

Vom Schattenstab zum Riesenspiegel

Dieter B. Herrmann



2000 Jahre Technik
der Himmelsforschung



Dieter B. Herrmann

Vom Schattenstab zum Riesenspiegel

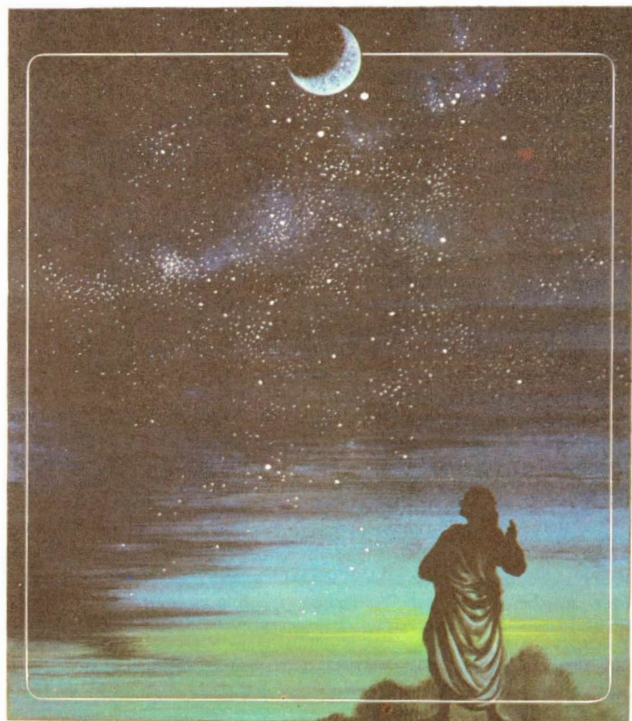
Verlag Neues Leben Berlin

Zeichnungen von Karl-Heinz Wieland

ISBN 3-355-00786-2

© Verlag Neues Leben, Berlin 1978

Himmelskunde ohne Fernrohr



Am Anfang waren Stock und Stein

Wer eine moderne Maschinenhalle betritt oder durch die Laboratorien eines wissenschaftlichen Instituts geführt wird, dem kommt wohl kaum der Gedanke, daß jedes Gerät und Instrument, jede Maschine und alle Werkzeuge, die er betrachtet, eigentlich nichts anderes sind als in mühseliger Entwicklung geschaffene Erweiterungen der Sinnesorgane und Gliedmaßen des Menschen. Doch diese ebenso verblüffende wie einfache Wahrheit läßt sich sofort erkennen, wenn wir uns in die Vergangenheit zurückversetzen: Als der Mensch noch ungeschützt den ihm feindlichen Gewalten der Natur ausgeliefert war, offenbarte sich ihm tagtäglich die Unvollkommenheit seiner „natürlichen Ausstattung“. Die Tiere, die er zu seiner Ernährung erjagen mußte, waren ihm in vieler Hinsicht überlegen – sie konnten rascher laufen als er, besser klettern oder gar fliegen und schwimmen und erwiesen sich oft auch als die Stärkeren in erbitterten Zweikämpfen. Die ältesten Mythen der Menschheit berichten häufig von solchen Kämpfen: Helden und Götter ringen mit vielköpfigen Fabelwesen und überwinden sie meist dank List.

Als der Held der griechischen Sagenwelt, Herkules, gegen den Löwen von Nemea zu Felde zog, nahm er Pfeil und Bogen mit. Doch ohne die Haut des schrecklichen Untiers auch nur im geringsten zu verletzen, prallten die Geschosse ab wie von einer Steinwand. Als der Löwe zum Sprung gegen Herkules ansetzte, schlug dieser mit einer Keule auf ihn ein. Der Löwe stürzte zwar, doch die Keule war zerbrochen. In der Höhle des Löwen begann ein tagelanger Kampf zwischen dem verletzten Tier und dem Helden, bis es diesem schließlich gelang, das Ungeheuer zu ersticken. Mut, Ausdauer, List und Werkzeuge verhalfen zu diesem Sieg über ein Stück feindlicher Natur. Als sollte ausgesagt werden, daß die gewonnenen Erfahrungen für künftige, noch schwierigere Kämpfe nützlich waren, endet die Erzählung damit, daß Herkules sich aus dem undurchdringlichen Löwenfell ein Gewand fertigt und den Kopf des Löwen als Helm benutzt. So geht er tatsächlich später aus zahlreichen schweren Kämpfen,



Herkules kämpft mit dem Löwen
(nach einem Motiv auf einer alten Silberschüssel)

sei es mit der tausendköpfigen Wasserschlange von Lerna oder mit den Riesenvögeln in den stymphalischen Sümpfen, stets als Sieger hervor.

Der Gebrauch des Verstandes lehrte die Menschen, den Arm zu verlängern und mit Werkzeugen zu operieren. Pfeil und Bogen stellten allerdings bereits entwickelte Hilfsmittel dar. Die ältesten und einfachsten Werkzeuge waren aus Stein. Auch auf sie trifft zu, was letztlich Kennzeichen der Werkzeuge durch alle Epochen blieb: Sie eigneten sich für eine Reihe notwendiger Arbeiten besser als die menschliche Faust oder der Zahn.

Diese frühesten Werkzeuge, so einfach sie waren, dürfen wir keineswegs als das Produkt einzelner Individuen ansehen. Die Archäologen haben vielmehr bei ihren Ausgrabungen gefunden, daß sich die verschiedenen Werkzeuge, zum Beispiel Steinbeile, in nahezu unveränderter Form über große Gebiete und enorme Zeiträume verteilten. Dies deutet darauf hin, daß die Herstellung von Werkzeugen schon in den Anfängen der menschlichen Gesellschaft gelehrt und gelernt wurde. Diese „Verbesserung“ der Sinne des Menschen (beim Tier kennen wir nichts Gleichwertiges) war also bereits eine Angelegenheit der Gesellschaft, die alles für das unmittelbare Leben Notwendige bewahrte und von Generation zu Generation weitervermittelte.

Natürlich gab es damals noch keine Wissenschaft. Sie war weder möglich noch erforderlich. Doch hätte das neuartige Lebewesen unseres Planeten nicht durch Arbeit, Sprache und Denken den Schritt aus dem Tierreich getan, dann hätte niemals eine Wissenschaft entstehen können.

Überblicken wir die lange Geschichte des Menschen auf unserem Planeten, so zeigt sich, daß es ihm als einzigem Lebewesen gelang, eine nach und nach immer umfassendere Herrschaft über die Kräfte der Natur zu errichten. Auf diesem Weg, auf dem wir bis heute fortschreiten, war die Wissenschaft dem Menschen ein mehr und mehr Bedeutung gewinnender Gefährte. Soweit wir ihre Entwicklung zurückverfolgen können, erscheint sie uns stets mit den elementaren menschlichen Bedürfnissen zur Lebenserhaltung verbunden. Aus zufälligen Beobachtungen bildete sich eine systematische Tätigkeit heraus, als ersichtlich wurde, daß sich die damit gewonnenen Kenntnisse für das tägliche Leben gebrauchen lassen.

Der erste große Entwicklungsschritt der Urgesellschaft war der Übergang von dem zufälligen Sammeln eßbarer Feldfrüchte und dem Jagen von Tieren zum Anbau von Pflanzen und zur planvollen Tierhaltung. Diese erste „Agrarrevolution“ der Geschichte bedeutete einen Fortschritt von größter Tragweite. Mit Ackerbau und Viehzucht bildeten sich die Grundlagen unserer Zivilisation heraus, veränderte sich die Wohn- und Siedlungsweise der Nomaden zur Sesshaftigkeit. Damit begann die Geschichte der Architektur; denn nun benötigten die Ackerbauer und Viehzüchter feste Wohnstätten. So entstanden die Dörfer und schließlich die Städte. Eine weitere Folge dieser Entwicklung war die Arbeitsteilung: Die einen widmeten sich dem Anbau des Getreides, andere bevorzugt noch der Jagd, wieder andere dem Zubereiten der Speisen. Neben diesen Verrichtungen zur unmittelbaren Erhaltung des Lebens gab es aber auch

schon die Kunst in Form von Wandmalereien und Plastiken. Von den „Künstlern“ wurden die Fruchtbarkeit der Tiere und Pflanzen gepriesen und die Naturerscheinungen verehrungsvoll dargestellt, was angesichts der überragenden Bedeutung dieser Phänomene für das Leben der Menschen wohl verständlich ist. Das alles geschah ungefähr bis zum 8. Jahrtausend v. u. Z.

Etwa um diese Zeit müssen auch die ersten Versuche vorwissenschaftlicher astronomischer Beobachtungen unternommen worden sein. Die Umstellung auf die Sesshaftigkeit und die direkte Abhängigkeit des Lebens von den Jahreszeiten zwang zur „Planung“ der auszuführenden Arbeiten. Es war notwendig, die Zeitpunkte im voraus zu kennen, zu denen man säen und ernten, zu denen man mit Regenfällen und Trockenheit rechnen mußte. Daher bekam eine Zeitspanne Bedeutung, die zuvor nur untergeordneten Rang besessen hatte: das Sonnenjahr.

Daß die Sonne in den Ländern der nördlichen Erdhalbkugel im Sommer länger über dem Horizont verweilt als im Winter und daß sie im Sommer auch viel höher emporsteigt, ist eine so elementare Beobachtung, daß sie schon sehr frühzeitig gemacht worden sein muß. Die periodische Wiederholung des Sonnenlaufs ermöglicht es nun, die Länge der Zeitspanne zwischen zwei Höchst- oder Tiefstständen der Sonne (Sommersonnenwende und Wintersonnenwende) zu bestimmen, indem man den Zeitpunkt des höchsten Sonnenstands einmal ermittelt und dann die Tage bis zur Wiederkehr dieses Ereignisses zählt. Wünscht man eine größere Genauigkeit, so müssen außer den Tagen auch noch kleinere Einheiten gebildet und in geeigneter Weise bewahrt werden. Hierzu sind bereits Hilfsmittel erforderlich, die über die einfache Betrachtung der Himmelserscheinungen hinausgehen.

Um die für das Leben notwendige Orientierung in der Zeit zu bewerkstelligen, mußte der Mensch die Möglichkeiten seiner Sinne also in ähnlichem Maße erweitern wie bei der unmittelbaren körperlichen Auseinandersetzung mit der Natur. So kamen die ersten einfachen wissenschaftlichen Instrumente und Meßwerkzeuge auf. Diese Tatsachen machen uns schon klar, daß es keinen prinzipiellen Unterschied zwischen den Werkzeugen zur Bearbeitung der Natur und den Instrumenten zur Erforschung der Natur gibt. Beide sind Produkte menschlicher Arbeit, und beide dienen demselben Zweck: der Auseinandersetzung mit der Natur zum Vorteil des Menschen.

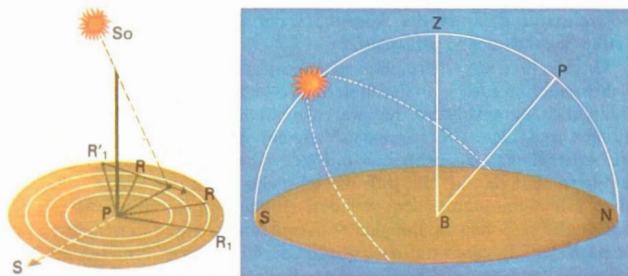
Auf der Spur der Sonne

Wie der Stock eines der ersten Hilfsmittel des Menschen bei der Begegnung mit der Natur gewesen ist, so hat der einfache schattenwerfende Stab, auch Gnomon genannt, am Anfang der Untersuchung der Himmelsvorgänge gestanden. Leider können wir nicht beliebig tief mit genügender Sicherheit in die Geschichte der Wissenschaften zurückblicken. Die Quellen, die uns von den Geschehnissen in vorgeschichtlicher Zeit Kunde geben, fließen um so spärlicher, je weiter wir uns in die Vergangenheit zurücktasten. Eines aber ist sicher: Dem Gnomon begegnen wir bereits in den ältesten Aufzeichnungen. Eine Zusammenfassung des gesamten Wissens im alten Babylon, dem berühmten wirtschaftlichen und kulturellen Zentrum an Euphrat und Tigris, berichtet über die Verwendung von Schattenstäben im 7. Jahrhundert v. u. Z., und in einer alten chinesischen Überlieferung finden wir sogar eine „TGL“ für die Herstellung solcher Stäbe: „Man nehme einen Bambusstab“, heißt es dort, „steche in denselben in einer Höhe von acht Fuß ein Loch von ein Zehntel-Fuß Durchmesser; diesen Stab stelle man auf einem vorher geebneten Boden senkrecht auf; dann suche man den Schatten desselben und beobachte ihn.“*

Was konnte die Beobachtung des Schattens ergeben? Vor allem die Feststellung des Moments, in dem die Sonne ihren höchsten Punkt über dem Horizont des Beobachtungsortes erreicht, also den Augenblick des Mittags. Zu diesem Zeitpunkt muß der Schatten des Gnomons nämlich am kürzesten sein. Da die Sonne ihren höchsten Stand immer dann erreicht, wenn sie im Süden steht, eignet sich zur Feststellung des „wahren Mittags“ am besten eine „Mittagslinie“ in Verbindung mit einem Gnomon. Die Mittagslinie erhält man ebenfalls mit Hilfe des Gnomons, und zwar auf folgende Weise: Man beobachtet und markiert die Schattenlängen von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang und verbindet jeweils gleich lange Schatten am Vor- und am Nachmittag miteinander. Durch Halbieren der Verbindungslinien findet man dann die Mittagslinie. Denken wir uns auf der Mittagslinie eine Vertikalebene errichtet, so schneidet diese das (scheinbare) Himmelsgewölbe in einem Großkreis, in dessen Mittelpunkt sich der Beobachter zu befinden scheint. Der Großkreis wird als Meridian bezeichnet. Wenn der Sonnenmittelpunkt diese Linie am Himmel erreicht, ist wahrer Mittag.

Gnomone wurden seither in mannigfaltigen Formen überall auf der

* Zit. nach: Rudolf Wolf, Geschichte der Astronomie, München 1877, S. 122



Bestimmung der Mittagslinie mit Hilfe des Schattenstabs

Man findet die Südrichtung S, indem man die Endpunkte gleich langer Schatten (R_1 , R'_1 oder R , R') miteinander verbindet und die Verbindungslinien halbiert (links).

So = Sonne, P = Fußpunkt des Schattenstabs

Die Sonne erreicht ihren höchsten Stand stets im Süden (rechts).

B = Standpunkt des Beobachters, Z = Zenit, P = Himmelsnordpol, N = Nordpunkt des Horizonts, S = Südpunkt des Horizonts

Welt aufgestellt. Eine der bekanntesten Ausführungen von Schattenstäben sind die Obelisken, die man heute noch vielerorts sehen kann. In Rom wurde bereits unter Kaiser Augustus (63 v. u. Z. – 14 u. Z.) ein Obelisk errichtet, der dem Zweck diente, den Zeitpunkt des Mittags zu bestimmen. Obeliske stellten gleichsam „öffentliche Normaluhren“ dar, wenn sie auch den Zeitpunkt des Mittags nicht allzu genau anzeigten. Unabhängig von der Genauigkeit, mit der die Mittagslinie bestimmt wurde, schreitet der Schatten – zumal bei relativ kurzen Obelisken – verhältnismäßig langsam voran, so daß man den Eintritt des Mittags nur auf einige Minuten genau ablesen kann. Für den öffentlichen Gebrauch, für die Abwicklung von Geschäften, reichte diese Genauigkeit in der Antike jedoch durchaus.

Für astronomische Zwecke verfuhr man meist anders: Bringt man in der Südwand eines hohen Gebäudes eine kleine Öffnung an, so gelangt dadurch ein winziges Abbild der Sonne ins Innere, wo man auf dem Fußboden die Mittagslinie markieren und das rasche Fortrücken des Sonnenbilds beobachten kann. Berühmt ist ein solcher Gnomon aus dem Jahre 1468 in der Kathedrale zu Florenz. Die Öffnung für das Sonnenlicht befindet sich in rund 90 m Höhe, wodurch das kleine Sonnenbild so schnell

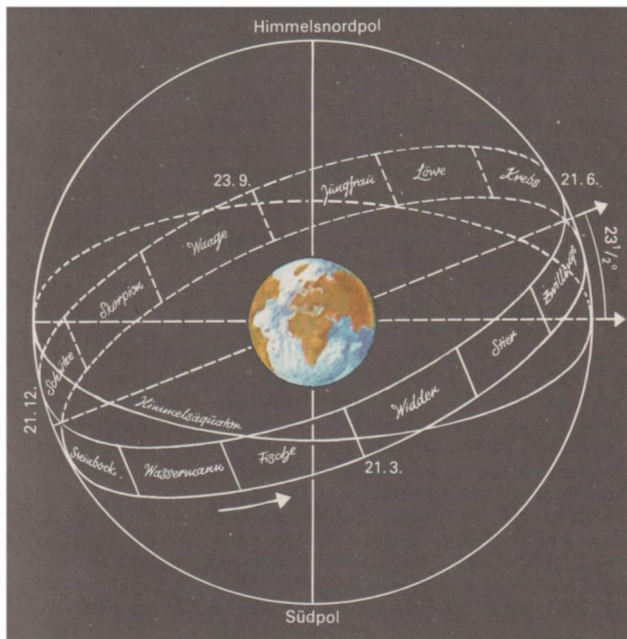
fortschreitet, daß sich der Augenblick des wahren Mittags bis auf eine halbe Sekunde genau erfassen läßt.

Doch kehren wir noch einmal zu den einfachen Schattenstäben aus den Jahrhunderten zurück, in denen sich die Astronomie als Wissenschaft erst allmählich herausbildete. Sie waren nicht nur geeignet, Himmelsrichtungen und Zeit zu bestimmen. Vielmehr wies die Tatsache, daß sich die mittäglichen Sonnenhöhen mit der Jahresperiode verändern, auch unübersehbar darauf hin, daß die jährliche Bahn der Sonne nicht auf dem Himmelsäquator, dem auf den Himmel projizierten Erdäquator, entlangführt. Schon die Babylonier hatten festgestellt, daß sich die Sonne je nach der Jahreszeit auf drei verschiedenen „Wegen“ am Himmel aufhält. Sie nannten die drei Wege Anu, Enlil und Ea. Im Frühling und im Herbst weilte die Sonne jeweils auf dem Anuweg (um den Himmelsäquator), im Winter hingegen auf dem Eaweg (unterhalb des Äquators) und im Sommer auf dem Enlilweg (oberhalb des Äquators). Sehen wir davon ab, daß die Babylonier die drei „Wege“ mit den Namen von Göttern belegten und folglich auch astrologische Deutungen mit der Sonnenwanderung verbanden, so bedeutet dies, daß ihnen die Tatsache der Neigung der scheinbaren Sonnenbahn, die als Ekliptik bezeichnet wird, gegen den Himmelsäquator bekannt war.

Die Größe des Neigungswinkels zwischen Äquator und Ekliptik, die Schiefe der Ekliptik, läßt sich mit einem einfachen Schattenstab ebenfalls schon recht genau ermitteln: Zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende (Sommersolstitium) erreicht die Sonne ihren höchsten Stand über dem Himmelsäquator, zum Zeitpunkt der Wintersonnenwende (Wintersolstitium) hingegen ihren tiefsten. Aus der Differenz der beiden extremen Kulminationshöhen findet man die Schiefe der Ekliptik dann einfach durch Halbieren. Es ist leider nicht genau bekannt, wer diesen Winkel erstmals angegeben hat. Anaximandros (um 611–546 v. u. Z.) nahm als Zahlenwert für die Neigung zwischen Äquator und Ekliptik 24° an. Klaudios Ptolemaios* (nach 83–nach 161) bestimmte ihn um das Jahr 150 zu $23^\circ 51,20'$ (moderner Wert $23^\circ 40,50'$).

Natürlich zeigt der Gnomon nicht unmittelbar die Höhe der Sonne über dem Horizont des Beobachtungsortes an. Zum Feststellen des wahren Mittags oder des Zeitpunkts der Solstitien ist dies auch nicht erforderlich, wohl aber für das Bestimmen der Schiefe der Ekliptik. Um aus der Schattenlänge die Sonnenhöhe zu ermitteln, benötigt man bereits Kenntnisse in der Dreiecksberechnung. Solche standen aber den babylonischen

* Latinisierte Schreibweise: Claudius Ptolemäus



Die scheinbare Jahresbahn der Sonne verläuft durch die Sternbilder des Tierkreises, der gegenüber dem Himmelsäquator um $23\frac{1}{2}^\circ$ geneigt ist. Die eingezeichneten Daten markieren die Stellung der Sonne jeweils am Beginn der Jahreszeiten.

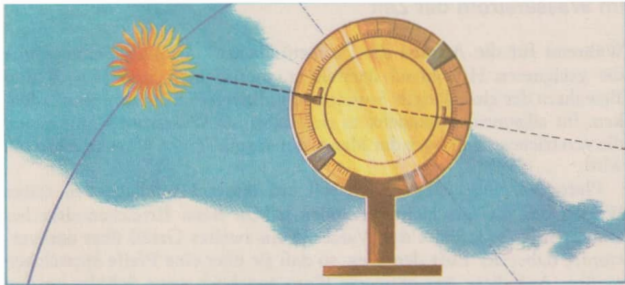
Astronomen sicher noch nicht zur Verfügung. Die Wissenschaftler vermuten daher im allgemeinen, daß die Aufgabe geometrisch gelöst wurde. Eine unmittelbare Berechnung von Sonnenhöhen aus Schattenlängen nahm erst im 10. Jahrhundert der Syrer Al-Battani (um 858–929) vor, der auch eine Tabelle zum sofortigen Ablesen der Sonnenhöhen aus Schattenmessungen zusammenstellte, praktisch die erste Korangentabelle in der Geschichte.

Ptolemaios hat später die direkte Höhe der Sonne über dem Horizont mit einem komplizierteren Gerät bestimmt. Die Beschreibung, die er von seinem metallenen Meßring gibt, zeigt uns, daß die Herstellung solcher Geräte einen relativ fortgeschrittenen Stand der Metallbearbeitung voraussetzte. Ptolemaios erklärt nämlich: „Wir werden einen metallenen Ring von angemessener Größe herstellen, der an seiner Oberfläche genau vierkantig abgeschärft ist. . . Nachdem wir ihn in die üblichen 360 Grade des größten Kreises und jeden derselben in so viel Unterabteilungen geteilt haben, als angängig ist, soll uns dieser Ring als Meridiankreis dienen. Wir fügen hierauf einen zweiten schmalen Ring derartig unter den erstgenannten ein, daß ihre Seitenflächen immer in einer Ebene bleiben, während der kleinere Ring unter dem größeren in derselben Ebene nach Norden und nach Süden ungehindert in Umdrehung versetzt werden kann. An irgend zwei diametral gegenüberliegenden Stellen bringen wir auf der einen Seitenfläche des kleineren Ringes zwei kleine gleichgroße Platten an, welche sowohl mit Bezug aufeinander als auf den Mittelpunkt der Ringe genau die Richtung der Normalen einhalten. Auf die Mitte ihrer Breitseite sind dünne Zeiger aufgesetzt, welche an der Seitenfläche des größeren eingeteilten Ringes unter leichter Berührung entlanggleiten.“*

Nachdem Ptolemaios dann noch die Aufstellung dieses Rings beschrieben hat, zeigt er, wie man mit Hilfe des Rings und der angebrachten Visuren, einer Peilvorrichtung nach dem Prinzip von Kimme und Korn, die Sonnenhöhe messen kann. Auch hier muß höchste Sorgfalt walten. Um einen genauen Wert des Moments zu erhalten, zu dem sich die Sonne im „Wendepunkt“ ihrer Bahn am Himmel befindet, genügt es keineswegs, diese Messungen einmal durchzuführen. Vielmehr ist eine einmalige Messung in jedem Fall mit einem beträchtlichen Fehler behaftet, den man nur verringern kann, indem man mehrere Jahre hintereinander gleichartige Messungen wiederholt und dann den Mittelwert aller Ergebnisse für die Auswertung nimmt.

