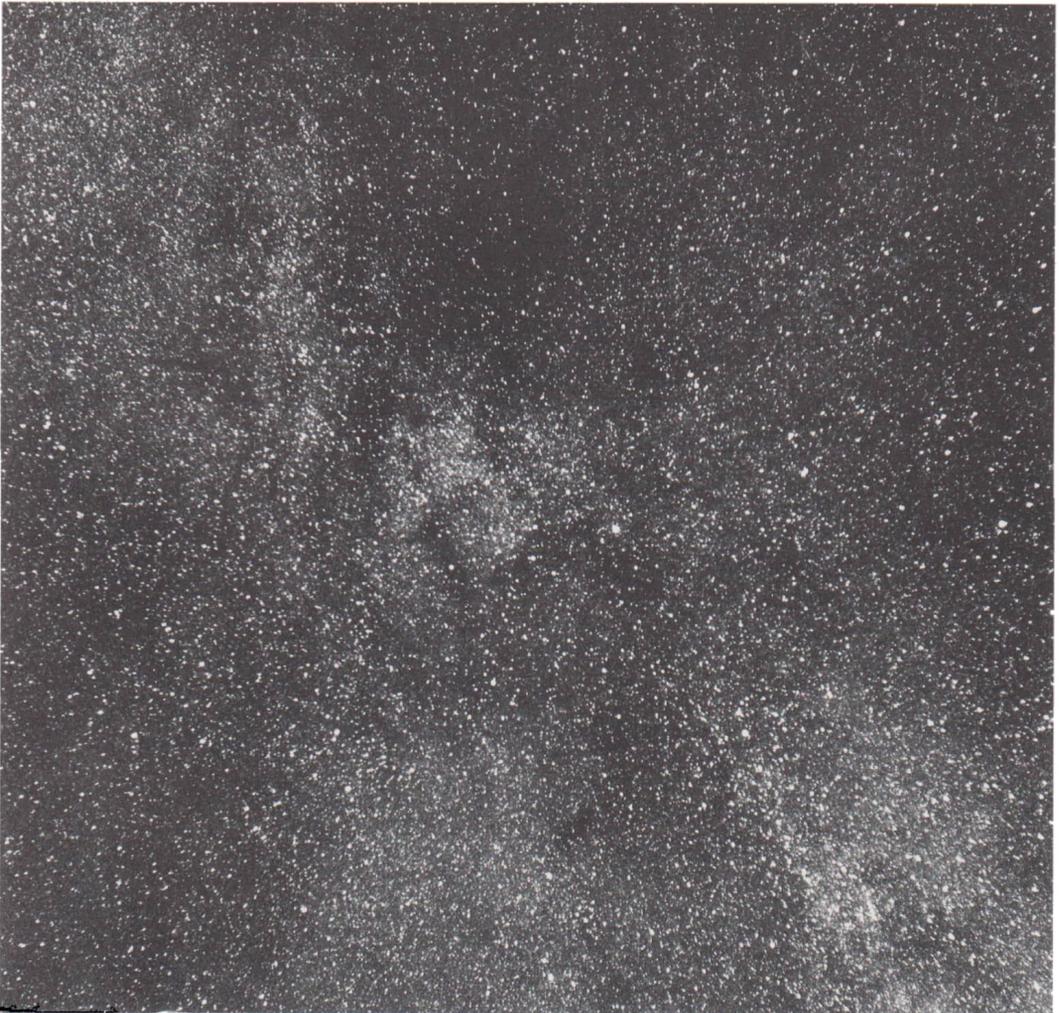
$$s = \frac{228,5}{n} \quad (\text{in cm}).$$

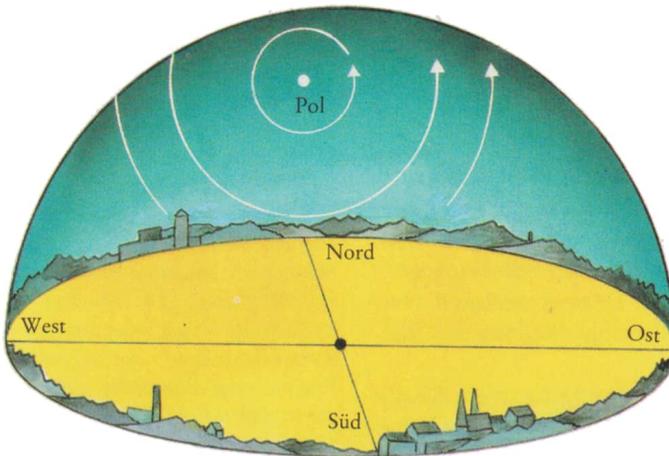
Das Gewinde, in dem die lange Schraube in Teil 2 läuft, ist eine normale Schraubenmutter. Sie wurde mit einigen Hammerschlägen in eine etwas knapp gehaltene Bohrung getrieben. Am freien Ende der Schraube ist ein Handrädchen befestigt – eine kleine hölzerne Kreisscheibe mit einer eingesägten Nut, die es ermöglicht, im Dunkeln die jeweilige Stellung des Rädchens zu ertasten.

Der Haltewinkel erhält eine Bohrung und nimmt ein Kugelgelenk auf, das die Kamera trägt. Wenn wir die Scharnierkante unserer Montierung genau nach Norden richten (Kompaß ver-

grafische Schicht einwirkenden Lichtmengen – das Produkt aus Lichtintensität und Zeit – gleich sind, ergibt eine hohe Intensität über kurze Zeit eine stärkere Schwärzung als eine geringe Intensität über lange Zeit.

In der Praxis wirkt sich das so aus, als verliere der Film mit zunehmender Belichtungsdauer an Empfindlichkeit. Die Filmempfindlichkeit – und zwar die für Kurzbelichtungen – ist auf jeder Filmpackung angegeben, meist sogar in mehreren Einheiten. Die bei uns übliche DIN-Angabe ist





39 Die Zirkumpolarsterne um den nördlichen Himmelspol kann man in jeder klaren Nacht sehen.

wenden!), dann bewegt sich die Kamera beim Drehen der Schraube (Uhrzeigersinn!) genau in die Richtung, in die sich der Sternhimmel bewegt. Um die richtige Geschwindigkeit zu finden, muß das Handrädchen 5 gleichlaufend mit dem Sekundenzeiger der Uhr gedreht werden, so daß die Schraube pro Minute eine Umdrehung ausführt.

Bild 37 wurde mit der in Bild 35 gezeigten Montierung und einer normalen Kleinbildkamera (Objektiv 1:2,8;  $f = 50$  mm) aufgenommen, die Belichtungszeit betrug 6 min. Die mögliche Dauer der Belichtung richtet sich nach der verfügbaren Länge der Antriebsschraube und natürlich nach der Hintergrundhelligkeit des Himmels. Die aber ist stark von der Helligkeit unserer Umgebung (Straßenbeleuchtung, beleuchtete Industrieanlagen, erleuchtete Fenster naher Gebäude) abhängig. In besonders aufgehellter Umgebung muß die Belichtungszeit weit kürzer gehalten werden als dort, wo der Himmel wirklich dunkel ist, sonst »ertrinken« die Sterne im Grau des Hintergrundes auf dem Film. In der Großstadt kann das eine Reduzierung der Belichtungszeit bis auf 3 Minuten bedeuten.

Auch die so gewonnenen Filme zeigen ihren Sternreichtum erst unter der Lupe. Die Negative müssen also stark vergrößert werden. Ein großer Vorteil der »nachgeführten« Aufnahmen ist, daß bei gleicher Belichtungszeit und unter sonst gleichen Bedingungen, also bei Verwendung der gleichen Kamera und des gleichen Films, die Aufnahmen polnaher und polferner Himmelsregionen bis zur gleichen Grenzhelligkeit reichen. Ein Normalobjektiv 2,0/50 bannt in 1 Sekunde alle mit dem bloßen Auge sichtbaren Sterne, in 20 Sekunden alle Sterne bis zur 8. und in 5 Minuten alle Sterne bis zur 10. Größenklasse auf hochempfindlichen Film (27 DIN  $\cong$  400 ASA). Um nochmals zwei Größenklassen weiterzukommen, müßte man allerdings schon mehr als eine halbe Stunde belichten – und das erfordert einen rabenschwarzen Himmel und viel Ausdauer.

mit der im anglo-amerikanischen Sprachraum gebräuchlichen ASA und der sowjetischen GOST entsprechend der folgenden Tabelle verknüpft:

| DIN | ASA | GOST |
|-----|-----|------|
| 15  | 25  | 22   |
| 20  | 80  | 65   |
| 27  | 400 | 360  |

Je kleiner die Maßzahl, desto geringer ist die Empfindlichkeit des betreffenden Films; eine Vergrößerung der DIN-Zahl um drei Einheiten entspricht einer Verdoppelung der Empfindlichkeit.

Durch den Schwarzschild-Effekt hat ein 27-DIN-Film nach 10 Minuten Belichtung nur noch eine Empfindlichkeit, die etwa 15 DIN entspricht. Das ist eine betrübliche Tatsache, der wir bei der Verwendung von handelsüblichem Aufnahmematerial Rechnung tragen müssen. Nur die speziell für die astronomische Forschung entwickelten fotografischen Emulsionen weisen einen äußerst geringen Schwarzschild-Effekt auf. Sie sind deshalb auch sehr teuer.

Der Schwarzschild-Effekt ist auch schuld daran, daß man bei langbelichteten Aufnahmen auf Farbfilm stets mit einer Farbverfälschung rechnen muß. Ein Farb-

## Nur ein Stückchen Himmel?

Wie groß ist eigentlich das Stück Himmel, das wir mit einer Aufnahme erfassen können? Seine Ausmaße sind beträchtlich: Auf einer Kleinbildaufnahme (24 mm × 36 mm) bildet sich bei Verwendung eines Normalobjektivs ein 28° breiter und 42° langer Ausschnitt der Himmelskugel ab. In der Regel werden wir also auf einem Foto mehr als nur ein Sternbild vorfinden. Der gesamte im Laufe eines Jahres bei uns sichtbare Sternhimmel kann deshalb, selbst wenn sich die Aufnahmen an den Rändern beträchtlich überschneiden, auf rund 50 Bildern festgehalten werden – das sind noch nicht einmal zwei handelsübliche Kleinbildfilme!

Doch halt – sind wir denn sicher, daß auf unseren Fotos wirklich nur Sterne abgebildet sind? Es sind ja auch Planeten, Kleinplaneten, Kometen, Meteore, künstliche Erdsatelliten und andere Objekte am Himmel zu sehen – und die bilden sich natürlich auf unseren Himmelsaufnahmen mit ab. In den meisten Fällen ist es recht schwierig, sie von Sternen zu unterscheiden. Zum Glück gibt es einen Ausweg: Wir fotografieren die gleiche Himmelsgegend nach einiger Zeit ein zweites Mal. Die genannten »Störenfriede« sind ja in mehr oder weniger schneller Bewegung relativ zu den Sternen begriffen und werden sich nach einer oder zwei Wochen nicht mehr an der gleichen Stelle eines Sternbildes befinden. An dieser Ortsveränderung sind sie bei einem Vergleich beider Aufnahmen unschwer zu erkennen. (Von Meteoriten und künstlichen Erdsatelliten brauchen wir hier gar nicht zu reden. Die verraten sich ohnehin schon auf der ersten Aufnahme, weil sie nicht als Punkte, sondern als Striche abgebildet werden.)

Es ist im übrigen eine Frage der persönlichen Auffassung, ob wir bewegte Objekte als »Störenfriede« bezeichnen oder nicht. Wer im Begriff ist, sich einen fotografischen Sternatlas zu schaffen, wird sie sicher als störend empfinden. Aber man kann auch Himmelsaufnahmen mit dem erklärten Ziel anfertigen, die Bewegung eines solchen Himmelskörpers studieren zu wollen. Da wird immer davon geredet, daß sich die Planeten, Planetoiden, Kometen usw. um die Sonne bewegen – aber wer von uns hat denn diese Bewegung wirklich schon einmal gesehen? Na bitte! Der Vergleich zweier Fotografien der gleichen Himmelsgegend, die im Abstand von einigen Tagen oder Wochen gewonnen wurden, zeigt uns diese Bewegung aber ganz augenfällig!

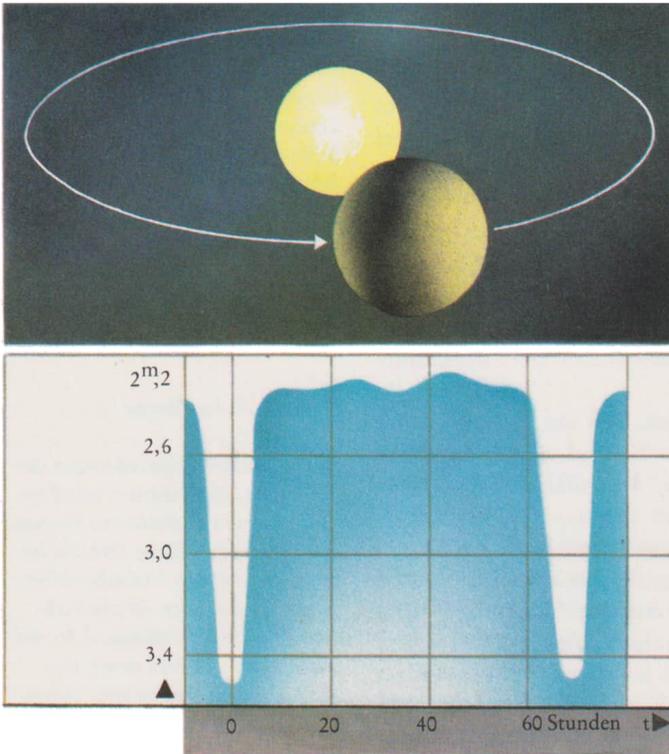
Auch bei den Sternen des Himmelshintergrundes gibt es Veränderungen, die sich durch mehrfach wiederholte fotografische Aufnahmen nachweisen lassen. Zwar ändern die Sterne ihre Positionen an der Himmelskugel nicht, aber in einigen Fällen können wir feststellen, daß die Helligkeit eines Sterns

film ist ja eigentlich ein Dreifach-Film, dessen drei Aufnahmeschichten für unterschiedliche Grundfarben empfindlich sind. Leider sind die Kennwerte des Schwarzschild-Effekts für die drei Schichten unterschiedlich, so daß sich bei längerer Belichtung eine der drei Farben in den Vordergrund drängt. Schon nach Belichtungszeiten von wenigen Sekunden ist das spürbar.

## Veränderliche Sterne

Die zeitlichen Schwankungen der Helligkeit, die wir bei Veränderlichen Sternen beobachten, können sehr unterschiedliche Gründe haben. Die meisten Veränderlichen Sterne (meist kurz »Veränderliche« genannt) pulsieren, d. h., sie blähen sich auf und fallen anschließend wieder in sich zusammen. Dabei ändern sich auch ihre Temperaturen. Bei anderen Veränderlichen kommt der Helligkeitswechsel durch Eruptionen zustande, also durch Auswürfe von Materie, die mit mehr oder weniger großer Heftigkeit erfolgen. Veränderliche sind Sterne in einem kritischen Entwicklungsstadium, und deshalb stellen sie ein bevorzugtes Forschungsgebiet der Astronomen dar. Über 30 000 Sterne sind heute als veränderlich bekannt.

Eine besondere Gruppe der Veränderlichen erzeugt ihre Helligkeitsschwankungen durch eine Art ständig wiederholter »Sternfinsternis«. Bei diesen Objekten haben wir es mit Doppelsternen zu tun, das sind Sternpaare, deren beide Sterne einen gemeinsamen Schwerpunkt umlaufen. Das Besondere daran ist, daß die Bahnen der beiden Sterne gegen unsere Blickrichtung nur sehr wenig geneigt sind. Dadurch bedecken sich die Sterne für einen irdischen Be-



obachter gegenseitig in regelmäßigen Zeitabständen. Auch wenn wir die beiden Sterne wegen ihres geringen gegenseitigen Abstandes nicht getrennt sehen können, vermögen wir den Doppelsterncharakter eines solchen Systems eindeutig nachzuweisen: Das Objekt verändert bei einer solchen Bedeckung seine Gesamthelligkeit. Es erscheint am hellsten, wenn – von uns aus gesehen – beide Sterne nebeneinanderstehen; sobald der eine der beiden Sterne den anderen verdeckt, nimmt die Gesamthelligkeit ab (Bild 40). Zur Gruppe dieser »Bedeckungsveränderlichen« gehört der »Teufelsstern« Beta im Perseus (Algol).

in der Zeit zwischen beiden Fotos zu- oder abgenommen hat. Wir sind einem Veränderlichen Stern auf die Spur gekommen. Seine Helligkeit pendelt um einen Mittelwert. Wir verfolgen diese Helligkeitsänderung, indem wir die betreffende Himmelsgegend für einige Zeit täglich oder im Abstand von je zwei Tagen, wenn das Wetter es zuläßt, fotografieren. Natürlich muß jeweils das Aufnahmedatum notiert werden.

Um die Helligkeitsänderungen des Sterns auf den Fotos beurteilen zu können, müssen wir sehr darauf achten, daß alle Aufnahmen unter gleichen Bedingungen entstehen; das betrifft ganz besonders die Belichtungszeit und die Blendenöffnung. Die Blende sollte ja ohnehin immer voll geöffnet sein.

Derartige Fotos können auch als Negative ausgewertet werden. Man spart sich dadurch das Vergrößern. Die Filmnegative werden nummeriert, in Dia-Rähmchen gefaßt und nacheinander auf eine weiße Fläche projiziert. Aus den unterschiedlich starken Schwärzungen des betreffenden Sternbildchens geht in Verbindung mit unseren Notizen hervor, wann unser Veränderlicher Stern sein Helligkeitsmaximum und sein Helligkeitsminimum durchlaufen hat.

Es gibt auch Veränderliche Sterne, deren Helligkeit schon innerhalb weniger Stunden deutliche Änderungen zeigt. Ein ganz bekanntes Beispiel ist der »Teufelsstern« Algol im Stern-

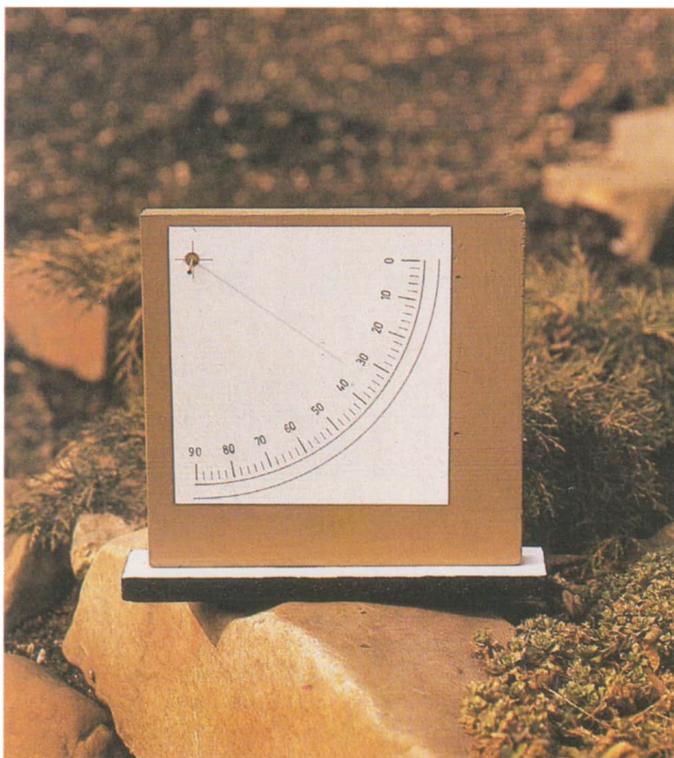
40 Der bedeckungsveränderliche Stern Algol im Perseus. In der Helligkeitskurve bedeutet  $m$  die scheinbare Helligkeit und  $t$  die seit dem letzten Minimum verfllossene Zeit (in Stunden).

41 So hat schon Copernicus die Sonnenböbe gemessen.

bild Perseus ( $\beta$  Per). Seine Helligkeit schwankt mit einer Periode von 2 Tagen, 20 Stunden und 49 Minuten zwischen 2,2 und 3,5 Größenklassen hin und her. Das Hauptminimum dauert rund 10 Stunden. Wegen der – auch im Minimum – noch recht großen Helligkeit genügt es, fotografische Aufnahmen dieses Sterns nur 20 Sekunden lang zu belichten. Eine Nachführungsbewegung ist bei so kurzen Belichtungszeiten nicht erforderlich. Dafür sollten wir aber, wenn wir in der Zeit des Hauptminimums fotografieren, viertelstündlich eine Aufnahme anfertigen, beginnend etwa 3 Stunden vor und endend etwa die gleiche Zeitspanne nach dem erwarteten Minimum.

## Der Basteltip: Meßgeräte zum Selbermachen

Schon die Astronomen des Altertums haben lange vor der Erfindung des Fernrohrs recht genaue Messungen am Himmel vorgenommen. Die Höhe der Sonne oder eines Planeten, die genaue Himmelsrichtung, in der das betreffende Objekt zu finden war, oder auch der Winkelabstand zweier Sterne waren dabei die Meßwerte.



## Jahreszeiten

Weshalb sind im Sommer die Temperaturen höher als im Winter? Oft hört man als Antwort auf diese Frage, das liege am veränderlichen Abstand zwischen Sonne und Erde. Schließlich lernt man ja schon in der Schule, daß die Bahn der Erde um die Sonne eine Ellipse ist und kein Kreis, daß die Sonne nicht im Mittelpunkt dieser Bahn steht, sondern in einem der beiden Brennpunkte, und daß es deshalb im Laufe eines Jahres einen bestimmten Zeitabschnitt geben muß, in dem die Erde der Sonne näher ist als zu anderen Zeiten. Es liegt nahe, diesen Zeitabschnitt als Sommer zu identifizieren. Aber das ist falsch! Wenn wir Winter haben, ist die Erde der Sonne am nächsten, und zwar genaugenommen in den ersten Januar Tagen.

Diese Feststellung löst nicht selten Verwunderung aus. Dennoch ist es relativ einfach, sich klarzumachen, weshalb die simple Zuordnung »Erde in Sonnennähe gleich Sommer« nicht stimmen kann. Wir brauchen nur einmal darüber nachzusinnen, daß, wenn wir Bewohner der nördlichen Erdhalbkugel Sommer haben, die südliche Hälfte unseres Planeten ihr Winterhalbjahr durchlebt. Unsere obige Aussage ist nämlich nicht nur falsch, sie ist obendrein unvollständig. Wir hätten sagen müssen, von welcher Jahreszeit auf welcher Halbkugel der Erde wir reden. Und dabei hätten wir gemerkt, daß die Beziehung zwischen dem Abstand Sonne – Erde und der Jahreszeit keinen Sinn ergeben kann, denn Nordsummer und Südwinter fallen zeitlich zusammen – und nur eine der beiden Jahreszeiten könnte durch den Abstand Sonne – Erde bedingt sein.

## Das »Nagelbrett«

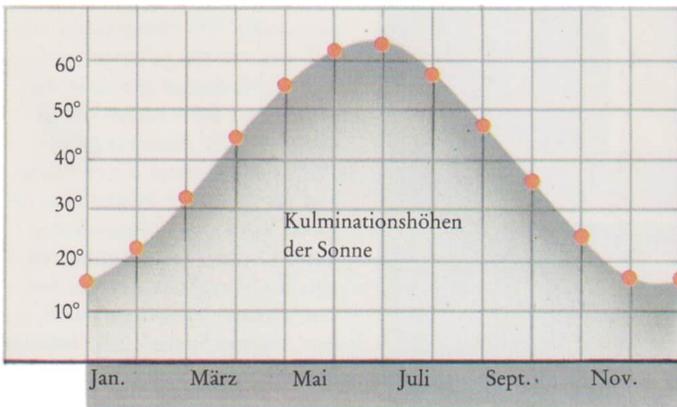
Die Höhe der Sonne haben wir schon mit Hilfe des Gnomons ermittelt. Eine andere Vorrichtung ist aus der Zeit des berühmten Astronomen Nicolaus Copernicus überliefert. Wir bauen sie nach.

Auf ein quadratisches Brett, dessen Abmessungen beliebig sein können, zeichnen wir einen Viertelkreis, den wir mit einer Gradeinteilung versehen (Bild 41). Genau im Zentrum dieses Viertelkreises wird ein Nagel so in das Brett geschlagen, daß er noch 1 bis 3 cm hervorsteht. Das Brett erhält einen Ständer, so daß wir es senkrecht aufstellen können, und unser historischer Sonnenhöhenmesser ist fertig. Wer auf Präzision bedacht ist, befestigt am Nagel ein Lot, dessen Faden – wenn das Gerät fehlerfrei aufgestellt ist – genau auf die 90°-Marke zeigen muß.

Der Sonnenhöhenmesser wird so auf die Sonne ausgerichtet, daß der Schatten des Nagels wie ein Zeiger auf die Gradeinteilung fällt. Er gibt uns die Höhe der Sonne direkt an, ohne daß – wie beim Gnomon – erst Umrechnungen erforderlich sind. Nun fällt es uns auch leichter, die unterschiedlichen Kulminationshöhen der Sonne in den verschiedenen Jahreszeiten zu erfassen.

## Ein Pendel als Zeiger

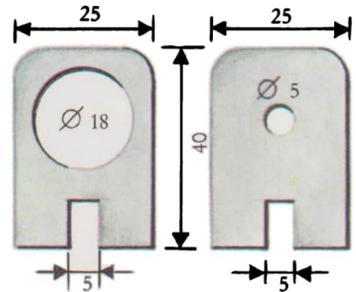
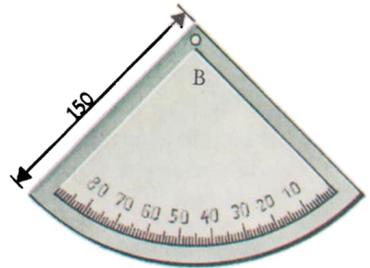
Was aber, wenn die Höhe eines Planeten oder eines Sterns gemessen werden muß? Immerhin ist ja die Höhe eine nicht unwichtige Angabe; sie und die Himmelsrichtung sind Koordinaten, die zur präzisen Festlegung eines Gestirns an der Himmelskugel dienen. Wir brauchen also einen Höhenmesser für lichtschwache Objekte und bauen deshalb einen Pendelquadranten.



42 Jahr um Jahr steigt und fällt die Mittagssonnenhöhe.

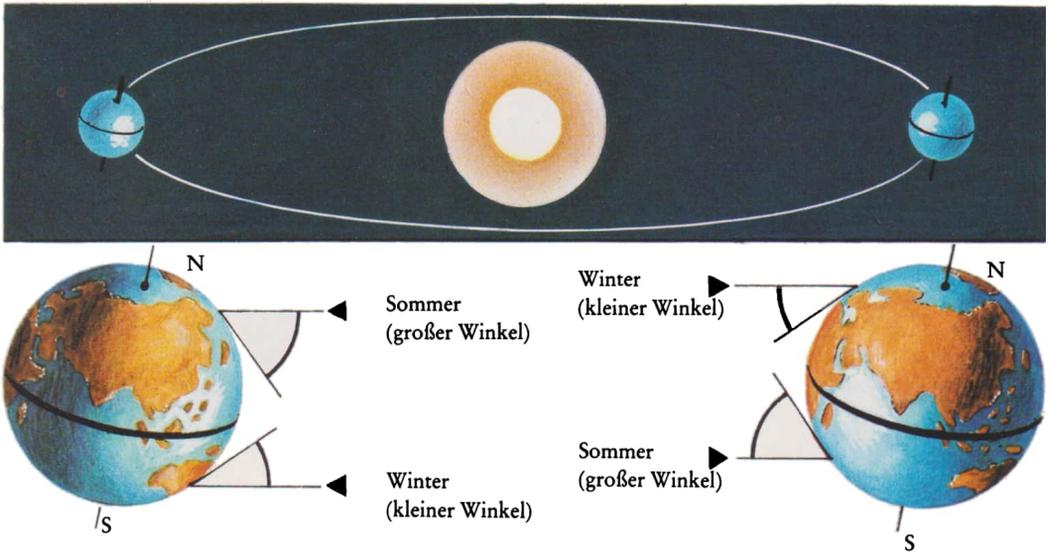
43 Maßskizze für den Pendelquadranten

44 Ursache der Jahreszeiten ist die Neigung der Erdachse gegen die Sonnenstrahlen.



Überdies schwankt die Entfernung Sonne – Erde im Laufe eines Jahres nur um 3 %, und das ist zu wenig, um die Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter zu erklären.

Nein, die Dinge verhalten sich anders, und den Schlüssel dazu liefert unsere Messung der Sonnenhöhen. Verfolgen wir die Kulminationshöhen  $k_s$  der Sonne im Laufe eines ganzen Jahres, so ergibt sich ein zeitlicher Verlauf, wie ihn Bild 42 zeigt. Große Höhe



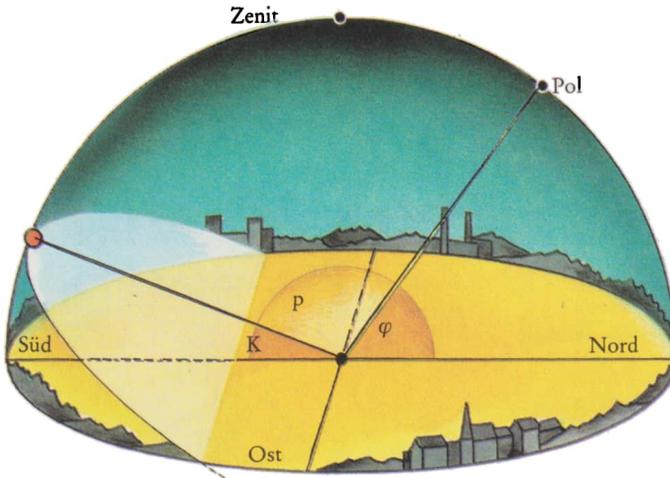
»Quadrant« heißt »Viertelkreis«. Aus starker Pappe oder aus Sperrholz stellen wir eine Viertelkreisscheibe her (Bild 43), die wir mit einer entsprechenden Winkelteilung versehen. Am Kreismittelpunkt wird ein dünner Faden eingeknotet, der etwas länger als der Radius der Viertelkreisscheibe ist und an seinem unteren Ende durch einen kleinen Gegenstand beschwert wird. Weiterhin fertigen wir uns eine Visiereinrichtung, bestehend aus zwei Reitern (Bild 43), und leimen sie so auf die Viertelkreisscheibe, daß die Visierlinie (das ist die Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Reiteröffnungen) genau parallel zur  $90^\circ$ -Linie der Winkelteilung verläuft.

Wir visieren durch die beiden Öffnungen der Reiter ein Gestirn an, warten, bis der Faden ganz ruhig hängt, und pressen ihn mit einem Finger an die Kreisteilung. Er ist unser Zeiger und gibt den Höhenwinkel an. Da der Faden als Lot wirkt und deshalb immer genau nach unten weist, brauchen wir den Pendelquadranten nicht zu eichen und uns auch keine Gedanken um die möglichst genau senkrechte Aufstellung des Geräts zu machen.

Die Höhe eines Gestirns ist besonders auffälligen Veränderungen unterworfen, wenn sich das Objekt nahe dem Ost- oder Westhorizont, also im Aufgang oder im Untergang, befindet. In solchen Fällen kann schon eine Wiederholung der Messung nach einer Viertelstunde zeigen, daß sich die Höhe vergrößert oder verringert hat. Ganz anders bei Gestirnen am Südhimmel! Ihre scheinbare Tagesbahn verläuft dort mit so geringer Neigung zum Horizont, daß Messungen mit dem Pendelquadranten unter Umständen erst nach Stunden eine Veränderung der Höhe anzeigen. Und doch ist die Höhenmessung in Südrichtung nicht ohne Bedeutung: Wir können damit näm-

der Sonne zur Mittagszeit heißt aber, daß die Sonnenstrahlung steil von oben auf den Erdboden trifft und ihn stark aufwärmt; geringe Höhe der Sonne bedeutet flachen Einfall der Strahlung und damit geringe Energieübertragung an die Erdatmosphäre und den Erdboden. Deshalb ist es im Sommer heiß und im Winter kalt!

Die unterschiedlichen Kulminationshöhen der Sonne ergeben sich daraus, daß die Erdachse gegen die Erdbahnebene geneigt ist und während des ganzen Jahres ihre Richtung im Raum beibehält. Im Sommer (Bild 44 links) trifft die Sonnenstrahlung steil auf die Nordhalbkugel der Erde, flach auf die Südhalbkugel; im Winter (Bild 44 rechts) ist es umgekehrt. Natürlich ist hier von den Jahreszeiten auf unserer Nordhalbkugel die Rede. Bild 44 macht übrigens auch deutlich, daß der Nordpol der Erde im Nordsommer außerhalb der Nachthälfte liegt – es herrscht dort für ein halbes Jahr immerwährender »Polartag«. Im Nordwinter dagegen bleibt für den Nordpol die Sonne 6 Monate unter dem Horizont. Das ist die »Polarnacht«.



lich den genauen Abstand des Gestirns vom Himmelsnordpol ermitteln!

Bild 45 zeigt, wie man aus der Kulminationshöhe  $k$ , den Polabstand  $p$  eines Sterns bestimmen kann: Drei Winkel haben ihre Scheitelpunkte im Beobachter. Es sind die Polhöhe  $\varphi$  (die, wie wir schon wissen, gleich der geographischen Breite des Beobachtungsortes ist), der Polabstand  $p$  des Gestirns und die Kulminationshöhe  $k$ . Wenn wir diese drei Winkel addieren, erhalten wir den Winkel NBS, und der beträgt  $180^\circ$ . Also:



$$\varphi + p + k_s = 180^\circ$$

$$p = 180^\circ - \varphi - k_s$$

Mathin gilt: Wenn ich die geographische Breite meines Beobachtungsortes kenne, genügt eine Messung der Gestirnshöhe im Meridian, um den Abstand des Gestirns vom Himmelsnordpol zu ermitteln. (Die obengenannte Formel gilt nur bei Beobachtungen in Südrichtung. Bei Messungen in Nordrichtung ist ein einfacherer Ausdruck anzuwenden:

$$p = |k_n - \varphi|,$$

wobei  $k_n$  die Kulminationshöhe in Nordrichtung bedeutet.)

Schauen wir uns zum Schluß zwei Beispiele an. In Leipzig ( $\varphi = 51,5^\circ$ ) wurden die Kulminationshöhen der Sterne Deneb (im Sternbild Schwan) und Prokyon (im Sternbild Kleiner Hund) gemessen:

$$\text{Deneb } k_n = 6,5^\circ$$

$$\text{Prokyon } k_s = 44^\circ.$$

Wir rechnen:

$$\text{Deneb } p = |k_n - \varphi|$$

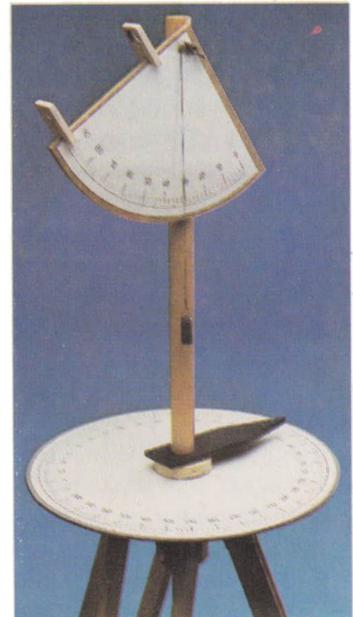
$$p = |6,5^\circ - 51,5^\circ|$$

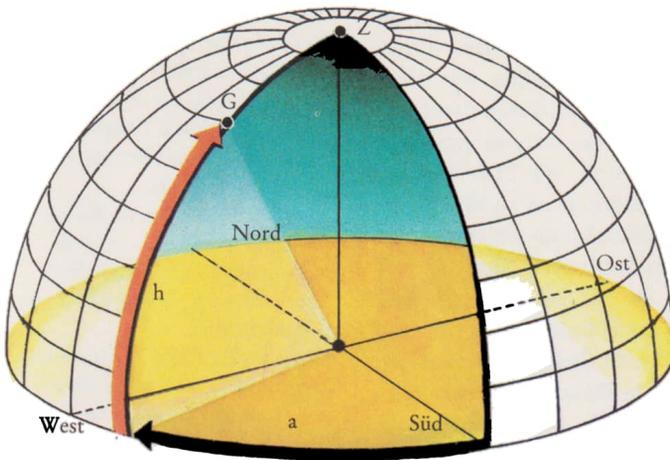
$$p = 45^\circ$$

$$\text{Prokyon } p = 180^\circ - \varphi - k_s$$

$$p = 180^\circ - 51,5^\circ - 44^\circ$$

$$p = 84,5^\circ.$$





45 Ganz ohne Geometrie geht's nicht!

46 Das Stativ entsteht.

47 Fertig zur ersten Koordinatenmessung!

48 Die Himmelskugel wird wie ein Globus von einem gedachten Gradnetz überzogen: astronomischen Koordinaten.

Höhenmessungen an Gestirnen im Meridian sind natürlich nur möglich, wenn die Nord-Süd-Richtung an unserem Beobachtungsort bekannt ist. Aber diese Kenntnis haben wir uns ja schon früher mit Hilfe des Gnomons verschafft (Seite 18). Nur – was tun wir, wenn einmal der Ort eines Gestirns außerhalb des Meridians genau angegeben werden muß?

### Koordinaten zum »Stelldichein«

Die Höhe reicht in diesem Falle als Positionsangabe nicht aus. Wir brauchen eine zusätzliche Angabe über die Himmelsrichtung, in der das betreffende Gestirn zu sehen ist. Diese Angabe ist das *Azimut* des Gestirns, das, wie schon die Höhe, in Winkelmaß angegeben wird. Wir wollen unseren Pendelquadranten zu einem Koordinatenmeßgerät für Azimut und Höhe weiterentwickeln. Dazu wird ein Stativ benötigt, das später auch einem kleinen Fernrohr sicheren Stand bieten soll.

Bild 46 zeigt, wie die Einzelteile aussehen sollen und wie sie miteinander zu verbinden sind. Das Stativoberteil, an dem die drei Füße befestigt werden, soll einen Durchmesser von etwa 15 cm haben. Die Füße sind so lang zu bemessen, daß sich das Stativoberteil in Brusthöhe des Beobachters befindet. Als senkrechte Achse für das Meßgerät brauchen wir einen Rundholzstab. Er soll in der Bohrung des Stativoberteils gleiten, ohne zu wackeln.

Unser Koordinatenmeßgerät besteht aus einer Azimutskala mit Zeiger (Bild 47) und dem Pendelquadranten. Die Azimutskala ist eine Kreisscheibe von etwa 30 cm Durchmesser mit einer Bohrung in der Mitte, durch die der Rundstab bequem hindurchpassen muß. In der Bohrung des Zeigers hingegen soll der Rundstab ziemlich straff sitzen.

### Astronomische Koordinaten

Für eine grobe Orientierung am Himmel reicht die Einteilung der Himmelskugel in Sternbilder völlig aus. Anders ist es, wenn die Position eines Gestirns ganz genau angegeben werden soll. Dann muß man die Koordinaten dieses Objekts nennen. So, wie die Erdkugel von einem gedachten Gradnetz überzogen wird, kann man sich auch die Himmelskugel mit einem Gradnetz versehen denken. Dafür gibt es mehrere Möglichkeiten; wir betrachten hier zunächst das einfachste Koordinatensystem, das den Horizont des Beobachtungsortes als Grundlage benutzt. Dazu begeben wir uns in Gedanken »aus der Himmelskugel heraus« und betrachten den Beobachter und die über ihn »gestülpte« Hälfte der Himmelskugel von außen (Bild 48). Parallel zum (mathematischen) Horizont liegen die

Der Rundstab muß etwa 35 cm länger sein als der Radius unseres Pendelquadranten. Am oberen Ende erhält er eine 4-mm-Bohrung; 30 cm über dem unteren Ende leimen wir einen Holz- oder Plastring so auf, daß der Stab nicht durch das Stativoberteil hindurchrutschen kann. Die Teile werden mit einer passenden Schraube zusammengebaut und, wie Bild 47 zeigt, in das Stativ eingesetzt. Der Azimutzeiger ist so zu befestigen, daß er genau in die anvisierte Himmelsrichtung weist; die Azimutskala liegt zunächst lose auf dem Stativoberteil.

Vor Beginn jeder Beobachtung ist die Azimutskala nach Norden auszurichten. Zu diesem Zweck visieren wir mit dem Pendelquadranten den Polarstern an und drehen anschließend die Azimutskala so, daß der (mit dem Rundstab fest verbundene) Zeiger auf die 180°-Marke weist. In dieser Stellung fixieren wir die Skala auf dem Stativoberteil, z. B. durch zwei Reißzwecken. Man kann auch auf dem Stativoberteil einen Kreisring aus Eisenblech anbringen und die Azimutskala mit Magneten befestigen.

Die Abweichung der Richtung zum Polarstern von der genauen Nordrichtung ist stets kleiner als 1°; sie kann vernachlässigt werden, da unser Gerät ohnehin bestenfalls bis auf 1° genaue Messungen erlaubt. Natürlich macht sich, wenn wir ein transportables Stativ verwenden, jeden Abend eine Neuausrichtung der Azimutskala erforderlich. Eine Kleinigkeit, denn wir haben ja keine Probleme mit der Höhenskala am Pendelquadranten. Hier erledigt die Schwerkraft die Orientierung.

Verfolgen wir mit unserem Koordinatenmeßgerät das Azimut und die Höhe eines beliebigen Sterns, so stellen wir fest: Bei Objekten am Osthimmel ändern sich Azimut und Höhe etwa in gleichem Maße und in gleichem Richtungssinn – sie nehmen zu. (Es genügt, wenn wir halbstündlich messen.) Auch bei Objekten am Westhimmel ändern sich Azimut und Höhe etwa in gleichem Maße, aber mit entgegengesetztem Richtungssinn: Während das Azimut weiterhin zunimmt, wird die Höhe ständig geringer. Gestirne über dem Südhorizont zeigen dagegen über lange Zeit fast keine Höhenänderung, statt dessen ändert sich ihr Azimut sehr merklich. Um solche Messungen anschaulich auszuwerten, stellen wir die Meßwerte graphisch dar. Bild 49 gibt dafür ein Beispiel; ihm liegen die folgenden Beobachtungsergebnisse zugrunde:

| Beobachtungszeit                  | Azimut | Höhe | Beobachtungszeit                  | Azimut | Höhe |
|-----------------------------------|--------|------|-----------------------------------|--------|------|
| 19 <sup>h</sup> 30 <sup>min</sup> | 254°   | 9°   | 22 <sup>h</sup> 30 <sup>min</sup> | 291°   | 39°  |
| 20 00                             | 259    | 14   | 23 00                             | 297    | 43   |
| 20 30                             | 265    | 20   | 23 30                             | 304    | 46   |
| 21 00                             | 269    | 25   | 0 00                              | 314    | 50,5 |
| 21 30                             | 276    | 30   | 0 30                              | 325    | 52,5 |
| 22 00                             | 282    | 34   |                                   |        |      |

Parallelkreise, senkrecht dazu die Vertikalkreise. Die Koordinaten eines Gestirns sind

- seine *Höhe*  $b$ , das ist der Winkel, um den sich die Gerade Beobachter–Gestirn über die Horizontebene erhebt,
- sein *Azimut*  $a$ , das ist die als Winkel angegebene und in Gradmaß ausgedrückte Himmelsrichtung, in der das Gestirn gesehen wird.

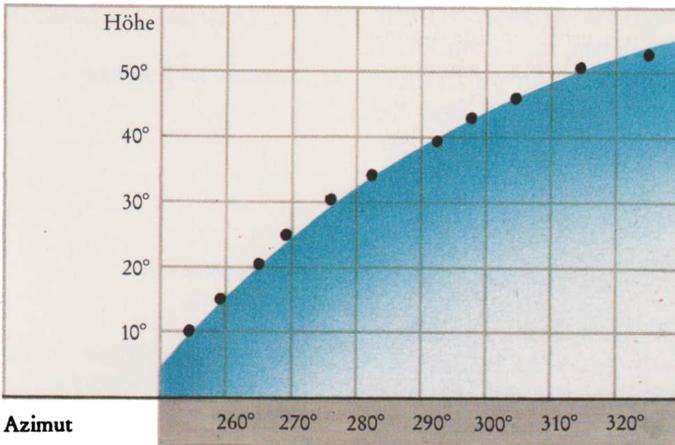
Während die Höhe eines Gestirns zwischen 0° (Gestirn im Horizont) und 90° (Gestirn im Zenit) liegen kann, sind für das Azimut alle Werte zwischen 0° und 360° möglich. Dabei gibt es zwei Azimut-Zählweisen:

die traditionell astronomische

| Himmelsrichtung | Azimut<br>»astronomisch« |
|-----------------|--------------------------|
| Süd             | 0° (360°)                |
| West            | 90°                      |
| Nord            | 180°                     |
| Ost             | 270°                     |

die geodätische

| Himmelsrichtung | Azimut<br>»geodätisch« |
|-----------------|------------------------|
| Süd             | 180°                   |
| West            | 270°                   |
| Nord            | 0° (360°)              |
| Ost             | 90°                    |



Da sich die Gestirnskoordinaten Azimut und Höhe mit der Zeit verändern, muß zu jeder solchen Koordinatenmessung die Beobachtungszeit notiert werden. Eine extrem hohe Genauigkeit brauchen wir dabei nicht einzuhalten; es genügt im allgemeinen, wenn die Zeit auf eine Minute genau angegeben wird. (Sekundengenauigkeit wäre nur erforderlich, wenn wir an den Skalen unseres Meßgerätes Zehntel- oder Hundertstelgrade ablesen könnten.) Ganz wichtig ist aber, daß wir in unserer Zeitangabe vermerken, ob es sich um Mitteleuropäische Zeit (MEZ) oder um Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ) handelt.

Die Koordinaten Azimut und Höhe eines Gestirns sind übrigens nicht nur von der Beobachtungszeit, sondern auch von der Lage des Beobachtungsortes auf der Erde abhängig. Das wird oft vergessen. Wie groß der Einfluß der geographischen Lage des Beobachtungsortes ist, soll das folgende Beispiel zeigen.

Ein Beobachter in Rostock und ein Beobachter in Budapest visieren zur gleichen Zeit, nämlich am 15. Februar 1987, 23<sup>h</sup> MEZ, den Stern Sirius (im Sternbild Großer Hund) an. Nebenstehend sind ihre Meßergebnisse.

Ursache für diese doch erheblichen Unterschiede ist die Krümmung der Erdoberfläche. Rostock und Budapest liegen schon so weit voneinander entfernt, daß die Lotrichtung – also die Richtung zum Zenit – für beide Orte um 8° differiert. Folglich liegen auch die Nullpunkte der Azimut- und der Höhenzählung in den beiden Orten weit auseinander.

Der Beobachtungsort sollte also bei allen Meßergebnissen, die wir weitergeben wollen, mit genannt werden. Am besten ist es, die geographischen Koordinaten aus einer guten Landkarte zu entnehmen; eine Genauigkeit von 0,1° bis 0,2° ist dabei durchaus hinreichend. Angaben über die Position eines hellen Kometen oder über Anfangs- und Endpunkt der Bahn

Wir verwenden in diesem Buch traditionsgemäß die »astronomische« Zählweise des Azimuts. Die »geodätische« Zählung wird auch in der Raumfahrt benutzt. Während negative Azimute nicht vorkommen, treten negative Höhen immer dann auf, wenn die Koordinaten von unter dem Horizont befindlichen Gestirnen angegeben werden sollen. Ein Beispiel dafür ist die Sonne: Wenn sie nach ihrem Untergang eine Höhe von  $-18^\circ$  erreicht hat, endet die astronomische Dämmerung.

|        | Rostock | Budapest |
|--------|---------|----------|
| Azimut | 26°     | 34°      |
| Höhe   | 16°     | 20°      |

eines auffälligen Meteors werden, wenn wir sie derart vollständig der nächstgelegenen Sternwarte zuleiten, sicher mit Dank und Interesse entgegengenommen. Gerade bei unvorhersehbaren Ereignissen, wie z. B. einer Meteorerscheinung, sind die wissenschaftlichen Einrichtungen sehr auf die Mithilfe der »Freizeitastronomen« angewiesen.

### Der Jakobsstab

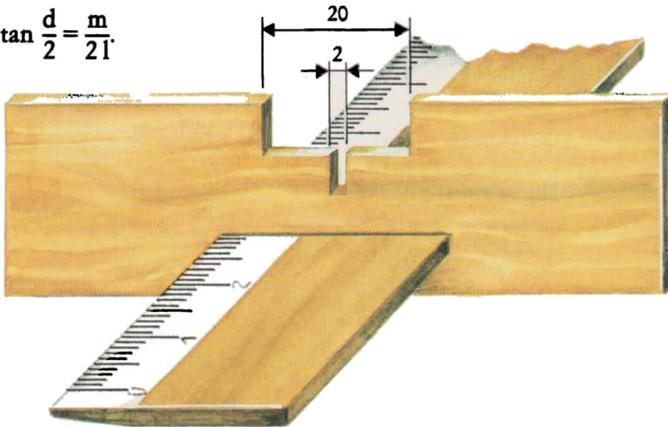
Es gibt eine zweite Methode, den Ort eines Gestirns am Himmel mit einfachen Hilfsmitteln relativ genau zu bestimmen. Wir benötigen dazu ein Gerät, mit dem wir den Abstand zweier Objekte voneinander – natürlich wiederum in Winkelmaß – ausmessen können. Eines dieser Geräte, der Jakobsstab, war schon im Altertum gebräuchlich. Er ist leicht nachzubauen.

Auf einem Lineal mit Zentimeterteilung wird ein mit Visiermarken versehener Läufer verschiebbar angebracht. Das Lineal sollte nicht biegsam sein, also tunlichst aus Holz bestehen, und 30 cm Länge nicht unterschreiten. Der Läufer (Bild 50) kann aus Pappe, Holz oder auch aus Blech hergestellt werden.

Der Abstand zweier Gestirne wird mit dem Jakobsstab gemessen, indem der Beobachter von der »Null« der Linealteilung über die Visiermarken des Läufers zu den beiden Objekten blickt und den Läufer so verschiebt, daß diese Objekte von den Visiermarken gerade eingeschlossen werden. Ob man die Marken mit 20 mm Abstand oder die mit 2 mm Abstand wählt, hängt davon ab, wie weit die beiden Gestirne an der Himmelskugel voneinander entfernt sind.

Mit dem verwendeten Visiermarkenabstand  $m$  und der nun ablesbaren Entfernung  $l$  zwischen Auge und Läufer kann der Winkelabstand  $d$  der Gestirne am Himmel berechnet werden:

$$\tan \frac{d}{2} = \frac{m}{2l}$$



50 Ein Lineal wird zum Jakobsstab.

51 Geometrie am Jakobsstab

### Der Winkelabstand zweier Gestirne

Die Höhe  $h$  eines Gestirns ist, wie wir gesehen haben, sein Abstand von der Horizontebene, sein Azimut  $a$  der Abstand von der Südrichtung. »Abstand« heißt hier natürlich stets »Winkelabstand«. Haben wir die Koordinaten zweier Gestirne gemessen, so kann aus diesen vier Winkeln auch der gegenseitige Abstand  $d$  dieser Gestirne berechnet werden. Es seien  $h_1$  und  $h_2$  die Höhen,  $a_1$  und  $a_2$  die Azimute, dann gilt

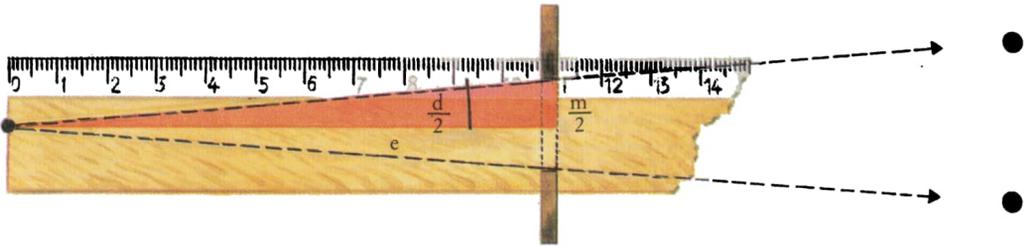
$$\cos d = \sin h_1 \cdot \sin h_2 + \cos h_1 \cdot \cos h_2 \times \cos (a_1 - a_2).$$

Ist der Abstand  $d$  sehr klein, dann läßt sich diese Formel nicht anwenden. Statt dessen rechnen wir

$$d = \sqrt{(a \cdot \cos h_1)^2 + (h_1 - h_2)^2};$$

dabei ist  $a = a_1 - a_2$ . Beide Berechnungen lassen sich mit einem Taschenrechner mühelos bewältigen.

Die direkte Messung von gegenseitigen Gestirnsabständen mit dem Jakobsstab ist natürlich viel einfacher als die Berechnung der Abstände aus einzelnen Meßwerten für Höhe und Azimut. Der Nachteil ist jedoch die unterschiedliche Meßgenauigkeit. Messungen kleiner Abstände lassen sich mit dem Jakobsstab wesentlich genauer vornehmen, als Messungen am »großen Ende« der Abstandsskala. Das hat seinen Grund in der Nutzung der Tangensfunktion für diese Skala:



Wem das zu mühevoll ist, der kann die nachfolgende Tabelle benutzen.

| d    | m = 2 mm<br>l (in mm) | m = 20 mm<br>l (in mm) | d   | m = 20 mm<br>l (in mm) |
|------|-----------------------|------------------------|-----|------------------------|
| 0,5° | 229                   | -                      | 10° | 114                    |
| 1    | 115                   | -                      | 12  | 95                     |
| 2    | 57                    | -                      | 14  | 81                     |
| 4    | -                     | 286                    | 16  | 71                     |
| 6    | -                     | 191                    | 18  | 63                     |
| 8    | -                     | 143                    | 20  | 57                     |

Die Bewegung des Mondes relativ zu den Sternen kann mit dem Jakobsstab bequem verfolgt werden: Wir messen zu diesem Zweck den Abstand des Mondes von einem hellen Stern. Nach zwei oder drei Stunden wiederholen wir die Messung. Es zeigt sich, daß der Mond seine Position geändert hat; der Abstand zwischen Mond und Stern ist größer oder kleiner geworden.

In gleicher Weise können wir die Bewegung eines Planeten verfolgen. Hierbei benötigen wir aber eine längere Zeit, während der etwa einmal wöchentlich gemessen werden sollte. Die Ortsveränderung geschieht erheblich langsamer als beim Mond. In bestimmten Stellungen können Planeten sogar wochenlang fast unbeweglich verharren. Ein weiterer Unterschied zwischen Mond- und Planetenbewegungen ist, daß der Mond,

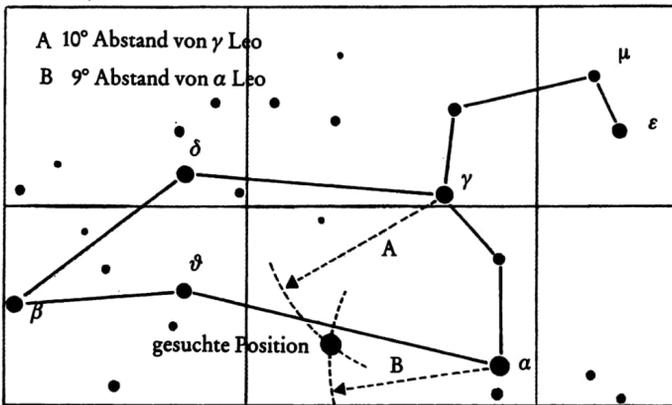
$$\tan \frac{d}{2} = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}} = \frac{m/2}{l}$$

$$= \frac{m}{2 \cdot l} \quad (\text{Bild 51}).$$

Es gehört zu den Eigenschaften dieser Funktion, daß ihre Werte bei kleinen Winkeln in kleinen Schritten wachsen und daß diese Schritte mit zunehmendem Winkel immer größer werden. Wer mit dem Jakobsstab öfters größere Sternabstände messen möchte, sollte an die Verwendung eines Läufers mit größerem Visiermarkenabstand denken;  $m = 10 \text{ cm}$  wäre dann ratsam. In diesem Falle muß aber die Tabelle auf dieser Seite oben eine weitere Spalte erhalten, für die wir die  $l$ -Werte selbst berechnen können:

$$l = \frac{m}{2 \cdot \tan \frac{d}{2}}$$

Auch das erledigt der Taschenrechner; man muß nur achtgeben, daß für  $m$  und  $l$  die gleiche Einheit verwendet wird.



52 Hier wurde die Position eines Planeten aus zwei Abstandsmessungen graphisch ermittelt.

relativ zu den Sternen, stets nach Osten (beim Blick in Südrichtung also nach links) zieht, während für die Planeten beide Richtungen, nach Osten und nach Westen, möglich sind.

Um den Ort eines Gestirns, relativ zu den Sternen, zu ermitteln, bestimmen wir seine Abstände von zwei Sternen, die wir im Sternatlas (im Anhang des Buches) aufsuchen können. Am günstigsten ist es, wenn diese mit unserem Gestirn ein nicht zu flaches Dreieck bilden. Im Sternatlas schlagen wir mit dem Zirkel um jeden der beiden Sterne einen Kreisbogen, dessen Radius dem jeweils gemessenen Abstand gleich ist. Den erforderlichen Maßstab entnehmen wir der senkrechten Gradskala am Kartenrand im Sternatlas. Der Ort des Gestirns ist dann der Schnittpunkt beider Kreisbögen (Bild 52).

## Das All – die große alte Uhr

### Sterntage, Sternstunden

Die Zeit muß merkwürdig ungleich auf die Menschen verteilt sein! »Ich habe keine Zeit!« ist der Standardausruf des Vielbeschäftigten, der mit Bedauern feststellt, daß der Tag nur 24 Stunden umfaßt. Auch mancher Amateurastronom wird sich eingedenk der Schere zwischen der Freude am abendlichen Hobby und dem Gedanken an das unerbittliche Weckerklingeln am nächsten Morgen schon oft mehr Zeit für seine Freizeitbeschäftigung mit dem gestirnten Himmel gewünscht haben. Andererseits gibt es eine Freizeitindustrie, die Dinge produziert, mit denen man sich die Zeit vertreiben oder – noch gewalttätiger – mit denen man die Zeit totschielen kann! Was ist Zeit?

Natürlich gehört die Zeit zu den physikalischen Größen, aber sie ist nach aller Erfahrung unbeeinflussbar und läuft immer nur in eine Richtung. Man kann sie nicht wahrnehmen, sondern lediglich die Vorgänge »in ihr«. Deshalb ist jede Zeitmessung der Vergleich einer Zeitspanne – also der Dauer eines Vorgangs – mit einer Zeiteinheit. Jahrtausende hindurch hat die Astronomie der menschlichen Gesellschaft diese Zeiteinheit geliefert; erst in der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts wurden Uhren entwickelt, deren Gang an Gleichmäßigkeit den der bis dahin benutzten astronomischen Erscheinungen übertrifft.

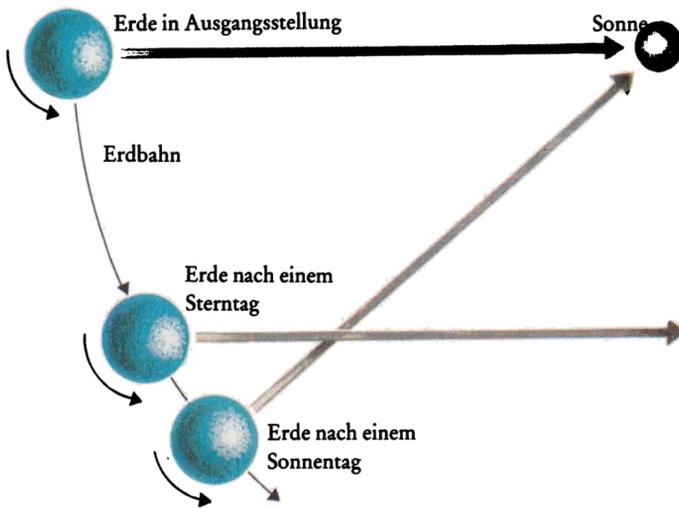
Der Kalender, die Zeiteinteilung in größere Einheiten, ist dagegen noch heute ganz und gar von der Astronomie beherrscht. Wir rechnen in Tagen, Monaten und Jahren – und überlegen uns sicher nicht in jedem einzelnen Falle, daß gründliche astronomische Beobachtungen und umfangreiche Kenntnisse über die Bewegungsvorgänge am Himmel nötig

### Tag und Jahr

Ein Tag ist die Zeitspanne, in der sich die Erde einmal um ihre Achse, also einmal um  $360^\circ$ , dreht. Andererseits hört man auch: Ein Tag – das ist die Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen der Sonne durch den Himmelsmeridian im Süden. Beide Definitionen sind richtig, aber unvollständig; sie bedeuten nicht dasselbe.

Bild 53 zeigt, daß – wegen der Umlaufbewegung der Erde um die Sonne – nach einer Umdrehung um  $360^\circ$  der Beobachter noch nicht wieder die gleiche Stellung relativ zur Sonne einnimmt wie in der Ausgangsposition. Die Erde muß sich noch um einen kleinen – im Bild stark übertriebenen – Winkel weiterdrehen; dazu werden noch rund 4 Minuten benötigt. Das sind die 4 Minuten Unterschied zwischen Sonnentag und Sterntag!

Ganz unexakt, aber dennoch viel in Gebrauch ist die Bezeichnung »Tag« für den Zeitraum, während dessen die Sonne über dem Horizont des Beobachters steht. Hierfür sollte man besser die sprachlich etwas schwerfälli-



53 Eine Umdrehung der Erde dauert nicht ganz 24 Stunden.

waren, um einen geordneten Kalender zu schaffen. Im Gegensatz zu den Einheiten der Länge, der Masse, der Stromstärke und vieler anderer physikalischer Größen, die willkürlich gewählt werden konnten, sind die Einheiten der Zeit, zumindest teilweise, den Menschen von der Natur vorgeschrieben. Wir rechnen in Tagen, und wir teilen größere Zeitspannen in Jahre ein, weil der Wechsel von Hell und Dunkel bzw. die regelmäßige Wiederkehr der Jahreszeiten unseren biologischen Rhythmus entscheidend bestimmen.

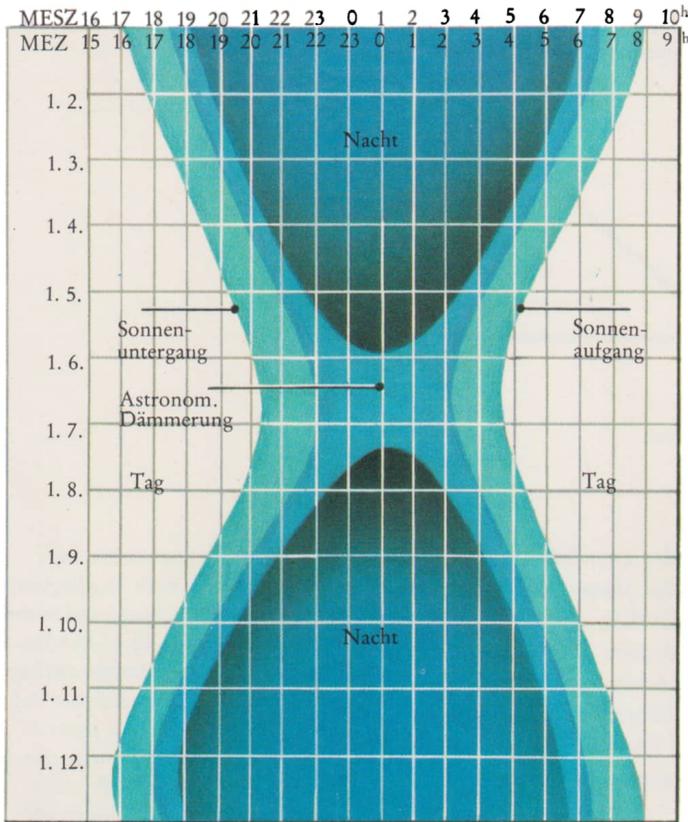
Wir wollen Azimut und Höhe eines hellen Sterns am Ost-, Süd- oder Westhimmel messen. Die genaue Zeit der Messung wird notiert. Einige Tage später richten wir das Winkelmeßgerät auf die gleichen Koordinaten ein und bestimmen den Zeitpunkt, zu dem der Stern den anvisierten Ort an der Himmelskugel durchläuft. Aber Achtung! Je mehr Tage seit der ersten Messung vergangen sind, desto zeitiger müssen wir diese Beobachtung durchführen!

Wir werden feststellen, daß der Stern den anvisierten Ort von Tag zu Tag um 4 Minuten eher erreicht. Erinnern wir uns: Eine Umdrehung der Erde dauert 23 h 56 min. Die 4 Minuten, die an 24 Stunden fehlen, haben wir mit dieser Beobachtung entdeckt! Die Zeit bis zur Wiederkehr des Sterns an den gleichen Ort der Himmelskugel ist ein Sterntag; beobachten wir statt des Sterns die Sonne, so können wir den Gnomon verwenden und die Zeitspanne ermitteln, die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sonnenkulminationen vergeht. Das ist ja gleichbedeutend mit der Wiederkehr der Sonne an den gleichen Ort der Himmelskugel – wenn wir von der Tatsache absehen, daß sich von Tag zu Tag die Kulminationshöhe der Sonne ein wenig ändert. Damit haben wir den Sonnentag ermittelt; er dauert fast genau 24 Stunden.

gere Formulierung »heller Tag« verwenden. Der helle Tag beginnt also mit Sonnenaufgang und endet mit Sonnenuntergang; er kündigt sich durch die Morgendämmerung an und verabschiedet sich mit der Abenddämmerung. Man unterscheidet je nach der Höhe  $h_s$  der Sonne (besser: ihrer Tiefe unter dem Horizont, denn während der Dämmerung steht die Sonne noch – oder schon – unter dem Horizont, ihre Höhe ist negativ):

- die bürgerliche Dämmerung (Grenze bei  $h_s = -6^\circ$ ),
- die nautische Dämmerung (Grenze bei  $h_s = -12^\circ$ ),
- die astronomische Dämmerung (Grenze bei  $h_s = -18^\circ$ ).

Astronomische Beobachtungen sind sinnvoll, wenn die Sonne tiefer als  $12^\circ$  unter dem Horizont steht, absolute Dunkelheit herrscht jedoch erst bei einer Sonnenhöhe unter  $18^\circ$ . Im Verlaufe des Jahres schwankt die Dauer der nautischen Dämmerung (Bild 54); von Anfang Juni bis Mitte Juli endet in unseren Breiten die astronomische Dämmerung überhaupt nicht. Die Sonne erreicht dann selbst bei ihrem tiefsten Stand im Norden die erforderliche »Tiefe« von  $18^\circ$  nicht mehr.



54 Die nautische und astronomische Dämmerung im Laufe des Jahres. Im Sommer wird es gar nicht richtig dunkel.

55 Einmal im Jahr durchwandert die Sonne scheinbar den Tierkreis.

## Die geronnene Zeit

Um den Sonntag in kleinere Einheiten zu zerlegen, benutzen wir unsere Uhr. Wir werden sie von Zeit zu Zeit kontrollieren müssen, denn eine absolut gleichmäßig gehende Uhr gibt es nicht. Auch eine teure Quarzuhr zeigt nach einiger Zeit eine mehr oder weniger große Abweichung von der Normalzeit, die wir uns mit Hilfe des Rundfunkzeitzeichens besorgen können. Nur sollte man die Uhr nicht bei jedem Zeitvergleich verstellen! Es ist – für die Uhr und auch für den Beobachter, der sie benutzt – weit besser, sich zu notieren, um welchen Betrag sich die Zeitanzeige unserer Uhr von der des Zeitzeichens unterscheidet. Dieser Betrag heißt *Uhrstand*. Geht unsere Uhr nach, so rechnen wir den Uhrstand positiv; geht sie vor, so ist der Uhrstand negativ anzugeben:

Zeitanzeige unserer Uhr + Uhrstand = MEZ.

Wer in regelmäßigen Zeitabständen – bei mechanischen Uhren wöchentlich, bei Quarzuhren alle zwei Monate – den Stand seiner Uhr ermittelt und in einer Tabelle festhält, kann daraus für jeden dazwischenliegenden Zeitpunkt mit genügender Ge-

Ein Umlauf der Erde um die Sonne, ein Jahr, dauert 365,25 Tage. Unser Kalenderjahr mit seinen 365 Tagen ist also um rund einen Vierteltag zu kurz; ohne Korrektur würde nach 4 Jahren der Kalender um einen Tag »vorgehen«. Bekanntlich behebt man diesen Mangel, indem man nach drei »Gemeinjahre« von je 365 Tagen ein Schaltjahr zu 366 Tagen einschleibt. 1988, 1992, 1996 sind solche Schaltjahre. Eine noch verbleibende kleine Differenz wird dadurch berücksichtigt, daß alle 400 Jahre dreimal statt eines fälligen Schaltjahres ein Gemeinjahr eintritt. Im Zeitraum von 1700 bis 2099 sind die Jahre 1700, 1800 und 1900 solche »verhinderten Schaltjahre«.

Während eines Umlaufs der Erde um die Sonne scheint sich

nauigkeit einen Korrekturwert ermitteln und so, gewissermaßen »nachträglich«, die genaue Zeit eines Ereignisses bestimmen.

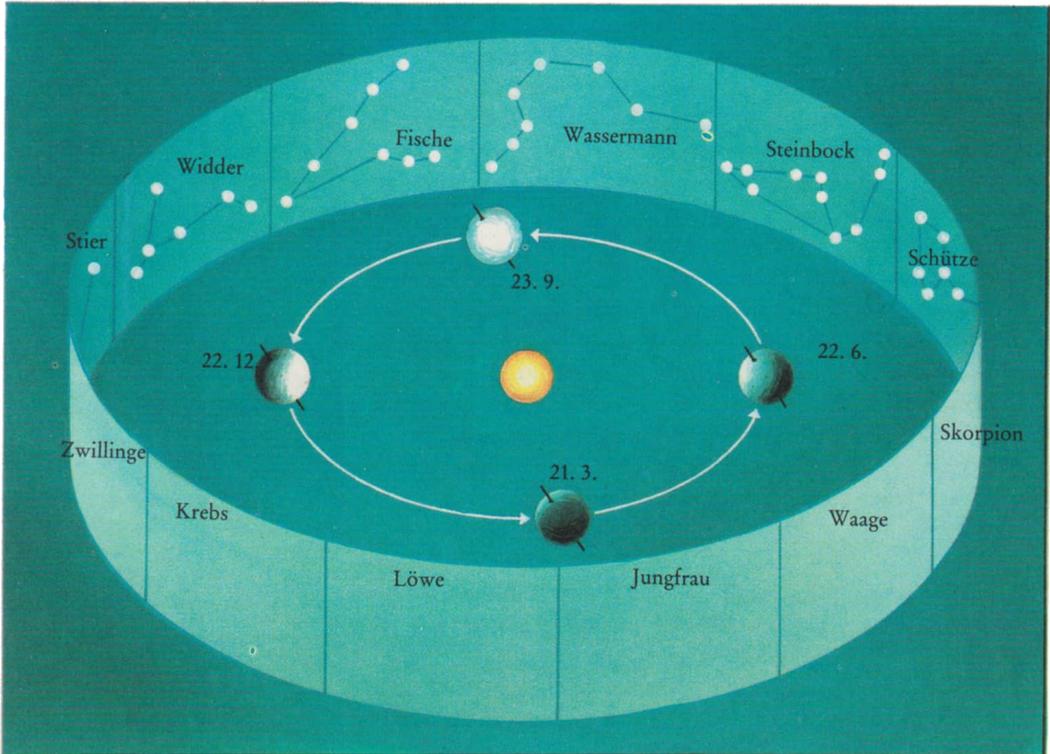
Eine Uhr, die nur für astronomische Zwecke reserviert ist, sollte beim Wechsel von Mitteleuropäischer Zeit (MEZ) auf Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ) und umgekehrt nicht vor- oder zurückgestellt werden; sie sollte ständig MEZ anzeigen. Ganz zünftige Amateurastronomen lassen ihre Beobachtungsuhr nach Weltzeit (UT, Universal Time) gehen:

$$UT = MEZ - 1 \text{ h.}$$

### Schönwetteruhren

In vergangenen Jahrhunderten wurden vielfach Sonnenuhren zur Ermittlung der Uhrzeit genutzt. Auch heute findet man noch viele dieser alten Zeitmesser, und nicht selten erblickt man in öffentlichen Anlagen, an Gebäuden oder in Gärten neuerrichtete Sonnenuhren. Sie sind in erster Linie als Schmuck gedacht, und doch erinnern sie den Betrachter stets auch ein wenig an die Bewegung der Erde und an die Zeit, als man Räderuhren oder gar Quarzuhren noch nicht kannte. Wir bauen uns auch eine Sonnenuhr!

für einen irdischen Beobachter die Sonne langsam relativ zu den Sternbildern des Himmelshintergrundes zu bewegen. Da in der Ebene der Erdbahn die Sternbilder des Tierkreises liegen, werden sie nacheinander von der Sonne überstrahlt und damit unsichtbar gemacht (Bild 55). Man sagt: »Die Sonne durchläuft die Tierkreissternbilder.« In Wirklichkeit ist es die Bewegung der Erde, die dadurch wahrnehmbar wird.