Der Gnomon ist der Vater der Sonnenuhr. Verbindet man nämlich den schattenwerfenden Stab mit einer Fläche, die als Zifferblatt dient, so entsteht die Sonnenuhr. Um mit ihr nicht nur die Stunde des wahren Mittags ermitteln, sondern überhaupt Zeitmessungen ausführen zu können, muß man allerdings das Zifferblatt in einer ganz bestimmten Weise anordnen und unterteilen. Am bekanntesten ist die auch heute noch vielfach anzutreffende Äquatorialsonnenuhr. Hier weist der Schattenstab

* Ptolemäus, Handbuch der Astronomie, Bd. I, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1963, S. 41 f.



Metallring des Ptolemaios zur Messung von Sonnenhöhen

zum Himmelsnordpol, und das Zifferblatt liegt in der Ebene des Erd-äquators. Die einfachste Zeiteinteilung bildete natürlich die zwischen Tag und Nacht und die Unterteilung von Tag und Nacht in jeweils 12 gleichlange Abschnitte. Dies waren die „volkstümlichen“ Stunden, auch Temporalstunden (lat. tempus = Zeit) genannt. Da sich die Dauer von Tag und Nacht je nach der Jahreszeit stark unterscheidet, hatten die Stunden zu den einzelnen Jahreszeiten ebenfalls sehr verschiedene Länge. Für die geographische Breite von Berlin dauert zum Beispiel der kürzeste Tag des Jahres etwa 7 Stunden 40 Minuten und der längste 16 Stunden 50 Minuten. Während der Wintersonnenwende ist demnach eine Temporalstunde nur etwas mehr als 38 Minuten, während der Sommersonnenwende hingegen 84 Minuten lang. Im Alltag, wenn es darauf ankam, Zeitpunkte für Treffen oder die Abwicklung von Geschäften auszumachen, mag man damit ausgekommen sein; für wissenschaftliche Zwecke, besonders für die Beschreibung von Vorgängen am Himmel, eigneten sich diese Stunden allerdings nicht. Deshalb wurden schon frühzeitig auch streng gleichlange Stunden benutzt, die bei den Babyloniern *bēru* hießen. Jede dieser Stunden umfaßte ein Vierundzwanzigstel der Länge des Sonnentags zu den Tagundnachtgleichen.

Im Wasserstrom der Zeit

Während für die Angabe der „volkstümlichen“ Stunden Sonnenuhren die geeigneten Hilfsmittel darstellten, mußte man zum Messen und Bewahren der gleichlangen Stunden kompliziertere Einrichtungen erdenken. Im allgemeinen handelte es sich dabei um Wasseruhren, bei denen die verstrichene Zeit nach der Menge des abgeflossenen Wassers gemessen wird.

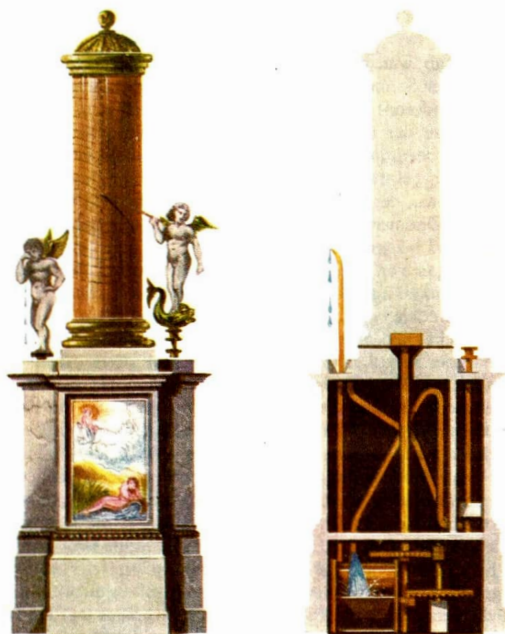
Plato (427–um 347 v. u. Z.) soll auf dieser Grundlage den ersten Wecker der Weltgeschichte erfunden haben. Beim Erreichen einer bestimmten Höhe strömte das Wasser in ein zweites Gefäß über und verstopfte dabei der Luft den Weg, so daß sie über eine Pfeife entweichen mußte. Auf diese Art erinnerte Plato angeblich seine Schüler an den pünktlichen Beginn des Unterrichts.

Von wissenschaftlich erheblich größerer Bedeutung ist die Wasseruhr des Griechen Ktesibios: Ein konstanter Wasserstrom ergoß sich in ein Gefäß und hob darin einen Schwimmer mit Zeiger gleichmäßig an. An einer Säule mit Stundenzifferblatt konnte man die Zeit ablesen. Jeweils nach 12 Stunden mußte das Gefäß entleert werden.

Von der Genauigkeit solcher Uhren hing entscheidend die Bestimmung wichtiger astronomischer Größen ab. Denn jede mit der Bewegung von Himmelskörpern im Zusammenhang stehende astronomische Beobachtung, gleichgültig, ob diese Bewegungen scheinbar oder tatsächlich ablaufen, ist nur dann genau, wenn neben der Position auch der Zeitpunkt präzise ermittelt wird, zu dem der jeweilige Himmelskörper diese Stellung einnimmt.

Ein besonders beeindruckendes Beispiel hierfür liefert die Bestimmung der Jahreslänge, ohne deren genaue Kenntnis man keinen auf längere Zeit widerspruchsfreien Kalender aufbauen kann.

Ein (tropisches) Jahr ist die Zeitspanne, in der die Erde einen vollen Umlauf um die Sonne ausführt (oder die Sonne einen vollen scheinbaren Umlauf um die Himmelskugel). Kennt man die Länge dieses Zeitabschnitts nicht genau genug, so summieren sich die Fehler allmählich, und die Kalenderdaten verschieben sich immer mehr gegenüber der Sonnenstellung. Der im Jahre 46 v. u. Z. eingeführte Julianische Kalender, benannt nach Julius Cäsar (100–44 v. u. Z.), basierte beispielsweise auf einer Länge des Jahres von 365 Tagen und 6 Stunden. Obwohl die Differenz zur tatsächlichen Länge des Jahres nur etwa 11 Minuten beträgt, wich der Julianische Kalender im 16. Jahrhundert bereits um rund 10 Tage von den „astronomischen Tatsachen“ ab.



Wasserruhr des Ktesibios (Rekonstruktion und Schnitt)

Die für das Studium der Vorgänge am Himmel schon früh erhobene Forderung nach dem gleichzeitigen genauen Bestimmen von Positionen und Zeitpunkten bildete Jahrtausende hindurch ein wesentliches Merkmal aller astronomischen Forschung; und wenn es sich um das theoretische Erfassen von Bewegungsvorgängen handelt, müssen auch heute noch stets Orte und Zeitpunkte zusammen festgehalten werden. Die Geschichte der astronomischen Beobachtungen ist deshalb immer zugleich die Geschichte der Zeitmessung, und neben den Fernrohren sind dem Himmelsforscher die Uhren unentbehrliche Weggefährten.

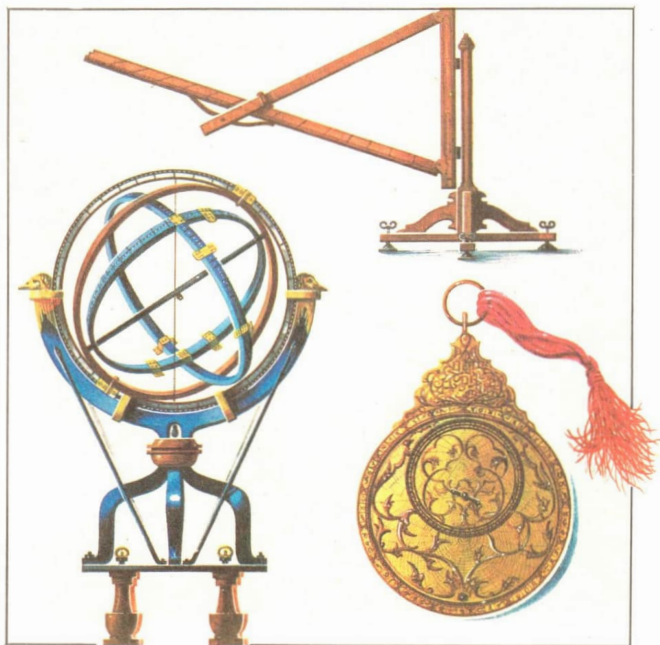
Nebenbuhler des Gnomons

Der Schattenstab war seiner Natur nach ein ideales Hilfsmittel zur Untersuchung der Sonnenbewegung, er versagt jedoch beim Erforschen der Bewegung anderer Himmelskörper. Um sie zu erfassen, muß man die gegenseitige Lage der einzelnen leuchtenden Punkte, das heißt ihren Winkelabstand, bestimmen. Zweifellos wurden diese scheinbaren Entfernungen zunächst einfach geschätzt, wobei man sich – ähnlich wie heute manchmal der Laie, der ohne Hilfsmittel auf freiem Feld beobachtet – der Breite des Daumens, des Handrückens oder der Spanne der ausgestreckten Hand bedient haben mag.

Als eine weniger von Zufälligkeiten abhängende und daher genauere Meßhilfe verwendete man dann vermutlich zuerst die Schmiege. Wie bei einem Zirkel handelt es sich hier um zwei Stäbe, die um einen Punkt gedreht werden können. Bringt man den Kopf der Schmiege an das Auge, während man die Schenkel auf die Objekte richtet, deren Abstand es zu bestimmen gilt, so läßt sich der Winkel direkt am Gerät ablesen.

Eine Weiterentwicklung dieses einfachen Meßgeräts ist der Dreistab, auch Triquetrum genannt. Ptolemaios berichtet darüber: An einem senkrecht stehenden Stab ist ein zweiter, mit einer Visiervorrichtung (Diopter) versehener Stab drehbar angebracht. Auch am unteren Endpunkt des senkrechten Stabs befindet sich ein drehbarer Stab mit Längsteilung. Bei der Konstruktion achtete Ptolemaios sorgfältig auf die richtigen Abmessungen der Einzelteile: Einerseits sollten die Stäbe lang genug sein, um eine feine Unterteilung zu ermöglichen, andererseits mußten die „vierseitigen Richtscheite“ einen relativ großen Umfang aufweisen, damit sie sich nicht verziehen konnten. Mit diesem Instrument wurden Höhen, das heißt Erhebungen von Gestirnen, insbesondere des Mondes, über dem Horizont bestimmt. Nachdem man das Gerät gewissenhaft aufgestellt hatte, peilte man das Objekt an und las die Richtung des beweglichen Stabs auf der Skala des zweiten ab. Aus einer Sehnentafel (Vorläufer der Sinustabelle) ließ sich dann der zu den abgelesenen Werten gehörige Winkel entnehmen.

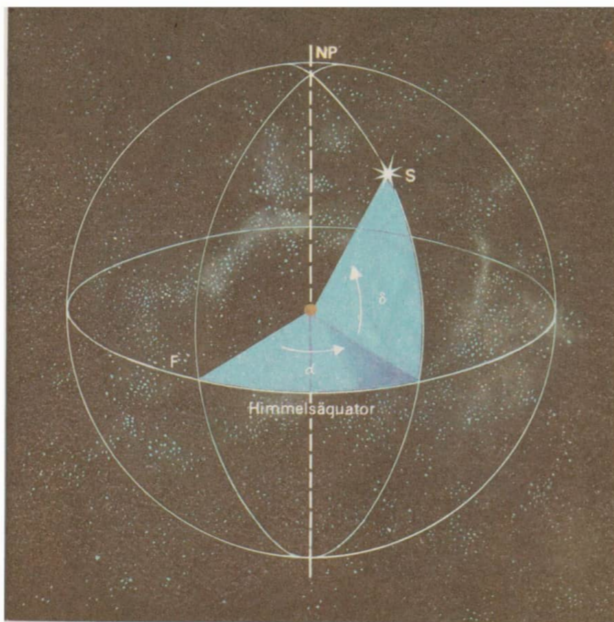
Schließlich muß noch ein weiteres Beobachtungsinstrument erwähnt werden, das zusammen mit den anderen – bis auf Varianten – das Arsenal der gesamten beobachtenden Astronomie der Antike bildete: die Armillarsphäre, was soviel bedeutet wie „Himmelsgerüst“. Wir finden sie am Ende der Entwicklung antiker Instrumente, weil ihre Konstruktion bereits astronomische Kenntnisse voraussetzt. Den wesentlichsten Bestandteil der Armillarsphäre oder Armille bildet ein Paar unterteilter



Alte astronomische Meßinstrumente

Triquetrum (oben), Armillarsphäre (unten links) und ihre Weiterentwicklung, das Astrolabium (unten rechts)

Kreise, deren Ebenen senkrecht aufeinander stehen. Einer der beiden repräsentiert den Himmelsäquator, der andere ist so angeordnet, daß er um die Weltachse, die vom Himmelsnordpol zum Himmelssüdpol verläuft, gedreht werden kann. Auf den Kreisen sind jeweils Absehen oder Alhidaden angebracht, über die sich die Objekte nach dem Prinzip von Kimm und Korn anpeilen lassen. Sehr zu Recht hieß dieses Instrument Himmelsgerüst; denn es war tatsächlich eine verkleinerte Himmelskugel.



Äquatoriale Gestirnskoordinaten

S = Stern, NP = Himmelsnordpol, α = Winkelabstand des Sterns vom Frühlingspunkt (Rektaszension), δ = Deklination, F = Frühlingspunkt, Beginn der Zählung der Rektaszension

Stellte man die Absehn auf dem beweglichen Kreis in die Richtung des Gestirns, so lieferte die Ablesung den Winkel zwischen dem Gestirn und dem Himmelsäquator, die Deklination. Richtete man die (verschiebbaren) Absehn des fest im Äquator liegenden Kreises auf ein Gestirn, so erhielt man den Winkel zwischen Südrichtung und Gestirn, den Stundenwinkel. Auf diese Art ließen sich Beobachtungsunterlagen gewinnen, mit denen der Ort des Sterns am Himmel bestimmt werden konnte.

Mit Armillarsphären beobachteten die großen Astronomen des Altertums sicherlich seit Hipparch (um 190–um 125 v. u. Z.). Hipparch hat uns einen Katalog von Sternen, gleichsam eine „Inventurliste“ des Himmels, hinterlassen, die 1022 Sterne enthält.

Im Weltzentrum die Erde

Welche Ergebnisse haben nun die seit dem 2. Jahrtausend v. u. Z. systematisch durchgeführten Himmelsbeobachtungen erbracht? Ohne Übertreibung können wir feststellen: Die Astronomie hatte ihren ersten großen gesellschaftlichen Auftrag glänzend erfüllt. Zunächst einmal war das Problem der Orientierung in der Zeit und damit die wichtigste Forderung der Ökonomie gelöst worden. Mit der Einführung des Julianischen Kalenders, der auf einer Jahreslänge von 365,25 Tagen beruhte und mit einem vierjährigen Schaltzyklus arbeitete, hatte man für lange Zeit das Kalenderproblem befriedigend geklärt und alle Ungereimtheiten früherer Systeme beseitigt.

Von noch weiter reichender Bedeutung aber war der Gebrauch, den die griechischen Denker von dem vielfältigen zusammengetragenen Wissen machten: Sie benutzten es zur Begründung des ersten wissenschaftlichen Weltbildes in der Geschichte der Menschheit. Während die früheren Völker aus dem Augenschein mystische Vorstellungen über die Welt ableiteten, arbeiteten die Griechen wissenschaftlich: Sie unternahmen den Versuch, alle festgestellten Fakten zu einem widerspruchsfreien Gesamtbild der Welt zu vereinen. Sie waren es, die das Wort Kosmos einführten, was nicht nur Schmuck, sondern auch Ordnung bedeutet. Die große Synthese ergab das geozentrische (griech. *ge* = Erde) Weltbild. Es fand seinen Niederschlag in einem umfangreichen Buch des Astronomen Klaudios Ptolemaios, das auch dem heutigen Leser hohen Respekt abnötigt, wenn man es als ein Produkt seiner Zeit begreift. Das Werk bildet den Gipfel und den Schlußstein jahrhundertelanger Bemühungen der griechischen Denker; uns ist es unter dem arabischen Namen „Almagest“ („Große Zusammenstellung“) bekannt.

Als Mittelpunkt der gesamten Welt wurde die unbewegliche Erde angenommen. Sie mußte daher auch als das Zentrum aller Bewegungen der Himmelskörper gelten, gleichgültig, wie diese beschaffen sein mochten.

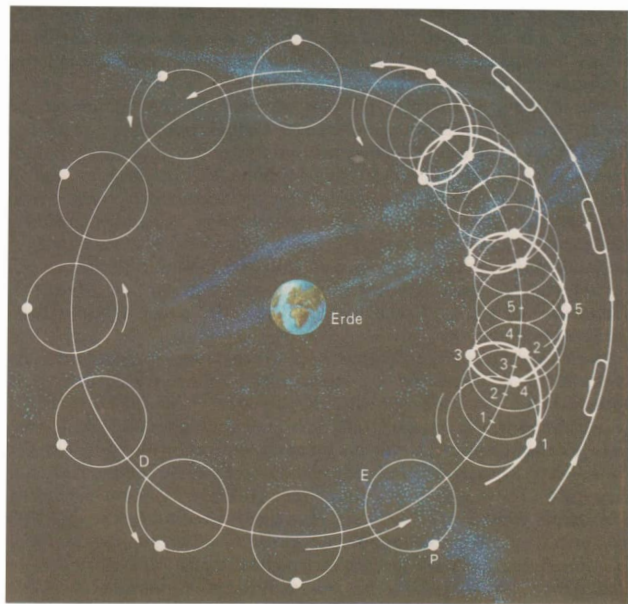
Am einfachsten ließ sich in diesem Modell die binnen 24 Stunden er-

folgende Drehung des gesamten Himmels einordnen. Hierzu genügte es, die Fixsterne als beliebig geartete Objekte zu betrachten, die am Innern einer weit entfernten Kugel befestigt sind. Diese Kugelschale sollte sich in 24 Stunden einmal um die Erde bewegen.

Viel schwieriger gestaltete sich hingegen die Darstellung der anderen Bewegungen. Die Planeten bewegen sich nämlich weder mit konstanter Winkelgeschwindigkeit noch stets in einer Richtung. Die alten Astronomen sprachen von zwei „Anomalien“ ihrer Bewegung. Nun bestand aber die Forderung, alle Bewegungen von Objekten am Himmel auf gleichförmig durchlaufende Kreisbewegungen zurückzuführen. Dieses „Kreisbahndogma“ hatten idealistische Denker aufgestellt, welche die Interessen der herrschenden Klasse vertraten. Die Himmelskörper wurden als göttliche Erscheinungen betrachtet, teils sogar mit Göttern identifiziert. Sie sollten sich daher nur auf der vollkommensten aller denkbaren geometrischen Figuren, dem Kreis, bewegen können. Diese Forderung zeigt deutlich, wie schon am Anfang der Astronomie philosophische Anschauungen und Argumente eine wesentliche Rolle bei der Ausarbeitung naturwissenschaftlicher Theorien spielten.

Die Darstellung aller am Himmel beobachteten Bewegungen gelang Ptolemaios durch eine Reihe von Kunstgriffen, die uns heute auf den ersten Blick merkwürdig anmuten. Eines der dabei angewendeten Hilfsmittel sind die Epizykeln: Ptolemaios, der hierin vor allem an Apollonios von Perge (262–190 v. u. Z.) anknüpfte, nahm an, daß sich jeder Planet gleichförmig auf einem Kreis, dem Epizykel (griech. = Aufkreis), bewegt, dessen Mittelpunkt aber nicht die Erde ist. Vielmehr sollte sich die Erde im Mittelpunkt eines anderen, des deferierenden Kreises oder Deferenten befinden, auf dessen Peripherie der Mittelpunkt des Planetenkreises umläuft. Im Ergebnis bewegt sich der Planet dann – von der Erde aus gesehen – prinzipiell so, wie es die Himmelsbeobachtungen auch tatsächlich zeigen: Bald läuft er unter den Sternen von West nach Ost, das heißt, er ist „rechtläufig“, bald bewegt er sich vorübergehend von Ost nach West und ist somit „rückläufig“. Ptolemaios brachte nun das Kunststück fertig, die Winkelgeschwindigkeiten der Planeten auf dem Epizykel und des Epizykelmittelpunkts auf dem Deferenten sowie die Durchmesser und Neigungen der einzelnen Kreise derart aufeinander abzustimmen, daß die berechnete Planetenbewegung genau der aus jahrhundertelangen Himmelsbeobachtungen bekannten Bewegung entsprach. Der Scharfsinn, mit dem der antike Gelehrte diese Probleme gelöst hat, verdient größte Hochachtung.

Natürlich mußte Ptolemaios für jeden Planeten eine gesonderte Theorie



Epizykelbewegung der Planeten nach Ptolemaios

Der Planet (P) bewegt sich auf der Peripherie eines Epizykels (E), dessen Mittelpunkt mit konstanter Winkelgeschwindigkeit auf dem Deferenten (D) entlangläuft. Durch die Bewegung des Epizykels von 1 nach 5 ergeben sich für den auf dem Epizykel umlaufenden Planeten die Positionen 1 bis 5 auf der stark gezeichneten Linie (Schleifenbewegung), die sich am Himmelshintergrund in Form der ganz rechts außen gezeichneten Kurve widerspiegelt.

ausarbeiten. Es gab keine einheitliche theoretische Vorstellung, aus der sich die Bewegungen aller Planeten hätten ableiten lassen.

Wie konnte aber die auf einer falschen, geozentrischen Grundlage beruhende Theorie des Ptolemaios dem Prüfstein der Praxis standhalten? Die Erklärung hierfür ist recht einfach: Im 19. Jahrhundert bewies der

französische Mathematiker Jean Baptiste Joseph Fourier (1768–1830), daß sich jede periodisch ablaufende Bewegung als die Summe mehrerer Sinusschwingungen darstellen läßt (Fourier-Analyse). Genau dies hatte Ptolemaios – ohne es zu wissen – getan.

Für nahezu anderthalb Jahrtausende behielt das astronomische Weltsystem der Antike uneingeschränkte Gültigkeit, trotz gelegentlicher Kritiken im einzelnen. Die Beobachtungstätigkeit der Araber, die das Wissensgut der antiken Gelehrten bewahrten und bereicherten und so seinen Eingang in die Gedankenwelt späterer Generationen ermöglichten, trug lediglich den Charakter der Ergänzung und vervollkommnenden Restauration. Ein Generalangriff erfolgte nicht; und dies ist verständlich: Die außerordentlich langsame Entwicklung der Produktivkräfte brachte keine prinzipiell neuen Beobachtungsinstrumente hervor, mit denen sich das antike Bild von der Welt hätte widerlegen oder in seinen Grundfesten erschüttern lassen.

Noch wesentlicher aber war die feste Verankerung des geozentrischen Weltbilds in der Ideologie der herrschenden Klasse. Christentum und geozentrisches Weltbild verschmolzen zu einer Einheit. Diese Übereinstimmung war keineswegs von Anbeginn vorhanden; sie wurde vielmehr in einem historisch äußerst interessanten und widerspruchsvollen Prozeß erst „hergestellt“. Insbesondere die umfassende Lehre des Aristoteles (384–322 v. u. Z.), den Karl Marx (1818–1883) als den größten Denker des Altertums bezeichnete, übte einen außerordentlichen Einfluß aus, sobald sie in Westeuropa bekannt wurde. Gerade sie vertrug sich aber in vielen Fragen nicht gut mit dem christlichen Dogma. Andererseits hatte sich Aristoteles in seiner Lehre mit zahlreichen Problemen auseinandergesetzt, die auch das theologische Denken berührten. Die Theologen des Mittelalters sahen hier eine Möglichkeit, dem Christentum zu geben, was ihm fehlte: die einheitliche Geschlossenheit eines philosophischen Systems. Aus dieser „Sympathie“ der frühmittelalterlichen Theologie für das System des großen Aristoteles wird der Versuch verständlich, eine Synthese zwischen seiner Philosophie und der christlichen Lehre zustande zu bringen. Der bekannteste und hervorragendste Vertreter dieser „Synthetiker“ war Thomas von Aquino (1225–1274).

In Wirklichkeit ließ sich natürlich eine Synthese zwischen Philosophie und Naturwissenschaft des Aristoteles mit den Glaubenslehren nur dadurch herbeiführen, daß seine Lehre entsteht und zurechtgebogen wurde. Wir müssen diese Zusammenhänge berücksichtigen, wenn wir die späteren scharfen Angriffe der Naturwissenschaft gegen Aristoteles verstehen wollen. Alle Angriffe gegen diesen verfälschten Denker waren

zugleich Attacken gegen die herrschende Ideologie und demonstrierten nichts anderes als die Unvereinbarkeit der Naturwissenschaft mit den Glaubenssätzen des Christentums von Anfang an.

Neue Ideen ohne neue Instrumente

Daß sich das scheinbar so wohlgefügte System des Ptolemaios nicht für alle Zeiten behaupten konnte, lag letztlich an der ökonomischen und gesellschaftlichen Entwicklung, mit der sich durchgreifende Änderungen anbahnten, die nach und nach die Mängel und schließlich die tiefen Widersprüche und Grundirrtümer dieses Systems offenbarten. Vor allem die mit der Produktion von Handelswaren verstärkt einsetzende Hochseeschifffahrt ließ erkennen, daß die Ptolemaiosschen Vorhersagen von Sternpositionen über die inzwischen verstrichene lange Zeit hinweg nur sehr ungenau waren. Folgerichtig gingen daher von der damals stärksten Seefahrernation Spanien auch wesentliche Impulse zur Behebung der festgestellten Mängel aus. Der den Künsten und Wissenschaften aufgeschlossene König Alfons X. von Kastilien (1221–1284) erteilte einer Gruppe von Gelehrten den Auftrag, neue Tafeln der Gestirnsbewegungen aufzustellen, ohne freilich die Grundlagen des Systems von Ptolemaios dabei aufzugeben oder auch bloß anzutasten. Dieses reformatorische Werk brachte jedoch keine durchgreifende Verbesserung. Die Zahl der Epizykel für die Darstellung der Planetenbewegungen mußte vergrößert werden. Als Alfons X. das Ergebnis zu Gesicht bekam, soll er gesagt haben: „Wenn mich Gott bei der Erschaffung der Welt zu Rate gezogen hätte, ich würde ihm größere Einfachheit anempfohlen haben.“ Im übrigen bewährten sich auch die „Alfonsinischen Tafeln“ in der Praxis kaum, da schon nach kurzer Zeit wiederum die berechneten und die beobachteten Daten erheblich voneinander abwichen.

In dieser Situation traten in Europa mehrere Sternkundige auf, die ihrer Wissenschaft einen Weg aus der Sackgasse, in die sie gelangt war, bahnen wollten. Vor allen verdienen in diesem Zusammenhang Georg Peurbach (Purbach) (1423–1461) und sein Schüler Johannes Müller (1436–1476), genannt Regiomontan (nach dem latinisierten Namen seiner Geburtsstadt Königsberg in Bayern), Erwähnung. Sie sahen den Ausweg vor allem in zwei großangelegten programmatischen Maßnahmen: Einerseits erschien es ihnen notwendig, das antike Wissensgut durch sorgfältige Übersetzungen in unverfälschter Form zugänglich zu machen, um die Quellen

unmittelbar zu studieren und auf ihnen aufbauen zu können. Es befanden sich nämlich nur durch ungenaue Abschriften und schlechte Übersetzungen verstümmelte Texte der Originalwerke im Umlauf. Zum anderen vertraten Purbach und Müller die Auffassung, daß es notwendig sei, wieder mit systematischen Beobachtungen der Gestirne zu beginnen, um nicht stets blindlings auf den schon rund 1000 Jahre alten Daten der großen Vorgänger fußen zu müssen.

Erst viel später zeigte sich in vollem Umfang die Richtigkeit dieser Grundüberlegungen. Die von beiden Gelehrten gemeinsam ausgeführten Beobachtungen hatten sie darauf hingewiesen, daß eine durchgreifende Erneuerung der Sternkunde dringend erforderlich war. Zum Beispiel stellten sie bei einer Mondfinsternis fest, daß das Ereignis am Himmel gegenüber der Berechnung nach der Theorie des Ptolemaios um eine ganze Stunde zu spät eintrat. Bei anderer Gelegenheit fanden sie den Planeten Mars um 2° von jener Position am Himmel entfernt, welche ihm die Ptolemaiossche Theorie zuwies.

Leider starb jedoch Purbach schon im Alter von 38 Jahren, und seinen Schüler, der sich vorgenommen hatte, die Pläne des Meisters zu Ende zu führen, raffte – ebenfalls erst vierzigjährig – in Rom die Pest dahin. Von seinen Übersetzungs- und Publikationsvorhaben, die er in einer Bücheranzeige bekanntgemacht hatte, wurde in der Folgezeit kaum etwas aufgegriffen. Richtungweisend aber blieb seine Feststellung: „Es ist meiner Meinung nach mehr zu bedauern als anzuklagen, daß Sternforscher heute allgemein hochgeschätzt werden, wenn sie auch nur die Berechnung der himmlischen Bewegungen gelernt haben, an Stelle eines Mannes, der gewohnt ist, die Sternkunde am Himmel auszuüben.“* Seiner Bedeutung nach kommt dieser Satz dem späteren Drängen hervorragender Denker der Renaissance gleich, die in den „irdischen“ Wissenschaften, zum Beispiel in der Physik, auf der Durchführung von Experimenten bestanden, statt sich mit kunstvollen Streitgesprächen über die Lehrsätze der antiken Autoritäten zu begnügen.

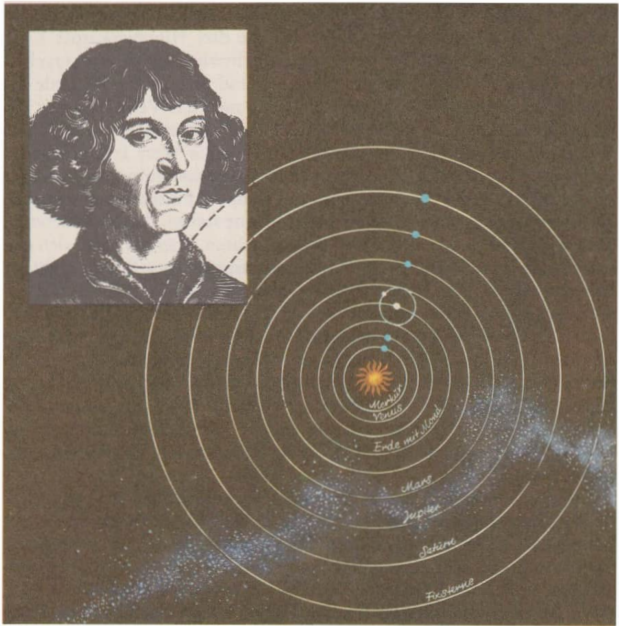
Der große Umbruch im astronomischen Weltbild der Antike ist für immer mit dem Namen des polnischen Astronomen Nicolaus Copernicus (1473–1543) verbunden. Die eigentliche Grundidee seines Werks war schon in der Antike aufgekeimt: Aristarch von Samos (um 320–um 250 v. u. Z.) hatte bereits die Mittelpunktstellung der Sonne angenommen und die Bewegungen am Firmament aus der Bewegung der Erde zu erklären versucht. Von Aristarch stammt auch der früheste überlieferte Versuch,

* Zit. nach: Ernst Zinner, Die Geschichte der Sternkunde, Berlin 1931, S. 362

Entfernungen von Himmelskörpern zu bestimmen. Dabei war er von der richtigen Überlegung ausgegangen, daß die drei Himmelskörper Erde, Sonne und Mond bei Halbmond genau ein rechtwinkliges Dreieck ergeben. Wenn man den Winkel kennt, den Erde und Sonne von der Erde aus gesehen zu diesem Zeitpunkt bilden, kann man das Verhältnis der Abstände Erde–Sonne zu Erde–Mond berechnen. Obwohl Aristarch dieses Verhältnis nur mit 1:19 bestimmte (tatsächlicher Wert 1:390), ergaben sich hieraus enorme Dimensionen des Alls. Insbesondere mußte die Kugel, an der die Fixsterne scheinbar befestigt sind, die Fixsternsphäre (griech. *sphaira* = Kugel), unvorstellbar weit entfernt stehen, da die Planeten bis Saturn darunter auch noch Platz beanspruchten. Hieraus hätte sich eine sehr große Geschwindigkeit der Fixsternsphäre bei ihrem täglichen Umschwung um die Erde ergeben. Vermutlich wurde Aristarch durch diese Erkenntnis dazu angeregt, sich die Fixsternsphäre ruhend und statt dessen die Erde bewegt zu denken. Leider besitzen wir über seine Vorstellungen im einzelnen nur sehr ungenügende Informationen, da die betreffenden Originalschriften Aristarchs verlorengegangen sind. Fest steht jedoch, daß sich diese früheste Idee eines Weltsystems mit der Sonne (griech. *helios*) im Zentrum (heliozentrisches Weltsystem) unter den gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Bedingungen der Antike nicht durchsetzen konnte.

Daß es sich hierbei keineswegs um ein Problem der Beobachtungsinstrumente handelte, zeigt die Neuentdeckung dieses Gedankens durch Copernicus. Als er Anfang des 16. Jahrhunderts seinem heliozentrischen System eine erste schriftliche Form gab, die unter dem Namen „Commentariolus“ („Kleiner Kommentar“) bekannt geworden ist, hatte er wohl hier und da in seinem Leben schon Himmelsbeobachtungen angestellt. Doch diese spielten für die Ausarbeitung seiner Grundgedanken keine nennenswerte Rolle. Bestenfalls können wir einen indirekten Einfluß insofern annehmen, als natürlich auch Copernicus von der mangelhaften Übereinstimmung zwischen den Beobachtungsdaten und den Positionen der Planeten nach der Theorie des Ptolemaios wußte. Gewiß hatten diese Unstimmigkeiten, die unter Gelehrten diskutiert wurden, ihren Anteil an der revolutionären Konzeption, die Copernicus verfolgte, indem er auf „Verbesserungen“ des geozentrischen Systems verzichtete und einen radikalen Umbruch herbeiführte, dessen Auswirkungen sich damals in der gesamten Tiefe und Breite noch nicht übersehen ließen. Jedoch war es keineswegs das spärliche neue Beobachtungsmaterial, das die Wende zum heliozentrischen System bewirkte.

Den Ausschlag gab vielmehr die neue gesellschaftliche und ökonomi-



Copernicus und sein heliozentrisches Weltsystem
(nach einer Originaldarstellung)

sche Situation, namentlich die allmähliche Herausbildung einer neuen Klasse, der Bourgeoisie, die zu den Naturwissenschaften ein grundlegend anderes Verhältnis besaß als die Feudalaristokratie. Der vorwiegend theologischen Weltanschauung des Feudalismus, welche die Entwicklung der Wissenschaft gehemmt hatte, setzte sie ihre irdisch orientierte, den Menschen in den Mittelpunkt stellende Ideologie entgegen. Das Bürgertum entstand und existierte durch handwerkliche Produktion und Handel. Ohne Sternbeobachtungen war aber Seehandel ein gefährliches und wenig aussichtsreiches Unterfangen.

Hinzu kam, daß die herrschende Feudalklasse und ihr ideologischer Bannerträger, die Kirche, höchstes Interesse an einer Ordnung im Kalenderwesen hatten: Die Länge des Jahres war ja von den Alten zu 365,25 Tagen bestimmt worden. Andererseits hatten jedoch die besten Beobachter der Antike, insbesondere Hipparch, bereits darauf hingewiesen, daß die tatsächliche Jahreslänge etwas kürzer ist. In Wirklichkeit beträgt die Länge eines Jahres nur 365,2422 Tage. Wir können uns nun leicht ausrechnen, daß diese scheinbar so winzige Differenz zwischen der dem Julianischen Kalender zugrunde gelegten und der wahren Länge des Jahres spürbare Folgen hat, die um so drastischer hervortreten, je mehr Zeit vergeht. Um das Jahr 1500 waren bereits anderthalb Jahrtausende seit der Einführung des Julianischen Kalenders verflossen. Der Fehler in der angenommenen Jahreslänge hatte sich inzwischen auf rund 10 Tage angehäuft. Mit anderen Worten: Der Kalender ging falsch! Dies hatte für die Kirche noch weitere Konsequenzen; denn es gibt ja im Kirchenkalender eine Reihe beweglicher Daten. Das bekannteste von ihnen ist das Osterdatum. Es wird auf eine recht komplizierte Weise aus dem Datum des Frühlingsanfangs und der Mondbewegung hergeleitet. Deshalb können die Osterdaten noch viel stärker abweichen, als es dem „Kalenderfehler“ entspricht. Für die Kirche war dies eine peinliche Situation, aus der unbedingt ein Ausweg gefunden werden mußte. Sie zeigte daher lebhaftes Interesse an allen astronomischen Untersuchungen, von denen auch nur im mindesten zu hoffen war, daß sie den Kalendermißstand beseitigen konnten. Allein so ist es zu verstehen, daß sich der Papst selbst wohlwollend von den Ideen des Copernicus berichten ließ. Der Domherr wurde sogar zu einem Konzil nach Rom eingeladen, wo man die Möglichkeiten einer Kalenderreform diskutieren wollte. Copernicus lehnte diese Einladung jedoch mit dem Hinweis auf die noch viel zuwenig genau gemessene tatsächliche Jahreslänge ab.

So kam es erst im Jahre 1582, Jahrzehnte nach dem Tod des Copernicus, zu der nach Papst Gregor XIII. (1502–1585) benannten Kalenderreform, der die Annahme einer Jahreslänge von 365,2425 Tagen zugrunde liegt. Um die angewachsene Differenz zu beseitigen, wurde angeordnet, daß dem 4. Oktober des Jahres 1582 unmittelbar der 15. Oktober zu folgen hatte. Damit zukünftig keine neuen Abweichungen mehr auftreten konnten, ging man außerdem in einer Kleinigkeit von der alten Schaltregel ab: Zwar sollte nach wie vor jedes ganzzahlig durch 4 teilbare Jahr ein Schaltjahr mit einem zusätzlichen Tag (im Monat Februar) bleiben, jedoch in 400 Jahren sollte es nur 97 statt bisher 100 solcher Schalttage geben. Alle vollen Jahrhunderte, die sich nicht ganzzahlig durch 400 teilen lassen

(1700, 1800, 1900), sollten keine Schaltjahre mehr sein. Darauf basiert unser Kalender bis zum heutigen Tag. Erst in sehr großen Zeiträumen werden neue merkliche Differenzen auftreten, da die Jahreslänge, die dem Gregorianischen Kalender zugrunde liegt, wiederum nicht ganz exakt der tatsächlichen Jahreslänge entspricht.

Das heliozentrische System des Copernicus ist letztlich eine Frucht der neuen gesellschaftlichen Situation, der Renaissance, ein Ergebnis neuer Bedürfnisse, die sowohl die beginnende Schifffahrt als auch das Kalenderwesen entstehen ließen. Es ist hingegen kein Produkt neuartiger Beobachtungen oder prinzipiell neuartiger Beobachtungsinstrumente.

Freilich, als Copernicus den großen Schritt von der ersten Darlegung des Systems zu der Ausarbeitung der Theorie tat, die dann schließlich in dem epochemachenden Werk „De revolutionibus orbium coelestium“ („Über die Umschwünge der himmlischen Kreise“) gipfelte, gewann er eine ganz andere Beziehung zu dem Problem der Beobachtungen. Er wurde sich darüber klar, daß es nicht allein darum gehen konnte, neue Prinzipien zu verkünden; vielmehr mußte das neue System das althergebrachte auch auf dem Felde der praktischen Leistungsfähigkeit schlagen. Das hieß, es so weit ins einzelne auszuarbeiten, daß sich schließlich mit seiner Hilfe Tafeln der Planeten, der Sonne und des Mondes berechnen ließen, und zwar mit größerer Genauigkeit, als dies nach den Theorien des Ptolemaios möglich war. Doch um diesem Anspruch gerecht zu werden, mußte man auch die bis dahin so hoch eingeschätzten Beobachtungen der Alten kritisch überprüfen, und das machte neue Beobachtungen erforderlich.

In welchem Maß Copernicus von dieser Einsicht beflügelt wurde, zeigt die Tatsache, daß er gerade während der Phase der Ausarbeitung seines großen Werks eine ganze Reihe von Beobachtungen durchführte. Insgesamt blieben die 61 nachgewiesenen Beobachtungen von Sonne, Mond, Venus, Mars, Jupiter und Saturn zwar bei weitem gegen die Tätigkeit der antiken Gelehrten auf diesem Gebiet zurück, doch müssen wir hierbei bedenken, daß Copernicus lebenslang mit Amtsgeschäften als Domherr von Frombork überhäuft war und keineswegs über so viel Zeit wie ein „Berufsastronom“ verfügte.

Die Instrumente, mit denen Copernicus beobachtete, stellten gegenüber denen seiner großen Vorgänger keine Neuheit dar: Er verwendete den schon seit der Antike bekannten Dreistab, eine Armillarsphäre und einen Quadranten. Den 2,5 m hohen Dreistab hatte er sich, wie auch seine Vorgänger, selbst gefertigt. Die 1414teilige Gliederung des Richtscheits aus Tannenholz war mit Tinte aufgetragen! Copernicus beschreibt dieses

Instrument in seinem Hauptwerk ausführlich. Seine Armillarsphäre entsprach ebenfalls weitgehend dem Gerät, mit dem einst Hipparch und Ptolemaios beobachtet hatten. Bei dem Quadranten handelte es sich um eine wuchtige Steinplatte mit einer Kantenlänge von mindestens 1,7 m. Das Instrument diente zur Messung der Sonnenhöhen durch Schattenwurf eines in der Mitte der Platte befestigten Stabs.

So gewissenhaft Copernicus seine Beobachtungen auch ausführte, Anzahl und Genauigkeit waren zu gering, um sie zur Grundlage einer neuen Astronomie machen zu können. Er vermochte trotz angestrengter theoretischer Arbeit und trotz seiner Beobachtungsdaten kein Weltsystem zu konstruieren, das dem Verlangen nach Vorhersagbarkeit der Planetenstellungen und zugleich der Forderung nach jener Harmonie und Einfachheit genügte, die er vor sich selbst erhob. „In medias omnium residet sol“ – „Zumitten von allem thront die Sonne“, hatte Copernicus in seinem Hauptwerk geschrieben; und auf reinen Kreisbahnen sollten nun alle Planeten um die Sonne laufen. Doch auf dieser Grundlage war keine genaue Darstellung ihrer Bewegungen möglich. Die unterschiedlichen Winkelgeschwindigkeiten und Abstände konnten auf diese Art nicht exakt genug erfaßt werden. So geriet Copernicus in einen Widerspruch: Um dem Ptolemaiosschen System auch in praktischer Hinsicht ernsthafte Konkurrenz zu machen, mußte er auf wesentliche Elemente der antiken mathematischen Astronomie zurückgreifen, zum Beispiel auf Epizykel und Deferenten. Zwar konnte er deren Zahl gegenüber Ptolemaios etwas verringern, aber völlig beseitigen ließen sie sich nicht.

Copernicus wußte nicht, warum dies so war. Wir wissen es heute: Die Annahme reiner Kreisbahnen für die Planeten ist falsch. Doch gerade diese wichtige Entdeckung, die einen der größten Fortschritte auf dem Weg zur Durchsetzung und zum weiteren wissenschaftlichen Ausbau der Kopernikanischen Lehre darstellt, haben wir einzig der sorgfältigen Beobachtungstätigkeit zu verdanken, die nach Copernicus einsetzte und deren bedeutendster Repräsentant in der fernrohrlosen Zeit der Däne Tycho Brahe (1546–1601) war.

Dialog mit der Natur

Um die Mitte des 16. Jahrhunderts beschäftigte sich der Wittenberger Gelehrte Erasmus Reinhold (1511–1553) mit der Ausarbeitung neuer Planetentafeln auf der Grundlage des Werks von Copernicus. Sie brachten

jedoch keine befriedigende Übereinstimmung mit den am Himmel ablesbaren Planetenrötern.

Noch ein anderer „Makel“ haftete der neuen Lehre in den Augen vieler Fachleute an: Wenn sich die Erde tatsächlich im Laufe eines Jahres um die Sonne bewegen sollte, so müßte davon ein Abbild in der Bewegung der Fixsterne wiederzufinden sein. Doch solche Verschiebungen der Fixsternörter mit Jahresperiode – parallaktische Verschiebungen genannt – ließen sich nicht einmal mit den raffiniertesten Hilfsmitteln der Beobachtungstechnik entdecken. Copernicus selbst hatte diesen Einwand längst durch die Erklärung entkräftet, die Fixsterne seien viel zu weit entfernt und die Winkelverschiebungen infolgedessen viel zu klein, um nachgewiesen werden zu können. Dennoch war mit diesem Argument ein Element der Unruhe unter die Astronomen gekommen: Seit den Lebzeiten des Copernicus gab es kaum einen bedeutenden Astronomen, der sich nicht unter Aufbietung immer neuer origineller Ideen und technisch ausgeklügelter Hilfsmittel darum bemüht hätte, diese periodische Verschiebung der Sternörter als unwiderlegbares Zeugnis für die Richtigkeit des heliozentrischen Systems nachzuweisen. Die Kopernikanische Lehre besaß für alle, die ihr anhängen, in dieser Hinsicht programmatische Bedeutung: In jahrhundertelangem intensivem Ringen um immer genauere Himmelsbeobachtungen, in einem unablässigen Dialog mit der Natur wuchs die astronomische Meßkunst zu jener Höhe empor, welche ihr später geradezu sprichwörtlichen Ruhm einbringen sollte.