56 *Sonnenuhr am Rathaus zu Bautzen. Nicht nur ein Zeitmesser – auch ein attraktiver Schmuck!*

Sonnenuhren kann man an einer Hauswand anbringen oder auch im Freien aufstellen. An einer genau ost-westlich verlaufenden Südwand kann ohne große Schwierigkeiten eine »vertikale Süduhr« angebracht werden. Als Schattenwerfer verwenden wir einen geraden, nicht zu dünnen Metallstab. Er muß genau nach Süden zeigen, aber nicht waagrecht, sondern unter einem Winkel  $\beta = 90^\circ - \varphi$  nach unten geneigt. Der Winkel  $\varphi$  ist auch hier wieder die geographische Breite des Aufstellungsortes. (Eine in Berlin auf  $52,5^\circ$  geographischer Breite befindliche vertikale Süduhr muß also einen Schattenwerfer erhalten, der um  $90^\circ - 52,5^\circ = 37,5^\circ$  nach unten zeigt.)

Die Stundenlinien der vertikalen Süduhr liegen symmetrisch zur  $12^h$ -Linie, die senkrecht unter dem Schattenwerfer nach unten führt. Sie schließen mit ihr jeweils einen Winkel  $\alpha$  ein, den wir mit Hilfe der Gleichung

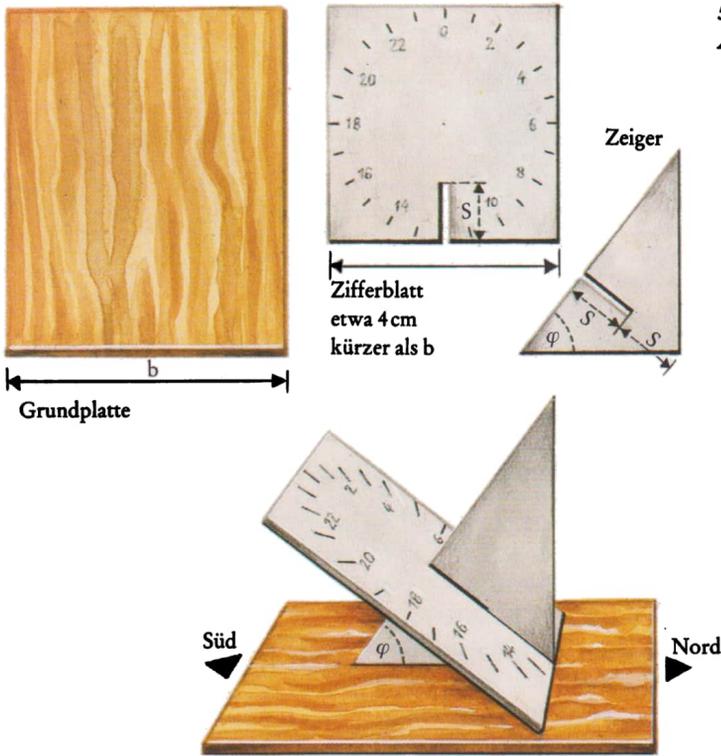
$$\tan \alpha = \cos \varphi \cdot \tan (15 \cdot t)$$

bestimmen. Auch hier ist  $\varphi$  die geographische Breite des Aufstellungsortes;  $t$  ist die Zeit vor bzw. nach 12 Uhr, gezählt in Stunden.

Ein Beispiel mag diese Berechnungsweise erläutern. An einem Ort auf  $52^\circ$  geographischer Breite ist der Winkel zwischen der  $12^h$ -Linie und der  $10^h$ - (bzw.  $14^h$ -) Linie zu bestimm-

### Zeitgleichung

Die Ungleichförmigkeit in der Bewegung der »wahren Sonne« – einer durch die Bewegung der Erde bewirkten scheinbaren Bewegung – wird durch zwei Effekte hervorgerufen. Zum einen vollzieht sich der jährliche Lauf der Sonne durch die Sternbilder des Tierkreises auf einer Bahn, die nicht parallel zur scheinbaren täglichen Bahn ist, sondern sie unter einem Winkel von  $23,4^\circ$  schneidet. Zum anderen ist die wahre Bahn der Erde um die Sonne eine Ellipse, und auf dieser Bahn bewegt sich die Erde – wie jeder Planet auf seiner Bahn – im sonnennahen Bahnabschnitt schneller als im sonnenfernen Bahnabschnitt. Dadurch ändert sich auch die Geschwindigkeit der scheinbaren jährlichen Bewegung der Sonne.



men. Der betrachtete Zeitpunkt liegt 2 h vor bzw. nach 12<sup>h</sup>, also ist  $t = 2$ . Mit  $\varphi = 52^\circ$  liefert uns der Taschenrechner das Ergebnis:  $\alpha = 19,6^\circ$ .

Eine vertikale Süduhr zeigt im Sommerhalbjahr die ganz frühen und die ganz späten Stunden nicht an, da dann die Sonne nicht mehr auf die Südwand scheint. Steht man vor der Uhr, so verläuft die Bezifferung der Stundenlinien entgegen dem Uhrzeigersinn.

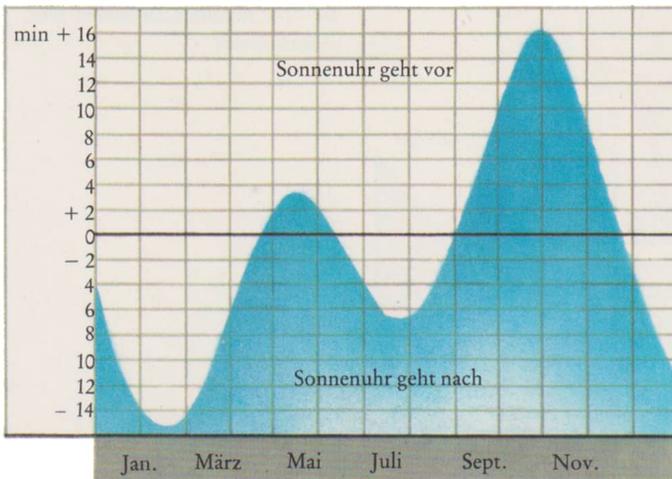
Von den freistehenden Sonnenuhren sind die Äquatorialuhr und die Horizontaluhr am einfachsten zu konstruieren. Die Einzelteile der Äquatorialuhr sind in Bild 57 dargestellt. Die Abmessungen sind frei wählbar, lediglich der Winkel  $\varphi$  muß mit der geographischen Breite des Aufstellungsortes übereinstimmen. Das Maß »b« sollte jedoch nicht kleiner sein als 20 cm. Die Einschnitte im quadratischen Zifferblatt und im Zeiger sind gleich lang; »s« ist ein Viertel der Seitenlänge des Zifferblattes. Dort, wo die Hypotenuse des Zeigerdreiecks das Zifferblatt senkrecht durchstößt, befindet sich der Mittelpunkt der Stundenteilung; sie besteht aus 24 gleichen Abschnitten von je  $15^\circ$ .

Die Oberseite des Zifferblattes einer solchen Uhr wird aber nur im Sommerhalbjahr, vom Frühlingsanfang bis zum Herbstanfang, getroffen. Im Winter steht die Sonne so niedrig am

Beide Effekte überlagern sich und bewirken das »Nachgehen« bzw. »Vorgehen« der Sonnenuhr gegenüber der genau gleichförmig laufenden »mittleren Uhr«. Es wird durch die Kurve der Zeitgleichung beschrieben.

#### Nochmals: astronomische Koordinaten

Die uns schon bekannten astronomischen Koordinaten *Azimuth* und *Höhe* sind zwar sehr anschaulich und ihr Koordinatensystem läßt sich leicht verstehen, aber sie zwingen zu einer sehr unbequemen Praxis. Wegen der Zeit- und Ortsabhängigkeit dieser Koordinaten müssen ja in jedem Falle außer Azimuth und Höhe auch der Beobachtungsort und der Beobachtungszeitpunkt angegeben werden.



Himmel, daß sie die Unterseite des Zifferblattes bescheint – und dort lassen sich die Stunden ja nicht gerade bequem ablesen. Um diesem Nachteil aus dem Wege zu gehen, kann man das Zifferblatt einer Sonnenuhr auch horizontal aufstellen.

Eine *Horizontalsonnenuhr* besteht nur aus Grundplatte und Zeiger. Das Zifferblatt wird auf die Grundplatte gezeichnet, der Zeiger kann von der Äquatorialuhr übernommen werden. Als 12<sup>h</sup>-Linie markieren wir die Nord-Süd-Linie; alle anderen Stundenlinien gehen von der Stelle aus, an der die Hypotenuse des Zeigerdreiecks die Grundplatte schneidet. Sie schließen mit der 12<sup>h</sup>-Linie unterschiedliche Winkel  $\alpha$  ein, die mit Hilfe der Gleichung

$$\tan \alpha = \sin \varphi \cdot \tan (15 \cdot t)$$

berechnet werden müssen ( $\varphi$ : geographische Breite,  $t$ : Anzahl der Stunden vor bzw. nach 12<sup>h</sup>).

Ein Beispiel zum Nachrechnen: Für einen Ort auf 54° geographischer Breite beträgt der Winkel zwischen der 12<sup>h</sup>-Linie und der 17<sup>h</sup>-Linie  $\alpha = 71,7^\circ$ .

Eine Horizontaluhr zeigt das ganze Jahr über und den ganzen Tag über die Zeit an – wenn die Sonne scheint. Die Bezifferung der Stundenlinien verläuft im Uhrzeigersinn.

### Die wahre Zeit ist unpraktisch

Bei den ersten Versuchen, eine Sonnenuhr zur Zeitbestimmung zu benutzen, werden wir allerlei Unstimmigkeiten feststellen müssen. Nur selten stimmt die abgelesene Zeit mit der überein, die unsere Armbanduhr zeigt – und das auch dann noch, wenn wir die eine Stunde Differenz zwischen MEZ und MESZ berücksichtigen. Haben wir etwas falsch gemacht?

Es liegt daher nahe, nach einem astronomischen Koordinatensystem zu suchen, das für jeden Punkt am Himmel orts- und zeit-unabhängige Koordinaten anzugeben vermag. Diese Aufgabe ist nicht so schwer, wie sie aussieht: Wir brauchen nur das Koordinatensystem der *Erdkugel* (geographische Länge und geographische Breite) auf die *Himmelskugel* zu übertragen. Diese geographischen Koordinaten bleiben ja auch – trotz der Rotation der Erde – für einen bestimmten Punkt auf der Erdkugel immer konstant.

Wir denken uns also die Himmelskugel mit einem Gradnetz überzogen, dessen »Meridiane« sich in den Himmelpolen schneiden. Genau wie bei der Erde umspannt ein Äquator die Himmelskugel (Bild 59). Auf diesem *Himmelsäquator* wird die *Rektaszension*  $\alpha$  gezählt; sie entspricht der geographischen Länge, wird aber nicht in Winkelgrad, sondern in Zeitmaß (h, min, s) angegeben. Dabei gilt:

$$\begin{aligned} 360^\circ &\cong 24 \text{ h}; & 15^\circ &\cong 1 \text{ h}; \\ 1^\circ &\cong 4 \text{ min}. \end{aligned}$$

Als Nullpunkt dieser Zählung benutzt man den Frühlingspunkt. Das ist der Punkt, in dem sich die

Die *wahre Sonnenzeit*, die wir durch die Sonnenuhr erhalten, ist eine recht ungleichförmig ablaufende Zeit und deshalb für den praktischen Gebrauch ungeeignet. Deshalb geht jede Sonnenuhr gegenüber einer *mittleren Sonnenzeit*, die man sich genau gleichförmig ablaufend denkt, zeitweilig vor und zeitweilig nach. Wieviel das ausmacht, ist aus Bild 58 abzulesen. Diese Differenz zwischen wahrer und mittlerer Sonnenzeit heißt *Zeitgleichung*. Sie ist, strenggenommen, von Jahr zu Jahr leicht veränderlich. Bild 58 enthält mittlere Werte, die jedoch nur unwesentlich von den tatsächlichen abweichen.

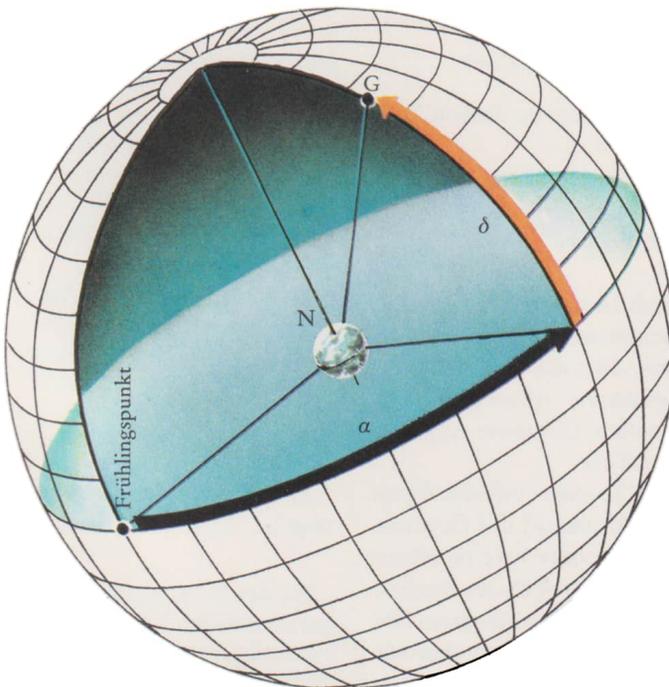
Man muß also die Zeitgleichung berücksichtigen, wenn man aus der Angabe der Sonnenuhr die mittlere Sonnenzeit bestimmen will. Aber damit ist immer noch keine Übereinstimmung mit unserer Mitteleuropäischen Zeit erreicht. Die mittlere Sonnenzeit ist nämlich eine *Ortszeit* (auch Mittlere Ortszeit, MOZ, genannt). Orte auf unterschiedlichen geographischen Längen haben unterschiedliche mittlere Sonnenzeit. (Bis zum Jahre 1893 wurde übrigens dieses Zeitsystem allgemein benutzt. Jede Stadt hatte damals ihre »eigene« Zeit, und die Eisenbahnfahrpläne gaben die Ortszeiten der einzelnen Stationen an.) Auf Grund der Erfordernisse der Nachrichtenübermittlung und des Personenverkehrs führte man am 1. 4. 1893 die Zonenzeiten, für Mitteleuropa die Mitteleuropäische Zeit, ein. Das ist die Mittlere Ortszeit des 15. östlichen Längengrades, der unter anderem durch Görlitz verläuft.

Sonne im Moment des Frühlingsanfangs befindet. Er liegt auf dem Himmelsäquator.

Der »Meridian« eines Gestirns heißt in diesem Koordinatensystem *Stundenkreis*. Auf ihm wird die *Deklination*  $\delta$ , das ist der Winkelabstand vom Himmelsäquator, als zweite Koordinate gezählt. Hier verwenden wir wieder das gewohnte Winkelmaß. Nördlich des Himmelsäquators gelegene Gestirne haben positive, südlich gelegene haben negative Deklinationen. Der Abstand  $p$  eines Gestirns vom Himmelsnordpol (vgl. Seite 40 und Seite 50) und die Deklination  $\delta$  dieses Gestirns ergänzen sich übrigens zu  $90^\circ$ :

$$p + \delta = 90^\circ.$$

Im Sternatlas ist das Gradnetz für Rektaszension und Deklination eingezeichnet. Dadurch ist es möglich, die Koordinaten der eingetragenen Beobachtungsobjekte



59 Noch einmal: astronomische Koordinaten. Weil sich dieses Gradnetz auf den Himmelsäquator stützt, nennt man es Äquatorsystem.

Nur für Görlitz und alle Orte auf dem gleichen Längengrad stimmen also Mittlere Ortszeit (MOZ) und Mitteleuropäische Zeit (MEZ) überein. Westlich davon stehende Sonnenuhren gehen, auch wenn man bei der Anzeige die Zeitgleichung berücksichtigt, um einen konstanten Betrag im Vergleich mit der MEZ-Uhr nach. Dieser Betrag hängt von der geographischen Länge des Standortes ab. Er macht in Bautzen 2,3 Minuten, in Dresden 5, in Leipzig 10,5, in Erfurt 15,9 und in Eisenach schon 18,7 Minuten aus. Eine in Aachen aufgestellte Sonnenuhr zeigt, verglichen mit der MEZ-Uhr, sogar eine konstante Differenz von 35,7 Minuten an.

Wir können nun die Mitteleuropäische Zeit aus der abgelesenen wahren Sonnenzeit berechnen. Voraussetzung ist, daß die geographische Länge  $l$  des Aufstellungsortes unserer Sonnenuhr bekannt ist. (Sie läßt sich, wie auch die geographische Breite, mit genügender Genauigkeit einem Atlas entnehmen.) Wenn wir in die folgende Formel die in Zeitmaß ausgedrückte geographische Länge  $l$ , und die Zeitgleichung  $z$  in Minuten einsetzen (zu  $l$ , siehe Seite 22/23), erhalten wir die Korrektur in Minuten:

$$\text{Wahre Sonnenzeit} - z + 1 \text{ h} - l = \text{MEZ.}$$

*Rechenbeispiel:* Am 17. November wird an einer in Berlin befindlichen Sonnenuhr die Wahre Sonnenzeit zu  $14^{\text{h}}50^{\text{min}}$  bestimmt. Die Zeitgleichungskurve ergibt, daß an diesem Tage mit einer Zeitgleichung  $z = 15 \text{ min}$  gerechnet werden muß; die geographische Länge von Berlin ist  $13,4^\circ$ . Wir rechnen:

$$14^{\text{h}}50^{\text{min}} + 60 \text{ min} - 15 \text{ min} - (13,4 \cdot 4) \text{ min} = 14^{\text{h}}41,4^{\text{min}}.$$

Im Rahmen der Ablesegenauigkeit beträgt also zu diesem Zeitpunkt die Mitteleuropäische Zeit  $14^{\text{h}}41^{\text{min}}$ .

### Wann kommen und gehen die Sterne?

Wir wollen das Stichwort »Zeit« noch in einem anderen Zusammenhang betrachten. Ein Amateurastronom sollte, will er mit seiner Freizeit rationell umgehen, über die Auf- und Untergangszeiten seiner Beobachtungsobjekte informiert sein. Dabei kann die drehbare Sternkarte helfen. Genauere Angaben liefert die Rechenscheibe (siehe Seite 175).

Grundlage für das Einstellen dieser Scheibe sind die Äquatorkoordinaten (Rektaszension und Deklination) des Gestirns. Bei Sternen, Nebeln und Sternhaufen können wir in einem Verzeichnis, z. B. in den Tabellen im Kapitel 4 dieses Buches, nachschlagen oder die Werte einem Sternatlas entnehmen. Für bewegte Objekte, z. B. Mond, Planeten, Kometen, finden wir die Koordinaten in einem astronomischen Jahrbuch.

hinreichend genau durch Ausmessen zu bestimmen. Für ganz präzise Koordinatenangaben in wissenschaftlichen Arbeiten muß die Präzession berücksichtigt werden. Damit hat es folgende Bewandnis:

Durch die Anziehungskräfte zwischen Sonne, Mond und Erde behält die Rotationsachse der Erde ihre Richtung im Raum nicht exakt bei. Sie beschreibt im Verlauf sehr langer Zeiträume eine Bewegung, ähnlich der »Taubelbewegung« eines rotierenden Kinderkreisels. Die Folge davon ist, daß sich das Koordinatennetz des Himmelsäquators ganz langsam relativ zu den Sternen verschiebt. Daher muß bei genauen Positionsmessungen angegeben werden, für welches Jahr die Lage des benutzten Koordinatensystems gilt. Die Angaben in unserem Astroführer beziehen sich auf die Lage des Koordinatensystems am 1. Januar 2000, das entspricht internationalen Vereinbarungen. Viele ältere Kataloge und Sternkarten sind auf den Beginn des Jahres 1950 bezogen.

Wie geringfügig die Unterschiede in den Koordinatenangaben sind, sollen zwei Beispiele deutlich machen. Wir stellen die Koordinaten zweier Sterne für das Jahr 2000 denen von 1950 gegenüber:

|        | $\alpha$ 1950                   | $\delta$ 1950  |
|--------|---------------------------------|----------------|
| Sirius | $6^{\text{h}}42,9^{\text{min}}$ | $-16,56^\circ$ |
| Deneb  | $20 \ 39,7$                     | $+45,10$       |
|        | $\alpha$ 2000                   | $\beta$ 2000   |
| Sirius | $6^{\text{h}}45,1^{\text{min}}$ | $-16,70^\circ$ |
| Deneb  | $20 \ 41,4$                     | $+45,28$       |

Für den Sternfreund ist es in den allermeisten Fällen nicht erforderlich, auf die Präzession Rücksicht zu nehmen.

Zuerst stellen wir die Rektaszension des Gestirns im Ausschnitt der mittleren Scheibe auf die geographische Länge des Beobachtungsortes ein, dann den Pfeil »Kulmination« der Plastscheibe auf das Datum des Beobachtungstages. Er gibt auf der mittleren Scheibe die Kulminationszeit (in MEZ) an. Ohne weiteres Einstellen können nun auf der mittleren Scheibe auch die Aufgangszeit und die Untergangszeit für die Deklination des Gestirns mit einer Genauigkeit von etwa  $\pm 5$  Minuten abgelesen werden, und zwar ebenfalls in MEZ. Während der Geltungsdauer der Sommerzeit ist die Zeitdifferenz

$MEZ + 1 \text{ h} = MESZ$

zu berücksichtigen.

Die Auf- und Untergangszeiten auf der Rechenscheibe sind für einen Beobachtungsort auf  $51^\circ$  geographischer Breite berechnet; wird die Scheibe für andere Breiten benutzt, so sind – wie bei der drehbaren Sternkarte – kleine Abweichungen in Kauf zu nehmen. Sie bleiben jedoch in Grenzen und werden belanglos angesichts der Tatsache, daß man ja meist ohnehin keinen freien Ausblick bis zum mathematischen Horizont hat.

Unsere Rechenscheibe kann aber noch mehr! Berücksichtigen wir die Plastscheibe nicht und bringen eine bestimmte Zeitangabe auf der mittleren Scheibe mit einem ausgewählten Datum des Kalenderrings in Übereinstimmung, so können wir im Ausschnitt der mittleren Scheibe die *Sternzeit* für die geographische Länge unseres Beobachtungsortes ablesen.

Kennt man aber die momentane Sternzeit, dann weiß man auch, welche Gestirne in dem betreffenden Moment kulminieren. Es sind die, deren Rektaszension gleich der momentanen Sternzeit ist. Der Stern Aldebaran im Sternbild Stier, dessen Rektaszension  $4^{\text{h}}36^{\text{min}}$  beträgt, wird also täglich um  $4^{\text{h}}36^{\text{min}}$  Sternzeit kulminieren. Nachprüfen! Im obigen Beispiel wird der 10. Februar,  $19^{\text{h}}00^{\text{min}}$  MEZ, erwähnt. Hat Aldebaran zu diesem Zeitpunkt schon kulminiert, oder wird er erst noch kulminieren?

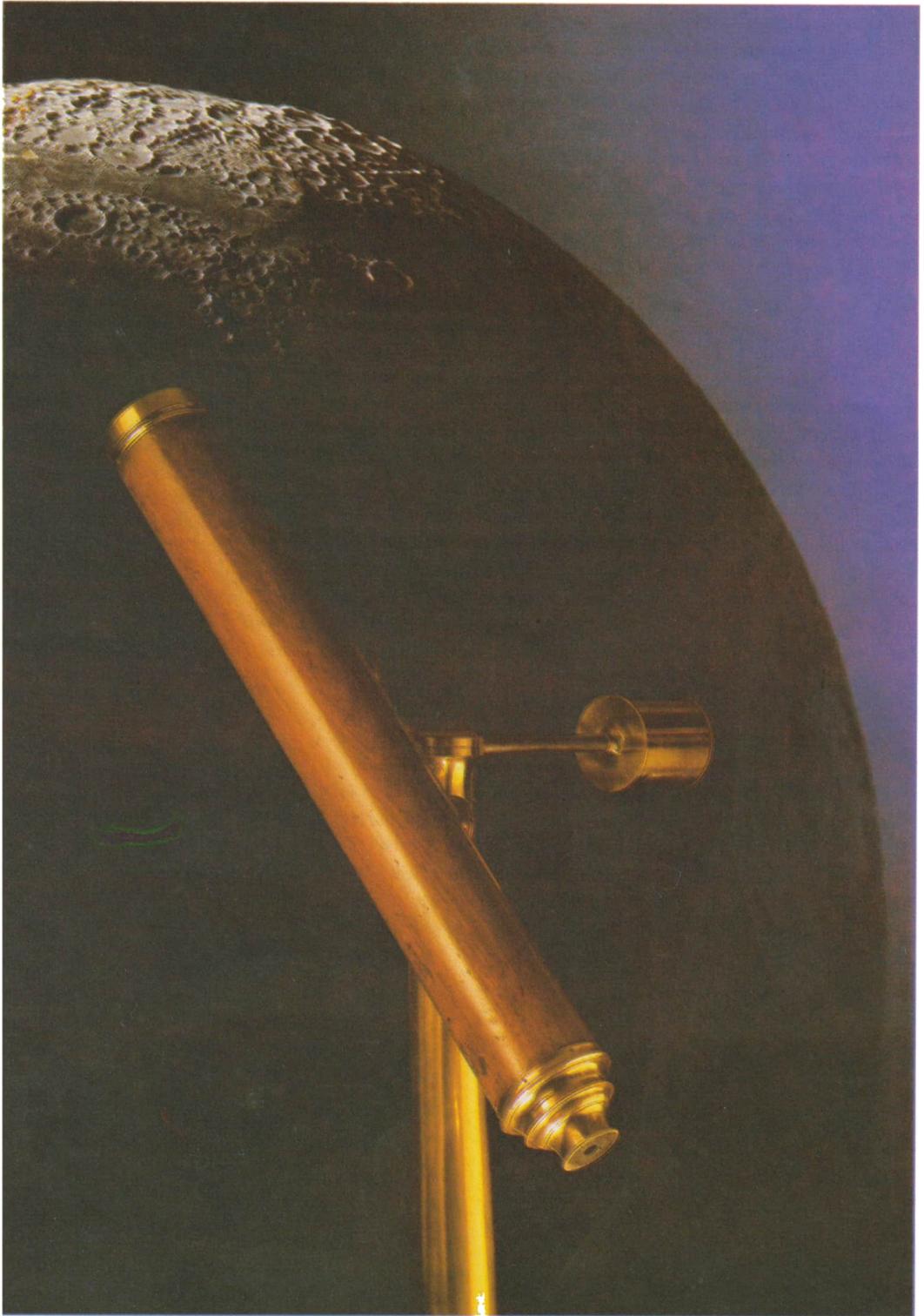
Ein Einstellbeispiel verdeutlicht, wie die Rechenscheibe zu handhaben ist:

Gesucht sind Aufgangs-, Kulminations- und Untergangszeit des Sirius (im Sternbild Großer Hund) am 10. Februar in Leipzig. Die Koordinaten des Sterns lauten: Rektaszension  $\alpha = 6^{\text{h}}45^{\text{min}}$ , Deklination  $\delta = -17^\circ$ ; die geographische Länge von Leipzig beträgt  $12^\circ$ . Wir bringen die  $12^\circ$ -Marke der Längenskala mit dem Punkt  $6^{\text{h}}45^{\text{min}}$  auf der Rektaszensionskala in Übereinstimmung und stellen den Pfeil »Kulmination« auf das Datum »10. Februar«.

Dann lesen wir ab:

- die Uhrzeit am »Kulminationspfeil«: Sirius kulminiert am 10. Februar gegen  $21^{\text{h}}35^{\text{min}}$  MEZ;
- die Uhrzeit bei  $-17^\circ$  Deklination rechts: Sirius geht am 10. Februar gegen  $17^{\text{h}}05^{\text{min}}$  MEZ auf;
- die Uhrzeit bei  $-17^\circ$  Deklination links: Sirius geht am 10. Februar gegen  $2^{\text{h}}05^{\text{min}}$  MEZ unter.

Auch für die Umwandlung von Sonnenzeit in Sternzeit geben wir ein Einstellbeispiel: Wieviel Uhr Sternzeit ist es am 10. Februar um  $19^{\text{h}}00^{\text{min}}$  MEZ in Leipzig? Wir drehen die  $19^{\text{h}}$ -Marke der Uhrzeitskala (auf der mittleren Scheibe) auf das Datum 10. Februar (auf dem Kalenderring) und lesen im Ausschnitt bei  $12^\circ$  geographischer Länge (Leipzig!) ab: Es ist zum angegebenen Moment  $4^{\text{h}}09^{\text{min}}$  Sternzeit. Dies gilt übrigens nicht nur für Leipzig, sondern für alle Orte auf dem gleichen Meridian. Die Sternzeitangabe ist also unabhängig von der geographischen Breite!



# Kapitel 3 Mit dem Fernglas auf Sternenjagd

|                           |     |                      |
|---------------------------|-----|----------------------|
|                           | 68  | Fernglas             |
| Nicht zittern!            | 69  |                      |
|                           | 70  | Vergrößerung         |
| Richtig bequem postieren! | 71  | Helligkeitsgewinn    |
| Nicht zuwenig erwarten!   | 72  | Auflösungsvermögen   |
| Nachbarschaft             | 74  |                      |
|                           | 75  | Der Mond             |
| Die Sonnenfamilie         | 82  | Die Planeten         |
| Ein Komet kommt           | 89  | Kometen              |
| Die Pärchen               | 92  | Doppelsterne         |
| Mal hell, mal dunkel      | 93  |                      |
| Haufenweise Sterne        | 94  | Sternhaufen          |
| Lichtwechsel              | 100 | Veränderliche Sterne |

## Jagdtips

Ein geflügeltes Wort unter Amateurastronomen lautet: »Jedes Fernrohr hat seinen Himmel.« Damit soll ausgedrückt werden, daß auch mit bescheidenen optischen Hilfsmitteln viele interessante Beobachtungsobjekte erreichbar sind und daß Freude und Befriedigung bei der Freizeitastronomie nicht von den Ausmaßen der verwendeten Optik abhängen. Das gilt in besonderem Maße für das *Fernglas* als astronomisches Beobachtungsinstrument. Seine Lichtstärke ist im Vergleich zu vielen astronomischen Fernrohren enorm groß, und sein Sehfeld übertrifft das der meisten Großteleskope. Dafür ist jedoch die Vergrößerung sehr bescheiden. Wir werden also ein Fernglas nicht gerade einsetzen, um kleinste Einzelheiten auf der Oberfläche des Mondes oder eines Planeten zu beobachten; wohl aber, um die Sternwolken der Milchstraße, Sternhaufen, schwachleuchtende Nebel und Kometen sichtbar zu machen.

Noch eine zweite Eigenschaft spricht für das Fernglas: Es ist klein und leicht. Die meisten Sternfreunde verfügen ja nicht über eine eigene Sternwarte, in der sie ihre Beobachtungsgereäte fix und fertig montiert aufstellen und von der aus sie zu beliebiger Tages- und Nachtzeit beobachten können! Da erweist sich das Fernglas als praktisches, platzsparendes kleines Doppelfernrohr mit ausgezeichneten optischen und mechanischen Eigenschaften – ein Qualitätserzeugnis, das durch seine ausgereifte Konstruktion sogar den großen und unbeholfenen Teleskopen aus der Anfangszeit der Fernrohrastronomie turmhoch überlegen ist.

Ein Fernglas kann auch die Urlaubsreise mitmachen. Gerade im Urlaub hat man ja Zeit, seiner Liebhaberei nachzugehen, und oft findet man dann viel bessere atmosphärische Bedingungen als zu Hause. Aber auch am Heimatort kann man mit dem Fernglas in der Tasche der störenden Lichterflut der gro-

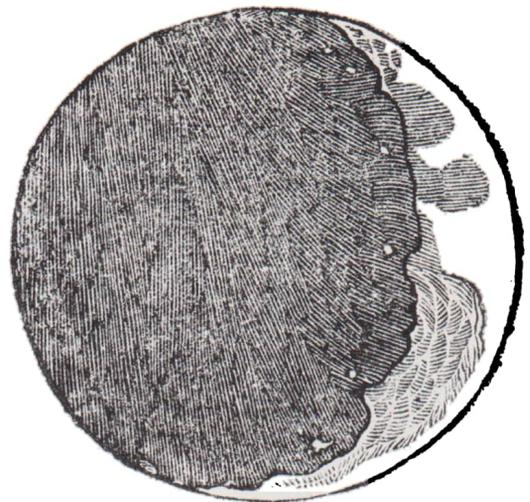
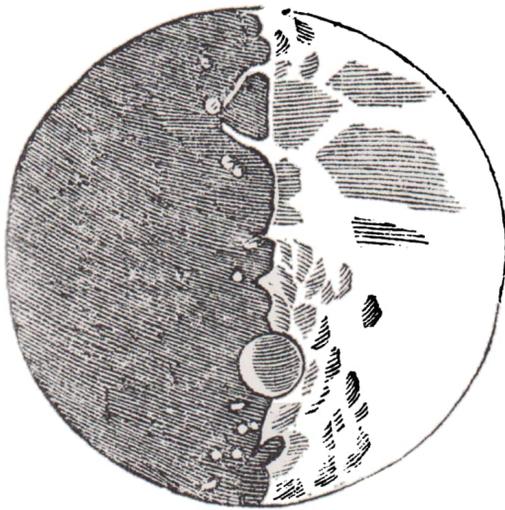


Fernglas

Das Fernglas ist ein miteinander verbundenes Paar von kleinen astronomischen Fernrohren. In ihnen wird der Strahlengang mit Hilfe von Prismen »zusammengefaltet«. Dadurch haben die Fernglaskonstrukteure zweierlei erreicht: eine kürzere Baulänge und ein aufrechtes Bild (Bild 62).

Jedes astronomische Fernrohr besteht aus zwei lichtsammlenden Bauelementen. Das dem Objekt zugewandte System, durch welches das Licht in das Instrument eintritt, ist das Objektiv. Es hat einen größeren Durchmesser und eine größere Brennweite als das dem Auge zugekehrte System, das Okular. Das Objektiv entwirft, wie jede Sammellinse, ein reelles, umgekehrtes und verkleinertes Bild des weit entfernten Objekts.

»Reell« heißt, daß man das Bild auf einem Bildschirm, z. B. auf einem Blatt Papier, auffangen kann; es befindet sich tatsächlich an einer bestimmten Stelle des Raumes. (Der Gegensatz zu *reell* ist *virtuell*. Virtuelle Bilder sind scheinbare Bilder; das Bild in einem ebenen Spiegel ist virtuell – man kann es hinter der



ßen Städte weit bequemer ausweichen als mit einem großen Fernrohr im Gepäck.

Die meisten Ferngläser sind »binokulare« Instrumente; es sind eigentlich zwei nebeneinander angeordnete kleine Fernrohre, in denen der Strahlengang durch Umlenkprismen viermal im rechten Winkel gespiegelt wird. Dadurch ist der wahre Weg des Lichtes zwischen Objektiv und Okular länger als die von außen gemessene Länge der beiden Fernrohre. Die zweiäugige Beobachtung hat große Vorteile: Im Vergleich zum einäugigen Sehen (wie bei nahezu allen astronomischen Fernrohren) erscheinen nahe beieinander befindliche Einzelheiten deutlicher voneinander getrennt. Das lästige Zukneifen oder Zuhalten eines Auges entfällt, und wir erhalten einen natürlicheren Bildeindruck. Die Lichtstärke scheint beim binokularen Sehen ebenfalls größer zu sein als bei einäugiger Betrachtung. (Das ist zwar eine Täuschung, aber sie wirkt sich für den Beobachter sehr angenehm aus.)

### Nicht zittern!

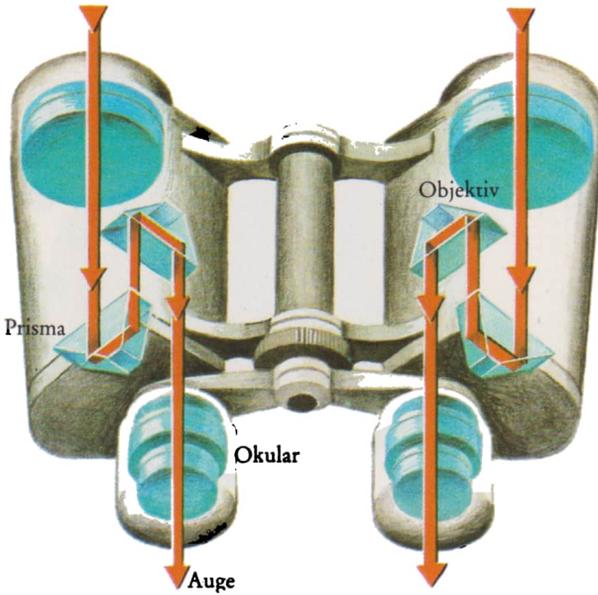
Allerdings sollten wir unser Fernglas auf ein Stativ setzen, wenn wir es für astronomische Beobachtungen benutzen wollen. Diese Forderung klingt ungewöhnlich, denn das Fernglas ist ja im allgemeinen als typisches Freihand-Instrument bekannt. Es ist aber so; das hohe optische Leistungsvermögen eines Fernglases kann erst dann vollständig genutzt werden, wenn das Instrument auf einem festen Stativ steht. Bei der Himmelsbeobachtung würde das immer vorhandene leichte Zittern der Hände so sehr stören, daß feinere Einzelheiten und lichtschwache Objekte gar nicht zu erkennen wären.

60 Ein Kleinfernrohr (Londoner Arbeit, 18. Jahrhundert) aus dem Mathematisch-Physikalischen Salon des Dresdner Zwingers

61 Galileis Zeichnungen der Mondoberfläche. Das war damals eine Sensation!

Wand, an der der Spiegel hängt, nicht finden.) Um das Objekt vergrößert zu sehen, wird das im Raum schwebende reelle verkleinerte Bild aus großer Nähe mit einer starken Lupe betrachtet. Diese Lupe ist das Okular.

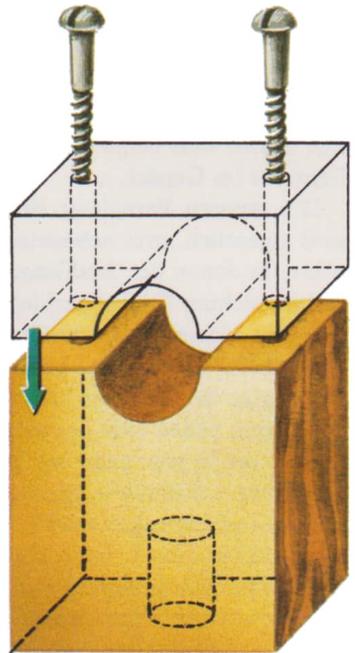
Daß die Lupe das vom Objektiv erzeugte Bild nicht wieder aufrichtet, daß wir in einem normalen astronomischen Fernrohr alle Objekte also auf dem Kopf stehend sehen, spielt für den Astronomen keine Rolle. (Im Weltall sind die Begriffe »oben« und »unten« ohnehin gegenstandslos.) Das Fernglas wurde jedoch nicht zur Beobachtung des gestirnten Himmels erfunden, und deshalb ist die durch die Umlenkprismen bewirkte Bildumkehr, die aus dem »umgekehrten« wieder ein aufrechtes Bild macht, eine zwingende Notwendigkeit.



62 »Röntgenbild« eines Fernglases.  
Man erkennt, zu welchem Umweg das  
Licht gezwungen wird.

63 Fernglasmontierung aus einem  
Stück Holz

Die Fernglasmontierung stellen wir aus einem Holzstab von etwa 30 mm Durchmesser und 50 bis 60 mm Länge oder aus einem Leistenstück mit entsprechenden Abmessungen her. Wir versehen den Stab, wie Bild 63 zeigt, mit einer Querbohrung, deren Durchmesser etwa 1 mm größer sein soll als der Durchmesser der Gelenkachse des Fernglases. Dann erhält die obere Stirnseite des Stabes zwei Führungslöcher für die Holzschrauben, mit denen wir später die Gelenkachse in der großen Bohrung festklemmen wollen. Anschließend sägen wir den Stab in Höhe dieser Bohrung quer durch und füttern die beiden Innenflächen mit je einem Filz- oder Lederstreifen. Die untere Stirnseite des Stabes erhält eine Bohrung, in die wir ein Fotogewinde schneiden. Hier wird eine Bodenmutter, wie sie für Fotoapparate erhältlich ist, eingeleimt.



Nun können wir die Gelenkachse des Fernglases in der Montierung festklemmen und das Ganze auf ein mit Kugelgelenk versehenes Fotostativ schrauben. Auch eine Baumschraube mit Kugelgelenk, die wir in beliebiger Stellung an einer festen Zaunsäule, an einem Baumast oder an einem in den Boden gerammten Pfahl befestigen können, trägt das Gerät zuverlässig. Wer sich ein Koordinatenmeßgerät gebaut hat (vgl. Seite 51), besitzt damit bereits ein gut geeignetes Stativ, das weit stabiler ist als die meisten Fotostative. Er wird ohne Schwierigkeiten einen Weg finden, das Kugelgelenk mit dem Fernglas anstelle des Pendelquadranten auf dem senkrechten Achsstab zu befestigen. Um die Nachführung (die Bewegung des Beobachtungsinstruments entsprechend der scheinbaren Drehung des Himmels) braucht man sich wegen der geringen Vergrößerung keine Sorgen zu machen.

### Vergrößerung

Die Vergrößerung eines astronomischen Fernrohrs hängt von den Brennweiten des Objektivs und des Okulars ab. Ferngläser haben fest eingebaute Okulare; damit entfällt die Möglichkeit des Vergrößerungswechsels, der bei größeren Fernrohren durch einfachen Austausch der Okulare bewerkstelligt wird.

Den vielen Vorteilen, die das Fernglas als astronomisches Beobachtungsinstrument bietet, stehen auch einige Nachteile gegenüber. Die geringe Vergrößerung wurde bereits genannt, aber sie ist nur bei bestimmten Objektgruppen (Planeten!) bedeutsam. Weiterhin zeigen viele Ferngläser zum Sehfeldrand hin die Sterne nicht mehr punkt-, sondern ganz leicht strichförmig. Diese Erscheinung tritt bei Landschaftsbetrachtungen nicht störend hervor, sie wird dort meist gar nicht wahrgenommen. Bei der astronomischen Beobachtung ist sie auffälliger.

### Richtig bequem postieren!

Bei der Beobachtung von Objekten in der Nähe des Zenits wird eine sonst sehr vorteilhafte Eigenschaft des Fernglases zum Nachteil: seine geringe Baulänge. Man muß ihretwegen beim Blick steil nach oben den Kopf bis nahe an das Stativ heranbringen, was nicht selten nur in höchst unbequemer Körperhaltung möglich und manchmal überhaupt nicht zu bewerkstelligen ist. Je weniger bequem aber die Haltung, um so schneller ermüdet der Beobachter! Bequeme Haltung beim Beobachten ist kein Luxus, ist nicht nur eine Bedingung dafür, daß die astronomische Praxis Spaß macht! Sie ist auch notwendig, um exakt beobachten zu können und das optische Leistungsvermögen des Instruments voll auszuschöpfen. Wer in verkrümmter Stellung hinter seinem Gerät halb steht, halb hockt, der wird sich nicht auf sein Objekt konzentrieren können, sondern nach einem raschen Blick ins Okular danach trachten, schleunigst wieder eine normale Haltung einzunehmen. Man soll sich aber doch in Ruhe und, wenn möglich, Behaglichkeit auf sein Objekt »einsehen« können, man soll Zeit haben, Eindrücke zu verarbeiten und bei unruhiger Luft auch einmal auf einen Moment günstiger Sichtbedingungen zu warten. Das geht jedoch nur, wenn wir ganz gelöst und ohne jede Verkrampfung beobachten können.

Bequemlichkeit bei Fernglasbeobachtungen in Zenitnähe ist am leichtesten erreichbar, wenn wir einen Campingliegestuhl, eine Gartenliege oder ein ähnliches Möbel benutzen und das Beobachtungsinstrument an einem Stativ befestigen. Auch ein Sonnenschirmständer läßt sich zum Fernglasstativ umbauen! Unser Ziel beim Einrichten zur Beobachtung heißt immer: normale Haltung, Okular am Auge. Nicht der Beobachter soll sich ans Okular beugen, sondern Stativ und Sitz sollen ihm das Okular so präsentieren, daß er nur noch hineinzublicken braucht.

Zum Thema »Behaglichkeit« gehört auch das Stichwort »Kleidung«. Bereits in Sommer- und Frühherbstnächten kann es, wenn man längere Zeit sitsitzt, empfindlich kalt werden.

Je kleiner die Vergrößerung gewählt wird, desto größer ist der Durchmesser des aus dem Okular austretenden Lichtbündels (der »Austrittspupille«). Er sollte den Durchmesser der Augenpupille des Beobachters nicht übersteigen, denn ist das Lichtbündel größer als die Augenpupille, so tritt nur ein Teil des vom Fernrohr gesammelten Lichtes in das Auge; der Rest wird »verschenkt«. Die Vergrößerung, bei der das austretende Lichtbündel den gleichen Durchmesser hat wie die an die Dunkelheit angepaßte Augenpupille (etwa 7 mm), heißt *Normalvergrößerung*. Die Vergrößerungen von Ferngläsern sind meist zwei- bis dreimal so groß wie die Normalvergrößerung der verwendeten Optik. Damit wird also das gesamte vom Fernglas aufgenommene Licht in das Auge weitergeleitet, aber auf eine größere Fläche verteilt. Die allgemeine Himmelhelligkeit ist deshalb herabgesetzt, der Kontrast zu den punktförmig erscheinenden Sternen erhöht.

### Helligkeitsgewinn

Der Helligkeitsgewinn eines Fernrohrs äußert sich am augenfälligsten in der Zunahme der Zahl sichtbarer Sterne. Bei diesen punktförmigen Lichtquellen ist er nahezu ausschließlich vom Flächeninhalt  $A_0$  der Lichteintrittsöffnung, also des Objektivs, abhängig. Wir berechnen:

$$A_0 = \pi \cdot \left( \frac{D^2}{4} \right)$$

(D = Objektivdurchmesser).

Der Flächeninhalt des Objektivs und damit der Helligkeitsgewinn wächst demnach mit dem Quadrat des Objektivdurchmessers. Im Vergleich zum Auge (Pupillen-

Das dürfen wir nicht außer acht lassen: Kälte kann ebensostark vom Beobachten ablenken wie unbequeme Haltung. Also sorgen wir vor: Wollsachen, ein warmer Mantel, gefüttertes Schuhwerk. Daß in kalten Winternächten besonders mollige Kleidung nötig ist, braucht wohl nicht betont zu werden; aber auch Wollhandschuhe und ein Schutz für die Ohren gehören dazu.

### Nicht zuwenig erwarten!

Jedes Fernglas trägt, auf dem Gehäuse eingraviert, Angaben über seine optische Leistung. Meist werden *Vergrößerung* und *Objektivdurchmesser* angegeben; die Kennzahl  $8 \times 30$  besagt dann z. B., daß das betreffende Instrument eine 8fache Vergrößerung liefert und daß seine beiden Objektivlinsen – die Linsen, die dem Objekt zugewandt sind, durch die also das Licht in das Fernglas eintritt – jeweils 30 mm Durchmesser aufweisen. Die Vergrößerung gibt das Verhältnis der Sehweite mit und ohne Fernglas an; mit einem 8fach vergrößernden Fernglas betrachtet, erscheint also der Mond unter einem 8mal größeren Winkel als mit dem bloßen Auge. Der Objektivdurchmesser entscheidet über die Lichtmenge, die in das Instrument eintritt. Je größer er ist, um so mehr Licht wird vom Objektiv gesammelt und am Okular unseren Augen dargeboten.

Man könnte meinen, daß ein Fernglas mit möglichst großem Objektivdurchmesser für astronomische Beobachtungen ideal sei. Aber da ist Vorsicht geboten! Die große Lichtstärke eines Instruments mit z. B. 50 mm Objektivdurchmesser kann nämlich den Himmels hintergrund so hell erscheinen lassen, daß schwache Objekte darin »ertrinken« wie bei einer zu lange belichteten Himmelsfotografie. Dieser Effekt tritt vor allem bei Mondschein und bei störendem Stadtlicht auf. Nur wenn die Vergrößerung relativ hoch gewählt wird, »verteilt« sich die größere Helligkeit auf das größere Bild, und die lichtschwachen Objekte werden gut sichtbar. Man braucht dann ein Fernglas mit 10- bis 15facher Vergrößerung ( $10 \times 50$  bzw.  $15 \times 50$ ), und das ist nicht gerade billig. Wenn wir nicht ganz so hohe Ansprüche stellen, sind wir mit einem Fernglas  $8 \times 30$  sehr gut für die astronomische Praxis ausgerüstet.

Wir testen den Helligkeitsgewinn, den unser Fernglas bietet, am besten an der Gegend um den Polarstern. Bild 64 zeigt das Sternbild Kleiner Bär und Sterne im Umkreis von  $5^\circ$  um den Pol. Die Zahlen geben die scheinbaren Helligkeiten in Größenklassen an. Der innere Kreis hat einen Radius von  $2^\circ$ ; er ist im rechten Bildteil noch einmal vergrößert dargestellt. Auf dieser zweiten Karte sind Sterne bis zu einer Grenzhelligkeit von 11,9 Größenklassen enthalten.

durchmesser 7 mm) hat ein Fernglas mit 30 mm Objektivdurchmesser den 4,3fachen Durchmesser, also die  $(4,3)^2$ fache = 18,4fache Lichtstärke.

Flächenhafte Objekte werden im Fernrohr vergrößert abgebildet. Je größer der Objektivdurchmesser und je kleiner die Objektivbrennweite ist, um so heller ist das Bild. Anstelle der Objektivbrennweite kann auch die Vergrößerung  $V$  herangezogen werden. Die Bildhelligkeit  $H$  berechnet man dann nach der Formel

$$H = \left( \frac{D}{V} \right)^2.$$

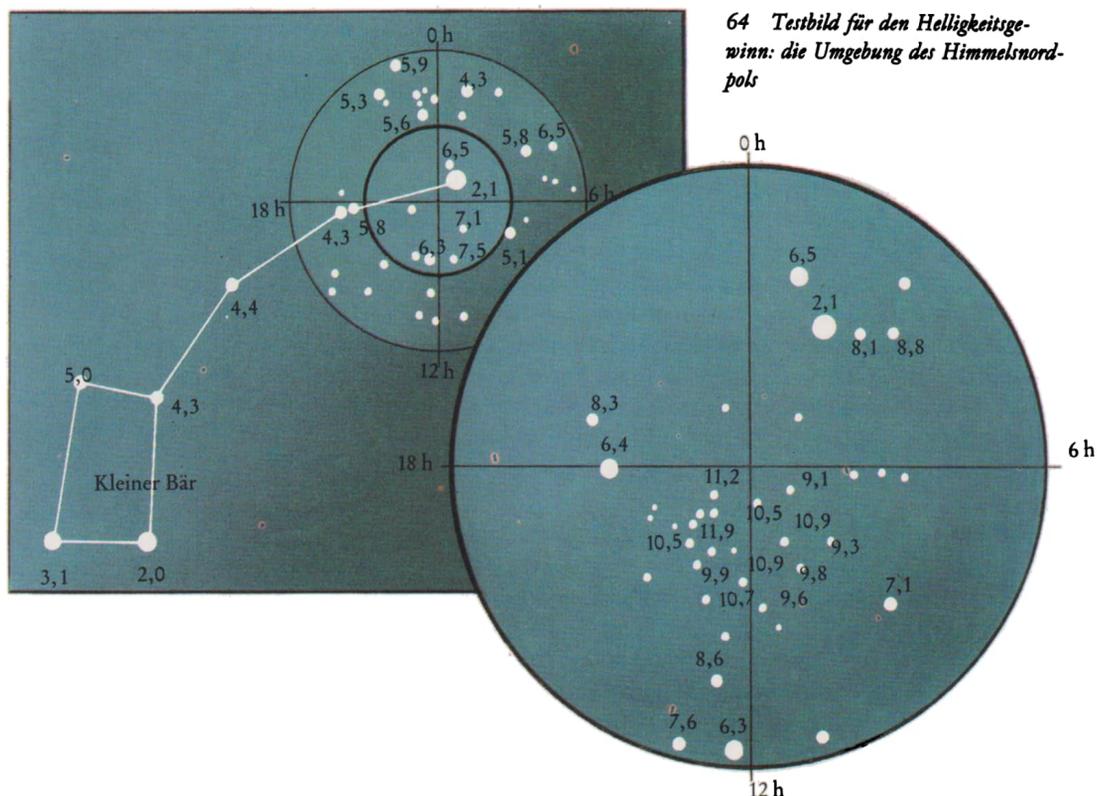
Dies ist wichtig, wenn der Helligkeitsgewinn verschiedener Instrumente miteinander verglichen werden soll.

### Auflösungsvermögen

Fernrohre sind aus zwei Gründen für den Astronomen besonders wichtige Hilfsgeräte. Erstens bieten sie die Möglichkeit, den Sehwinkel zu vergrößern und damit Einzelheiten der Objekte deutlicher zu zeigen; zweitens besitzen sie die Eigenschaft, Lichtenergie zu sammeln und im Auge des Beobachters zu konzentrieren, so daß auch ganz schwach leuchtende Objekte sichtbar werden. Beide Vorzüge des Fernrohres sind gleichermaßen bedeutsam, keinesfalls verwendet es der Astronom nur, um »die Sterne zu vergrößern«. Das kann er übrigens gar nicht; die Sterne sind, ausgenommen die Sonne, dafür viel zu weit entfernt. Sie bilden sich im Fernrohr – und also auch im Fernglas – stets als mehr oder weniger helle Punkte ab.

Hat dann die Vergrößerungswirkung des Fernrohres oder Fernglases bei der Beobachtung von Sternen und Sternhaufen gar keine

64 Testbild für den Helligkeitsgewinn: die Umgebung des Himmelsnordpols



Bei solchen Testbeobachtungen müssen wir natürlich noch mehr als sonst darauf achten, daß einwandfreie Sichtbarkeitsbedingungen vorliegen. Störende Lichtquellen, Stadtlicht, Mondschein, aber auch die Luftunruhe sowie Dunst und Staub in der Luft beeinträchtigen den Helligkeitsgewinn. Als Richtwert kann man annehmen, daß ein Fernglas zwischen 3 und 5 Größenklassen schwächere Sterne sichtbar werden läßt als das bloße Auge unter sonst gleichen Bedingungen.

Ferngläser haben, wie schon erwähnt, ein im Vergleich zu anderen astronomischen Fernrohren überaus großes Sehfeld. Es ist also leicht, ein bestimmtes Objekt mit dem Fernglas zu finden (während die Suche am Okular eines großen Teleskops für Ungeübte eine arge Geduldprobe werden kann). Jedoch ist der Durchmesser dieses Sehfeldes nicht bei allen Ferngläsern gleich groß; er hängt unter anderem von der Vergrößerung ab. Bild 14 (Seite 21) bietet die Möglichkeit, das eigene Instrument auch daraufhin zu testen.

Wir stellen den Sehfelddurchmesser unseres Fernglases fest, indem wir bei der Beobachtung des Sternbildes Großer Bär ermitteln, welche beiden Sterne gerade noch in das Sehfeld »hineinpassen«. Die meisten Ferngläser haben Sehfelddurchmesser zwischen 4° und 8°.

Bedeutung? O doch, denn wenn schon nicht die Sterne selbst, so können doch die Abstände zwischen ihnen vergrößert gesehen werden. Der kleinstmögliche Winkelabstand zweier Sterne, die für das bloße Auge zu einem einzigen Lichtpunkt verschwimmen, mit dem Fernrohr aber gerade noch als zwei getrennte Lichtpunkte erkannt werden können, wird als das Auflösungsvermögen des Instruments bezeichnet. Es ist vom Objektivdurchmesser und von der Vergrößerung abhängig; das (theoretische) Auflösungsvermögen  $\varrho$  läßt sich aus dem Objektivdurchmesser  $D$  mit der Gleichung

$$\varrho = \frac{115}{D}$$

berechnen. ( $D$  in Millimetern einsetzen;  $\varrho$  ergibt sich dann in Winkelsekunden!) Demnach müßte

Optimale Sichtbedingungen bietet ein Fernglas nur, wenn Augenabstand und Schärfe richtig eingestellt sind. Das Einstellen des Augenabstandes ist unproblematisch; bei der Schärfeneinstellung gibt es zwei Ausführungsformen. Mitteltriebmodelle sind so konstruiert, daß man mit dem Triebknopf auf der Gelenkachse beide Okulare gemeinsam einstellt. Damit bei unterschiedlicher Sehschärfe der beiden Augen ein Ausgleich möglich ist, läßt sich meist ein Okular noch gesondert in begrenztem Maße verstellen. Die Modelle mit Einzelokulareinstellung sind weniger bequem zu bedienen, weil hier jedes Okular für sich scharfgestellt werden muß. Brillenträger sollten ohne Brille beobachten und die Schärfe am Fernglas nachregulieren. Nur in Sonderfällen (Astigmatismus eines oder beider Augen, Schielen) ist mit Brille zu beobachten, da solche Augenfehler durch die normalen Fernglasokulare nicht berichtigt werden.

Zur optischen Leistung eines Fernglases gehört außer Vergrößerung und Helligkeitsgewinn das *Auflösungsvermögen*. Darunter versteht man den kleinstmöglichen Winkelabstand zweier punktförmiger Lichtquellen (Sterne), die mit dem betreffenden Instrument gerade noch getrennt gesehen werden können. Absolut erschütterungsfreie Aufstellung auf einem Stativ ist dabei unbedingte Voraussetzung! Das Auflösungsvermögen wird üblicherweise in Winkelsekunden (") angegeben;  $1'' = 1/3600^\circ$ .

Wir testen das Auflösungsvermögen unseres Fernglases an folgenden Doppelsternen, die wir an Hand des Sternatlas aufsuchen:

| Doppelstern | Im Sternbild | Abstand der beiden Sterne |
|-------------|--------------|---------------------------|
| ε Lyr       | Leier        | 207''                     |
| γ Lep       | Hase         | 95                        |
| ν Dra       | Drache       | 62                        |
| ζ Lyr       | Leier        | 44                        |
| β Cyg       | Schwan       | 35                        |
| ι Cnc       | Krebs        | 30                        |
| ζ Psc       | Fische       | 23                        |
| ε Mon       | Einhorn      | 12                        |

unser Fernglas  $8 \times 30$  ein Auflösungsvermögen von

$$q = \frac{115''}{30} = 3,8''$$

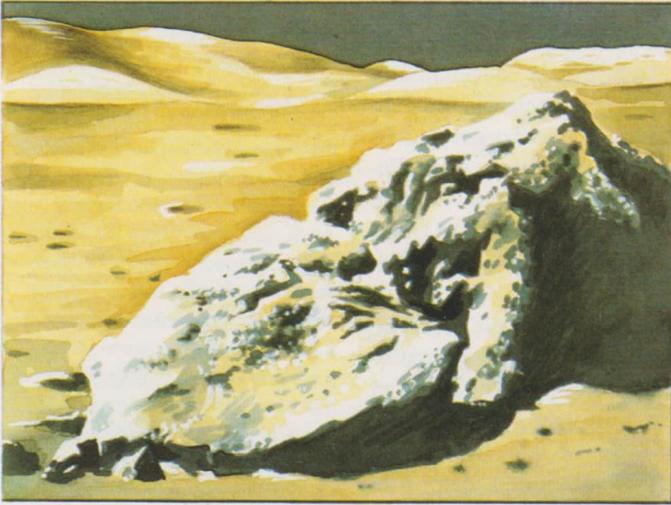
aufweisen. Dieser Wert wird jedoch in der Praxis niemals erreicht. Man müßte nämlich dazu eine D-fache, in unserem Beispiel also eine 30fache Vergrößerung einsetzen können. Das Fernglas  $8 \times 30$  vergrößert aber nur 8fach! Und selbst wenn wir die 30fache Vergrößerung zur Verfügung hätten: wegen der immer vorhandenen Luftunruhe fließen die Bilder so eng beieinanderstehender Sterne im Fernglas stets zu einem Lichtfleck zusammen. Rudolf Brandt, Astro-Optiker an der Sonneberger Sternwarte, der sich viel mit der astronomischen Nutzung von Ferngläsern beschäftigte, fand als Auflösungsvermögen eines 8fach vergrößernden Fernglases  $35''$ ; das ist nahezu zehnmal schlechter als der theoretische Wert. Ein Fernglas nutzt also wegen seiner geringen Vergrößerung die auflösende Leistung seiner Objektive nicht voll aus. Moderne Ferngläser haben ein Auflösungsvermögen von etwa  $10''$ .

Das Auflösungsvermögen des unbewaffneten menschlichen Auges liegt zwischen  $60''$  und  $120''$ ; bei lichtschwachen Objekten muß eine noch größere Zahl angenommen werden. Rund gerechnet ist also das Auflösungsvermögen unseres 8fach vergrößernden Fernglases dreimal so gut wie das des bloßen Auges.

## Dem Kosmos auf die Pelle rücken

### Nachbarschaft

Wer mit einem Fernglas beobachtet, der holt sich die Objekte seines Interesses auf optischem Wege ein Stück näher. Ein 8fach vergrößerndes Fernglas verringert scheinbar die Entfer-



65 *Das ist ein Stück echter Mondlandschaft. Von dem großen Felsblock im Vordergrund abgesehen, kein aufregend schroffes Terrain*

nung zwischen einem Himmelskörper und dem Beobachter auf ein Achtel des tatsächlichen Betrages, der Mond wird z. B. dadurch von 384 000 km auf 48 000 km »herangeholt«, und da läßt sich schon eine große Anzahl Einzelheiten erkennen.

Schon beim ersten flüchtigen Blick zum Mond fällt auf, daß die mit dem bloßen Auge sichtbaren dunklen Flächen offenbar nicht die einzigen Strukturen auf dem Erdtrabanten sind. Vor allem in der Nähe der Lichtgrenze fallen viele kleine, kreisähnliche Vertiefungen auf, die Mondkrater oder Ringgebirge.

Daß die Mondkrater nahe der Lichtgrenze besonders gut zu sehen sind, hat einen ganz einfachen Grund. Dort trifft das Sonnenlicht sehr flach auf die Mondlandschaft, und deshalb werfen alle Erhebungen und Vertiefungen lange, deutliche Schatten. Die Landschaft erscheint so viel plastischer als in den Bereichen, über denen die Sonne hoch am Himmel steht. Man darf sich jedoch nicht von den langen, spitzen Schatten auf der Mondoberfläche über die wahren Neigungswinkel der Hänge und Kratergruben täuschen lassen. Aus der Nähe betrachtet, sind die Gebirge auf dem Mond weitaus weniger steil; nur in Ausnahmefällen ist ein Hang steiler als  $30^\circ$  (Bild 65).

Zur Vollmondzeit sind die Krater auf der Mondoberfläche fast unsichtbar. Nur bei angestrengtem Suchen – und wenn man die Lage auffälliger Krater gut kennt – kann man sie ausmachen.

Zur Vollmondzeit stehen Sonne, Erde und Mond fast in einer Geraden. (Bilden sie genau eine Gerade, dann ist Mondfinsternis!) Der von der Erde aus sichtbare Teil der Mondoberfläche wird also »über unsere Köpfe hinweg« von der Sonne beschienen; Sonnenlicht und unsere Blickrichtung sind nahezu parallel. Deshalb sehen wir die Schlagschatten auf dem Mond nicht, und er erscheint wie eine weithin glatte Kugel.

## Der Mond

Als im Jahre 1609 der italienische Physiker und Astronom Galileo Galilei ein Fernrohr herstellte und auf den Himmel richtete, als er darin sah, daß es auf dem Mond Berge und Täler gibt wie auf der Erde, ahnte er wohl kaum, wie sehr diese und ähnliche Entdeckungen zu einer Neuordnung des astronomischen Wissens der Menschheit beitragen würden. Bis dahin hatte als unumstößlicher Grundsatz gegolten: Zwischen Himmel und Erde besteht eine von Menschen nicht zu überbrückende Kluft; am Himmel ist alles gänzlich anders als auf der Erde. Und nun Galilei: Der Mond hat Ebenen und Gebirge, ja sogar Seen und Ozeane, wie die Erde. (Was die Seen und Ozeane angeht, so war Galilei schwer im Irrtum. Aber das sollte sich erst viel später herausstellen!)

Galilei zog aus seinen Entdeckungen den Schluß, daß die Welt doch anders beschaffen sein müsse, als sich die meisten seiner Zeitgenossen vorstellten. Nicht die eine, zentrale, unbewegliche Erde, um die sich alles dreht, bildete fortan für ihn den Mittel-

Allerdings kann man bei Vollmond die dunklen Flächen – in früheren Jahrhunderten wurden sie für Meere gehalten, sie tragen deshalb noch heute die irreführende Bezeichnung »Mare«, lat. mare, das Meer – besonders gut erkennen. Sie nehmen einen erheblichen Prozentsatz der erd zugewandten Mondhalbkugel ein. Vergleicht man in den Tagen und Wochen vor und nach Vollmond die Lage dieser Mare-Gebiete mit den Angaben einer Mondkarte, so stellt man völlige Übereinstimmung fest: Der Mond wendet der Erde immer die gleiche Seite zu.

Wenn man allerdings einige Monate wartet, ist die Übereinstimmung nicht mehr ganz hundertprozentig. Die ungleichförmige Bewegung des Mondes auf seiner Bahn um die Erde – er bewegt sich ja nicht auf einem Kreis und nicht mit gleichbleibender Geschwindigkeit – führt dazu, daß wir ihn einmal mehr von rechts, ein anderes Mal mehr von Süden, dann wieder von Norden oder von links zu sehen bekommen. Für einen Beobachter auf der Erde scheint der Mond ganz langsam zu »taumeln«. Man nennt diese Bewegung, derzufolge man von der Erde aus nicht nur 50%, sondern nach und nach bis zu 59% der gesamten Mondkugeloberfläche sehen kann, die *Libration* des Mondes.

Wir überzeugen uns von der Wirkung der Libration am besten, indem wir über längere Zeit, etwa einige Monate, die Gestalt des Mare Crisium mit der Darstellung in der Mondkarte vergleichen. (Die Mondkarte zeigt den Mond in einer mittleren Stellung, ohne Berücksichtigung der Libration.) Wir finden es einmal als schmale Ellipse, zu anderer Zeit als breites Oval.

Eine ganz andere Beobachtung machen wir in den ersten Tagen nach Neumond, wenn die noch sehr schmale Sichel des zunehmenden Mondes am abendlichen Westhimmel nach Sonnenuntergang für kurze Zeit sichtbar ist. Es ist gar nicht nur eine Sichel; man kann den ganzen Mond sehen. Der Teil, der eigentlich unbeleuchtet und deshalb unsichtbar sein sollte, erscheint zwar schwach erhellt, aber deutlich sichtbar im Rund der helleuchtenden schmalen Mondsichel. Dieses »aschgraue Mondlicht« ist oft so hell, daß man mit dem Fernglas darin sogar die Mare-Gebiete deutlich von den übrigen Regionen unterscheiden kann.

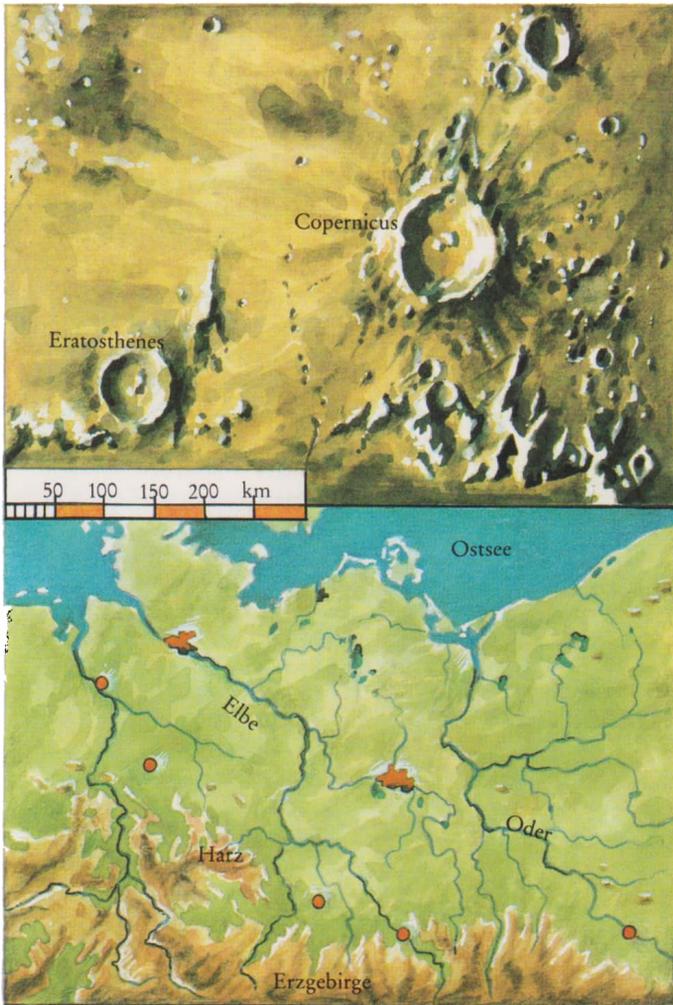
Am besten lernt man die Mondoberfläche kennen, wenn man Abend für Abend, sofern es das Wetter erlaubt, das Breiterwerden der Mondsichel und das Hervortreten immer neuer Einzelheiten an der Lichtgrenze verfolgt.