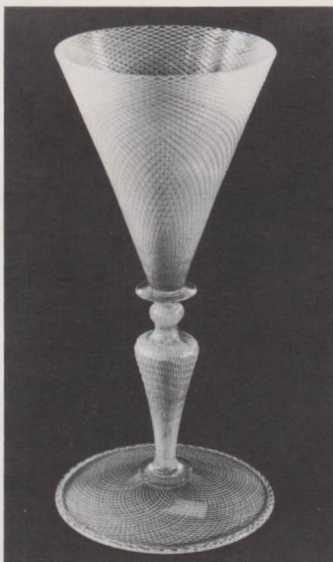
Wir können es als ein Kuriosum oder gar als eine Ironie der Geschichte ansehen, daß den wichtigsten Beitrag zu jenem das Weltbild formenden Dialog ausgerechnet ein Gelehrter leistete, der selbst zu den entschiedensten Gegnern des Systems von Copernicus zählte: Tycho Brahe aus Dänemark.

Brahe war auf ausgedehnten Reisen durch Europa unter anderem auch in eines der damaligen Zentren der Astronomie, nach Nürnberg, gekommen. Zu dieser Zeit hatte sich in ihm schon die Überzeugung gefestigt, daß man besseres Beobachtungsmaterial über die Gestirnsörter nur erhalten könnte, wenn man größere Instrumente mit erheblich genaueren Teilkreisen baute. Eine reiche süddeutsche Patrizierfamilie unterstützte Brahens Experimente durch geldliche Zuwendungen, ohne die der Bau des ersten Präzisionsgroßinstruments der neueren Astronomiegeschichte nicht möglich gewesen wäre: Brahe ließ einen Quadranten aus Holz anfertigen, dessen Radius 5,5 m betrug (Augsburger Quadrant). Dadurch konnte der Viertelkreis (lat. quadrans = Viertel) aus Messing, an dem man die eigentlichen Ablesungen vornahm, von 10 zu 10“ unterteilt werden.





Brillenverkauf im 16. Jahrhundert
(Kupferstich von J. Collaert)



Venezianisches Netzglas aus dem
16. Jahrhundert (Museum für Kunst-
handwerk Dresden)



Tagebuchseite (Ausschnitt)
von Galilei mit der Eintragung
verschiedener Stellungen der
Jupitermonde

Adi 7. d. Gennaio 1610 Giove si vedeva col Cannone co
3. stelle fffe. così ^{on:} * ^{on:} * ^{on:} * delle quali: se la il minore

minore si vedeva ^{on:} * a d. d. appariva così ^{on:} * ^{on:} * era dug

diretto et no retrogrado come dicono i calculatori.

Adi 9. fu rugolo. a d. d. si vedeva così ^{on:} * ^{on:} * ^{on:} * ciò è id.
già to la più occidentale si che la senta a quanto si può credere.

Adi 11. era in questa guisa * ^{on:} * ^{on:} * et la stella più vicina
a Giove era l'ultima minore dell'altra, et vicinissima all'altra
come che la altre pare erano la dette stelle appaite tutte tre
di equal grandezza et tra di loro equalo lontane; dal che
appare intorno a Giove esser 3. altre stelle erranti invisibili ad
ognuno sino a questo tempo.

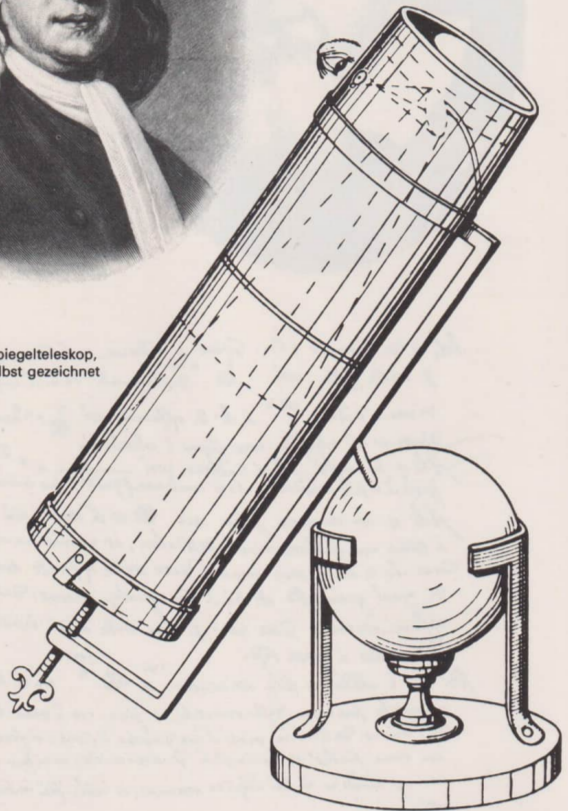
Adi 11. si vedde in tale costituzione ^{on:} * ^{on:} * ^{on:} * era la stella
occidentale poco minor della orientale, et giove era in mezzo lontano
tra l'una et dall'altra quasi il suo diametro i ciridi: et forse era
una terza mediana et vicinissima a f. verso oriente; anzi pur vi era
un'altra mediana is. la più diligente osservato, et visto più inobscure
notte.

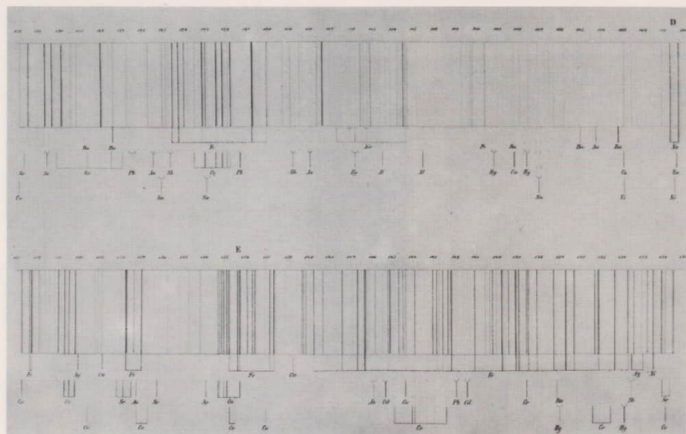
Adi 13. avendo benis. fermato lo scrupolo. si vedeva vicinissima a Giove

Isaac Newton

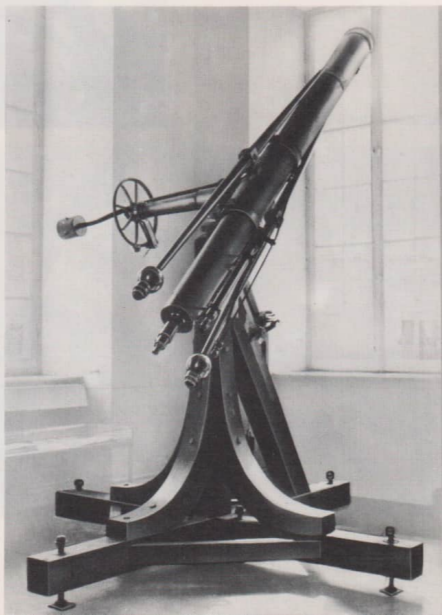


Newtons Spiegelteleskop,
von ihm selbst gezeichnet





Originalzeichnung Joseph Fraunhofers mit der Darstellung der von ihm entdeckten Linien im Sonnenspektrum

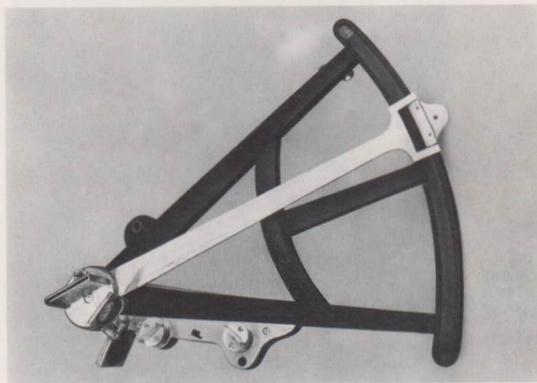


Refraktor Fraunhofers, mit dem Struve die Entfernung des Sterns Wega in der Leier gemessen hat

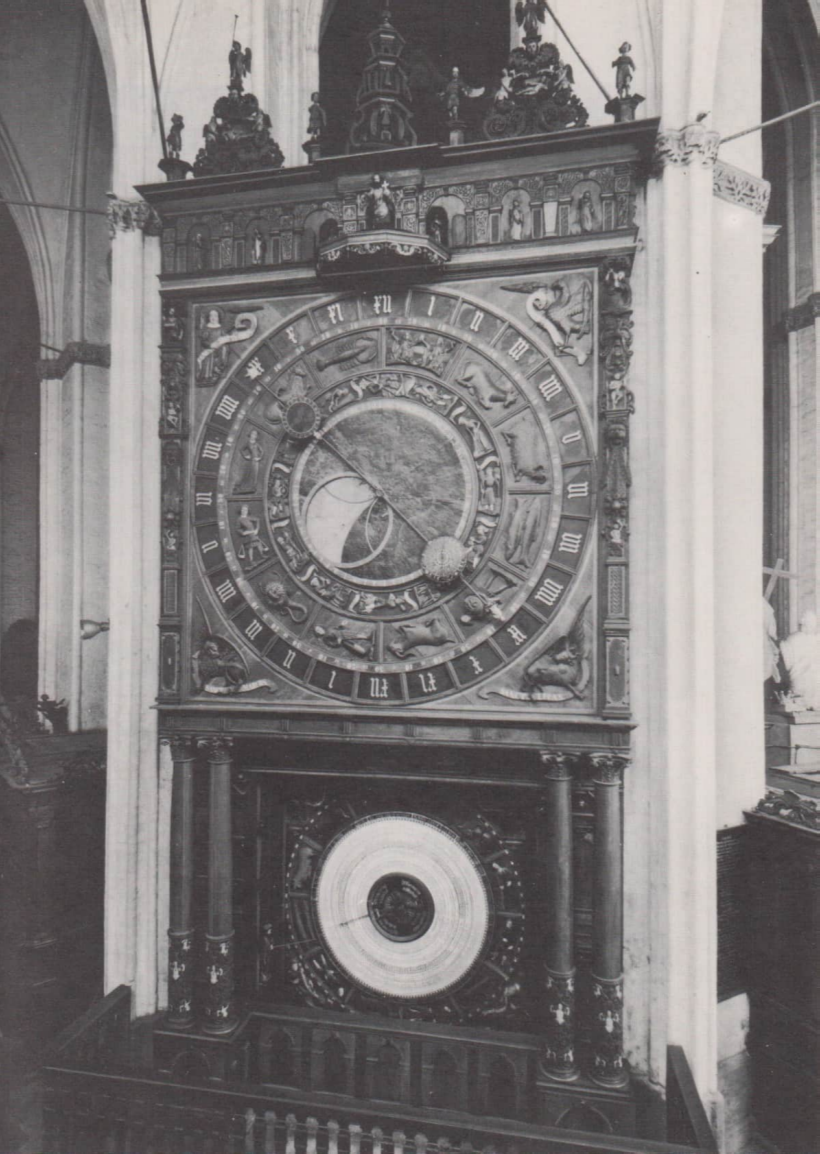
John Harrison

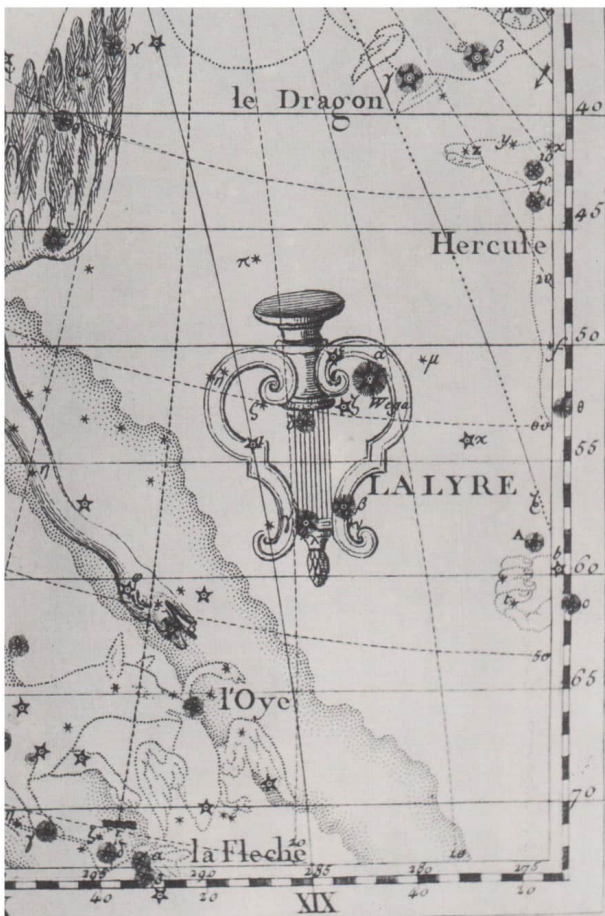


Oktant von John Hadley

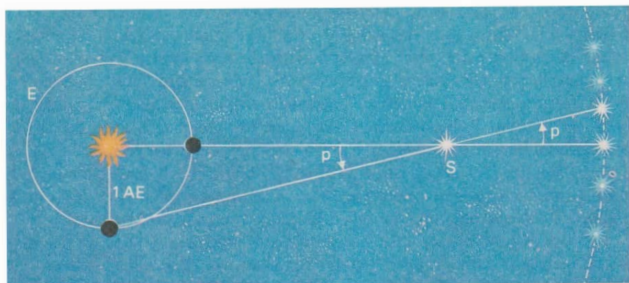


Astronomische
Kunsthur aus dem
17. Jahrhundert in
der Marienkirche zu
Rostock





Sternkarte mit dem Sternbild Leier nach einem Atlas von John Flamsteed (Ausgabe des 18. Jahrhunderts)



Bestimmung von Sternentfernungen durch Messung der Änderung der Sternposition infolge der Erdbewegung (jährliche Parallaxe)
 E = Erdbahn, AE = astronomische Einheit, p = Parallaxe, S = Stern

Brahe selbst führte allerdings mit diesem Instrument keinerlei Beobachtungen aus; er hatte Augsburg vielmehr längst verlassen, als der Quadrant endlich fertig wurde. Jedoch ließ er sich brieflich über alle Einzelheiten des Baus und die Eigenschaften des Instruments unterrichten, so daß er die bei diesem Projekt gewonnenen Erfahrungen für seine späteren Pläne sehr nutzbringend verwerten konnte.

Entscheidend für eine dauerhafte astronomische Beobachtungstätigkeit Tycho Brahes war das Angebot des dänischen Königs Friedrich II. (1534–1588), ihm eine der Sundinseln zur Verfügung zu stellen, wo er sich ein Observatorium bauen und seinen wissenschaftlichen Plänen widmen sollte. Natürlich wünschte das Herrscherhaus, auf diese Art Anteil an dem Ruhm der erhofften glänzenden Entdeckungen zu gewinnen.

Tycho begann mit der Errichtung einer eigens für Himmelsbeobachtungen vorgesehenen Stätte – dem ersten Zweckbau einer Sternwarte. Er taufte sie auf den Namen „Uraniborg“ (Himmelsburg). Nach und nach erhielt diese einzigartige Forschungsstätte nun die besten Beobachtungsinstrumente, die je auf den Himmel gerichtet wurden. Allerdings zeigte gerade das Beispiel Tychos deutlich, daß solche Forschungen nur im Dienst oder von Vertretern der herrschenden und damit begüterten Klasse zu unternehmen waren. Neben den erheblichen Zuwendungen vom dänischen König trieb Tycho auch die Abgaben der Bauern der Insel Hven ein, sicherte sich eine Einnahmequelle durch Besetzung der Stelle des

Domherrn von Roeskilde und war Nutznießer von 11 Pachthöfen. Als Friedrich II. starb, legte der geschäftstüchtige Däne der neuen Regierung sogar noch eine stattliche Liste von Ausgaben vor, die er für seine wissenschaftlichen Arbeiten gehabt hatte, woraufhin ihm umgehend 6000 Taler ausgezahlt wurden. Zusätzlich erhielt er einige Grundstücke in Kopenhagen. Für all diese Leistungen brauchte er als Gegendienst lediglich zu besonderen Anlässen astrologische Voraussagen zu machen.

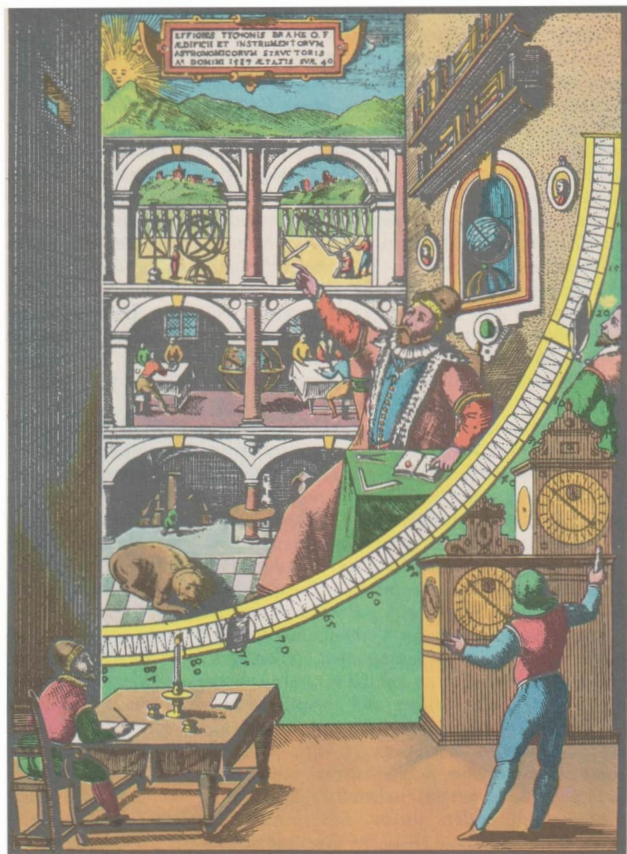
Der Bau der Uraniborg zog sich über Jahre hin. Auch die Konstruktion und Ausführung der Instrumente dauerte recht lange, so daß mit systematischen Beobachtungen erst nach 1580 begonnen werden konnte.

Bei der Konstruktion seiner Instrumente knüpfte Tycho an die Erfahrungen mit dem Augsburger Quadranten an. Vor allem galt es, die Ablesegenauigkeit dieses Riesen mit einer leichteren Handhabbarkeit zu vereinen. Das erste für die neue Sternwarte errichtete Instrument fiel deshalb erheblich kleiner aus als der Augsburger Quadrant.

Im Jahre 1573 beschäftigte sich Brahe mit der Konstruktion eines Quadranten, der zwar nur 39 cm Durchmesser besitzen, aber eine Ablesegenauigkeit bis auf einige Bogenminuten genau gestatten sollte. Hierbei wendete er ein Verfahren an, das bereits einige Jahrzehnte zuvor der Portugiese Petrus Nonius (1492–1577) vorgeschlagen hatte: Innerhalb des eigentlichen, von 5 zu 5' unterteilten Meßkreises werden insgesamt 44 weitere konzentrische Kreise (Kreise mit einem gemeinsamen Mittelpunkt) angebracht, die jeweils von außen nach innen abnehmend mit 89, 88 usw. bis 46 Teilstrichen versehen sind. Diese Vorrichtung heißt Nonius. Als Erfinder der Methode, Bruchteile von Teilstrichen mittels Hilfsskalen abzulesen, gilt neben Nonius der französische Mathematiker Pierre Vernier (1580–1637), weshalb diese Einrichtung mitunter auch nach ihm benannt wird. Im Prinzip hätte man mit Hilfe des Quadranten sogar bis auf einige Bogensekunden genau ablesen können. Allerdings kommt hierbei alles auf die Präzision der technischen Ausführung an: Die Alhidade muß sehr geradlinig ausgerichtet sein. Zudem treten schwer vermeidbare Ungenauigkeiten beim Ablesen dadurch auf, daß man nicht immer entscheiden kann, welcher der Punkte auf den konzentrischen Ringen von der Alhidade am genauesten getroffen wird. Schließlich – und dies wußte Tycho – bereitet die Teilung selbst erhebliche Schwierigkeiten, die in der Praxis besonders bei Primzahlen sehr groß werden.

Brahe erreichte es aber bei später gebauten Instrumenten doch, daß er – dank größeren Kreisen mit Schrägeilungen – bis auf 5'' genau messen konnte.

Eines der berühmtesten Instrumente von Tycho war die Äquatorialar-



Tycho Brahe
mit drei Assistenten an seinem großen Mauerquadranten

mille aus den Jahren 1584/85 mit dem in der Äquatorebene liegenden Meßkreis. Ihr Durchmesser betrug fast $2\frac{3}{4}$ m. Der Ablesekreis war von 15 zu 15" unterteilt. Doch mit diesen konstruktiven Fortschritten stiegen auch die Anforderungen an die Visiereinrichtungen. Was nützte die beste Teilung, wenn der dadurch erreichbare Gewinn an Genauigkeit durch unpräzise Visuren wieder verloren ging. Tycho erkannte diesen Zusammenhang sehr rasch und verwendete alle Sorgfalt auf bessere Visiereinrichtungen. Das bereitete allerdings einige Schwierigkeiten. Bei seinen Lochvisieren mit zwei Löchern in den senkrecht auf dem Visierstab sitzenden Platten konnte man die Genauigkeit zwar steigern, indem man die Öffnungen verkleinerte, doch war dann das Anpeilen des Sterns außerordentlich erschwert. Eine befriedigende Lösung des Problems brachte die Erfindung der Schlitzabseher. An den Enden der Alhidade befinden sich zwei gleichgroße rechtwinklige Plättchen. Durch eine spezielle Einstellung der Alhidade auf den Stern ist es möglich, die Höhe des Objekts mit größerer Genauigkeit zu bestimmen als unter Verwendung von Lochvisieren. Die Schlitzabseher lassen sich noch verfeinern, indem die Plättchen an der vorderen Abseher angewinkelt werden.

Das berühmteste aller Tychonischen Instrumente ist wohl der gewaltige Mauerquadrant, ein mit einer Mauer starr verbundener Viertelkreis, mit dem Tycho und seine Gehilfen die meisten Beobachtungen anstellten. Sein Radius betrug etwa 2 m. Das gesamte Instrument war aus Messing gegossen und reich verziert. Die Ablesung erfolgt hier nicht vermittels Alhidaden, statt dessen werden unmittelbar zwei Visiere benutzt. In der Maueröffnung befindet sich ein vergoldeter Zylinder mit demselben Durchmesser wie die Visierplatten. Die mit diesem Quadranten erreichte Genauigkeit der Messungen soll 10" betragen haben.

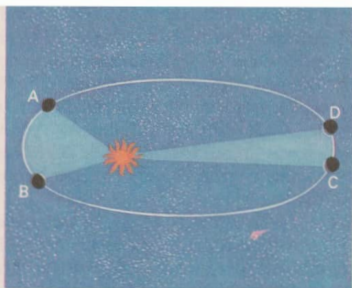
Die große Präzision der Tychonischen Beobachtungen beruhte jedoch nicht allein auf den hervorragenden Werkzeugen, über die der Astronom verfügte, sondern ebenso auf der sorgfältig überlegten Durchführung der Messungen. Tycho pflegte alle Messungen an mehreren Instrumenten gleichzeitig vornehmen zu lassen und sie auch meist mehrmals zu wiederholen. Außerdem korrigierte er seine Meßwerte, soweit das bei dem Kenntnisstand seiner Zeit überhaupt schon möglich war, durch Berücksichtigung der atmosphärischen Strahlenbrechung, die je nach der Höhe des Gestirns über dem Horizont sowie je nach Temperatur unterschiedlich stark ausfällt und die Höhe der Gestirne verfälscht. Die unübertroffenen genauen Beobachtungen, die Tycho anfangs in Hven, später in Prag durchführte, galten vor allem den Positionen der Fixsterne und den Bewegungen der Planeten.