Es ist bemerkenswert, wie schnell die Erkennbarkeit solcher Einzelheiten nachläßt, wenn sich die Lichtgrenze von ihnen weg in die noch unbeleuchteten Bereiche des Mondes verschiebt. Wirklich klar und kontrastreich ist immer nur ein schmaler Streifen, eben jenes Gebiet, für das auf dem Mond

punkt der Welt, sondern – wie schon der 70 Jahre früher verstorbene Astronom und Domherr Nicolaus Copernicus behauptet hatte – die Sonne. Um dieses mächtige Zentralfeuer, so schrieb und lehrte er nun, bewegen sich alle anderen Himmelskörper. Auch die Erde! Denn sie ist ja nichts Besonderes mehr. Außerdem hatte Galilei entdeckt, daß ein Planet von anderen, kleineren Körpern umlaufen wurde. Der Jupiter mit seinen Trabanten – war das nicht ein verkleinertes Abbild der Sonne mit ihren Planeten? Unser Fernglas zeigt viel, viel mehr als Galileis unvollkommenes Fernröhrchen. Auf der Mondoberfläche sehen wir die Krater, die Ebenen, die Strahlen viel klarer und schärfer, als Galilei sie wahrnehmen konnte. Und: Wir sehen sie – wenn wir wolkenlosen Himmel haben – niemals verschleiert oder von »Mondwolken« verdeckt.

Es gibt keine Wolken auf dem Mond; es gibt überhaupt keine Atmosphäre dort. (Die wenigen Gaspartikelchen, die sich vorübergehend in der Nähe des Mondes aufhalten, ergeben eine zehnbillionenmal dünnere Gashülle als die Erdatmosphäre. Da kann man wohl schwerlich von einer »Mondatmosphäre« sprechen.) Ursache für das Fehlen einer Mondatmosphäre ist die geringe Masse des Mondes. Sie beträgt lediglich  $\frac{1}{81}$  der Erdmasse; entsprechend gering ist auch die Gravitationskraft des Mondes. Sie reicht nicht aus, um eine merkliche Anzahl Teilchen festzuhalten.

Aus diesem Umstand ergeben sich einige wichtige Folgerungen. Da sind zunächst die Temperaturen der Mondoberfläche zu nennen. Sie steigen, wenn die Sonne die schutzlosen Geröllhalden und Berggipfel auf dem Mond über eine Zeit von fast 14 Erdentagen



66 *Wie groß die Mondkrater wirklich sind, macht ein Vergleich mit der Landkarte deutlich.*

gerade die Sonne aufgeht. (Natürlich trifft dies auch für den abnehmenden Mond zu, an dessen Lichtgrenze wir den Sonnenuntergang für die betreffende Mondlandschaft verfolgen können.) Oft sieht man in dem noch völlig finsternen Terrain in unmittelbarer Nähe der Lichtgrenze kleine, helle Punkte. Sie sehen aus, als wären dort Sterne – aber das kann ja nicht sein; solche Sterne würden ja vom Mond verdeckt. In Wahrheit sind es die Gipfel von hohen Gebirgen und Kraterwällen, die schon (oder noch) von der Sonne beschienen werden, während die Berghänge und Tallandschaften noch (oder schon) in der Finsternis verborgen sind.

Mit ein wenig Geduld und Ausdauer ist es möglich, im Verlaufe nur eines einzigen Beobachtungsabends die Veränderungen zu verfolgen, die sich durch den Sonnenaufgang über einem solchen Gipfel ergeben. Wir sehen dann, wie der Licht-

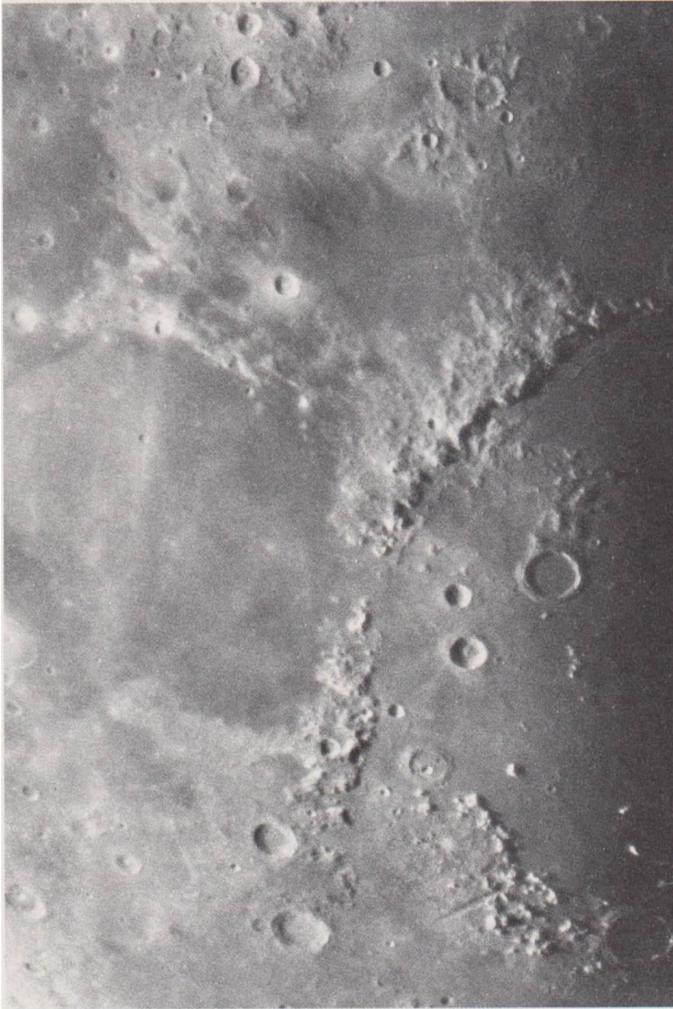
hinweg ununterbrochen bescheint, bis auf  $130^{\circ}\text{C}$  an. In der ebenso langen Mondnacht, in der keine Wolkendecke die Abstrahlung der im Mondboden gespeicherten Wärme verhindert, sinkt die Temperatur auf  $-160^{\circ}\text{C}$  ab.

Zweitens kann auf dem Mond kein Streulicht, also auch keine Dämmerung im irdischen Sinne, vorkommen. Dennoch gibt es eine Art »Dämmerung«: Die Bergspitzen reflektieren das Licht der auf- oder untergehenden Sonne gleißend in die noch oder schon im Dunkel liegende Landschaft.

punkt größer wird, Gestalt annimmt und sich schließlich zu einem Teil der gesamten Mondlandschaft entwickelt, die sich an ihn herangeschoben hat.

Nicht nur Krater finden sich in den hellen Gebieten auf der Mondoberfläche. Schon ein 8fach vergrößerndes Fernglas zeigt uns in den Tagen um das Erste Viertel die Kettengebirge Alpen und Apenninen, Randgebirge des zu dieser Zeit weithin noch im Dunklen liegenden Mare Imbrium (Bild 67).

Etwa 10 bis 11 Tage nach Neumond kann man in der Nähe des nördlichen (oberen) Mondrandes die »Regenbogenbucht« (Sinus Iridum) sehen. Sie erweckt den Eindruck eines großen Ringgebirges, dessen südlicher Rand von den andringenden, einst flüssigen Gesteinsmassen des Mare Imbrium weggeschmolzen wurde, so daß sich das Innere mit Magma füllen konnte (Bild 68). Rechts davon befindet sich ein großes Ring-



Diese Erscheinung können wir aber im Fernrohr nicht sehen. Bergspitzen tauchen wie Lichtpunkte aus der scheinbar vollkommenen Finsternis der Mondnacht auf (die ja zeitweise auch durch das von der Erde zurückgeworfene Sonnenlicht ganz schön erhellt wird), das matte Dämmerlicht wird für uns irdische Beobachter einfach überstrahlt.

Drittens hängt auch die Entstehung der vielen Mondkrater (und die Tatsache, daß sie noch immer unverändert auf der Mondoberfläche vorhanden sind) mit dem Fehlen einer Atmosphäre auf dem Monde zusammen. »Krater« ist übrigens ein traditioneller Begriff, der diese großen, ringförmigen Gebirge mit Höhen von einigen tausend Metern und Durchmessern bis über 200 km nur annähernd beschreibt. »Ringgebirge« wäre zutreffender.

Die meisten dieser Krater verdanken ihre Entstehung dem Einschlag eines kosmischen Geschosses. Bei einem solchen Ereignis wird so viel Energie frei, daß die Gesteine an der Aufschlagstelle schmelzen und verdampfen. So entsteht eine Blase aus überhitztem Gesteinsdampf, die explodierend beträchtliche Mengen Umgebungsmaterial in die Höhe schleudert. Ein Krater tut sich auf, dessen Durchmesser den des verursachenden Geschosses weit übersteigt. Fortgeschleudertes Material aus der Mondkruste hat bei der Entstehung sehr großer Krater wohl auch die hellen Strahlensysteme gebildet.

Alle Körper des Sonnensystems dürften in der Frühphase ihrer Entwicklung dank ihrer Gravitationskraft Gesteinstrümmen an sich gerissen haben, die den Raum in großer Zahl bevölkerten. Und alle erdartigen Himmelskörper – also die, die zu relativ kleinen Kugeln mit fester oder sich gerade

gebirge mit auffallend dunklem Boden: die »Wallebene« Plato.

Je mehr sich der Mond zum Vollmond rundet, desto weniger eindrucksvoll werden die Schattenfeinheiten auf seiner Oberfläche. Nun fesseln die großen Strukturen, die dunklen Mare-Gebiete, unser Interesse. Dabei fällt noch eine weitere Besonderheit auf, die am besten zur Vollmondzeit zu beobachten ist.

Einige große Ringgebirge, wie z. B. Tycho, Copernicus, Kepler, Aristarch, sind Ausgangspunkte auffälliger Systeme von breiten, hellen Strahlen, die sich fast geradlinig über Hunderte von Kilometern auf der Mondoberfläche hinziehen. Dabei überqueren sie andere Ringgebirge ebenso wie Mare-Gebiete.

Die Strahlen, die von dem Ringgebirge Tycho ausgehen, sind bis zu einer Entfernung von 1 800 km zu verfolgen. Wahrscheinlich handelt es sich bei diesen Strahlensystemen um Ma-

verfestigender Oberfläche geschrumpft waren – haben sicher einmal so ausgesehen wie der Mond heute. Daß unsere Erde kaum noch Reste dieser Einschlagkrater aufweist, verdankt sie zum Teil ihrer Atmosphäre: Wind und Wetter haben die Krater dem Erdboden gleichgemacht. Was Wind und Wetter nicht schafften, das bewältigten Erdbeben und andere tektonische Prozesse.

Der Mond hat keinen Wind und kein Wetter, und da es auch kaum zu tektonischen Bewegungen auf dem Mond kommt, blik-



67 Mondlandschaft, mit einem größeren Fernrohr gesehen: Apenninen und Alpen. Aufnahme von Wolfgang Schwinge

68 Die Regenbogenbucht auf dem Mond, fotografiert von Wolfgang Schwinge



terie, die bei der Entstehung der betreffenden Ringgebirge ausgeworfen wurde. Es gibt auch Strahlensysteme, die von einem auf der erdabgewandten Seite des Mondes befindlichen Ringgebirge ausgehen und deren Ausläufer bis auf die von uns aus sichtbare Seite herüberreichen.

Man kann den Mond ganz einfach durch das Fernglas hindurch fotografieren. Dazu bedarf es gar keiner komplizierten Technik; wir benötigen lediglich zwei Stative. Auf das eine wird das Fernglas montiert, auf das zweite die Kamera ohne Objektiv. Es ist zweckmäßig, anstelle des Kameraobjektivs einen Satz Zwischenringe aufzuschrauben; so erhält man einen kleinen »Tubus«, der störendes Nebenlicht fernhält und in den man ein helles Gelbfilter zur Beseitigung farbbedingter Unschärfe einpassen kann. Die Kamera wird so hinter dem Fernglas aufgestellt, daß sich das Mondbild auf den Film projiziert; die Scharfeinstellung erfolgt am Fernglas. Eine Spiegelreflexkamera ist hier jedem anderen Kameratyp überlegen.

Unser Bild 69 ist auf diese Weise entstanden.

Jahrzehntelang galt der Mond bei den Freunden der Sternkunde und bei den professionellen Astronomen als weitgehend erforscht und daher für die Wissenschaft nicht mehr interessant. Das hat sich im Zeitalter der Raumfahrt gründlich geändert. Er ist wieder zu einem intensiv studierten Objekt ge-

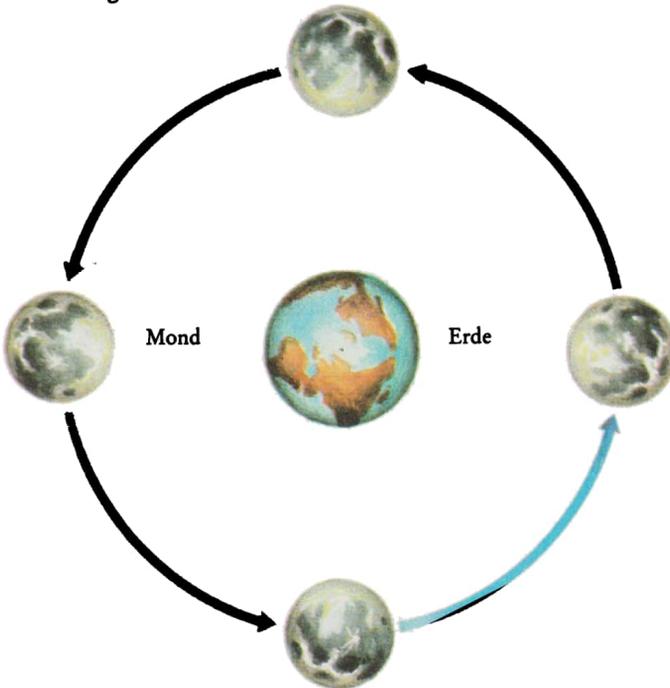
69 *Der Mond zwei Tage nach Vollmond. Das Foto wurde durch ein Fernglas 8 × 30 mit einer Kleinbildkamera ohne Objektiv aufgenommen. Belichtungszeit: 1 s*

70 *»Gebundene Rotation« heißt beim Mond: Ein Umlauf um die Erde dauert genau so lange wie eine Umdrehung um die eigene Achse.*

worden; der Vergleich des Mondes mit den Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars fördert in zunehmendem Maße Erkenntnisse über den inneren Aufbau und die Entstehungsgeschichte dieser Himmelskörper zutage.

| Lateinische (wissenschaftliche) Bezeichnung | Deutsche Übersetzung   | Anmerkung |
|---|------------------------|-----------|
| Mare Crisium                                | Meer der Gefahren      | (1)       |
| Mare Foecunditatis                          | Meer der Fruchtbarkeit |           |
| Mare Frigoris                               | Meer der Kälte         | (2)       |
| Mare Humorum                                | Meer der Feuchtigkeit  |           |
| Mare Imbrium                                | Regenmeer              |           |
| Mare Nectaris                               | Nektarmeer             |           |
| Mare Nubium                                 | Wolkenmeer             |           |
| Mare Serenitatis                            | Meer der Heiterkeit    |           |
| Mare Tranquillitatis                        | Meer der Ruhe          |           |
| Mare Vaporum                                | Meer der Dämpfe        | (3)       |
| Oceanus Procellarum                         | Ozean der Stürme       |           |
| Sinus Iridum                                | Regenbogenbucht        |           |
| Sinus Medii                                 | Bucht der Mitte        | (4)       |

- (1) Am Rande der sichtbaren Mondscheibe. Dahinter lauert das Unbekannte!
- (2) Fast am Nordpol des Mondes. Kalte Gegend!
- (3) Fast am Mondäquator. Heiße Gegend!
- (4) Fast genau im Mittelpunkt der von der Erde aus sichtbaren Mondhalbkugel.



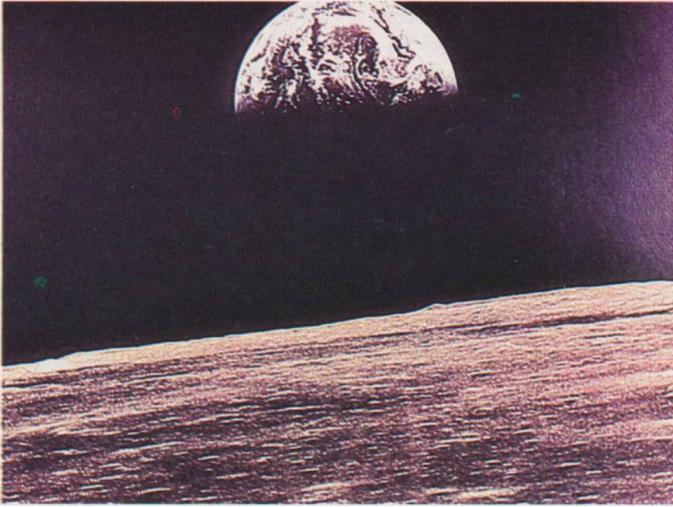
ken wir durch das zum Mond gerichtete Fernglas auf eine Landschaft, wie sie vor 4 Mrd. Jahren auch unseren Heimatplaneten prägte.

Auch die Mare-Gebiete – man sollte doch lieber »Ebenen« sagen – sind durch Einschlag von kosmischen Felsbrocken entstanden. Allerdings müssen das riesige Massen gewesen sein, die bedeutende Vertiefungen in die Mondkruste gerissen haben. Herausquellendes flüssiges Gestein ebnete diese »Löcher« wieder ein. Die geringe Zahl der Krater in den Mare-Gebieten verrät, daß jene Katastrophen zu einem Zeitpunkt stattgefunden haben müssen, zu dem die übrige Mondoberfläche bereits »modelliert« war. Offenbar gab es fast keine Geschosse mehr – der Raum um Erde und Mond war bereits leergefegt.

Die Namen der Mare-Gebiete lassen erkennen, mit wieviel Phantasie sich die Astronomen früherer Jahrhunderte die Mondlandschaft vorzustellen vermochten (siehe nebenstehende Tabelle).

Der Mond wendet uns immer die gleiche Seite zu. Das scheint auf den ersten Blick ein Beweis dafür zu sein, daß er nicht wie die Erde rotiert. Wir dürfen aber nicht vergessen, daß der Mond pro Monat einmal um die Erde läuft und daß er sich deshalb – soll ein Beobachter auf der Erde ihn stets von der gleichen Seite sehen – in dieser Zeit einmal um seine Achse drehen muß. Eine derartige Bewegungsart heißt »gebundene« Rotation (Bild 70).

Bild 71 vermittelt den Eindruck, den Raumfahrer auf dem Monde haben, wenn sie zur Erde aufblicken. Viermal so groß, wie uns der Mond erscheint, steht dort die Erde am Himmel, zuweilen als »Halberde«, manchmal als »Vollerde«, hin und wieder aber auch nur als schmale Sichel. Die »Voll-



71 *Unser Heimatplanet Erde. So sahen ihn die Astronauten vom Monde aus.*

## Die Sonnenfamilie

Was wir von den Planeten im Fernglas zu sehen bekommen, ist auf den ersten Blick recht enttäuschend. Keine Oberflächeneinzelheiten, keine kontrastreiche »Landschaft« – nur ein heller Punkt steht da im Gesichtsfeld. Leistet unser Fernglas zuwenig?

Natürlich gilt auch hier: Ein  $n$ -fach vergrößerndes Fernglas »holt« das Objekt auf  $1/n$  seiner wirklichen Entfernung »heran«. Aber erinnern wir uns: Das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges beträgt bestenfalls  $60''$ ; ein Objekt, das auch im Fernglas kleiner bleibt, kann also nur als Punkt gesehen werden. Damit scheiden einige Planeten aus der Liste der »vergrößerungsfähigen« Objekte aus, nämlich Merkur, Uranus und Neptun. (Pluto kann mit dem Fernglas wegen seiner geringen Helligkeit ohnehin nicht gesehen werden.) Die Tabelle auf Seite 83 zeigt, welche scheinbaren Durchmesser die Planeten zur Zeit ihrer günstigsten Sichtbarkeit (d. h. ihrer erdnächsten Stellung) bei der Beobachtung mit dem bloßen Auge und im Sehfeld eines 8fach vergrößernden Fernglases erreichen.

Nach diesen Angaben dürfte man erwarten – wenn sich die betreffenden Planeten in Erdnähe befinden –, von Venus, Mars, Jupiter und Saturn ein flächenhaftes Bild im Fernglas zu erhalten. Aber wir dürfen unsere Erwartungen nicht zu hoch schrauben! Auch im günstigsten Falle ist z. B. der scheinbare Jupiterdurchmesser erst knapp 7mal so groß wie das Mindestmaß von  $60''$ . Einzelheiten werden wir auf der kleinen Planetenkugel also sicher nicht wahrnehmen können.

Dennoch kann das Fernglas bei der Planetenbeobachtung von erheblichem Nutzen sein. Wenn auch beispielsweise der Merkur im Fernglas nur als Punkt erscheint, so doch als – im

erde« ist so hell, daß man sich auf der Mondoberfläche auch nachts, wenn die Sonne nicht scheint, ganz gut zurechtfinden kann.

Diesen Tatbestand können wir durch unsere eigenen Beobachtungen von der Erde aus überprüfen! Jenes »aschgraue Licht«, das die eigentlich unbeleuchteten Bereiche der Mondoberfläche erhellt – es ist nichts weiter als der Widerschein der beleuchteten Erde, es ist von der Erde zum Mond reflektiertes Sonnenlicht. Wenn für uns der Mond nur eine schmale Sichel zeigt, sieht der auf dem Mond befindliche Beobachter unseren Heimatplaneten noch fast als »Vollerde«. Das »aschgraue Licht« war also schon einmal auf der Erde! Von den noch in voller Tagesbeleuchtung stehenden Regionen Westeuropas, des Atlantiks und Amerikas wurde es zum Mond reflektiert und von dort zurück in unsere Augen. Ein Umweg von zweieinhalb Sekunden!

## Die Planeten

Es ist gar nicht so einfach, sich eine anschauliche Vorstellung von den Abmessungen und den Bah-

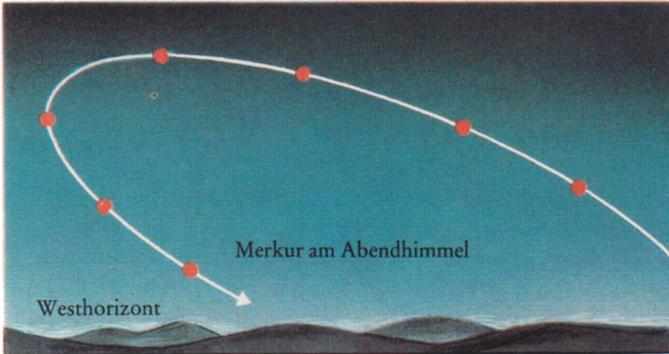
Vergleich zum Himmelshintergrund – sehr heller Punkt. Damit wird er aber leichter auffindbar.

Merkur ist ja der sonnennächste Planet; sein Winkelabstand von der Sonne kann deshalb  $28^\circ$  nicht überschreiten, und er kann nur wenige Male im Laufe eines Jahres früh oder abends für 60 bis 75 Minuten vor Sonnenaufgang bzw. nach Sonnenuntergang gesehen werden (Bild 72). Zu dieser Zeit ist es aber schon (bzw. noch) dämmerig, und es bereitet Schwierigkeiten, den Planeten zu finden. Das Fernglas ist in dieser Situation ein wichtiger Helfer.

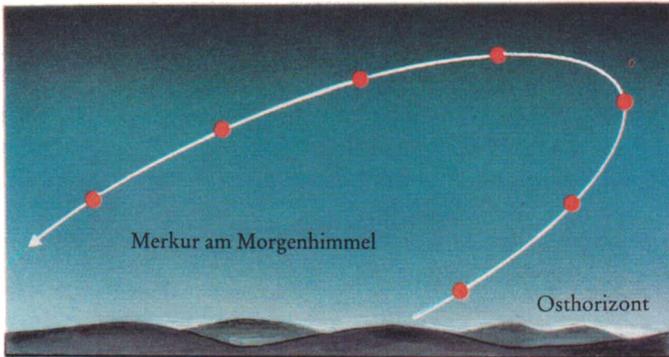
| Planet     | Größter scheinbarer Durchmesser |                                |
|------------|---------------------------------|--------------------------------|
|            | mit bloßem Auge                 | im 8fach vergrößerten Fernglas |
| Merkur     | 8"                              | 64"                            |
| Venus      | 50                              | 400                            |
| Mars       | 25                              | 200                            |
| Jupiter    | 48                              | 384                            |
| Saturn     | 21                              | 168                            |
| Uranus     | 4                               | 32                             |
| Neptun     | 2                               | 16                             |
| Saturnring | 45                              | 360                            |

nen der Planeten unseres Sonnensystems zu machen. Theoretisch ist alles klar: Die Planeten laufen auf kreisähnlichen Bahnen um die Sonne; je weiter sie von der Sonne entfernt sind, desto langsamer kommen sie voran. Aber wie sieht das wirklich aus?

Kinder haben zum Bau eines Schneemannes eine große Schneekugel von fast eineinhalb Metern Durchmesser zusammengerollt. Nun liegt sie verlassen auf der Wiese. Wenn das unsere Sonne wäre – wo wären wir? Nach einigem Suchen finden wir 150 m von der »Sonne« entfernt eine Haselnuß. Das wäre die Erde. (Merkur und Venus liegen als Kirschkern bzw. als kleine Haselnuß 58 m bzw. 108 m von der »Sonne« entfernt im Schnee.) Wollten wir nun die Bewegungen dieser drei Planeten im Modell nachahmen, dann müßten wir sie auf kreisähnlichen



Sonne schon untergegangen



Sonne noch nicht aufgegangen

72 Nur in der Morgen- oder Abenddämmerung sichtbar: Merkur. Er kommt lediglich drei- oder viermal pro Jahr in eine so günstige Stellung.

| Der Planet | hätte im Modell einen Durchmesser von | wäre im Modell von der Sonne entfernt | würde sich täglich verschieben um | vollendet einen Umlauf in |
|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Mars       | 0,7 cm                                | 228 m                                 | 2,1 m                             | 1,9 Jahren                |
| Jupiter    | 14,2                                  | 778                                   | 1,1                               | 11,9                      |
| Saturn     | 12,6                                  | 1,43 km                               | 0,8                               | 29,5                      |
| Uranus     | 4,7                                   | 2,87                                  | 0,6                               | 84,0                      |
| Neptun     | 4,9                                   | 4,50                                  | 0,5                               | 164,8                     |
| Pluto      | 0,6                                   | 5,95                                  | 0,4                               | 247,7                     |

Die Venus zeigt dagegen im Fernglas meist eine deutliche Scheibe und oft auch eine weitere Eigenheit: Ihre Scheibe ist nicht kreisrund, sondern oval – und zu manchen Zeiten ist es gar keine Scheibe, sondern eine Sichel! Venus weist Lichtgestalten auf, Phasen wie der Mond! Wie bei diesem ändert sich auch bei der Venus der beleuchtete Anteil der Oberfläche, den man von der Erde aus sehen kann (Bild 73).

Im Gegensatz zum Mond ist jedoch auch die Entfernung der Venus von der Erde stark veränderlich, und das hat Auswirkungen auf den scheinbaren Durchmesser. Bild 73 macht das sehr deutlich. In der Nähe der oberen Konjunktion, wenn Venus jenseits der Sonne steht, beträgt der scheinbare Durchmesser des Planeten nur wenig mehr als 10". Dann ist auch ein 10fach vergrößerndes Fernglas kaum in der Lage, die Gestalt der Venus sichtbar zu machen.

Venus ist nach Sonne und Mond das hellste Gestirn am Himmel. Je größer der von der Erde aus sichtbare beleuchtete Anteil ihrer Oberfläche und je kleiner ihre Entfernung von der Erde ist, desto größer ist ihre Helligkeit. Zuweilen erreicht sie – 4,3 Größenklassen, und dann kann der Planet auch in der hellen Dämmerung ganz leicht gefunden werden. In dieser Zeit ist ihr Bild in einem lichtstarken Fernglas fast schmerzhaft hell. Dann kann ein Graufilter eine merkliche Verbesserung des Bildeindrucks bringen. Eine interessante Erscheinung tritt augenfällig hervor, wenn wir die Venus an einem wolkenlosen Abend bis dicht über den Untergangspunkt im Horizont verfolgen: die Helligkeitsabnahme, die mit schwindender Höhe über dem Horizont immer deutlicher wird. Venus verliert immer mehr an Glanz. Ursache dafür ist die sogenannte Extinktion, die lichtschluckende Wirkung der Erdatmosphäre. Je tiefer ein Gestirn steht, um so länger ist der Weg, den sein Licht durch die dichten Schichten unserer Atmosphäre hindurch zurücklegen muß. Bei 10° Höhe verliert ein Gestirn durchschnittlich eine Größenklasse, bei 5° Höhe sogar 1,7 Größenklassen gegenüber der Helligkeit im Zenit. (Bei Höhen über 40° können wir die Extinktion vernachlässigen.)

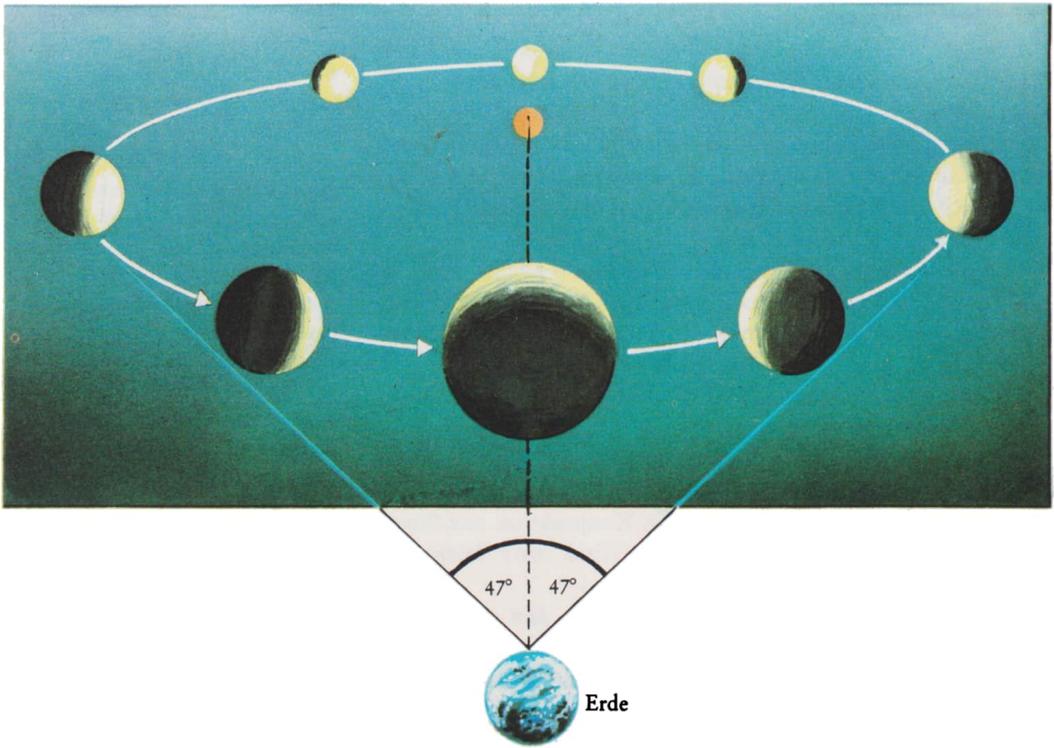
Bahnen um die »Sonne« herumführen. Merkur müßte täglich um 4,6 m, Venus um 3 m, die Erde aber nur um 2,6 m vorwärtsgeschoben werden. In einer Stunde dürfte die Erde nur um 11 cm weitertücken!

Und die anderen Planeten? Die nebenstehende Tabelle gibt Auskunft.

Wenn ein Planet, von der Erde aus gesehen, in Richtung zur Sonne steht, so sagt man, er befindet sich in Konjunktion zur Sonne. Bild 74 zeigt Venus, Mars und Jupiter gleichzeitig in Konjunktion zur Sonne; ein Zusammentreffen, das sich in dieser Art extrem selten ereignet. Aufmerksame Beobachter finden noch etwas Unwirkliches an dem Bild: Die Venus gibt es zweimal. Die Konjunktion, bei der sie jenseits der Sonne steht, heißt *obere*, das Gegenstück heißt *untere Konjunktion*. (Auch Merkur, der innerste Planet, kann in oberer und in unterer Konjunktion zur Sonne stehen.)

Aus Bild 74 geht hervor, daß ein Planet, wenn er sich in Konjunktion befindet, von der Erde aus unbeobachtbar ist. Selbst wenn er nicht genau hinter, sondern dicht oberhalb oder unterhalb der Sonne vorbeizieht, kann er doch von unserem Standort im Weltall aus nicht gesehen werden. Die Helligkeit der Sonne macht ja alle kosmischen Objekte, den Mond und die Venus ausgenommen, für das bloße Auge am Tage unsichtbar. Venus kann bei genügend großem Winkelabstand von der Sonne während der unteren Konjunktion gesehen werden.

Eine Besonderheit gibt es bei den inneren Planeten Merkur und Venus. Sie können gelegentlich bei einer ihrer unteren Konjunktionen vor der Sonne vorbeiziehen. Dann sieht man einen kleinen, scharf begrenzten Punkt auf



Venus pendelt (wie Merkur), von uns aus gesehen, immer um die Sonne und erscheint dabei abwechselnd rechts und links von dieser. Sie kann sich bis zu  $47^\circ$  von der Sonne entfernen und deshalb mehrere Stunden vor der Sonne auf- bzw. nach der Sonne untergehen. Ihre Abendsichtbarkeit und ihre Morgensichtbarkeit (in der untenstehenden Tabelle mit A und M bezeichnet) wiederholen sich nach jeweils 8 Jahren in nahezu der gleichen Weise.

73 Die Venus sieht im Fernglas manchmal aus wie ein kleiner Mond.

| Jahr |      |      | Venus ist sichtbar in den Monaten                      |
|------|------|------|--|
| 1983 | 1991 | 1999 | Februar bis Juni (A); Oktober bis Dezember (M)         |
| 1984 | 1992 | 2000 | Januar (M); November bis Dezember (A)                  |
| 1985 | 1993 | 2001 | Januar bis März (A); Juli bis November (M)             |
| 1986 | 1994 | 2002 | April bis Juni (A); Dezember (M)                       |
| 1987 | 1995 | 2003 | Januar und Februar (M); Dezember (A)                   |
| 1988 | 1996 | 2004 | Januar bis Mai (A); August bis Dezember (M)            |
| 1989 | 1997 | 2005 | Oktober bis Dezember (A)                               |
| 1990 | 1998 | 2006 | Januar (A); Februar bis April (M); Juli bis August (M) |

Die Sichtbarkeit der äußeren Planeten – wir beschränken uns auf Mars, Jupiter und Saturn – lässt sich recht einfach beschreiben. Bei diesen Planeten wechseln sich vier typische Situationen immer in der gleichen Reihenfolge ab:

**Konjunktion:** Der Planet ist unsichtbar.

**Folgende Wochen und Monate:** Der Planet erscheint am Morgenhimmel, zuerst kurz vor Sonnenaufgang, dann immer zeitiger. Schließlich fällt die Aufgangszeit auf Mitternacht, dann in die Abendstunden.

**Opposition:** Der Planet geht abends auf und morgens unter, ist also die ganze Nacht hindurch zu sehen. In dieser Stellung ist er auch der Erde am nächsten und erreicht seinen größten scheinbaren Durchmesser.

**Folgende Wochen und Monate:** Der Planet geht nachmittags auf und steht bei Sonnenuntergang bereits am Himmel. Die Untergangszeit rückt immer mehr an Mitternacht heran, überschreitet diese und fällt dann bereits in die Abendstunden. Schließlich kommt der Planet wieder in Konjunktion, und der Zyklus beginnt von vorn.

In der untenstehenden Tabelle ist für die Jahre 1985 bis 2000 angegeben, in welchen Monaten die Planeten Mars, Jupiter und Saturn in Opposition und in Konjunktion zur Sonne stehen. Die Sichtbarkeitsbedingungen sind dann leicht aus dem Vorstehenden zu ermitteln.

**Beispiel:** War Jupiter im Oktober 1985 in den Abendstunden zu sehen?

Jupiter stand im August 1985 in Opposition. In den darauffolgenden Monaten ging er immer zeitiger auf, so daß er im Oktober 1985 bei Sonnenuntergang schon hoch am südöstlichen Himmel stand. Jupiter war demnach im Oktober 1985 abends zu sehen.

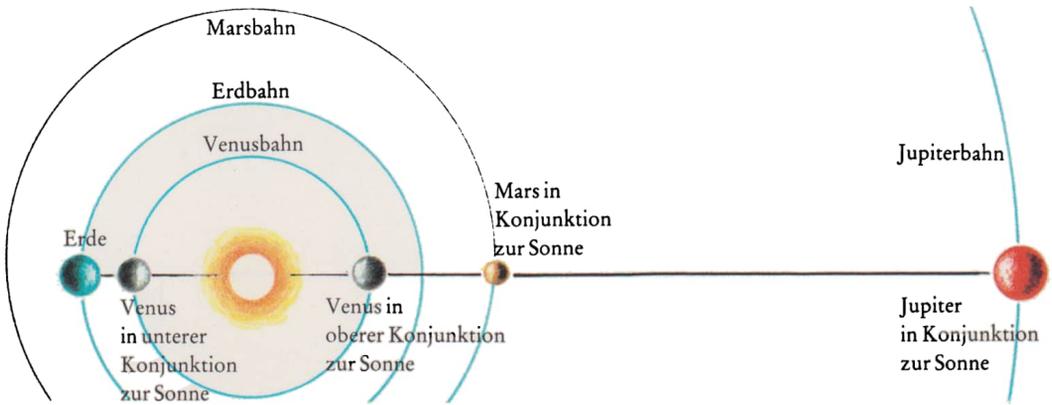
**Beispiel:** Wird Mars im April 2000 gegen Mitternacht zu sehen sein?

Mars wird im Juni 2000 in Konjunktion zur Sonne kommen.

der Sonne – die Sonnenflecke, von denen später die Rede sein wird, haben unregelmäßige Formen, erscheinen wesentlich heller und sind leicht davon zu unterscheiden (Bild 75). Ein solches Ereignis heißt Merkur- bzw. Venusdurchgang. Die nächsten Merkurdurchgänge ereignen sich am 13. 11. 1986, am 6. 11. 1993 und am 15. 11. 1999, aber alle drei leider für Mitteleuropa in den Nachtstunden. Erst am 7. 5. 2003 wird 6<sup>h</sup>15<sup>min</sup> bis 11<sup>h</sup>33<sup>min</sup> MEZ wieder ein Merkurdurchgang von Europa aus beobachtbar sein. Venusdurchgänge sind viel seltener. Der letzte fand 1882, also vor mehr als einem Jahrhundert, statt; der nächste ist für den 8. 6. 2004, 6<sup>h</sup>15<sup>min</sup> bis 12<sup>h</sup>28<sup>min</sup> MEZ zu erwarten.

Das Gegenstück zur Konjunktion ist die Opposition. Ein Planet steht in Opposition zur Sonne, wenn sich die Erde für ihn wie im Bild 76 für Mars und Jupiter vor die Sonne schiebt. Sonne, Erde und Planet stehen also in dieser Reihenfolge nahezu in einer Geraden; das bedeutet optimale Sichtbarkeit des Planeten von der Erde

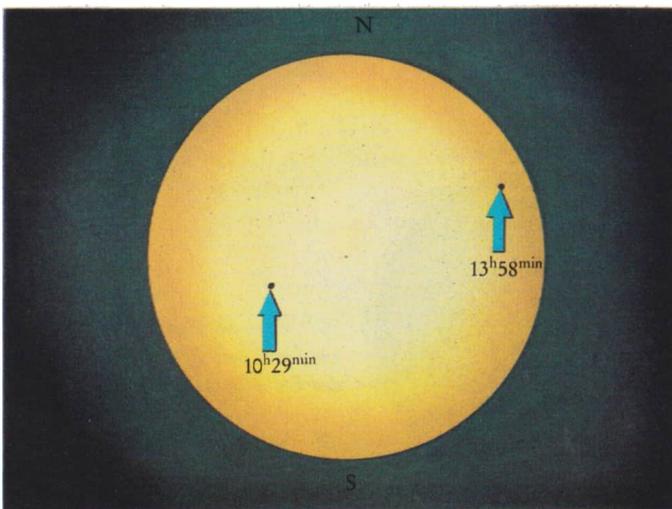
| Jahr | Opposition (beste Sichtbarkeit) |           |           | Konjunktion (Unsichtbarkeit) |           |          |
|------|---------------------------------|-----------|-----------|------------------------------|-----------|----------|
|      | Mars                            | Jupiter   | Saturn    | Mars                         | Jupiter   | Saturn   |
| 1985 | –                               | August    | Mai       | Juli                         | Januar    | November |
| 1986 | Juli                            | September | Mai       | –                            | Februar   | Dezember |
| 1987 | –                               | Oktober   | Juni      | August                       | März      | Dezember |
| 1988 | September                       | November  | Juni      | –                            | April     | Dezember |
| 1989 | –                               | Dezember  | Juli      | September                    | Juni      | –        |
| 1990 | November                        | –         | Juli      | –                            | Juli      | Januar   |
| 1991 | –                               | Januar    | Juli      | November                     | August    | Januar   |
| 1992 | –                               | Februar   | August    | –                            | September | Januar   |
| 1993 | Januar                          | März      | August    | Dezember                     | Oktober   | Februar  |
| 1994 | –                               | April     | August    | –                            | November  | Februar  |
| 1995 | Februar                         | Mai       | September | –                            | Dezember  | März     |
| 1996 | –                               | Juli      | September | März                         | –         | März     |
| 1997 | März                            | August    | Oktober   | –                            | Januar    | März     |
| 1998 | –                               | September | Oktober   | Mai                          | Februar   | April    |
| 1999 | April                           | Oktober   | November  | –                            | April     | April    |
| 2000 | –                               | November  | November  | Juni                         | Mai       | Mai      |



Schon im April wird er jedoch einen so geringen Winkelabstand von ihr haben, daß er am Abend, nicht lange nach der Sonne, am Westhimmel untergeht. Mars wird deshalb im April 2000 um Mitternacht nicht mehr am Himmel stehen und auch in den Abendstunden kein auffälliges Objekt sein.

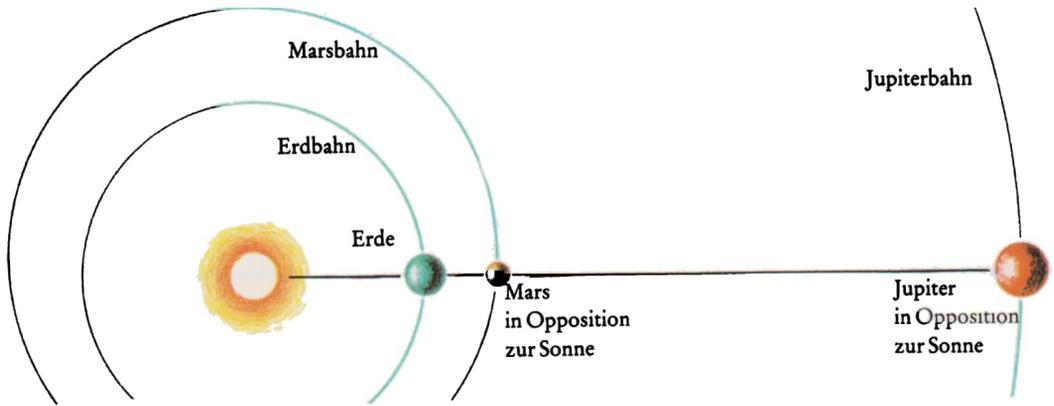
Jupiter, der größte Planet unseres Sonnensystems, fällt am Himmel durch seine große Helligkeit (bis  $-2,4$  Größenklassen) sofort auf. Er ist nach Sonne, Mond und Venus das vierthellste Gestirn am Himmel. Jupiter ist schon in einem 8fach vergrößernden Fernglas problemlos als »Scheibe« zu sehen, und auch bei dieser geringen Vergrößerung finden wir in unmittelbarer Umgebung des Planeten die vier hellen »Galileischen« Jupitermonde. (Sie wurden zuerst vor fast 400 Jahren von Galileo Galilei gesehen und beschrieben.)

Diese Monde, punktförmig und deshalb wie Sterne aussehend, umlaufen den Planeten auf Bahnen, die wir fast genau »von der Seite« sehen, so daß uns die Bewegung der Monde als



74 Ein innerer und ein äußerer Planet in Konjunktion zur Sonne. Wenn die Planeten so stehen, sind sie von der Erde aus unsichtbar. (Venus ist zweimal gezeichnet, um beide möglichen Konjunktionsstellungen anzudeuten.)

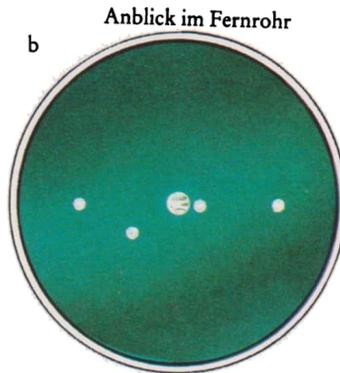
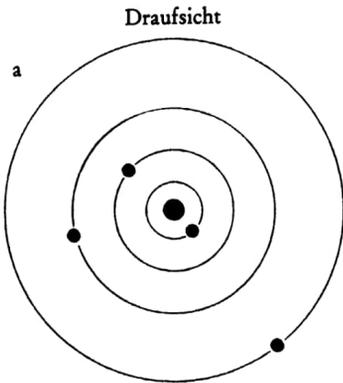
75 Merkurdurchgang vom 10.11.1973. In der Zeichnung ist die Stellung des Planeten um  $10^h 29^{\text{min}}$  und  $13^h 58^{\text{min}}$  eingetragen. So war das Ereignis von Kopenhagen aus zu sehen. Um  $14^h 17^{\text{min}}$  war der Durchgang beendet. (Zeichnung nach zwei Fotografien von Volmer Hegvad; Merkur wurde absichtlich etwas vergrößert dargestellt.)



Hin- und Herbewegung links und rechts vom Jupiter erscheint (Bild 77). Schon innerhalb weniger Stunden ist eine Änderung der Stellungen der beiden inneren, »schnellen« Monde bemerkbar; die Lichtpünktchen wechseln von einer Seite des Planeten auf die andere, und dabei werden sie, wenn sie den Schatten der Planetenkugel durchlaufen, auch zeitweilig unsichtbar. Man muß also damit rechnen, auch einmal nur drei oder gar nur zwei der hellen Jupitermonde zu sehen. (Auch wenn ein Mond vor oder hinter dem Jupiter steht, ohne in dessen Schatten zu treten, kann er nicht gesehen werden.)

Jupiter hat insgesamt mehr als fünfzehn Monde. Einige wurden erst von Raumsonden aus entdeckt; die meisten sind so klein und lichtschwach, daß man mit einem Amateurfernrohr vergeblich nach ihnen Ausschau halten wird.

| Mond | Name     | Mittlere Entfernung von Jupiter | Umlaufzeit |
|------|----------|---------------------------------|------------|
| I    | Io       | 422 000 km                      | 1 d 18 h   |
| II   | Europa   | 671 000                         | 3 13       |
| III  | Ganymed  | 1 070 000                       | 7 4        |
| IV   | Kallisto | 1 880 000                       | 16 17      |



aus. Der Planet steht, von der Erde aus betrachtet, der Sonne gegenüber. Geht sie abends unter, so geht der Planet auf; erst bei Morgengrauen neigt sich der Planet zum Untergang. Man kann ihn die ganze Nacht hindurch sehen, und die Entfernung zwischen ihm und der Erde hat den kleinsten möglichen Betrag erreicht, so daß Einzelheiten im Fernglas oder im Fernrohr besonders gut zu erkennen sind.

Jupiter ist ein äußerer Planet. Wenn er in Opposition zur Sonne steht, kann man ihn und die Bewegungen seiner vier hellen »Galileischen« Monde die ganze Nacht hindurch beobachten. Ihre rasche Ortsveränderung erklärt sich aus dem schnellen Umlauf um den Jupiter.

76 Wenn ein Planet in Opposition zur Sonne kommt, ist Hochsaison bei den Beobachtern.

77 Sehr reizvoll ist das Wechselspiel der vier hellen Jupitermonde. Wir sehen sie so, wie im rechten Bild dargestellt.

Saturn, der Planet mit dem auffälligen Ringsystem, erscheint im Fernglas nur als heller Lichtfleck von länglicher Gestalt. Man müßte schon eine 30- bis 40fache Vergrößerung zur Verfügung haben, um zu erkennen, daß es sich um eine von einem freischwebenden Ring umgebene Kugel handelt.

Eine solche Vergrößerung gibt aber kein handelsübliches Fernglas her. Jedoch ist der Anblick des Saturn auch in größeren Fernrohren nicht immer der gleiche (s. Seite 146). Zuweilen – beispielsweise zwischen 1994 und 1996 – blicken wir auf die Kante des Ringsystems, und im Fernglas ist dann keine Andeutung einer länglichen Gestalt des Planetenbildchens zu erkennen.

Die hellen Planeten, von denen in diesem Abschnitt die Rede ist, unterscheiden sich außer durch ihre Helligkeit auch durch die Färbung ihres Lichtes. Venus ist gleißend gelblichweiß, Mars dagegen auffällig rot gefärbt. Jupiter strahlt ein ruhiges gelbes Licht aus, und Saturn ist durch ein nicht sehr helles, fahlweißes Licht charakterisiert.

### Ein Komet kommt

Von Zeit zu Zeit lenken Vertreter einer absonderlichen Sorte von Himmelskörpern das Interesse der Allgemeinheit auf sich: Ein Komet steht am Himmel. Wenn sich in früheren Jahrhunderten diese Nachricht verbreitete, dann strömten jung und alt ins Freie, um das Wunderding zu bestaunen. Was man da sehen konnte, war mitunter wirklich bemerkenswert. Am nächstlichen Himmel, mitten zwischen den vielen Sternen, strahlte eine kleine, helle Wolke mit einem mehr oder weniger langen, lichten Schweif. Scheinbar unbeweglich stand der unerwartete Gast am Himmel, allerdings neigte er sich mit dem Sternbild, in dem er sich befand, nach geraumer Zeit dem Untergange zu. Nur im Verlaufe mehrerer Tage – dann aber augenfällig – war seine Bewegung unter den Sternen erkennbar.

Solche Berichte betrafen natürlich nur die hellen, auch mit dem bloßen Auge leicht beobachtbaren Kometenerscheinungen. Sie mußten wenigstens die dritte Größenklasse erreicht haben, um ohne optische Hilfsmittel gesehen zu werden. Es gibt aber sehr viel mehr Kometen im Sonnensystem – grobe Abschätzungen sprechen von bis zu 100 Milliarden –, und die meisten bleiben recht lichtschwache, unauffällige Gebilde. Um sie zu beobachten, ist das Fernglas das ideale Gerät.

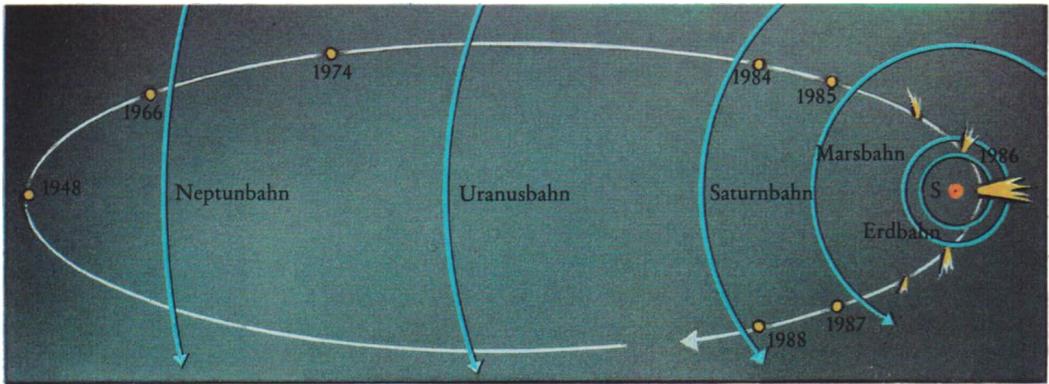
Kometen müssen regelrecht gesucht werden. Nur für relativ wenige unter ihnen, deren Umlaufbahnen um die Sonne bekannt sind, kann man Zeit und Ort ihres Wiedererscheinens angeben. Kometen sind am hellsten, wenn sie der Sonne sehr nahe stehen. Das bringt für uns die Schwierigkeit mit sich, daß

Im Jahre 1979 erreichten die Raumsonden Voyager 1 und Voyager 2 nach fast 2jähriger Reise den Jupiter, und sie übertrugen sensationelle Fernsehbilder der vier hellen Monde. Damals wurde bekannt, daß Io eine Atmosphäre aus Schwefeldioxid besitzt und aktive Vulkane aufweist, die Schwefeldioxid und flüssigen Schwefel auswerfen. Bis zu diesem Zeitpunkt hatte man fest geglaubt, von allen Himmelskörpern im Sonnensystem sei allein die Erde zu aktivem Vulkanismus fähig. Hätte Galilei vom Io-Vulkanismus gewußt, die Trennung in irdische und »himmlische« Welt hätte für ihn einen weiteren empfindlichen Schlag erhalten ...

### Kometen

»Stellen Sie sich einen großen, schmutzigen Schneeball vor!« soll einmal ein Astronomieprofessor auf die Frage geantwortet haben, was ein Komet sei. In der Tat: Ein Gemenge von gefrorenen Gasen und Staub, durchsetzt mit kleineren und größeren Steinen – das ist der Kern eines Kometen. Der Gasanteil überwiegt mit runden 90%; er umfaßt Moleküle von Wasser, Stickstoff, Ammoniak, Methan, Kohlendioxid und einigen anderen Verbindungen. Der Durchmesser eines solchen Gebildes mag zwischen 1 und 10 Kilometern liegen; die Zahl der Kometen im Sonnensystem wird auf einige Milliarden geschätzt.

Kometen umlaufen die Sonne auf kreisähnlichen Bahnen in der riesigen Entfernung von rund 15 Billionen Kilometern. (Der Sternachbar unserer Sonne im Weltraum, der Stern  $\alpha$  Centauri am südlichen Himmel, ist gut doppelt so weit entfernt.) Dort draußen, weit jenseits der letzten Planeten-



man Kometen normalerweise in einer Himmelsgegend suchen muß, die erst kurz vor der Sonne auf- oder schon kurz nach der Sonne untergeht.

Wer am Abendhimmel nach einem Kometen Ausschau halten will, muß warten, bis der Himmel auch in westlicher Richtung nahezu dunkel geworden ist. Das Fernglas wird auf den Untergangspunkt der Sonne gerichtet und ganz langsam nach links und rechts geschwenkt. Dann neigen wir es um etwa den halben Gesichtsfelddurchmesser in die Höhe und suchen erneut; und so wird der gesamte Westhimmel streifenweise abgesehen.

Nun ist aber sicher nicht jedes neblige Wölkchen, das da im Gesichtsfeld erscheint, ein kleiner Komet. Gasnebel, Kugelsternhaufen oder ferne Sternsysteme können einem Kometen täuschend ähnlich sehen, und deshalb sollten wir bei einer derartigen Entdeckung erst einmal einen Sternatlas zu Rate ziehen.

Finden wir im Sternatlas in der betreffenden Himmelsgegend kein verdächtiges Objekt, dann skizzieren wir die Position des vermutlichen Kometen relativ zu den Sternen. Am folgenden Tage wird diese Beobachtung wiederholt. Hat das Objekt seine Position zwischenzeitlich verändert, dann können wir zufrieden aufatmen: Der Komet ist gefunden.

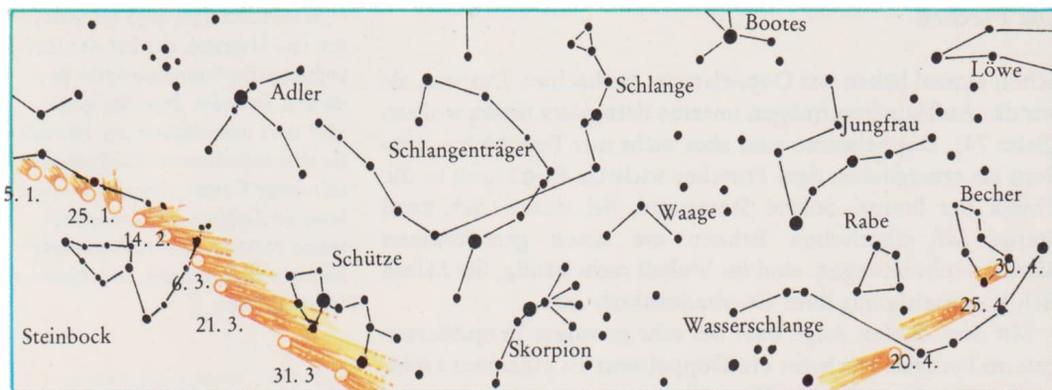
Sollte jemand das seltene Glück haben, einen bisher unbekanntem Kometen zu entdecken, dann lohnt sich ein Telegramm oder eine telefonische Nachricht an die nächstgelegene Sternwarte. Die beobachtete Position des Kometen unter den Sternen soll dabei so genau wie möglich angegeben werden, desgleichen die Bewegungsrichtung und natürlich die dazugehörigen Zeitangaben. Bestätigt sich die Entdeckung, dann wird der Komet in Zukunft den Namen seines Entdeckers tragen. (Neuentdeckte Kometen werden nach ihren Entdeckern und dem Jahr ihrer Entdeckung benannt.)

Einer der berühmtesten Kometen in der Geschichte der Astronomie wurde nach dem Engländer Edmond Halley be-

bahn, braucht man zu einem Umlauf um die Sonne rund 30 Millionen Jahre. Ein überdimensionales Kühlhaus, in dem die Kometen frisch gehalten werden!

Nur wenn sich zwei Kometen zufällig sehr nahe kommen oder wenn ein anderes Objekt Bewegung in die Kometenwolke bringt, kann ein solcher Himmelskörper auf eine andere Bahn gedrängt werden. Die hat dann meist die Form einer langgestreckten Ellipse und führt gefährlich nahe an der Sonne vorbei. Schon wenn der Komet auf seiner neuen Bahn noch 5mal so weit von der Sonne entfernt ist wie die Erde, verflüchtigen sich die Gase und bilden eine den Kern, den Schneeball, umgebende Wolke. Das ist die Koma des Kometen. Sie wird von der Sonnenstrahlung zum Leuchten angeregt – und nun erst kann man das Gebilde auch von der Erde aus wahrnehmen.

Ist der Komet auf wenige hundert Millionen Kilometer an die Sonne herangekommen, dann treibt der Druck der von der Sonne ausgehenden Teilchenstrahlung Moleküle und Staubteilchen aus der Koma heraus. Der Schweif des Kometen entsteht. Er ist immer von der Sonne weggerichtet und erreicht seine größte Ausdehnung im sonnennächsten Punkt der Kometenbahn.



nannt. Halley hatte diesen 1682 erschienenen Kometen beobachtet und gefunden, daß sich die 1456, 1531 und 1607 erschienenen Kometen auf der gleichen Bahn wie der Komet von 1682 bewegten. Er schloß daraus, daß es sich um einen periodisch wiederkehrenden Kometen handelte, und er wagte die Voraussage, daß der Komet Anfang 1759 wieder zu sehen sei. Tatsächlich wurde der Komet, der seitdem die Bezeichnung »Komet Halley« oder »Halley'scher Komet« trägt, am Abend des ersten Weihnachtsfeiertages 1758 durch den sächsischen Bauern und Liebhaberastronomen Georg Pahlitzsch aufgefunden.

Die Umlaufzeit des Halley'schen Kometen beträgt 76 Jahre; seine jüngsten Vorübergänge in Sonnennähe fanden 1910 und 1985/86 statt (Bild 78). Allerdings hat der Komet bei jeder Wiederkehr an Glanz und Größe seiner Erscheinung eingebüßt. Seine jüngste Wiederentdeckung gelang mehr als drei Jahre vor dem eigentlichen Termin, im Oktober 1982, mit einem elektronischen Empfänger am 5-m-Spiegelteleskop auf dem Mt.-Palomar-Observatorium.

In den letzten Jahren sind Kometenentdeckungen bekannt geworden, an denen Menschen nur mittelbar beteiligt waren. Zum ersten Male geschah dies am 25. April 1983, als der automatisch arbeitende Infrarot-Astronomie-Satellit »IRAS« einen Kometen registrierte. Nach der Bestätigung durch die Beobachter Araki in Japan und Alcock in England erhielt dieser Komet den Namen »IRAS-Araki-Alcock« (1983 d). Nicht einmal vier Wochen später meldete »IRAS« bereits seine zweite Kometenentdeckung – ein Objekt der 17. Größenklasse! Da sind Amateurastronomen am Fernglas natürlich hoffnungslos unterlegen. Aber wir sollten uns dennoch nicht entmutigen lassen! Ein Komet lohnt auch dann eine Beobachtung, wenn man ihn nicht selbst als erster entdeckt hat. Und: Je zeitiger ein Komet von den dafür zuständigen Fachleuten entdeckt wird, desto größer ist die Chance, daß die notwendigen Informationen uns rechtzeitig erreichen und wir den Kometen somit selbst finden können.

*78, 79 Der wohl bekannteste Komet unseres Jahrhunderts ist der Halley'sche Komet. Seit 1948 näherte er sich der Sonne; wenn er im Jahre 2022 seinen sonnennähesten Bahnpunkt wieder erreicht haben wird, ist er längst unsichtbar geworden. Im Winter 1985/86 durchlief er zur Zeit seiner größten Helligkeitsentfaltung die Sternbilder Steinbock und Schütze.*

Ein Schulglobus hat rund 30 cm Durchmesser; ein Kometenkern ist, im gleichen Maßstab verkleinert, mit  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{50}$  mm Durchmesser gerade noch sichtbar. Der Schweif dieses Kometen kann aber, wiederum im gleichen Maßstab, mit Leichtigkeit 200 m lang werden. Im Originalmaßstab sind das runde 10 Mill. km. Viele Kometen haben noch weit längere Schweife.

Bei jedem Umlauf verliert so ein Himmelskörper etwas Masse, da die Koma und der Schweif ständig abströmen und nicht ersetzt werden können. Deshalb ist das Schicksal eines Kometen, wenn er erst einmal in eine derartige nahe an der Sonne vorbeiführende Bahn abgedrängt wurde, besiegelt. Nach spätestens 1 Mill. Jahren wird er sich völlig aufgelöst haben, und seine festen Bestandteile werden als Meteorite im Raum umherirren, bis sie auf einen Planeten oder Planetoiden prallen.

## Die Pärchen

Schon einmal haben wir Doppelsterne beobachtet. Das war, als wir das Auflösungsvermögen unseres Fernglases testen wollten (Seite 74). Doppelsterne sind aber nicht nur Testobjekte, sondern sie ermöglichen dem Forscher wichtige Einsichten in die Physik der Sterne. Solche Sternpaare, bei denen sich zwei Sterne auf elliptischen Bahnen um einen gemeinsamen Schwerpunkt bewegen, sind im Weltall recht häufig. Sie halten sich gegenseitig mit ihrer Gravitationskraft fest.

Mit dem bloßen Auge oder bei sehr geringen Vergrößerungen im Fernglas erscheint ein Doppelstern als einzelner Lichtpunkt. Erst bei stärkerer Vergrößerung kann man erkennen, daß es sich in Wirklichkeit um zwei Sterne handelt, die in der Regel ungleich hell und oft auch ungleich gefärbt erscheinen.

Ein zu großer Helligkeitsunterschied zwischen den beiden Partnern kann aber bewirken, daß der schwächere durch den helleren überstrahlt wird. Das erschwert das Erkennen beträchtlich. Man könnte meinen, die unterschiedliche Helligkeit sei ein Hinweis auf die unterschiedliche Entfernung der beiden beteiligten Sterne. Das ist aber nur in wenigen Fällen richtig – nämlich dann, wenn es sich um »scheinbare« (»optische«) Doppelsterne handelt, also Sterne, die nur zufällig nebeneinander zu sehen sind, in Wahrheit aber gar nicht räumlich zusammengehören. Je größer der Winkelabstand der beiden Sterne ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, daß es

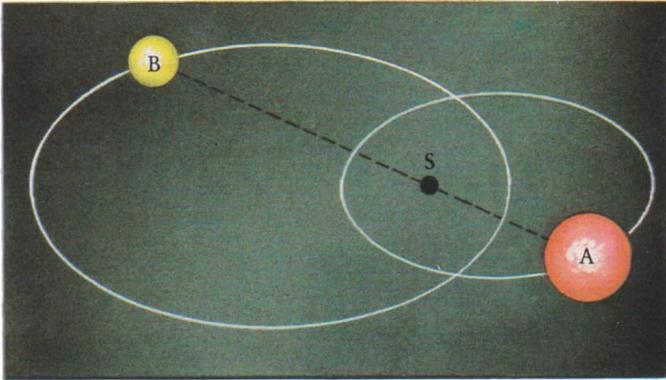
Wahrscheinlich sind die Kometen das Material, das bei der Entstehung des Sonnensystems in dessen äußerste Bereiche geriet und dort unverändert die Jahrmilliarden überdauerte. Deshalb fesselt jeder Komet, der neu in die inneren Gebiete des Sonnensystems vorstößt, die Aufmerksamkeit der Astronomen und Raumfahrtexperten.

## Doppelsterne

Zwei Sterne, die sich unter dem Einfluß ihrer gegenseitigen Massenanziehung um einen gemeinsamen Schwerpunkt bewegen, bilden ein Doppelsternsystem oder, kurz, einen Doppelstern (Bild 80). Vielfach erscheinen sie nicht nur bei der Beobachtung mit dem bloßen Auge als ein einziger Stern, sondern auch im Fernglas oder im Kleinfernrohr. Dann muß, um sie zu trennen, ein leistungsfähigeres Instrument eingesetzt werden.

| Stern  | Im Sternbild        | Rektaszension                    | Deklination | Helligkeiten<br>(in Größenklassen) |     | Abstand |
|--------|---------------------|----------------------------------|-------------|------------------------------------|-----|---------|
| 30 Ari | Widder              | 2 <sup>h</sup> 37 <sup>min</sup> | +24,6°      | 6,6                                | 7,3 | 38''    |
| θ Tau  | Stier               | 4 29                             | +15,9       | 3,6                                | 4,0 | 337     |
| σ Tau  | Stier               | 4 39                             | +15,8       | 4,8                                | 5,2 | 429     |
| δ Ori  | Orion               | 5 31                             | - 0,3       | 2,5                                | 7,0 | 53      |
| γ Lep  | Hase                | 5 44                             | -22,5       | 3,8                                | 6,4 | 95      |
| α Lib  | Waage               | 14 50                            | -16,0       | 2,9                                | 5,3 | 231     |
| ν Sco  | Skorpion            | 16 12                            | -19,4       | 4,4                                | 6,6 | 41      |
| μ Sco  | Skorpion            | 16 52                            | -38,0       | 3,1                                | 3,6 | 420     |
| ν Dra  | Drache              | 17 32                            | +55,2       | 4,9                                | 4,9 | 62      |
| ζ Lyr  | Leier               | 18 44                            | +37,6       | 4,3                                | 5,7 | 44      |
| ε Lyr  | Leier <sup>1)</sup> | 18 44                            | +39,7       | 4,4                                | 4,8 | 224     |
| α Vul  | Füchlein            | 19 29                            | +24,7       | 4,0                                | 6,0 | 403     |
| β Cyg  | Schwan              | 19 31                            | +28,0       | 3,2                                | 5,3 | 35      |
| ο Cyg  | Schwan              | 20 13                            | +46,8       | 4,0                                | 4,2 | 338     |
| α Cap  | Steinbock           | 20 17                            | -12,6       | 3,8                                | 4,5 | 376     |
| μ Cyg  | Schwan              | 21 44                            | +28,7       | 4,7                                | 6,7 | 210     |
| δ Cep  | Cepheus             | 22 29                            | +58,5       | 3,6-4,3                            | 7,5 | 41      |

<sup>1)</sup> Beide Sterne sind selbst wieder enge Doppelsterne, allerdings mit so geringem Abstand, daß sie mit einem Fernglas nicht getrennt gesehen werden können.



80 Doppelstern: Ein Sternpaar umläuft einen gemeinsamen Schwerpunkt.

sich um einen »echten« (»physischen«) Doppelstern handelt. Die Tabelle auf Seite 92 nennt Doppelsterne, die mit Ferngläsern leicht zu trennen sind; darunter auch eine Reihe »optischer« Objekte. Um das Auffinden im Sternatlas zu erleichtern, sind die Koordinaten Rektaszension und Deklination angegeben.

### Mal hell, mal dunkel

Beim Fotografieren des Sternhimmels mit langsam bewegter Kamera waren sie uns zum ersten Male begegnet – Sterne, die ihre Helligkeit im Laufe von Stunden oder Tagen verändern. Wir entdeckten sie, weil sie auf unseren Aufnahmen durch ihre unterschiedliche Schwärzung und durch die unterschiedlichen Durchmesser der Stern»scheibchen« auffielen. Die in der Geschichte der Astronomie erste Entdeckung eines Veränderlichen ereignete sich im August des Jahres 1596. Damals stellte der ostfriesische Landpfarrer und Liebhaberastronom David Fabricius fest, daß der Stern Omikron im Sternbild Walfisch zeitweilig verschwunden zu sein schien. Kein Wunder, denn Omikron ist ein Veränderlicher, der im Helligkeitsmaximum die 2., im Minimum dagegen nur die 10. Größenklasse aufweist. Ohne optische Hilfsmittel – und Fabricius besaß weder Fernrohr noch Fernglas – ist der Stern also im Minimum nicht zu sehen. Kein Wunder – für uns! Fabricius war vor fast 400 Jahren anderer Meinung. Er nannte den Stern, der auf eine für ihn so unfaßbare Weise verschwinden und wiedererscheinen konnte, »Mira stella Ceti« – den wunderbaren Stern im Walfisch. Mira heißt der Stern übrigens noch heute.

Mira und eine Reihe weiterer Veränderlicher mit ähnlichen Eigenschaften haben keine streng gleichbleibende Periode, d. h., die Dauer zwischen zwei Helligkeitsmaxima ändert sich von Zeit zu Zeit. Ein guter Richtwert für Mira ist die Zeitspanne von 332 Tagen; es gibt aber auch Veränderliche dieses Typs mit Perioden bis zu 1000 Tagen.

Aber auch, wenn man – mit starker Vergrößerung – die beiden Sterne getrennt wahrnehmen kann, ist es nicht möglich, ihre Umlaufbewegung direkt zu beobachten. Bei den meisten in einem Amateurfernrohr trennbaren Doppelsternen liegen die Umlaufzeiten in der Größenordnung einiger Jahrhunderte. Die genaue Ermittlung der Umlaufbahnen um den gemeinsamen Schwerpunkt ist also oft eine Aufgabe für Generationen von Astronomen, aber eine faszinierende: Kennt man die Umlaufzeiten und die Abmessungen der Bahnen beider Sterne, dann können deren Massen bestimmt werden.

Auch für Doppelsternbewegungen gelten die Gesetze, die Johannes Kepler zu Beginn des 17. Jahrhunderts mühevoll erarbeitete. Und weil die Kraft, die beide Sterne zusammenhält, die *Massenanziehung* dieser Sterne ist, muß sie von den *Massen* der Sterne abhängen. Ihre Wirkungen beobachtet man beim Umlauf um den Schwerpunkt. So kommt es, daß die nur als Lichtpunkte sichtbaren Sterne auch das Geheimnis ihrer Massen preisgeben müssen. Das Ergebnis lautet: Die Massen der meisten Sterne liegen zwischen einem Zehntel und dem Fünfzigfachen der Sonnenmasse. Himmelskörper, deren Masse 10 %

| Stern         | Im Sternbild | Typ       | Scheinbare Helligkeit                 | Periode         |
|---------------|--------------|-----------|---------------------------------------|-----------------|
| $\lambda$ Tau | Stier        | Bedeckung | 3 <sup>m</sup> 8 bis 4 <sup>m</sup> 1 | 3 d 22 h 52 min |
| $\delta$ Cep  | Cepheus      | Pulsation | 3, 5 bis 4, 3                         | 5 8 48          |
| $\eta$ Aql    | Adler        | Pulsation | 3, 5 bis 4, 3                         | 7 4 14          |
| $\zeta$ Gem   | Zwillinge    | Pulsation | 3, 7 bis 4, 2                         | 10 3 37         |
| $\beta$ Lyr   | Leier        | Bedeckung | 3, 4 bis 4, 3                         | 12 22 28        |

Wenn wir Mira am Himmel aufsuchen und den Stern mit dem bloßen Auge nicht wahrnehmen können, hilft das Fernglas. Aber sollten wir unglücklicherweise gerade zum Zeitpunkt des Helligkeitsminimums beobachten, dann ist es sicher schwer, den Stern eindeutig zu identifizieren. In einem solchen Falle sollten wir einige Monate warten. Sicher ergeht es uns dann ähnlich wie dem friesischen Landpastor von 1596: Wir werden erstaunt sein, den »verschundenen« Stern an der gleichen Stelle »wiederzufinden«.

Noch radikaler als bei Mira ist die Helligkeitsänderung bei dem Veränderlichen  $\chi$  Cygni ( $\chi$  im Sternbild Schwan). Seine Periode beträgt 407 Tage, seine Helligkeit schwankt gar um 10 Größenklassen: von 4,2 auf 14,0. Allerdings fällt der Stern auch im Helligkeitsmaximum nicht sonderlich auf.

Viel weniger spektakulär ist die Helligkeitsänderung bei dem schon früher erwähnten Veränderlichen Algol ( $\beta$  Persei). Dieser Bedeckungstern ändert seine scheinbare Helligkeit mit einer Periode von nur 2 d 20 h 49 min zwischen 2,2 und 3,5 Größenklassen. Das kann schon mit dem bloßen Auge wahrgenommen werden. Auch um die Helligkeitsänderungen der in der obenstehenden Tabelle aufgeführten Veränderlichen zu verfolgen, genügt eigentlich das bloße Auge. Das Fernglas ist jedoch eine gute Hilfe.

Bei diesen Sternen werden die Periodenlängen außerordentlich korrekt eingehalten. Man könnte fast die Uhr danach stellen.

### **Haufenweise Sterne**

Zu den schönsten Objekten in dem an hellen Sternen reichen Gebiet des »Wintersechsecks« zählt das »Siebengestirn«. Einst als eigenes Sternbild angesehen, wird es heute als Teil des Sternbildes Stier betrachtet. In der Astronomie ist es unter der Bezeichnung »Plejaden« bekannt – so hießen die sieben Schwestern, die in der griechischen Sage von dem Jäger Orion geliebt wurden, ohne daß er Gegenliebe fand. (Fünf Jahre lang flohen die Plejaden mit ihrer Mutter Pleione vor Orion, bis sich die Götter ihrer erbarmten und sie unter die Sterne aufnahmen.)

der Sonnenmasse wesentlich unterschreitet, können die Energiequellen, die ein Stern besitzen muß, nicht in Gang bringen; bei hundertfacher Sonnenmasse sind die gleichen Energiequellen so stark, daß ihre Strahlung den Stern von innen her zu zersprengen droht.

### **Sternhaufen**

Sternhaufen sind Ansammlungen von Sternen, die gemeinsam entstanden sind und durch Gravitationskräfte zusammengehalten werden. Seit die Astronomen über den Lebensweg der Sterne Bescheid wissen, haben sie die Möglichkeit, das Alter der in einem Sternhaufen vereinigten Sterne zu ermitteln.

Sterne entstehen aus riesigen Gas-Staub-Wolken, deren Gasanteil sich vorwiegend aus Wasserstoff zusammensetzt. Solche Wolken können sich, wenn sie groß genug sind, unter dem Einfluß ihrer eigenen Gravitationskraft zusammenziehen. Dadurch steigt die Dichte, und mit ihr der Druck im Innern der Wolke; und natürlich wächst dadurch die Temperatur stark an. Schließlich, bei etwa 10 000 000 K, verschmelzen im Zentrum der Wolke Atomkerne des Wasserstoffs miteinander – eine Reaktion, wie sie auch in einer Wasserstoffbombe geschieht – nur eben nicht explosiv, sondern »langsam«, allmählich den Wasserstoffvorrat in Helium verwandelnd. (Diesen Vorgang auf der Erde nachzuahmen, mühen



Das Fernglas macht deutlich, daß dieser offene Sternhaufen viel mehr Sterne enthält, als uns das bloße Auge zeigt. Kann man ohne Hilfsmittel, je nach Beobachtungsbedingungen und Sehschärfe, fünf bis neun Sterne sehen, so liefert uns schon ein kleines Fernglas ein Bild des Sternhaufens mit über zwanzig Sternen.

Die Entfernung der Plejaden beträgt 410 Lichtjahre. Das Licht, das von diesen Sternen unsere Augen erreicht, hat die Sternoberflächen verlassen, ehe Fabricius den ersten Veränderlichen entdeckte! Stünde die Sonne mitten in den Plejaden, so könnten wir sie mit einem leistungsfähigen Fernglas gerade noch ausmachen. Sie hätte dann eine scheinbare Helligkeit von  $10^m5$ .

In Wirklichkeit dürften die Plejaden mehr als dreihundert Sterne enthalten, die in einem Raum von etwa dreißig Lichtjahren Durchmesser zusammengedrängt sind. (In einem gleich großen Raum in der Umgebung unserer Sonne befinden sich nur fünfzig Sterne.) Auf langbelichteten Aufnahmen der Plejaden kann man feine Staubschleier sehen, in die die Sterne dieses Sternhaufens eingebettet sind. Dabei handelt es sich ganz offensichtlich um Reste des Materials, aus dem die Plejaden vor rund 50 Millionen Jahren entstanden sind.

Zur Beobachtung von offenen Sternhaufen eignet sich das

*81 Das ist der Komet IRAS-Araki-Alcock. Er wurde an der Volkssternwarte Kirchheim in Thüringen fotografiert. Während der 20minütigen Belichtung bewegte sich der Komet in seiner Bahn ein merkliches Stück weiter; deshalb sind die Sterne zu Strichspuren verzerrt.*

Fernglas vorzüglich. Instrumente mit stärkerer Vergrößerung haben nämlich ein so kleines Gesichtsfeld, daß damit ausge dehntere Sternhaufen gar nicht im Ganzen überschaubar sind. Bild 82 enthält eine Karte der hellsten Sterne dieses Sternhaufens. Die Zahlen geben die Helligkeiten der betreffenden Sterne in Größenklassen an.

Noch zwei weitere bedeutende Sternhaufen zeigt uns das Fernglas am Winterhimmel. Es sind die Hyaden, die ebenfalls zum Sternbild Stier gehören, und die Praesepe (Krippe) im Sternbild Krebs.

Die Hyaden befinden sich unmittelbar neben dem rötlich leuchtenden Hauptstern des Stieres, Aldebaran. Auch hier erschließt sich die Schönheit des Sternhaufens erst im Fernglas, obwohl man das Objekt bereits mit dem bloßen Auge sehen kann. Anders bei der Praesepe: Das bloße Auge sieht hier lediglich einen nebligen Schimmer, und erst mit dem Fernglas löst sich dieser Lichtfleck in einzelne Sterne auf. Von den wahrscheinlich mehr als hundert Mitgliedssternen vermag aber das Fernglas nur einen kleinen Teil zu zeigen; die meisten Praesepe-Sterne sind zu lichtschwach, um in unserem kleinen Instrument sichtbar zu werden. (Übrigens bedeutet die deutsche Übersetzung von Praesepe »Futterkrippe«. Aus der Krippe fressen zwei Eselchen, das nördliche, *Asellus borealis*, ist der Stern Gamma, das südliche, *Asellus australis*, der Stern Delta im Krebs.)

Was wir an der Praesepe feststellten, gilt auch für die anderen offenen Sternhaufen, die wir mit dem Fernglas auflösen können. In allen Fällen kann man – wenn überhaupt – mit dem bloßen Auge nur einen kleinen Nebelfleck sehen; das Fernglas erst macht deutlich, daß es sich um einen Sternhaufen handelt:

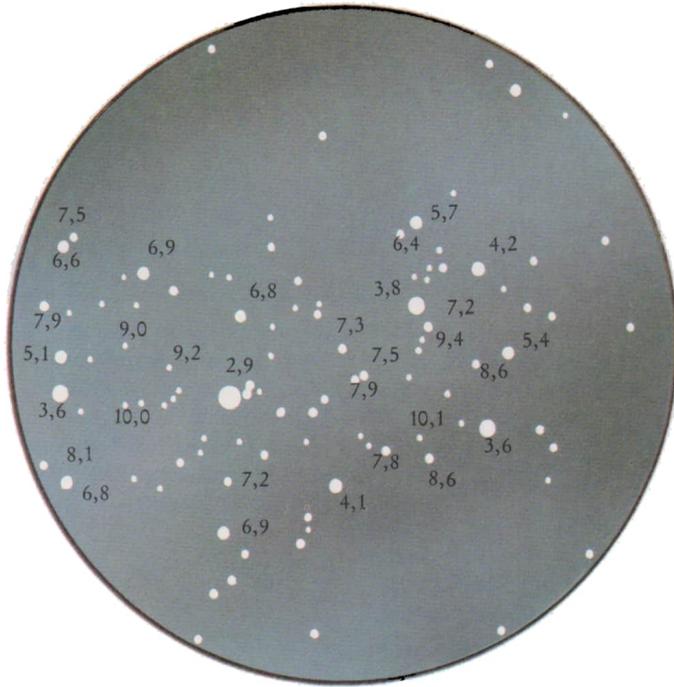
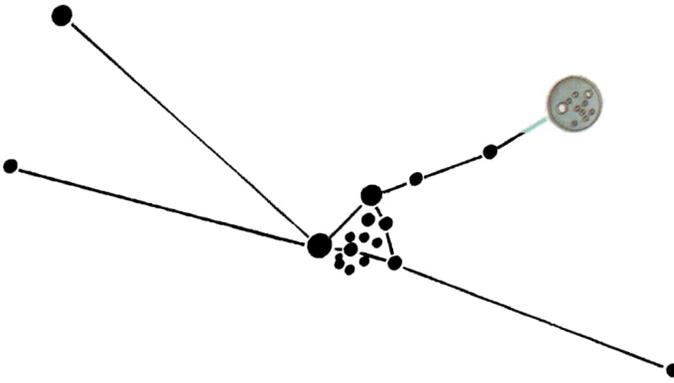
sich die Physiker noch immer vergebens.)

Man sollte nun meinen, daß ein Stern mit wenig Masse nur eine kurze Weile so zu leben hat, ein massereicher sich aber auf viele Milliarden Jahre einrichten kann. Dem ist aber keinesfalls so, im Gegenteil! Die massereichen Sterne »verschleudern« ihren Wasserstoffvorrat um so maßloser, je mehr sie davon bei ihrer Entstehung mitbekommen haben. Sterne von fünffacher Sonnenmasse produzieren nicht etwa nur fünfmal soviel Energie pro Sekunde wie die Sonne, sondern hundertmal soviel; und Sterne von 50 Sonnenmassen leisten es sich sogar, die Energieabstrahlung der Sonne um mehr als das 120 000fache zu übertreffen. Die massereichsten Sterne altern also am schnellsten.

Man erkennt in einem Sternhaufen die massereichsten Sterne an ihrer enormen Energieabstrahlung (genauer: an ihrer enormen Strahlungsleistung) und an ihren hohen Temperaturen. Beides kann aus dem Spektrum des betreffenden Sterns ermittelt werden. Darauf basiert die Altersbestimmung: Sind die massereichsten, heißesten und leuchtkräftigsten Sterne eines

| Katalog-Nr. | Im Sternbild    | Rektaszension                  | Deklination | Scheinbarer Durchmesser | Scheinbare Gesamthelligkeit |
|-------------|-----------------|--------------------------------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| NGC 869     | Perseus         | 2 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> | +57,1°      | 45'                     | 4 <sup>m</sup> ,4           |
| NGC 884     | Perseus         | 2 23                           | +57,1       | 50                      | 4,7                         |
| M 34        | Perseus         | 2 42                           | +42,8       | 25                      | 5,5                         |
| M 36        | Fuhrmann        | 5 35                           | +34,1       | 16                      | 6,5                         |
| M 37        | Fuhrmann        | 5 52                           | +32,6       | 20                      | 6,2                         |
| M 38        | Fuhrmann        | 5 28                           | +35,8       | 25                      | 7,0                         |
| M 35        | Zwillinge       | 6 09                           | +24,3       | 30                      | 5,3                         |
| NGC 2244    | Einhorn         | 6 32                           | + 4,9       | 25                      | 5,2                         |
| M 41        | Großer Hund     | 6 47                           | -20,8       | 30                      | 5,0                         |
| M 47        | Achterdeck      | 7 36                           | -14,5       | 25                      | 4,5                         |
| M 48        | Wasserschlange  | 8 13                           | - 5,8       | 30                      | 5,5                         |
| M 23        | Schütze         | 17 57                          | -19,0       | 25                      | 5,9                         |
| NGC 6633    | Schlangenträger | 18 27                          | + 6,5       | 20                      | 4,9                         |
| M 39        | Schwan          | 21 31                          | +48,4       | 30                      | 5,3                         |

82, 83 Die Plejaden im Sternbild Stier. Alle Sterne dieser Karte sind mit einem guten Fernglas sichtbar.



Das »M« vor der Katalognummer gibt an, daß der Katalog der Sternhaufen und Nebelflecke gemeint ist, den der Franzose Charles Messier zusammengestellt hat.

Dieser Katalog war eine »Notwehr«maßnahme: Messier hatte den Auftrag, den Halleyschen Kometen bei seinem Wiedererscheinen im Jahre 1759 zu beobachten. Bei der Suche nach diesem und anderen Kometen störten ihn die »Nebelsterne«, wie man damals die Sternhaufen und Nebel nannte. Um die immer wieder drohenden Verwechslungen mit dem Kometen auszuschalten, beschloß Messier, einen Katalog solcher »Nebelsterne« aufzustellen. Im Jahre 1771 veröffentlichte er eine erste Liste mit 45 Objekten; zehn Jahre später umfaßte

Sternhaufens noch unverändert vorhanden, dann kann dieser Haufen noch nicht sehr alt sein. Zeigen diese Sterne schon deutliche Erschöpfungserscheinungen – dies läßt sich an einer wesentlichen Verringerung ihrer Temperaturen und an Änderungen ihrer Leuchtkraft nachweisen –, dann handelt es sich um einen älteren Sternhaufen. Sind aber alle massereichen Sterne und auch die Sterne mit mittleren Massen nicht



sein Katalog bereits 100 Sternhaufen und Nebel. Auch die Plejaden (M 45) und die Praesepe (M 44) sind im Messier-Katalog enthalten. Die Buchstaben NGC sind eine Abkürzung für den »Neuen Generalkatalog« der Nebel und Sternhaufen (Dreyer, 1888).

Die bisher beobachteten Sternhaufen werden »offene Sternhaufen« genannt, weil sie relativ locker, »durchsichtige«, aufgebaut sind. An Plejaden, Hyaden und Praesepe wird das besonders deutlich. Gibt es auch andere, »geschlossene« Sternhaufen?

Es gibt sie. Nur nennt man sie nicht so, sondern sie heißen *kugelförmige Sternhaufen*, kurz Kugelhaufen genannt. Diese Ansammlungen von Tausenden oder Millionen von Sternen sind so dicht, daß man ihre inneren Bezirke auch mit den leistungsfähigsten Teleskopen der Gegenwart nicht in Einzelsterne auflösen kann (Bild 85). Das Fernglas kann da natürlich nur eine kleine kugelsymmetrische (daher der Name!) Wolke zeigen:

mehr in ihrem ursprünglichen Zustand, dann muß der Haufen schon ein sehr fortgeschrittenes Alter aufweisen.

Dieses Verfahren ist heute perfekt ausgearbeitet und liefert sehr zuverlässige Werte:

| Sternhaufen     | Alter in Jahren |
|-----------------|-----------------|
| NGC 869 und 884 | 2 Millionen     |
| Plejaden        | 50 Millionen    |
| Hyaden          | 400 Millionen   |
| Praesepe        | 400 Millionen   |
| M 3             | 5 Milliarden    |

| Katalog-Nr. | Im Sternbild | Rektaszension                     | Deklination | Scheinbarer Durchmesser | Scheinbare Gesamthelligkeit |
|-------------|--------------|-----------------------------------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| M 3         | Jagdhunde    | 13 <sup>h</sup> 42 <sup>min</sup> | +28,4°      | 10'                     | 6 <sup>m</sup> 4            |
| M 5         | Schlange     | 15 18                             | + 2,1       | 13                      | 6, 2                        |
| M 13        | Herkules     | 16 41                             | +36,5       | 10                      | 5, 7                        |
| M 92        | Herkules     | 17 17                             | +43,2       | 8                       | 6, 1                        |
| M 15        | Pegasus      | 21 30                             | +12,2       | 7                       | 6, 0                        |
| M 2         | Wassermann   | 21 33                             | - 0,9       | 8                       | 6, 3                        |



84 Auf dieser 35 Minuten lang belichteten Aufnahme der Plejaden sind freilich mehr Sterne zu sehen, als ein Fernglas zeigt. Karlbeinz Müller fotografierte mit einer großen Amateurastrokamera bei exzellenten Beobachtungsbedingungen.

85 Dieses Foto des kugelförmigen Sternhaufens M 13 wurde mit einem Forschungsteleskop geschossen. Es stammt vom 2-m-Teleskop des Karl-Schwarzschild-Observatoriums in Tautenburg bei Jena.

86 (Ausschnitt) Die Amateuraufnahme des gleichen Sternhaufens von Karlbeinz Müller steht der professionellen nur wenig nach. Aufnahmeinstrument war eine Astrokamera mit 1 000 mm Brennweite, die Belichtungszeit betrug 20 Minuten.

Die Liste ist nicht gerade lang, und die scheinbaren Gesamthelligkeiten deuten auf recht lichtschwache Objekte hin. So ist es in der Tat; der einzige mit dem bloßen Auge sichtbare Kugelhaufen ist M 13. Die Kugelhaufen sind die ältesten Mitglieder unseres Sternsystems; der Haufen M 3 existiert seit 7 Milliarden Jahren, ist also 140mal so alt wie die Plejaden! Auf das menschliche Leben umgerechnet: Plejaden und M 3 verhalten sich altersmäßig zueinander wie ein 7 Monate alter Säugling zu einem 80jährigen Greis. Unsere Sonne wäre übrigens in diesem Bilde auch schon stattliche 70 Jahre alt!

## Im Lande der professionellen Jäger

### Lichtwechsel

Als im Jahre 1844 der Bonner Astronomieprofessor Friedrich Wilhelm Argelander in einer öffentlichen »Aufforderung an Freunde der Astronomie« dazu aufrief, die damals bekannten Veränderlichen systematisch zu beobachten und ihren Helligkeitswechsel zu überwachen, wußte noch kein Mensch, daß diese Objekte einmal eine so entscheidende Rolle bei der Aufklärung der Lebenswege der Sterne spielen würden. Für Argelander ging es darum, überhaupt erst herauszufinden, was die Veränderlichen eigentlich sind, und dazu mußte ein umfangreiches Datenmaterial bereitgestellt werden.

Von Argelander und seinen Mitarbeitern Schönfeld und Krüger an der Sternwarte Bonn stammt auch einer der berühmtesten Himmelsatlanten des 19. Jahrhunderts, die »Bonner Durchmusterung«. Darin sind alle Sterne bis zur Grenzhelligkeit 9<sup>m</sup>5 enthalten. Mit bewundernswürdiger Ausdauer ermittelten Argelander und seine beiden Helfer im Verlaufe von 16 Jahren die Koordinaten und die (geschätzten) Helligkeiten von über 300 000 Sternen zwischen dem Himmelsnordpol und  $-2^\circ$  Deklination. Ihr Beobachtungsinstrument hatte mit 76 mm Objektivdurchmesser und 650 mm Objektivbrennweite wahrlich bescheidene Ausmaße. Die meisten Amateurastronomen wären heute mit so einem Fernröhrchen wohl nicht zufrieden.

Schon in seiner »Aufforderung an Freunde der Astronomie« beschrieb Argelander ein einfaches Verfahren, die Helligkeit eines Sterns ohne zusätzliche Instrumente durch Schätzung recht genau zu ermitteln. Dieses Verfahren ist als »Argelander-sche Stufenschätzungsmethode« in die Literatur und in die astronomische Praxis eingegangen. Es hat sich so gut bewährt, daß es noch heute, fast 150 Jahre später, von Amateurastronomen und gelegentlich auch von professionellen Vertretern der Astronomie benutzt wird. Geübte Beobachter erreichen damit

Die kugelförmigen Sternhaufen sind durchweg sehr alt; die ältesten von ihnen existieren seit 10 bis 12 Mrd. Jahren. So alt dürfte auch unser Sternsystem sein, zu dem der Stern Sonne mit seinen Planeten gehört.

### Veränderliche Sterne

Die Beobachtung Veränderlicher Sterne, die Auswertung dieser Beobachtungen und die theoretische Verarbeitung der Ergebnisse gehören zu den wichtigsten Arbeitsgebieten der modernen Astrophysik. Eine Vielzahl von Erscheinungen verbirgt sich hinter der so einfach zu beobachtenden Helligkeitsänderung. Da gibt es pulsierende Sterne, sich gegenseitig bedeckende Doppelsterne, Sterne mit rotierenden Gas- und Staubhüllen, Doppelsterne mit Masseströmen von einem zum anderen Stern, extrem junge und sehr alte Sterne in instabilen Entwicklungsphasen, elliptische Sterne, die bei ihrer Rotation dem Beobachter abwechselnd die »Breitseite« und die »Schmalseite« zuwenden, und vieles andere mehr.

Die sensationellsten Objekte unter den Veränderlichen sind die Novae und die anderen eruptiven Sterne. Wie dieser Name sagt, werden ihre Helligkeitsänderungen vorwiegend durch Materieauswürfe bewirkt.

Eine Nova ist ein durch einen explosionsartigen Vorgang im Vergleich zum vorhergehenden Zustand sehr hell gewordener Stern. Die Helligkeit kann in wenigen Stunden oder Tagen um mehr als

bei der Angabe der scheinbaren Helligkeit eines Sterns eine Genauigkeit von 0,1 Größenklassen.

Die Veränderlichenbeobachtung mit dem Fernglas ist eines der Arbeitsgebiete, auf denen der Amateurastronom wirklich Teilaufgaben der Forschung übernehmen kann. Beharrlichkeit, Ausdauer und Präzision sind freilich erforderlich, bis man zum ersten Male die selbsterarbeiteten Zahlenreihen und den eigenen Namen in den Veröffentlichungen einer Volkssternwarte oder eines Arbeitskreises gedruckt sieht.

Solche Beobachtungen führen wir mit der Argeländerschen Stufenschätzungsmethode durch. Der Veränderliche wird aufgesucht – dafür gibt es kleine Aufsuchungskarten, das sind Ausschnitte aus großen Sternatlanten –, und seine Helligkeit wird mit der Helligkeit zweier benachbarter Sterne verglichen. Einer der Vergleichssterne soll heller, einer schwächer sein als der Veränderliche. Beide Vergleichssterne sollen gleichzeitig mit dem Veränderlichen im Gesichtsfeld stehen, eine Forderung, die sich mit dem Fernglas und seinem großen Gesichtsfeld Durchmesser leicht erfüllen läßt. Die zu vergleichenden Sterne sollen aber keinesfalls gleichzeitig, sondern nacheinander, jeder für sich, ins Auge gefaßt werden.

Lassen wir Argeländer selbst sprechen:

»Erscheinen mir beide Sterne immer gleich hell, oder möchte ich bald den einen, bald den anderen ein wenig heller schätzen, so nenne ich sie beide gleich hell.«

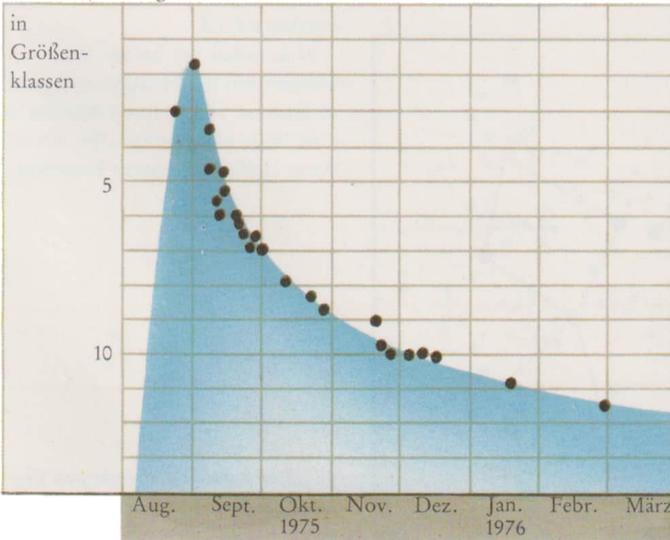
Der Helligkeitsunterschied zwischen beiden Sternen, die wir  $a$  und  $v$  nennen ( $v$  ist der Veränderliche,  $a$  der betrachtete Vergleichssterne), beträgt  $0$  Stufen. Wir schreiben  $a0v$  oder  $0va$ .

16 Größenklassen ansteigen. (Wir verstehen heute, weshalb unsere Vorfahren glaubten, da sei ein neuer Stern – lateinisch: nova stella; kurz: Nova – entstanden! Vor seinem Ausbruch ist ein derartiger Stern ja so lichtschwach, daß man ihn mit dem bloßen Auge gar nicht sehen kann.) Im Verlaufe von Monaten nimmt die Helligkeit der Nova dann allmählich wieder ab (Bild 87).

Nova-Ausbrüche sind auch schon von Freizeitastronomen entdeckt worden! Gerade bei diesen relativ seltenen Ereignissen ist ein dichtes Netz von Amateurbeobachtern zur Verfolgung der Helligkeitsänderungen den Beobachtungen an den wissenschaftlichen Sternwarten fast ebenbürtig. Durch die Vielzahl und die territoriale Verteilung der Amateure können Lücken in den Beobachtungsreihen, die durch schlechtes Wetter in einem Landesteil entstehen, andernorts ausgeglichen werden.

Wie wertet man seine Helligkeitsschätzungen aus? Wir greifen die Beobachtungen von Seite 103

scheinbare Helligkeit



87 Eine der bemerkenswertesten Nova-Erscheinungen der letzten Jahrzehnte: die Nova Cygni, die 1975 im Sternbild Schwan sichtbar wurde. Ihre Helligkeitskurve zeigt das typische plötzliche Aufflammen und den ganz allmählichen Abstieg in die Unsichtbarkeit.

»Kommen mir auf den ersten Blick zwar beide Sterne gleich hell vor, erkenne ich aber bei aufmerksamer Betrachtung und wiederholtem Übergange von a zu v und v zu a entweder immer oder doch nur mit sehr seltenen Ausnahmen a für eben bemerkbar heller, so nenne ich a um *eine Stufe heller*, als v und bezeichne dies durch a 1 v.«

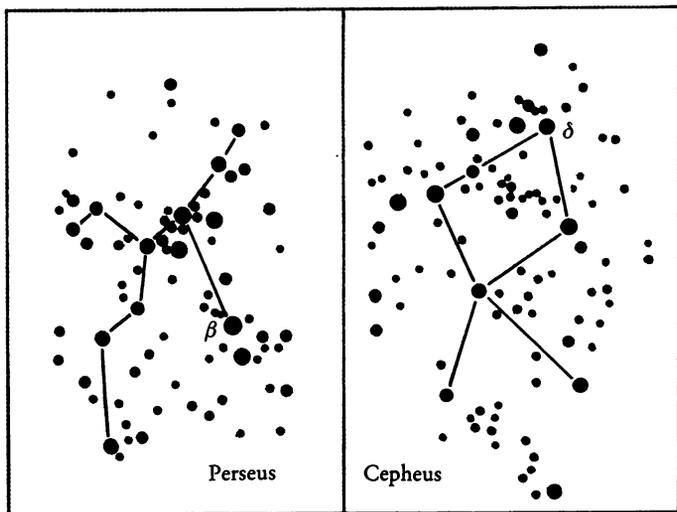
Der hellere Stern soll vor, der schwächere hinter der Zahl stehen.

»Erscheint der eine Stern stets und unzweifelhaft heller als der andere, so wird dieser Unterschied für *zwei Stufen* angenommen und durch a 2 v bezeichnet, wenn a, hingegen v 2 a, wenn der Veränderliche v der hellere ist.

Eine auf den ersten Blick ins Auge fallende Verschiedenheit gilt für *drei Stufen* und wird durch a 3 v oder v 3 a bezeichnet. Endlich bedeutet a 4 v eine noch auffallendere Verschiedenheit zugunsten von a.«

Die Genauigkeit der Methode läßt stark nach, wenn fünf oder noch mehr Stufen geschätzt werden. Die Vergleichssterne müssen deshalb so ausgewählt werden, daß sich ihre Helligkeiten nur wenig von der Helligkeit des Veränderlichen unterscheiden. Auch große Farbunterschiede zwischen den zu vergleichenden Sternen sind der Genauigkeit abträglich. Wegen der atmosphärischen Extinktion sollte keiner der betrachteten Sterne weniger als 30° über dem Horizont stehen. Wenn Dämmerung, Mondschein oder künstliches Licht stören, beobachtet man lieber nicht, ebenso bei hoher, dünner Bewölkung, durch die die Sterne noch hindurchschimmern.

Vor Beginn jeder Beobachtung ist eine Anpassungszeit von 5 bis 10 Minuten erforderlich, damit sich die Augen an die Dunkelheit gewöhnen und wir somit ohne Beeinträchtigung beobachten können.



auf und stellen zunächst fest, um wie viele Stufen sich die Vergleichssterne voneinander unterscheiden:

Oktober 10 a 4 b  
 11 a 4 b  
 15 a 2 b

17 a 5 b.

(Daß das nicht sehr genau ist, wird auf S. 106 kritisiert. Trotzdem wollen wir mit diesen Werten weiterrechnen.) Wir bilden den Mittelwert der Stufenzahlen, also das arithmetische Mittel, aus 4; 4; 2 und 5:

$$\frac{4 + 4 + 2 + 5}{4} = 3,75.$$

Folglich schreiben wir nun: a 3,75 b.

Weiter:

Oktober 18 b 5 c  
 20 b 4 c  
 28 b 3 c  
 31 b 4 c;

das arithmetische Mittel dieser vier Schätzungen ist

$$\frac{5 + 4 + 3 + 4}{4} = 4.$$

Daraus folgt b 4 c. Ebenso ergibt sich aus den Messungen im November c 4,5 d.

Nun erhält der hellste Vergleichssterne die Helligkeitsangabe »0 Stufen«, alle anderen werden in eine Skala eingeordnet, die wir auf diese Helligkeitsangabe beziehen:

88 Die Sternbilder Perseus und Cepheus mit zwei berühmten Veränderlichen

Nehmen wir an, wir hätten zwei Sterne a und b mit unserem Veränderlichen verglichen. Das sind die Ergebnisse:

| Datum      | Schätzungen | Datum      | Schätzungen |
|------------|-------------|------------|-------------|
| Oktober 10 | a 1 v v 3 b | Oktober 15 | a 2 v v 0 b |
| 11         | a 2 v v 2 b | 17         | a 5 v v 0 b |

Offenbar hat die Helligkeit des Veränderlichen stetig abgenommen. Der Unterschied zwischen a und v ist so groß geworden, daß wir a nicht mehr als Vergleichssterne verwenden können. Wir brauchen also einen dritten Vergleichssterne c, der einige Stufen schwächer ist als b. Nun geht es weiter; dabei vereinfachen wir unsere Schreibweise: Statt a 5 v v 0 b schreiben wir a 5 v 0 b.

| Datum  | Schätzungen | Datum       | Schätzungen |
|--|-------------|-------------|-------------|
| Oktober 18                                     | b 2 v 3 c   | Oktober 28  | b 3 v 0 c   |
| 20   | b 1 v 3 c   | 31          | b 3 v 1 c   |
| und weiter mit einem vierten Vergleichssterne: |             |             |             |
| November 1                                     | c 0 v 4 d   | November 16 | c 3 v 2 d   |
| 13   | c 2 v 2 d   | 26          | c 4 v 1 d   |

Diese Beobachtungen müssen in Abständen, die der Geschwindigkeit der Helligkeitsänderung angemessen sind, über einige Zeit hinweg fortgesetzt werden. Das wird leicht möglich sein, denn so eine Schätzung ist schnell erledigt (am Anfang dauert das Aufsuchen weit länger als die eigentliche Beobachtung) und läßt sich sozusagen »nebenbei« an jedem klaren Abend durchführen. Wir müssen uns nur fest vornehmen, diese Arbeit nicht zu vernachlässigen.

Zwei ganz leicht beobachtbare Veränderliche geben Gelegenheit zum Üben: der schon bekannte »Teufelsstern« Algol ( $\beta$  Per) und der pulsierende Stern Delta im Sternbild Cepheus ( $\delta$  Cep). Bild 88 hilft beim Auffinden und zeigt gleichzeitig genügend Vergleichssterne.

Die folgende Tabelle enthält Veränderliche, die sich für eine Beobachtung mit dem Fernglas gut eignen. Für einige dieser Sterne sind in den Bildern 89–91 Aufsuchungskarten enthalten. Der äußere Kreis entspricht jeweils einem Gesichtsfeld-durchmesser von  $8,5^\circ$ , der innere grenzt ein Feld von  $4,6^\circ$  Durchmesser ein, wie es viele stark vergrößernde Ferngläser aufweisen. Der äußere Teil jeder Karte verdeutlicht die Lage des Veränderlichen in dem betreffenden Sternbild. Die Bilder 89 und 90 sind so orientiert, daß Norden oben ist, im Bild 91 ist Norden rechts. Das muß besonders beachtet werden, wenn die Bilder bei einer Beobachtung am astronomischen (umkehrenden) Fernrohr zu Rate gezogen werden sollten.

| Stern | Mittlerer Helligkeitsunterschied | Absolute Stufenskala |
|-------|----------------------------------|----------------------|
| a     | 3,75                             | 0,00                 |
| b     | 4,00                             | 3,75                 |
| c     | 4,50                             | 7,75                 |
| d     |                                  | 12,25                |

Dabei ist die »absolute Stufenskala« nicht etwa in Größenklassen geeicht! Aber das ist auch gar nicht erforderlich. Um die Helligkeitskurve des Veränderlichen zu erhalten, genügt unsere individuelle Stufenskala.

In diese Skala können wir nun alle Schätzungen einordnen, indem wir angeben, um wieviel Stufen der Veränderliche jeweils schwächer war als der hellste Vergleichssterne. Dabei beziehen wir uns auf die schon errechneten mittleren Helligkeitsunterschiede zwischen den Vergleichssterne.

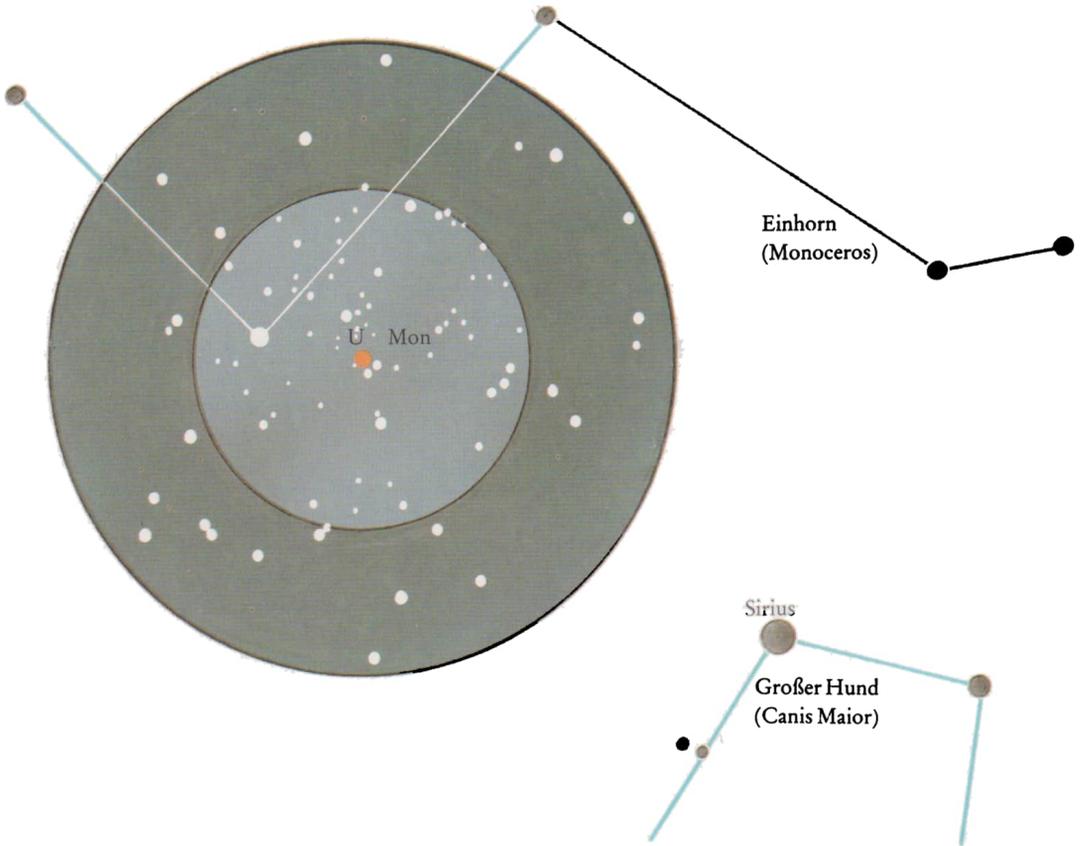
Nehmen wir als Beispiel die Schätzung vom 10. Oktober. Sie lautete a 1 v 3 b. Nun beträgt aber der mittlere Helligkeitsunterschied zwischen a und b, wie wir eben errechnet haben, 3,75 Stufen. Mit diesem Wert berechnen wir die Differenz u zwischen a und v neu:

$$u = 1 \cdot \frac{3,75}{1 + 3} = 0,94;$$

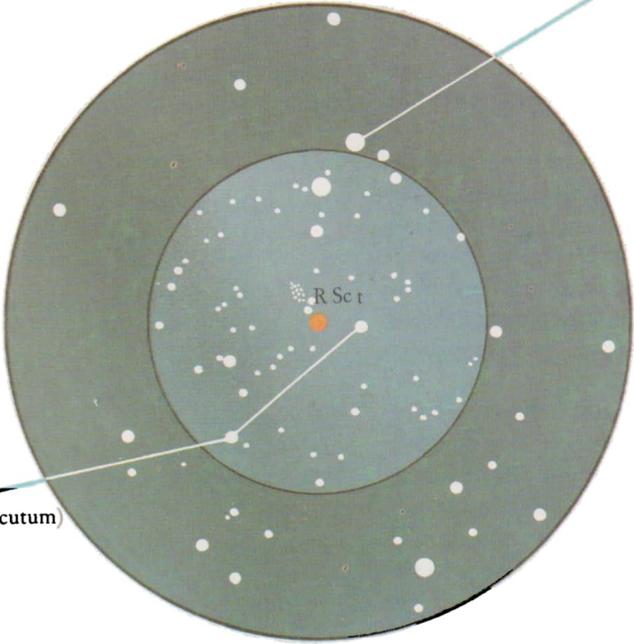
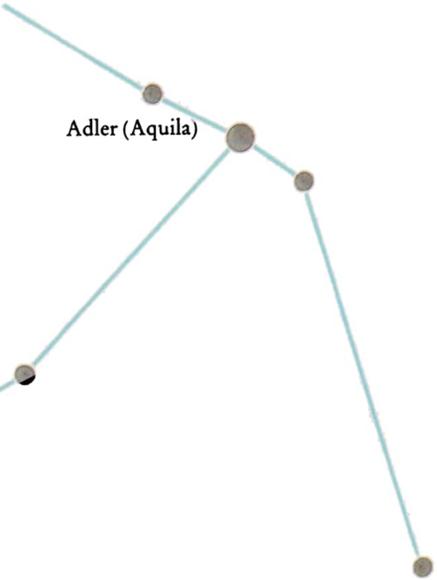
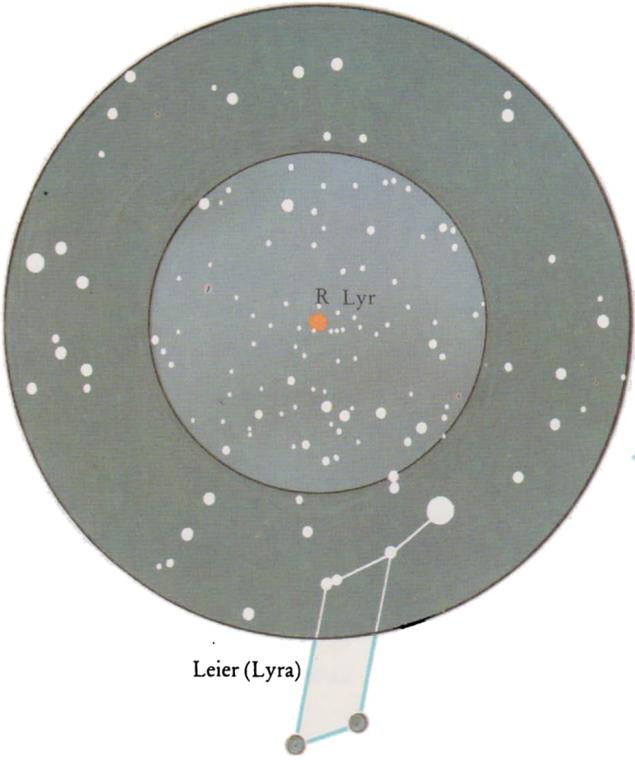
also gilt als wahrscheinlichster Wert: a 0,94 b. Die benötigte Formel lautet:

$$u = s \cdot \frac{m}{s + t};$$

- u gesuchte (rechnerische) Helligkeitsdifferenz zwischen a und v
- s geschätzte Stufenzahl zwischen a und v
- t geschätzte Stufenzahl zwischen v und b
- m berechneter mittlerer Helligkeitsunterschied zwischen a und b.



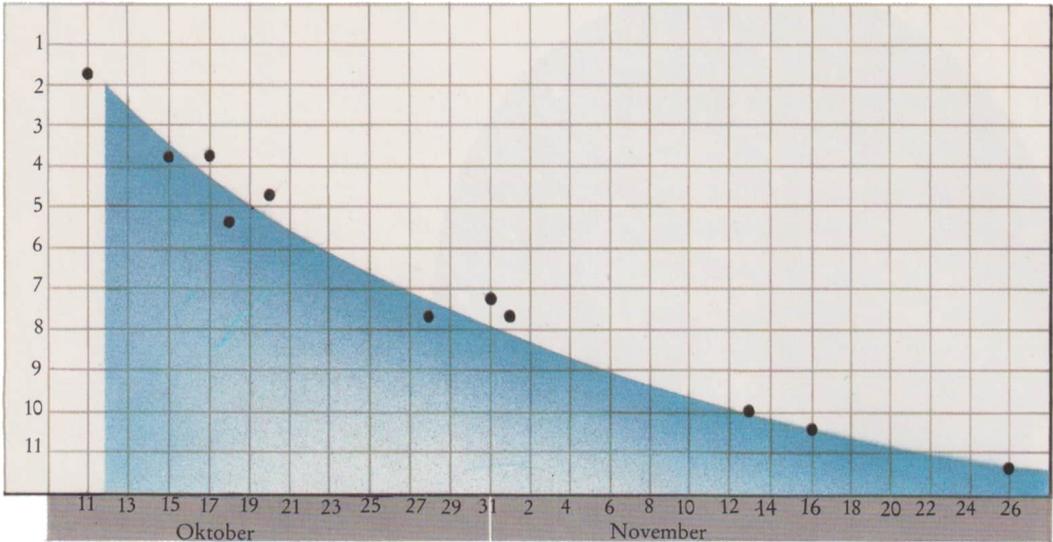
| Stern  | Im Sternbild    | Rektaszension                    | Deklination | Scheinbare Helligkeit |                  | Periode          |
|--------|-----------------|----------------------------------|-------------|-----------------------|------------------|------------------|
|        |                 |                                  |             | Max.                  | Min.             |                  |
| ϑ Per  | Perseus         | 3 <sup>h</sup> 05 <sup>min</sup> | +38,8°      | 3 <sup>m</sup> 2      | 3 <sup>m</sup> 8 | unregelmäßig     |
| λ Tau  | Stier           | 4 00                             | +12,4       | 3, 3                  | 4, 2             | 3 d 22 h 52 min  |
| α Ori  | Orion           | 5 54                             | + 7,4       | 0, 4                  | 1, 3             | unregelmäßig     |
| η Gem  | Zwillinge       | 6 15                             | +22,5       | 3, 3                  | 3, 9             | 233 d            |
| T Mon  | Einhorn         | 6 25                             | + 7,1       | 5, 8                  | 6, 8             | 27 d 0 h 29 min  |
| RT Aur | Fuhrmann        | 6 28                             | +30,5       | 5, 1                  | 5, 8             | 3 d 17 h 28 min  |
| ζ Gem  | Zwillinge       | 7 04                             | +20,5       | 3, 7                  | 4, 2             | 10 d 3 h 37 min  |
| U Mon  | Einhorn         | 7 30                             | - 9,8       | 5, 7                  | 7, 4             | 92 d 7 h         |
| δ Lib  | Waage           | 15 00                            | - 8,5       | 4, 9                  | 6, 0             | 2 d 7 h 51 min   |
| U Oph  | Schlangenträger | 17 16                            | + 1,2       | 5, 9                  | 6, 6             | 1 d 16 h 15 min  |
| 68 Her | Herkules        | 17 17                            | +33,2       | 4, 8                  | 5, 4             | 2 d 1 h 13 min   |
| R Sct  | Schild          | 18 47                            | - 5,8       | 5, 0                  | 8, 4             | 140 d            |
| β Lyr  | Leier           | 18 50                            | +33,4       | 3, 4                  | 4, 3             | 12 d 22 h 28 min |
| R Lyr  | Leier           | 18 55                            | +44,0       | 4, 0                  | 5, 0             | unregelmäßig     |
| η Aql  | Adler           | 19 52                            | + 1,0       | 3, 5                  | 4, 3             | 7 d 4 h 24 min   |
| T Vul  | Füchslain       | 20 51                            | +28,3       | 5, 9                  | 6, 8             | 4 d 10 h 27 min  |
| μ Cep  | Cepheus         | 21 43                            | +58,7       | 3, 6                  | 5, 1             | unregelmäßig     |
| ϑ Cas  | Kassiopeia      | 23 54                            | +57,5       | 4, 1                  | 6, 2             | unregelmäßig     |



Schild (Scutum)

- 89 *Der Veränderliche U Monocerotis*
- 90 *Der Veränderliche R Lyrae*
- 91 *Der Veränderliche R Scuti*

Stufen



Gute, d. h. in erster Linie zuverlässige Helligkeitsschätzungen bestimmter Veränderlicher sind den Forschungssternwarten hochwillkommen. Wir können hier echte wissenschaftliche Arbeit, Zuarbeit für große Forschungsvorhaben, leisten, weil es den professionellen Astronomen in Anbetracht der Vielzahl der Veränderlichen aus Zeitgründen gar nicht möglich ist, alle derartigen Objekte ständig zu überwachen. Aber: Ohne viel Übung ist da nichts zu erreichen! Wer wissenschaftlich verwertbare Ergebnisse zuwege bringen will, möchte schon vorher ein halbes oder auch – je nach Arbeitsintensität – ein ganzes Jahr fleißig geübt und seine Schätzwerte mit denen erfahrener Amateurastronomen verglichen haben.

Eine ganz gefährliche Fehlerquelle bei astronomischen Beobachtungen – nicht nur bei Helligkeitsschätzungen an Veränderlichen Sternen – ist die Voreingenommenheit! Wer von »seinem« Veränderlichen erwartet, daß die Helligkeit einen bestimmten Verlauf nimmt, kann sich dadurch ganz unbewußt in seiner Schätzung beeinflussen lassen. Am besten, man erinnert sich »absichtlich« gar nicht an die Ergebnisse der vergangenen Schätzungen!

Die zunehmende Übung im Schätzen wird sich bei der Auswertung der Beobachtungen bemerkbar machen. Der Beobachter in unserem eingangs genannten Beispiel war ein Anfänger; das erkennen wir an den Beobachtungen in der Woche vom 10. bis zum 17. Oktober: Am 10. Oktober schätzte er a 1 v 3 b oder kürzer: a 1 v 3 b. Addieren wir beide Stufenzahlen, so finden wir, daß der Helligkeitsunterschied zwischen a und b vier Stufen beträgt. Man schreibt: a 4 b. Nun aber:

92 *Das ist die bearbeitete Helligkeitskurve aus unserem Beispiel.*

Jede einzelne Schätzung muß in dieser Weise aufbereitet werden; der Taschenrechner erledigt das problemlos. Zur Probe mögen hier die Resultate für unsere Beispielbeobachtung stehen:

|            |          |
|------------|----------|
| Oktober 11 | a 1,88 v |
| 15         | a 3,75 v |
| 17         | a 3,75 v |
| 18         | b 1,6 v  |
| 20         | b 1,0 v  |
| 28         | b 4,0 v  |
| 31         | b 3,0 v. |

Aber wir wissen ja schon, daß b um 3,75 Stufen schwächer ist als a. Da können wir unsere Resultate auch gleich auf a beziehen:

|            |           |
|------------|-----------|
| Oktober 18 | a 5,35 v  |
| 20         | a 4,75 v  |
| 28         | a 7,75 v  |
| 31         | a 6,75 v. |

Oktober 11 a 2 v 2 b, folglich a 4 b  
 15 a 2 v 0 b a 2 b  
 17 a 5 v 0 b a 5 b.

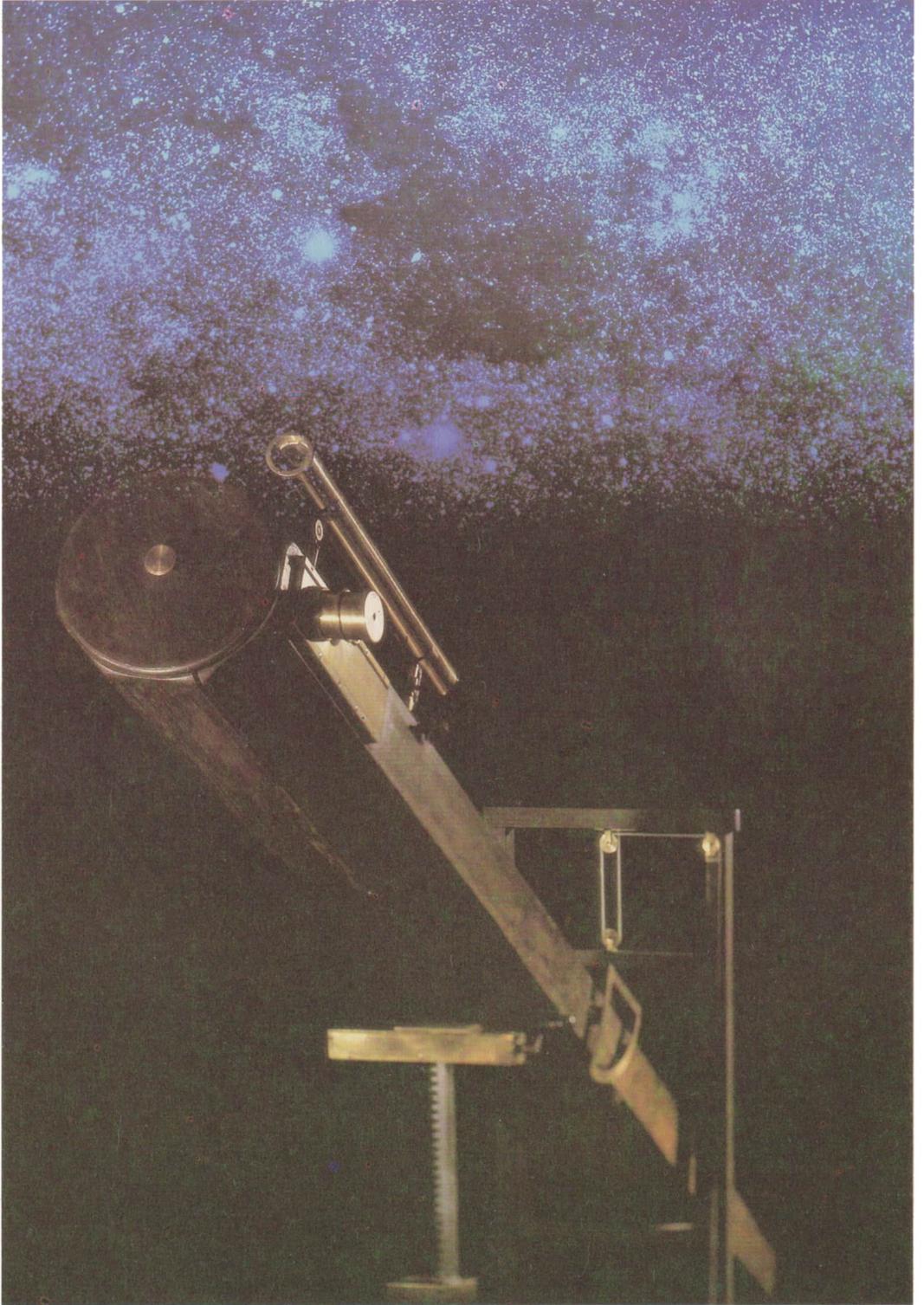
Demnach müßte sich ja der Helligkeitsunterschied zwischen a und b geändert haben. (Das kann tatsächlich vorkommen, wenn einer von beiden zufällig auch ein Veränderlicher ist. Aber das wäre ein unglücklicher Zufall!) Vermutlich hat unser Anfänger nur noch nicht genügend Übung im Schätzen. Die Praxis bringt es mit sich, daß im Laufe der Zeit die »Stufe« eine für einen bestimmten Beobachter recht konstante Größe wird.

Wer so weit gekommen ist und lohnende Beobachtungsaufträge sucht, wendet sich mit seinem Anliegen am besten an die nächste Volkssternwarte. Dort erhält er Auskunft und Material. Die Sternwarten freuen sich über jeden neuen Veränderlichen-Beobachter.

Für die letzten vier Schätzungen erhalten wir:

November  
 1 c 0,00 v oder a 7,75 v  
 13 c 2,25 v a 10,00 v  
 16 c 2,70 v a 10,45 v  
 26 c 3,60 v a 11,35 v.

Haben wir alle Beobachtungen in dieser Weise auf a reduziert, dann können wir die Ergebnisse graphisch darstellen (Bild 92) und, wenn wir ein wenig Glück haben, auch daraus bereits ablesen, ob unser Veränderlicher einen periodischen Lichtwechsel hat oder nicht.



# Kapitel 4 Mit dem Fernrohr zur Unendlichkeit

|                                 |     |                              |
|---------------------------------|-----|------------------------------|
|                                 | 110 | Linsen und Spiegel           |
| Das Selbstbau-Fernrohr          | 111 |                              |
| Die Montierung                  | 115 | Montierungen                 |
| Fernrohr im Examen              | 118 |                              |
|                                 | 119 | Vergrößerung                 |
| Der erste Blick                 | 120 |                              |
| Das Sonnenkino                  | 122 | Helligkeitsgewinn            |
| Die Qual der Wahl               | 123 | Fernrohre damals             |
| Okulare                         | 126 | Fernrohre heute              |
| Komfort                         | 127 | Fernrohre der Zukunft        |
| Unser Stern                     | 129 | Unser Stern                  |
| Immer wieder der Mond           | 135 | Mehr über die Mondoberfläche |
| Mit der Erde verwandt: Planeten | 137 | Die Geschwister der Erde     |
| Aufbruch zum Rand des Alls      | 148 | Reise durch Raum und Zeit    |
| Dreimal Astrofotografie         | 159 |                              |
| Die Astrokamera                 | 160 |                              |
|                                 | 162 | Die Auswertung der Aufnahmen |
| Im Brennpunkt                   | 165 |                              |
| Die Planetenkamera              | 166 |                              |
| Fototips                        | 169 | Präzession                   |
|                                 | 170 | Zurück zum Zeitmaß           |

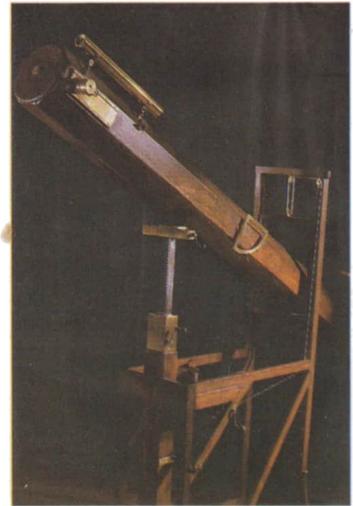
## Baupläne für das Prunkstück

Irgendwann ist es soweit: Das Fernglas genügt nicht mehr. Der Freizeitastronom, der sich in den Dienst der Urania, der Schutzgöttin der Sternkunde, begeben hat, wird von dem Wunsch nach einem leistungsfähigeren Instrument so lange geplagt, bis er nachgibt.

Dieses Nachgeben fängt mit Nachdenken an. Es gibt Fernrohre von 5 cm Objektivöffnung bis hin zu Spiegelteleskopen von 4, 5 oder gar 6 m Durchmesser. Wie groß darf unser künftiges Fernrohr denn sein?

Da müssen wir uns zunächst fragen lassen, wieviel Geld wir aufwenden wollen oder können. Der Preis eines industriell gefertigten Fernrohrs hängt hauptsächlich von seiner Objektivöffnung ab. Ausmaße und Qualität der Optik sind aber nicht allein entscheidend. Je mächtiger das Instrument ist, desto massiver muß auch die Montierung sein, auf der wir es aufstellen. Ein Fernrohr von 80 mm Objektivöffnung und über 1 m Tubuslänge kann man nicht auf einem Fotostativ aufstellen; ein solches Instrument kann seine optische Leistungsfähigkeit nur entfalten, wenn es auf einer massiven Säule montiert wird. Wir brauchen also für ein so großes Instrument einen ständigen Aufstellungsort, an dem es, vor unbefugtem Zugriff geschützt, stehenbleiben kann. Schwere Montierungen sind aber – wegen der hohen Anforderungen an die Präzision der Achsen – ziemlich kostspielig. So kommt es, daß schon für Instrumente zwischen 5 und 10 cm Öffnung vierstellige Summen gezahlt werden müssen.

Ganz anders sieht die Sache aus, wenn wir uns ein solches Instrument selber bauen wollen. Da läßt sich enorm sparen. Das einzige, was wir als Fertigteil kaufen müssen, ist die Optik. Industriell gefertigte Fernrohroptiken werden zu akzeptablen Preisen gehandelt. Ein großer Vorteil für den Bastler ist,



### Linsen und Spiegel

Wir bauen ein Linsenfernrohr. Sammellinsen werden ein Bild des fernen Gestirns entwerfen, und ein Sammellinsensystem benutzen wir dann als Lupe, um dieses Bild aus der Nähe zu betrachten. Jedoch ist dies nicht die einzige Möglichkeit, ferne Dinge »nahe zu sehen«. In der astronomischen Forschung ist ein anderer Fernrohrtyp viel häufiger anzutreffen: das Spiegelfernrohr.

Bild 95 macht die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede der beiden Fernrohrtypen deutlich. Beim Linsenfernrohr entwirft eine Sammellinse das Zwischenbild, beim Spiegelfernrohr wird diese Aufgabe von einem Hohlspiegel übernommen. Um mit Auge und Okular an das Zwischenbild heranzukommen, muß im letzteren Falle ein Ablenkspiegel in den Strahlengang eingeschaltet werden. Er ist in Wirklichkeit viel kleiner als in unserer schematischen Zeichnung, so daß er die einfallende Strahlung praktisch nicht beeinträchtigt. Außerdem befindet er sich so nahe am Hauptspiegel, daß er (und seine Halterung) weder scharf noch ver-



93 *Friedrich Wilhelm Herschels Teleskop aus dem Jahre 1793 (im Mathematisch-Physikalischen Salon des Dresdner Zwingers)*

94 *So sieht ein Amateurfernrohr unserer Tage aus.*

daß er dabei nicht nur einzelne Linsen oder Spiegel erhält, sondern das fertig gefaßte System, so daß er nur diese komplette Fassung in sein Selbstbaufernrohr einzupassen braucht. Aber selbst ein Teleskopspiegel läßt sich von Hand schleifen. Man frage in einer Volkssternwarte um Rat!

Nun wird sicher die Qualität eines selbstgebauten Fernrohrs (optisch, und auch im Hinblick auf die Montierung) nicht an die eines industriell gefertigten Hochleistungsinstruments heranreichen. Aber bei exaktem Bau und zweckmäßiger Aufstellung kann ein Selbstbaufernrohr durchaus vergleichbare Leistungen bringen und seinem Besitzer viel Freude bereiten.

### Das Selbstbaufernrohr

Wir wollen uns ein kleines Fernrohr bauen. Es soll nicht zu viel kosten, leicht transportiert werden können und mit wenigen Handgriffen beobachtungsbereit sein. Wir benötigen dazu

- ein Objektiv,
- ein Okular,
- zwei geeignete Rohre aus Pappe, Hartgewebe oder Plast.

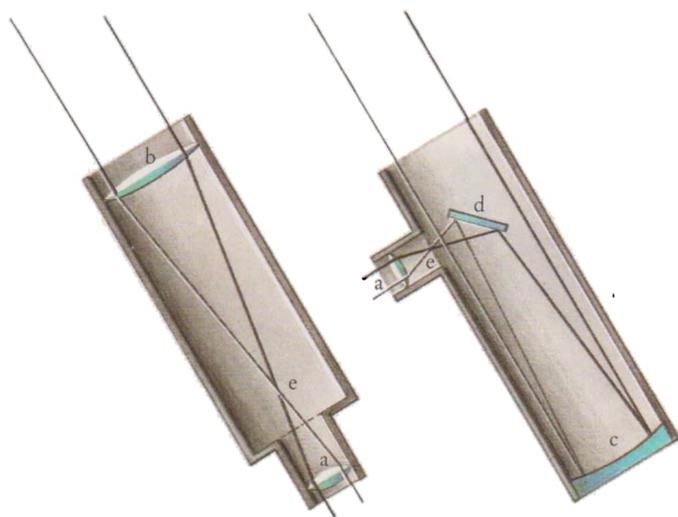
Das *Objektiv* ist das kostspieligste Bauteil. Wir besorgen uns ein Fernrohrobjektiv in Fassung; der Durchmesser soll zwischen 50 und 100 mm liegen, die Brennweite tunlichst zwischen 500 und 1200 mm. (Größere Brennweiten erfordern unhandlich lange Rohre. Immerhin – auch ein Fernrohr von 1,5 m Länge kann man selbst bauen, nur braucht es schon ein sehr stabiles Stativ, und es läßt sich nicht bequem transportieren.)

Das *Okular* kann im einfachsten Falle eine Sammellinse, z. B.

schwommen im Bild erscheinen. Er ist so extrem unscharf, daß man ihn gar nicht sieht.

Spiegelfernrohre haben vor Linsenfernrohren den großen Vorteil, daß sie absolut farbtreue Bilder liefern. Jede Linse besitzt nämlich einen kleinen Farbenfehler, der sich im Fernrohrbild in Gestalt eines bunten Saumes um jedes helle Objekt bemerkbar macht. Gute Objektive sind deshalb Kombinationen aus zwei oder drei Linsen, mit denen dieser Farbenfehler weitgehend unterdrückt wird. Vollkommen zu beseitigen ist er nicht. Der Nachteil des Spiegelfernrohrs liegt vor allem in seiner Temperaturempfindlichkeit. Bringt man in einer kalten Winternacht so ein Instrument zur Beobachtung ins Freie, dann ziehen sich die einzelnen Bauteile in der Kälte zusammen, die sich abkühlende Luft in dem vorn offenen Rohr bildet Schlieren, und bis dieser Prozeß abgeklungen ist, macht ein Blick ins Okular keine Freude. Die allseitig geschlossenen Linsenfernrohre sind da viel weniger empfindlich.

Die offene Bauweise der Spiegelfernrohre hat auch zur Folge, daß die Reflexionsfähigkeit der



aus einer Lupe, sein. Wenn wir wählen können, nehmen wir die Linse mit der kleinstmöglichen Brennweite. Mehr als 4 cm sollte sie nicht betragen, denn die Vergrößerung unseres zukünftigen Fernrohrs ergibt sich aus der Formel

$$\text{Vergrößerung} = \frac{\text{Objektivbrennweite}}{\text{Okularbrennweite}}$$

Ein Objektiv mit 1 m (= 1000 mm) und ein Okular mit 2 cm (= 20 mm) Brennweite ergeben also ein Fernrohr mit  $\frac{1000 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} = 50$ facher Vergrößerung. Je stärker wir vergrößern, desto lichtschwächer wird das Bild, und desto schwieriger wird es, ein bestimmtes Objekt mit dem Fernrohr aufzufinden und scharf einzustellen und im Sehfeld zu behalten. Wer noch nicht viel Übung hat, darf die Vergrößerung nicht zu hoch wählen; 30- bis 50fach (je nach Objektivdurchmesser) sollte für den Anfang die Obergrenze sein.

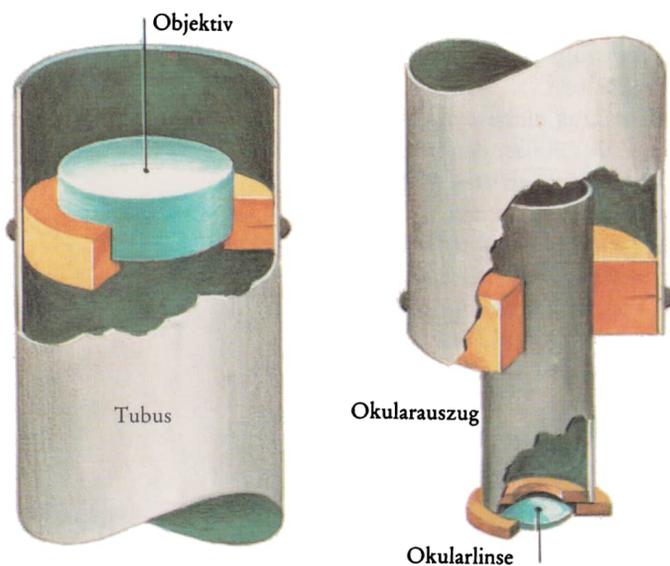
Lupen ergeben keine sehr guten Bilder und haben den Nachteil, daß man sie zur Verwendung als Fernrohrkulare erst in eine Fassung einbauen muß. Es ist bequemer, allerdings auch teurer, wenn man ein Mikroskopokular benutzt oder sich ein fertiges Fernrohrkular kauft.

Den *Tubus* unseres Fernrohrs können wir gut aus einer einfachen Papprohre passenden Durchmessers herstellen. Er muß mindestens so lang sein wie die Brennweite des Objektivs, besser noch 10 cm länger. Auch Plastrohre lassen sich verwenden; von Metallrohren sehen wir des höheren Gewichts wegen lieber ab (mit dem Gewicht steigen die Anforderungen an die Stabilität der Montierung). Die Innenwand des Rohrs färben wir zur Vermeidung störender Lichtreflexe mattschwarz. Dazu

Spiegel infolge von Staubteilchen und Säuretröpfchen, die fein verteilt in der Luft schweben und sich auf den Spiegelflächen ablagern, im Laufe der Zeit beeinträchtigt wird. In regelmäßigen Abständen müssen daher die reflektierenden Flächen gereinigt und neu verspiegelt werden.

Warum werden dann alle modernen Großfernrohre als Spiegelfernrohre gebaut? Wären Linsenfernrohre nicht doch praktischer? Könnte man nicht den Farbenfehler der Linsenoptik in Kauf nehmen, wenn sich dadurch die Nachteile der Spiegeloptik vermeiden ließen?

Man kann es nicht. Linsenfernrohre mit Objektivöffnungen zwischen 3 und 6 m – das ist etwa die Größenordnung, in der Fernrohre heute gebaut werden – lassen sich mit heutiger Technik nicht herstellen. Objektivlinsen können ja nur am Rand eingefaßt werden. Ein Linsensystem der angegebenen Größe wäre aber so schwer, daß das Glas unter seinem eigenen Gewicht »durchsacken« würde. Man könnte nie ein einwandfreies Bild erzielen, da sich, abhängig von der Fernrohrnei-



96 So wird das Objektiv in den Tubus eingepaßt.

97 Die Okularseite des Selbstbaufernrohrrs

darf kein Lack verwendet werden, der glänzend aufdrocknet; Plakatfarbe oder schwarze Schultafelfarbe ist geeignet.

Um das Objektiv in den Tubus einzupassen, sägen oder drehen wir aus Holz, Plast oder Metall eine zusätzliche Fassung, deren Abmessungen sich nach Objektiv- und Tubusdurchmesser richten (Bild 96). Sie nimmt das Objektiv auf, das wir entweder sehr stramm einpassen oder in der Zusatzfassung festleimen. Diese Fassung wird 5 bis 10 cm tief in den Tubus eingeschoben und dort festgeschraubt. Der überstehende Teil des Tubus dient bei der Beobachtung als Schutz vor störendem Seitenlicht und verringert in feuchtkalten Nächten die Gefahr, daß die Objektivlinsen beschlagen. Nun kürzen wir das Rohr auf der Okularseite, so daß die verbleibende Länge (gemessen von der Objektivfassung) 5 bis 10 cm geringer ist als die Brennweite des Objektivs.

Die *Objektivseite* des Fernrohrrs ist damit fertig. Die Arbeit am *Okularende* beginnt mit dem Einbau des Okularauszuges. Das ist ein kurzes Stück Papp-, Plast- oder Metallrohr von etwa 30 mm Durchmesser, das ebenfalls innen mattschwarz gestrichen werden muß. Die Länge soll 15 bis 20 cm betragen. Wir müssen den Okularauszug so in den Fernrohrrtubus einbauen, daß er sich genau längs der optischen Achse des Objektivs verschieben läßt. Wenn er nicht genau in den Tubus paßt, stellen wir einen Hohlzylinder her – ideal ist ein aus Holz oder Plast gedrehtes Teil –, in dem der Okularauszug gleitet, ohne herauszurutschen. Diese »Buchse« kann notfalls auch aus leimbestrichenen Papierstreifen gewickelt werden. (Solche Papierwickel werden faltenlos, wenn man die dünn mit schwach verdünntem Büroleim eingestrichenen Papierstreifen vor der Verarbeitung einige Minuten liegenläßt, damit sie quellen und

ging, die Abbildungseigenschaften derartiger Riesenslinsen ständig ändern würden. Das größte Linsenfernrohr der Welt hat eine Objektivöffnung von 1,02 m und befindet sich in der Yerkes-Sternwarte (USA).

Die ebenfalls sehr große Masse des Hauptspiegels in einem Spiegelfernrohr wird auf der Rückseite an vielen Punkten unterstützt, so daß keine Verformungen des Spiegels durch sein eigenes Gewicht eintreten. Außerdem ist von Vorteil, daß bei einem so großen Glasblock nur eine Fläche bearbeitet werden muß. Bei einem Linsensystem wären es vier oder sechs.

Astroamateure benutzen beide Fernrohrrtypen. Allerdings ist das Linsenfernrohr für den Anfänger leichter zu handhaben, und die Selbstherstellung eines solchen Gerätes ist unkompliziert. Ein fortgeschrittener Amateur dagegen wird die Anschaffung eines Spiegelteleskops mit größerer Öffnung in Erwägung ziehen, um noch lichtschwächere Objekte in sein Beobachtungsprogramm aufnehmen zu können.

sich dehnen können.) Die Innenwandung der »Buchse« kleiden wir mit dünnem Leder oder weichem Stoff aus und schrauben sie dann, wie Bild 97 zeigt, im Tubus fest.