Brahe hatte sich durch seine Beobachtungen davon überzeugt, daß die Theorie der Planetenbewegung von Ptolemaios nicht richtig sein konnte. Allerdings war er der Meinung, daß es neue und bessere Beobachtungen ermöglichen müßten, eine geozentrische Planetentheorie aufzustellen. Sie unterschied sich von der des Ptolemaios immerhin in einem wesentlichen Punkt: Zwar sollte die Erde nach wie vor das Zentrum des Kosmos bilden, jedoch war ihr nur noch die Rolle des Mittelpunkts der Bahnen von Mond und Sonne zugedacht; alle anderen Planeten kreisten in Tychos System um die Sonne.

Da Tycho selbst wohl ein äußerst geschickter Beobachter, aber kein ebenso bedeutender Theoretiker war, holte er sich die geeigneten theoretischen Köpfe an seine neue Wirkungsstätte nach Prag und übertrug ihnen die Aufgabe, aus seinen Beobachtungen ein neues geozentrisches System abzuleiten. Mit der Verbesserung der Mondtheorie sollte sich sein Schüler Longomontanus (1562–1647) befassen, und für die Planetentheorie, insbesondere die Theorie der Bewegung des Mars, engagierte er einen jungen Gelehrten aus Tübingen, der gerade ein interessantes Buch veröffentlicht hatte, mit dem er das Ziel verfolgte, das Geheimnis des Weltbaus zu enträtseln. Der Verfasser dieses geistreichen „Mysterium cosmographicum“ hieß Johannes Kepler (1571–1630). Seine Reise nach Prag und die Übernahme des Auftrags von Tycho waren ein historisches Ereignis ersten Ranges, wie sich bald herausstellte. Hatte Tycho die Natur mit seinen Instrumenten befragt, so brachte doch erst Kepler sie mit seinen scharfsinnigen Auswertungen wirklich zum Sprechen.

Kepler dachte über die Welt allerdings anders als Tycho. Er hatte durch seinen Tübinger Lehrer Michael Mästlin von der Lehre des Copernicus gehört und sich sogleich leidenschaftlich für das heliozentrische Weltsystem entschieden. Für ihn ergab sich daher ein ganz anderes Programm: Er nahm sich vor, die genauen Beobachtungen Tycho Brahes zu benutzen, um das Kopernikanische Weltsystem weiterzuentwickeln. Als Brahe im Jahre 1601 starb, schien der Weg frei. Doch vor Kepler lagen nun nicht allein Jahre anstrengender Forschungsarbeit, sondern zugleich ein langer, zermürender Streit mit den Erben Brahes um dessen Beobachtungen. Er arbeitete mit einer Beharrlichkeit ohnegleichen. Schließlich verschaffte er sich die Beobachtungsschätze, und ungeachtet zahlreicher Mißerfolge, Fehlschläge und Umwege blieb er von der Überzeugung durchdrungen, daß die Planeten sich um die Sonne bewegen und dabei Gesetzen folgen, die man entdecken und zur Berechnung der Planetenbewegungen benutzen kann.

Das zähe Ringen unter auch äußerlich sehr mißlichen Umständen in der



Kepler und sein „Flächensatz“

Ein Planet muß sich in Sonnennähe (Bahnstück AB) schneller bewegen als in Sonnenferne (Bahnstück CD), da die Verbindungslinie Sonne—Planet in gleichen Zeiten gleiche Flächen überstreicht.

unruhigen Zeit vor dem Ausbruch des Dreißigjährigen Krieges führte zu mehreren herausragenden Entdeckungen, die als Triumphe der Forschung in die Geschichte der Wissenschaften eingegangen sind. In seinen bahnbrechenden Werken „Astronomia nova“ („Neue Astronomie“, 1609) und „Harmonice mundi“ („Weltharmonik“, 1619) legte er die nach ihm benannten drei Gesetze der Planetenbewegung nieder, welche die Voraussetzung zur Ausarbeitung eines neuen Tafelwerks bildeten. Diese „Rudolfinischen Tafeln“, benannt nach Kaiser Rudolf II. (1552–1612), an dessen Hof Kepler lange Zeit gewirkt hatte, erwiesen sich den früheren Tafeln weit überlegen und wurden für nahezu 100 Jahre zur wichtigsten Grundlage der Berechnung der Planetenbahnen. Der entscheidende Fortschritt der Erkenntnisse Keplers bestand darin, daß er mit der Entdeckung der elliptischen Gestalt der Planetenbahnen das System des Copernicus von seinen letzten Unvollkommenheiten reinigen und somit zum eigentlichen Durchbruch bringen konnte.

Mit den Erkenntnissen Johannes Keplers wurde zum erstenmal das Bestehen mathematisch formulierter Naturgesetze nachgewiesen. Die spätere Aufklärung der Ursache für das gesetzmäßige Verhalten der Planeten durch Isaac Newton (1642–1726) führte zu einer der größten Entdeckungen aller Zeiten, dem Gravitationsgesetz. Es stellte einen entscheidenden Schritt auf dem Weg zur Entwicklung einer Himmel und Erde verbindenden Physik dar. Das Gesetz der allgemeinen Mas-

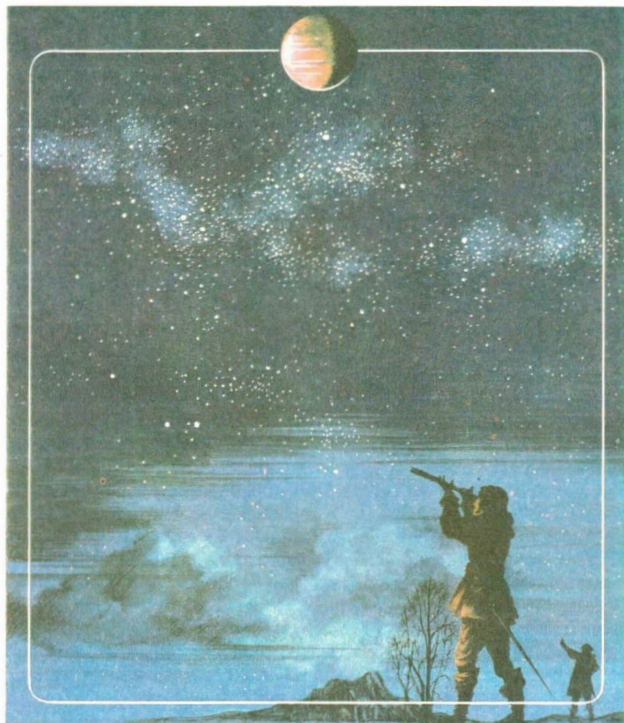
senanziehung ist von universeller Gültigkeit und wurde nach und nach gerade in der Hand des Astronomen zu einem weitreichenden Hilfswerkzeug bei der Erforschung des Kosmos.

Wir müssen uns angesichts dieser außerordentlich erfolgreichen Entwicklung der Forschung immer wieder daran erinnern, daß es letztlich die sorgfältigen Beobachtungen Tycho Brahes waren, die zusammen mit der kühnen Hypothese des Copernicus der modernen Naturforschung den Weg bahnten. Kepler wußte, was er diesen Grundpfeilern seiner Arbeit verdankte. In seiner „Weltharmonik“ schrieb er: „Meine Gestirne waren nicht der morgendliche Merkur im Winkel des siebten Hauses in Quadratur zum Mars, sondern Kopernikus und Tycho Brahe, ohne dessen Beobachtungsjournale alles, was ich bis heute in helles Licht gerückt habe, in Finsternis begraben läge.“*

Soweit war die Astronomie bei der Erforschung der Gesetze des Weltalls gekommen, ohne im Besitz eines Fernrohrs zu sein! Ungeahnte Welten eröffneten sich vor den Augen der Sternforscher, als das neue Schwerkzeug in den Dienst der Wissenschaft gestellt werden konnte, das Kepler für kostbarer als jegliches Zepter hielt.

* Zit. nach: Johannes Kepler, Der Mensch und die Sterne, Insel-Verlag, Wiesbaden 1953, S. 46 f.

Künstliche Augen entdecken den Himmel



Von Glasmachern und Brillenschleifern

Warum ist der Schlitten nicht in den Urwäldern Mittelamerikas erfunden worden? Diese Frage weist uns auf den Zusammenhang zwischen Erfindungen und den dafür vorhandenen Bedürfnissen hin. Es wäre aber falsch, anzunehmen, daß ein in der Gesellschaft entstehendes Bedürfnis gleichsam automatisch zu Erfindungen führt, die dieses Bedürfnis befriedigen. Jede Erfindung hängt vielmehr von einem konkreten Entwicklungsniveau der Wissenschaft und der Technik ab, ohne das sie auch dann nicht zustande kommt, wenn ihre allgemeine Notwendigkeit anerkannt ist.

Um Fernrohre zu produzieren, benötigt man Linsen, und um Linsen herzustellen, ist Glas erforderlich. Dieses wird durch Schmelzen mehrerer Bestandteile erzeugt, von denen besonders der Glasbildner (zum Beispiel Siliziumdioxid in Form von Quarzsand) und das Flußmittel (Karbonate, Nitrate oder Sulfate) Bedeutung haben.

Glas ist schon so lange bekannt, daß man keinen Erfinder dieses vielseitigen Werkstoffs namentlich nennen kann. Der römische Schriftsteller Plinius (23–79) überliefert uns die folgende Legende von der Erfindung des Glases: Ein Schiff der Phönizier landete eines Tages in einer Bucht. Als die Mannschaft an der Küste ihr Mahl zubereiten wollte, fand sie keine Steine zum Aufstellen der Kessel. Deshalb wurden aus dem Schiff einige Sodablöcke herbeigeschleppt, die Kessel darauf gestellt und unter ihnen ein Feuer entzündet. Daraufhin schmolz das Soda der Blöcke mit dem Küstensand zu Glas zusammen. Es ist jedoch nicht anzunehmen, daß diese Erzählung der Wahrheit entspricht; denn das Feuer kann unter solchen Bedingungen nicht die zum Erschmelzen von Glas erforderliche Temperatur erreichen.

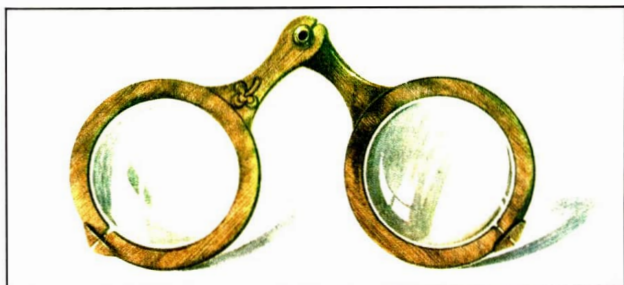
Die Erfindung des Glases wird sicherlich in jene Zeit zu verlegen sein, in der höhere Temperaturen auch für andere Vorrichtungen erzeugt wurden und somit verbürgt sind. Als man Metalle von den Erzen zu scheiden wußte, muß prinzipiell die Möglichkeit bestanden haben, Glas

herzustellen. Funde bestätigen diese Auffassung: In einem Grab aus der Umgebung von Theben in Kleinasien entdeckte man unter anderem eine grüne Glasperle, vor rund 5500 Jahren durch Menschenhand geschaffen.

Die Schönheit des Glases, seine Zweckmäßigkeit und seine äußerst vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten haben dafür gesorgt, daß es schon früh ein begehrter Luxusartikel der herrschenden Klassen aller Länder wurde. Wo immer es Wohlstand und Reichtum zur Schau zu stellen galt, mußte auch Glas her, besonders in Gestalt wertvoller Trinkgläser und Fenstergläser. Glasfenster waren noch im 15. Jahrhundert eine Seltenheit in den Häusern der Reichen!

Eine Blüte erreichte die Glasmacherkunst im 13. Jahrhundert in Venedig (Italien), wo man es verstand, sich das Monopol zu sichern. Die einzigartigen kunstvollen Gläser aus Venedig waren überall gefragt und daher ausgezeichnet geeignet, den Reichtum der venezianischen Herrscherhäuser zu mehren. Die eigentlichen Urheber dieses Wohlstandes zahlten einen hohen Preis dafür: ihre Freiheit. Sie genossen zwar Ansehen, waren in vieler Hinsicht den Goldschmieden oder gar den Bildhauern gleichgestellt und besaßen mancherlei Vorrechte, die anderen Handwerkern nicht im entferntesten zugebilligt wurden; dafür hatten sie sich aber damit abzufinden, daß alle venezianischen Glashütten auf der Insel Murano angesiedelt waren und daß sie diese Insel lebenslang nicht verlassen durften. Flüchterten sie, drohten ihnen Verfolgung und Tod.

Brillen als spezielle Erzeugnisse aus Glas kamen erst sehr spät auf und wurden wahrscheinlich zufällig erfunden. Zuverlässige Einzelheiten über die Erfindung der Brillengläser sind nicht bekannt. Die angeblich älteste Nachricht über Brillen stammt aus dem Jahre 1299; in einem Manuskript schreibt der Autor, er finde sich so beschwert vom Alter, daß er ohne die sogenannten Augengläser, die vor kurzem zum Vorteil der armen Alten erfunden worden seien, weder lesen noch schreiben könnte. Auf einem Grabstein in Florenz ist der 1317 verstorbene Edelmann Salvino degli Armati als Erfinder der Brille („Inventore degli occhiale“) bezeichnet. Etwa zur gleichen Zeit wurden auch andere Persönlichkeiten als Urheber der Augengläser genannt, so daß wir annehmen können, die Brillen seien etwa im 13. Jahrhundert aufgekomen. Mit Sicherheit hat die revolutionisierende Erfindung der Buchdruckerkunst auf die Produktion von Brillen ebenfalls einen nachhaltigen Einfluß ausgeübt, weil sich durch sie nach und nach der Umfang des gedruckten Schriftguts und damit auch die Zahl der Leser von Schriftstücken vergrößerte. Obwohl die Schätze der Wissenschaft vor allem in Klöstern studiert und gemehrt wurden,



Älteste erhalten gebliebene Brille (um 1320)

entwickelte sich auch eine breitenwirksamere Literatur, vor allem in Form von Flugschriften und Zeitungen, die auf der Basis der handschriftlichen Vervielfältigung von Informationen niemals entstanden wäre.

Die Handwerker, die sich auf das Schleifen von Brillengläsern verstanden, stellten für die Städte, in denen sie angesiedelt waren, eine gewinnbringende Schicht dar. Ihnen erging es daher ähnlich wie den Glaskünstlern Venedigs. In Nürnberg zum Beispiel, wo die Fertigkeit der Brillenmacher im 16. Jahrhundert blühte, galt diese Kunst als „gesperrtes Handwerk“. Dies bedeutete, daß die Brillengläser nicht in den Wohnungen oder Werkstätten der Meister geschliffen wurden, sondern im Zuchthaus oder in Arbeitshäusern für Gassenbettler.

Die Massenproduktion von Glas kam zuerst in England auf. Der Kapitalismus erhielt dort mit der bürgerlichen Revolution von 1640/60 freie Bahn, aber zahlreiche Schranken der feudalen Produktionsweise waren schon vorher hinweggefeht worden, so daß man von kapitalistischen Produktionsverhältnissen bereits im 16. Jahrhundert sprechen kann. Welcher grundlegende Wandel sich in England auf ökonomischem Gebiet in einer historisch kurzen Zeitspanne vollzog, geht zum Beispiel eindrucksvoll aus dem Anstieg der Kohleproduktion von 5000 t im Jahre 1500 auf 164 000 t im Jahre 1600 hervor.

Während die beginnende Glasindustrie des Inselreichs anfangs noch auf Spezialisten aus Italien, Holland und Frankreich zurückgreifen mußte, erzeugten die eigenen Arbeitskräfte bald so viel Glas hervorragender Qualität, daß man die Einfuhr verbieten konnte. Neben Fenster-

glas, Trinkgefäßen und Apothekerbehältnissen wurden erstmals auch Brillen massenweise produziert. Mit dem Aufkommen der industriellen Massenproduktion ging die ursprüngliche Kunstfertigkeit der Verarbeitung mehr und mehr verloren, und auch die soziale Stellung der Glasmacher verschlechterte sich. Der praktische Nutzen der Gläser stand viel höher im Kurs als die Schönheit, und an den Glasöfen fand man keine Meister der Kunst, sondern ungelernte Arbeiter. Doch dieser Übergang zur Massenproduktion war eine wesentliche Voraussetzung für die Verbilligung von Glasprodukten und deren Verbreitung weit über die Minderheit der herrschenden Klasse hinaus.

Wer erfand das Fernrohr?

Das Brillenglas stellt im optischen Sinn eine Linse dar – nach wissenschaftlicher Definition eine durch sphärische Flächen begrenzte Glasscheibe. Das Fernrohr ist im Prinzip eine Kombination mehrerer Linsen. Wenn es Brillengläser seit dem 13. Jahrhundert gab und ihre Produktion schon im 15. Jahrhundert eine recht große Zahl erreichte, so drängt sich die Frage auf, warum nicht auch das Fernrohr bereits im 14., 15. oder 16. Jahrhundert erfunden wurde. Sorgfältige historische Analysen haben gezeigt, daß hierfür mindestens zwei gewichtige Gründe bestanden:

1. Es gab keine Theorie der optischen Abbildung.
2. Die vorhandenen Brillengläser waren ungeeignet für die Herstellung und folglich erst recht für die Erfindung des Fernrohrs.

Die Optik als Wissenschaft befand sich im Mittelalter noch auf dem gleichen Stand wie in der Antike. Man wußte, daß sich das Licht in einem gleichmäßigen (homogenen) Medium geradlinig ausbreitet. Ebenso war aus Beobachtungen bekannt, daß sich die Ausbreitungsrichtung ändert, wenn ein Lichtstrahl auf eine reflektierende Fläche oder ein brechendes Medium trifft. Auch das Gesetz der Spiegelung, nach dem der Einfallswinkel bei der Reflexion gleich dem Ausfallswinkel des Lichtstrahls ist, findet sich bereits in den optischen Schriften des Aristoteles. Die komplizierteren Verhältnisse bei der Lichtbrechung (Refraktion) waren hingegen unbekannt. Folglich gab es auch keine zutreffenden theoretischen Vorstellungen über das Sehen und über die optischen „Geheimnisse“ der Brille. Somit war es unmöglich, das Fernrohrprinzip aus theoretischen Überlegungen abzuleiten und das Teleskop (griech. tele = fern, skopos – Späher) „am Schreibtisch“ zu erfinden.



So wurde möglicherweise das Linsenfernrohr erfunden: Kinder eines holländischen Linsenschleifers entdeckten zufällig die vergrößernde Wirkung bestimmter Linsenkombinationen.

Was nun die Brillengläser anlangt, so dienten sie natürlich dazu, Sehfehler, das heißt Weitsichtigkeit und Kurzsichtigkeit, zu korrigieren. Die Brennweiten von Konvexlinsen zum Ausgleich der Weitsichtigkeit betragen aber maximal 50 cm. Konkavlinsen waren um die Mitte des 16. Jahrhunderts überhaupt noch höchst selten, weil sie sich außerordentlich schwer schleifen ließen. Um jedoch einen auffällig vergrößernden Effekt (Teleskopeffekt) zu erhalten, hätte man eine langbrennweitige Konvexlinse mindestens mit einer Konkavlinse von 15 cm Brennweite kombinieren müssen. Dies war frühestens gegen Ende des 16. Jahrhunderts denkbar.

Daß man Konvex- und Konkavlinsen miteinander kombinierte, um Sehschwierigkeiten zu beheben, ist bereits für die Zeit um 1589 verbürgt. Auch später wurden solche Versuche gemacht. Im Jahre 1598 brachte der Italiener Raffael Gualterotti eine Konkav- und eine Konvexlinse mit-

einander in Verbindung. Im Prinzip probierte er also Fernrohrkombinationen aus. Die Vergrößerung dürfte jedoch höchstens 1,5 betragen haben, so daß die Erscheinung nicht auffällig genug war, um zur Erfindung des Fernrohrs zu führen.

Wen verwundert es angesichts dieser Zusammenhänge, daß man die vergrößernde Wirkung von entsprechenden Linsenkombinationen an mehreren Orten gleichzeitig und unabhängig voneinander entdeckte, als geeignete Konkavlinsen zur Verfügung standen? Die Nachrichten über die Erfindung des Fernrohrs widersprechen einander allerdings so sehr, daß es heute kaum noch möglich erscheint, mit Sicherheit festzustellen, wem tatsächlich die Ruhmeskrone gebührt. Zumindest drei Männer kommen dafür in Frage: Jacob Metius aus Alkmaar, einer Stadt in Holland, sowie Hans Lippershey aus Middelburg, Hauptstadt der niederländischen Provinz Seeland, und Sacharias Janssen, ebenfalls aus Middelburg. Wer auch immer von ihnen der erste war: Das Fernrohr als ein neuartiges Hilfsmittel zur Betrachtung entfernter Objekte wurde etwa zwischen 1590 und 1608 erfunden und kurz darauf weltweit verbreitet, und es erregte größtes Aufsehen. Insbesondere waren die atemberaubenden Entdeckungen, die einige Astronomen binnen weniger Monate mit diesem Instrument machten, von außerordentlicher Bedeutung für das Bild des Menschen von der ihn umgebenden Natur.

Wie der Himmel der Alten verschwand

Die Kunde von der Erfindung eines Instruments, mit dem man entfernte Gegenstände größer und somit näher sehen könne als mit dem bloßen Auge, verbreitete sich – trotz der recht mangelhaften Nachrichtenverbindung der damaligen Zeit – wie ein Lauffeuer. Sie drang auch zu Galileo Galilei (1564–1642), dem damals fünfundvierzigjährigen Professor der Physik und Mathematik zu Padua in der Republik Venedig. Galilei berichtete darüber im Jahre 1610: „Vor ungefähr zehn Monaten erfuhr ich, daß in Belgien ein Instrument erfunden sei, durch welches man entfernte Gegenstände deutlich sehen könne, und mancherlei wunderbare Gerüchte wurden über diese Erfindung verbreitet. Als mir Jacob Badovere eben diese Nachrichten gab, sann ich darüber nach, auf welche Weise ein solches Instrument zu construiren sein möchte, und hatte bald darauf, von den Gesetzen der Dioptrik geleitet, mein Ziel erreicht. An den Enden eines bleiernen Rohrs befestigte ich zwei Gläser, ein plan-

convexes und ein planconcaves. Als ich das Auge dem letztern näherte, sah ich die Gegenstände etwa 3mal näher und 9mal größer, als wenn ich sie mit unbewaffnetem Auge betrachtete. Bald hatte ich ein besseres Instrument verfertigt, das eine mehr als 60malige Vergrößerung gab, und da ich keine Kosten scheute, so kam ich endlich dahin, daß mir die Gegenstände beinahe 1000mal größer und mehr als 30mal näher erschienen.“*

Oft wurde aus diesem Selbstzeugnis der Schluß gezogen, daß Galilei der Erfinder des Fernrohrs sei. Er gibt jedoch selbst zu, daß er – von den Nachrichten über die bereits erfolgte Erfindung angeregt – lediglich einen Nachbau vornahm.