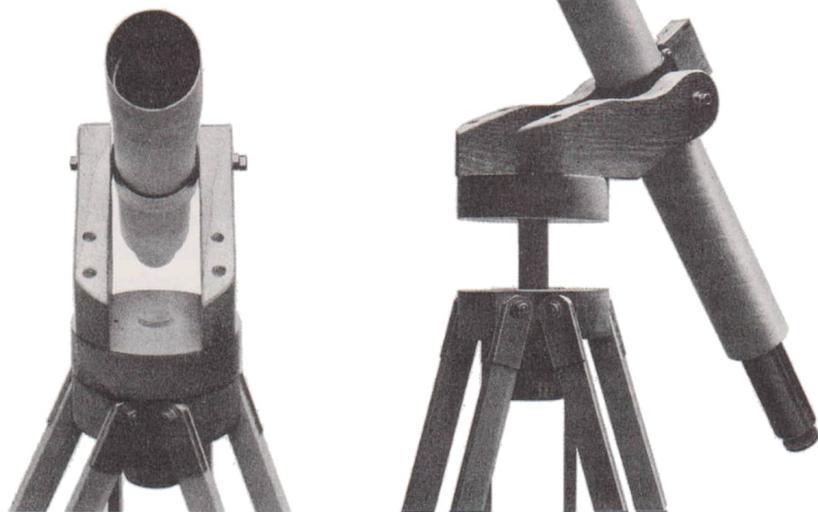
Nun wird das Okular in den Okularauszug eingesetzt. Verwenden wir eine einzelne Sammellinse als Okular, dann müssen wir sie mit einer Fassung aus zwei Sperrholzringen, wie aus Bild 97 ersichtlich, in den Okularauszug einleimen. (Vorsicht, damit die Linse keinen Leimklecks abbekommt!) Besitzer eines fertigen Mikroskop- oder Fernrohrokulars brauchen keine Fassung zu bauen, sie müssen nur das Okular mit einer Hülse (aus Holz, Plast oder wieder aus leimbestrichenen Papierstreifen) versehen, so daß es straff in den Okularauszug paßt.

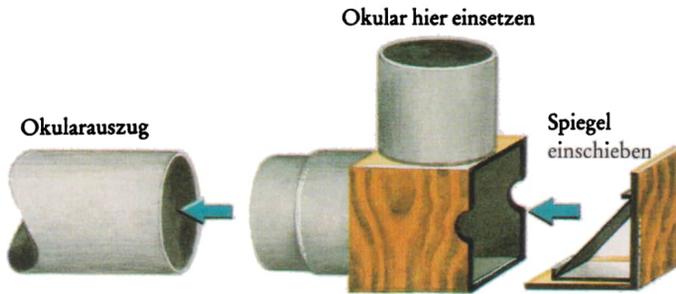
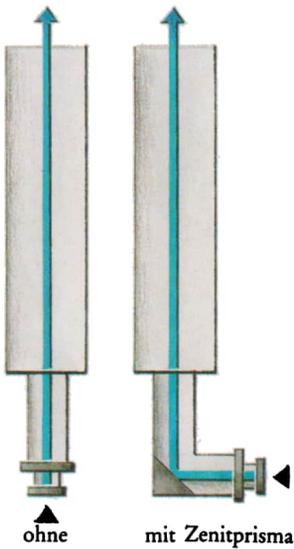
Richten wir nun unser Instrument zur Probe auf einen weit entfernten Gegenstand, dann muß sich durch Verschieben des Okularauszuges nach innen oder nach außen ein scharfes Bild ergeben. Erwartungsgemäß stehen alle Gegenstände auf dem Kopf, denn wir haben ja ein astronomisches Fernrohr gebaut. Für die astronomische Praxis ist das bedeutungslos. Nur der, der bisher den Mond im Fernglas beobachtete und die Mondlandschaften gut kennengelernt hat, wird umdenken müssen.

Am Nachthimmel muß unser Fernrohr kreisrunde oder punktförmige Sterne zeigen. Bekommen wir trotz aller Einstellbemühungen die Sterne nur länglich ins Bild, oder sehen sie aus wie lauter kleine Kometen mit seitlichen »Schweif«, dann sitzt das Objektiv schief, oder der Okularauszug ist gegen die optische Achse geneigt. Eine geduldige Korrektur wird bald zu einwandfreier Abbildung der Sterne führen.

98 *Achsenkopf und Fernrohrwiege*

99 *Die Fernrohrmontierung ist fertig.*





## Die Montierung

Schon beim Ausprobieren des Fernrohrs haben wir gemerkt: Zum Beobachten kann man so ein Gerät nicht in der Hand halten. Wir brauchen eine Montierung, auf der das Fernrohr in jeder beliebigen Stellung, ohne zu zittern, feststeht.

Zum Glück haben wir das dazu notwendige Stativ schon (s. S. 51). Den Achsenkopf stellen wir nach den Angaben der Bilder 98 und 99 her. Der Tubus muß genau in die Öffnung der Fernrohrwiege passen, soll sich aber mit etwas Kraftaufwand darin noch verschieben lassen.

Das Fernrohr muß sich nun problemlos auf jeden Punkt der Himmelskugel einstellen lassen. Wenn sich der Tubus richtig im Gleichgewicht befindet und die Achsen mit mäßiger Reibung in ihren Lagern gleiten, muß es auch in jeder Richtung stehenbleiben und darf nicht etwa schon beim kleinsten Anstoß verrutschen.

Ein *Zenitspiegel* kann die Bequemlichkeit beim Beobachten

## Montierungen

Jede Fernrohrmontierung muß zwei Bedingungen erfüllen. Von ihr wird verlangt, daß sie das Fernrohr

- in jeder beliebigen Stellung hält, ohne zu schwanken;
- in jede beliebige Richtung zu schwenken gestattet.

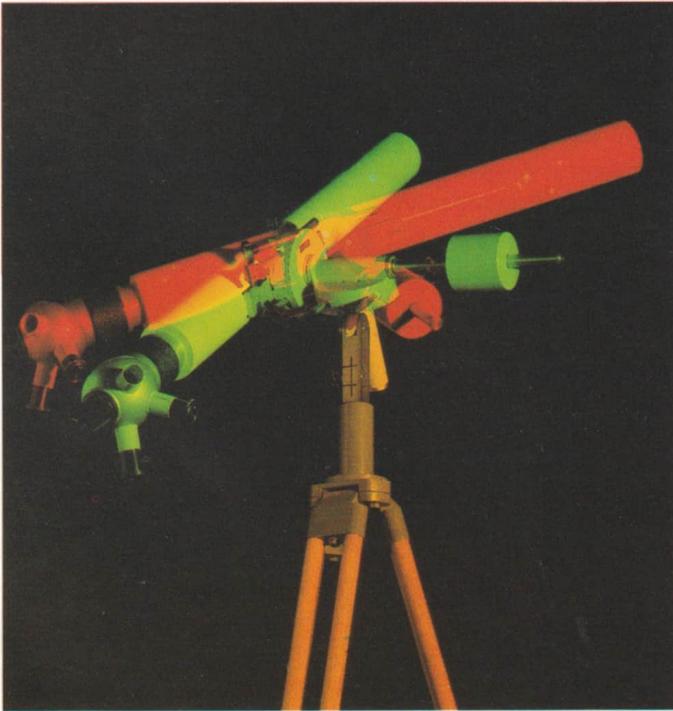
Die zweite Bedingung könnte durch ein Kugelgelenk erfüllt werden, aber solche Bauteile sind meist zu schwach ausgeführt. Sie tragen ein Fernglas, aber kein Fernrohr. Wir haben uns deshalb eine Montierung mit zwei Achsen gebaut. Um die senkrechte, die *Standachse*, drehen wir das Instrument in die gewünschte Himmelsrichtung (in das gewünschte Azimut); die waagerechte *Kippachse* dient zur Einstellung der Höhe. Ein so konstruiertes Achsensystem nennt man eine *azimutale Montierung*. Sie wird bei kleinen Amateurfernrohren gern verwendet. Ihr Nachteil ist, daß man das Fernrohr ungleichmäßig um beide Achsen bewegen muß, wenn man es der scheinbaren Drehung der Himmelskugel nachführen und sein Beobachtungsobjekt im Sehfeld behalten will. Außerdem rotiert das Sehfeld bei dieser Nachführungsbewegung ganz langsam. Allerdings besteht der einfache Aufbau. Deshalb sind einige der größten Forschungsteleskope azimutal montiert, die Nachführung um beide Achsen geschieht dort computergesteuert.



ganz erheblich fördern. Er ist ein Hilfsmittel, mit dem der Strahlengang um  $90^\circ$  geknickt wird. Vor allem bei der Beobachtung zenitnaher Gestirne, wenn das Fernrohr steil nach oben gerichtet ist, wird aus dem anstrengenden Aufwärts- ein bequemes Seitwärtsblicken (Bild 100). Wir benötigen für den Bau dieses nützlichen Zusatzgeräts einen kleinen oberflächenversilberten Spiegel. (Es darf kein gewöhnlicher Handspiegel dazu verwendet werden; diese sind an der Rückseite verspiegelt und für unsere Zwecke unbrauchbar. Die kleinen Klappspiegel der Spiegelreflexkameras eignen sich recht gut.) Wer ein rechtwinkliges Glasprisma zur Verfügung hat, kann dessen totalreflektierende Hypotenusenfläche an Stelle des Spiegels benutzen (vgl. Bild 101). Der Spiegel bzw. das Prisma erhält ein aus Pappe geklebtes Gehäuse, an dem sich Rohrstützen befinden müssen, um a) das Gehäuse des Zenitspiegels mit dem Fernrohr verbinden und b) das Okular in das Gehäuse einschieben zu können. Diese Rohrstützen können aus Plast oder Metall gedreht oder auch aus Papier gewickelt sein.

Bei Beobachtungen mit dem Zenitspiegel müssen wir den Okularauszug um rund 10 cm tiefer in den Tubus einschieben als sonst bei direkten Beobachtungen. Das ist zu beachten, damit beim Einstellen nicht unnötig lange nach der optimalen Bildschärfe gesucht werden muß.

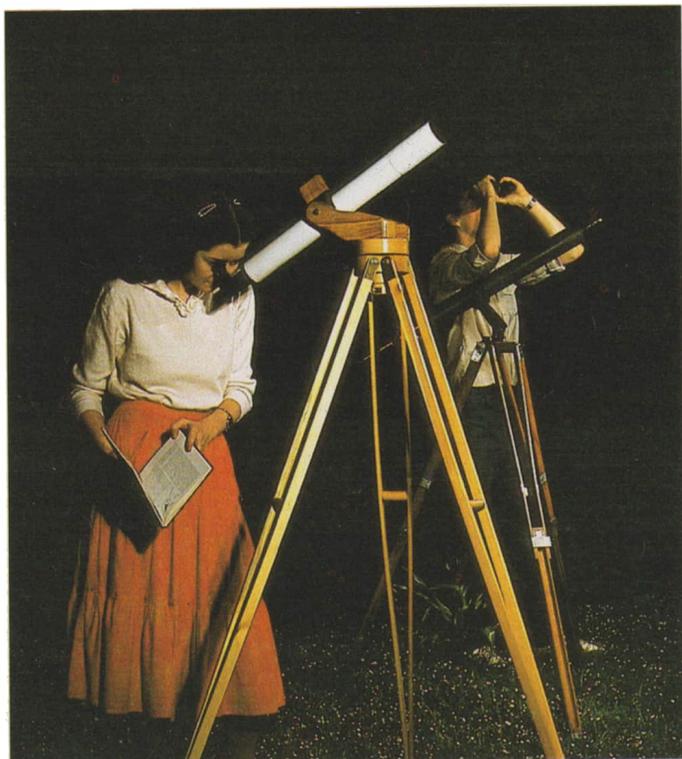
Die meisten größeren Amateur- und die allermeisten Forschungsfernrohre besitzen eine *parallaktische Montierung* (Bilder 103 und 104). Auch sie besteht aus zwei senkrecht aufeinanderstehenden Achsen, aber die »Standachse« zeigt nicht senkrecht, sondern schräg nach oben, zum Himmelspol. Sie heißt hier *Polachse* oder *Stundenachse*. Damit ist sie der Drehachse der Himmelskugel parallel, und das hat zur Folge, daß sich das Fernrohr um diese Achse in genau der gleichen Richtung drehen kann wie die Gestirne bei ihrem täglichen Umlauf um den Pol. Die Nachführungsbewegung erfolgt deshalb nur als Drehung um eine einzige Achse, und dies mit gleichbleibender Geschwindigkeit. Das kann ein Motor übernehmen, so daß der Beobachter sich ganz auf die Beobachtung konzentrieren darf.



102 Dieses Amateurfernrohr älterer Bauart besitzt eine azimutale Montierung.

103 Die parallaktische Montierung ist an der schrägstehenden Polachse zu erkennen.

104 Eine parallaktische Montierung ermöglicht bequemeres Nachführen.



### Fernrohr im Examen

Was leistet unser Fernrohr? Das testen wir an Objekten des Sternhimmels!

Zur Kontrolle des *Auflösungsvermögens* eignen sich, wie bei der Prüfung des Fernglases, enge Doppelsterne am besten. Die nachfolgende Tabelle enthält geeignete »Prüfungsaufgaben« für unser Fernrohr.

| Doppelstern      | Im Sternbild | Abstand der beiden Sterne |
|------------------|--------------|---------------------------|
| $\iota$ Cnc      | Krebs        | 30"                       |
| $\zeta$ Psc      | Fische       | 23"                       |
| 19 Lyn           | Luchs        | 15"                       |
| $\gamma$ Del     | Delphin      | 10"                       |
| $\gamma$ Ari     | Widder       | 8"                        |
| $\xi$ Cep        | Cepheus      | 7,5"                      |
| $\zeta$ Cnc      | Krebs        | 6"                        |
| $\gamma$ Vir     | Jungfrau     | 5,2"                      |
| $\gamma$ Leo     | Löwe         | 4,3"                      |
| $\epsilon$ Boo   | Bootes       | 3"                        |
| $\epsilon_1$ Lyr | Leier        | 2,8"                      |
| $\epsilon_2$ Lyr | Leier        | 2,2"                      |
| $\zeta$ Aqr      | Wassermann   | 2"                        |

Für einen Test des *Helligkeitsgewinns*, den wir mit unserem Fernrohr erreichen können, greifen wir auf Bild 64 zurück. (Erfahrene Beobachter geben an, daß bei sehr guten Beobachtungsbedingungen mit einem Instrument von 60 mm Objektivöffnung Sterne der 11. Größenklasse gerade noch gesehen werden können; ein 80-mm-Fernrohr reicht noch eine Größenklasse weiter.) Wir stellen uns zweckmäßigerweise eine Pause von Bild 64 her, die wir auf steifem Karton festklemmen und, wenn wir ganz komfortabel beobachten wollen, mit einer ganz, ganz schwachen Beleuchtung versehen. Jeder Stern, den wir sicher identifiziert haben, wird durchgestrichen. Es sollte selbstverständlich sein, daß wir diesen Test mit ausgeruhten, ausreichend an die Dunkelheit angepaßten Augen durchführen und auf beste Beobachtungsbedingungen achten (kein Mondlicht, kein starkes »Funkeln« der Sterne, bequeme Haltung des Beobachters, keine Bewölkung).

Wie groß ist der *Sehfelddurchmesser* unseres Fernrohrs? Beim Fernglas benutzten wir für diesen Test das Bild 14. Das ist nun nicht mehr dafür brauchbar; das Sehfeld eines astronomischen Fernrohrs ist viel kleiner als das eines Fernglases. (Das haben wir wahrscheinlich schon beim Einstellen der bisherigen Testobjekte bemerkt. Die stärkere Vergrößerung hat eben ihren Preis!)

Für den Sehfeldtest suchen wir uns einen Stern mit bekannter Deklination. Er soll sich möglichst nahe der oberen Kulmination, also in Richtung Süden, befinden. Diesen Stern lassen wir bei ruhendem Fernrohr durch die Mitte des Sehfeldes laufen und stoppen die Zeit  $t$ , die er vom Erscheinen bis zum Verschwinden am gegenüberliegenden Rand benötigt. Der gesuchte Sehfelddurchmesser ist dann in guter Näherung

$$d = t \cdot 0,004178 \cdot \cos \delta.$$

Wenn  $\delta$ , die Deklination des Sterns, in Grad, und  $t$ , die Durchlaufzeit des Sterns durch das Sehfeld, in Sekunden, angegeben werden, erhalten wir den Sehfelddurchmesser  $d$  in Grad.

Die Sterne der folgenden Tabelle eignen sich gut für diesen Test:

| Stern        | Im Sternbild | Deklination |
|--------------|--------------|-------------|
| $\alpha$ Psc | Fische       | + 2,8°      |
| $\alpha$ Tau | Stier        | +16,5       |
| $\alpha$ Ori | Orion        | + 7,4       |
| $\alpha$ CMi | Großer Hund  | + 5,4       |
| $\alpha$ Leo | Löwe         | +12,0       |
| $\alpha$ Vir | Jungfrau     | -11,2       |
| $\alpha$ Boo | Bootes       | +19,2       |
| $\alpha$ Aql | Adler        | + 8,9       |
| $\alpha$ Peg | Pegasus      | +15,2       |

## Vergrößerung

Wir haben schon (auf Seite 71) den Begriff *Normalvergrößerung* kennengelernt. Man kann sie berechnen, indem man die Objektivöffnung des Fernrohrs durch den Durchmesser der an die Dunkelheit angepaßten Augenpupille – im Mittel 7 mm – dividiert. Für ein 60-mm-Fernrohr erhalten wir auf diese Weise eine Normalvergrößerung von 8- bis 9fach.

Betrüblich wenig! Das leistet ja ein Fernglas!

Richtig! Aber bei astronomischen Fernrohren kann man weit über die Normalvergrößerung hinausgehen. Hier trifft in noch größerem Maße das zu, was wir beim Fernglas schon feststellten: Arbeitet man mit höherer als Normalvergrößerung, so wird die Flächenhelligkeit des Himmelshintergrundes verringert. Die Sterne erscheinen aber nach wie vor als Punkte, sie haben nichts von ihrer Helligkeit verloren und heben sich um so besser vom Hintergrund ab, je dunkler dieser ist. In speziellen Fällen geht man deshalb bis zum 15fachen der Normalvergrößerung.

Flächenhafte Objekte ergeben aber bei so hohen Vergrößerungen enttäuschende Bilder. Schon eine 300fache Vergrößerung zeigt an einem Fernrohr mit 60 mm Öffnung und 1000 mm Brennweite den Jupiter derart lichtschwach, daß keine Einzelheiten mehr erkennbar sind. Außerdem ist das Bild nicht scharf zu kriegen, und das hat seine Ursache in der Beugung des Lichtes. Jeder Bildpunkt im Fernrohr ist strenggenommen kein geometrischer Punkt, sondern ein Lichtscheibchen, das durch die Beugung (Richtungsänderung) des Lichtes am Rande des Objektivs entsteht. Sein Durchmesser ist umgekehrt proportional dem Objektivdurch-

Ein Beispiel: Die Beobachtung des Sterns  $\alpha$  im Löwen ergab  $t = 426$  s Durchlaufzeit. Wir finden mit  $\delta = +12,0^\circ$  einen Sehfelddurchmesser von  $1,74^\circ$ .

Mit zunehmender Vergrößerung wird das Sehfeld kleiner. Deshalb müssen wir, wenn wir mehrere Okulare mit unterschiedlichen Brennweiten verwenden wollen, diesen Test für jedes Okular getrennt durchführen. Wahrscheinlich kommt dabei eine Tabelle, ähnlich der folgenden, zustande:

| Okularbrennweite | Vergrößerung | Sehfelddurchmesser |
|------------------|--------------|--------------------|
| 25 mm            | 22fach       | 1,74°              |
| 16 mm            | 34fach       | 1,12               |
| 10 mm            | 54fach       | 0,71               |

Mit abnehmendem Sehfelddurchmesser wachsen die Schwierigkeiten beim Aufsuchen der Objekte beträchtlich. Es ist deshalb immer ratsam, das Beobachtungsobjekt mit der schwächsten verfügbaren Vergrößerung einzustellen und dann vorsichtig das Okular zu wechseln. Dabei darf sich der Tubus natürlich nicht bewegen, sonst war alles Suchen umsonst. Für manche Zwecke kann eine Peileinrichtung hilfreich sein, die man sich nach Art von Kimme und Korn außen auf den Tubus setzt. Ein Stück Papprohr von etwa 4 cm Durchmesser und 30 cm Länge, an die Fernrohrwiege angeschraubt und parallel zum Tubus ausgerichtet, ist ebenfalls eine gute Einstellhilfe.

### Der erste Blick

Die Frage nach der Leistungsfähigkeit unseres Fernrohrs wird zu einem nicht unwesentlichen Teil durch die Testergebnisse beantwortet. Bewähren muß es sich aber in der nächtlichen Beobachtungspraxis, und da wird wohl jeder Astroamateur zuerst Ausschau nach dem Mond und ein paar hellen Planeten halten.

Beim *Mond* dürfen wir mit einem sauber gebauten Fernrohr von 50 bis 60 mm Objektivöffnung bei 50- bis 90facher Vergrößerung schon einiges erwarten. Selbstverständlich sind da alle Oberflächenformationen zu sehen, die uns schon das Fernglas zeigte, aber nun mit viel mehr Einzelheiten. Wer scharfe Augen hat, kann sogar Krater mit Durchmessern um 5 km erkennen. Darüber hinaus finden wir Rillen, Furchen, kuppelartige Aufwölbungen (»Dome«) und erkennen am Schattenwurf die Gestalt der Berge.

Auch die *Planeten* zeigen viele Einzelheiten. Natürlich ist bei etwa 50facher Vergrößerung der Saturnring zu sehen; auf dem Jupiter fallen die Wolkenstreifen und die starke Abplattung dieses Planeten auf. Venus zeigt, wenn sie nahe der unteren Konjunktion steht, deutlich und groß ihre Sichelgestalt.

messer; für ein 60-mm-Fernrohr beträgt er  $1,9''$ .

Ein derartig kleines Scheibchen erscheint dem Auge als Punkt. Aber wenn wir es vergrößern, wird die Scheibengestalt sichtbar. Das Auge hat ein Auflösungsvermögen von  $60''$  bis  $120''$ ; nehmen wir als Mittelwert  $90''$ . Dann genügt eine  $\frac{90}{1,9}$ fache Vergrößerung, um die ersten Anzeichen von Unschärfe ins Bild zu bringen.

$$\frac{90}{1,9} = 47;$$

das entspricht der 5- bis 6fachen Normalvergrößerung. Ab etwa 60facher Vergrößerung ist (außer in Sonderfällen, etwa bei der Beobachtung von Doppelsternen) nur noch wenig Gewinn an Einzelheiten zu erwarten.

Man bezeichnet diesen Grenzfall auch als *förderliche Vergrößerung*. Sie ist gleich der Öffnung des Objektivs in Millimetern. Bei einem 80-mm-Objektiv sollte man also im Normalfall nicht über eine 80fache Vergrößerung hinausgehen. Aber diese Regel ist zu allgemein; sie berücksichtigt die Art des Beobachtungsobjekts nicht.

Der Sonneberger Astronom Paul Ahnert, ein versierter Beobachter und Kenner der Materie, empfiehlt

- für ausgedehnte, lichtschwache Objekte (Nebel, lockere Sternhaufen) . . . . . die halbe,
- für helle flächenhafte Objekte (Sonne, Mond, Planeten) . . . . .
- . . . die ganze bis anderthalbe,
- für diese Objekte bei sehr ruhiger und klarer Luft . . . . . die doppelte,
- bei Doppelsternen ausnahmsweise . . . die zweieinhalbfache förderliche Vergrößerung. Man müßte also, um eine 300fache Vergrößerung bei Jupiter anzuwenden, unter besten atmosphärischen Bedingungen an einem Fernrohr

Mit etwa 90facher Vergrößerung kann man durch ein 50-mm-Fernrohr auch Strukturen in den Wolkenstreifen des Jupiter, z. B. den berühmten Großen Roten Fleck, wahrnehmen und auf dem Mars, wenn er sich in Erdnähe befindet, die gerade der Erde zugewandte Polkappe erkennen. Klare, durchsichtige Luft und eine dunkle Umgebung ohne störende Lichtquellen sind hierbei ebenso selbstverständliche Voraussetzungen wie eine erschütterungsfreie Aufstellung des Fernrohrs.

Damit keine falschen Erwartungen geweckt werden: Auf den allerersten Blick zeigen sich diese Einzelheiten nicht, und mit einem schief eingesetzten Objektiv wird man sie nie sehen können. Exaktheit beim Fernrohrbau gehört schon dazu, und sicher auch eine kleine Portion Beobachtungspraxis. Aber die haben wir ja schon mit dem Fernglas erworben, und so dürfte die Umstellung auf das größere Instrument nicht schwerfallen. Wir werden Abend für Abend mehr an unseren Objekten entdecken; und wenn wir uns endlich als versierte Fernrohrbeobachter fühlen, dann sollten wir auch einmal Fernglas und Fernrohr nebeneinander aufbauen und durch einen Vergleich den Zuwachs an optischer Leistung einschätzen, den uns der Bau des Fernrohrs gebracht hat. Und wir werden feststellen: Es hat sich gelohnt!

mit 15 cm Öffnung arbeiten können. Das ist aber für den Amateur bereits ein Instrument der gehobenen Mittelklasse. Im übrigen gehen auch die professionellen Astronomen bei ihren Beobachtungen selten über eine 300fache Vergrößerung hinaus, selbst dann, wenn sie an Instrumenten mit weit mehr als 15 cm Öffnung tätig sind. Der Grund für diese Zurückhaltung: Die Erdatmosphäre ist nie völlig ruhig und homogen. In kleinen, oft nur handtellergroßen Luftscheren ändern sich ununterbrochen die optischen Eigenschaften, und deshalb bleibt das Auflösungsvermögen auch der sehr großen Fernrohre immer unter dem theoretisch möglichen Wert. Was nutzt aber ein Fernrohr, das von einer bestimmten Stufe an nur noch die Luftscheren vergrößert?



106 *Das fertige Selbstbaufernrohr mit dem Sonnenprojektionsschirm*

## Das Sonnenkino

Die Sonne als astronomisches Beobachtungsobjekt für Fernglas und Fernrohr ist bisher mit noch keinem Worte erwähnt worden. Das hat gute Gründe! Wer ohne besondere Schutzmaßnahmen durch ein Fernglas oder durch ein Fernrohr – und sei es auch nur ein ganz kleines – nach der Sonne blickt, setzt sein Augenlicht aufs Spiel! Deshalb: Niemals direkt in die Sonne sehen! »Zugucker«, die um unser Fernrohr herumstehen, eindringlich warnen!

Auch der Blick in ein zur Sonne gerichtetes Fernrohr ohne Okular ist gefährlich. Das Objektiv wirkt bekanntlich als Sammellinse, und gerade in dem leeren Okularauszug befindet sich der Brennpunkt. Schon mit einem kleinen Instrument von 50 mm Öffnung läßt sich dort bei heller Sommersonne Papier entflammen!

Aber wir können die Sonnenoberfläche mit dem Fernrohr beobachten, wenn wir unsere Augen vor dem Übermaß an Strahlung schützen. Am sichersten ist es, das Sonnenbild durch Objektiv und Okular auf einen hinter dem Okular angebrachten Bildschirm zu projizieren und dieses Projektionsbild zu betrachten. Der Durchmesser dieses Bildes wächst mit dem Abstand zwischen Okular und Bildschirm; die Schärfe wird, wie üblich, am Okularauszug korrigiert.

Es ist recht einfach, einen Projektionsschirm an das fertige Fernrohr zu montieren. Er wird, wie Bild 106 zeigt, von einem Holzstab gehalten, den wir mit zwei Holzschrauben an der Fernrohrwiege befestigen. Die Länge des Stabes ist von der Fernrohroptik abhängig und muß durch Probieren ermittelt werden. Der große runde Blendschirm am Objektivende besteht aus Karton und wird einfach straff auf den Tubus aufgeschoben. Er soll das direkte Sonnenlicht vom Projektionschirm fernhalten. Das erhöht die Kontraste im Bild der Sonnenoberfläche.

Zur Beobachtung wird die Anlage einfach auf die Sonne ausgerichtet. Aber bitte, nicht stundenlang beobachten! Das Fernrohrokular muß nämlich bei einer solchen Sonnenbeobachtung enorm viel aushalten; es wird durch die konzentrierte Sonnenstrahlung sehr heiß. Gönnen wir ihm von Zeit zu Zeit eine Pause zum Abkühlen und drehen wir das Fernrohr solange beiseite! Dann riskieren wir nicht, daß das Okular Schaden nimmt oder gar die Linsen zerspringen. Auf keinen Fall dürfen zur Sonnenprojektion gekittete Okulare, zum Beispiel orthoskopische, verwendet werden. Die Hitze würde sie unweigerlich zerstören.

Unser Fernrohr wird die Sonnenflecke zeigen (falls die Sonne nicht zufällig gerade fleckenfrei sein sollte) und am Rand der Sonnen»scheibe« auch helle »Adern«, die sogenann-

## Helligkeitsgewinn

Daß der Helligkeitsgewinn eines Fernrohrs vom Objektivdurchmesser bzw. (bei flächenhaften Objekten) von Objektivdurchmesser und Vergrößerung abhängig ist, wurde schon erwähnt (Seite 71). Hat uns der Bau unseres Fernrohrs weitergebracht? Lohnt sich der damit erzielbare Helligkeitsgewinn?

Mit einem Fernrohr von 60 mm Objektivöffnung können wir noch Objekte erkennen, die zehnmal so lichtschwach und damit im Mittel auch zehnmal so weit entfernt sind wie die, die wir mit dem bloßen Auge gerade noch zu sehen vermochten. Der erfäßbare Raum aber wächst mit der dritten Potenz der überblickbaren Entfernung;  $10^3 = 1000$ , wir überblicken also mit dem kleinen Instrument einen 1000mal so großen Ausschnitt des Weltalls wie mit dem bloßen Auge. Nie wieder werden wir einen derartig großen Schritt tun können!

Schaffen wir uns als nächstes Fernrohr eins mit 12 cm Öffnung an, dann erweitert sich die überblickbare Entfernung lediglich auf das Doppelte und der überblickbare Raum auf das Achtfache dessen, was das 60-mm-Instrument zeigt. Ein Koloß mit 24 cm Objektivöffnung (als Linsenfernrohr müßte er etwa 3 m lang sein) würde gegenüber dem kleinen Gerät die vierfache Entfernung und die 64fache räumliche Ausdehnung bringen. Um noch einmal den Schritt zur 1000fachen Erweiterung des überblickbaren Raumes tun zu können, müßten wir vom 60-mm-Fernrohr zum 60-cm-Fernrohr übergehen (der Objektivdurchmesser, nicht die Fernrohrlänge ist gemeint!) – und das dürfte dem Astroamateurler nur in ganz seltenen Ausnahmefällen

ten Fackeln, erkennen lassen. Bei den Sonnenflecken müssen wir den tiefdunklen Kern und den grau erscheinenden Hof wahrnehmen können. Von Tag zu Tag wechselt das Bild – die Sonnenflecke ziehen über die Sonne hinweg, d. h., wir nehmen wahr, wie unser Zentralgestirn majestätisch um seine Achse rotiert.

## Das Fernrohr aus dem Laden

### Die Qual der Wahl

An jedem selbstgebauten Fernrohr entdeckt sein Besitzer nach einiger Zeit, daß er beim Bau noch sorgfältiger hätte arbeiten können. Dann wird ergänzt, angebaut, verändert, präzisiert – und die Freizeitastronomie erhält einen zunehmenden Anteil an Heimwerkerei. Das kann viel Spaß machen, aber es ist nicht jedermanns Sache.

Wer das Bauen und Nachbessern ganz vermeiden und doch zu einem guten astronomischen Fernrohr kommen will, muß andere, muß die Industrie für sich bauen lassen. Da sind gestandene Fachleute am Werk. Sie produzieren Schul- und Amateurfernrohre in hervorragender Qualität und mit unterschiedlichen Abmessungen, so daß man ernstlich ins Überlegen kommen kann. Abgesehen von den Zwängen, die uns unser Geldbeutel auferlegt, bleibt die Frage: Was für ein Fernrohr kaufen wir uns?

Über Unterschiede zwischen Spiegel- und Linsenfernrohr können wir auf Seite 110 nachlesen. Wenn es ums Kaufen geht, muß ein weiterer Unterschied hinzugefügt werden: der Preis. Spiegeloptiken sind billiger als gleich große Linsenobjektive. Wägen wir also ab und setzen dabei gleichen Objektivdurchmesser voraus:

| Linsenfernrohr   | Spiegelfernrohr  |
|--|--|
| <b>Vorteile:</b><br>leicht handhabbar,<br>kaum temperaturempfindlich,<br>gleichbleibende optische Qualität,<br>geringe geometrische Bildfehler | <b>Vorteile:</b><br>niedriger Preis,<br>absolute Farbtreue,<br>geringe Baulänge  |
| <b>Nachteile:</b><br>höherer Preis,<br>Farbsäume um helle Objekte,<br>größere Baulänge   | <b>Nachteile:</b><br>umständlichere Handhabung,<br>Temperaturempfindlichkeit,<br>oft Neuverspiegelung nötig,<br>merkliche geometrische Bildfehler führen zu relativ kleinem ausnutzbarem Bildfeld. |

möglich sein. Der 1000fache Gewinn beim Übergang vom Auge zum 60-mm-Fernrohr ist also wirklich der entscheidende Schritt. Er hat sich gelohnt!

### Fernrohre damals

Am 2. Oktober 1608 verhandelte die Regierung der Generalstaaten von Holland über ein Patent. Johann Lipperhey hatte es beantragt; er wollte ein Instrument erfunden haben, mit dem man ferne Dinge ganz nahe sehen könne. Aber auch ein weiterer Holländer, Jakob Metius, hatte sich um ein solches Patent beworben. Die Regierung der Generalstaaten lehnte Lipperheys Antrag ab – die Erfindung sei bereits bekannt – aber sie riet ihm, die Konstruktion des Instruments geheimzuhalten.

Man weiß nicht, wer eigentlich das Fernrohr erfunden hat, aber Lipperhey könnte es sehr wohl gewesen sein. Im Sommer 1609 drang die Nachricht von der merkwürdigen holländischen Erfindung nach Italien. Galileo Galilei, Professor der Physik an der Universität Padua, hörte davon und baute – ohne genaue Kenntnis der Einzelheiten – das Gerät nach. Sein erstes Fernrohr besaß drei(!)fache Vergrößerung. Galilei war der erste, der die neue Erfindung systematisch zur genaueren Beobachtung kosmischer Erscheinungen einsetzte, und schon im Jahre 1610 konnte er sensationelle Entdeckungen bekanntmachen: Berge auf dem Mond, Monde, die sich um den Jupiter bewegen, Flecke auf der Sonne, sonderbare »henkelförmige« Ansätze am Planeten Saturn ...

Unter »Handhabung« fällt hier auch, daß sich der Hauptspiegel eines Spiegelfernrohrs schon mal in seiner Fassung verstellen kann, und der Beobachter dann erhebliche Zeit für die Justierung aufwenden muß. Das Objektiv eines Linsenfernrohrs sitzt dagegen unverrückbar fest in seiner Fassung.

In dem Hinweis auf die unterschiedliche Baulänge ist für manchen Anwendungsbereich ein weiterer Qualitätsunterschied verborgen. Linsenfernrohre werden nämlich im allgemeinen mit größeren Brennweiten hergestellt als Spiegelfernrohre gleicher Öffnung. Man kann daher mit einer 10-cm-Linsenoptik eine höhere Auflösung und eine stärkere Vergrößerung erzielen als mit einem durchschnittlichen 10-cm-Spiegel.

In der amateurastronomischen Praxis hat sich weithin durchgesetzt, daß Instrumente bis zu 10 oder 15 cm Öffnung als Linsenfernrohre gebaut werden. Die größeren Amateurfernrohre haben Spiegeloptik. (Zwischen 10 und 15 cm Öffnung gibt es eine »Übergangszone«, in der beide Bauarten üblich sind.) Ausnahmen kommen vor. Es gibt Amateurastronomen, die an einem eigenen Linsenfernrohr von 30 cm Öffnung beobachten!

Von ganz erheblichem Einfluß auf das beobachterische »Wohlbefinden« ist die Montierung. Nichts bereitet mehr Ärger als eine Montierung, die das Fernrohr bei jedem Windhauch erzittern läßt oder die in ihren Lagern klemmt oder schlottert.

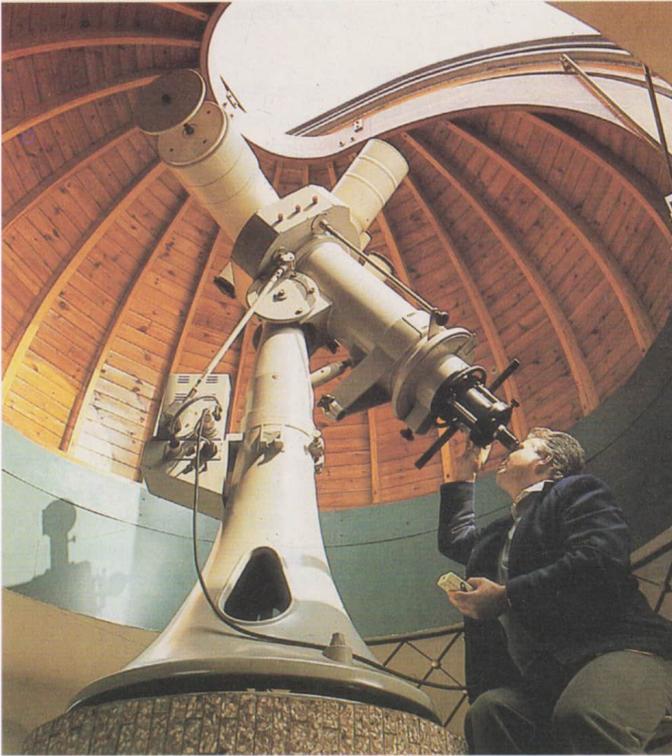
Die beste und größte Optik ist nichts wert, wenn sie nicht auf einer stabilen Montierung sicher aufgestellt werden kann. Auch hier wachsen die Anforderungen mit der Größe der eingesetzten Optik. Amateurfernrohre bis zu 60 oder 70 mm Objektivöffnung können noch ganz gut auf einem hölzernen Stativ montiert werden; größere Geräte brauchen eine stabile Säule und einen kräftigen Achsenkopf. Bei Fernrohren über 80 mm Öffnung sollte die Montierung mit einem Nachführungsmotor ausgestattet sein.

Die Qual der Wahl ist aber noch nicht vorüber. Wir sollten auch überlegen, wie intensiv das Fernrohr genutzt werden soll und kann. Für den, der die Astronomie mehr von der ästhetischen Seite her betrachtet, genügt ein kleines, bequemes Fernrohr von höchstens 10 cm Öffnung. Es erfordert keinen festen Aufstellungsort, kann in der Wohnung aufbewahrt werden und ist immer griffbereit. Wer aber regelmäßig beobachten und dabei vielleicht sogar wissenschaftlich verwertbare Ergebnisse erzielen will, der muß entscheiden, ob er ein größeres Instrument zweckmäßig aufstellen und immer an seinem Platz belassen kann oder ob er vielleicht ein kleineres, leichteres zu einem abseits von der Wohnung gelegenen Beobachtungsplatz tragen will.

Die meisten Amateurfernrohre lassen sich von ihrem Ach-

Galileis größtes Fernrohr vergrößerte nur etwa 30mal und lieferte weit unvollkommenere Bilder als ein gleich großes Instrument unserer Tage. Es bestand aus einer Sammellinse (als Objektiv) und einer Zerstreuungslinse (als Okular). Dieses optische Prinzip wird heute nur noch bei Operngläsern verwendet, weil es eine sehr geringe Tubuslänge ermöglicht. Sein wesentlicher Nachteil ist das kleine Sehfeld und das Fehlen eines reellen Bildes hinter dem Okular. (Die Beobachtung der Sonne mit dem Projektionsverfahren wäre also bei Verwendung eines solchen Fernrohrs gar nicht möglich.) Ein für die Beobachtung auf der Erde wichtiger Vorteil ist das aufrechte Bild.

Die heute in der Astronomie eingesetzten Linsenfernrohre gehen auf eine Konstruktionsbeschreibung von Johannes Kepler



107 *So große Fernrohre kommen nicht ohne feste Aufstellung und ohne Schutzbau aus.*

senkopf abschrauben. Das geht sehr schnell und ist meist ohne Werkzeug zu bewältigen; Knebelschrauben halten den Tubus fest bzw. geben ihn frei. So kann die empfindliche Optik an einem geschützten Ort sicher gelagert werden, während die Montierung unter einer Plane im Freien verbleibt. Von besonderem Wert ist es, wenn auch das Achsensystem bei Nichtgebrauch von der Säule abgenommen werden kann. Dann bleibt nur die Säule stehen, und an der können Unbefugte nicht viel Schaden anrichten. Linsenfernrohre bis zu 15 cm und Spiegelfernrohre bis zu 20 cm Öffnung werden häufig in dieser Weise aufgestellt. Aber das ist schon »obere Mittelklasse« – auch was die Preise anbetrifft.

Noch größere Fernrohre sind im allgemeinen auch in Teilen nicht mehr transportabel. Für sie muß eine kleine Sternwarte, ein ständiger Beobachtungsplatz, errichtet werden. Störendes Nebenlicht darf dort nicht in Erscheinung treten; der Platz darf dem Wind nicht zu sehr ausgesetzt sein, und natürlich ist freie Sicht nach allen Seiten erforderlich. Eine Schutzhütte mit abfahrbarem oder aufklappbarem Dach muß gebaut werden – oder gar eine »richtige« Sternwartenkuppel. Für die Speisung des Nachführungsmotors wird ein Netzanschluß gebraucht. Wir merken schon: Die Nebenkosten wachsen mit der Größe des Fernrohrs rapide an.

(1611) zurück. Er ersetzte die Zerstreuungslinse Galileis durch eine kleine Sammellinse und konnte so die Nachteile des Galileischen Fernrohrs beseitigen, mußte aber dafür die Bildumkehr in Kauf nehmen. Für die astronomische Verwendung des Fernrohrs, die Kepler anstrebte, ist dies aber kein Nachteil. Übrigens hat Kepler das nach ihm benannte Fernrohr nie selbst hergestellt und benutzt. Es wurde erst 1615 von dem Jesuitenpater Christian Scheiner ausgeführt.

## Okulare

Amateurfernrohre werden meist als komplette Ausstattung mit Montierung und Okularen angeboten. Das ist gut so, denn ohne Okular kann man ja nicht beobachten. Eine Auswahl verschiedener Okulare ist überdies wünschenswert, will man nicht immer ein und dieselbe Vergrößerung benutzen. Erinnern wir uns: Die Vergrößerung  $N$  hängt von den Brennweiten des Objektivs ( $f_{\text{ob}}$ ) und des Okulars ( $f_{\text{ok}}$ ) ab:

$$N = \frac{f_{\text{ob}}}{f_{\text{ok}}}.$$

Da das teure Objektiv fest eingebaut ist, müssen wir also die Okulare wechseln, wenn wir die Vergrößerung zu verändern wünschen. Die gebräuchlichen Okularbrennweiten bei Amateurfernrohren liegen zwischen 63 mm und 4 mm; bei einem Instrument mit 1,2 m Objektivbrennweite kann man immerhin eine 300fache Vergrößerung erreichen – das ist weit mehr, als die meisten Objektive hergeben (vgl. Seite 120).

Die Brennweite ist nicht das einzige, worauf wir beim Kauf der Okulare achten sollten. Es gibt auch bedeutende Unterschiede in der Bauart, die sich auf die Verwendung auswirken. Ein wichtiger Okulartyp ist das Huygenssche Okular (benannt nach dem holländischen Physiker Christiaan Huygens, der von 1629 bis 1695 lebte). Es besteht aus zwei Linsen, der dem Objektiv zugewandten Feldlinse und der Augenlinse, in die man beim Beobachten blickt. (Mit der Linse im menschlichen Auge, die ein Bild auf der Netzhaut entwirft, darf sie nicht verwechselt werden.) Okulare des Huygens-Typs dürfen wir zur Projektion des Sonnenbildes verwenden. Das vom Fernrohrobjektiv entworfene reelle Zwischenbild entsteht zwischen Feld- und Augenlinse. Diese Stelle ist von außen nicht zugänglich; will man z. B. in ein Huygens-Okular ein Fadenkreuz einbauen, so muß man eine der beiden Linsen vorübergehend entfernen.

Dieser Nachteil ist beim orthoskopischen Okular nicht vorhanden. Die Augenlinse besteht hier aus zwei miteinander durch farblosen, durchsichtigen Kitt verbundenen Einzellinsen, das vom Objektiv entworfene Bild liegt im Okularauszug außerhalb des Okulars. An dieser Stelle können also Einrichtungen montiert werden, die vom Beobachter gleichzeitig mit dem Objekt scharf gesehen werden sollen (Strich- oder Fadenkreuze, Meßplatten mit eingezätzter Skala usw.).

Daß die Augenlinse beim orthoskopischen Okular verkittet ist, hat seinen guten Grund. Wir wissen ja schon: Optische Linsen sind nicht frei von Farbfehlern. Das gilt natürlich auch für die Okularlinsen, und um die durch die kostspieligen Korrekturen am Objektiv erreichte Bildqualität nicht »am anderen Ende des Fernrohrs« wieder einzubüßen, müssen auch die

## Fernrohre heute

Das »astronomische Fernrohr der Gegenwart« zu beschreiben ist unmöglich. Viel zu viele unterschiedliche Konstruktionen, in unterschiedlichen Größen ausgeführt und mit einem Arsenal von Zusatzgeräten für Spezialbeobachtungen bestückt, sind rund um den Erdball im Einsatz. Das astronomische Fernrohr hat ja überdies die Erde hinter sich gelassen und Position im Weltraum bezogen, wo es, ohne Störung durch die ständig wabernde und die Sicht behindernde Lufthülle, den ganzen Reichtum der kosmischen Informationen auch aus jenen Strahlungsbereichen aufnehmen kann, die von der Erdatmosphäre vollkommen verschluckt werden. Neben die Fernrohre, die das Licht der Himmelskörper sammeln, sind jene Geräte getreten, die kosmische Radiostrahlung empfangen, die den Himmel nach Infrarotstrahlung, nach Ultraviolettstrahlung und nach Röntgenstrahlung absuchen. Die Familie der astronomischen Beobachtungsgeräte ist viel zu groß geworden, als daß man sie in einem kurzen Überblick vorstellen könnte.

Versuchen wir uns ein Bild von einem der Durchschnitteleskope der Gegenwart zu verschaffen, das auf der Erde postiert ist und für optische Beobachtungen eingesetzt wird. Es ist ein Spiegelfernrohr, dessen Hauptspiegel einen Durchmesser von 2 bis 4 m aufweist (Bild 108) und das bei einer Rohrlänge von 5 bis 15 m bewegliche Teile von 60 bis 300 t Masse besitzt. Diese Masse wird mit einer Genauigkeit von einem zehntausendstel Grad auf jede beliebige Stelle der Himmelskugel gerichtet, Quarzuhren und Computer steuern die Nachführung des Kolosses. Das Spiegelmateriale



*108 Schwermaschinenbau und höchste Präzision, Feinoptik und raffinierte Elektronik: ein Forschungsteleskop*

Okulare als Linsen unterschiedlicher Glassorten zusammengesetzt sein. (Das Huygens-Okular besteht aus zwei einzeln stehenden Linsen und verursacht bei stärkeren Vergrößerungen merkliche farbige Säume um die helleren Objekte.)

Also sollte man nur orthoskopische Okulare kaufen? Für den, der nur nachts beobachtet, kann diese Frage bejaht werden. Wenn aber auch Sonnenbeobachtungen mit dem Projektionsschirm geplant sind, muß ein Okular mit unverkitteten Linsen zum Einsatz kommen. Die enorme Hitze in der Umgebung des Objektivbrennpunkts eines auf die Sonne gerichteten Fernrohrs ließe den Kitt bei einem orthoskopischen Okular binnen kurzer Zeit schmelzen, und damit wäre das Okular unbrauchbar. Zur Sonnenbeobachtung brauchen wir deshalb ein Huygenssches Okular.

### **Komfort**

Objektiv, Tubus, Okular, Achsensystem und Säule – das Fernrohr ist komplett, das Beobachten beginnt. Doch nach den ersten Stunden am neuen Instrument stellen sich weitere Wünsche ein. Wir wollen komfortabel beobachten.

Was beim selbstgebauten Fernrohr möglich war, das muß

ist ein glaskeramischer Werkstoff, der bis zu 600mal geringer auf Temperaturschwankungen reagiert als normales Glas. Hilfsspiegel im Strahlengang verlängern die Brennweite bis auf 140 m. Die ankommende Strahlung wird mit Fotoplatten (Standardformat 40 cm × 40 cm), elektronischen Bildempfängern und Fernsehkameras registriert; damit sind Objekte bis herunter zur 26. Größenklasse nachzuweisen.

### **Fernrohre der Zukunft**

Die Entwicklung wird weitergehen und zu noch leistungsfähigeren Fernrohren führen. Ob es immer größere und schwerere Fernrohre sein werden, ist zu bezwei-

beim gekauften erst recht möglich sein. Man möchte in bequemer Körperhaltung beobachten können.

Das *Zenitprisma* oder, bei billigeren Ausführungen, der *Zenitspiegel* verhilft uns dazu. Unter allen Zusatzgeräten ist das wohl das wichtigste. Wir beachten: Bei Benutzung dieses Zusatzteils muß der Okularauszug erheblich weiter eingeschoben werden als bei ausschließlicher Beobachtung mit Objektiv und Okular. Es gibt auch Zenitprismen, die mit einem *Okularwechselrevolver* kombiniert sind. Das sonst etwas umständliche Auswechseln der Okulare beim Übergang zu einer anderen Vergrößerung wird hier mit einem einfachen Handgriff bewerkstelligt – und durch das eingebaute Zenitprisma bleiben uns obendrein krampfhaftige Verrenkungen bei Beobachtungen in Zenitnähe erspart. Freilich darf nicht verschwiegen werden, daß solcher Komfort seinen Preis hat – aber wo in der Welt ist das anders?

Als *Sucher* wird ein parallel zum eigentlichen Fernrohr montiertes kleines Zusatzfernrohr mit meist sehr einfacher Optik, aber großem Sehfeld, bezeichnet. Der Sucher erleichtert das Auffinden lichtschwacher Objekte, die bei stärkeren Vergrößerungen wegen der Kleinheit des Sehfeldes im Hauptinstrument schwer einzustellen sind. Meist sind die Sucherokulare fest eingebaut und mit einem kräftigen Strichkreuz ausgestattet, das man vor dem Himmelshintergrund noch deutlich erkennen kann. Steht ein gesuchtes Objekt in Strichkreuzmitte, dann ist es – richtig eingestellten Sucher vorausgesetzt – auch im Sehfeld des Hauptinstruments zu finden.

Für Meßzwecke brauchen wir manchmal auch im Hauptinstrument ein Strich- oder Fadenkreuz oder auch eine Meßplatte mit speziellen Markierungen. Wenn diese Markierungen vor einem sehr dunklen Himmel nicht mehr sichtbar sind, dann hilft oft nur, sie von der Seite her zu beleuchten. Es gibt Einrichtungen zur *Fadenkreuzbeleuchtung* mit regelbarer Helligkeit, die ein schwach leuchtendes Fadenkreuz in das ansonsten völlig von störendem Licht freie Sehfeld zaubern.

Fernrohre mit großen Objektivöffnungen sammeln sehr viel Licht. Das sollen sie auch, aber in manchen Fällen kann das schon des Guten zuviel sein. Eine Beobachtung des Mondes bei geringer Vergrößerung – die müssen wir haben, wenn der ganze Mond und nicht nur ein Ausschnitt der Mondoberfläche im Sehfeld stehen soll – kann durch die gleißende Helligkeit des Fernrohrbildes recht anstrengend werden. Man möchte dem Fernrohr eine Sonnenbrille aufsetzen ..., und so etwas gibt es tatsächlich. *Dämpfgläser* (»Mondgläser«), die hinter die Augenlinse des Okulars geschraubt werden (also zwischen Augenlinse und Auge), vermindern die Bildhelligkeit auf ein erträgliches Maß. In gleicher Weise lassen sich auch *Farbgläser* in den Strahlengang einschalten. Bei bestimmten Objekten können sie zu kontrastreicheren Bildern verhelfen (»Marsgläser«).

Die heute größten Fernrohre der Welt, der 5-m-Spiegel auf dem Mt. Palomar in Kalifornien und der 6-m-Spiegel bei Selentschuk-skaja im Kaukasus, werden wahrscheinlich für lange Zeit die Rekordhalter unter den astronomischen Fernrohren auf der Erdoberfläche bleiben. Zu den wesentlichen Gründen für diese Entwicklungstendenz gehören die Preise. Bezogen auf ein einheitliches Preisniveau, muß man für einen 6-m-Spiegel schon 18mal so viel bezahlen wie für einen 2-m-Spiegel. Und der kostete im Jahre 1980 mehr als 2 Mill. Dollar. Wenn diese Berechnungsgrundlage stimmt – und es gibt viele Gründe, das anzunehmen –, dann würde ein in traditioneller Weise erbautes 10-m-Spiegelteleskop die Summe von 150 Mill. Dollar verschlingen. Kein Wunder, daß Astronomen und Techniker gemeinsam nach neuen Wegen suchen!

Da werden – und das ist heute schon keine bloße Planung mehr – die Empfängerflächen nicht mehr aus einem Stück bestehen, sondern aus mehreren Teilen zusammengesetzt sein. Natürlich birgt dies erhebliche Justierungsprobleme, aber sie lassen sich mit Hilfe von Laserstrahlen lösen. Im Gespräch sind Fernrohre, deren Ausmaße einem (gedachten) Ein-Stück-Spiegelteleskop von 10 bis 25 m Durchmesser entsprechen.

Die bisher in Erdumlaufbahnen stationierten Fernrohre, auch durchweg Spiegelteleskope, nehmen sich gegenüber solchen Dimensionen relativ bescheiden aus. Bis zu 2,4 m reichen ihre Durchmesser nur, aber mit dieser auf der Erde längst überschrittenen Dimension lassen sich in der atmosphärenlosen Umlaufbahn Objekte finden, die von der Erde aus mit gleicher Optik nicht beobachtet werden könnten. Sie sind

Eine ganz echte »Sonnenbrille« für unser Fernrohr ist das *Objektiv-Sonnenfilter*. Es wird, wie sein Name sagt, vor das Objektiv gesetzt und vermindert bei Sonnenbeobachtungen die in das Fernrohr eintretende Strahlung so weit, daß man beim Blick in das Okular nur noch ein schwaches Dämpfungsglas vorzuschalten braucht. So sind auch mit orthoskopischen Okularen Sonnenbeobachtungen möglich. Aber wehe, wenn während der Beobachtung das Objektivfilter wegrutscht oder versehentlich entfernt wird! (Früher waren Okular-Sonnenfilter weit verbreitet. Sie wurden, wie andere Dämpfungsgläser, zwischen Augenlinse und Auge angeordnet und mußten deshalb die volle Intensität des konzentrierten Sonnenlichts ertragen. Wenn ein solches Glas dieser Belastung nicht standhielt und platzte, war es in Bruchteilen einer Sekunde um das Augenlicht des Beobachters geschehen. Dieser Gefahr dürfen wir uns niemals aussetzen!)

Sonnenbeobachtungen ohne Objektivfilter sind mit einem *Sonnenprojektionsschirm* gefahrlos möglich (Achtung! Huygens-Okular einsetzen!). Wir gewinnen dadurch übrigens auch die Möglichkeit, die Fleckenpositionen zeichnerisch festzuhalten und so die Rotation der Sonne zu verfolgen. Die Entwicklung einer Fleckengruppe im Laufe mehrerer Tage wird leichter darstellbar. Aber bitte: Nicht zu lange hintereinander beobachten! Die Verlockung dazu ist groß, wenn ein Nachführungsmotor unser Instrument unentwegt auf die Sonne richtet. Von Zeit zu Zeit braucht auch ein Huygens-Okular eine kleine Abkühlpause, sonst zerspringen am Ende die Linsen!

Unsere Komfort-Liste ist sehr lang geworden, und sie ist bei weitem noch nicht vollständig. Aber wer glaubt, erst müsse alles an Zusatzteilen und -geräten zu seinem Fernrohr beschafft sein, bevor das Beobachten richtig beginnen könne, der ist ganz sicher im Irrtum. Mehr noch – der ist gar kein echter Amateurastronom! Dieser sitzt nämlich schon längst an seinem neuen Fernrohr und beobachtet!

## Blicke in kosmische Tiefen

### Unser Stern

Auch für ein größeres Fernrohr gilt, daß die sicherste Methode der Sonnenbeobachtung die Projektion des Sonnenbildes auf einen hinter dem Okular befestigten Bildschirm ist. Solche Bildschirme gehören zur Zusatzausstattung gekaufter Fernrohre, man kann aber auch für ein industriell gefertigtes Instrument selbst eine Sonnenbeobachtungseinrichtung bauen (vgl. Seite 122). Auf dem Bildschirm sollte sich mit Federklammern ein Blatt Zeichenpapier befestigen lassen.

40mal lichtschwächer als die schwächsten von der Erde aus sichtbaren Gestirne.

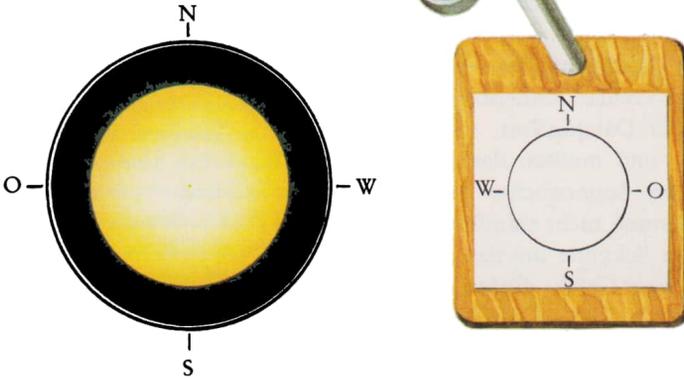
Der Astronom der Zukunft wird nicht mehr am Fernrohr beobachten! (Noch vor 120 Jahren waren fotografische Aufnahmen am Fernrohr eine Sensation. Der Astronom schaute bei seiner Arbeit durch das Okular, notierte Zahlen und skizzierte das Gesehene. Inzwischen haben ihn objektive Strahlungsempfänger von diesem Platz verdrängt.) In Zukunft wird er elektronische Beobachtungs- und Steuergeräte von einer Zentrale aus bedienen, und die Ergebnisse seiner Arbeit werden sofort computergerecht aus dem Teleskop der weiteren Verarbeitung zugeführt.

### Unser Stern

Kein anderer Stern ist uns so nahe wie die Sonne, und auf keinem können wir so viele Einzelheiten erkennen. Es fällt schwer, diesen gleißend hellen Gasball als Stern zu akzeptieren und sich klarzumachen, daß einzig und allein die relativ geringe Entfernung Sonne – Erde der Grund für das

Sonne im Fernrohr

Sonne auf dem Projektionsschirm



*109 Damit es keine Verwechslungen gibt: die Himmelsrichtungen im Sonnenbild*

Der Durchmesser des Sonnenbildes hängt von der Entfernung zwischen Okular und Bildschirm sowie von den Brennweiten des Objektivs und des Okulars ab. (Auf einem Sonnenbild mit 11 cm Durchmesser hätte die Erde im gleichen Maßstab einen Durchmesser von 1 mm. Wir stellen fest, daß viele Sonnenflecken unseren Heimatplaneten an Größe weit überreffen.) Damit wir auswertbare Zeichnungen der Sonnenoberfläche erhalten, müssen wir das Sonnenbild zunächst nach den Himmelsrichtungen orientieren. Bild 109 zeigt, wie das bei der Beobachtung der Sonne ohne Fernrohr aussehen würde und wie es auf dem Projektionsschirm aussieht, wenn die Sonne genau im Süden steht. Vormittags und nachmittags erscheint die Sonne »gekippt« (Bild 110). Wie finden wir nun die genaue Lage der Himmelsrichtungen auf dem Projektionsbild der Sonne?

Wir zeichnen einen Kreis, dessen Durchmesser gleich dem des Sonnenbildes ist, auf den Bildschirm, dazu zwei zueinander senkrechte Durchmesser und zwei Tangenten, wie auf Bild 110. Bei ruhendem Fernrohr, also ohne Nachführung, wird diese Zeichnung so gedreht, daß sich das Sonnenbild genau zwischen den beiden Tangenten in Pfeilrichtung bewegt. Der zuerst aus dem Sehfeld herauslaufende Sonnenrand ist der Westrand. Kippt man nun das Fernrohr derart, daß das Objektiv mehr zum Horizont weist, dann verschwindet als letztes der Südrand der Sonne aus dem Sehfeld.

Unser Bildschirm kann nun die erste Sonnenzeichnung aufnehmen. Mit spitzem Bleistift markieren wir vorsichtig die Umrisse der Flecke und Fackeln und zeichnen die Einzelheiten ein: Zahl und Gestalten der einzelnen Flecke, Formen und Verzweigungen der Fackeln.

überwältigende Erscheinungsbild ist. Wäre die Sonne so weit von der Erde entfernt wie der Sirius – und das ist einer unserer nächsten Nachbarn im Weltall –, dann gäbe es keinen Wechsel von Tag und Nacht mehr. Es wäre ewige Nacht, und unter den vielen Sternen am Himmel stünde einer mehr, etwa so hell wie ein »Deichselstern« im »Großen Wagen«.

Es hat schon sein Gutes, daß die Sonne so nahe ist. Licht und Wärme erhalten das Leben auf der Erde – und für den Astronomen bietet die Sonne ideale Möglichkeiten, einen Stern aus der Nähe in allen Einzelheiten zu erforschen.

Dies ist das Ergebnis: Eine riesige Kugel aus Gas (drei Viertel davon sind Wasserstoff) dreht sich langsam um sich selbst. In ihrem Zentrum herrscht die unvorstellbare Temperatur von über 15 Mill. Kelvin, und auch an der Oberfläche, die in Wirklichkeit eine dünne Übergangsschicht ist, sind bei Temperaturen um »nur« 6000 K alle Stoffe verdampft. Gewaltige Materieströme kochen in dieser Oberflächenschicht, tau-

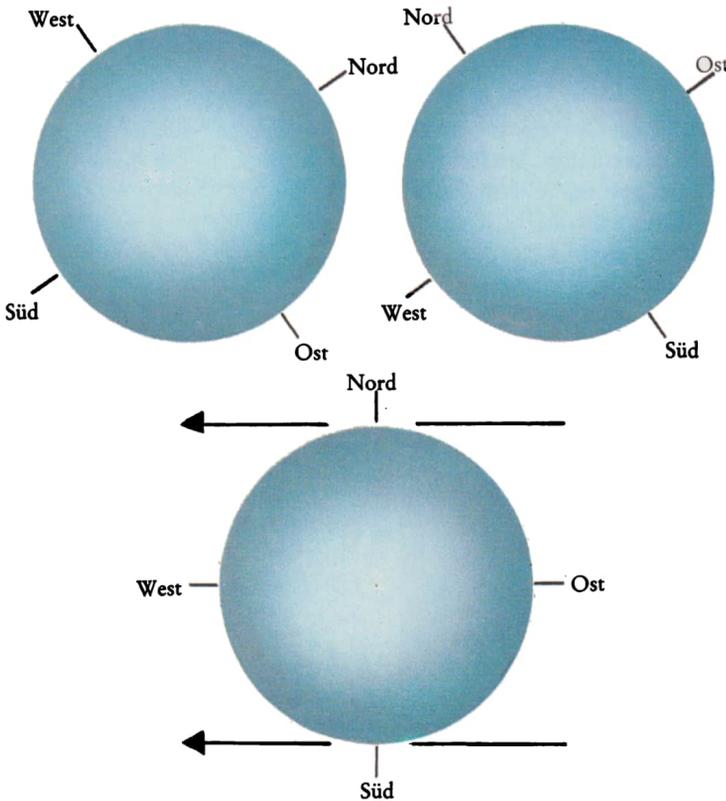
Freilich erfordert das Zeichnen auf dem Bildschirm Behutsamkeit und vor allem zwei ruhige Hände, denn so ein Schirm ist immer eine recht labile Angelegenheit, und ein allzu hartes Anfassen oder Aufdrücken führt gnadenlos zum Verwackeln! Besonders günstig ist es, transparentes Zeichenpapier zu verwenden. Wir können dann die an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen gewonnenen Zeichnungen übereinanderlegen und so die Wanderungsgeschwindigkeit der Flecke ermitteln. Jede Zeichnung muß mit den wichtigsten Beobachtungsdaten versehen werden:

- Name des Beobachters,
- Objektivdurchmesser und -brennweite des Fernrohrs,
- Vergrößerung, Sichtbarkeitsbedingungen,
- Datum und Uhrzeit der Beobachtung (angeben, ob MEZ oder MESZ!),
- Zahl der Fleckengruppen,
- Zahl der insgesamt (in allen Gruppen) vorhandenen Flecke.

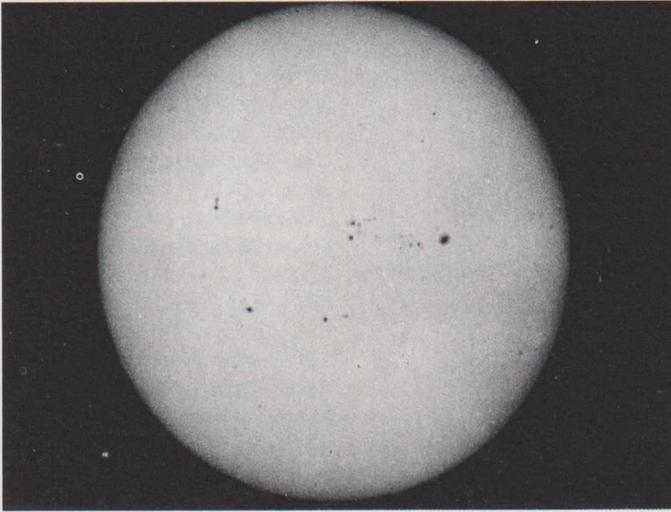
Für die Sichtbarkeitsbedingungen verwenden wir eine »Zensurenkala«. Die »1« wird erteilt, wenn der Sonnenrand ruhig und scharf zu sehen ist, die Flecke deutlich in Kern und Hof unterschieden werden können und in den Randzonen der Sonne die Fackelgebiete kräftig hervortreten. Eine »5« gibt es bei heftig

chen unter und wieder auf. An manchen Stellen brechen Magnetfelder aus dem Innern hervor. An diesen Stellen ist die Temperatur bis zu 2500 K niedriger als in der Umgebung, deshalb erscheinen sie dunkler (Bild 111).

Sonnenflecke zeigen eine auffällige Struktur. Ein dunkler Kern (Umbra) wird von einem etwas helleren Hof (Penumbra) umgeben; die Penumbra ist häufig durch radial nach außen verlaufende hellere Linien gegliedert. Liegen mehrere Umbren nahe beieinander, dann werden sie von einer gemeinsamen Penumbra umgeben. Die Umbren liegen am tiefsten in der Oberflächenschicht der Sonne. Große Flecken zeigen, wenn sie durch die Sonnenrotation an den Rand der Sonnenscheibe geführt werden, eine merkwürdige Formänderung. Am



110 Mit einer solchen Skizze wird das Sonnenbild orientiert.



111 Die Sonne, in Okularprojektion fotografiert. Frank Andreas gewann diese Aufnahme zur Zeit des Sonnenfleckenmaximums.

wallendem Sonnenrand und ineinander verschwimmenden Fleckenstrukturen. Wer seine Sonnenbeobachtungen auswerten will, sollte die, die mit »5« bewertet wurden, außer acht lassen.

Zur Auswertung jeder Zeichnung gehört die Berechnung der Sonnenfleckenrelativzahl  $r$ . Sie ist ein Maß für die jeweilige Sonnenaktivität und ergibt sich aus der Gleichung

$$r = 10 \cdot g + f,$$

wobei  $g$  die Anzahl der Gruppen und  $f$  die Gesamtzahl der in allen Gruppen enthaltenen Einzelflecke bedeutet. Isoliert stehende Einzelflecke gelten als eine Gruppe mit einem Fleck. Die Größen der einzelnen Flecke spielen dabei keine Rolle.

Beispiel: Beobachtet werden 32 Flecke, die in 4 Gruppen angeordnet sind, sowie 2 einzelne, keiner Gruppe zuzuordnende Flecke. Wir rechnen:

$$g = 6; \quad f = 34; \quad r = 10 \cdot 6 + 34 = 94.$$

Die Sonnenfleckenrelativzahl dieses Tages beträgt 94.

Wenn wir unsere Relativzahlen mit denen anderer Beobach-

einfachsten, man stellt sich vor, die Flecken hätten die Form eines »Suppentellers«: Dann ist die Umbra der Tellerboden, die Penumbra der Tellerrand (Bild 112).

Bei Sonnenbeobachtungen mit dem Projektionsschirm fällt auf, daß die Randzone des Sonnenbildes weniger hell ist als die Mitte. Ganz allmählich nimmt von innen nach außen die Helligkeit ab. Das kommt daher, daß wir in der Mitte des Sonnenbildes in tiefere, heißere und deshalb intensiver leuchtende Schichten der Sonne hineinsehen können als am Rande.

Sonnenflecke sind aber nur eine Erscheinungsform der Sonnenaktivität. In den Gebieten, in denen magnetische Felder nach außen treten, kann man auch überhitzte



112 Der Sonnenfleck als »Suppenteller«

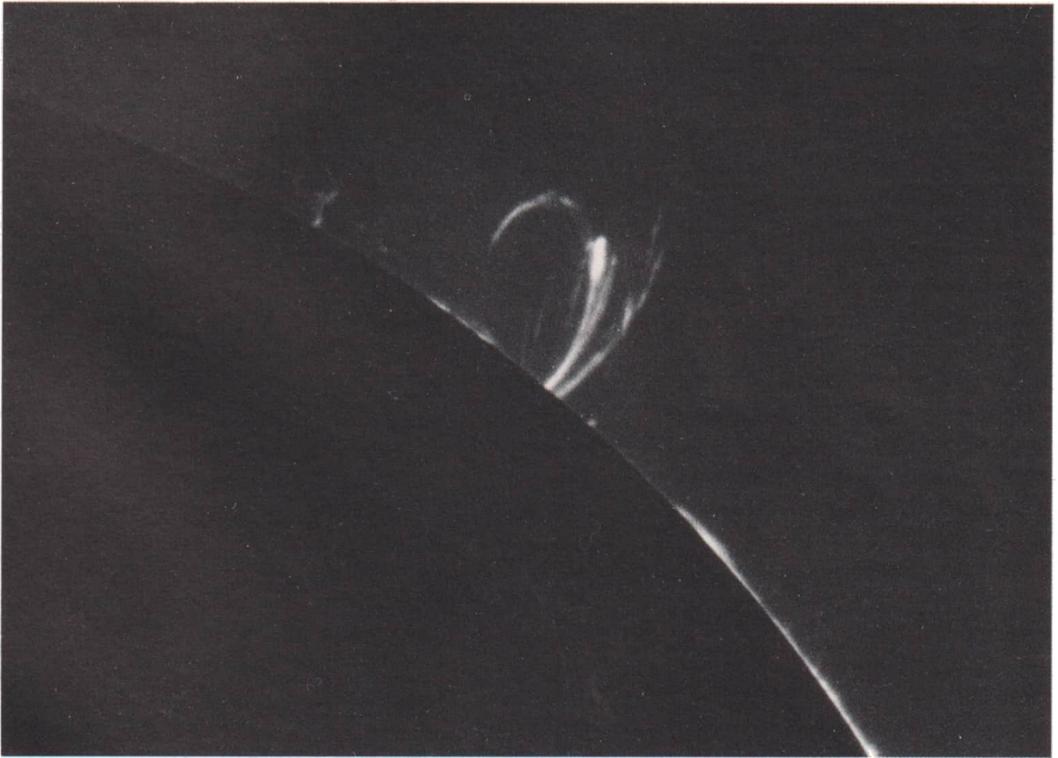
113 Prager Astronomen fotografierten mit einer Spezialkamera den Sonnenrand. In der bogenförmigen Protuberanz vermeint man die magnetischen Feldlinien wiederzuerkennen.

ter vergleichen, werden wir im allgemeinen keine Übereinstimmung feststellen. Das ist auch nicht zu erwarten, denn die beobachtete Relativzahl hängt immer von der Größe und Qualität des Instruments, den Erfahrungen des Beobachters, der Tageszeit und – in bedeutendem Maße – von den meteorologischen Bedingungen des Beobachtungsortes ab. Mancher Beobachter kann einen kleinen Fleck, den ein anderer sieht, unter seinen Bedingungen schon nicht mehr erkennen.

Um dennoch die Relativzahlen verschiedener Beobachter miteinander vergleichen zu können, werden die Sonnenbeobachtungen, die wissenschaftlichen Auswertungen dienen sollen, mit einem Reduktionsfaktor multipliziert. Amateurastronomische Arbeitskreise und Vereinigungen geben über dieses Verfahren gern Auskunft und sind auch in der Lage, das Zahlenmaterial zur Bestimmung dieses Reduktionsfaktors für jeden Beobachter bereitzustellen.

Langfristig – über Jahre hinweg – fortgesetzte Sonnenbeobachtungen machen deutlich, daß die Sonnenaktivität einer auffälligen Schwankung mit 11jähriger Periode unterliegt. Zeiten großer Sonnenaktivität, in denen der Bereich beiderseits des Sonnenäquators reichlich mit Flecken besetzt ist, wechseln mit Zeiten ausgesprochen dürftiger Fleckenerscheinungen. Bei einem solchen »Sonnenfleckenninimum« kann es auch vor-

Bereiche, die Sonnenfackeln, beobachten. Wir sehen sie auf dem Projektionsschirm am Sonnenrand. Bei Sonnenfinsternissen wird deutlich, daß Materie auch in größere Höhen ausgeschleudert wird. Bei diesen Gasausbrüchen, die der Astronom als Protuberanzen bezeichnet (Bild 113), wird der Materietransport ebenfalls durch Magnetfelder gesteuert. Und schließlich können aktive Gebiete auf der Sonne Ausgangsorte von Sonnen-eruptionen werden. Das sind Strahlungsausbrüche, die in der Sonnenatmosphäre auftreten und bei denen in einem Zeitraum von wenigen Minuten bis zu anderthalb Stunden enorme Energiemengen freigesetzt werden. Eruptionen können meist nur mit speziellen Beobachtungsgeräten sichtbar gemacht werden, sie lassen sich aber auch an verschiedenen anderen Erscheinungen nachweisen.



kommen, daß die Sonne mitunter über einen längeren Zeitraum ganz und gar fleckenlos erscheint. Sonnenfleckenmaxima wurden z. B. in den Jahren 1968/69 und 1979/80 beobachtet, Minima in den Jahren 1964 und 1976.

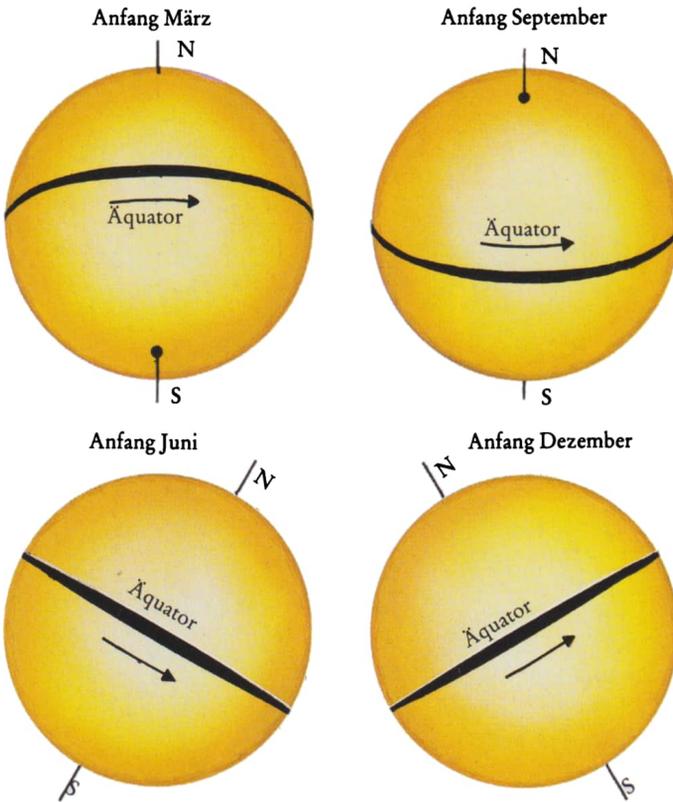
Reihenbeobachtungen der Sonnenflecke zeigen schon nach wenigen Tagen, daß die Sonne um ihre Achse rotiert. Alle Flecke bewegen sich auf parallelen Bahnen, aber nicht immer handelt es sich um parallele Geraden.

Was ist mit der Sonne los? Schaukelt sie hin und her? Nur Anfang Juni und Anfang Dezember bewegen sich die Sonnenflecke auf Geraden »über die Sonnenscheibe hinweg«. Im Frühling sind dagegen die Bahnen stark nach Norden hin gewölbt, Anfang September schlagen die Flecke einen Umweg nach Süden ein. Schon eine Woche Beobachtungszeit genügt, um das auf unseren Zeichnungen deutlich nachzuweisen.

Die Sonne rotiert. Ihre Achse ist gegen die Blickrichtung Erde – Sonne geneigt, und deshalb sehen wir den Sonnenäquator in den verschiedenen Jahreszeiten in verschiedenen Stellungen. Im Herbst blicken wir mehr auf die Nordhalbkugel der Sonne, im Frühling auf die Südhalbkugel (Bild 114); die Sonnenachse erscheint in diesen extremen Stellungen um  $7,25^\circ$  auf uns zu bzw. von uns weg gekippt.

Die bei einer Eruption verstärkt von der Sonne ausgehende Ultraviolett- und Röntgenstrahlung kann z. B. den Weitstrecken-Funkverkehr im Kurzwellenbereich beträchtlich stören. Auch die Teilchenstrahlung der Sonne, die vor allem aus Protonen und Elektronen besteht, wird bei einer Eruption verstärkt. Die Teilchen brauchen für den Weg von der Sonne zur Erde zwischen 20 Stunden und 2 Wochen (das Licht dagegen nur 8,3 Minuten); sie verursachen Polarlichter in der Erdatmosphäre und Störungen des Erdmagnetfeldes.

Unsere Sonne – ein Stern wie alle anderen Sterne? Mit ausgeklügelten Beobachtungsmethoden konnte im Jahre 1983 nachgewiesen werden, daß nicht nur die Massen, die Durchmesser und die Temperaturen vieler anderer



114 Die Rotationsachse der Sonne steht schräg!

Von großem Interesse ist die Verteilung der Flecke bzw. Fleckengruppen auf die Nord- und die Südhalbkugel der Sonne. Darüber gewinnt man Aussagen, indem man die Relativzahlen für beide Halbkugeln getrennt bestimmt. Eine weitere interessante Einzelheit ist, daß die ersten Flecke nach einem Sonnenfleckenminimum immer weit vom Sonnenäquator entfernt auftreten. Im Laufe der folgenden Jahre verschiebt sich die Zone, in der die meisten Flecke zu beobachten sind, immer mehr zum Sonnenäquator hin, und zwar nähert sie sich ihm von Norden und von Süden her. Die letzten Flecke, kurz vor dem Minimum, sind dann in unmittelbarer Äquaturnähe zu finden. Nicht selten treten schon zu diesem Zeitpunkt die ersten Flecke des neuen Zyklus auf. Wegen ihres großen Abstands vom Sonnenäquator kann man sie leicht von den »Resten« des vergangenen Zyklus unterscheiden.

Eine Umdrehung der Sonne um ihre Achse dauert 27 bis 28 Tage. Wer die Veränderungen auf der Sonnenoberfläche über längere Zeiträume hinweg verfolgen will, muß deshalb die Zeichnungen miteinander vergleichen, die in diesen Zeitabständen gewonnen wurden, also z. B. die vom 11. März mit der vom 7. April und mit der vom 5. Mai. Langlebige Fleckengruppen lassen sich dann wiederfinden, und ihre Veränderung kann beurteilt werden.

### Immer wieder der Mond

Bei allen Beobachtungen mit dem Fernglas spielte der Mond die unumstrittene Hauptrolle. Man konnte sich nicht satt sehen an der Vielgestaltigkeit seiner Oberfläche, an den Veränderungen, die der wechselnde Schattenwurf Tag für Tag, ja sogar von Stunde zu Stunde hervorbrachte. Natürlich werden wir nun auch das größere Fernrohr zum Mond richten und die Welt unseres Erdtrabanten auf uns wirken lassen. Wir finden alles wieder: Mare-Gebiete und Hochländer, letztere mit reicher Kraterstruktur, das »aschgraue Licht«, die Kettengebirge, die hellen Strahlen – und wir finden auch bestätigt, daß bei Vollmond die Plastik der Landschaft kaum in Erscheinung tritt. Auch mit dem größeren Instrument muß also die Zeit der günstigsten Sichtbarkeit einer Einzelheit abgepaßt werden; das Detail muß dazu nahe der Lichtgrenze liegen.

Wir wagen uns nun an einige schwierigere Objekte, um den Mond noch besser kennenzulernen. Die Mondkarten auf den Seiten 176 bis 179 sind eine gute Hilfe beim Aufsuchen.

**Rillen.** Ganz schmale, oft nur 1 km breite aderförmige Risse in der Mondoberfläche werden Rillen genannt. Wahrscheinlich sind sie durch Zerrungen in der Mondkruste oder durch Lava-

Sterne den entsprechenden Größen der Sonne ähnlich sind, sondern daß auch Aktivitätserscheinungen bei anderen Sternen auftreten: Flecke, Protuberanzen und Eruptionen wurden beobachtet. Ja, sogar die zeitliche Änderung der Röntgenstrahlung bei einer Eruption auf einem Stern stimmt mit dem bei Sonneneruptionen beobachteten Verlauf überein. Es bleibt also dabei: Die Sonne ist ein Stern.

### Mehr über die Mondoberfläche

Solange man den Mond nur aus der Ferne, d. h. von der Erde aus, erforschen konnte, waren Einzelheiten von weniger als einigen hundert Metern Durchmesser auf seiner Oberfläche nicht auszumachen. Aber es bedeutete keine große Überraschung für die Astronomen, als die ersten Mondsonden ihre Bilder zur Erde funkten. Die Mondoberfläche erwies sich fast völlig mit Kratern und Kraterchen unterschiedlichster Durchmesser bedeckt. Von mehreren hundert Kilometern bis zu wenigen Zentimetern Durchmesser reichen die Vertiefungen, die von kosmischen Geschossen auf dem Mond verursacht wurden. Ja, sogar auf einzelnen Steinen finden sich Einschläge kleinster Meteorite, vielfach nur unter dem Mikroskop erkennbar.

Manche Mondkrater kann man nur sehen, wenn die Sonne über dem betreffenden Gebiet sehr tief steht. Darin ähneln sie den flachen Hügelketten, und wie diese befinden sie sich vorwiegend in den Mare-Gebieten. Es sind Krater, die von Lava überflutet wurden, als das Mare-Becken vollief.

Nur mit sehr guter optischer Ausrüstung können die *Dome* auf der Mondoberfläche von der Erde

flüsse unter der Oberfläche des Mondes entstanden. Die Rillen sind zwar nicht tief (nur bis etwa 100 m), aber sie können Längen von mehreren hundert Kilometern erreichen. Manche Rillen bestehen zum Teil oder gänzlich aus aneinandergereihten kleinen Kratern.

Die bekannteste Rille auf dem Mond ist die nach einem Krater (den sie durchquert) benannte Hyginus-Rille im Mare Vaporum. Sie ist am besten etwa zur Zeit des Ersten Viertels oder des Letzten Viertels zu sehen. Über andere gut beobachtbare Rillen gibt die folgende Tabelle Auskunft:

| Rille             | Nahe gelegener Krater | Am besten sichtbar     |
|-------------------|-----------------------|------------------------|
| Ariadaeus-Rille   | Agrippa               | 7 (22) d nach Neumond  |
| Triesnecker-Rille | Rhaeticus             | 7 (22) d nach Neumond  |
| Schröters Tal     | Herodot               | 12 (26) d nach Neumond |

*Die »Lange Wand«.* Zwischen den Kratern Arzachel und Pitatus befindet sich die »Lange Wand«, in modernen Mondkarten als »Rupes Recta«, Gerade Furche, bezeichnet. Es ist eine Stufe, deren Hang bis 300 m hoch ist und die sich über 96 km weit geradlinig in das Mare Nubium hinein erstreckt. Sie ist am besten um den 8. bzw. 23. Tag nach Neumond zu erkennen.

*Das Alpenquertal.* Die Mondalpen werden von einem etwa 10 km breiten und 170 km langen Tal durchschnitten. Es erweckt den Eindruck, als habe ein streifendes Geschöß eine riesige Schneise durch das Gebirge geschlagen, die eine Verbindung zwischen dem Mare Imbrium und dem schmalen Hochlandstreifen zwischen Alpen und Mare Frigoris schafft. Die Gegend befindet sich etwa am 7. bzw. am 22. Tag nach Neumond an der Lichtgrenze und damit im Bereich der besten Sichtbarkeit.

Unweit des Quertales in den Alpen, schon im Bereich des Mare Imbrium, finden wir übrigens den einzeln stehenden Berg Piton. Er liegt auf dem gleichen Mond-Breitenkreis wie der Krater Cassini, der durch zwei kleine Krater innerhalb seines großen Ringwalles auffällt. Piton ist über 2200 m hoch und durch seinen spitzen, langen Schatten ein auffallendes Objekt.

*Hügelketten.* Während die Krater mit ihren scharfen Schlagschatten bereits im Fernglas zu sehen sind, benötigt man zur Beobachtung der flachen, langgestreckten Hügelketten in den Mare-Gebieten unbedingt das größere Fernrohr. Ganz niedri-

aus gesehen werden. Das sind Aufwölbungen, die wie Blasen aus dem Mondboden herauswachsen. Mit Durchmessern bis zu 20 km haben sie zwar ganz ansehnliche Ausmaße, aber die Hänge sind nur um 1° bis 3° gegen die Waagerechte geneigt. Die Vorstellung von »Blasen« trifft die Realität recht gut, denn die Fachleute halten tatsächlich innere – vulkanische – Kräfte für die Entstehung der Dome für verantwortlich. Die Hügelketten, die wir mit unserem Fernrohr beobachten können, haben ähnliche Hangneigungen.

Das Material der Mondoberfläche ist staubig bis sandig und kann verhältnismäßig leicht geformt werden. Die Fußabdrücke der amerikanischen Astronauten und die Radspuren der unbemannten sowjetischen Mondautos, die sich in den Jahren um 1970 in die Mondoberfläche einprägten, waren und sind tief und dauerhaft. Dieses Material, Regolith genannt, bedeckt den felsigen Untergrund in einer Schicht von unterschiedlicher Mächtigkeit. In den Mare-Gebieten kann sie mehrere Meter dick sein. Regolith ist zerkümmertes Mondgestein. Meteorite und Teilchenstrahlung hoher Energie – von der Sonne und aus den Tiefen des Weltalls – haben über Jahrmilliarden lang darauf eingewirkt. Größere Gesteinsbrocken brachten beim Aufschlag so viel Energie mit, daß das auftreffende und das getroffene Gestein bis zum Schmelzen erhitzt wurde. Es entstanden glasige Gebilde. Im Regolith, der zur genaueren Analyse vom Mond zur Erde gebracht wurde, hat man sie in großer Zahl gefunden.

Leben gibt es auf dem Mond nicht. Die ersten Lebewesen, die je den Mond betraten, waren Neil Armstrong und Edwin Aldrin. Das war am 20. Juli 1969 um

ger Sonnenstand über dem betreffenden Gebiet ist eine weitere wichtige Voraussetzung, denn nur wenn eine solche Formation auf der einen Seite hell beleuchtet ist und auf der sonnenabgewandten Seite schon im eigenen Schatten liegt, kann man sie sicher erkennen. Sehr schöne Hügelketten finden wir im Sinus Iridum und in den angrenzenden Teilen des Mare Imbrium, aber auch in anderen Mare-Gebieten gibt es sie.

Welche Vergrößerung soll man zur Mondbeobachtung wählen? Wer die Auswahl hat, wird zur stärksten Vergrößerung greifen wollen, die sein Instrument hergibt. Man sollte aber immer daran denken, daß die Luftunruhe bei unangemessen starker Vergrößerung zum Verschwimmen der Einzelheiten führt. Wir beginnen deshalb stets mit einer mittleren Vergrößerung und steigern schrittweise. Unschärf dürfen die Formationen nicht werden, sonst geht die Freude am größeren Bild rasch verloren!

### Mit der Erde verwandt: Planeten

Von allen Planeten ist, wie wir schon wissen, die *Venus* unstrittig das auffallendste Objekt. Wenn sie morgens im Südosten oder abends über dem Westhorizont wie eine kleine Sonne strahlt, kann man kaum glauben, daß sie nur »verborgtes« Licht wiedergibt. Es ist aber so; die Änderungen ihrer Lichtgestalt beweisen es.

Mit dem Fernglas und dem kleinen Fernrohr konnten wir die Phasen, die Lichtgestalten der Venus, gerade erkennen. Man sollte meinen, das größere Instrument ermögliche uns nun endlich die Beobachtung von Einzelheiten auf der Planetenoberfläche. Das erweist sich jedoch als vergebliche Hoffnung, denn das, was wir als »Oberfläche« der Venus sehen, ist in Wirklichkeit eine undurchsichtige, helle Wolkendecke. Sie zeigt nur im ultravioletten Licht eine deutliche, und zwar streifige Struktur. Optische Beobachtungen von der Erde aus lassen keinerlei Einzelheiten erkennen. Nur in Ausnahmefällen wollen Beobachter an sehr großen Fernrohren ganz zarte Schattierungen auf der Venus wahrgenommen haben.

Mit den Oberflächeneinzelheiten auf der Venus ist es also nichts. Dafür bietet die wechselnde Gestalt des Planeten einige reizvolle Beobachtungsaufgaben für Amateure an größeren Fernrohren: das »Übergreifen der Hörnerspitzen« und die Venus-Dichotomie.

An der ganz schmalen, großen Venussichel, kurz vor oder kurz nach der unteren Konjunktion, fällt nämlich auf, daß der Sichelbogen größer ist als  $180^\circ$  (Bild 115). Diese Erscheinung dürfte aus einfachen geometrischen Gründen eigentlich gar

$21^{\text{h}17^{\text{min}}}$  MEZ. Nur ein reichliches Jahr später, am 20. 9. 1970, landete die sowjetische Sonde Luna 16 auf dem Mond, nahm Gesteinsproben auf und kehrte damit zur Erde zurück. Aber seit Ende 1972 hat kein Mensch mehr den Mond betreten und seit 1976 keine automatische Sonde mehr den Mond besucht. Die erste Phase der raumfahrttechnischen Monderkundung ist vorläufig abgeschlossen, und für die nächste Etappe lassen sich die Experten nicht in die Karten gucken. So bleibt der Mond vorläufig, was er auch in früheren Jahrzehnten war: unser schönstes Fernrohrobjekt.

### Die Geschwister der Erde

Es war einmal, vor 4 bis 5 Mrd. Jahren, eine umfangreiche Nebelwolke im Weltall. Ihre Masse war so groß, daß die Gravitationskraft diese Wolke sehr stark zusammendrücken konnte. Im Zentrum entstand eine dichte und heiße Konzentration, die »Ursonne«; um dieses Zentrum herum lagerte sich eine flache Nebelscheibe. Die Temperatur in der Scheibe dürfte innen etwa  $3000^\circ\text{C}$ , ganz außen jedoch nur  $-250^\circ\text{C}$  betragen haben.

Sicher hat der »Sonnenebel«, wie die Astronomen dieses Ausgangsmaterial für die Bildung der Planeten nennen, etwa die gleiche chemische Zusammensetzung gehabt, wie wir sie von den äußeren Schichten der Sonne kennen: Etwa drei Viertel der Masse sind Wasserstoff, etwa ein Viertel Helium; und alle anderen chemischen Elemente zusammen machen nur wenige Prozent der Masse aus. In diesem Material liefen vielfältige chemische Reaktionen ab, und manche der dabei

nicht auftreten; der Grund dafür, daß das Unmögliche möglich wurde, liegt im Vorhandensein der Venusatmosphäre. Darin wird das Licht gestreut, und dieses gestreute Licht erhellt auch jene Bereiche der Venusatmosphäre, die theoretisch im Dunkel liegen müßten. Das Übergreifen der Hörnerspitzen der Venussichel kann so drastisch ausgeprägt sein, daß man die unbeleuchtete Venusseite von einem schmalen Ring umgeben sieht.

Als Dichotomie bezeichnet man die Halbphase bei Mond, Merkur und Venus. Den »Halbmond«, der in der Astronomie Erstes oder Letztes Viertel heißt, kennt jeder. Bei Merkur kann die Halbphase wegen des geringen scheinbaren Planetendurchmessers und wegen des geringen Winkelabstands des Planeten von der Sonne mit Amateurfernrohren nur mit Mühe erfaßt werden. Demgegenüber ist die Bestimmung des genauen Zeitpunkts der Venus-Dichotomie eine interessante Aufgabe.

Aus der Bahngeometrie läßt sich sehr leicht ableiten, daß die Dichotomie immer dann eintreten muß, wenn der Winkel Sonne – Venus – Erde genau  $90^\circ$  beträgt (Bild 116). Zu dieser Zeit hat die Venus einen Winkelabstand von mehr als  $40^\circ$  von der Sonne; sie ist also relativ lange vor Sonnenaufgang bzw. nach Sonnenuntergang sichtbar.

Wir beobachten die Venus mit mindestens 70facher Vergrößerung und zeichnen nach Möglichkeit täglich den Verlauf der sichtbaren Lichtgrenze in vorbereitete Umrisse (Kreise von 3 bis 4 cm Durchmesser mit einem rechtwinkligen Durchmesserkreuz, wie Bild 117 zeigt). Mit der Beobachtungsreihe wird begonnen, wenn – vor der unteren Konjunktion – die Venus noch deutlich mehr als halb beleuchtet ist, sie wird erst beendet, wenn der Planet schon eine ganz eindeutige Sichelgestalt zeigt.

Zu jeder Zeichnung vermerken wir Datum und Uhrzeit der Beobachtung und »zensieren« die Sichtbarkeitsbedingungen. Für ein einwandfrei scharfes, ruhiges Fernrohrbild wird die Note »1« erteilt; bei stark flimmernder Luft, die nur blickweise die Gestalt des Planeten erkennen läßt, eine »5«.

Zur Auswertung messen wir auf allen Zeichnungen die Strecke  $x$  und den Radius  $r$  und errechnen für jede Zeichnung die Winkel  $\varphi$  und  $i$ . Den ersteren erhalten wir aus der Gleichung

$$\frac{x}{r} = \sin \varphi.$$

Für den Phasenwinkel  $i$  gilt die Beziehung

$$i = 90^\circ - \varphi,$$

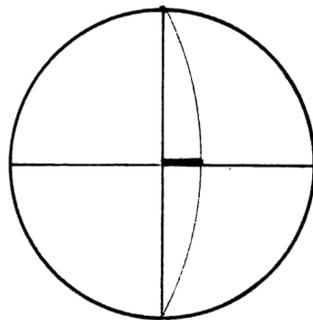
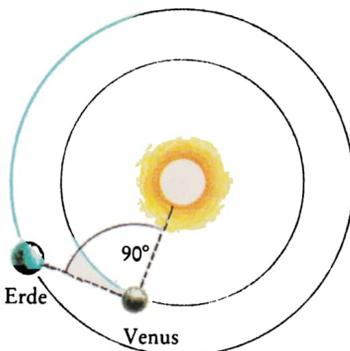
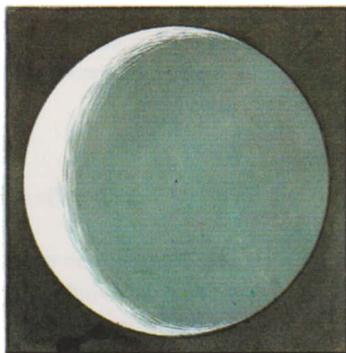
wenn die Venus mehr als zur Hälfte beleuchtet ist. Ist sie weniger als halb beleuchtet, dann rechnen wir

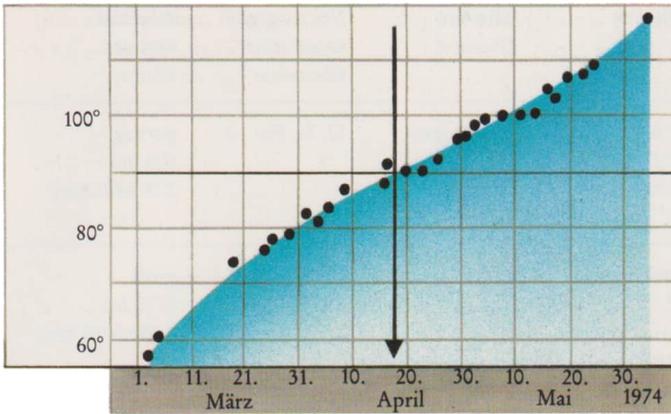
$$i = 90^\circ + \varphi.$$

115 Bei ganz schmaler Venussichel greifen die »Hörnerspitzen« auf die unbeleuchtete Seite über.

116 Wenn die Verbindungslinie Erde – Venus senkrecht auf der Linie Sonne – Venus steht, müßte man eigentlich die Venus als Halbmond sehen.

117 Eine Venuszeichnung aus der Beobachtungsreihe





118 Die Beobachtungen werden graphisch ausgewertet: Venusdichotomie am 18. April 1974.

Schließlich fertigen wir ein Diagramm an, auf dessen waagerechter Achse die Zeit (d. h. das Datum) und auf dessen senkrechter Achse der berechnete Phasenwinkel  $i$  aufgetragen wird (Bild 118). Durch die Punkte wird eine glatte Kurve gelegt. Das Datum der Dichotomie ist der Tag, an dem diese Kurve die  $90^\circ$ -Linie schneidet.

Eigenartigerweise stimmt dieses Datum nicht mit dem geometrisch – aus den Bahnen von Venus und Erde – ermittelten Datum der Halbphase überein. Venus müßte gerade an dem Tage zur Hälfte beleuchtet erscheinen, an dem der Winkel Sonne – Venus – Erde den Wert von  $90^\circ$  erreicht. Die Beobachtungen zeigen aber, daß wir sie in Halbphase sehen, wenn sie in Wirklichkeit noch mehr als 50% (meist 55 bis sogar 60%) beleuchtet ist. Die Zeitdifferenz ist sehr von den Beobachtungsbedingungen abhängig; sie liegt im allgemeinen zwischen 10 und 20 Tagen.

Ursache für die zeitliche Abweichung der beobachteten von der geometrischen Dichotomie ist, daß die Helligkeit in der Nähe der Lichtgrenze auf der Venus stark abfällt. Wir nehmen deshalb eine Grenzlinie dort wahr, wo sie sich in Wirklichkeit gar nicht befindet. Beobachtungen mit einem Farbglas können diese Probleme zwar nicht beseitigen, wohl aber mildern.

Innerhalb der Venusbahn zieht der *Mercur* seinen Weg um die Sonne. Er ist nur schwer aufzufinden und läßt auch im Amateurfernrohr außer seiner – meist schlecht wahrnehmbaren – Phase keine Einzelheiten erkennen.

*Mars*, der rote Planet, zeigt Oberflächeneinzelheiten erst bei mindestens 50facher Fernrohrvergrößerung. Um aber mehr als einen hellen Fleck auf der kleinen Planetenscheibe auszumachen, bedarf es schon 100- bis 120facher Vergrößerung. Auch bei Mars ist, wie bei der Venus, der scheinbare Durchmesser stark veränderlich. Befindet er sich diesseits der Sonne oder gar in Opposition, dann kann der scheinbare Scheibendurchmesser bis auf  $25''$  anwachsen; jenseits der Sonne und nahe der

entstandenen Substanzen bildeten kleine Flüssigkeitströpfchen oder auch feste Teilchen. So wandelte sich der Nebel zu einem Gas-Flüssigkeit-Staub-Gemisch. In dem heißen inneren Bereich, in dem sich heute die Planeten Merkur und Venus bewegen, konnten sich nur sehr hitzebeständige Verbindungen und Elemente ausscheiden. Demgegenüber war bei hinreichend tiefen Temperaturen ( $-70^\circ\text{C}$  und darunter) in den äußeren Regionen des Sonnennebels der Wasserstoff in Form verschiedener chemischer Verbindungen das bestimmende Element. So stellte sich allmählich eine von innen nach außen verlaufende Schichtung der chemischen Zusammensetzung ein, die für die entstehenden Planeten außerordentlich große Bedeutung erlangen sollte.

Wenn wir heute die Planeten unserer Sonne miteinander vergleichen, dann fällt außer beträchtlichen Unterschieden der Durchmesser, Massen und Dichten auch eine recht ungleiche chemische Zusammensetzung auf. Die inneren vier Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars bilden offenbar eine von den nächstfolgenden vier Planeten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun stark verschiedene Gruppierung:

| Planeten | Durchmesser    | Massen        | Mittlere Dichten        | Vorrangige chemische Elemente | Abstand von der Sonne |
|----------|----------------|---------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Merkur   | relativ klein  | relativ klein | relativ groß            | O, Si, Fe                     | gering                |
| Venus    | (4 800 km bis  | (0,06 bis     | (4,0 bis                |                               | (58 bis               |
| Erde     | 12 800 km)     | 1 Erdmasse)   | 5,6 g/cm <sup>3</sup> ) |                               | 228 Mill. km)         |
| Mars     |                |               |                         |                               |                       |
| Jupiter  | relativ groß   | relativ groß  | relativ klein           | H, He                         | groß                  |
| Saturn   | (47 200 km bis | (14,5 bis     | (0,7 bis                |                               | (778 bis              |
| Uranus   | 143 500 km)    | 317,8 Erdmas- | 1,7 g/cm <sup>3</sup> ) |                               | 4 496 Mill. km)       |
| Neptun   |                | sen)          |                         |                               |                       |

Konjunktion erscheint uns der Planet nur als heller Fleck von weniger als 4" Durchmesser. Man wird also die Oppositionsnähe ausnutzen müssen, um Einzelheiten zu erspähen. Aber auch da gibt es Unterschiede! Wegen der sehr exzentrischen Lage der Marsbahn ist nämlich der Abstand Erde – Mars nicht bei jeder Oppositionsstellung gleich groß. Findet eine Marsopposition im sonnennahen Teil der Marsbahn statt, dann können wir mit einem erheblich größeren Fernrohrbild rechnen als – bei Verwendung der gleichen Vergrößerung – während einer Opposition im sonnenfernen Bahnabschnitt (Bild 120). Am günstigsten sind die Oppositionen, die in den Monaten August und September stattfinden, dann ist der Abstand Erde – Mars am kleinsten. Allerdings muß man in Kauf nehmen, daß sich Mars dann weit südlich des Himmelsäquators befindet und deshalb bei uns nur in geringen Höhen über dem Horizont zu sehen ist.

Die Entfernung Erde – Mars beträgt bei einer günstigen Opposition 57 Mill., bei einer ungünstigen 99 Mill. km. Die entsprechenden scheinbaren Durchmesser des Mars im Fernrohr sind 25" und 14" (Bild 119).

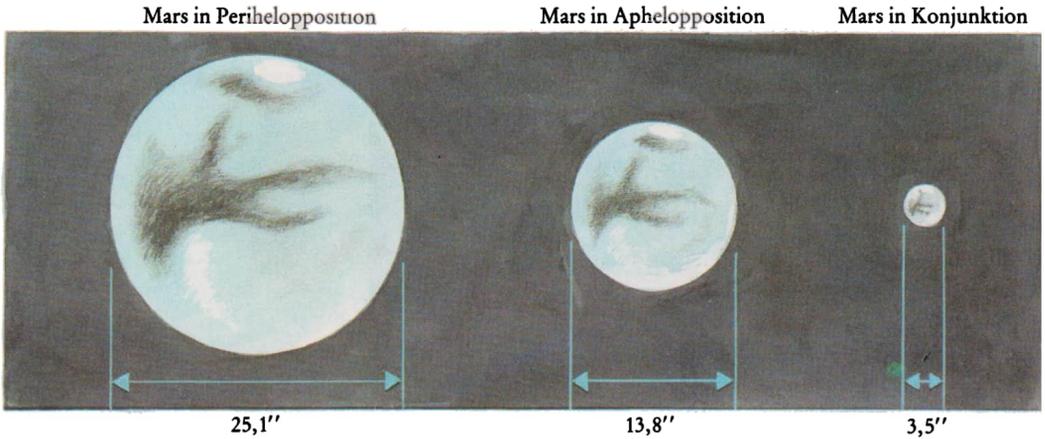
Verfolgt man über eine ganze Sichtbarkeitsperiode des Mars das Aussehen der uns zugewandten Polkappe, so kann man bei guten Beobachtungsbedingungen im Laufe der Zeit eine Vergrößerung oder Verkleinerung des weißen Flecks bemerken. Dazu genügt ein Fernrohr von 6 bis 8 cm Objektivöffnung.

Solche Wahrnehmungen deuten auf klimatische Veränderungen auf der betreffenden Marshalbkugel hin. Bei Erwärmung (im beginnenden Marssommer) schmilzt die aus gefrorenem Kohlendioxid und gewöhnlichem Wassereis bestehende Polkappe ab, bei zurückgehenden Temperaturen nimmt ihr Durchmesser wieder beträchtlich zu. Übrigens dauern die Jahreszeiten auf dem Mars etwa doppelt so lange wie auf der Erde.

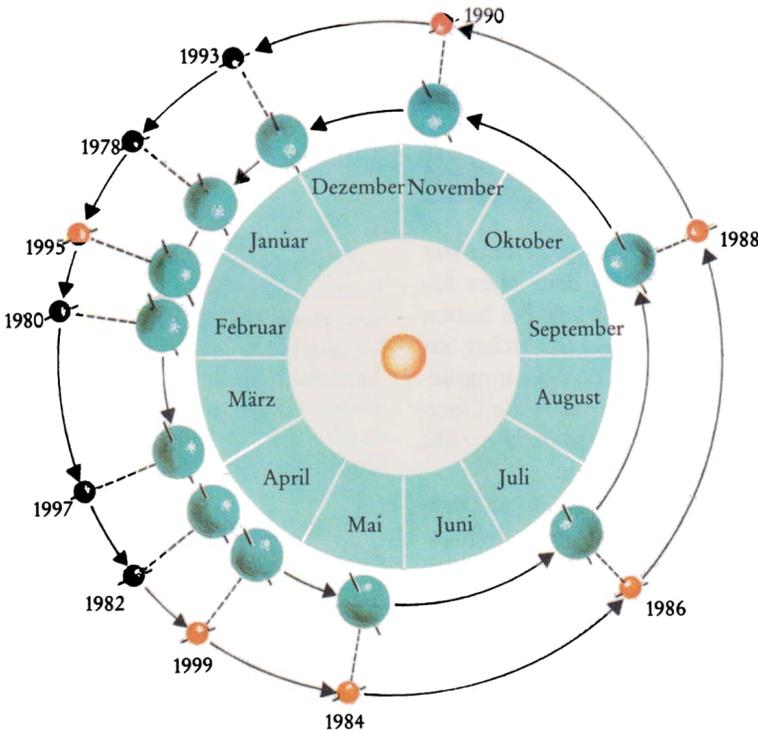
Bei stärkerer Vergrößerung sind auf dem Mars graue Flecken wahrzunehmen, deren Positionen sich auf der

Die erste Gruppe trägt die Bezeichnung »erdartige Planeten«, die zweite faßt die »jupiterartigen Planeten« zusammen. Für den sonnenfernsten Planeten Pluto läßt sich keine Zuordnung zu einer dieser beiden Gruppen festlegen. Dem Durchmesser und der Masse zufolge müßte er erdartig sein, aber Dichte, chemische Zusammensetzung und Sonnenabstand verweisen ihn in die Gruppe der jupiterartigen Planeten.

Wie kam es zu einer solchen Gruppierung? Im Sonnennebel ordnete sich das Material der nach außen hin abnehmenden Temperatur entsprechend an – und genau diese Anordnung wird uns in den drei letzten Spalten unserer Tabelle präsentiert! Die chemische Zusammensetzung der Planeten stellt also ein genaues Abbild der chemischen Zusammensetzung des einstigen Sonnennebels dar.

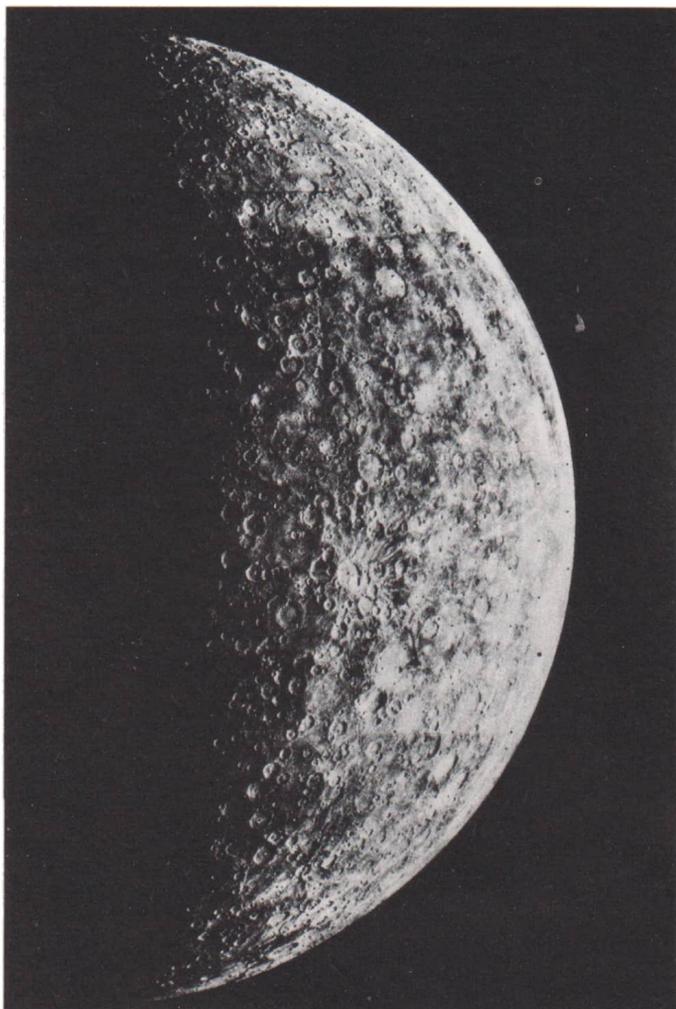


Mars»scheibe« im Laufe der Zeit langsam verändern. Diese Änderungen werden durch die Rotation des Mars hervorgerufen. Der Planet benötigt für eine Umdrehung um seine Achse 24 h 37 min, also fast genauso lange wie die Erde. Dennoch ist der Unterschied spürbar: Wenn sich die Erde einmal um ihre Achse gedreht hat, so daß der Mars für einen irdischen Beobachter wieder an der gleichen Stelle der Himmelskugel steht, hat der Mars nur 97 % einer vollen Umdrehung um seine Achse bewältigt. Schon nach ein bis zwei Wochen müssen deshalb die Details auf der Mars»scheibe« merklich verändert erscheinen.



119 Das ist die Folge der unterschiedlichen Entfernungen des Mars von der Erde: mal schön groß, mal unansehnlich klein.

120 Nicht alle Mars-Oppositionen bieten gleich günstige Beobachtungsbedingungen. Ideal: die Oppositionen von 1986 und 1988



121 *Wer sich nicht ganz genau auskennt, verwechselt ihn mit dem Mond: Nahaufnahme des Merkurs*

Wir dürfen aber keine zu großen Erwartungen betreffs der Deutlichkeit der Oberflächeneinzelheiten auf dem Mars hegen. Sie sind außerordentlich zart und können nur bei besten Sichtbarkeitsbedingungen und ganz ruhiger Luft sicher erkannt werden. Auch können – trotz bester Beobachtungsbedingungen – gewaltige Staubstürme auf dem Mars viele Oberflächeneinzelheiten für längere Zeit völlig auslöschen. Ein Orange- oder Rotfilter kann da sehr hilfreich sein.

Ein ganz anderes Ding ist es, wenn wir unsere Aufmerksamkeit auf die geometrische Gestalt der Mars»scheibe« richten. Zu bestimmten Zeiten erscheint der Planet nicht ganz kreisrund. Sein Anblick erinnert dann an den des Mondes kurz vor oder nach Vollmond. Wir beobachten hier tatsächlich die gleiche Erscheinung: Mars weist Phasen auf und wendet uns zuweilen einen kleinen Teil seiner unbeleuchteten Seite zu.

Automatische interplanetare Sonden haben Nahaufnahmen vom *Merkur* zur Erde übermittelt. Sie zeigen eine überraschende Ähnlichkeit mit Bildern der Mondoberfläche (Bild 121), und es gilt als sicher, daß auch die Oberfläche unserer Erde einmal so ähnlich ausgesehen hat. Alle erdartigen Planeten haben in der Frühphase ihrer Entwicklung viele Einschläge kosmischer Kleinkörper durchgemacht, als sie mit ihrer Gravitationskraft das noch nicht verbrauchte Material des Sonnennebels an sich rissen.

*Jupiter* zeigt sich schon bei 5- bis 8facher Vergrößerung als Scheibchen, und wenn wir ihn 40fach vergrößert betrachten, wird seine elliptische Gestalt deutlich sichtbar. Wegen seiner raschen Rotation – er benötigt für eine Umdrehung nur knapp 10 Stunden, rotiert also mehr als doppelt so schnell wie die Erde – ist der Jupiter über 20mal stärker abgeplattet als die Erde.

Auffälliger als alle Einzelheiten auf Jupiter selbst sind die vier hellen Monde, die ihn umlaufen. Ihr wechselvolles Spiel konnte schon mit dem Fernglas beobachtet werden. Bei der ständigen Änderung der Stellungen dieser Monde relativ zueinander und zu dem Planeten kommt es häufig vor, daß einer der Monde für einige Zeit unsichtbar ist. Er befindet sich dann möglicherweise im Schatten des Planeten; wir erleben eine Mondfinsternis auf Jupiter.

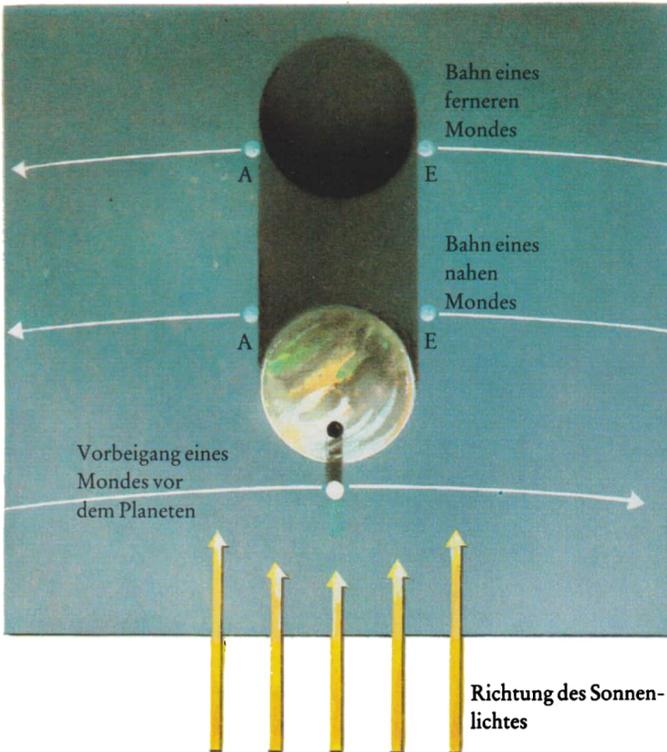
Das Fehlen eines Mondes im Fernrohrbild kann aber auch andere Gründe haben:

- Der Mond befindet sich hinter Jupiter, ohne im Schatten verfinstert zu werden (»Bedeckung«).
- Der Mond befindet sich vor dem Planeten und kann wegen des geringen Helligkeitskontrastes nicht gesehen werden (»Durchgänge«).

Bild 122 zeigt diese Situationen. Wenn allerdings der Schatten

Über die Oberflächengestalt der *Venus* wissen wir noch recht wenig. Radarbilder zeigen eine Kraterlandschaft, auf Aufnahmen aus unmittelbarer Nähe sind Felsbrocken und Geröll zu erkennen. Aber Übersichtsbilder, wie wir sie vom Mond und vom Merkur kennen, gibt es von der Venus noch nicht. Ihre Atmosphäre ist völlig undurchsichtig. Sie besteht zu 96 % aus CO<sub>2</sub>, die Wolken aus Schwefelsäure und festen Schwefelteilchen. Durch die »Treibhauswirkung« der Atmosphäre treten an der Venusoberfläche Temperaturen um 450 °C auf. Der Atmosphärendruck in Bodennähe ist rund 90mal so groß wie der Luftdruck am Erdboden.

Noch vor einem Vierteljahrhundert wurde vermutet, daß die Venus ein für die Entwicklung primitiver oder sogar höherer Formen des Lebens geeigneter Planet



122 Nicht immer sind alle vier hellen Jupitermonde zu sehen.

eines Mondes auf den Planeten fällt – also eine Sonnenfinsternis auf Jupiter stattfindet –, beobachten wir einen kleinen schwarzen Punkt, der langsam über den Planeten hinwegzieht. Gelegentlich wird dieser Schattenpunkt auch schon auf dem Planeten sichtbar, wenn der Mond noch seitlich neben Jupiter zu sehen ist. Das ist dann der Fall, wenn die Sonnenstrahlen den Jupiter von »weit rechts« oder »weit links«, relativ zu unserer Blickrichtung beurteilt, erreichen.

Durchgänge und Bedeckungen zeitlich genau zu erfassen, ist eine Aufgabe, die bei präziser Ausführung wissenschaftlich verwertbare Ergebnisse bringen kann. Man muß dazu aber so stark vergrößern, daß man die Monde als Scheibchen erkennt und in der Lage ist, die Zeiten der äußeren und der inneren Berührungen bis auf eine Sekunde genau zu bestimmen. Das erfordert ein Instrument mit mindestens 8 cm Objektivöffnung und 140facher Vergrößerung.

Nicht nur die Abplattung des Jupiter ist ein Zeichen für seine schnelle Rotation. Auch das streifige Aussehen der »Oberfläche« (die in Wahrheit eine Wolkenschicht ist) müssen wir auf die große Umdrehungsgeschwindigkeit zurückführen. Schon ein Fernrohr von 6 cm Öffnung macht sie uns sichtbar. Diese dunklen *Bänder*, die durch hellere *Zonen* voneinander getrennt sind, liegen parallel zum Jupiteräquator, besitzen aber

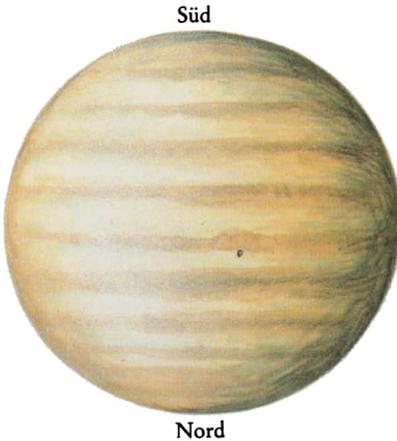
sei. Die Ergebnisse der Temperatur- und Druckmessungen haben diese Hypothese gründlich widerlegt. Als »Übergreifen der Hörner spitzen« der Venussichel können wir diese heiße und lebensfeindliche Atmosphäre auch im Amateurfernrohr wahrnehmen.

*Mars* galt über einen langen Zeitraum hinweg als erdähnlicher aller Planeten. Man vermutete auf ihm pflanzliches und auch tierisches Leben, ja sogar von »Marsmenschen« wurde ernsthaft gesprochen. Besonderen Anteil an diesen hochfliegenden Phantasien hatte die Entdeckung der Mars»kanäle«, schwacher, an der Grenze der Erkennbarkeit liegender gerader Linien, vor rund 100 Jahren. Manche Leute sahen in ihnen gigantische Bewässerungsanlagen, angelegt von intelligenten Marsbewohnern, um die großen Wüstenregionen des Planeten landwirtschaftlich zu nutzen.



123 Das kann kein Amateurfernrohr sichtbar machen: Wolkenwirbel in der Jupiteratmosphäre. Sie wurden aus 4,3 Mill. km Entfernung von der Planetensonde *Voyager 1* fotografiert.

Zonen  
SSTZ  
STZ  
STrZ  
EZ  
EZ  
NTrZ  
NTZ  
NNTZ



Bänder  
SPR  
SSTB  
STB  
SEB  
EB  
NEB  
NTB  
NNTB  
NPR

124 *Helle Zonen und dunkle Bänder auf Jupiter*

|                 |             |
|-----------------|-------------|
| N Nord          | E Äquator   |
| NN äußeres Nord | Tr tropisch |
| P Polar         | Z Zone      |
| T gemäßigt      | R Region    |
| S Süd           | B Band      |
| SS äußeres Süd  |             |

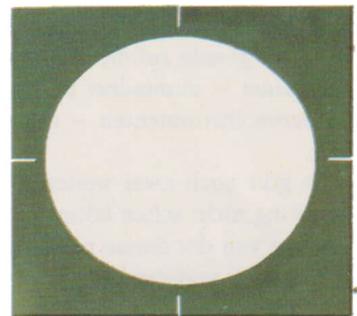
unterschiedliche Stärken und sind reich strukturiert. Nahaufnahmen der Pioneer- und Voyager-Sonden haben turbulente Bewegungen in den Bändern und Zonen enthüllt (Bilder 123 und 124).

Wir fertigen uns eine Zeichenschablone an, indem wir Bild 125 abpausen. Am Fernrohr tragen wir Lage und Aussehen der Bänder und Zonen auf dem Jupiter und insbesondere alle erkennbaren Details innerhalb dieser Streifen in die Schablone ein. Wenn wir nach 2 bis 3 Stunden diese Arbeit wiederholen, hat sich der Planet schon so weit um seine Achse gedreht, daß wir nunmehr gänzlich andere Strukturen innerhalb des Streifenmusters feststellen. (Nach 5 Stunden haben wir die vorher abgewandte Seite vor uns!)

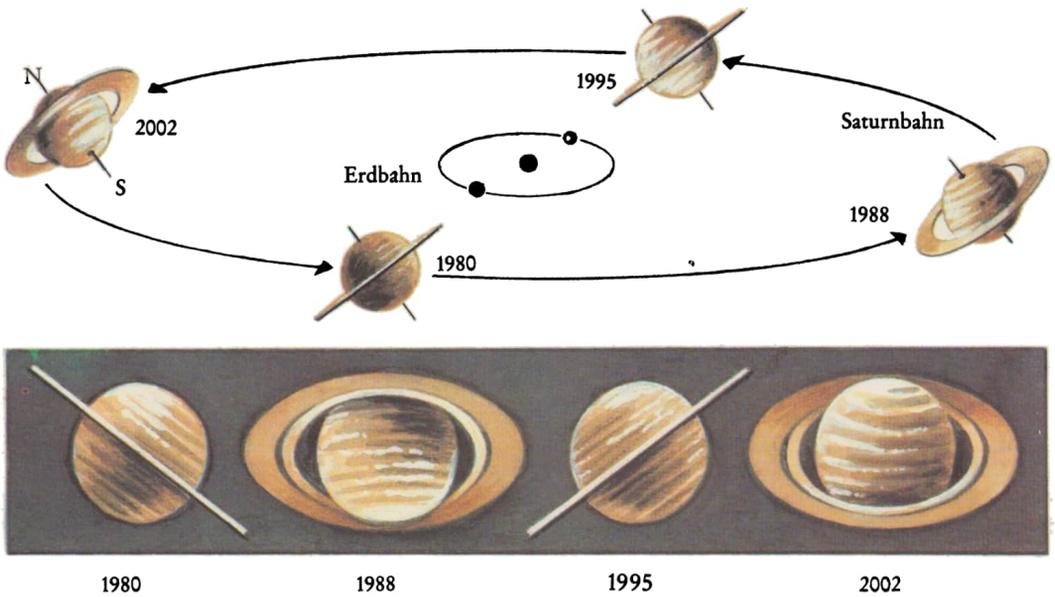
Innerhalb der Bänder und Zonen befinden sich hellere und dunklere Flecken, die ihren Ort relativ zueinander nur wenig ändern. Sie bewegen sich infolge der Jupiterrotation täglich 2mal über die uns zugewandte Seite des Planeten, so daß wir sie als Anhaltspunkte für die Eintragungen in unseren Skizzen verwenden können. Charakteristisch ist z. B. der »Große Rote Fleck«, auf der Südhalbkugel (also im umkehrenden Fernrohr oben) gelegen, der seit mehr als einem Jahrhundert ständig beobachtet wird und als großes Oval gesehen werden kann, dessen Färbung zwischen ziegelrot und weißlich wechselt. Übrigens bewegen sich bei der Jupiterrotation die dunklen Streifen in mittleren und höheren Breiten etwas langsamer als die in der Äquatorgegend; die Differenz beträgt pro Umdrehung 5 Minuten. Man bezeichnet die schneller rotierende Äquatorgegend als System I, den Bereich der dunkleren, detailreichen Bänder in mittleren Breiten als System II.

Daß der *Saturn* die stärkste Abplattung aller Planeten des Sonnensystems aufweist, wird einem Fernrohrbeobachter zu meist erst nach langer Zeit bewußt. Zu sehr fesselt das Bild des frei um den Planeten schwebenden Ringsystems die Aufmerksamkeit; und wenn die Venus ihres strahlenden Glanzes we-

Die Raumfahrttechnik hat auch diesen Vorstellungen ein jähes Ende bereitet. Seit Mitte der 60er Jahre wissen wir, daß die Kanäle nichts weiter sind als optische Täuschungen, die sich durch zufällige Anordnungen kleinerer Oberflächen einzelheiten ergeben. Kraterstrukturen wie auf dem Mond und dem Merkur zeugen auch auf dem Mars von einer vergangenen Zeit, in der kosmische Kleinkörper in großer Zahl auf den entstehenden Planeten niederstürzten. Aber auch Vulkanismus muß es auf unserem roten Nachbarplaneten zeitweilig gegeben haben. Hochaufgetürmte Vulkankegel, auf deren Hängen noch erstarrte Lavaströme zu sehen sind, machen dies deutlich.



125 *Umrißschablone für Jupiterzeichnungen. Man kann sie abpausen oder abfotografieren.*



gen als schönster Planet bei der Beobachtung mit dem bloßen Auge gilt, so ist es zweifellos der Saturn, der diesen Ruf bei den Fernrohrbeobachtern genießt.

Zur Zeit seiner größten Öffnung kann das Ringsystem schon mit 5 cm Objektivöffnung bei 20- bis 30facher Vergrößerung gesehen werden. Dann ist die Saturnkugel kleiner als der kleine Durchmesser der Ringellipse; das Ringsystem überragt den Planeten.

Wegen der gemeinsamen Bewegung von Saturn und Erde um die Sonne – wobei die Erde sich erheblich schneller bewegt als der fast 10mal so weit von der Sonne entfernte Saturn – fällt unser Blick aber nicht immer im gleichen Winkel auf die Ringe. Aus Bild 126 geht hervor, wie sich das auswirkt. In dem Maße, wie die Saturnringe, von der Erde aus gesehen, schmaler werden, benötigt der Beobachter ein immer größeres und leistungsfähigeres Fernrohr; und wenn der Blick von der Erde aus gerade auf die »Kante« des Ringsystems fällt, scheint der Planet – zumindest bei der Betrachtung in kleinen und mittleren Instrumenten – seinen Ring völlig verloren zu haben.

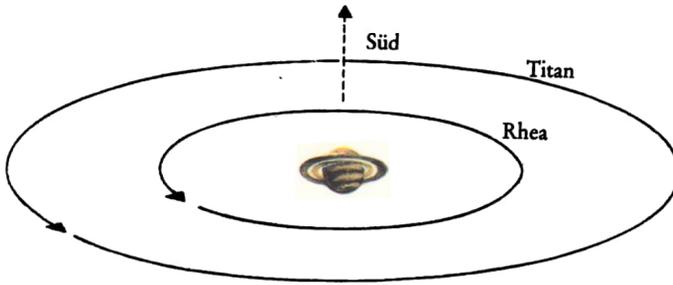
Es gibt noch zwei weitere Konstellationen, bei denen wir den Ring nicht sehen können, nämlich

- wenn von der Sonne nur seine »Kante« beleuchtet wird,
- wenn wir von der Erde aus auf seine nichtbeleuchtete Seite blicken.

Beide Stellungen können aber nur kurz vor oder nach dem Zeitpunkt eintreten, in dem wir von der Erde aus auf die »Ringkante« sehen.

Die Dicke des Saturnringsystems beträgt weniger als 1 km.

Daß der Mars eine merkliche Atmosphäre besitzen muß, war schon früher aus Fernrohrbeobachtungen erschlossen worden. Zuweilen zeigt sich nämlich der Planet so stark verschleiert, daß Einzelheiten der Oberfläche auch mit großen Instrumenten von der Erde aus nicht gesehen werden können. Völlig richtig schloß man daraus auf Staub- oder Sandstürme und Bewölkung. Zwar ist das letztere kaum von Bedeutung – nur dünne Zirkuswolken ließen sich feststellen –, aber die Staubstürme haben sich bestätigt. Wegen der auf dem Mars geringeren Schwerkraft, die im Vergleich zur Erde nur 38 % beträgt, können aufgewirbelte Staubteilchen stunden- oder sogar tagelang in der Schwebe gehalten werden. Der hohe Prozentsatz an Eisenverbindungen verleiht dem Material der Marsoberfläche eine rötliche Färbung, und der in der Atmosphäre schwebende Staub sorgt für einen rosa-roten Himmel (Bild 128). Der Atmosphärendruck beträgt  $\frac{1}{200}$  des irdischen Luftdrucks, die Temperaturen erreichen am Marsäquator mittags +17 °C, sinken aber nachts



Da der Planet zur Oppositionszeit rund 1,3 Mrd. km von der Erde entfernt ist, erscheinen die Ringe beim Blick auf die »Kante« unter einem Winkel von fünf Hundertmillionstel eines Grades, das sind 0,00018 Bogensekunden. Wenn man das mit dem Auflösungsvermögen seines Fernrohrs vergleicht ...

Mit stärkerer Vergrößerung können wir auch den Schatten beobachten, den die Saturnkugel auf den Ringen erzeugt. Er liefert uns einen Hinweis darauf, ob der obere oder der untere Teil der Ringe vor dem Planeten verläuft: Der Teil der Ringe, auf denen der Schatten erscheint, befindet sich auf der erdabgewandten Seite. Man kann den Schatten jedoch nicht immer sehen; zur Oppositionszeit liegt er genau hinter dem Planeten und wird durch diesen verdeckt. Vor der Opposition befindet er sich westlich (im umkehrenden Fernrohr links), danach östlich (rechts) vom Saturn.

Neben dem beeindruckenden Ringsystem kommen die Saturnmonde bei Amateurbeobachtungen häufig zu kurz. Sie erscheinen uns nicht – wie die Jupitermonde – in einer Geraden links und rechts des Planeten, sondern ihre Bahnen führen wirklich wie große Ellipsen rund um den Saturn herum (Bild 127).

Ein 5-cm-Fernrohr zeigt nur den hellsten Mond Titan, der den Planeten in 15,5 Tagen einmal umläuft und in der Opposition knapp die 8. Größenklasse erreicht. Mit 8 cm Objektivöffnung können wir auch die Rhea, den zweithellsten Saturnmond, beobachten. Rhea benötigt 4,5 Tage für einen Umlauf. Zeichnet man im Laufe der Zeit die beobachteten Stellungen beider Monde in vorgefertigte Skizzen ein, so ergeben sich die scheinbaren Bahnen dieser Himmelskörper.

Nun ist es aber an der Zeit, endlich auch einmal die Saturnkugel selbst in Augenschein zu nehmen. Eine exakte Kugel ist es keinesfalls; der Poldurchmesser ist um nicht weniger als 10% kürzer als der Äquatordurchmesser! (Bei der Erde beträgt die Differenz nur 0,3%.) Aber diese enorme Abplattung fällt, wie gesagt, erst einmal gar nicht auf. Das Ringsystem ist ja so beeindruckend! Daß der Saturn, vor allem wegen der größeren Entfernung von der Erde, im Fernrohr erheblich kleiner erscheint als Jupiter, empfindet man wegen des ausgedehnten Ringsystems ebenfalls zunächst fast gar nicht. Erst bei dem

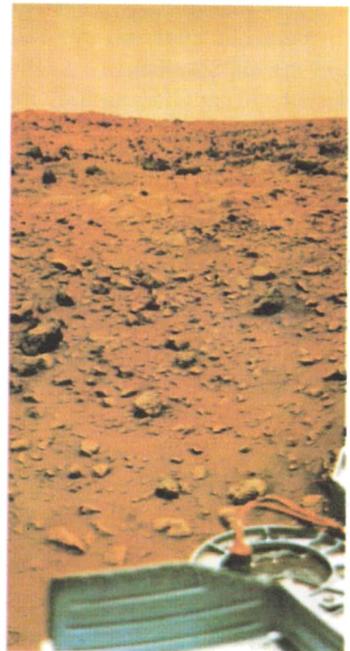
126 *Alle 15 Jahre wechselt der Saturn im Sehfeld des Amateurfernrohrs sein Aussehen.*

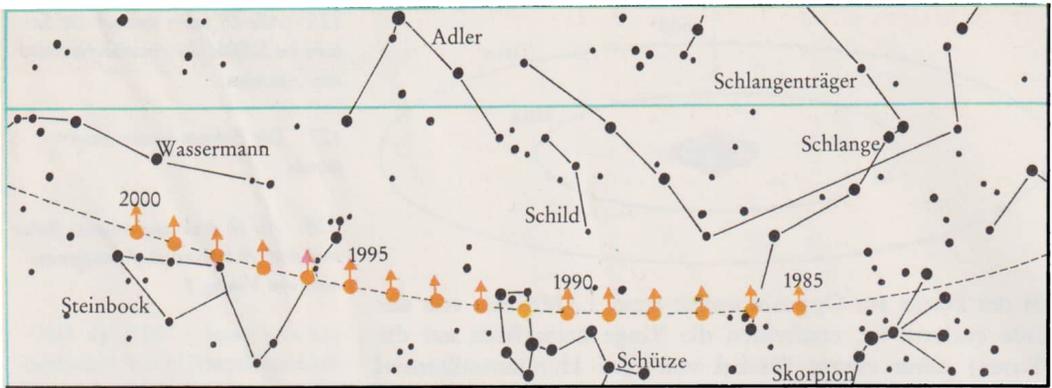
127 *Die Bahnen zweier Saturnmonde*

128 *Als ob man eine rosarote Brille aufhätte: Marslandschaft, aufgenommen von Viking 1*

auf weit unter  $-100^{\circ}\text{C}$  ab. Der Sauerstoffanteil in der Marsatmosphäre ist verschwindend gering.

Mit dem Mars endet die Reihe der – im engeren Sinne – Geschwister der Erde. Jupiter und die anderen jupiterartigen Planeten sind zwar zur gleichen Zeit aus dem gleichen Sonnenebel entstanden wie die Erde, aber ihr andersartiger Aufbau läßt doch erkennen, daß sie eigentlich keine so ganz nahen Verwandten unseres Heimatplaneten sind. Sie vermitteln uns bereits einen Hauch von der Exotik der kosmischen Weiten.





Versuch, ähnliche Details auf der Saturnkugel zu erfassen wie auf dem Jupiter, wird die Kleinheit des eigentlichen Planetenkörpers dem Beobachter bewußt.

Wir benötigen ein Fernrohr von mindestens 10 cm Objektivöffnung, um Streifen auf dem Saturn wahrnehmen zu können. Wie bei Jupiter handelt es sich dabei um Strukturen in der Planetenatmosphäre, die parallel zum Saturnäquator verlaufen, aber sie heben sich nur schwach von ihrer Umgebung ab und zeigen kaum Einzelheiten.

Den *Uranus* können wir mit kleineren Fernrohren nur dann als Planeten erkennen, wenn wir imstande sind, seinen Ort unter den Sternen genau anzugeben (Bild 129). Zur Zeit seiner Opposition erreicht er die scheinbare Helligkeit von 5,9 Größenklassen, ist also dann bei dunklem, klarem Himmel sogar mit dem bloßen Auge als schwaches Lichtpünktchen zu sehen. Im Fernrohr erscheint der Planet in leicht grünlichem Licht. Um ihn als Scheibchen zu sehen, wird ein Fernrohr von mindestens 10 cm Öffnung und 100facher Vergrößerung benötigt. An *Neptun* und *Pluto* sind mit durchschnittlichen Amateurfernrohren keine sinnvollen Beobachtungen möglich.

129 Ganz langsam wandert der *Uranus* von Sternbild zu Sternbild. Erst um das Jahr 2075 kommt er wieder hier vorbei.

## Aufbruch zum Rand des Alls

Bei unseren bisherigen Fernrohrbeobachtungen beschränkten wir uns auf Objekte im Sonnensystem. Sie zeigten sich in einer für manche Betrachter sicher überraschenden Vielfalt von Erscheinungsformen; man hat lange zu tun, bis man alles beobachtet hat, was das Sonnensystem selbst für unsere bescheidenen optischen Möglichkeiten bietet. Ein noch reicheres Feld finden wir, wenn wir unsere Beobachtungen auf das ganze Weltall ausdehnen – soweit es mit unserem Instrument überschaubar ist. Die Mannigfaltigkeit der Objekte, Erscheinungen und interessanten Zusammenhänge in der Welt der Sterne und Sternsysteme ist so groß, daß man auf Jahre hinaus mit Beob-

## Reise durch Raum und Zeit

Nur das Licht bringt uns Informationen über die Sterne. Es war Jahre, Jahrhunderte oder sogar Jahrtausende unterwegs. Die Sterne, aus denen sich die bekanntesten Sternbilder zusammensetzen, sind im allgemeinen weniger als 1 000 Lichtjahre von uns entfernt. 1 000 Lichtjahre – das ist die Strecke, für die das Licht 1 000 Jahre benötigt. Was ist ein Lichtjahr?

achtungs»futter« versorgt ist – wenn man seine Ansprüche an die optische Wiedergabe im Amateurfernrohr nicht zu hoch schraubt!

Wir sind von den Objekten des Sonnensystems relativ große, helle Fernrohrbilder mit vielen Einzelheiten gewöhnt. Wer hätte nicht den Wunsch, solche Bilder auch von den Sternen, Sternhaufen und Nebeln zu sehen? Leider wird für viele Sternfreunde der erste Blick auf ein solches Objekt zu einer herben Enttäuschung! Klein, unscheinbar und lichtschwach schimmert, oft erst nach langem, angestrengtem Suchen, ein Fleckchen Grau im Sehfeld. Kein Vergleich zu einer der fotografischen Aufnahmen, auf denen das gleiche Objekt in einem Lehrbuch oder in einer Zeitschrift abgebildet ist! Und gar zu oft verläßt der Amateurbereobachter bald das weite Feld der Sterne und Sternsysteme und zieht sich vergrämt ins Sonnensystem zurück.

| Stern        | Im Sternbild | Entfernung in Lichtjahren |
|--------------|--------------|---------------------------|
| $\alpha$ Aql | Adler        | 16                        |
| $\alpha$ Lyr | Leier        | 27                        |
| $\beta$ Gem  | Zwillinge    | 35                        |
| $\alpha$ Boo | Bootes       | 36                        |
| $\alpha$ Aur | Fuhrmann     | 45                        |
| $\alpha$ Gem | Zwillinge    | 45                        |
| $\alpha$ Tau | Stier        | 68                        |
| $\alpha$ Leo | Löwe         | 84                        |
| $\alpha$ Vir | Jungfrau     | 155                       |
| $\alpha$ Ori | Orion        | 650                       |
| $\alpha$ Cyg | Schwan       | 650                       |
| $\alpha$ UMi | Kleiner Bär  | 1100                      |

Eine solche Entscheidung ist aber grundfalsch! Man lernt nichts dazu, wenn man bei Bekanntem stehenbleibt, und schließlich haben wir uns unser Fernrohr nicht zugelegt, um seine Leistung dann nicht auszunutzen. Wir müssen nur daran denken, daß sich Sterne eben nicht vergrößern lassen und daß bei den großen Entfernungen, die bis in die Millionen Lichtjahre gehen, die beobachteten Helligkeiten zwangsläufig nur noch gering sein können.

### Doppelsterne

Das größere Fernrohr hat gegenüber dem Fernglas ein viel besseres Auflösungsvermögen; Doppelsterne, die im Fernglas nur mit Mühe trennbar waren, erscheinen nun im Sehfeld deutlich und weit getrennt. Wir können uns also an schwierigere Objekte wagen. Das sind enge Doppelsterne und auch solche, deren beide Sterne große Helligkeitsunterschiede aufweisen:

Greifen Sie zum Taschenrechner! In einer Sekunde legt das Licht 300 000 km zurück,  
 $\times 60$  das ist eine Lichtminute (8,3 Lichtminuten beträgt die Strecke Sonne – Erde),  
 $\times 60$  eine Lichtstunde (eine Lichtstunde beträgt der Weg von der Erde zum Saturn),  
 $\times 24$  ein Lichttag,  
 $\times 365,25$ .

Jetzt haben Sie ein Lichtjahr (in Kilometern) auf der Anzeige! Ein unfaßbarer Zahlenwert! Aber der nächste Nachbarstern unserer Sonne ist 4,3 Lichtjahre entfernt, und der strahlende Sirius am Winterhimmel immerhin 8,7 Lichtjahre. Die nebenstehende Tabelle nennt die Entfernungen weiterer bekannter Sterne.

Wenn wir heute abend zum Polarstern emporblicken, sehen wir das Licht, das ihn vor 1 100 Jahren verlassen hat. Das war um das Jahr 890, also zur Zeit der Karolinger. Deneb (im Schwan) oder Beteigeuze (im Orion) sehen wir in dem Zustand, in dem sich diese Sterne um das Jahr 1340 befanden – zur Zeit der Gründung der Prager Universität, lange vor der Entdeckung Amerikas! Es fällt schwer, sich vorzustellen, daß das Licht von diesen Sternen seit jenen Zeiten unablässig unterwegs war, und es ist gänzlich unmöglich, sich eine Vorstellung von der Strecke zu machen, die es dabei zurücklegte.