Einzigartig aber war der Gebrauch, den Galilei von dieser Neuerung machte. Hierin besteht sein unvergleichliches geschichtliches Verdienst. Man könnte meinen, der Gelehrte sei auf eine sehr einfache Weise zu Entdeckerruhm gelangt: Er schaute nur durch das neue Kunstprodukt zum Himmel – und schon befand er sich auf dem Weg zur Unsterblichkeit. In Wirklichkeit war alles viel komplizierter. Die Erscheinungen, die ihm das Teleskop zeigte, standen nämlich durchweg im Widerspruch zu der Lehre des Aristoteles, dessen Meinungen zu den Grundüberzeugungen der herrschenden römisch-katholischen Kirche gehörten. Galilei richtete sein Teleskop auf den Mond. Was stellte er fest? Daß der Mond ein Körper ist, welcher der Erde weitgehend ähnlich sieht. Auch auf seiner Oberfläche finden sich Berge und Täler sowie „Meere“ und zerklüftete Felschluchten. Nach Aristoteles aber unterscheiden sich die Himmelskörper prinzipiell von der Erde, da zwischen Himmel und Erde ein unüberbrückbarer Gegensatz besteht.

Bertolt Brecht schreibt in seinem Schauspiel über Galilei:

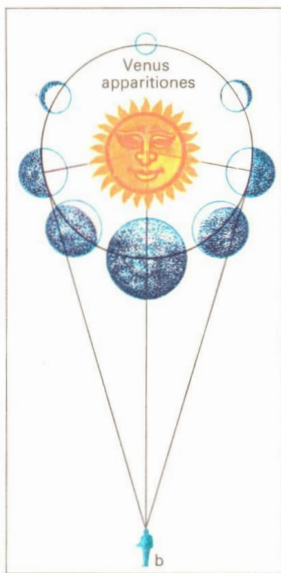
„Sechzehnhundertzehn, zehnter Januar:

Galileo Galilei sah, daß kein Himmel war.“**

Was hatte Galilei wirklich gesehen? – Als er sein Fernrohr auf den hellstrahlenden Jupiter richtete, entdeckte er 4 winzige Sternchen in dessen Nähe, die aber nach und nach ihre Stellung zueinander und zum Jupiter veränderten. Bald war ihm klar, daß es sich um kleinere Körper handeln mußte, die sich – wie nach Copernicus die Planeten um die Sonne – um den Jupiter bewegen. Nach Aristoteles aber gab es nur ein einziges Zentrum für alle Bewegungen von Himmelskörpern, nämlich die Erde.

* Zit. nach: J. H. v. Mädler, Geschichte der Himmelskunde, 1. Bd., Braunschweig 1873, S. 249 f.

** Bertolt Brecht, Stücke, Bd. VIII, Aufbau-Verlag, Berlin und Weimar 1964, S. 36



Mit seinen einfachen Fernrohren entdeckte Galilei unter anderem die Bergwelt des Mondes (links oben eine Originalzeichnung des Forschers) und die Phasen der Venus (rechts).

Das Zustandekommen der Venusphasen lässt sich auf der Grundlage der heliozentrischen Hypothese des Copernicus durch die unterschiedliche Stellung der Venus zur Sonne erklären, die von einem Standpunkt auf der Erde (b) betrachtet wird.

Doch Galilei fand noch weitere Tatsachen, die sich in die Weltansicht der Alten nicht einfügen ließen: Die angeblich makellos reine Sonne zeigte sich von Flecken übersät, wie etwa gleichzeitig auch Christoph Scheiner (1573–1650) und David Fabricius (1564–1617) feststellten. Den Planeten Saturn sah Galilei durch sein Fernrohr länglich, wovon er Kepler in einem Buchstabenrätsel Kunde gab. Das majestätische Ringsystem des Planeten konnte er mit seinen einfachen Fernrohren noch nicht beobachten. Diese

Entdeckung blieb Christian Huygens (1629–1695) vorbehalten. Erstaunen rief auch die Beobachtung des Morgen- und Abendsterns Venus hervor: Sie erschien in wechselnder Sichelgestalt, wie sie dem Betrachter des Himmels sonst nur von unserem Mond bekannt ist. Und schließlich: Das zartschimmernde, unregelmäßig geformte Band der Milchstraße erwies sich im Fernrohr als ein dichtes Gewimmel von unzähligen Sternen, wie der Materialist Demokrit (460–371 v. u. Z.) schon rund 2000 Jahre zuvor vermutet hatte.

Was war mit diesen Beobachtungen gewonnen? Genug, um die päpstlichen Gelehrten in Rom vor einem Blick durch das „Teufelsinstrument“ zurückschrecken zu lassen, als Galilei sie aufforderte, die von ihm entdeckten Jupitermonde zu betrachten.

Galilei legte die mit dem Fernrohr gemachten Entdeckungen prinzipiell richtig als Argumente gegen die antiken Dogmen aus. Er fühlte sich durch diese Neuheiten in seiner Überzeugung bestärkt, daß die Hypothese des Copernicus richtig sei, und setzte sich fortan nachdrücklich für diese Lehre ein. Die beiden Galilei-Prozesse von 1616 und 1632/33 sind ein beredtes Zeugnis für den wachsenden Widerstand der herrschenden Klasse gegen die neuen Erkenntnisse der Naturwissenschaften. Galilei wurde gezwungen, seiner Überzeugung abzuschwören; Giordano Bruno (1548–1600) gar, der mutige Philosoph, war für seine „Ketzerereien“, die er aus der Lehre des Copernicus in kühnem Denken hergeleitet hatte, auf dem Scheiterhaufen verbrannt worden.

Das neue „Produktionsmittel“ der Astronomen, das Fernrohr, hatte also gleichsam wie ein Paukenschlag auch ein neues Zeitalter der Forschung eingeleitet und zahlreiche Erkenntnisse zutage gefördert, die nach weiterer Untersuchung drängten.

Rätsel des Strahlengangs

Das Fernrohr funktionierte – doch warum? Diese Frage vermochte zu Beginn des 17. Jahrhunderts niemand zu beantworten. Das Teleskop war ein Kind der Praxis, bei dessen Geburt die Wissenschaft keine nennenswerte Rolle gespielt hatte. Aber gerade durch das Funktionieren des Fernrohrs wurden die Gelehrten auf den Plan gerufen. Seine spätere Geschichte zeigt, daß sich ohne ein theoretisches Verständnis des Phänomens der optischen Abbildung die Beobachtungsinstrumente nicht hätten weiterentwickeln lassen.

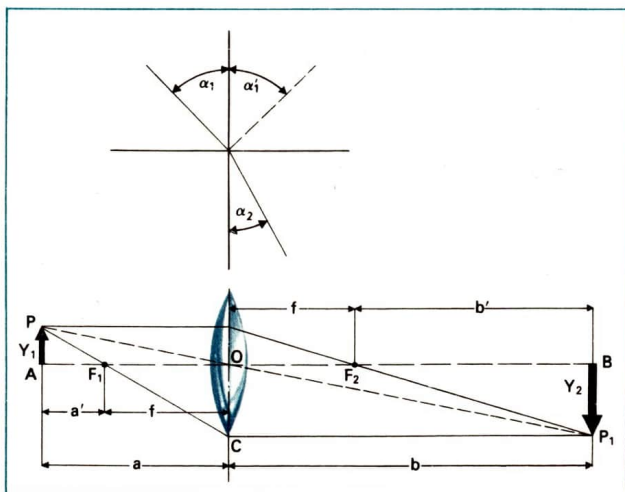
Wesentlich für das Verständnis der Strahlenausbreitung beim Durchgang durch optische Medien, wie zum Beispiel Glas, war die Entdeckung des Brechungsgesetzes durch Willebrord Snellius (1580–1626) und René Descartes (1596–1650). Snellius machte seine Entdeckung wahrscheinlich um das Jahr 1621. Sie fußt unter anderem auf einer wichtigen Veröffentlichung zu optischen Fragen, die Johannes Kepler schon 1604 herausgebracht hatte.

Kepler erkannte das Zustandekommen der Abbildung bereits richtig und lieferte in seiner Abhandlung zugleich die erste zutreffende Theorie des Sehens sowie eine Erklärung der Wirkung von Brillen. Das diesen Vorgängen zugrunde liegende Gesetz jedoch fand er noch nicht. Immerhin reichten seine Entdeckungen auf dem Gebiet der geometrischen Optik für ihn aus, um ein eigenes (das sogenannte Keplersche) Fernrohr zu konstruieren, das also im Unterschied zu dem Galileischen ein Ergebnis der Anwendung theoretischer Kenntnisse war.

Die Entdeckung des Brechungsgesetzes durch Snellius blieb übrigens zunächst unbekannt und wurde erst nach dessen Tod publiziert, wobei dem schon erwähnten großen französischen Gelehrten Descartes das Verdienst gebührt, die entsprechenden Arbeiten im Nachlaß von Snellius aufgefunden und der Öffentlichkeit übergeben zu haben.

Im modernen Sprachgebrauch besagt das Brechungsgesetz, daß ein Lichtstrahl, der aus dem Vakuum kommend auf ein durchsichtiges Medium trifft, aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt wird und das Verhältnis des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels durch eine Materialkonstante, den sogenannten Brechungsindex, gegeben ist.

Von dieser Erkenntnis ausgehend, kann man nun den Weg von Lichtstrahlen konstruieren, die durch einen lichtdurchlässigen Körper hindurchtreten, der beidseitig von Kugelflächen begrenzt ist. Mit anderen Worten: Die Abbildungsvorgänge an Linsen lassen sich theoretisch beschreiben. Um das Prinzip einer Sammellinse (in der Mitte dicker als am Rand) zu verstehen, betrachten wir die Abbildung auf Seite 52. Gelangen parallele Lichtstrahlen, die von einem praktisch unendlich weit entfernten Punkt (Stern) ausgehen, auf eine Sammellinse, dann werden sie so gebrochen, daß sie im Brennpunkt der Linse wieder zusammentreffen und dort das Bild des unendlich fernen leuchtenden Punkts ergeben. Blickt man statt auf einen Punkt auf einen Gegenstand, der sich weiter als die doppelte Brennweite vom Objektiv entfernt befindet, so entwirft die Linse ein umgekehrtes verkleinertes Bild dieses Gegenstands. Im Fernrohr wird es mit Hilfe einer zweiten Linse, die als Lupe wirkt, betrachtet. Im Galilei-



Lichtbrechung und Konstruktion des von einer Sammellinse entworfenen Bildes

Fällt Licht aus dem Vakuum auf die Oberfläche eines lichtdurchlässigen optischen Mediums, so wird ein Bruchteil des Lichts reflektiert (oben). Einfallswinkel α_1 und Reflexionswinkel α'_1 sind gleich groß. Der Rest tritt unter Brechung in das Medium ein. Die Stärke der Brechung wird durch den Brechungsindex des Mediums bestimmt.

α_2 = Brechungswinkel

Vom Punkt P des Gegenstands werden drei Strahlen gezeichnet (unten): Ein der optischen Achse AB paralleler Strahl wird von der Linse durch den Brennpunkt F_2 gebrochen; ein von P durch den vorderen Brennpunkt F_1 verlaufender Strahl tritt parallel zur optischen Achse aus der Linse aus; ein durch die Linsenmitte O verlaufender Strahl wird überhaupt nicht gebrochen. Die Strahlen schneiden sich im Bildpunkt P_1 . Es gilt die einfache Abbildungsgleichung $a' \cdot b' = f^2$.

a = Gegenstandsweite, b = Bildweite, f = Brennweite, F_1 = dingseitiger Brennpunkt, F_2 = bildseitiger Brennpunkt, Y_1 = Gegenstandshöhe, Y_2 = Bildhöhe

schen Fernrohr diente eine Konkavlinse als Lupe. Kepler setzte statt dessen eine zweite Bikonvexlinse ein, die aber im Unterschied zu der anderen Linse eine viel kürzere Brennweite besitzt. Die Lupe wird im Fernrohr als

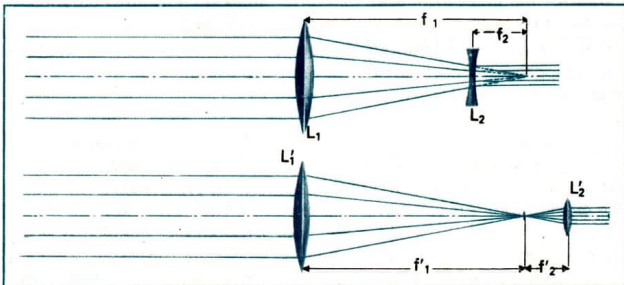
Okular bezeichnet, weil es sich dabei um die dem menschlichen Auge (lat. oculus) zugewendete Linse handelt, während die das Bild entwerfende, dem Objekt zugekehrte Linse Objektiv heißt. Da Linsenfernrohre auf dem Prinzip der Lichtbrechung oder Refraktion beruhen, nennt man sie Refraktoren.

Die wesentlichen Leistungen eines astronomischen Fernrohrs bestehen darin, daß es weit entfernte Objekte größer und heller abbildet als das unbewaffnete Auge. Betrachten wir einen Gegenstand mit dem bloßen Auge, so erscheint er uns unter einem bestimmten Winkel. Dieser Winkel wird von zwei Grenzstrahlen, die vom Gegenstand zum Auge verlaufen, eingeschlossen. Jedermann weiß, daß der Schwinkel, unter dem wir irgendeinen Gegenstand erblicken, um so kleiner ist, je weiter sich der betreffende Gegenstand entfernt befindet. Nach dem bekannten Strahlensatz der Geometrie kann man leicht zeigen, daß der Schwinkel (der scheinbare Durchmesser von Objekten) proportional zur Entfernung abnimmt. Die Vergrößerung mit Hilfe optischer Instrumente bewirkt nun eine Vergrößerung des Schwinkels gegenüber dem Anblick desselben Objekts mit dem bloßen Auge. Als Vergrößerung wird dementsprechend das Verhältnis des Schwinkels eines Objekts mit Hilfe eines Instruments zu dem Schwinkel ohne Instrument definiert.

In der Astronomie hat der Begriff der Vergrößerung teils eine engere,

Bildentstehung am Galileischen und am Keplerschen Fernrohr

Beim Galileischen Fernrohr (oben) mit einem konvexen Objektiv (L_1) der Brennweite f_1 befindet sich vor dem Brennpunkt ein konkaves Okular (L_2) der Brennweite f_2 . Beim Keplerschen Fernrohr (unten) mit einem konvexen Objektiv (L'_1) der Brennweite f'_1 befindet sich hinter dem Brennpunkt ein konvexes Okular (L'_2) der Brennweite f'_2 .



teils aber auch eine viel weiter reichende Bedeutung als bei der Betrachtung irdischer Objekte mit Hilfe von Fernrohren. Das normale Auge vermag zwei Punkte noch getrennt wahrzunehmen, wenn sie eine Bogenminute ($1' = \frac{1}{60}^\circ$) voneinander entfernt stehen. Diese Tatsache ergibt sich aus der „Konstruktion“ unserer Netzhaut. Da die Fixsterne – selbst die allernächsten – bereits so weit von der Erde entfernt sind, daß sie sich auch mit mächtigen optischen Hilfsmitteln nicht auf einen Schwinkel von $1'$ vergrößern lassen, bleiben sie im Fernrohr ebenso punktförmig, wie sie auch dem bloßen Auge erscheinen. Stehen aber zwei Sterne so nahe beieinander, daß unser Auge sie nur als ein einziges Objekt zu sehen vermag, dann können sie bei Anwendung einer geeigneten Vergrößerung (Auflösung) getrennt wahrgenommen werden.

Aus den Gesetzen der geometrischen Optik läßt sich ableiten, daß man die Vergrößerung eines Fernrohrs erhält, wenn man die Brennweite des Objektivs durch die Brennweite des Okulars dividiert. Dies bedeutet natürlich, daß wir mit einem Fernrohr je nach der Wahl des Okulars verschiedene Vergrößerungen erzielen können. Das in der Astronomie sehr wichtige Auflösungsvermögen ist jedoch in erster Linie durch den Radius des Objektivs begrenzt, und zwar aus folgendem Grund: An der Objektivfassung wird das eintretende Licht gebeugt. Deshalb erscheint ein Fixstern in der Brennebene des Objektivs auch nicht als ein Bildpunkt im strengen Sinn des Worts, sondern als ein Beugungsscheibchen. Steht ein zweiter Stern so nahe bei dem ersten, daß er noch in dieses Beugungsscheibchen zu liegen kommt, können die beiden Objekte selbstverständlich nicht getrennt werden. Für ein Objektiv mit 100 mm Durchmesser beträgt der Durchmesser des Beugungsscheibchens $1,16''$ bei einer Wellenlänge von 560 nm (Nanometer). Es hat deshalb auch keinen Sinn, die Vergrößerung von Fernrohren durch die Wahl entsprechend kurzbrennweitiger Okulare immer weiter zu steigern. Vielmehr ist die durch die Öffnung begrenzte Auflösung zu beachten. Als Faustregel gilt, daß man enge Doppelsterne noch gut beobachten kann, wenn man die Vergrößerung bis zum Dreifachen der Öffnung des Fernrohrs in Millimetern steigert.

In ähnlicher Weise, wie der Objektivdurchmesser eines Fernrohrs die Grenze des Auflösungsvermögens bestimmt, ist er auch für die Helligkeit entscheidend, mit der man ein punktförmiges Objekt wahrnimmt. Das von einem Stern auf ein Fernrohrobjektiv fallende Licht können wir als einen Strom paralleler Strahlen ansehen. Offenkundig erfaßt man einen um so größeren Anteil dieser Strahlen, je größer die Empfangsfläche ist. Jeder „Einzelstrahl“ gelangt ja, wo auch immer er auf das Objektiv des

Fernrohrs trifft, letztlich in den Brennpunkt, und folglich erscheint das Abbild des Sterns um so heller, je größer die Fläche des Objektivs ist. Da die Fläche eines Objektivs mit dem Quadrat des Durchmessers anwächst, gilt die einfache Faustregel, daß ein punktförmiges Objekt mit Hilfe eines Fernrohrs genau um den Faktor intensiver erscheint, um den das Quadrat des Objektivdurchmessers das Quadrat des Pupillendurchmessers übertrifft. Mit einem Teleskop der Öffnung 50 mm kann man beispielsweise irgendeinen Stern theoretisch hundertmal heller sehen als mit dem bloßen Auge, wenn man der Rechnung einen Pupillendurchmesser von 5 mm zugrunde legt.

Im Jahre 1604 hatte Johannes Kepler bereits das Gesetz entdeckt, wonach die Intensität einer Lichtquelle umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung abnimmt. Die Zunahme der Lichtintensität eines Sterns infolge der Sammelwirkung einer Linse und die Abnahme der Intensität des Lichts mit der Entfernung gestatten uns nun, unter Vereinfachung abzuschätzen, wie weit man mit einem Fernrohr in den kosmischen Raum hinausblicken kann. Setzen wir voraus – was nur durchschnittlich richtig ist –, daß alle Sterne im gleichen Abstand gleich hell sind, so läßt sich sagen, daß wir mit einem Teleskop irgendeiner beliebigen Öffnung gerade sovielmals weiter in den Kosmos zu schauen vermögen, wie diese Öffnung die Pupille des menschlichen Auges übertrifft. Beispielsweise können wir mit einem kleinen Schulfernrohr, das der VEB Carl Zeiss Jena produziert und das eine Öffnung von 63 mm besitzt, rund zwölfmal weiter sehen als mit dem unbewaffneten Auge.

Bilder ohne Gütezeichen

Trotz der großen Fortschritte, die das Teleskop für die Beobachtung des Himmels mit sich brachte, mischte sich doch ein Wermutstropfen in die Freude über das neue Hilfsmittel der Forschung: Die Bilder waren selbst unter guten atmosphärischen Beobachtungsbedingungen nie richtig scharf und zeigten außerdem stets einen farbigen Saum, der die Schärfe gleichfalls beeinträchtigte. Wie wir heute wissen, haben die beiden Unzulänglichkeiten verschiedene Ursachen: Die allgemeine Unschärfe der Bilder rührt daher, daß die begrenzenden Flächen der Linsen kugelförmig sind. Diese Ursache der Unschärfe wird deshalb auch „Kugelabweichung“ oder „sphärische Aberration“ genannt. Sie besteht darin, daß die von einem Lichtpunkt ausgehenden Strahlen nicht genau in einem Punkt

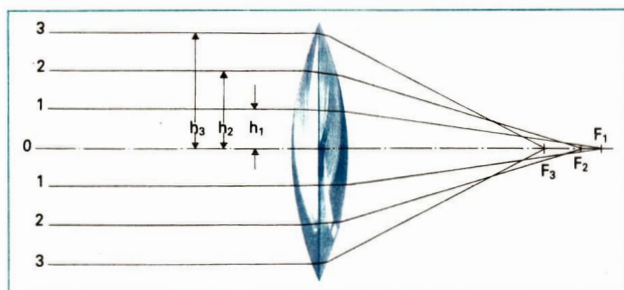
zusammentreffen, sondern in einer Fläche. Die Abweichung tritt um so stärker in Erscheinung, je kurzbrennweitiger die Objektive der Fernrohre sind. Man kann sie daher stark verringern, wenn man sehr große Objektivenbrennweiten wählt. Die Farbsäume der Bilder hingegen sind eine Folge der Lichtbrechung. Auch dieser Fehler läßt sich durch langbrennweitige Objektive vermeiden. Die frühen Praktiker der astronomischen Beobachtung ersannen daher überdimensionale Fernrohrkonstruktionen, mit denen die störende Unschärfe weitgehend behoben werden konnte. Bis zum heutigen Tag berühmt sind die Beobachtungsvehikel von Johann Hevelius (1611–1687) und Christian Huygens.

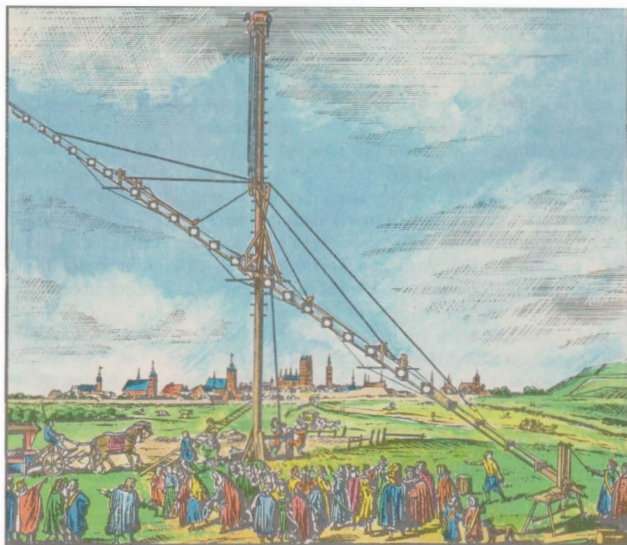
Hevelius hatte Mathematik, Astronomie und Recht studiert, zahlreiche Reisen unternommen, die ihn in die Wissenschaftszentren seiner Zeit, namentlich nach London und Paris, führten, und war Jahrzehnte hindurch Ratsherr in seiner Vaterstadt Danzig. Weder die teuren Reisen und Studien noch den Bau einer eigenen, mit kostbaren Instrumenten ausgerüsteten Sternwarte hätte er sich leisten können, wenn er nicht der Sohn und Erbe eines reichen Bierbrauers gewesen wäre.

Schon zu Lebzeiten des Hevelius erlangte besonders eines seiner Fernrohre legendäre Berühmtheit; er hatte es wegen seiner ungewöhnlichen Größe vor den Toren der Stadt aufbauen lassen. Das Monstrum, oft von zahlreichen Schaulustigen umlagert, wies eine Länge von 45 m auf, und die überdimensionale Konstruktion schwankte wie ein Halm auf dem Feld, sobald der leiseste Windhauch aufkam. Eine Benutzung für wissenschaft-

Entstehung der sphärischen Aberration

Für drei achsenparallele Strahlen mit den Abständen h_1 , h_2 und h_3 ergeben sich drei verschiedene Brennpunkte F_1 , F_2 und F_3 .