Wenn wir die Sterne heute in einem Zustand sehen, in dem sie sich vor Dutzenden oder Hunderten von Jahren befanden, dann bedeutet das aber auch, daß wir sie nicht in ihrem heutigen Zustand sehen können. In der Tat: Würde der Polarstern heute explodieren, dann könnten erst die Menschen des 31. Jahrhunderts dieses Ereignis erfahren. Ein eigenartiges Gefühl, Sterne zu sehen, die es vielleicht gar nicht mehr gibt ...

| Stern              | Im Sternbild      | Rektaszension                    | Deklination | Helligkeiten     |                  | Abstand |
|--------------------|-------------------|----------------------------------|-------------|------------------|------------------|---------|
| 65 Psc             | Fische            | 0 <sup>h</sup> 49 <sup>min</sup> | +27,7°      | 6 <sup>m</sup> 3 | 6 <sup>m</sup> 3 | 4''     |
| ψ <sub>1</sub> Psc | Fische            | 1 05                             | +21,5       | 5, 6             | 5, 8             | 30      |
| ζ Psc              | Fische            | 1 13                             | + 7,6       | 5, 6             | 6, 6             | 23      |
| ψ Cas              | Kassiopeia        | 1 25                             | +68,2       | 5, 0             | 8, 9             | 23      |
| γ Ari              | Widder            | 1 53                             | +19,4       | 4, 8             | 4, 9             | 8       |
| λ Ari              | Widder            | 1 57                             | +23,6       | 4, 9             | 7, 4             | 37      |
| γ And              | Andromeda         | 2 04                             | +42,3       | 2, 4             | 5, 1             | 10      |
| 59 And             | Andromeda         | 2 11                             | +39,0       | 6, 1             | 6, 7             | 17      |
| ι Tri              | Dreieck           | 2 13                             | +30,3       | 5, 4             | 7, 0             | 4       |
| α UMi              | Kleiner Bär       | 2 20                             | +89,3       | 2, 1             | 8, 8             | 18      |
| τ Tau              | Stier             | 4 42                             | +23,0       | 4, 3             | 7, 3             | 63      |
| 23 Ori             | Orion             | 5 22                             | + 3,6       | 5, 1             | 7, 2             | 32      |
| λ Ori              | Orion             | 5 34                             | + 9,9       | 3, 7             | 5, 7             | 4       |
| θ Ori AB           | Orion             | 5 35                             | - 5,4       | 7, 0             | 8, 0             | 9       |
| θ Ori AC           | Orion             | 5 35                             | - 5,4       | 7, 0             | 5, 4             | 13      |
| θ Ori AD           | Orion             | 5 35                             | - 5,4       | 7, 0             | 6, 9             | 21      |
| σ Ori AD           | Orion             | 5 38                             | - 2,6       | 3, 8             | 6, 9             | 13      |
| σ Ori AE           | Orion             | 5 38                             | - 2,6       | 3, 8             | 6, 7             | 42      |
| ε Mon              | Einhorn           | 6 23                             | + 4,6       | 4, 5             | 6, 7             | 12      |
| β Mon AB           | Einhorn           | 6 28                             | - 7,0       | 4, 7             | 5, 2             | 7       |
| β Mon BC           | Einhorn           | 6 28                             | - 7,0       | 5, 2             | 5, 6             | 3       |
| α Gem              | Zwillinge         | 7 34                             | +31,9       | 2, 0             | 9, 1             | 74      |
| ζ Cnc              | Krebs             | 8 12                             | +17,7       | 5, 0             | 6, 6             | 6       |
| φ Cnc              | Krebs             | 8 27                             | +26,9       | 6, 3             | 6, 3             | 5       |
| ι <sub>2</sub> Cnc | Krebs             | 8 47                             | +28,8       | 4, 2             | 6, 8             | 30      |
| γ Leo              | Löwe              | 10 19                            | +19,9       | 2, 6             | 3, 8             | 4       |
| 35 Sex             | Sextant           | 10 43                            | + 4,7       | 6, 3             | 7, 4             | 7       |
| 83 Leo             | Löwe              | 11 26                            | + 3,0       | 6, 5             | 7, 6             | 29      |
| 2 Com              | Haar der Berenike | 12 04                            | +21,4       | 6, 0             | 7, 4             | 4       |
| 24 Com             | Haar der Berenike | 12 35                            | +18,4       | 5, 2             | 6, 8             | 20      |
| γ Vir              | Jungfrau          | 12 41                            | - 1,5       | 3, 7             | 3, 7             | 5       |
| 58 Crv             | Rabe              | 12 41                            | -13,0       | 6, 0             | 6, 0             | 6       |
| 32 Cam             | Giraffe           | 12 49                            | +83,4       | 5, 3             | 5, 8             | 22      |
| α CVn              | Jagdhunde         | 12 56                            | +38,3       | 2, 9             | 5, 5             | 20      |
| ζ UMa              | Großer Bär        | 13 24                            | +54,9       | 2, 4             | 4, 1             | 14      |
| ι Boo              | Bootes            | 14 15                            | +51,4       | 4, 8             | 8, 3             | 39      |
| π Boo              | Bootes            | 14 40                            | +16,4       | 4, 9             | 5, 8             | 6       |
| ε Boo              | Bootes            | 14 45                            | +27,1       | 2, 7             | 5, 3             | 3       |
| δ Ser              | Schlange          | 15 34                            | +10,5       | 4, 2             | 5, 3             | 4       |
| 178 Lib            | Waage             | 15 38                            | - 8,5       | 6, 5             | 6, 6             | 12      |
| ζ CrB              | Nördliche Krone   | 15 40                            | +36,6       | 5, 1             | 6, 1             | 6       |
| ξ Sco AB-C         | Skorpion          | 16 04                            | -11,3       | 4, 2             | 7, 3             | 8       |
| κ Her              | Herkules          | 16 08                            | +17,1       | 5, 3             | 6, 5             | 28      |
| σ CrB              | Nördliche Krone   | 16 15                            | +33,9       | 5, 8             | 6, 8             | 6       |
| 36/37 Her          | Herkules          | 16 40                            | + 4,2       | 5, 7             | 6, 8             | 70      |
| α Her              | Herkules          | 17 14                            | +14,4       | 3, 0-4,0         | 5, 7             | 4       |
| 36 Oph             | Schlangenträger   | 17 15                            | -26,6       | 5, 3             | 5, 3             | 5       |
| ρ Her              | Herkules          | 17 23                            | +37,1       | 4, 5             | 5, 5             | 4       |
| ψ Dra              | Drache            | 17 42                            | +72,2       | 4, 9             | 6, 1             | 30      |
| 61 Oph             | Schlangenträger   | 17 44                            | + 2,6       | 6, 3             | 6, 7             | 21      |
| 40/41 Dra          | Drache            | 18 00                            | +80,0       | 5, 8             | 6, 2             | 19      |

| Stern   | Im Sternbild | Rektaszension | Deklination | Helligkeiten |      | Abstand |
|---------|--------------|---------------|-------------|--------------|------|---------|
| 95 Her  | Herkules     | 18 01         | +21,6       | 5, 1         | 5, 2 | 6       |
| 100 Her | Herkules     | 18 08         | +26,1       | 5, 9         | 5, 9 | 14      |
| 8 Ser   | Schlange     | 18 56         | + 4,3       | 4, 5         | 4, 9 | 22      |
| 16 Cyg  | Schwan       | 19 42         | +50,5       | 6, 3         | 6, 5 | 39      |
| 57 Aql  | Adler        | 19 54         | - 8,3       | 5, 8         | 6, 5 | 36      |
| γ Del   | Delphin      | 20 46         | +16,2       | 4, 5         | 5, 4 | 10      |
| ε Equ   | Pferdchen    | 20 59         | + 4,3       | 5, 5         | 7, 3 | 11      |
| 61 Cyg  | Schwan       | 21 07         | +38,7       | 5, 6         | 6, 4 | 28      |
| 147 Cep | Cepheus      | 21 51         | +55,8       | 5, 9         | 6, 8 | 19      |
| ξ Cep   | Cepheus      | 22 03         | +64,6       | 4, 6         | 6, 6 | 7       |
| 53 Aqr  | Wassermann   | 22 26         | -16,8       | 6, 4         | 6, 5 | 4       |
| ζ Aqr   | Wassermann   | 22 28         | 0,0         | 4, 4         | 4, 6 | 2       |
| 94 Aqr  | Wassermann   | 23 18         | -13,4       | 5, 4         | 7, 6 | 13      |

Wer ein Okular mit Strich- oder Fadenkreuz besitzt, der kann die Rektaszensions-Differenz der beiden Sterne relativ leicht ermitteln. Man dreht das Okular so, daß bei ruhendem Fernrohr – Nachführungsmotor ausgeschaltet – der Doppelstern an einem der beiden Fäden entlangläuft. Er soll aber nicht hinter dem Faden verschwinden, sondern etwas darüber oder darunter seine Bahn ziehen. Nun stoppt man die Zeit  $t$ , die zwischen dem Durchgang des ersten und dem Durchgang des zweiten Sterns durch den senkrechten Faden vergeht. Die Rektaszensionen beider Sterne unterscheiden sich dann um

$$\Delta\alpha = t \cdot 1,00274 \cdot \cos\delta,$$

wobei  $\delta$  die Deklination des Doppelsterns ist und  $\Delta\alpha$ , die Rektaszensionsdifferenz, in Zeitsekunden erhalten wird, wenn man  $t$  in Sekunden einsetzt. Statt eines Fadenkreuzes kann man in das Okular auch eine (im Zubehörhandel erhältliche) Strichkreuzplatte einsetzen. Sie muß dort angebracht werden, wo sie gleichzeitig mit dem Objekt im Sehfeld scharf erscheint, also auf der Blende des Okulars. Ob sich diese Blende zwischen den Okularlinsen oder vor ihnen befindet, hängt von der Bauart des Okulars ab (vgl. Seite 126). Die Strichkreuzplatte wird mit zwei Tröpfchen Klebstoff auf der Blende befestigt. Um das Kreuz nachts sichtbar machen zu können, montieren wir in die Taukappe unseres Fernrohrs eine kleine Glühlampe, die von einer Taschenlampenbatterie gespeist und deren Helligkeit durch einen stellbaren Widerstand gesteuert wird.

### Offene Sternhaufen

Die Liste der im Fernglas sichtbaren offenen Sternhaufen (auf Seite 96) enthielt manches Objekt, bei dem wir an die Grenzen der optischen Leistungsfähigkeit unseres Fernglases stießen. (Wer sie einmal der Reihe nach beobachtet hat, der hat aber

Auf Seite 149 sind die Entfernungsangaben um so großzügiger gerundet, je größer die Zahlen sind. Das hat damit zu tun, daß die Messung von Sternentfernungen mit einer Messung extrem kleiner Winkel verbunden ist und daß dabei die unvermeidlichen Meßfehler zu beträchtlichen Unsicherheiten in den Entfernungsangaben führen. Die zu messenden Winkel liegen in der Größenordnung von wenigen Zehnteln einer Bogensekunde, das sind Beträge um  $0,00005^\circ$ . Entfernungen um die 40 Lichtjahre herum sind deshalb mit einer Unsicherheit von 10 % behaftet. Bei 70 Lichtjahren beträgt die Unsicherheit schon 20 %, bei 100 Lichtjahren ist sie auf 30 bis 50 % angewachsen! Wenn also in verschiedenen Büchern die Entfernung ein und desselben Sterns von der Erde mit unterschiedlichen Werten angegeben wird, so kann man daraus nicht auf »Fehler« der Autoren schließen! Die Bestimmung von Sternentfernungen gehört zu den meßtechnisch schwierigsten Aufgaben der Astronomen.



bestimmt seine Kenntnis des Sternhimmels und seine Fähigkeiten im Aufsuchen solcher Objekte vorzüglich geschult!) Die folgende Tabelle enthält weitere Objekte, die eine Beobachtung mit einem Amateurfernrohr lohnen.

Wie bei den Doppelsternen können wir auch an den offenen Sternhaufen mit einem Fadenkreuzokular eine interessante Messung vornehmen. Wir messen den Durchmesser des Haufens, indem wir ihn bei ruhendem Fernrohr durch den zur scheinbaren Bewegungsrichtung senkrechten Faden laufen lassen und die Zeitdifferenz  $t$  zwischen dem Durchgang des linken und des rechten »Rand« des Haufens durch diesen Faden ermitteln. Der Winkeldurchmesser  $d$  des Haufens (in Bogensekunden) errechnet sich aus

$$d = t \cdot 15,0411 \cdot \cos \delta$$

( $\delta$  ist wieder die Deklination des Objekts,  $t$  in Sekunden einsetzen!).

Die so ermittelten Haufendurchmesser werden sicher erheblich von den in der folgenden Tabelle genannten abweichen. Das liegt daran, daß der »Rand« eines offenen Sternhaufens nicht genau definiert ist und unterschiedliche Beobachter im allgemeinen auch unterschiedliche Kriterien dafür verwenden, ob ein Stern noch zum Haufen zu zählen ist oder nicht. Ein

*130 Die beiden nahe beieinanderstehenden offenen Sternhaufen  $\chi$  und  $b$  im Sternbild Perseus, mit einer großen Amateurastrokamera von Karlbeinz Müller aufgenommen. Bei 20 Minuten Belichtungszeit ist auch der Himmel in der Umgebung der Sternhaufen mit Einzelsternen übersät.*

Die auf Seite 149 aufgeführten Sterne gehören zu den hellsten des Himmels. Die meisten haben scheinbare Helligkeiten zwischen  $0^m$  und  $1^m5$ ; nur Sirius ( $-1^m43$ ) und der Polarstern ( $2^m01$ ) fallen etwas aus der Reihe. Wie kommt es, daß trotz so unterschiedlicher Entfernungen die Helligkeiten annähernd gleich sind?

Vergleich der eigenen Werte mit den Tabellenwerten zeigt aber auch die Unterschiede in der Leistungsfähigkeit der verwendeten Fernrohre!

| Katalog-Nr. | Im Sternbild | Rektaszension                  | Deklination | Durchmesser | Scheinbare Gesamthelligkeit |
|-------------|--------------|--------------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| NGC 457     | Kassiopeia   | 1 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> | +58,4°      | 10'         | 7 <sup>m</sup> 5            |
| M 101       | Kassiopeia   | 1 33                           | +60,8       | 5           | 7, 4                        |
| NGC 663     | Kassiopeia   | 1 46                           | +61,3       | 11          | 1                           |
| NGC 752     | Andromeda    | 1 58                           | +37,6       | 45          | 7, 0                        |
| NGC 2301    | Einhorn      | 6 51                           | + 0,4       | 15          | 5, 8                        |
| M 50        | Einhorn      | 7 03                           | - 8,4       | 16          | 6, 9                        |
| M 67        | Krebs        | 8 50                           | +11,8       | 15          | 6, 1                        |
| M 21        | Schütze      | 18 05                          | -22,5       | 10          | 6, 5                        |
| M 18        | Schütze      | 18 20                          | -17,2       | 12          | 7, 5                        |
| M 25        | Schütze      | 18 32                          | -19,3       | 40          | 6, 5                        |
| M 11        | Schild       | 18 50                          | - 6,2       | 10          | 6, 3                        |
| NGC 6885    | Füchlein     | 20 12                          | +26,5       | 20          | 9, 1                        |

Südlich des Sternhaufens M 11 befindet sich eine große, auffällige Sternwolke in der Milchstraße.

### *Kugelförmige Sternhaufen*

Mehr noch als bei offenen Sternhaufen sind die Lichtstärke und die höhere Vergrößerung eines Fernrohrs dem Fernglas bei der Beobachtung kugelförmiger Sternhaufen überlegen. Zusätzlich zu den auf Seite 98 genannten beobachten wir folgende Kugelhaufen. Eine Durchmesserbestimmung ist wie bei den offenen Sternhaufen möglich.

| Katalog-Nr. | Im Sternbild    | Rektaszension                   | Deklination | Durchmesser | Scheinbare Gesamthelligkeit |
|-------------|-----------------|---------------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| M 80        | Skorpion        | 16 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup> | -23,0°      | 3'          | 7 <sup>m</sup> 7            |
| M 4         | Skorpion        | 16 24                           | -26,5       | 14          | 6, 4                        |
| M 12        | Schlangenträger | 16 47                           | - 2,0       | 9           | 6, 6                        |
| M 10        | Schlangenträger | 16 57                           | - 4,1       | 8           | 6, 7                        |
| M 14        | Schlangenträger | 17 37                           | - 3,2       | 6           | 7, 7                        |
| M 22        | Schütze         | 18 36                           | -24,0       | 17          | 5, 9                        |
| M 56        | Leier           | 19 17                           | +30,2       | 5           | 8, 2                        |
| M 72        | Wassermann      | 20 53                           | -12,5       | 5           | 9, 8                        |

### *Veränderliche Sterne*

Die Beobachtung Veränderlicher Sterne mit dem Fernglas ist ausführlich auf den Seiten 100 bis 107 beschrieben. Das größere Instrument macht uns viele schwächere Veränderliche zugänglich:

| Stern  | Im Sternbild    | Rektaszension                    | Deklination | Scheinbare Helligkeit im |                   | Periode               |
|--------|-----------------|----------------------------------|-------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|
|        |                 |                                  |             | Max.                     | Min.              |                       |
| R And  | Andromeda       | 0 <sup>h</sup> 23 <sup>min</sup> | +38,6°      | 6 <sup>m</sup> 0         | 14 <sup>m</sup> 9 | 409,5 d <sup>1)</sup> |
| U Cep  | Cepheus         | 1 02                             | +81,9       | 6, 7                     | 9, 8              | 2,5                   |
| o Cet  | Walfisch        | 2 19                             | - 3,0       | 2, 0                     | 10, 1             | 332                   |
| R Tri  | Dreieck         | 2 37                             | +34,3       | 5, 5                     | 12, 6             | 266                   |
| RZ Cas | Kassiopeia      | 2 48                             | +69,6       | 6, 4                     | 7, 8              | 1,2                   |
| AW Per | Perseus         | 4 47                             | +36,7       | 7, 2                     | 8, 0              | 6,5                   |
| R Aur  | Fuhrmann        | 5 17                             | +53,6       | 6, 7                     | 13, 7             | 458                   |
| R CMa  | Großer Hund     | 7 19                             | -16,4       | 5, 4                     | 6, 1              | 1,1                   |
| R Cnc  | Krebs           | 8 16                             | +11,8       | 6, 2                     | 11, 8             | 362                   |
| R Leo  | Löwe            | 9 47                             | +11,5       | 4, 4                     | 11, 3             | 313                   |
| TX UMa | Großer Bär      | 10 45                            | +45,5       | 6, 8                     | 8, 9              | 3,1                   |
| T UMa  | Großer Bär      | 12 36                            | +59,5       | 6, 6                     | 13, 4             | 257                   |
| S UMa  | Großer Bär      | 12 44                            | +61,1       | 7, 4                     | 12, 3             | 226                   |
| V Boo  | Bootes          | 14 30                            | +38,9       | 7, 0                     | 11, 3             | 258                   |
| R Boo  | Bootes          | 14 37                            | +26,7       | 6, 7                     | 12, 8             | 223                   |
| U Her  | Herkules        | 16 26                            | +18,9       | 6, 2                     | 13, 3             | 406                   |
| R Dra  | Drache          | 16 33                            | +66,8       | 6, 9                     | 13, 0             | 246                   |
| S Her  | Herkules        | 16 52                            | +14,9       | 5, 9                     | 13, 6             | 307                   |
| Y Oph  | Schlangenträger | 17 52                            | - 6,1       | 6, 7                     | 7, 3              | 17                    |
| T Her  | Herkules        | 18 09                            | +31,0       | 6, 8                     | 14, 2             | 165                   |
| R Aql  | Adler           | 19 06                            | + 8,3       | 5, 7                     | 12, 0             | 293                   |
| RR Lyr | Leier           | 19 25                            | +42,8       | 6, 9                     | 8, 0              | 0,6                   |
| RT Cyg | Schwan          | 19 43                            | +48,8       | 6, 4                     | 12, 7             | 190                   |
| SU Cyg | Schwan          | 19 45                            | +29,3       | 6, 5                     | 7, 2              | 3,8                   |
| X Cyg  | Schwan          | 19 51                            | +32,9       | 3, 3                     | 14, 2             | 407                   |
| SV Vul | Füchslein       | 19 52                            | +27,4       | 6, 9                     | 7, 9              | 45                    |
| X Cyg  | Schwan          | 20 43                            | +35,6       | 5, 8                     | 7, 0              | 16                    |
| T Cep  | Cepheus         | 21 09                            | +68,5       | 5, 4                     | 11, 0             | 389                   |
| R Cas  | Kassiopeia      | 23 57                            | +51,4       | 5, 5                     | 13, 0             | 431                   |

1) Lies: 409 Tage und  $\frac{1}{2}$  Tag, also 409 d 12 h.

### Nebel zwischen den Sternen

Als Nebel bezeichnet der Astronom alle Gas- und Staubsammlungen zwischen den Sternen. Oftmals wird das Wort aber auch unkorrekt als Bezeichnung für ein ganzes Sternsystem gebraucht; das bekannteste Beispiel hierfür ist der Andromedanebel.

Die »echten« Nebel sind meist Gas-Staub-Gemische. In unserem Amateurfernrohr unterscheiden sie sich nur durch ihre unregelmäßige Gestalt von den kugelförmigen Sternhaufen. (Bei einigen sehr symmetrisch geformten Nebeln versagt diese Unterscheidung!) Wegen der geringen Helligkeit der Objekte ist eine schwache Vergrößerung, die ja die lichtstärksten Bilder liefert, ratsam. Im übrigen empfiehlt es sich, den im Sehfeld

Die scheinbare Helligkeit eines Sterns hängt nicht nur von seiner Entfernung von der Erde ab. Ganz entscheidend ist auch, mit welcher Leistung der Stern strahlt. Diese Leistung kann man wie bei einer Glühlampe in Watt angeben. Da die Zahlen jedoch dann un bequem groß würden, rechnen wir lieber in Einheiten der Sonnenleuchtkraft. (»Leuchtkraft« bedeutet in der Astronomie das gleiche wie »Strahlungsleistung«.) Es gibt Sterne mit erstaunlich hoher Leuchtkraft – bis zum 100 000fa-

des Fernrohrs befindlichen Nebelfleck nicht genau ins Auge zu fassen, sondern etwas an ihm vorbeizusehen. Man kann dann – das ist eine bemerkenswerte Eigenart des menschlichen Auges – die Gestalt eines so lichtschwachen Objekts besser erkennen.

chen der Sonnenleuchtkraft! Demgegenüber finden wir aber auch Sterne, die nur ein Tausendstel der Strahlungsleistung der Sonne abgeben.

| Katalog-Nr. | Im Sternbild | Rektaszension                    | Deklination | Durchmesser | Scheinbare Gesamthelligkeit |
|-------------|--------------|----------------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| M 42        | Orion        | 5 <sup>h</sup> 35 <sup>min</sup> | – 5,4°      | 60'         | 2 <sup>m</sup> 9            |
| M 43        | Orion        | 5 35                             | – 5,3       | 15          | 2, 9                        |
| M 20        | Schütze      | 18 02                            | –23,0       | 28          | 6, 4                        |
| M 8         | Schütze      | 18 05                            | –24,3       | 40          | 5, 5                        |
| M 16        | Schlange     | 18 19                            | –13,8       | 30          | 6, 6                        |
| M 17        | Schütze      | 18 21                            | –16,2       | 40          | 6, 9                        |

Einige dieser Nebel tragen Eigennamen:

M 42/43 Orionnebel  
M 20 Trifid-Nebel.

Ausnahmen hinsichtlich der Gestalt machen die sogenannten planetarischen Nebel, die meist als kreisähnliche Scheiben oder Ringe erscheinen. Mit Planeten haben sie jedoch nichts zu tun; sie sind Überreste von Sternexplosionen. Man ist zu diesem Schluß gekommen, weil solche Gashüllen bzw. -ringe sich ständig ausdehnen. Das Gas entfernt sich dabei von einem meist sehr lichtschwachen, aber relativ heißen Zentralstern, dem innersten Kern des einst in einer gewaltigen Detonation auseinandergeplatzten Sterns.

| Katalog-Nr. | Im Sternbild | Rektaszension                    | Deklination | Durchmesser | Scheinbare Gesamthelligkeit |
|-------------|--------------|----------------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| M 1         | Stier        | 5 <sup>h</sup> 35 <sup>min</sup> | +22,0°      | 5'          | 8 <sup>m</sup> 4            |
| NGC 2392    | Zwillinge    | 7 29                             | +20,9       | 1           | 8, 3                        |
| M 97        | Großer Bär   | 11 15                            | +55,0       | 3           | 12, 0                       |
| NGC 6543    | Drache       | 17 59                            | +66,6       | 0,4         | 7, 6                        |
| M 57        | Leier        | 18 54                            | +33,1       | 1           | 9, 3                        |
| NGC 6826    | Schwan       | 19 44                            | +50,5       | 0,4         | 8, 8                        |
| M 27        | Füchlein     | 19 59                            | +22,7       | 40          | 7, 6                        |
| NGC 7662    | Andromeda    | 23 26                            | +42,5       | 0,5         | 8, 6                        |

Auch hier gibt es Eigennamen:

M 1 Krebsnebel  
M 97 Eulennebel  
M 57 Ringnebel  
M 27 Hantelnebel.

### *Sternsysteme*

Unsere Sonne bildet zusammen mit rund 200 Milliarden anderen Sternen, mit Sternhaufen und großen Gas- und Stauban-

sammlungen ein Sternsystem. Andere Sternsysteme können wir im Amateurfernrohr als verwaschene Lichtflecke wahrnehmen. Auf langbelichteten Aufnahmen, die mit großen Fernrohren gewonnen wurden, erkennt man bei vielen Sternsystemen eine spiralförmige Struktur. So ähnlich dürfte auch unser eigenes Sternsystem aussehen, könnten wir es »von außen« betrachten.

Das Amateurfernrohr zeigt uns nur die hellsten und nächstgelegenen Sternsysteme, und auch diese nur als unscheinbare graue Flecke. Wer aber bei der Beobachtung eines solchen Objekts daran denkt, daß er ein Sternsystem vor sich hat mit Hunderten von Milliarden Sternen und daß das Licht, das in sein Auge dringt, einige Millionen Jahre unterwegs war, der wird auch an diesem scheinbar unansehnlichen Gebilde etwas zum Staunen finden: Staunen darüber, daß und wie es menschlichem Geist gelungen ist, seine Erkenntnis bis in diese unvorstellbaren Weiten auszudehnen. (Übrigens: Vor noch nicht einmal 100 Jahren beobachteten die professionellen Astronomen an Instrumenten, wie wir sie heute als Amateure zur Verfügung haben!)

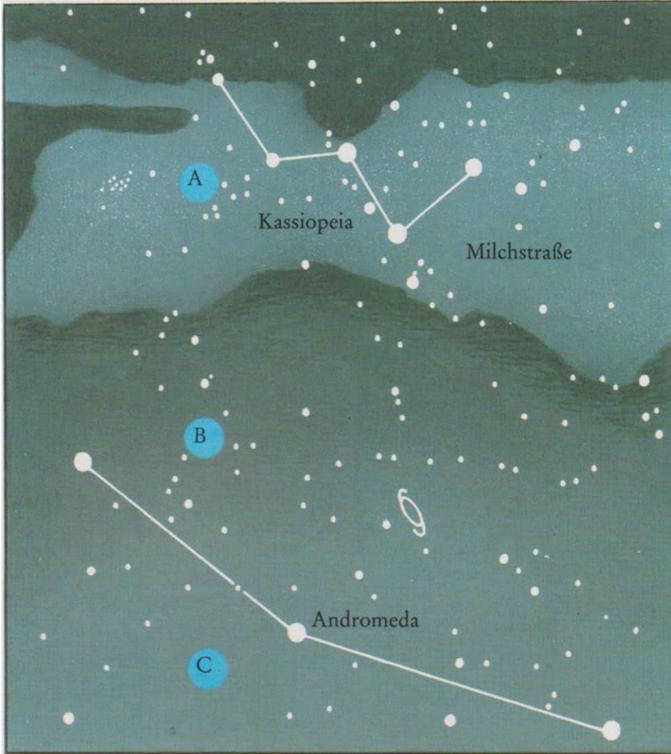
Alle Sterne, die wir mit dem bloßen Auge, mit dem Fernglas und mit dem Amateurfernrohr wahrnehmen können, gehören zu unserem Sternsystem, auch Milchstraßensystem oder Galaxis genannt. Es ist eine Ansammlung von etwa 200 Mrd. Sternen und erheblichen Mengen von Gas und Staub. Da wir uns im Innern des Systems befinden und wegen der lichtschwächenden Wirkung der kosmischen Staubwolken nur einen kleinen Teil der Galaxis überblicken können, war es sehr schwierig, ein genaues Bild von der Anordnung der Sterne und der interstellaren Materie (interstellar: lateinisch »zwischen den Sternen«) zu erhalten.

| Katalog-Nr. | Im Sternbild      | Rektaszension                    | Deklination | Durchmesser | Scheinbare Gesamthelligkeit |
|-------------|-------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| NGC 205     | Andromeda         | 0 <sup>h</sup> 40 <sup>min</sup> | +41,7°      | 8' × 3'     | 9 <sup>m</sup> ,4           |
| M 32        | Andromeda         | 0 42                             | +40,9       | 3' × 2'     | 8, 7                        |
| M 31        | Andromeda         | 0 42                             | +41,3       | 160' × 40'  | 4, 8                        |
| M 33        | Dreieck           | 1 33                             | +30,7       | 60' × 40'   | 6, 7                        |
| M 77        | Walfisch          | 2 42                             | 0,0         | 2' × 3'     | 8, 9                        |
| NGC 2403    | Giraffe           | 7 36                             | +65,6       | 16' × 10'   | 8, 9                        |
| M 81        | Großer Bär        | 9 56                             | +69,1       | 16' × 10'   | 7, 9                        |
| M 82        | Großer Bär        | 9 56                             | +69,7       | 2' × 7'     | 8, 8                        |
| M 106       | Jagdhunde         | 12 18                            | +47,3       | 6' × 20'    | 8, 6                        |
| M 49        | Jungfrau          | 12 29                            | + 8,0       | 4' × 5'     | 8, 6                        |
| M 87        | Jungfrau          | 12 30                            | +12,4       | 3' × 3'     | 9, 2                        |
| M 104       | Jungfrau          | 12 39                            | -11,7       | 2' × 7'     | 8, 7                        |
| M 94        | Jagdhunde         | 12 51                            | +41,1       | 4' × 5'     | 7, 9                        |
| M 64        | Haar der Berenike | 12 56                            | +21,6       | 4' × 8'     | 8, 8                        |
| M 63        | Jagdhunde         | 13 16                            | +42,0       | 3' × 8'     | 9, 5                        |
| M 51        | Jagdhunde         | 13 30                            | +47,2       | 6' × 12'    | 8, 1                        |
| M 101       | Großer Bär        | 14 02                            | +54,4       | 22'         | 9, 6                        |

Alle diese Objekte sind »Außenansichten« von Sternsystemen. Und unser eigenes? Können wir nicht wenigstens »von innen heraus« etwas über seine Struktur ausfindig machen? Wir können! Allerdings erfordert die Sache einen kleinen Umweg:

Wir suchen uns im Sternatlas ein Gebiet innerhalb der Milchstraße (das nennen wir Gebiet A), ein anderes nahe der Milchstraße (B) und ein drittes weit außerhalb der Milchstraße (C). Bild 131 macht dazu einen Vorschlag. Das Fernrohr wird

Alle im Milchstraßensystem vereinigten Himmelskörper umlaufen auf großen Ellipsenbahnen ein gemeinsames Zentrum. Allerdings vollziehen sich diese Umläufe in riesigen Zeiträumen; die Sonne durchläuft ihre Bahnellipse einmal in rund 250 Mill. Jahren. Von unserem Standpunkt aus bietet das Ganze den Eindruck eines Bandes



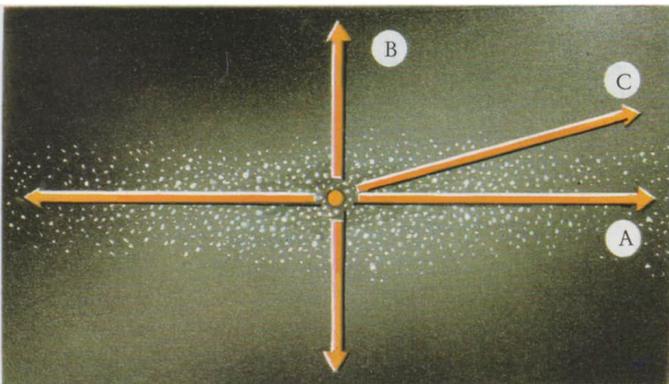
131 Sternzählungen können Aufschluss über den Aufbau unseres Sternsystems geben.

132 Was uns die Sternzählung lehrt.

auf einen auffälligen Stern im Gebiet A gerichtet; dann zählen wir die Sterne, die mit diesem Stern gleichzeitig im Gesichtsfeld zu sehen sind. Dauert die Zählung sehr lange, dann müssen wir das Fernrohr nachführen. Der helle Stern dient dabei als Leitobjekt. Anschließend oder zu einem späteren Zeitpunkt beobachten wir in gleicher Weise (mit demselben Instrument und unter Verwendung desselben Okulars) die Gebiete B und C und ermitteln die entsprechenden Sternanzahlen im Sehfeld. Die betreffenden Regionen sollen sich bei der Beobachtung nicht unter  $40^\circ$  Höhe befinden, damit die

aus Sternen, das uns umgibt. Wir kennen dieses Band – es ist die Milchstraße, die schon in mittleren Fernrohren tatsächlich in Tausende und aber Tausende schwächerer Sterne aufgelöst werden kann. Das ganze System hat die Form eines Diskus mit einer Verdickung in der Mitte, ist jedoch nicht gleichmäßig mit Sternen ausgefüllt. Vielmehr konzentrieren sich die besonders leuchtkräftigen Sterne in einzelnen Spiralarmen innerhalb der Diskusscheibe.

Diese Scheibe hat einen Durchmesser von etwa 100 000 Lichtjahren, die Aufwölbung in der Mitte ist rund 15 000 Lichtjahre dick. Unsere Sonne mit ihren Planeten befindet sich, etwa 30 000 Lichtjahre vom Zentrum entfernt, nahe der Mittelebene. Der Diskus ist in eine Wolke von kugelförmigen Sternhaufen und bestimmten Typen von Einzelsternen eingebettet





lichtschwächende Wirkung der Erdatmosphäre keine Verfälschung der Ergebnisse bewirken kann.

Der Vergleich der Sternanzahlen in unseren drei Gebieten zeigt, daß sich im Bereich der Milchstraße die schwächeren Sterne deutlich konzentrieren. Die helleren Sterne, etwa bis zur 3. Größenklasse, sind fast gleichmäßig über den ganzen Himmel verteilt, aber je schwächere Sterne wir mit unserem Instrument noch erfassen können, desto deutlicher erkennen wir die Konzentration. Die meisten Sterne pro Sehfeld haben wir im Gebiet A zählen können; Gebiet C enthält die wenigsten Sterne. Eine Andeutung von dieser Zunahme der Stern-dichte bei Annäherung an die Milchstraße geben bereits die Karten in unserem Sternatlas, wenn wir beispielsweise die Sternbilder Schwan und Pegasus miteinander vergleichen. Könnten wir alle Sterne bis zur 20. Größenklasse erfassen, so würden wir im Gebiet A 30mal soviel Sterne zählen wie im Gebiet C.

Wie ist das Ergebnis zu deuten? Wir leben in einem Sternsystem, das die Form eines sehr flachen Diskus besitzt. Blicken wir in der Ebene dieses Diskus um uns, so sehen wir Sterne, so weit unser Auge reicht. Das ist das Gebiet A. Richten wir aber unseren Blick senkrecht aus der Ebene nach außen, so haben wir im Gebiet C nur die wenigen Sterne, die sich in der flachen

*133 Staub zwischen den Sternen.  
Hier ist er so dicht, daß man schwarze,  
sternleere Hohlräume zu sehen meint.*

*134 Auch das ist ein Dunkelnebel.  
Cuno Hoffmeister fotografierte die  
Milchstraße am südlichen Sternhimmel.  
Links unterhalb des als »Koblenzsack«  
bezeichneten Dunkelnebels, der die  
Milchstraße teilt, befindet sich das  
»Kreuz des Südens«.*

tet; der Durchmesser dieser Wolke wurde zu rund 160 000 Lichtjahren bestimmt.

Weshalb die Sterne leuchten, wissen wir schon: In ihrem tiefsten Innern verschmelzen Atom-



Scheibe »über« und »unter« uns befinden, im Blickfeld (Bild 132). Gebiet B nimmt eine Mittelstellung ein. Unser Beobachtungsergebnis liefert also den Beweis dafür, daß unser Sternsystem von flacher Gestalt ist – die Milchstraße gibt uns den »Innenanblick« des Systems. Natürlich kann die Sternzählung in den Gebieten A, B und C nur ein ganz kleiner Schritt zur Erkenntnis der Struktur des Sternsystems sein – aber wir haben diesen Schritt mit den Mitteln des Amateurastronomen bewältigt! Vor rund 200 Jahren hat Friedrich Wilhelm Herschel solche Beobachtungen zum ersten Male angestellt. Sie wurden die Grundlage für unsere heutigen umfassenden Kenntnisse über den Bau der Welt.

## Heute für später: mit Fernrohr und Kamera

### Dreimal Astrofotografie

Einfache Himmelsaufnahmen haben wir schon angefertigt. Dazu brauchten wir nur unsere Kamera, mit der wir sonst die Ferienfotos knipsen, und keinerlei weitere Hilfsmittel (Seite 37). Als uns die Sternspuraufnahmen nicht mehr genüg-

kerne miteinander, dabei wird Kernbindungsenergie frei. Diese Energie strahlt der Stern ab; er ist gewissermaßen ein riesiges Kernkraftwerk. Die Wolken der interstellaren Materie, die ja zu einem hohen Prozentsatz aus Wasserstoff bestehen, müßten ihre Strahlungsenergie eigentlich nach dem gleichen Verfahren freisetzen. Oder?

Halt, wir sind auf dem Holzweg! Im Innern einer interstellaren Wolke kann keine Atomkernverschmelzung stattfinden. Atomkerne sind ja positiv elektrisch geladen, und gleichnamige Ladungen stoßen sich bekanntlich ab. Kernverschmelzung ist nur möglich, wenn es gelingt, diese Abstoßungskraft zu überwinden – z. B. dadurch, daß man die beiden Atomkerne, die miteinander verschmolzen werden sollen, mit großer Energie aufeinandererschleudert.

ten, bauten wir eine kleine Nachführeinrichtung (Seite 41). Nun haben wir außer der Kamera ein richtiges Fernrohr, vielleicht sogar mit elektrischer Nachführung. Wie läßt es sich zum Fotografieren des Sternhimmels nutzen?

1. Die Kamera wird außen am Fernrohr befestigt, das Fernrohr dient zur Nachführung und zur Nachführkontrolle. Wir benutzen die Kamera damit als *Astrokamera*.

2. Die Kamera wird hinter dem Okularauszug des Fernrohrs befestigt; das Kameraobjektiv und das Fernrohrkular sind zu entfernen. Auch das stellt eine Astrokamera dar, nur die Technik ist verändert. Als Fotoobjektiv dient das Fernrohrobjektiv. Da das Bild in dessen Brennpunkt (lateinisch: focus) entsteht, nennt man die so gewonnenen Fotografien *Fokalaufnahmen*.

3. Die Kamera wird (wieder ohne ihr eigenes Objektiv) hinter dem Okular des kompletten Fernrohrs befestigt, das als Fotoobjektiv wirkt und ein Bild auf dem Film entwirft. In dieser Anordnung nennen wir unseren Fotoapparat *Planetenkamera*. (Sie wird benutzt, wenn die Oberflächenstrukturen der Planeten, aber auch wenn Einzelheiten auf dem Mond oder auf der Sonne mit starker Vergrößerung fotografiert werden sollen.)

## Die Astrokamera

Eigentlich haben wir ja auf Seite 41 schon eine echte Astrokamera kennengelernt. Sie hatte nur einen Nachteil: Die Belichtungszeiten mußten relativ kurz gehalten werden, weil die einfache Nachführeinrichtung keine Kontrolle gestattete, ob die Bewegung unserer Kamera tatsächlich völlig im Gleichlauf mit der scheinbaren Bewegung der Himmelskugel abließ.

Mit dem Fernrohr haben wir es wesentlich besser. Die Kamera wird parallel zum Fernrohr montiert, und zwar so nahe am objektivseitigen Tubusende, daß wir nicht auf dem Bild später ein Stück Fernrohrtubus wiederfinden. Eine Rohrschelle aus Metall mit einem Gewindebolzen, auf den wir die Kamera aufschrauben, ist die eleganteste Lösung; es geht aber auch mit einer hölzernen Klemme (Bild 137). Natürlich muß das ganze Instrument anschließend wieder ins Gleichgewicht gebracht werden.

Dann versehen wir ein Okular – wir wählen dazu eines mit mittlerer Brennweite – mit einer Strichkreuzplatte. Sie ist auf der Gesichtsfeldblende zu befestigen (Seite 151). Billiger und fast genausogut ist ein selbstgebautes Fadenkreuz: Auf Millimeterpapier befestigen wir zwei dünne Fasern aus synthetischem Material so, daß sie sich unter einem rechten Winkel schneiden. (Die Fasern lassen sich durch Aufdrillen von synthetischem Nähgarn gewinnen.) Ein Tropfen Leim an jedem der vier Enden genügt; die Mitte muß frei bleiben. Ein Karton-

In den zentralen Bereichen der Sterne herrschen sehr hohe Temperaturen und Dichten. Unter solchen Bedingungen haben alle Teilchen, also auch die dort vorhandenen Atomkerne, eine hinreichend große Energie, um sich trotz der elektrischen Abstoßungskraft zu vereinigen und neue Energie durch ihre Verschmelzung freizusetzen. Die dünnen interstellaren Wolken hingegen sind viel zu energiearm, um den ihrem Wasserstoffanteil innewohnenden Energievorrat auf diese Weise anzuzapfen.

Das Leuchten des Gases im interstellaren Raum wird durch benachbarte heiße Sterne angeregt, deren Strahlung energiereich genug ist, um die Gasatome zum Aussenden eigenen Lichts zu veranlassen. Es ist also im Grunde nur »geborgte« Energie, die sie uns zustrahlen, aber immerhin ein Eigenleuchten der Gasatome. Staubmassen können dagegen überhaupt kein eigenes Licht erzeugen. Sie reflektieren das Licht benachbarter heller Sterne und werden dadurch für uns sichtbar, genauso wie die Rauchwolke im Strahl eines Scheinwerfers. Gase leuchten selbst, Staub wird be-



ring, dessen Außendurchmesser ein klein wenig unter dem Innendurchmesser des Okulars liegen sollte, wird im Kreuzungspunkt genau zentrisch unter die beiden Fäden geschoben und mit vier Leimtröpfchen daran befestigt. Nach dem Trocknen des Klebstoffs schneiden wir die Fäden vorsichtig am äußeren Ringumfang ab und passen das Fadenkreuz mit dem Ring in das Okular ein.



leuchtet – das ist ein wesentlicher Unterschied!

Staubmassen, die nicht von einem helleren Stern angestrahlt werden, können auch nicht als helle Nebel gesehen werden. Sie verraten sich aber oft durch ihre lichtschwächende Wirkung. Wir sehen die Objekte, die sich hinter solchen Wolken befinden, daher nicht in ihrer »wirklichen« scheinbaren Helligkeit. Durch statistische Methoden kann man sehr genau feststellen, wieviel derartige lichtschwächende Materie sich zwischen uns und dem betreffenden Objekt befindet. In extremen Fällen können dichte Staubwolken die dahinter befindlichen Objekte völlig verdecken und sternleere Gebiete vortäuschen. Wir sprechen dann von Dunkelwolken.

In den letzten Jahrzehnten haben die Astronomen auch gelernt, die von den Himmelskörpern zur Erde gelangenden unsichtbaren Strahlungen aufzufangen, zu registrieren und auszuwerten. Schon im Jahre 1931 wurde entdeckt, daß viele Himmelskörper nicht nur Licht aussenden, sondern auch Radiowellen. Seit 1951 ist bekannt, daß der interstellare Wasserstoff ständig auf der Wellen-



135 Wo das Licht nicht mehr durchkommt, müssen Radiowellen uns die Botschaften aus den Fernen des Weltalls überbringen. Mit großen Radioteleskopen werden sie aufgefangen.

136 So kann die Kamera am Fernrohr angebracht werden.

137 Das sieht primitiv aus, aber man kann mit dieser Anordnung recht gut fotografieren.

Unsere Astrokamera kann sowohl mit einem Normalobjektiv als auch mit einem Weitwinkel- oder einem Teleobjektiv ausgerüstet sein. Je länger die Kamerabrennweite ist, desto höher sind die Anforderungen an die Nachführgenauigkeit. Diese aber hängt mit der Präzision zusammen, mit der die Fernrohrmontierung aufgestellt und ausgerichtet ist. Bei ungenauer Ausrichtung besteht die Gefahr, daß zwar der helle Leitstern, den wir während der Aufnahme immer im Fadenkreuzmittelpunkt halten, punktförmig abgebildet ist, daß aber die anderen Sterne mehr oder weniger große Kreise um diesen Leitstern beschrieben haben. Wir überprüfen deshalb, ob die Stundenachse unserer Montierung wirklich genau zum Himmelsnordpol weist:

Das Fernrohr wird mit einem Strich- oder Fadenkreuzokular ausgerüstet und auf einen möglichst hellen Stern gerichtet, der sich in etwa 40° Höhe über dem Horizont in südsüdöstlicher Richtung befindet. Diesen Stern stellen wir auf den Schnittpunkt der beiden Fäden ein. Wenn das Okular dabei ein wenig herausgeschraubt wird, so daß der Stern als unscharfes Kreisscheibchen erscheint, kann man das Fadenkreuz leicht auf die Mitte dieses hellen Flecks ausrichten.

Mit der Nachführeinrichtung des Fernrohrs verfolgen wir den Stern 10 oder mehr Minuten, je nachdem, wie lange wir später bei der Aufnahme belichten wollen. Bleibt der Stern während dieser Zeit genau in Fadenkreuzmitte, dann ist alles in Ordnung. Weicht er aber nach oben oder unten ab, dann muß das gesamte Achsensystem etwas gedreht werden:

| Abweichung des Sterns | erfordert Drehung der Montierung |
|-----------------------|----------------------------------|
| nach oben             | nach Osten                       |
| nach unten            | nach Westen                      |

Eine erneute Prüfung muß zeigen, ob wir die genaue Nord-Süd-Richtung getroffen haben. Wenn nicht, wird das Verfahren wiederholt. Um die Neigung der Stundenachse (Polachse) zu kontrollieren, wählen wir einen Stern in etwa 30° Höhe über dem Osthorizont. Wieder verfolgen wir ihn mit dem Fadenkreuz. Läuft er nach einiger Zeit aus der Fadenkreuzmitte heraus, dann muß die Neigung der Stundenachse verändert werden:

| Abweichung des Sterns | erfordert Neigung der Stundenachse |
|-----------------------|------------------------------------|
| nach oben             | steiler als bisher                 |
| nach unten            | flacher als bisher                 |

Auch diese Prüfung muß wiederholt werden, bis der Stern so lange in Fadenkreuzmitte verbleibt, wie wir unsere Aufnahmen belichten wollen.

länge 0,21 m (das entspricht einer Frequenz von 1429 MHz) »sendet«. Gewaltige Richtantennen registrieren heute die Radiowellen aus dem Weltall (Bild 135). Außer den Radiowellen fesseln die Infrarot- und die Röntgenstrahlung, die von den Himmelskörpern ausgehen, das Interesse der Fachwissenschaftler. Nur die erstgenannte Strahlungsart kann zu einem Teil auf der Erde aufgefangen werden, ihr Hauptanteil wird von der Erdatmosphäre verschluckt. Röntgenstrahlen durchdringen die Luft-hülle der Erde überhaupt nicht. (Zu unserem Glück! Eine Dauerbestrahlung aus dem »kosmischen Röntgengerät« hätte die Entstehung jeglichen Lebens auf unserem Planeten mit absoluter Sicherheit verhindert!) Infrarotastronomie muß deshalb zum überwiegenden Teil, Röntgenastronomie sogar gänzlich von Standorten aus betrieben werden, die sich außerhalb der Erdatmosphäre befinden. Die Spezialteleskope für diese Strahlungsarten sind deshalb in Raumflugkörpern eingebaut; sie werden von der Erde aus bedient und melden zur Erde, was sie »gesehen« haben. Außerirdische Astronomie ...

### Die Auswertung der Aufnahmen

Auch die schönsten Astrofotos werden mit der Zeit langweilig – dann nämlich, wenn alle irgendwie »attraktiven« Objekte schon einmal auf den Film gebannt und auf einwandfreien Hochglanzabzügen zu bewundern sind. Man müßte mehr aus seinen Aufnahmen herausholen können ...

Aber das können wir doch! Es ist nämlich ganz gut möglich, die Koordinaten eines Planetoiden, eines Kometen oder eines anderen Objekts aus unseren Aufnahmen



138 *Stadtlcht vereitelt nicht in jedem Falle ein gutes Astrofoto. Jörg Hoppe benutzte es auf dieser Aufnahme (10 min belichtet, Normalobjektiv 2,8/50, 27-DIN-Film) als reizvollen Hintergrund für die Plejaden. Wegen der Nachführbewegung ist der Horizont unscharf.*

139 *Das ist die Wirkung des Teleobjektivs: Das gleiche Objekt, auf Film gleicher Empfindlichkeit nur drei Minuten länger belichtet als auf dem vorbegehenden Bild, zeigt noch Sterne der Größenklasse 12,5 (Aufnahme mit Objektiv 3,5/135 von Martin Müller).*

Natürlich wird jeder Fernrohrbesitzer nach einer Möglichkeit suchen, diese Aufstellung irgendwie zu fixieren. Viele Amateurgeräte sind so konstruiert, daß man mit Markierungen an der Säule und am Achsenkopf die richtige Stellung schnell wiederfinden kann.

Wie lange kann man Aufnahmen mit der Astrokamera belichten? Bei 5 Minuten Belichtungszeit bildet ein leistungsfähiges Normalobjektiv auf 27-DIN-Film noch Sterne der 10. Größenklasse ab, Teleobjektive schaffen eine bis zwei Größenklassen mehr. Umgekehrt zeigen Weitwinkelobjektive unter den gleichen Bedingungen nur die Sterne bis zur 8. oder 9. Größenklasse. Auch die Färbung des Sternlichts hat Einfluß auf die Grenzhelligkeit. Auf panchromatischem Film ist bei roten Sternen die Reichweite etwas größer als bei weißen oder blauen. Aber schon die erwähnten 5 Minuten Belichtungszeit können bewirken, daß der Himmelshintergrund verschleiert.

Wir wissen, woher das kommt. Die über einer Stadt- oder Industrielandschaft immer vorhandene Dunstglocke wird von künstlichen Lichtquellen angestrahlt, so daß der Himmelshintergrund stark aufgehellt erscheint. Er überdeckt die schwachen Sterne, und deshalb sind an manchen Orten brauchbare Aufnahmen nur mit Belichtungszeiten von 1 bis 3 Minuten zu erhalten. Sie zeigen nur wenig mehr Sterne, als man mit dem bloßen Auge sehen kann.

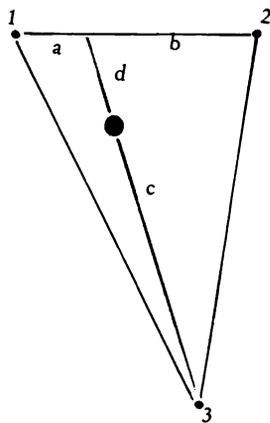
Hier kann ein Teleobjektiv eine gute Hilfe sein. Es bildet die Sterne punktförmig ab, genau wie das Normalobjektiv, aber es setzt die Flächenhelligkeit des Himmelshintergrundes herab, und das um so mehr, je größer seine Brennweite ist. Man kann also länger belichten, bevor der gleiche Grauschleier auf den Aufnahmen sichtbar wird, die Sterne aber treten deutlicher hervor.

Weitwinkelobjektive zeigen den entgegengesetzten Effekt. Sie bilden flächenhafte Objekte, z. B. einen Kometen oder einen ausgedehnten Nebel, sehr deutlich ab, aber schwache Sterne erscheinen auf solchen Aufnahmen nicht. Auch die Hintergrundhelligkeit wird verstärkt wiedergegeben. Weitwinkelobjektive sind also etwas für extrem »finstere Gegenden« und extrem gute atmosphärische Bedingungen. Daß der Mond da nicht am Himmel stehen und für zusätzliche Aufhellung sorgen darf, ist selbstverständlich.

Wenn Sternfeldaufnahmen mit der Astrokamera zu Helligkeitsschätzungen verwendet werden sollen, beispielsweise bei der fotografischen Registrierung der Helligkeitsänderung eines Veränderlichen Sterns, ist noch eine weitere Besonderheit zu beachten. Die handelsüblichen Filme haben eine etwas andere Farbenempfindlichkeit als die in der Forschung verwendeten Aufnahmematerialien. Man erreicht aber mit normalem, panchromatischem Film die visuellen Helligkeiten, wenn man ein

zu ermitteln. Bei einem Nova-Ausbruch kommt es ebenfalls darauf an, die genaue Position des explodierenden Sterns am Himmel festzuhalten; und zufällig auf dem Film befindliche Meteorspuren, bei denen Anfangs- und Endpunkt vermessen werden können, sind unter Umständen ebenfalls von hohem wissenschaftlichem Wert. Warum also nicht eine wissenschaftliche Auswertung der Fotos versuchen?

Erinnern wir uns: Der Sternhimmel ist mit einem gedachten Koordinatennetz überzogen, das ähnlich aussieht wie das Gradnetz der Erde. Statt geographischer Länge und Breite verwenden wir in der Astronomie die Koordinaten Rektaszension  $\alpha$  und Deklination  $\delta$  (vgl. Seiten 62/63). Für viele Sterne kann man die Rektaszension und die Deklination einem Sternkatalog entnehmen; mit etwas geringerer Genauigkeit können die Werte auch aus einem Sternatlas (siehe Seiten 180 bis 191) »herausgemessen« werden.



140 Hilfskonstruktion zur Koordinatenberechnung

schwaches Gelbfilter in den Strahlengang bringt. Ein ganz helles Gelbfilter ist auch dann anzuraten, wenn man ein Objektiv zur Aufnahme verwendet, das eigentlich gar nicht als Fotoobjektiv vorgesehen ist. Aber viele Amateurastronomen verfügen ja über eine Bastelkiste; und wenn sich darin ein Sucherobjektiv von 20 bis 50 cm Brennweite findet, dann lohnt ein Versuch, aus dieser Optik und einem Kameragehäuse eine langbrennweitige Astrokamera zusammenzustellen. Wichtig sind eine genaue Scharfeinstellung – da werden Probeaufnahmen nötig sein – und, wegen des größeren Abbildungsmaßstabes, eine sehr exakte Nachführung.

### Im Brennpunkt

Wer einmal versucht hat, den Mond mit seiner Astrokamera zu fotografieren, wird sich an das Ergebnis noch lange erinnern: Der Mond erschien als etwas »dick« geratener Stern ohne jedes Oberflächendetail. Selbst mit einem langbrennweitigen Teleobjektiv läßt sich auf dem Negativ nur ein Mondbilddurchmesser von 3 bis 5 mm erreichen.

Wir erhalten einen erheblich größeren Abbildungsmaßstab, wenn wir das (objektivlose) Kameragehäuse so am Okularauszug des Fernrohrs befestigen, daß das Fernrohrobjektiv ein Bild des Objekts auf den Film projiziert. Bei einer einäugigen Spiegelreflexkamera muß also dann ein scharfes Bild des Objekts im Sucher erscheinen.

Mit einem Fernrohr von 1 m Brennweite erhalten wir auf diese Weise ein scharfes Bild des Mondes von fast 1 cm Durchmesser. Es kann in der Dunkelkammer stark nachvergrößert werden und zeigt sehr viele Einzelheiten der Mondoberfläche. Natürlich gelten bei diesem Verfahren ganz andere Regeln für die Belichtungszeit als bei Aufnahmen mit der Kamera allein. Das System »Fernrohr + Kamera« wirkt ja wie eine Kamera mit extrem langbrennweitigem Teleobjektiv. Unser Mondfoto erfordert – je nach Mondphase – auf mittelempfindlichem Film Belichtungen von  $\frac{1}{100}$  bis  $\frac{1}{2}$  Sekunden Dauer. (Eine mittlere Filmempfindlichkeit ist bei Aufnahmen, die stark nachvergrößert werden sollen, zweckmäßig. Die Körnigkeit der lichtempfindlichen Schicht tritt dann auf den fertigen Vergrößerungen nicht so sehr hervor wie bei den hoch- und höchstempfindlichen Filmen.)

An kleineren Amateurinstrumenten gewonnene Fokalbilder von Planeten haben so geringe Durchmesser, daß sie keine sinnvollen Vergrößerungen mehr zulassen. Jupiter wird von einem Fernrohrobjektiv von 2 m Brennweite lediglich als Scheibchen mit 0,47 mm Durchmesser auf dem Film abgebildet, Mars erscheint selbst in einer günstigen Opposition unter

Haben wir auf einer unserer Aufnahmen ein Objekt gefunden, dessen Koordinaten wir ermitteln wollen, dann rahmen wir das Negativ wie ein Kleinbild-Dia und projizieren es mit dem Bildwerfer auf einen großen Bogen Zeichenpapier. Dann suchen wir auf der Aufnahme drei Sterne, die die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Sie sollen ein möglichst kleines Dreieck bilden, in dem das auszumessende Objekt eingeschlossen ist.
- Ihre Koordinaten  $\alpha_1, \delta_1, \alpha_2, \delta_2, \alpha_3, \delta_3$  müssen bekannt sein (die Sterne sollen also z. B. im Sternatlas auf den Seiten 180 bis 191 enthalten sein).

Im Bild 140 sind (1), (2), (3) die drei Ecksterne, (x) unser unbekanntes Objekt. Wir messen die Abstände a, b, c und d (jeweils in Millimetern) und rechnen:

$$A = \frac{b \cdot c}{(a + b) \cdot (c + d)}$$

$$B = \frac{a \cdot c}{(a + b) \cdot (c + d)}$$

$$C = \frac{d}{c + d}$$

A, B und C sind drei dimensionslose Hilfsgrößen. Bei einer Kontrollrechnung muß  $A + B + C$  gleich oder nahezu gleich 1 sein. Die Koordinaten  $\alpha_x$  und  $\delta_x$  des unbekanntes Objekts ergeben sich dann aus den Gleichungen

$$\alpha_x = A \cdot \alpha_1 + B \cdot \alpha_2 + C \cdot \alpha_3$$

$$\delta_x = A \cdot \delta_1 + B \cdot \delta_2 + C \cdot \delta_3$$

Die Genauigkeit solcher Positionsangaben hängt sehr vom Abbildungsmaßstab auf dem Negativ und dieser von der Aufnahmebrennweite ab. Mit einem Teleobjektiv mit 135 mm Brennweite läßt sich der Ort des unbekanntes Objekts z. B. schon auf  $0,1' = 0,002^\circ$  genau festlegen.

gleichen Bedingungen mit 0,24 mm Durchmesser. Das ist der Grund dafür, daß Fokalaufnahmen nur vom Mond, von der Sonne und von relativ ausgedehnten Objekten (Kometen, Nebeln, Sternhaufen, Sternsystemen) brauchbare Ergebnisse liefern. Die Belichtungszeiten können bei Aufnahmen der zuletzt genannten Objekte bis zu einer Stunde, in Ausnahmefällen noch mehr, betragen. Das stellt aber hohe Anforderungen an die Güte unserer Nachführeinrichtung und damit auch an die präzise Justierung des Fernrohrs. Dabei muß vom Beginn der Belichtung an eine optische Kontrolle der Nachführgenauigkeit möglich sein. Wie das technisch zu bewerkstelligen ist, muß der fortgeschrittene Amateur der Spezialliteratur entnehmen oder in einer Volkssternwarte erfragen.

### Die Planetenkamera

Fokalaufnahmen kosmischer Objekte haben um so größere Durchmesser, je größer die Objektivbrennweite des verwendeten Fernrohrs und der Winkeldurchmesser des Objekts sind. Um vom Jupiter ein Fokalbild von 5 mm Durchmesser zu gewinnen, müßte ein Instrument mit mehr als 21 m Brennweite zur Verfügung stehen!

Aber es gibt da einen Trick! Wir können die Brennweite scheinbar verlängern, indem wir zusätzlich eine Zerstreuungslinse (eine sogenannte Barlow-Linse) kurz vor dem Brennpunkt des Fernrohrobjektivs in den Lichtweg einsetzen. Noch einfacher ist es, das Okular im Fernrohr zu belassen und aus seiner »Unendlich«-Stellung herauszuschieben. Man spricht dann von Aufnahmen, die mit dem Verfahren der Okularprojektion gewonnen wurden; und weil mit dieser Aufnahmetechnik vor allem Planeten fotografiert werden, heißt unser (objektivloser) Fotoapparat hinter dem Okular des Fernrohrs jetzt *Planetenkamera*.

Wie wirkt sich die Okularprojektion auf die Bildgröße aus? Wenn

d der scheinbare Planetendurchmesser (in Winkelsekunden),  
 F die Objektivbrennweite (in mm),  
 f die Okularbrennweite (in mm) und  
 g der Abstand Okular – Film (in mm)

sind, dann gilt für den Durchmesser D des projizierten Bildes

$$D = \frac{4,8 \cdot 10^{-6} \cdot F \cdot d \cdot (g - f)}{f} \quad (\text{in mm}).$$

Wählt man den Abstand Okular – Film  $g = 200$  mm (was durch entsprechende Zwischenringe zu erreichen ist), dann erhält man bei  $F = 1000$  mm und  $f = 16$  mm ein Jupiterbild von

Aber Achtung! Wir müssen, vor allem bei den Deklinationen  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  und  $\delta_3$ , die Vorzeichen beachten, und die Rektaszensionen  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  und  $\alpha_3$  der drei Ecksterne müssen, bevor wir sie in die Gleichung für  $\alpha_x$  einsetzen, in Dezimalstunden umgerechnet werden. (Normalerweise wird ja die Rektaszension, wie die Uhrzeit, in Stunden, Minuten und Sekunden angegeben.) Viele Taschenrechner erledigen diese und die umgekehrte Rechenoperation per Tastendruck.

Ohne Rechner geht man so vor:

Zuerst werden die Sekunden durch 3600 dividiert, dann die vollen Minuten durch 60; die beiden Resultate werden zur Zahl der vollen Stunde addiert. Dazu geben wir ein Beispiel – 17 h 53 min 12 s sollen in Dezimalstunden umgerechnet werden:

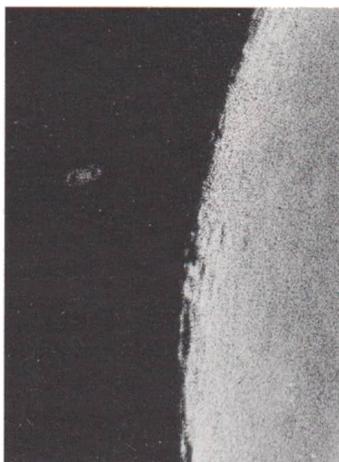
$$\frac{12}{3600} + \frac{53}{60} + 17 = 17,8867.$$

Also sind 17 h 53 min 12 s 17,8867 Stunden.

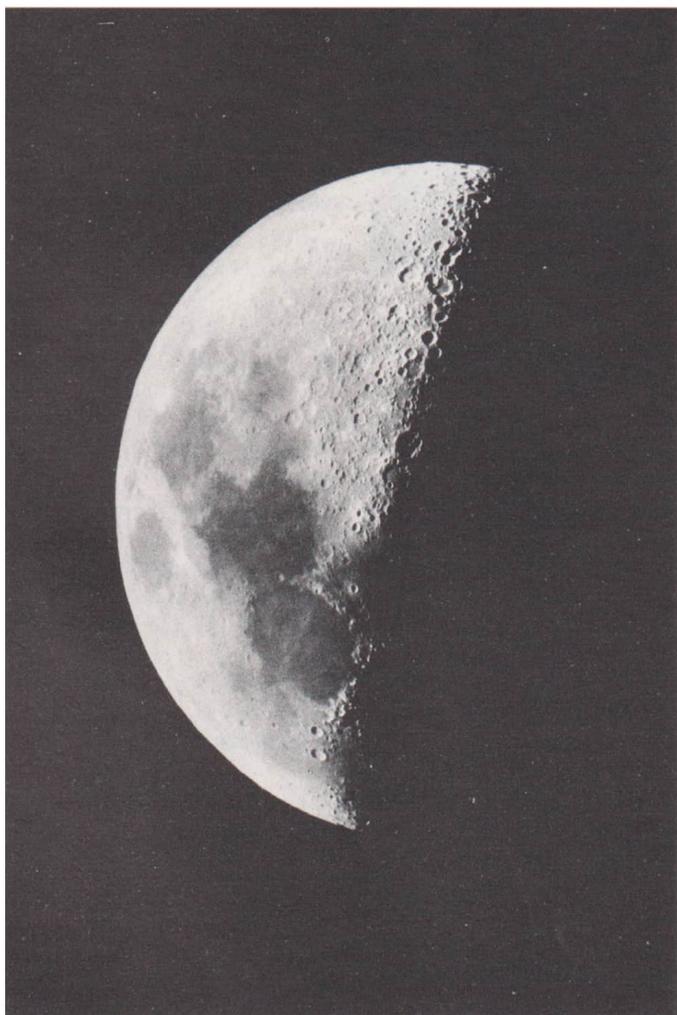
Ein komfortableres Messen wird möglich, wenn wir von unserem Negativ eine Papiervergrößerung anfertigen. Ist jedoch der Zweck der Aufnahme ausschließlich eine Orts- und vielleicht eine Helligkeitsbestimmung des unbekanntes Objekts, dann lohnt sich der Positivprozeß kaum.

2,6 mm Durchmesser, und ein Foto des Mondes hätte in diesem Falle fast 10 cm Durchmesser – wenn unser Filmformat dieses Bild aufnehmen könnte! So aber müssen wir uns mit einem Ausschnitt der Mondoberfläche begnügen. Auch diese Aufnahmen lassen in der Regel noch eine mehr oder weniger starke Nachvergrößerung vom Originalnegativ zu. Übrigens entspricht der so erzielte Strahlengang in unserem Fernrohr einer Verlängerung der Objektivbrennweite auf 11 m!

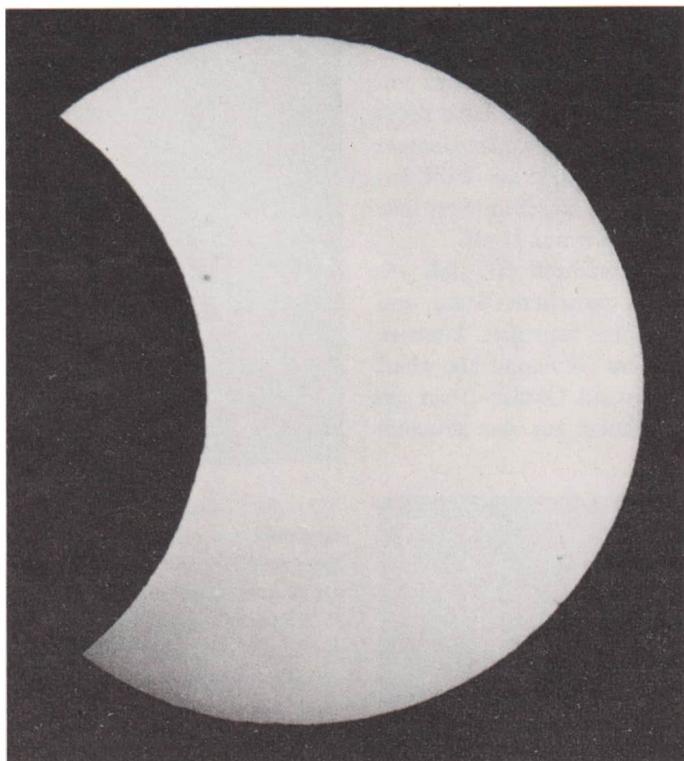
Das Schöne am Okularprojektionsverfahren ist, daß wir durch willkürliche Wahl des Abstands zwischen Okular und Film den Abbildungsmaßstab beliebig festlegen können. Selbstverständlich muß das Bild mit dem Okularauszug scharf eingestellt werden: Je kleiner der Abstand Okular–Film gewählt wird, um so weiter ist das Okular aus der »Unendlich«-Stellung herauszuschieben.



142 Am 11. Dezember 1973 wurde der Saturn vom Mond verdeckt. Auf dieser stark vergrößerten Aufnahme von Martin Müller (5 s belichtet, 15 DIN-Film, Negativ auf hart arbeitenden Film umkopiert) ist der Ringplanet nur Bruchteile eines Grades vom Mondrand entfernt.



141 Das ist die Nachvergrößerung von einer Fokalaufnahme. Sie wurde von Martin Müller an einem 80-mm-Fernrohr mit  $\frac{1}{2}$  s Belichtungszeit gewonnen.



143 Mit einem 80-mm-Amateurfernrohr fotografierte Christian Stolle eine Phase der in Mitteleuropa partiellen Sonnenfinsternis vom 30. Mai 1984. Das Projektionsokular hatte 25 mm Brennweite; belichtet wurde  $\frac{1}{500}$  s auf 15-DIN-Film.

Aber jede Medaille hat zwei Seiten. Auf der anderen, nicht so strahlenden Seite unserer Okularprojektions-Medaille steht die Forderung, die Belichtungszeiten erheblich länger zu bemessen, als wir bei den beiden anderen Aufnahmetechniken gewohnt waren. Das erhöht die Ansprüche an die Stabilität und die Nachführgenauigkeit unserer Montierung und – wie wir noch sehen werden – an die Qualität der Sichtverhältnisse. Für die Ermittlung der ungefähren Belichtungszeit benutzen erfahrene Beobachter die Gleichung

$$t = \frac{1}{E \cdot K} \cdot \left( \frac{g \cdot F}{D \cdot f} \right)^2 \quad (\text{in Sekunden}).$$

Dabei ist

D der Objektivdurchmesser (in mm),

F die Objektivbrennweite (in mm),

f die Okularbrennweite (in mm),

g der Abstand Okular – Film (in mm),

E die Filmempfindlichkeit (in ASA, nicht in DIN!) und

K ein dimensionsloser Faktor, der von der Flächenhelligkeit des Objekts abhängt.

Die nebenstehenden Tabellen nennen die Helligkeitsfaktoren einiger wichtiger Objekte.

Für die Umrechnung der Filmempfindlichkeiten gilt:

| DIN | ASA | DIN | ASA  |
|-----|-----|-----|------|
| 15  | 25  | 24  | 200  |
| 18  | 50  | 27  | 400  |
| 20  | 80  | 30  | 800  |
| 21  | 100 | 33  | 1600 |
| 22  | 125 |     |      |

| Objekt                        | K     |
|-------------------------------|-------|
| Mond 2 d vor/nach Neumond     | 10    |
| Mond 4 d vor/nach Neumond     | 20    |
| Mond 7 d vor/nach Neumond     | 40    |
| Mond 10 d vor/nach Neumond    | 80    |
| Vollmond                      | 220   |
| Mondfinsternis (Kernschatten) | 0,005 |
| Mond, aschgr. Licht           | 0,01  |

| Objekt       | K   |
|--------------|-----|
| Venus        | 200 |
| Mars         | 120 |
| Jupiter      | 25  |
| Jupitermonde | 10  |
| Saturn       | 10  |
| Uranus       | 5   |

Mit einer »Schein-Brennweite« von 11 m und einem Objektivdurchmesser von 100 mm erhalten wir also für unsere beiden Beispiele Belichtungszeiten von 8 Sekunden (Jupiter) bzw. 5 Sekunden (Mond im Ersten oder Letzten Viertel), wenn 20-DIN-Film verwendet wird. Aber diese Angaben können nur grobe Richtwerte sein! Die Durchsichtigkeit der Luft variiert mit der Höhe des Objekts über dem Horizont, leichter Dunst kann die K-Werte unkontrollierbar verändern; und wenn wir, um ein für visuelle Beobachtungen konstruiertes Fernrohrobjektiv für die fotografische Beobachtung zu nutzen, ein Gelbfilter einschalten, muß dessen Verlängerungsfaktor natürlich auch berücksichtigt werden. Deshalb sind Probeaufnahmen unerlässlich. Sie sollten außer mit der errechneten Belichtungszeit auch mit doppelter und vierfacher Zeit sowie mit der Hälfte und einem Viertel dieses Richtwertes belichtet werden.