Riesenfernrohr des Hevelius

liche Zwecke setzte folglich außer klarem Wetter noch Windstille voraus.

Ebenso wie Hevelius schiff auch Huygens seine Linsen selbst. Ihre Brennweiten übertrafen zum Teil noch die des Riesenteleskops von Danzig. Eines der Huygensschen Objektive besaß bei einem Durchmesser von rund 23 cm eine Brennweite von 64 m.

Für eine Linse von 37 m Brennweite entwickelte Huygens eine Spezialkonstruktion, das „Luftfernrohr“. Objektiv und Okular sind dabei nicht in einem Rohr angebracht. Das Objektiv befindet sich vielmehr auf einer kleinen, in der Höhe verstellbaren „Plattform“ in einem Rohrstutzen, dessen Richtung mit Hilfe eines Kugelgelenks frei gewählt werden kann. Durch eine sorgfältige Auswuchtung ist es möglich, die Objektivrichtung mittels eines Fadens vom Boden aus zu verändern. Mit

dem Okular mußte der Beobachter nun das ihn interessierende Objekt durch das Objektiv anpeilen.

Huygens kombinierte verschiedenartige optische Gläser miteinander und zeichnete seine Erfahrungen sorgfältig auf. Als Ergebnis dieser Untersuchungen stellte er eine Tabelle zusammen, in der er Angaben über geeignete Kombinationen von Linsendurchmessern, Brennweiten und Vergrößerungen machte und so seine gewonnenen Erkenntnisse weiterreichte. Als man rund 300 Jahre später die von Huygens gegebenen Empfehlungen mit Hilfe der modernen optischen Theorie des 20. Jahrhunderts nachprüfte, erhielt man einen überraschenden Befund: Wer sich im 17. Jahrhundert nach den erprobten Rezepten des Holländers richtete, erreichte hinsichtlich Auflösungsvermögen und Bildqualität eine Güte, die erst viel später durch die Einführung neuartiger Optiken übertroffen wurde.

Ähnliches gilt auch für die von Huygens hergestellten Linsen: Drei seiner größten Objektive haben sich bis zum heutigen Tag erhalten. Sie wurden vor einigen Jahrzehnten nach modernen optischen Kriterien und Verfahren geprüft, wobei sich ihre hervorragenden Eigenschaften bestätigten. Lediglich das Glas hielt den modernen Qualitätsansprüchen nicht stand.

Verhalfen die langbrennweitigen Objektive auch zur Verbesserung der Bildqualität, so störte doch die komplizierte Handhabung der Riesenfernrohre, und sowohl Praktiker als auch Theoretiker sannten auf einen Ausweg. Hierbei knüpften sie vor allem an eine Erkenntnis des Abts Franciscus Maurolycus an, der schon im 16. Jahrhundert mit Hilfe von Glaskugeln nachgewiesen hatte, daß Kugelflächen nicht zu einer gestochenen scharfen Abbildung führen. Das Problem bestand demnach darin, andere Begrenzungsflächen für die Linsen zu benutzen. Doch dies ließ sich nicht leicht verwirklichen; denn erstens blieb einstweilen unklar, welche Gestalt die begrenzenden Flächen der Linsen haben sollten, und zweitens waren erhebliche technische Schwierigkeiten beim Schleifen nichtsphärischer Linsen zu erwarten.

Johannes Kepler schlug zur Lösung dieses Problems vor, die Linsen hyperbolisch zu fertigen, und begründete diese Idee mit der hyperbolischen Form, welche die Rückseite der Linse des menschlichen Auges zeigt. Auch andere Hinweise zur Beseitigung der Bildunschärfe wurden gegeben. Doch sie alle scheiterten an der Technik der Herstellung asphärischer Linsen. Diese Erfahrung mußte ebenfalls einer der größten Gelehrten aller Zeiten, Isaac Newton, machen, der sich schon als Student in Cambridge mit der Fertigung nichtsphärischer Linsen zur Erzielung scharfer Fern-

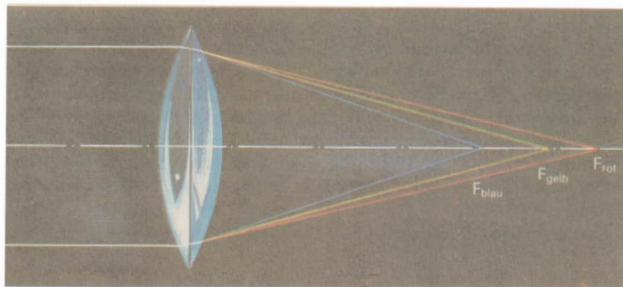
rohrbilder beschäftigte. Angesichts der dauernden Mißerfolge gab er schließlich seine Versuche auf und beschritt einen ganz anderen Weg zur Lösung des Problems.

Die Linse bekommt Konkurrenz

Newton erkannte als erster, daß die Farbsäume der Bilder einen wesentlichen Anteil an der Unschärfe haben und *nicht* allein durch die Form der Linsen bedingt sind: Da es sich bei der Bilderzeugung mit Linsen um einen Vorgang mit Lichtbrechung handelt, werden die Lichtstrahlen beim Durchtritt durch das optisch dichtere Medium (Glas) auch noch in ihre Spektralfarben zerlegt. Man nennt den Abbildungsfehler, der dadurch entsteht, daß die Strahlen der verschiedenen Farben unterschiedliche Brennpunkte besitzen, Farbabweichung oder chromatische (griech. chroma = Farbe) Aberration. Newton sagte voraus, daß sich die Unschärfe der Bilder auch bei Verwendung nichtsphärischer Gläser letztlich nicht beheben lassen würde. Zu dieser Erkenntnis konnte er übrigens nur gelangen, weil er der antiken Farbentheorie des Aristoteles eine eigene Auffassung entgegengestellt hatte. Als einer der ersten führte Newton Versuche mit Glasprismen durch und machte sich darüber Gedanken, warum ein Son-

Entstehung der chromatischen Aberration

Für die verschiedenen Farben, aus denen sich das weiße Licht zusammensetzt, ergeben sich infolge unterschiedlicher Brechung verschiedene Brennpunkte F



nenstrahl (weißes Licht) nach dem Durchgang durch ein Prisma in die Farben Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett zerlegt wird. Er schlußfolgerte richtig, daß das weiße Licht nichts anderes als eine Mischung all dieser Farben darstellt und die Brechung für die verschiedenen Farben unterschiedlich groß ist, so daß beim Durchgang durch ein Prisma der farbenprächtige Lichtfächer entsteht.

Auf Grund seiner Einsicht in das Wesen der chromatischen Aberration beschloß Newton, sich einer anderen Art von Teleskopen zuzuwenden: den Spiegelfernrohren.

Die Idee eines Spiegelteleskops war keineswegs neu. Schon wenige Jahre nach der Erfindung des Linsenfernrohrs wurden auch kleine Spiegelteleskope erwähnt; doch Newton erfand diesen Instrumententyp völlig unabhängig von seinen Vorgängern.

Zu den Gelehrten, die sich vor ihm mit dem Bau solcher Fernrohre beschäftigt hatten, gehörte auch der Galilei-Schüler Bonaventura Cavalieri (1598–1647). Doch er hielt viel mehr von den Linsenfernrohren und räumte den Spiegelteleskopen als Konkurrenten keinerlei Chancen ein. Seine Prognose mutet heute geradezu kurios an: Cavalieri meinte nämlich, daß die Spiegelfernrohre niemals den Grad der Vollkommenheit der Linsenfernrohre erreichen würden.

Gewiß, auch die Herstellung eines brauchbaren Spiegels war keine Kleinigkeit. Sie erforderte nicht nur Kunstfertigkeit und Geduld, sondern zudem das Wissen um geeignete Materialien und deren Bearbeitung.

Newton hatte sich eine kleine chemische Werkstatt eingerichtet, um mit wissenschaftlicher Gründlichkeit das Kunststück eines gut polierten Spiegels fertigzubringen. Die Auswahl einer zweckmäßigen Metallegierung und die Anwendung einer neuartigen Methode des Polierens führten endlich zu dem gewünschten Erfolg. Über die Produktion der Legierung berichtete Newton später: „Anfangs schmolz ich reines Kupfer, dann fügte ich Arsen hinzu, und nachdem ich es mehrmals geschmolzen hatte, vermischte ich alles... Dann fügte ich Zinn hinzu, und nach einer sehr schnellen Schmelzung schmolz ich alles erneut. Hiernach goß ich sofort alles aus.“* Das Ergebnis war eine bronzartige Metallegierung. Sie mußte nun geschliffen und anschließend poliert werden. Hierzu benutzte Newton geschmolzenes Harz und eine „sehr feine Asche“. Wenn das Poliergeräusch verschwand, beendete er jeweils die Teilschritte seiner Arbeit.

Das erste Modell aus dem Jahre 1668 mit einem winzigen Spiegel von

* Zit. nach: S. I. Wawilow, Isaac Newton, Akademie-Verlag, Berlin 1951, S. 28

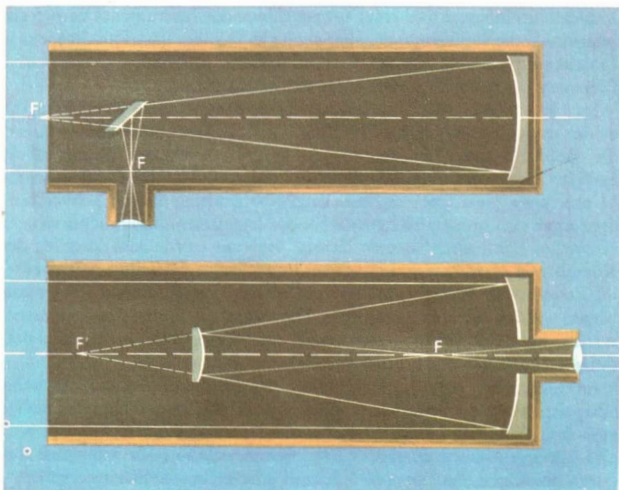
25 mm Durchmesser und einer Gesamtlänge des Instruments von 15 cm zeigte zwar die Jupitermonde, aber noch viel weniger scharf als die kleinen Linsenfernrohre vom Anfang des Jahrhunderts. Reflexionsvermögen und Polierung des Spiegels waren nicht zufriedenstellend.

Im Herbst 1671 schickte Newton ein zweites, verbessertes Exemplar an den englischen König Karl II. (1630–1685). Dieser hatte damals längst die Bedeutung der Astronomie für die Entwicklung Englands als Seefahrernation erkannt und nahm das Produkt der Kunstfertigkeit seines „Untertanen“ mit Interesse auf. Eine Überprüfung durch Sachverständige ergab ein ehrenvolles Zeugnis für das Instrument und brachte seinem Hersteller einen unerwarteten Erfolg: Newton wurde zum Mitglied der Königlichen Akademie, der Londoner Royal Society, gewählt. Noch heute, im Zeitalter gewaltiger „Brüder“ der ersten unvollkommenen Schwerkzeuge, werden diese als historische Kostbarkeiten in den Museen aufbewahrt. Auch die Royal Society besitzt ein solches Instrument, das allerdings nicht mit dem Original von Newton identisch ist.

Im Gegensatz zum Linsenfernrohr beruht die Bilderzeugung beim Spiegelteleskop, auch Reflektor genannt, auf der Spiegelung oder Reflexion des Lichts. Eine Farbabweichung kann deshalb gar nicht auftreten, und alle eventuellen Bildunschärfen lassen sich folglich prinzipiell dadurch beseitigen, daß man dem Spiegel eine geeignete Form verleiht.

Das Bild entsteht beim Spiegelteleskop verständlicherweise auf derselben Seite, auf der sich auch das abgebildete Objekt befindet. Da eine Betrachtung des Bildes im Brennpunkt hier nicht möglich ist, muß es auf geeignete Weise zu einem anderen Punkt gelenkt werden. Newton löste dieses Problem dadurch, daß er einen Planspiegel in den Strahlengang brachte, der um 45° gegen die optische Achse des Teleskops geneigt war und das vom Spiegel reflektierte Lichtbündel bereits vor dem Zusammentreffen aller Strahlen in dem Brennpunkt, dem Fokus, auffing. Die Vereinigung der Strahlen zum Brennpunkt erfolgte seitlich außerhalb des Rohrkörpers.

Etwa um dieselbe Zeit wurde aber auch noch eine andere Lösung für den Strahlengang in einem Spiegelteleskop vorgeschlagen, und zwar von dem Franzosen Cassegrain, von dem wir heute leider nicht mehr wissen, wer er war, wann er geboren wurde und was er sonst in seinem Leben geleistet hat. Nach Cassegrain trifft das vom Hauptspiegel reflektierte Bündel, noch ehe der Brennpunkt erreicht ist, auf einen ebenfalls gekrümmten Fangspiegel, der konvex, das heißt nach außen gewölbt ist. Das Strahlenbündel wird dadurch wieder in Richtung auf den Hauptspiegel reflektiert. Dieser ist in der Mitte durchbohrt, so daß das Bündel durch



Strahlengang im Newton-Teleskop (oben) und im Cassegrain-Teleskop (unten)

Noch ehe das vom Spiegel reflektierte Strahlenbündel im Brennpunkt F' vereinigt wird, trifft es beim Newton-Teleskop auf einen geneigten Planspiegel, so daß das Bild in F entsteht. Beim Cassegrain-Teleskop reflektiert ein gewölbter Hilfsspiegel das Bild, so daß die Vereinigung der Strahlen in F statt in F' erfolgt. Der Hauptspiegel ist in diesem Fall durchbrochen.

die Öffnung hindurchtreten kann. Die eigentliche Betrachtung des Bildes erfolgt mit Hilfe eines Okulars hinter dem Hauptspiegel.

Beim Newtonschen Strahlengang bleibt die durch die Krümmung des Hauptspiegels gegebene Brennweite erhalten. Anders beim System nach Cassegrain: Hier wird die ursprüngliche Brennweite des Hauptspiegels durch den gekrümmten Fangspiegel verändert. Die Brennweite des „Doppelsystems“ Hauptspiegel und Fangspiegel (effektive Brennweite) ist dabei immer größer als die Brennweite des Hauptspiegels allein. Im Vergleich zur effektiven Brennweite ist die geometrische Länge des Instruments stets kleiner. Bei den sehr großen Instrumenten unserer Zeit

bringt diese Tatsache eine Reihe beachtlicher Vorzüge, darunter auch ökonomische, mit sich.

Obwohl noch andere Varianten des Strahlengangs erdacht wurden, zählen jedoch die Newtonschen und die Cassegrainschen Konstruktionen bis heute zu den wichtigsten Strahlengängen in der Praxis der Spiegelteleskope.

Nach dem Erfolg des vielgerühmten Teleskops von Newton hätte man erwarten können, daß die Spiegelteleskope sogleich einen Siegeszug in der Himmelforschung antraten. Dem war aber keineswegs so, und dies aus gutem Grund: Newton stellte durch theoretische Überlegungen fest, daß ein Spiegel viel genauer gearbeitet sein muß als eine Linse, wenn er die gleiche Qualität der Abbildung gewährleisten soll. Er wies nach, daß sich bei der Reflexion von Lichtstrahlen Unregelmäßigkeiten in der Form der reflektierenden Fläche ungefähr fünfmal so stark auswirken wie dieselben Unregelmäßigkeiten in der geometrischen Gestaltung brechender Medien.

Zu dieser Erkenntnis gelangte Newton durch eine praktische Erfahrung. Ihn störte an den Metallspiegeln die mangelhafte Reflexion, die außerdem mit der Zeit durch Lufteinwirkung immer schlechter wurde. Andererseits hatte er herausgefunden, daß sich Glas leichter polieren läßt als Metall. Deshalb entschloß er sich zur Herstellung eines Glasspiegels. Die einzige Verspiegelungsmethode, die damals bekannt und realisierbar war, bestand in der Belegung der Rückseite des Glases mit Amalgam, meist einer Legierung von Silber und Zinn mit Quecksilber. Newton stellte nun einen Glaskörper her, der an seiner Vorderseite konkav und an seiner Rückseite konvex war. Zwar besaß dieser Spiegel ein erheblich besseres Reflexionsvermögen als der Metallspiegel, aber die Bilder waren unscharf. Newton erkannte, daß es darauf ankam, die Spiegel genauer zu schleifen. Daran war jedoch einstweilen gar nicht zu denken, und so blieb der Glasspiegel als Strahlungsempfänger eines Teleskops – noch dazu mit Oberflächenversilberung – ein Wunschtraum der Instrumentenhersteller und Astronomen. Daß sich dieser Wunschtraum schließlich erfüllen würde, wenn auch erst rund 200 Jahre später, ahnte damals niemand.

Ein Riß im Schmelztiegel

Obschon die mit Spiegelteleskopen gewonnenen Bilder kein ideales Aussehen besaßen, verstanden es die Hersteller von Spiegeln doch, die Qualität soweit zu verbessern, daß die Linsenfernrohre ins Hintertreffen gerieten. Der berühmte Königliche Astronom James Bradley (1692–1762) in England meinte unumwunden, daß man mit dem 1,5 m langen Spiegelteleskop von John Hadley (1682–1744) bessere Bilder erhält als mit dem 37 m langen Fernrohrgeheuer von Huygens.

Doch in der Wissenschaft sind stets mehrere Ideen gleichzeitig lebendig, und viele von ihnen werden ausprobiert, auch ohne Garantie auf Erfolg. Gerade aus dieser Vielzahl der Experimente schälen sich dann mit der Zeit unfehlbar die besten Lösungen heraus. Während die einen durch die noch unvollkommenen Spiegel den Himmel absuchten, sannten andere schon wieder auf eine Verbesserung der Linsen. Sie befanden sich gegenüber den „Anfängern“ dadurch im Vorteil, daß ihnen die Ursache der Unschärfe als Folge der chromatischen Aberration bekannt war.

Damals vertrat man allgemein die Ansicht, das menschliche Auge besitze keinen Farbfehler. Dies war zwar ein Irrtum, doch ein sehr nützlicher. Denn man brauchte eigentlich nur die Konstruktion des Auges zu untersuchen, um zu klären, wie die Natur die (angeblich) farbfehlerfreie Abbildung zustande bringt. Es war der Engländer Chester Moor Hall, der um 1729 auf den Einfall kam, zwei Linsen aus verschiedenen Glasarten miteinander zu kombinieren, offensichtlich wegen des im menschlichen Auge mit der Linse kombinierten Glaskörpers.

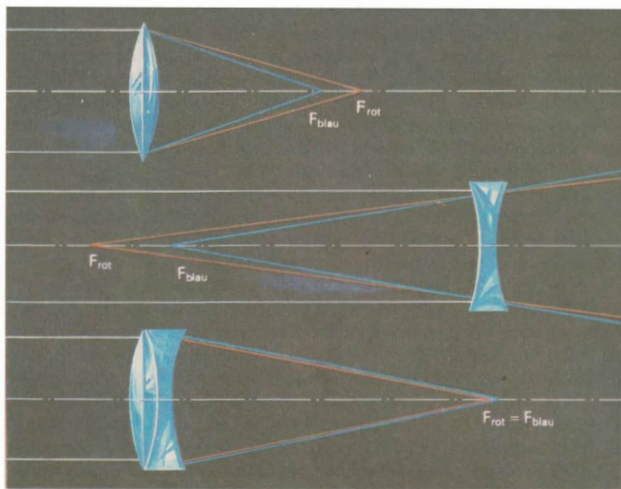
Durch Kombination zweier Prismen mit unterschiedlichem Brechungsindex ist es prinzipiell möglich, die Zerlegung eines weißen Bündels in die Spektralfarben aufzuheben. Dabei muß das zweite Prisma aus einem Material größerer Zerstreuung (Dispersion) bestehen als das erste und außerdem geometrisch umgekehrt angeordnet werden. Wenigstens für zwei Farben, zum Beispiel Blau und Rot, läßt sich die Farbabweichung dann beseitigen. Linsen, die aus einer Sammellinse und einer Zerstreuungslinse größerer Dispersion zusammengesetzt sind, heißen Achromate.

Hall hatte sich zwar theoretisch die Möglichkeit solcher Achromate überlegt und vielleicht auch experimentelle Voruntersuchungen durchgeführt, jedoch seine Linsen nicht selbst geschliffen. Um das Geheimnis der „zusammengesetzten“ Linsen nicht preiszugeben, ergriff er eine besondere Vorsichtsmaßnahme: Er ließ die Sammellinse aus der einen Glassorte (Kronglas) bei dem Optiker Skarlett im Londoner Ortsteil Soho

herstellen, während er die Anfertigung der Zerstreuungslinse dem Optiker Man in der Ludgate Street übertrug. Der Zufall wollte es nun aber, daß auch diese Optiker die Schleifarbeiten nicht selbst ausführten, sondern sie zur Bearbeitung weitergaben, und zwar beide an denselben Schleifer, G. Bass in London. Für Bass war nicht viel kriminalistisches Geschick vonnöten, um zu bemerken, daß die Linsen dieselben Krümmungsradien und Durchmesser besaßen und die Aufträge obendrein von demselben Kunden stammten. Es ist aber anzunehmen, daß er trotz dieser verdächtigen Übereinstimmungen das eigentliche theoretische und praktische Motiv, das dieser Bestellung zugrunde lag, nicht erfaßte. Hall hütete sein Geheimnis eifersüchtig und verhinderte somit, daß achromatische Linsen allgemein in Gebrauch kamen.

Jahrzehnte später beschäftigte sich wiederum ein Londoner Optiker mit dem Problem der Achromasie: John Dollond (1706–1761). Da nun Dollond ebenfalls mit dem Optiker Bass zusammenarbeitete und kurz nach seinem ersten Besuch in dessen Werkstatt mit ausgezeichneten achromatischen Objektiven hervortrat, ist oft behauptet worden, er habe von Bass erfahren, auf welche Weise Chester Hall seine Linsen herstellte. Die historischen Tatsachen strafen diese Behauptung allerdings Lügen: Dollond – einer der größten Optiker seiner Zeit – hatte sich schon seit 1753 mit der Herstellung achromatischer Objektive beschäftigt und dabei als Ergebnis theoretischer Studien und praktischer Experimente auch erkannt, daß man durch Kombination zweier Teillinsen aus Glasarten unterschiedlicher Brechkraft die Farbabweichung vermeiden könnte. Nur gelang es ihm nicht, zum Flintglas die zweite Glassorte (Kronglas) zu finden, die das richtige Verhältnis der Brechung und Farbenzerstreuung aufwies, obwohl er zuvor bereits in Versuchen mit wassergefüllten Prismen die Farbzerlegung aufgehoben hatte. In dieser Situation kam Dollond 1757 zu Bass, um sich dort eine Linse für ein bei ihm bestelltes Leseglas auszusuchen. Als er schon eine Linse aus Flintglas in der Hand hielt, soll ihn Bass darauf aufmerksam gemacht haben, daß die Buchstaben bei Verwendung solcher Linsen farbige Säume aufweisen, die bei Linsen aus Kronglas kaum in Erscheinung treten. Außerdem soll er ihm noch geraten haben, daß Hall Kronglas für die Zerstreuungslinsen verwendete, aus denen er seine Objektive herstellte. Vorausgesetzt, dieser Bericht ist zuverlässig, kann man demnach bestenfalls annehmen, daß Dollond dadurch das „letzte Glied“ seiner Kette geliefert bekam, das er aber zweifellos auch ohne diese Hilfe gefunden hätte, nur etwas später.