### Fototips

Die beste Scharfeinstellung nützt nichts, wenn im Moment der Aufnahme das Fernrohr mitsamt der Kamera durch den Auslösevorgang in Schwingungen versetzt wird. Ein *Drabtauslöser* ist also unentbehrlich. Aber selbst die Bewegung des Verschlusses in der Kamera kann zum »Verwackeln« des Bildes führen. Vorsichtige Leute gehen deshalb bei der Aufnahme so vor:

Ein Stück Pappe wird vor die Aufnahmeoptik (Kamera oder Fernrohrobjektiv) gehalten, dann wird der auf »B« eingestellte Kameraverschluß geöffnet. Nach einigen Sekunden, wenn sich die Schwingungen beruhigt haben, wird mit der Pappe der Lichtweg freigegeben. Beim Ende der Belichtung ist in umgekehrter Reihenfolge zu verfahren.

Durch die Bewegung der Luft entsteht das bekannte »Funkeln« der Sterne. So schön es sich für den unbefangenen Betrachter des Sternhimmels ausnimmt, so ärgerlich ist es für den Astronomen, denn die Sternbildchen ändern dabei nicht nur alle Augenblicke ihre Helligkeit, sondern tanzen auch scheinbar wie wild um einen mittleren Ort herum. Diese schnelle scheinbare Ortsveränderung wird als *Seeing* (gesprochen: si-ing) bezeichnet. Sie übt einen ganz wesentlichen Einfluß auf das fotografische Bild aus, vor allem bei Fokal- und Okularprojektionsaufnahmen. Man stelle sich vor, daß bei den erforderlichen langen Belichtungszeiten jeder Bildpunkt völlig unkontrollierte Bewegungen auf dem Film vollführt!

Das Seeing ist daran schuld, daß man auf einer Planetenaufnahme nie so viele Einzelheiten erkennen kann wie bei der Beobachtung des gleichen Planeten mit dem gleichen Instrument, aber mit dem Auge. Das Auge ist imstande, die wenigen Momente zu nutzen, in denen das Bild ganz klar und ruhig er-

### Präzession

Die Koordinaten  $\alpha_x$  und  $\delta_x$  ergeben sich natürlich in dem gleichen Koordinatensystem, das für die Koordinaten der Ecksterne gültig ist. Unser Sternatlas auf den Seiten 180 bis 191 ist für das Jahr 2000 gezeichnet. Soll in einem Ausnahmefall der Ort des unbekanntes Objekts im Koordinatensystem des betreffenden Jahres angegeben werden, so muß erneut gerechnet werden:

1. Wir wandeln, falls noch nicht geschehen, nach dem oben angegebenen Verfahren die Rektaszension des unbekanntes Objekts in Dezimalstunden um.
2. Wir rechnen diesen Wert in Gradmaß um, indem wir ihn mit 15 multiplizieren. (Für das obige Beispiel gilt dann:  $17,8867 \text{ h} \cong 268,3005^\circ$ .)
3. Die Änderung der Rektaszension pro Jahr erhalten wir aus

$$\Delta\alpha = 0,012808^\circ + 0,0055667^\circ \cdot \sin\alpha_x \cdot \tan\delta_x$$

und die jährliche Änderung der Deklination aus

$$\Delta\delta = 0,0055667^\circ \cdot \cos\alpha_x.$$

Dabei sind  $\alpha_x$  und  $\delta_x$  die Koordinaten im 2000er Gradnetz.

4. Die Koordinaten  $\alpha$  und  $\delta$  für das betreffende Jahr lassen sich nun leicht berechnen:

$$\alpha = \alpha_x - t \cdot \Delta\alpha$$

$$\delta = \delta_x - t \cdot \Delta\delta,$$

wobei  $t$  die Anzahl der Jahre ist, die bis 2000 noch fehlen.

scheint, und der Beobachter kann das Gesehene gedanklich fixieren und aus vielen, oft nur blickweise erhaschten Einzelbildern ein Gesamtbild des Planeten zusammensetzen. Die fotografische Schicht kann das nicht. Sie registriert präzise, aber stur alles, was sie »sieht« – und produziert auf diese Weise ein unscharfes Bild.

Nach allem, was wir vom Seeing wissen, bleibt uns nur noch eines übrig: Herunter mit der Belichtungszeit! Je kürzer wir belichten, um so weniger Zeit bleibt den Bildpunkten auf dem Film für ihren Tanz. Damit ist der Bildgröße eine Grenze gesetzt (in der Formel auf Seite 166) darf der Abstand  $g$  nicht zu groß gewählt werden), und gleichzeitig müssen wir ein möglichst empfindliches Aufnahmematerial wählen. Aber: Das größere Korn schränkt die Vergrößerungsfähigkeit des Negativs ein! Wie wir die Sache auch drehen – ohne Kompromiß geht es nicht.

Erfahrungsgemäß ist die Luftunruhe zu Beginn und gegen Ende der Nacht am geringsten. Wind verstärkt die Luftunruhe; starker Wind kann die Aufnahme auch dadurch unmöglich machen, daß er das Instrument zum Schwingen bringt. Über bewohntem Gebiet – besonders im Winter, wenn aus jedem Schornstein eine Heißluftsäule steigt – zittert die Luft viel stärker als über unbewohntem. Auch die Höhe des Objekts über dem Horizont spielt eine Rolle. Im allgemeinen nimmt die Luftunruhe mit zunehmender Höhe ab. Unter  $20^\circ$  Höhe sollte man deshalb nur in seltenen Ausnahmefällen gehen. Daß im Fernrohr selbst keine Temperaturunterschiede auftreten dürfen (vor allem die Spiegelteleskope sind da sehr empfindlich) sollte selbstverständlich sein. Über die Größe der Zitterbewegungen gibt es sehr unterschiedliche Angaben. Skeptiker meinen, in unseren Breiten seien Sprünge von  $5''$  bis  $10''$  keine Seltenheit, Optimisten erhoffen sich gelegentlich Ortsveränderungen von nur  $0,5''$ . Was das bedeutet, wird beim Vergleich mit den scheinbaren Durchmessern einiger Planeten deutlich: Jupiter erreicht  $48''$ , Mars in günstigen Oppositionen  $24''$  bis  $25''$ , Saturn (ohne die Ringe)  $21''$ . Luftbewegungen von  $10''$  überspringen also fast den halben Durchmesser von Mars und Saturn, und selbst die optimistischen Annahmen von  $0,5''$  bedeuten, daß die Unschärfe rund 1% des Planetendurchmessers ausmachen würde.

Bleiben die Belichtungszeiten unter  $\frac{1}{8}$  s, dann darf im allgemeinen auf die *Nachführung* des Fernrohrs verzichtet werden. Das kann bei geeigneter Optik Aufnahmen des Mondes, der Venus, vielleicht sogar des Jupiters betreffen.

Zum Schluß wollen wir noch an eine Eigenheit der fotografischen Schicht erinnern, die wir (auf Seite 41) schon kennengelernt haben: den *Schwarzschild-Effekt*. In der Formel auf Seite 168 ist er bereits näherungsweise berücksichtigt.

## Zurück zum Zeitmaß

Ärgerlich ist, daß wir die Rektaszension in Grad erhalten. Wieviel Stunden, Minuten und Sekunden sind  $268,8525^\circ$ ?

Wie Zeitmaß in Gradmaß umzuformen ist, wurde oben gezeigt. Nun soll der Weg in umgekehrter Richtung beschritten werden:

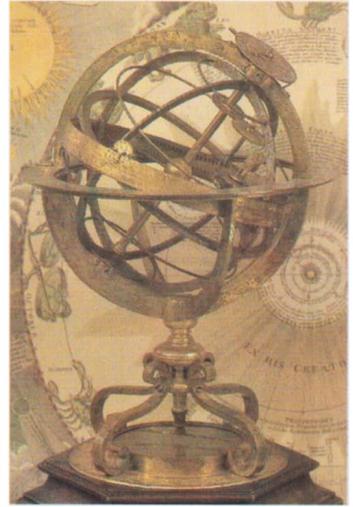
1. Wir dividieren den gegebenen Winkel ( $268,8525^\circ$ ) durch 15.  
Das ergibt die Rektaszension  $\alpha$  in Dezimalstunden:  
 $268,8525^\circ = 17,9235$  h.
2. Wir subtrahieren davon die Anzahl der ganzen Stunden:  
 $17,9235$  h –  $17$  h =  $0,9235$  h.
3. Diese Zahl ist mit 60 zu multiplizieren; der ganzzahlige Anteil des Resultats gibt die Minuten:  
 $0,9235 \cdot 60 = 55,41$  min.
4. Wieder subtrahieren wir den ganzzahligen Anteil:  
 $55,41$  min –  $55$  min =  $0,41$  min.
5. Der verbleibende Rest wird nochmals mit 60 multipliziert und gibt damit die Anzahl der Sekunden:  
 $0,41 \cdot 60 = 24,6$  s.

Damit haben wir das Ergebnis:  
 $268,8525^\circ = 17,9235$  h  
 $= 17$  h 55 min 24,6 s.



# Kapitel 5 Werkzeug- kiste für den Beobachter

|                     |     |
|---------------------|-----|
| Drehbare Sternkarte | 174 |
| Rechenscheibe       | 175 |
| Mondkarte           | 176 |
| Sternatlas          | 180 |



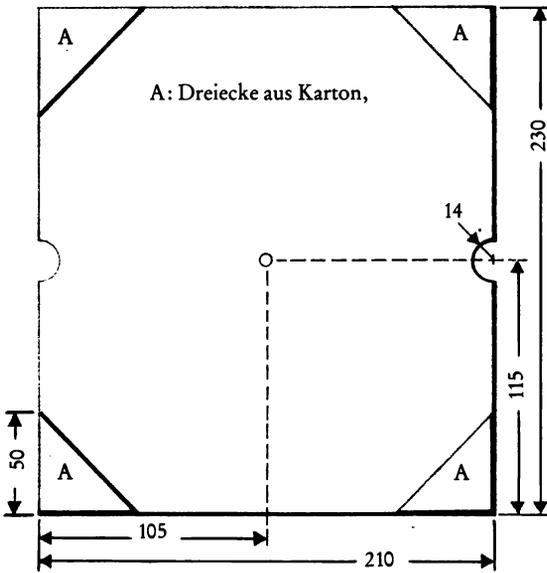
### Drehbare Sternkarte

Zur Herstellung der drehbaren Sternkarte benötigen wir drei kräftige Pappen. Zwei davon sollen rechteckig und  $21,0\text{ cm} \times 23,0\text{ cm}$  groß sein; die dritte ist eine Kreisscheibe von  $21,0\text{ cm}$  Durchmesser. Statt Pappe können wir auch dünnes Sperrholz verwenden. Außerdem brauchen wir eine kurze Schraube mit zwei Muttern und zwei Bogen Zeichenpapier im Format A 3.

Die Grundplatte schneiden wir nach Bild 145 zurecht. Die Bohrung in der Mitte muß die Schraube aufnehmen können; in die Ecken kleben wir vier Dreiecke (im Bild gestrichelt). Auch die Kreisscheibe erhält in der Mitte eine Bohrung. Nachdem wir die Schraube hindurchgesteckt und provisorisch auf der Rückseite mit einer Mutter gesichert haben, schneiden wir die auf der Beilage enthaltene Sternkarte aus und kleben sie auf die Scheibe. Die Schraube wird damit verdeckt. Um ein Verziehen der Pappe zu vermeiden, kleben wir auf die Rückseite der Scheibe ein gleich großes, passend zugeschnittenes Blatt Zeichenpapier.

Schließlich bekleben wir die dritte Platte mit dem aus den Vorlagen ausgeschnittenen Deckblatt (siehe Beilage) und schneiden alle schraffierte Teile sorgfältig mit einem scharfen Messer aus. (Auch hier ist es empfehlenswert, ein Blatt Zeichenpapier auf die Rückseite zu kleben.)

Nun können wir unsere drehbare Sternkarte zusammensetzen. Die Mutter wird von der Schraube entfernt und die Karte auf der Grundplatte drehbar befestigt. Die zweite Mutter dient zum Kontern der ersten. Dann bestreichen wir die Dreiecke auf der Grundplatte mit Klebstoff und leimen die Deckplatte auf. Wer Wert auf besondere Stabilität legt, kann die drehbare



144 Diese Armillarsphäre aus dem Jahre 1687 – Rechenmaschine und Meßgerät zugleich – wurde in Gottha gefertigt.

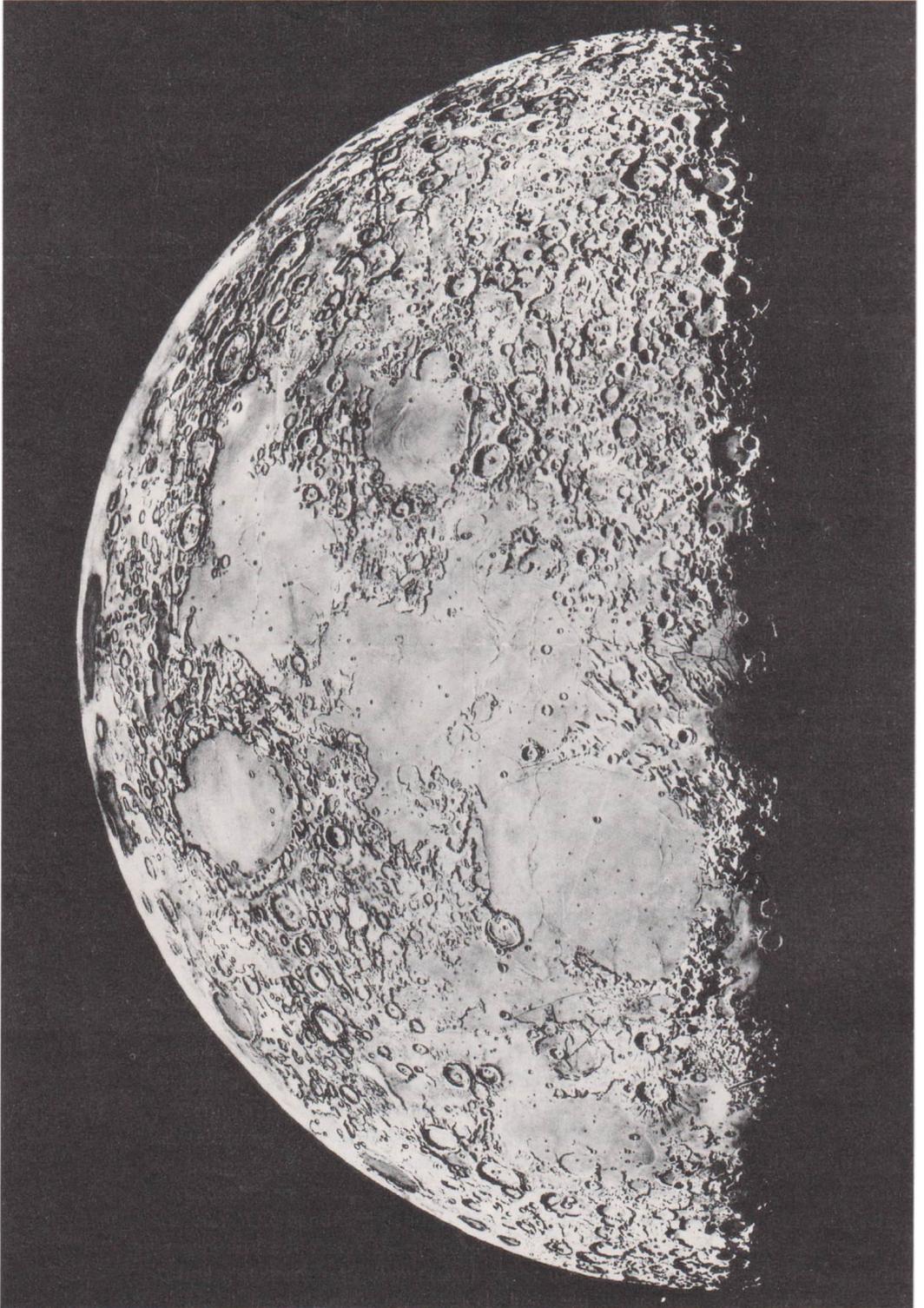
145 Maßskizze für die drehbare Sternkarte

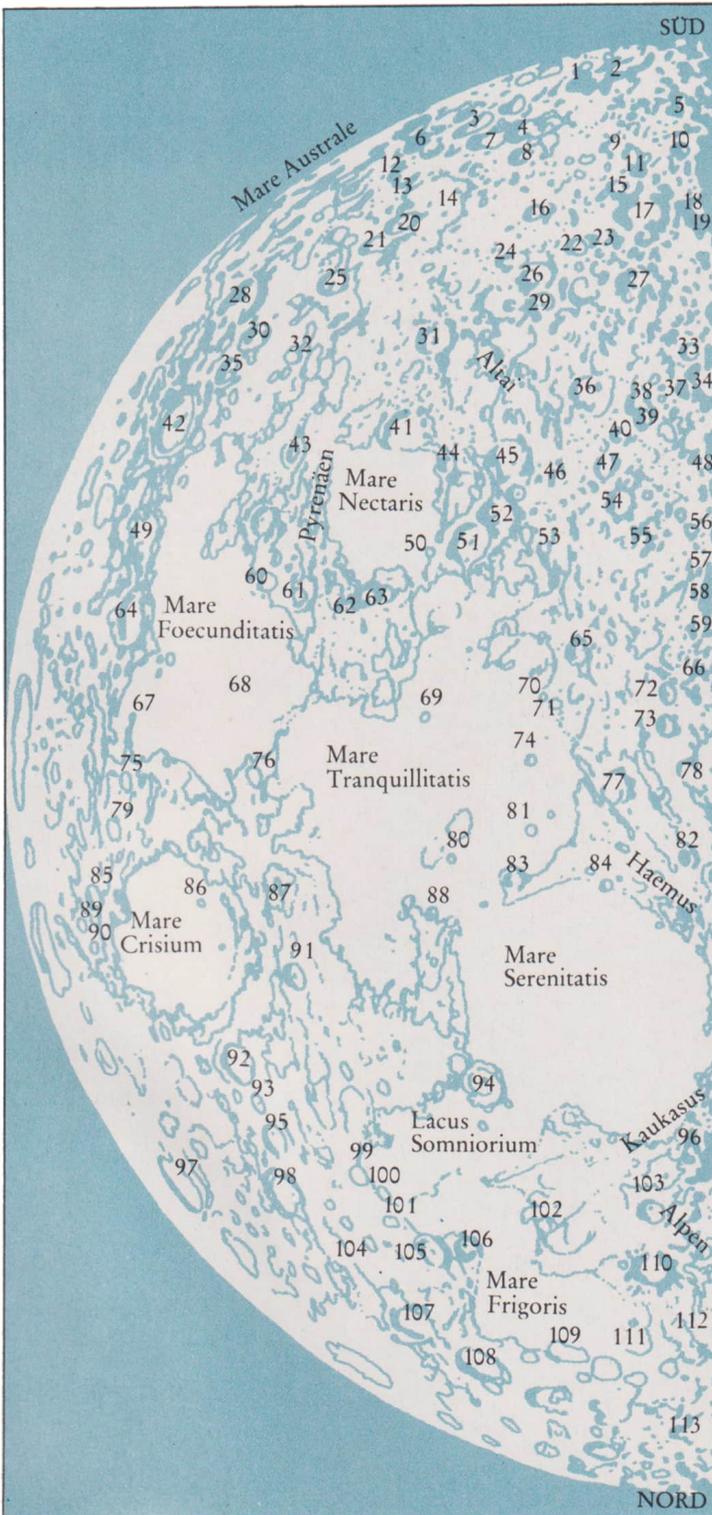
Sternkarte auf allen vier Seiten – mit Ausnahme der halbrunden Aussparungen – mit Papierstreifen oder Lenkerband einfassen. Die Aussparungen dienen als Grifföffnungen zum Drehen der Karte.

### Rechenscheibe

Zwei Kreisscheiben aus Pappe oder Sperrholz (Durchmesser 21,0 cm und 19,1 cm), eine Scheibe aus durchsichtiger, steifer Folie (Durchmesser 18,4 cm) und eine kurze Schraube mit zwei Muttern sind das gesamte Material, das für diesen praktischen »Papiercomputer« benötigt wird. Die Rechenscheibe dient zur Verwandlung von Sonnenzeit in Sternzeit und umgekehrt sowie zur Ermittlung der Aufgangs-, der Kulminations- und der Untergangszeit eines Gestirns.

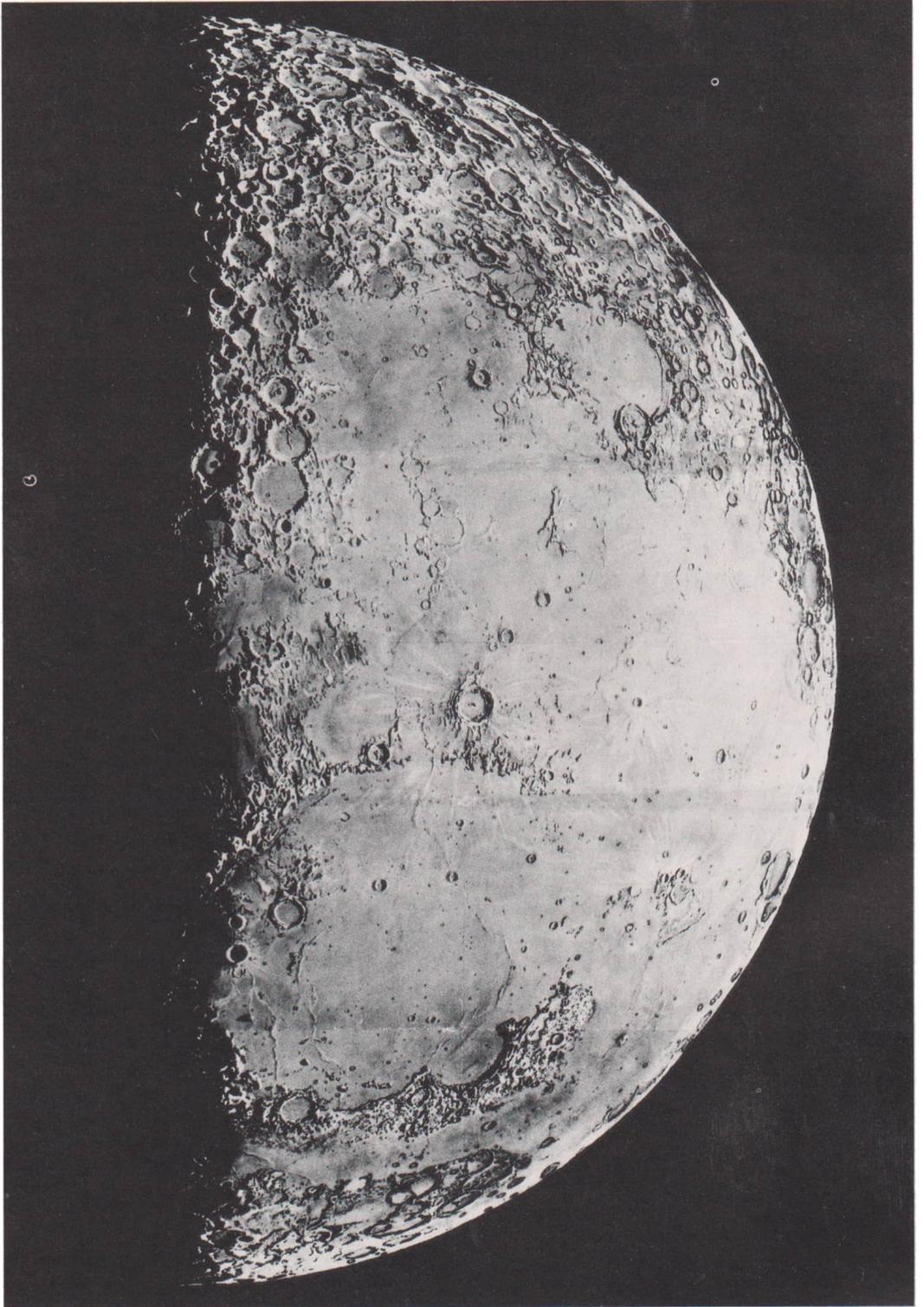
Zuerst zeichnen wir die Skalen gemäß der Vorlage I mit einem geeigneten Faserstift auf die Plastscheibe. Dann werden die beiden Pappscheiben mit den Vorlagen II und III, die wir vorher sorgfältig ausgeschnitten haben, beklebt. Auch hier empfiehlt sich, die Rückseiten der Pappen mit Zeichenpapier zu bekleben, damit sich das Material nicht verziehen kann. Aus der Scheibe II muß nun noch die Öffnung herausgeschnitten werden (in der Vorlage schraffiert), dann können wir die drei Scheiben drehbar miteinander verschrauben. Scheibe I (die Plastscheibe) kommt zuoberst, dann folgen II und III.





### Mondkarte Osthälfte

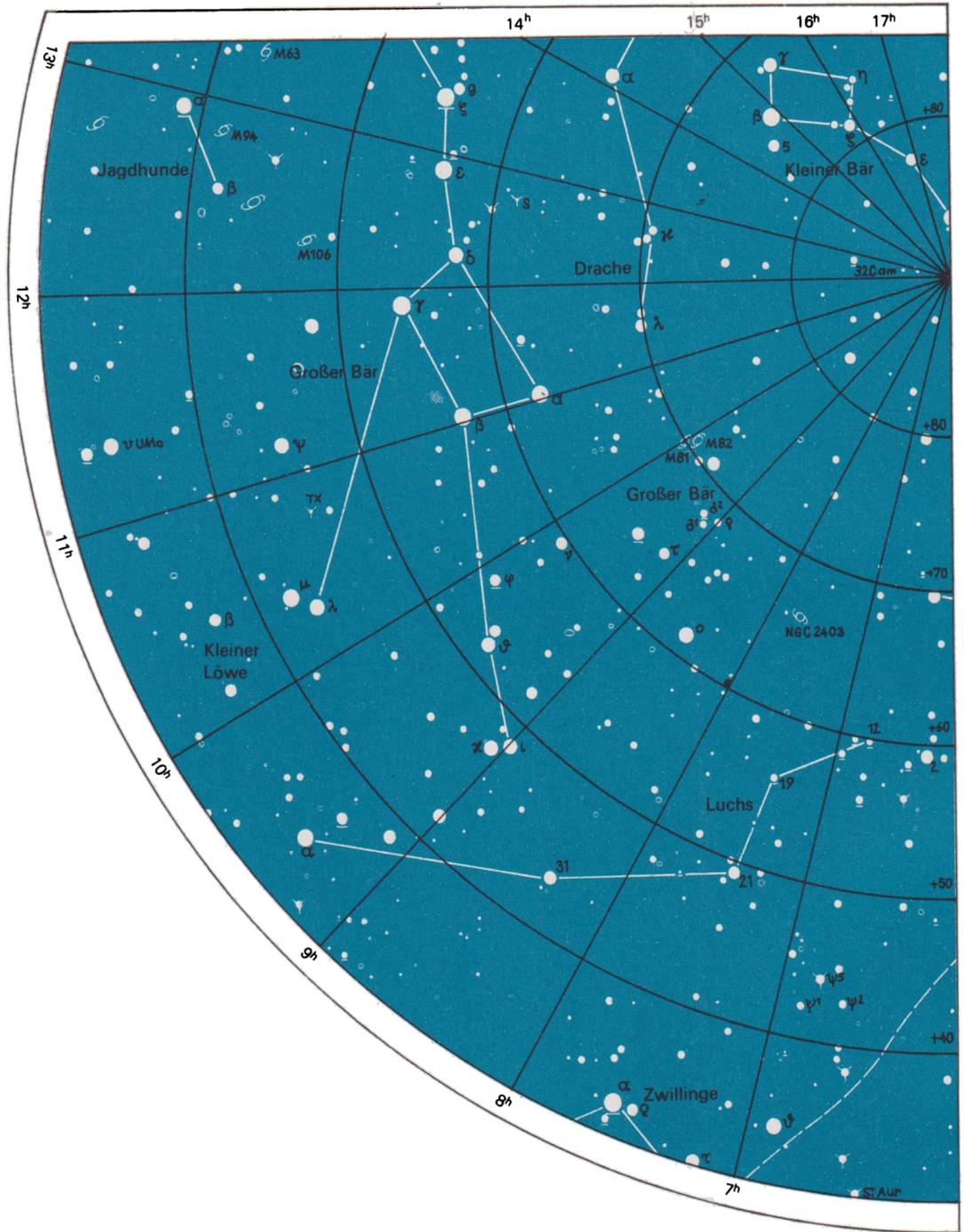
- 1 Mutus, 2 Manzinus, 3 Rosenberger, 4 Hommel, 5 Jacobi, 6 Biela, 7 Vlacq, 8 Pitiscus, 9 Baco, 10 Cuvier, 11 Clairaut, 12 Watt, 13 Steinheil, 14 Janssen, 15 Barocius, 16 Nicolai, 17 Maurolycus, 18 Faraday, 19 Stöfler, 20 Fabricius, 21 Metius, 22 Büsching, 23 Buch, 24 Riccius, 25 Rheita, 26 Rabbi Levi, 27 Gemma Frisius, 28 Furnerius, 29 Zagut, 30 Stevinus, 31 Piccolomini, 32 Reichenbach, 33 Apianus, 34 Krusenstern, 35 Snellius, 36 Sacrobosco, 37 Playfair, 38 Azophi, 39 Abenezra, 40 Geber, 41 Fracastorius, 42 Petavius, 43 Santbech, 44 Beaumont, 45 Catharina, 46 Tacitus, 47 Almanon, 48 Airy, 49 Vendelinus, 50 Mädler, 51 Theophilus, 52 Cyrillus, 53 Kant, 54 Abulfeda, 55 Andel, 56 Albategnius, 57 Halley, 58 Hipparchus, 59 Horrocks, 60 Goclenius, 61 Gutenberg, 62 Capella, 63 Isidorus, 64 Langrenus, 65 Delambre, 66 Rhaeticus, 67 Webb, 68 Messier, 69 Maskelyne, 70 Sabine, 71 Ritter, 72 Godin, 73 Agrippa, 74 Arago, 75 Apollonius, 76 Taruntius, 77 Julius Caesar, 78 Hyginus, 79 Firmicus, 80 Jansen, 81 Ross, 82 Manilius, 83 Plinius, 84 Mene-laus, 85 Condorcet, 86 Picard, 87 Proclus, 88 Vitruvius, 89 Hansen, 90 Alhazen, 91 Macrobius, 92 Cleomedes, 93 Burckhardt, 94 Posidonius, 95 Geminus, 96 Callippus, 97 Gauss, 98 Messala, 99 Franklin, 100 Cepheus, 101 Oersted, 102 Bürg, 103 Eudoxus, 104 Chevallier, 105 Atlas, 106 Hercules, 107 Endymion, 108 de la Rue, 109 Gärtner, 110 Aristoteles, 111 Galle, 112 Protagoras, 113 Meton





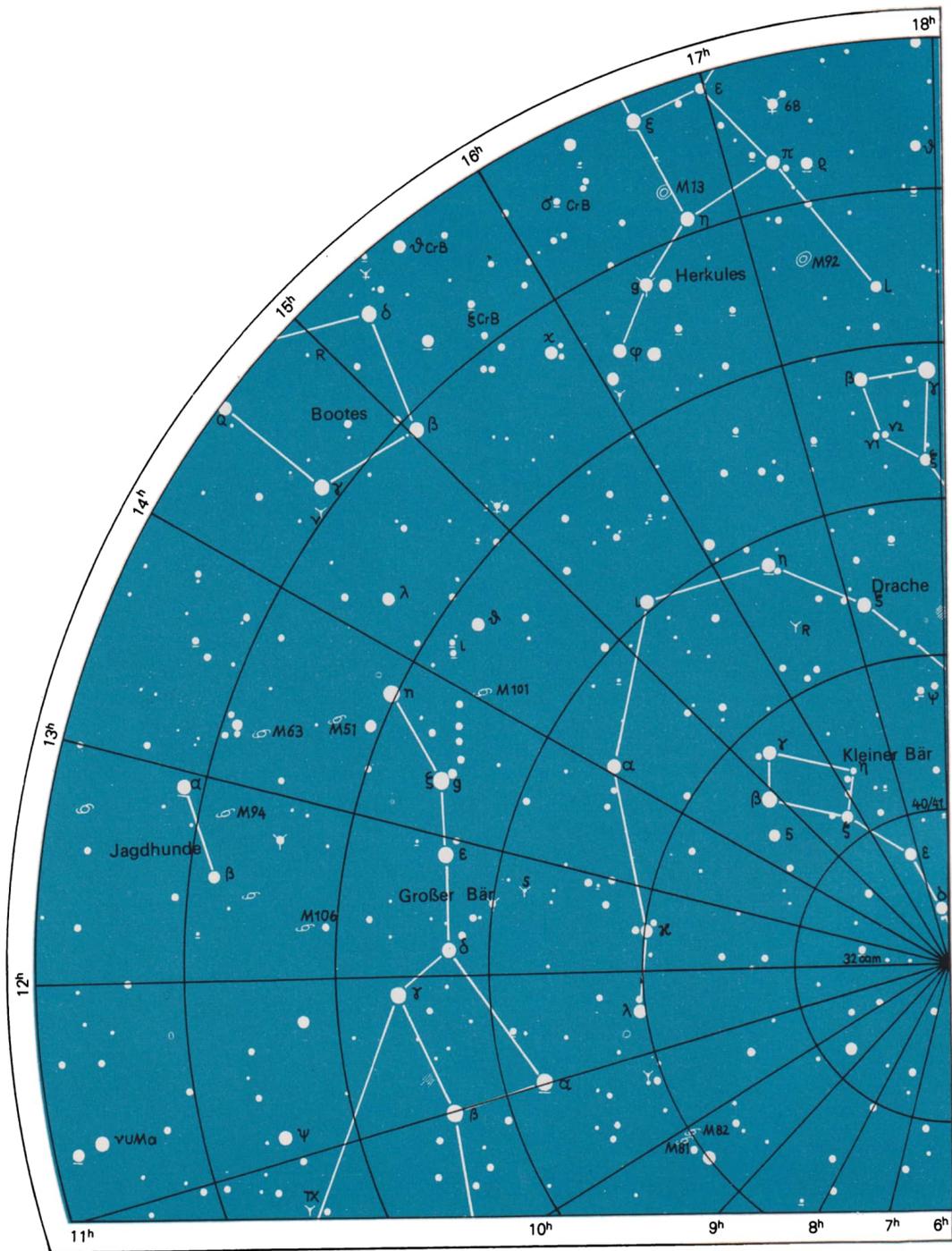
## Mondkarte Westhälfte

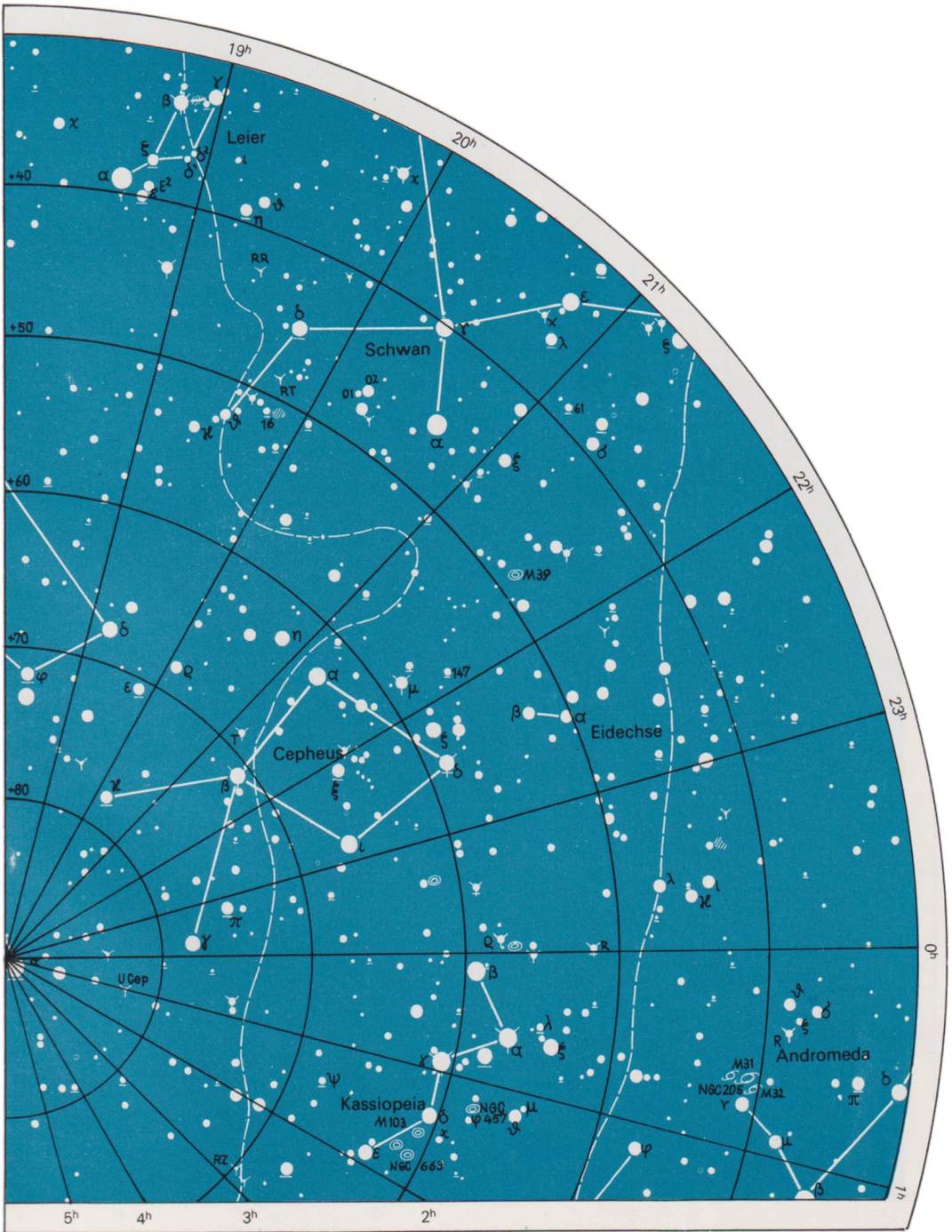
- 1 Blancanus, 2 Clavius, 3 Maginus, 4 Longomontanus, 5 Schiller, 6 Saussure, 7 Pictet, 8 Tycho, 9 Mee, 10 Schickard, 11 Miller, 12 Orontius, 13 Heinsius, 14 Nonius, 15 Walter, 16 Hell, 17 Wurzelbauer, 18 Aliacensis, 19 Werner, 20 Regiomontanus, 21 Pitatus, 22 Hesiodus, 23 Mercator, 24 Campanus, 25 Vitello, 26 Lee, 27 Doppelmayr, 28 Fourier, 29 Vieta, 30 Lagrange, 31 La Caille, 32 Purbach, 33 Thebit, 34 Wolf, 35 Bullialdus, 36 Cavendish, 37 Lamarck, 38 Arzachel, 39 Mersenius, 40 Darwin, 41 Alpetragius, 42 Gasendi, 43 Alphonsus, 44 Albategnius, 45 Ptolemäus, 46 Guericke, 47 Letronne, 48 Billy, 49 Hansteen, 50 Hipparchus, 51 Gyldén, 52 W. Herschel, 53 Parry, 54 Bonpland, 55 Fra Mauro, 56 Réaumur, 57 Mösting, 58 Flamsteed, 59 Gambart, 60 Lansberg, 61 Grimaldi, 62 Riccioli, 63 Lohrmann, 64 Hevelius, 65 Triesnecker, 66 Murchinson, 67 Pallas, 68 Ukert, 69 Bode, 70 Reinhold, 71 Cavalieris, 72 Copernicus, 73 Kepler, 74 Reiner, 75 Eratosthenes, 76 Marius, 77 Cardanus, 78 Krafft, 79 Pytheas, 80 Euler, 81 O. Struve, 82 Timocharis, 83 Lambert, 84 Herodotus, 85 Aristarchus, 86 Prinz, 87 Russell, 88 Autolycus, 89 Archimedes, 90 Aristillus, 91 Cassini, 92 Le Verrier, 93 Helicon, 94 Mairan, 95 Plato, 96 Maupertuis, 97 Harpalus, 98 W. Bond, 99 Architas, 100 Timaeus, 101 Fontenelle, 102 J. Herschel, 103 Babbage, 104 Pythagoras, 105 Anaximander, 106 Carpenter, 107 Philolaus





Sternkarte 1



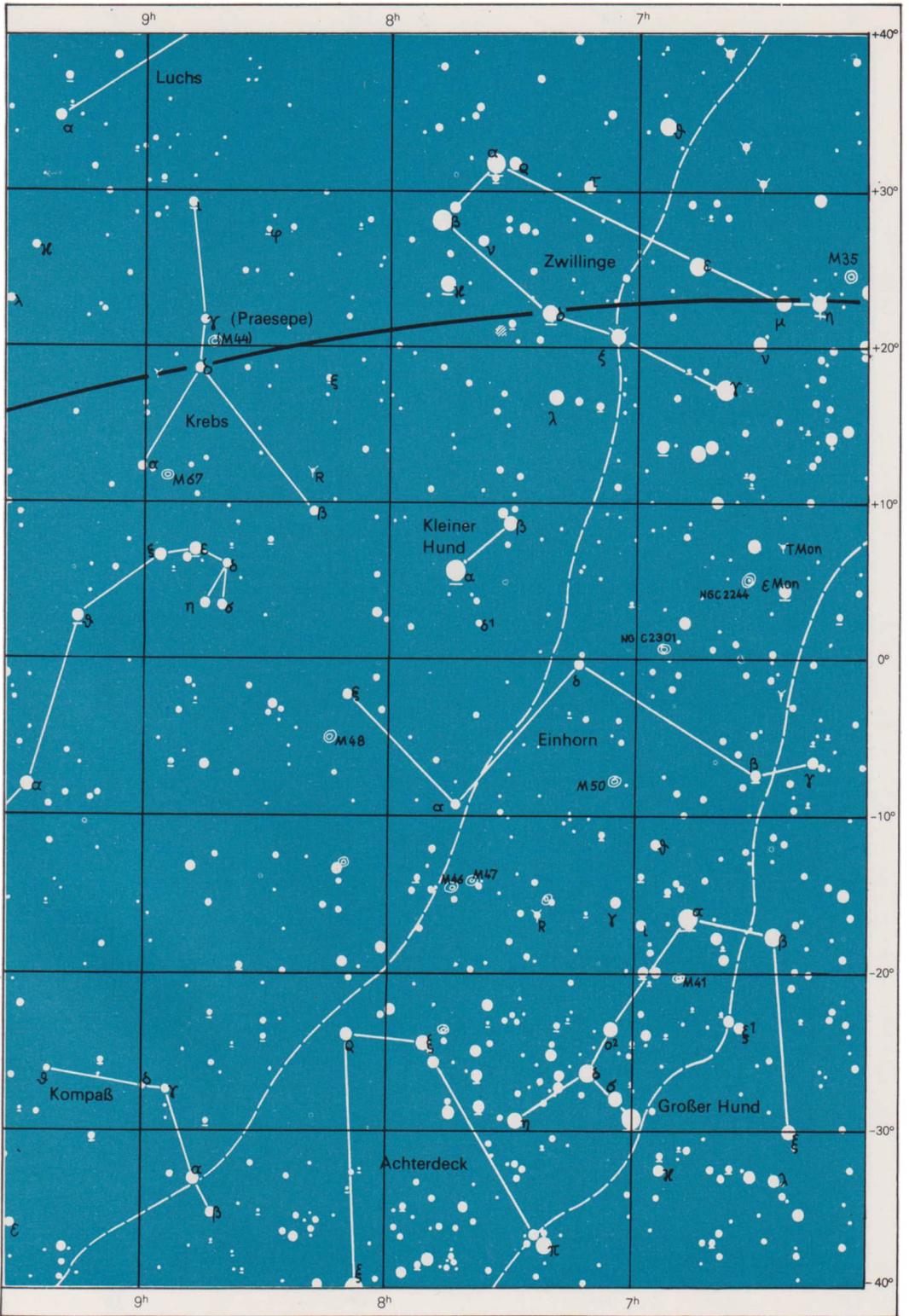


Sternkarte 2

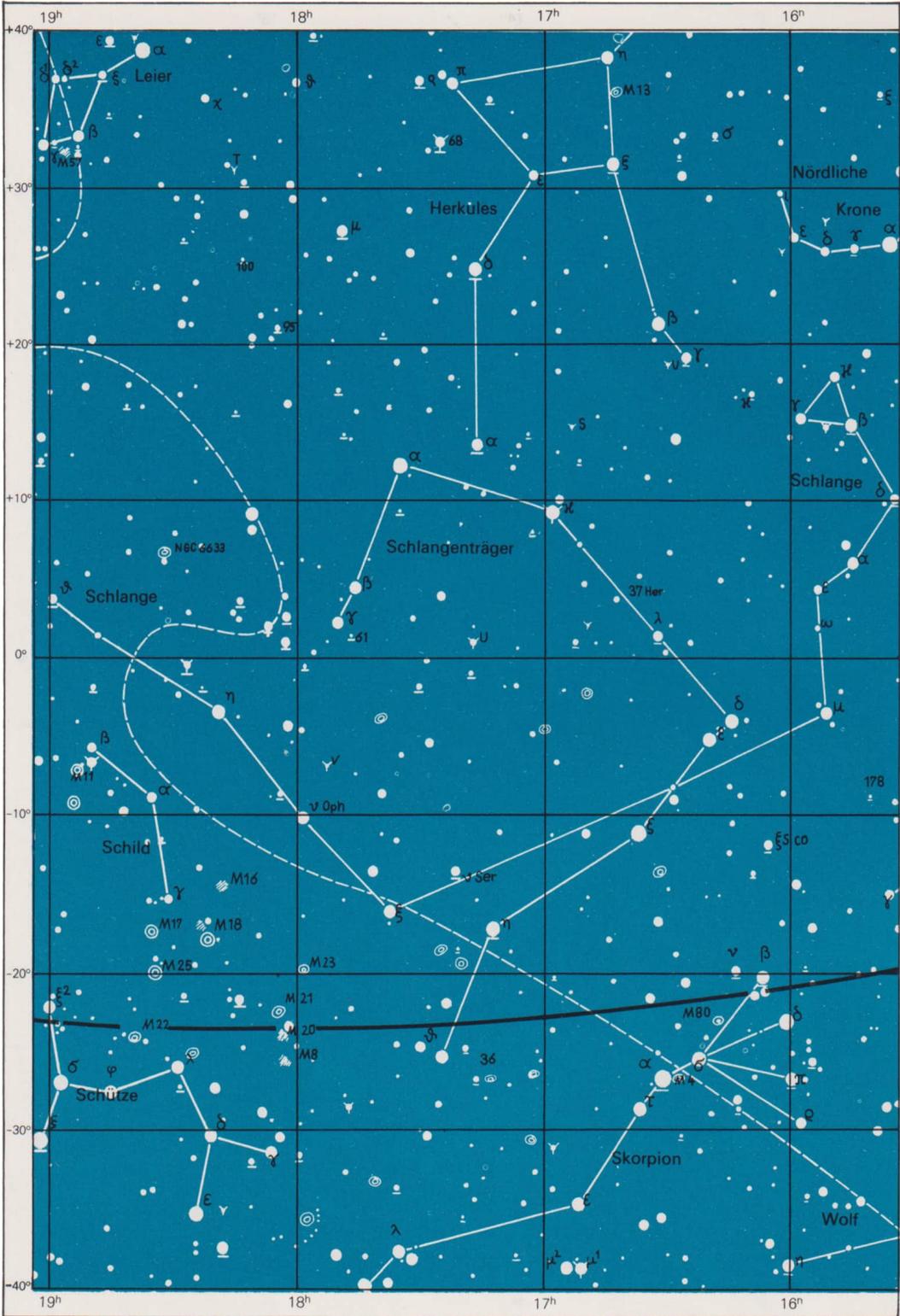


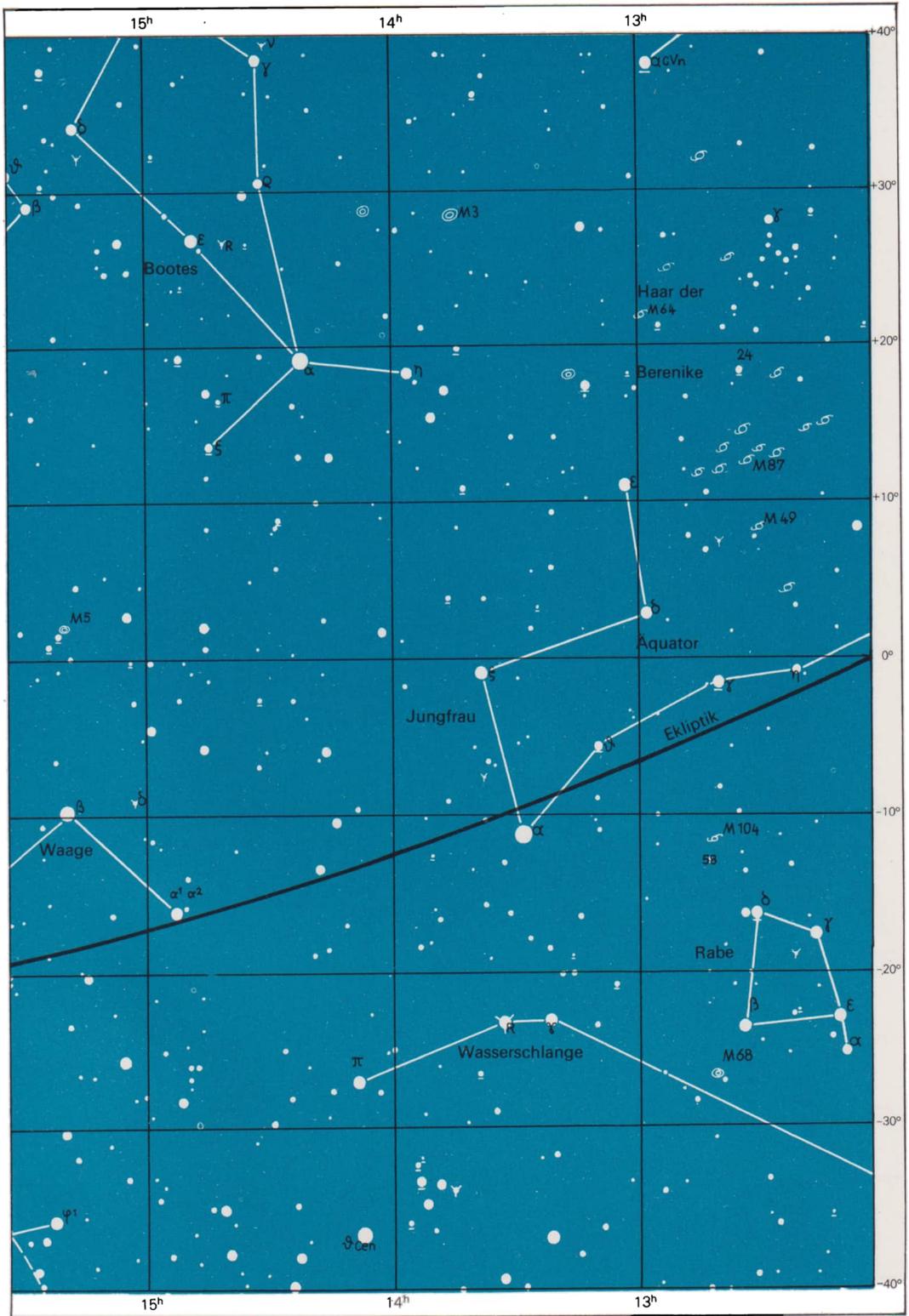






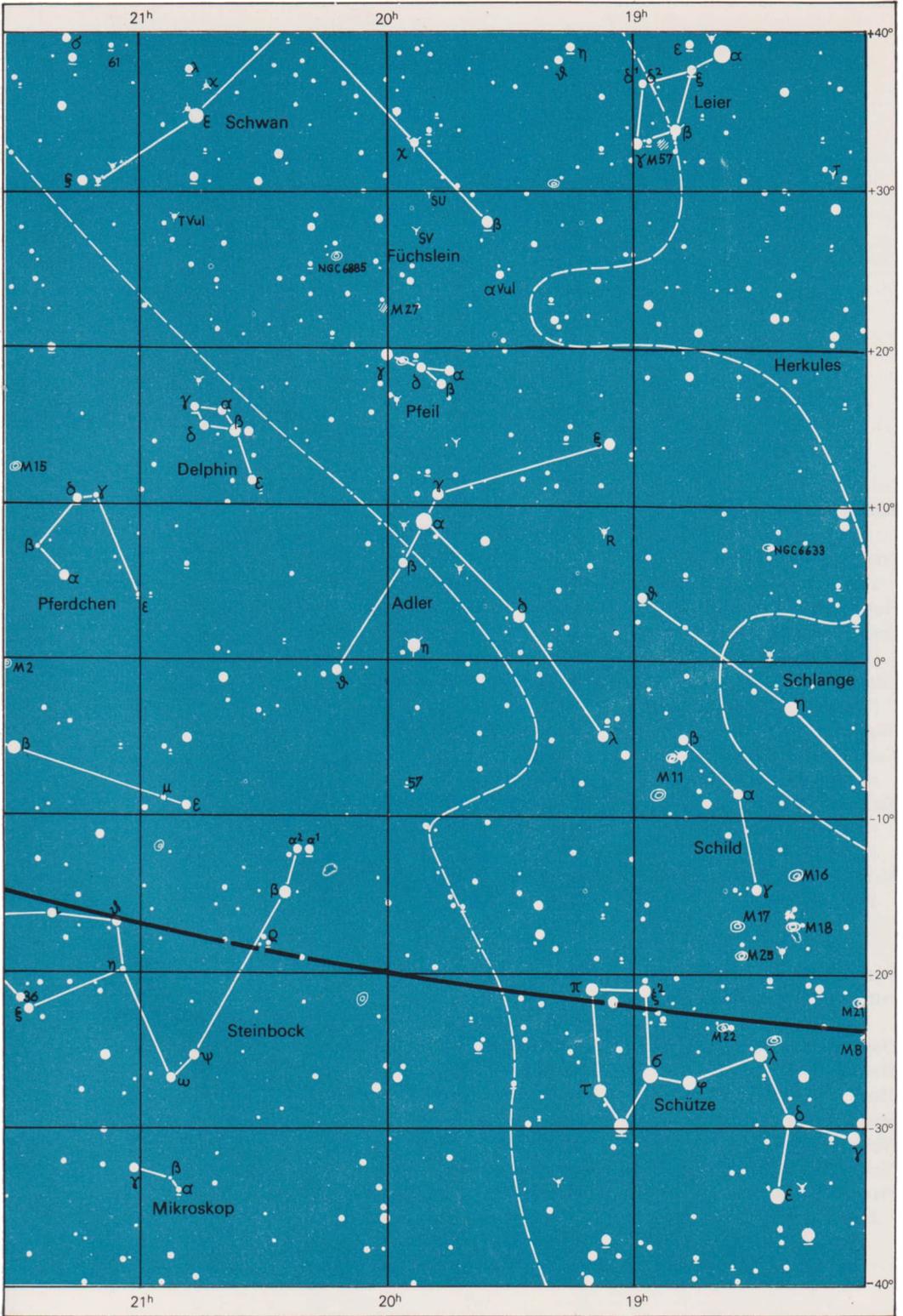
Sternkarte 4





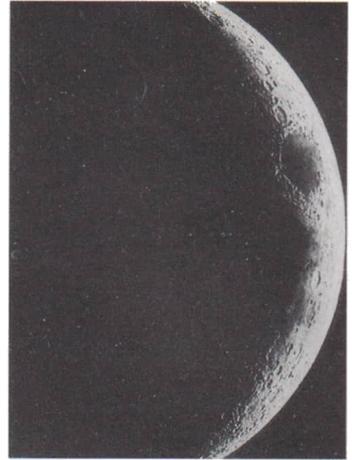
Sternkarte 5





Sternkarte 6

# Anhang



## Bildquellenverzeichnis

Frank Andreas (Crimmitschau) 111  
Heinz Böhm (Radebeul) 26  
Peter Große, Miklos Zimmerer (Kirchheim) 5  
Edmund Grunert (Sohland/Oberlausitz) 3, 4, 6  
Jörg Hoppe (Halle/Saale) 138  
Karl-Schwarzschild-Observatorium (Tautenburg) 85, 133  
Karlheinz Müller (Drebach/Erzgebirge) 32, 33, 38, 84, 86, 130  
Martin Müller (Eilenburg) 7, 139, 141, 142

## Verzeichnis der Tabellen mit Beobachtungsobjekten

Doppelsterne 74, 92, 118, 150f.  
Meteorströme 31  
Mond, Maregebiete 81  
Mond, Rillen 136  
Nebel, diffuse 155  
Nebel, planetarische 155  
Planeten, scheinbare Durchmesser 83

Werner Reinhold (Leipzig) Frontispiz 1, 10, 11, 35, 41, 46, 47, 60, 93, 98, 99, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 137, 144  
Wolfgang Schwinge (Bautzen) 56, 67, 68  
Sternwarte Sonneberg 8  
Christian Stolle (Halle/Saale) 22, 143  
VEB Carl Zeiss JENA 94, 108  
Volkssternwarte »A. Diesterweg« (Radebeul) 34  
Volkssternwarte Kirchheim 81  
Archiv des Autors 31, 37, 69, 113,  
Archiv des Verlages 2, 61, 71, 121, 123, 128, 134

Planeten, Sichtbarkeit 85f.  
Sternbilder 36f.  
Sterne, Entfernungen 149  
Sterne, Farben 35  
Sterne (Sehfeldtest) 119  
Sternhaufen, kugelförmige 98, 153  
Sternhaufen, offene 96, 153  
Sternsysteme 156  
Veränderliche Sterne 94, 104, 154

## Sachwortverzeichnis

### A

Ablenkspiegel 110  
abnehmender Mond 26  
Ahnert 15, 120  
Algol 46  
Alpen (Mond) 79, 136  
Alpha Centauri 89  
Alter von Sternhaufen 98, 100  
Apenninen (Mond) 79  
Äquator 62  
Äquatorialuhr 61  
Äquatorsystem 63  
Argelander 100  
Arnold 8  
ASA 44, 168  
aschgraues Mondlicht 76, 82  
Astrofotografie 159ff.  
Astrokamera 160ff.  
Atomkernverschmelzung 158f.  
Aufgangszeit 24, 65  
Auflösungsvermögen (Fernglas)  
72ff., 82  
Auflösungsvermögen (Fernrohr)  
118  
Augenabstand (Fernglas) 74  
Ausrichten des Fernrohrs 162  
Austrittspupille 71  
Auswertung von  
Himmelsfotografien 46, 162ff.  
Azimut 51f., 57  
azimutale Montierung 115,  
117

### B

Barlow-Linse 166  
Bedeckungsveränderliche 46,  
94  
Belichtungszeit 37, 39ff., 44,  
164f., 168f.  
Beobachtung, fotografische 37  
Beobachtung, visuelle 37  
Beobachtungsort 53  
Beobachtungszeit 53  
Bildhelligkeit 72  
Bildumkehr 69  
binokular 69  
Breite, geographische 38, 50  
Brennweite 70

### C

Copernicus 76

### D

Dämmerung, astronomische 53,  
57f.  
Dämmerung, bürgerliche 57  
Dämmerung, nautische 57f.  
Dämpfgläser 128  
Deklination 63, 164  
Dichotomie (Venus) 138f.  
DIN 44, 168  
Dörffel 8  
Dome (Mond) 135  
Doppelsterne 92ff., 100, 149ff.  
Doppelsterne (Tab.) 74, 92, 118,  
150f.  
Drahtauslöser 169  
Dunkelnebel 158, 161

### E

Eisenmeteorit 32  
Erdachse 49  
erdartige Planeten 140  
Erdatmosphäre 28, 84  
Erdbahn 47, 59f.  
Erde 81  
Erdsatelliten 32ff., 45  
Erdschatten 32  
Erstes Viertel (Mond) 25  
Eruption (Sonne) 134  
Extinktion 84

### F

Fabrizius 8, 93  
Fackeln (Sonne) 123, 132  
Fadenkreuz 160  
Fadenkreuzbeleuchtung 128  
Farbe des Sternlichts 34f.  
Farbfilm 40  
Farbgläser 128  
Fernglas 68ff.  
Fernglasmontierung 69  
Fernrohr (Selbstbau) 111ff.  
Feuerkugel 31  
Finsternisse 25ff.  
flächenhafte Objekte 72  
Foerster 12  
Fokalaufnahme 160, 165ff.  
förderliche Vergrößerung 120  
Fototips 169f.  
Frühlingspunkt 62

### G

Galaxis 156ff.  
Galilei 69, 75f., 87, 123f.

Gas, interstellares 156, 160  
gebundene Rotation (Mond)  
80f.

Gemeinjahr 58  
Gnomon 18  
GOST 44  
Gradmaß 170  
Gravitationskraft 94  
Grenzhelligkeit  
(Himmelsfotografie) 44  
Großer Bär 20  
Großer Wagen 20f.

### H

Halbschattenfinsternis 27  
Halley 90f., 97  
Helligkeit, scheinbare 34ff.,  
154  
Helligkeitsgewinn (Fernglas)  
71ff.  
Helligkeitsgewinn (Fernrohr)  
119, 122f.  
Helligkeitskurve (Veränderl.  
Stern) 106  
Helligkeitsmessung  
(Mondfinsternis) 27  
Herschel 9  
Himmelsäquator 62ff.  
Himmelsfotografie 37ff.  
Himmelskugel 18f., 51, 62  
Himmelsnordpol 37f., 50,  
63  
Himmelsrichtungen 20  
Höhe 19, 49, 52, 57  
Honda 13  
Horizont 52f., 65  
Horizontalsonnenuhr 62  
Hügelketten (Mond) 136  
Huygens 126  
Hyaden 96

### I

Io 89  
IRAS 91, 95

### J

Jahr 56ff.  
Jahreszeiten 47, 57  
Jakobsstab 54ff.  
Jupiter 87, 120, 143ff., 170  
jupiterartige Planeten 140  
Jupitermonde 87, 143  
Jupitermonde (Tab.) 88

**K**

Kalender 56  
 Kalenderjahr 58  
 Kameramontierung 41  
 Kassiopiea 20  
 Kepler 125  
 Kettengebirge (Mond) 78  
 Kippachse 115  
 Kleidung beim Beobachten 71f.  
 Koma 90  
 Komet 8, 45, 89ff., 95  
 Kometenkern 89  
 Kometenschweif 90  
 Konjunktion 84f., 87, 137, 140  
 Koordinaten 51, 61ff., 162ff.,  
 169  
 künstliche Himmelskörper 12  
 kugelförmige Sternhaufen  
 (Tab.) 98  
 Kugelgelenk 70  
 Kulmination 24f.  
 Kulminationshöhe 50  
 Kulminationszeit 65

**L**

Lange Wand (Mond) 136  
 Langzeitbelichtung 41f.  
 Leier 42  
 Letztes Viertel (Mond) 25  
 Libration (Mond) 75  
 Lichtgrenze (Mond) 75  
 Lichtjahr 148f.  
 Lichtstärke 68, 72  
 Linsenfernrohr 110, 112, 123ff.  
 Lipperhey 123  
 Luftunruhe 74

**M**

Mare (Mond) 76  
 Mare (Mond) (Tab.) 81  
 Mars 81, 121, 139ff., 144ff.,  
 170  
 Massen der Sterne 93  
 Merkur 81, 83, 139, 142  
 Merkurdurchgang 8, 86f.  
 Messier 9, 97  
 Meteor 9, 12, 28ff., 45  
 Meteorit 91  
 Meteorstrom 31  
 Milchstraße 156f.  
 Milchstraßensystem 156f.  
 Mira Ceti 8, 93  
 Mittag, wahrer 20

Mitteuropäische Sommerzeit  
 (MESZ) 23, 53, 59  
 Mitteleuropäische Zeit (MEZ)  
 22, 53, 59, 64  
 Mittlere Ortszeit 22, 63  
 Mond, Bewegung 12f., 25  
 Mond, Phasen 24ff.  
 Mondfinsternis 26f.  
 Mondfotografie 80  
 Mondkrater 75, 77f., 120, 135  
 Mondlandschaft 75, 120, 135ff.  
 Mondoberfläche 76ff., 120,  
 135ff.  
 Montierung (Fernglas) 69  
 Montierung (Fernrohr) 110,  
 114ff., 124f.  
 Montierung, azimutale 115, 117  
 Montierung, parallaktische 116f.  
 Mt.-Palomar-Observatorium 81

**N**

Nachführung 41ff., 47, 70, 170  
 Nebel 154  
 Nebel (Tab.) 155  
 Neptun 148  
 Neumond 25  
 Nordlicht 10  
 Normalvergrößerung 71, 119  
 Nova 100f.

**O**

Objekte, flächenhafte 72  
 Objektiv 68, 71, 111, 113, 122,  
 130  
 Objektivdurchmesser 72f.  
 Objektiv-Sonnenfilter 129  
 Okular 68, 111ff., 122, 126f.,  
 129f., 160  
 Okularauszug 114, 126  
 Okularprojektion 132, 166ff.  
 Olbers 9  
 Opposition 85, 88, 139, 141  
 Orion 94  
 Ort eines Gestirns 56  
 Ortszeit 63

**P**

Pahlitzsch 8, 91  
 parallaktische Montierung 116f.  
 Pendelquadrant 48  
 Penumbra 131  
 Penzel 13  
 Perseus 46

Phasenwinkel (Venus) 138  
 Physik 14  
 Planet 45, 82ff., 120f.  
 planetarische Nebel (Tab.) 155  
 Planetenbewegung 55  
 Planeten, erdartige 140  
 Planeten, jupiterartige 140  
 Planeten, scheinbare  
 Durchmesser 83f.  
 Planeten, Sichtbarkeit (Tab.) 86  
 Planetenkamera 160, 166f.  
 Planetensystem, Modell 83  
 Planetoid 9, 45  
 Plejaden 94, 97ff., 163  
 Pluto 148  
 Polachse 116  
 Polarstern 12, 20f., 38, 52  
 Polartag und Polarnacht 49  
 Polkappe (Mars) 140  
 Praesepe 96, 98  
 Präzession 64, 169  
 Protuberanzen 132

**Q**

Quarzuhr 58

**R**

Radiant 30  
 Radiowellen 161f.  
 Raumfahrt 14  
 reelles Bild 68  
 Regenbogenbucht (Mond) 78f.  
 Regolith 136  
 Rektaszension 62, 65, 164, 169f.  
 Relativzahl (Sonnenflecke)  
 132ff.  
 Rhea 147  
 Rillen (Mond) 135f.  
 Rillen (Mond) (Tab.) 136  
 Roberts 11  
 Röntgenstrahlung 162  
 Rotation (Sonne) 134f.  
 Rotation, gebundene (Mond)  
 80f.

**S**

Satelliten, künstliche 14, 32ff.  
 Saturn 89, 145f., 147, 170  
 Saturnmonde 147  
 Saturnringe 89, 120, 146f.  
 Schaltjahr 58  
 Schattenstab 18  
 Scheiner 125

Schwabe 11  
Schwan 23, 42  
Schwarzschild-Effekt 41 ff., 170  
Schweif (Komet) 90  
Seeing 169  
Sehfeld (Fernglas) 68, 73  
Sehfeld (Fernrohr) 119f.  
Schwinkel 72  
Selbstbauferrrohr 111ff.  
Siebengestirn 94f.  
Sinus Iridum (Mond) 78  
Skylab 12  
Sommer 47  
Sommerzeit 23, 53, 59  
Sonne 129ff.  
Sonnenbahn 10  
Sonnenbeobachtung 129ff.  
Sonnenfinsternis 26, 28, 168  
Sonnenfleck 11, 122, 131ff.  
Sonnenfleckenrelativzahl 132ff.  
Sonnenhöhe 18, 48  
Sonnenhöhenmesser 48  
Sonnennähe 47  
Sonnenprojektionsschirm 121f.,  
127, 129ff.  
Sonnensystem, Entstehung 92,  
137ff.  
Sonntag 56f.  
Sonnenuhr 9, 59ff.  
Sonnenszeit 20, 63, 65  
Spektrum 96  
Spiegelfernrohr 110, 112, 123ff.,  
170  
Sputnik 14  
Standachse 115  
Stativ (Fernglas) 69, 71  
Stativ (Selbstbau) 51  
Staub, interstellarer 156, 158,  
160f.  
Sternbilder 22ff.  
Sternbilder (Tab.) 36f.  
Sterne 34ff.  
Sterne, Anzahl 35

Sterne, Benennung 34  
Sterne, Entfernungen 151  
Sterne, Entfernungen (Tab.) 149  
Sterne, Helligkeiten 35  
Sterne, Temperaturen 35  
Sternhaufen 94ff.  
Sternhaufen, Alter 98, 100  
Sternhaufen, kugelförmige  
(Tab.) 98, 153  
Sternhaufen, offene 151f.  
Sternhaufen, offene (Tab.) 96,  
153  
Sternkarte, drehbare 22ff., 174  
Sternschnuppe 9, 28ff.  
Sternspuraufnahme 12, 37ff.  
Sternsysteme 155f.  
Sternsysteme (Tab.) 156  
Sterntag 56f.  
Sternzählung 156ff.  
Sternzeit 20ff., 65  
Stonehenge 8f.  
Strahlen (Mond) 78  
Strichkreuzplatte 151, 160  
Stufenschätzungsmethode 100ff.  
Stundenachse 116  
Sucher 128  
Süduhr, vertikale 60f.

**T**  
Tag 56ff.  
Teleobjektiv 164f.  
Temperatur (Mond) 76  
Temperatur (Sterne) 35  
Tierkreis 58f.  
Titan 147  
Tubus 112

**U**  
Uhr 58ff.  
Uhrstand 58  
Umbra 131  
Umlaufzeit (Doppelstern) 93  
Untergangszeit 24, 65

Uranus 9, 148  
Urlaub 68

**V**  
Venus 13, 81, 84, 120, 137ff.,  
143f.  
Venus, Sichtbarkeit (Tab.) 85  
Venusdurchgang 86  
Veränderliche Sterne 45ff., 93f.,  
100ff.  
Veränderliche Sterne (Tab.) 94,  
104, 154  
Veränderliche Sterne,  
Beobachtung 101  
Vergleichssterne 101ff.  
Vergrößerung 68, 70ff., 112,  
119f., 137  
Vergrößerung, förderliche 120  
virtuelles Bild 68  
visuelle Beobachtung 37  
Vollmond 25, 75f.  
Voyager 89  
Vulkanismus 89

**W**  
Wasserstoff 94, 138f.  
Weitwinkelobjektiv 164  
Weltbild 15  
Winkelabstand 19, 54ff., 73f.,  
83  
Winter 47  
Wintersechseck 94  
wissenschaftliche Arbeit 15

**Z**  
Zeit 56ff.  
Zeitgleichung 60, 63  
Zeitmaß (Koordinaten) 170  
Zenit 52f., 71, 84  
Zenitprisma 128  
Zenitspiegel 115ff., 128  
Zirkumpolarsterne 37, 40, 44  
zunehmender Mond 26, 76

Sternkarte des  
Andreas Cellarius,  
Amsterdam, Johannes  
Jansson, 1661

Südlicher Sternhimmel