Die tatsächliche Entwicklung schreitet also durchaus nicht immer auf geradem Wege fort, sondern bedient sich, bei aller Folgerichtigkeit ihres



Achromatisches Objektiv

Fügt man eine Sammellinse (oben) und eine Zerstreuungslinse (Mitte) aus Kron- beziehungsweise Flintglas mit verschiedener Brechkraft zusammen, dann ergibt sich für die roten und die blauen Strahlen des Spektrums derselbe Brennpunkt ($F_{\text{rot}} = F_{\text{blau}}$), so daß die chromatische Aberration für diese beiden Farben aufgehoben wird.

Ablaufs im Großen, auch zahlreicher „Tricks“ und Zufälligkeiten. Die weitere Geschichte der achromatischen Objektive liefert hierfür noch ein treffendes Beispiel: Nach den langen Versuchen von Dollond und anderen war es klar, daß die Objektive um so besser ausfallen, je günstiger die Eigenschaften der beiden Glassorten aufeinander abgestimmt werden. Als nun Dollond mit seinen achromatischen Objektiven in Erscheinung trat, wurde er von einem Tag zum anderen ein berühmter Mann. Ähnlich wie Newton wegen seines Spiegelteleskops, wählte man auch ihn zum Mitglied der Royal Society. Zudem waren seine Fernrohre natürlich ein außerordentlicher Geschäftserfolg. Überall, wo damals Astronomie betrieben wurde, drängte man sich nach Dollond'schen Fernrohren. Es ist

begreiflich, daß sich andere Optiker ebenfalls ihre Scheibe von diesem Kuchen abschneiden wollten und auch achromatische Objektive zu produzieren versuchten. Jedoch erreichten diese merkwürdigerweise keineswegs die hohe Qualität der Dollond'schen Gläser. Dollond's Objektive schienen von einem Geheimnis umgeben. Und tatsächlich war die von ihm für die Zerstreuungslinse verwendete Glassorte nicht das gewöhnliche Flintglas, sondern sie stammte von einem versehentlich besonders behandelten Glasblock: Dollond hatte sein Flintglas von einer Glashütte in Nordengland bezogen. Dort gab es einen ansehnlichen Block, der eine eigenartige Lebensgeschichte besaß: Durch einen Riß im Schmelztiegel war eine größere Menge flüssigen Glases ausgelaufen und hatte nun jahrelang in der Glut des Ofens gelegen. Man fand dieses Glas erst, als der Ofen wegen Überalterung abgerissen wurde. Erst später erkannte man, daß sich ausgezeichnete homogene Gläser herstellen lassen, wenn man diese „Laune des Zufalls“ zum System macht und die Schmelzen längere Zeit auf einer gleichmäßig hohen Temperatur hält.

Von außerordentlicher Bedeutung für die Verbesserung der optischen Gläser war die Entwicklung der Chemie. Solange sie sich im Stadium der Probierkunst befand, besaß die Glasmacherkunst ebenfalls keinen wissenschaftlichen Charakter. Zuverlässige Kenntnisse, die das Vorhandene erklärt und gleichzeitig neue Wege gewiesen hätten, fehlten. Deshalb gab es praktisch auch kaum nennenswerte Fortschritte auf dem Gebiet der Glasherstellung. Hierfür besitzen wir einen überzeugenden Beleg: Chemiker haben ein Stück pompejanischen Fensterglases und eine Probe von venezianischem Tafelglas mit den modernen Hilfsmitteln unserer Laboratorien analysiert. Obwohl zwischen der Herstellung dieser beiden Gläser der enorme Zeitraum von nahezu 2000 Jahren liegt, war die chemische Zusammensetzung in beiden Fällen fast dieselbe. Die technologischen Methoden kamen ebenfalls nur zögernd voran, und dies ist kein Wunder, hatte man doch überhaupt noch nicht die Möglichkeit, die wichtigsten Kenngrößen wissenschaftlich zuverlässig zu erfassen. Wie sollte man beispielsweise die Feuerungsbedingungen der Glasöfen gezielt beeinflussen, wenn man sie mangels verlässlicher Methoden der Temperaturmessung gar nicht genau kontrollieren konnte?

Der Bedarf an hervorragenden optischen Gläsern machte auch die Organisatoren der Wissenschaft erfinderisch: Ein Uhrmacher aus Neuchâtel namens Guinand hatte sich erfolgreich mit dem Erschmelzen homogener optischer Gläser beschäftigt und die Londoner Royal Society dadurch in Freude und Schrecken zugleich versetzt, daß er eine Flintglasscheibe von 15 cm Durchmesser zur Begutachtung einschickte. In

England gab es damals niemanden, der ein solches Produkt hätte erzeugen können. Deshalb bildete die Akademie eine Kommission, der neben Dollond auch Michael Faraday (1791–1867) und Friedrich Wilhelm Herschel (1738–1822) angehörten. Ihre Aufgabe sollte darin bestehen, gute Flintgläser größerer Abmessungen anzufertigen. Die Erfolge blieben jedoch bescheiden, da es immer noch an einer wissenschaftlichen Grundlage der Glasherstellung mangelte. Ohne Fortschritte in Chemie, Physik und Technologie waren eben auch keine durchgreifenden Verbesserungen in der Produktion optischer Gläser zu erzielen.

Qualität wird gemessen

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts hatte der Unternehmer Joseph Utzschneider (1763–1840) gemeinsam mit dem Maschinen- und Instrumentenbauer Georg Reichenbach (1771–1826) in München eine mechanische Werkstatt gegründet, um durch den Bau erstklassiger optisch-mechanischer Instrumente große Profite zu machen. Dazu war natürlich eine eigene Glashütte sehr wünschenswert, die Utzschneider und Reichenbach denn auch in Benediktbeuern errichteten. Weil aber die Glasproduktion damals noch keine Wissenschaft, sondern viel eher eine „Kunst“ darstellte, holten sie sich als Leiter den schon erwähnten, im Erschmelzen von Gläsern erfahrenen Schweizer Glasmacher Guinand.

Doch diese „Planstelle“ wurde bald von einem anderen talentierten jungen Mann eingenommen: Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Als Sohn eines bayerischen Glasmachers war er mit dem Werkstoff Glas von Kindesbeinen an vertraut. Er vertiefte seine Kenntnisse noch bei dem Münchner Spiegelhersteller Weichselberger, wenn dieser es auch weniger auf die Bildung seines Zöglings als vielmehr auf dessen einträgliche Arbeitskraft abgesehen hatte. Fraunhofers Schicksal hätte wohl kaum eine seiner Begabung entsprechende Wendung genommen, wenn es nicht im Sommer des Jahres 1801 zu einem beinahe verhängnisvollen Ereignis gekommen wäre: Die Werkstatt Weichselbergers stürzte zusammen und begrub den Lehrling unter sich. Als Fraunhofer kaum verletzt aus den Trümmern geborgen wurde, machte ihm der bayerische Kurfürst ein „gnädiges“ Geschenk in Gestalt von 18 Dukaten. Der Junge fand für dieses Geld eine überraschend kluge Verwendung: Er kaufte sich diverse Schriften über Optik sowie eine Glasschleifmaschine und begann sein Leben in die eigene Hand zu nehmen. So kam er schließlich in Kontakt



Historische Glashütte in Benediktbeuern

mit Utzschneider, der die Fähigkeiten des jungen Mannes rasch erkannte und für seine Zwecke einsetzte. Als Leiter der Glasabteilung der Firma beschäftigte sich Fraunhofer ebenso intensiv mit theoretischen Problemen der Optik wie mit praktischen Fragen der Glasherstellung und -bearbeitung.

Bisher war man bei der Auswahl geeigneter optischer Gläser meist so verfahren, daß man aus einem größeren Vorrat an Spiegelgläsern die besten herausuchte. Fraunhofer legte jedoch Wert darauf, bereits bei der Herstellung der Gläser die Bedingungen so zu gestalten, daß große Mengen in der benötigten Qualität erzeugt werden konnten. Dazu galt es vor allem, eine völlig gleichmäßige Durchmischung der verschiedenen Bestandteile des Glases zu erreichen und die beim ungleichmäßigen und zu raschen Abkühlen auftretenden Verspannungen zu vermeiden. Fraunhofer löste dieses Problem durch eine neuartige Technologie, indem er geeigneter Schmelzriegel ersann. Damit gelang es ihm, Glasblöcke einer Masse bis zu 200 kg herzustellen, von denen fast das gesamte Material die für optische Gläser erforderliche Qualität aufwies.

Im Gegensatz zu den reinen Praktikern der Glasherstellung war sich Fraunhofer über die Notwendigkeit im klaren, die optischen Eigenschaften der Gläser ebenfalls „in den Griff“ zu bekommen. Dazu mußten sowohl die Berechnungsmethoden als auch die Schleiftechnik verändert sowie die Fragen der chemischen Zusammensetzung der Schmelzen geklärt werden.

Fraunhofer führte deshalb unter anderem zahlreiche Versuche über den

Einfluß der chemischen Zusammensetzung der Gläser auf deren Eigenschaften durch. Das erforderte, auch diese Eigenschaften selbst mit einer zuvor nicht gekannten Strenge zu testen. Dem Forscher schwebte vor, die Brechungsindizes der verschiedenen Gläser für jede Farbe des Lichts einzeln festzustellen. Die Farben konnten mit Hilfe von Prismen durch Zerlegung von weißem Licht gewonnen werden. Aber diese Farben besitzen keine scharfen Begrenzungen, die als Meßmarken geeignet wären. So kam Fraunhofer zwangsläufig auf die Idee, die bekannten Linien, die in den Spektren von gefärbten Flammen auftreten, als Meßmarken zu benutzen. Für die Experimente beabsichtigte er, mehrere Lichtquellen mit verschiedenen Färbesubstanzen zu verwenden. Er begann mit Versuchen. Die Lampen waren noch nicht im Einsatz; einstweilen sollte das Sonnenlicht für die Einrichtung der Versuche dienen. Da geschah etwas Unerwartetes. Fraunhofer entdeckte nämlich zahlreiche starke und schwache vertikale Linien, jedoch von dunklerem Aussehen als der übrige Teil des Spektrums. Zwischen dem roten und dem blauen Ende des Farbenbands zählte er insgesamt 574 solcher Linien, deren auffallendste er mit großen lateinischen Buchstaben bezeichnete. Jetzt werden sie ihm zu Ehren Fraunhofersche Linien genannt. Sie spielten eine entscheidende Rolle bei der Begründung der Spektralanalyse der Gestirne, bei der Ausarbeitung einer wissenschaftlichen Theorie der Sonne und besitzen heute bei der Erforschung der physikalischen und chemischen Bedingungen, unter denen die Materie im Universum existiert, eine große Bedeutung.

Diese wesentliche Entdeckung aus der Vorgeschichte der Astrophysik ist also einem ganz praktischen und auf ein völlig anderes Ziel gerichteten Experiment zu verdanken. Ein Beispiel von vielen, das uns zeigt, wie die praktischen Bedürfnisse, konsequent verfolgt, auch zu ungeahnten Entdeckungen von grundlegender Wichtigkeit führen können.

Fraunhofer legte seine bahnbrechenden Erkenntnisse in einer Abhandlung mit dem Titel „Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten in bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernrohre“ nieder. Das unbeabsichtigte Nebenprodukt seiner Forschungen – so meinte er – könne noch „zu interessanten Resultaten“ führen. Doch leider war es ihm nicht vergönnt, selbst am weiteren Ausbau dieser Entdeckung mitzuarbeiten. Obwohl inzwischen ein anerkannter Gelehrter, erging es ihm als Mitarbeiter profitsüchtiger Unternehmer nicht viel besser als ehemals in der Lehre des Münchner Spiegelmakers: Für sie waren lediglich solche Resultate „interessant“, deren Wert sich in Heller und Pfennig errechnen ließ. Eine Bereicherung der Wissenschaft zu eventuellem Nutzen in einer fernen

Zukunft mußten sie daher als fruchtlos ansehen. Fraunhofer blieb nur die Hoffnung, daß einst andere Naturforscher seiner Entdeckung die gebührende Beachtung schenken würden.

Zu den wesentlichsten Ergebnissen der Untersuchungen Fraunhofers zählte die Erkenntnis, daß sich die Brechungs- und Zerstreuungseigenschaften der Gläser mit ihrem Bleigehalt ändern: Ein höherer Bleigehalt führt auch zu höherem Refraktions- und Dispersionsvermögen. Bei Überschuß von Alkalien aber verlieren die Gläser rasch ihre Politur.

Selbstverständlich wurden die mühselig ausgeforschten Rezepturen im Detail geheimgehalten. Erst viel später haben die Nachfolger Fraunhofers einige seiner Erkenntnisse veröffentlicht.

Die Umstände seines Todes kennzeichnen den Umgang der frühkapitalistischen Gesellschaft mit ihren Genies. Durch die unablässige schwere Arbeit in Glasschmelzerei und -schleiferei war Fraunhofers Gesundheit schon früh stark angegriffen. Die Ärzte rieten ihm zu einem längeren Aufenthalt in Italien. Fraunhofer aber verzichtete mit dem ausdrücklichen Hinweis auf den geschäftlichen Schaden, der für das Optisch-Mechanische Institut aus seiner Abwesenheit entstehen würde. Der große Physiker starb im Alter von nur 39 Jahren.

Im übrigen war die Zusammenarbeit der drei in ihren Interessen und von ihrer Ausbildung ganz unterschiedlichen Männer, die das Münchner Institut repräsentierten, ein geradezu symbolischer Ausdruck der Komplexität der Produktion wissenschaftlicher Präzisionsinstrumente.

Uranus gibt neue Impulse

Das Optisch-Mechanische Institut gewann nach und nach immer mehr den Charakter einer frühkapitalistischen Produktionsstätte. Um 1810 zählte man allein in der Glasproduktion von Benediktbeuern fast 50 Beschäftigte, darunter auch viele ungelernte Kräfte. Fraunhofer hatte damals den Plan, einige wenige Standardausführungen von Fernrohren serienmäßig herzustellen und so zu einem rentablen Geschäftsbetrieb zu gelangen. Um diese Zeit war das Institut bereits in der Lage, fast täglich ein Fernrohr samt allem Zubehör zu produzieren. Diese serienmäßig hergestellten Instrumente wurden rasch bekannt und beliebt und fanden eine weite Verbreitung. Äußerlich waren sie meist nach englischem Vorbild als Stativfernrohre ausgeführt. Das Sortiment konnte ständig erweitert werden, und im Jahre 1826 lieferte das Optisch-Mechanische

Institut bereits 7 verschiedene Fernrohre aus der Serienproduktion. Das größte war fast 2 m lang und hatte ein Objektiv von nahezu 12 cm Durchmesser. Wer ein solches Instrument erwerben wollte, mußte allerdings die erhebliche Summe von etwa 3000 Silbermark aufwenden.

Obwohl die umfangreichen Serien weltweit gefragter kleiner Instrumente für die wirtschaftliche Entwicklung des Münchner Betriebs entscheidende Bedeutung besaßen, verlangte Fraunhofers wissenschaftliches und technisches Genie doch nach schwierigeren und interessanteren Aufgaben. Ihm schwebte vor, für anspruchsvollere wissenschaftliche Zwecke große und seinen ganzen Einfallsreichtum erfordernde Instrumente zu entwickeln und auszuführen, und hierzu sollte sich bald Gelegenheit bieten. Die astronomische Forschung benötigte nämlich in immer stärkerem Maße Refraktoren, mit denen auch lichtschwächere Objekte beobachtet werden konnten. Dafür gab es zahlreiche Gründe.

Am 13. März 1781 hatte der in England wirkende, aus Deutschland stammende Berufsmusiker und Amateurastronom Friedrich Wilhelm Herschel beim Durchmustern des Himmels einen Stern entdeckt, der seine Stellung unter den anderen Gestirnen rasch wechselte. Nach kurzer Zeit zeigte sich, daß es sich um einen neuen Planeten des Sonnensystems handelte. Damit war der erste Wandelstern entdeckt, den man nicht schon von alters her kannte. Er erhielt den Namen Uranus.

Dieser Himmelsfund gab der astronomischen Forschung einen starken Impuls. Insbesondere brachte er erneut Diskussionen in Gang, die schon seit Jahrhunderten immer wieder aufgeflammt waren und einer „verdächtigen“ Lücke im Planetensystem galten. Betrachtet man nämlich die Abstände der aufeinanderfolgenden Planeten von der Sonne, so fällt auf, daß zwischen Mars und Jupiter eine merkwürdige „Planetenleere“ herrscht. Unübersehbar ist ein „Loch“ im Planetensystem, wenn man nach Johann Daniel Tietz, genannt Titius (1729–1796), die Abstände in einer geometrischen Reihe darstellt. Die Abstände a der Planeten sollen sich in astronomischen Einheiten (1 astronomische Einheit = mittlere Entfernung Erde–Sonne) aus der Formel $a = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n$ ergeben. Setzt man darin für n der Reihe nach $-\infty, 0, 1, 2, 4$ und 5 , so findet man recht genau die mittleren Abstände der Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn. Hingegen fehlt ein Planet für $n = 3$. Daraus leiteten die Astronomen die Vermutung ab, daß zwischen den beiden Planeten Mars und Jupiter ein weiterer Schwesterstern der Erde existiere, der nur noch nicht entdeckt sei. Wie konnte man ihn am sichersten aufspüren, falls es ihn tatsächlich gab? – Alle bekannten Planeten bewegen sich annähernd in derselben Ebene (Ekliptik) wie die Erde um die Sonne, und

so lag die Annahme nahe, daß auch der „große Unbekannte“ dort seine Bahn zieht. Da man ihn noch nie gesehen hatte, mußte er wohl sehr lichtschwach sein. Folglich benötigte man Sternkarten, die möglichst viele, auch die schwächsten Sterne enthielten, um das „Versteckspiel“ des geheimnisvollen Planeten zu beenden.

Die umfangreiche Arbeit, die mit einer solchen Inventur des Himmels bis zu sehr lichtschwachen Sternen zwangsläufig verbunden war, führte im Jahre 1800 6 Astronomen aus mehreren Ländern zusammen. Als Ergebnis ihrer Beratungen gründeten sie eine Vereinigte Astronomische Gesellschaft mit dem Ziel, durch Arbeitsteilung möglichst rasch zu einer vollständigen Aufnahme der interessierenden Himmelszone zu kommen. Zu den Mitgliedern gehörte der italienische Astronom Giuseppe Piazzi (1746–1826). Er hatte bereits mit den Arbeiten zu einer Himmelsdurchmusterung begonnen, und ihm glückte auch die erste aufsehenerregende Entdeckung des 19. Jahrhunderts: In der Neujahrsnacht des Jahres 1801 erblickte der Astronom ein sich relativ rasch bewegendes Objekt unter den Sternen. Zwar war er anfangs noch der Meinung, daß es sich eventuell um einen Kometen handle, aber er fand weder Anzeichen eines Schweifs noch das typisch verwaschene Aussehen eines Kometen. Vermutlich hatte er den gesuchten neuen Planeten entdeckt.

Doch die Gewißheit fiel den Astronomen nicht in den Schoß: Ungünstige Umstände und der langsame Austausch von Informationen hatten zur Folge, daß der „Neuling“ wieder entwischte. Geeignete Sternkarten gab es nicht, und die Verzweiflung der Fachleute über das Schnippen des Gesuchten war allgemein. Nur der genialen mathematischen Theorie von Carl Friedrich Gauß (1777–1855), der aus den wenigen Beobachtungsdaten eine Bahnberechnung vornahm, haben wir es zu danken, daß der Himmelskörper wiedergefunden wurde. Genau ein Jahr nach der ursprünglichen Entdeckung, am 1. Januar 1802, erblickte der Astronom Wilhelm Olbers (1758–1840) das Sternchen in unmittelbarer Nähe des Orts, den Gauß angegeben hatte. Es handelte sich um den ersten einer ganzen Reihe von sogenannten Kleinen Planeten (Planetoiden), die sich tatsächlich zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter bewegen. Nach der Entdeckung der Ceres wurden bis zum Jahre 1807 noch drei weitere Kleine Planeten – Pallas, Juno und Vesta – gefunden. Später vergrößerte sich die Zahl dieser Himmelskörper sehr rasch, besonders seit die Himmelsfotografie den Sternforschern als neues Hilfsmittel zur Verfügung stand. Heute sind die Bahnen von etwa 2000 solcher Kleinkörper bekannt. Die tatsächliche Anzahl im Planetensystem vorhandener Planetoiden wird indessen auf 50 000 bis 100 000 geschätzt.

dustrielle Entwicklung des Kapitalismus ermöglichte sie, und hochtalentierte Theoretiker und Praktiker, die sie verwirklichen konnten, gab es ebenfalls.

Während wir in den Anfängen der Geschichte astronomischer Instrumente Fernrohrhersteller und Fernrohrnutzer, also Techniker und Astronom, meist in einer Person vereinigt fanden, hatten die Fortschritte auf beiden Gebieten eine solche Personalunion inzwischen nahezu unmöglich gemacht. Jedoch war eine außerordentlich enge Zusammenarbeit zwischen beiden erforderlich; denn nur der Astronom konnte angeben, wie das Instrument beschaffen sein mußte, das er für seine Forschungen benötigte, und nur der Techniker – damals oft „Künstler“ genannt – wußte, durch welche Erfindung sich diese Ansprüche des Forschers befriedigen ließen.

Eine Bestellung aus Königsberg

Um das Jahr 1815 befanden sich im Sortiment des Münchner Optischen Instituts auch Heliometer. Das Prinzip des Heliometers war schon um die Mitte des 18. Jahrhunderts von dem französischen Naturwissenschaftler Pierre Bouguer (1698–1758) vorgeschlagen und teilweise noch früher diskutiert worden. Der Name des Instruments (dt. Sonnenmesser) rührt von dem ursprünglich vorgesehenen Hauptverwendungszweck her, nämlich den scheinbaren Durchmesser der Sonne mit hoher Genauigkeit zu messen. Bouguers Teleskop mutete merkwürdig an: Es besaß zwei mechanisch gegeneinander verschiebbare Objektive, beide von gleicher Brennweite. An jedem fehlte ein Ausschnitt. Da nun zwei Objektive auch zwei Bilder desselben Objekts entwerfen, kann man durch Verschieben der beiden Linsen erreichen, daß die gegenüberliegenden Ränder der Sonnenscheibe in der Bildebene zur Deckung kommen. Aus der Brennweite der Objektive läßt sich errechnen, wie groß der Winkel ist, der einer bestimmten gemessenen Verschiebung der Linsen entspricht.

Die Herstellung von Heliometerobjektiven war mit großen Schwierigkeiten verbunden. Vor allem deshalb, weil man kaum zwei Objektive mit exakt derselben Brennweite herzustellen verstand. Außerdem konnten die beiden Objektivmittelpunkte mechanisch nicht zusammengeführt werden, so daß ohnehin stets ein bestimmter Abstand der beiden Bilder desselben Objekts, niemals aber Deckungsgleichheit vorhanden war. Hierdurch vergrößerte sich der Fehler der Messung. In der weiteren

Entwicklung der Heliometer wurden diese Schwierigkeiten jedoch bald überwunden. John Dollond schlug nämlich vor, nur ein einziges Objektiv zu verwenden, dieses aber sorgfältig in der Mitte längs durchzuschneiden. Damit war die technische Lösung des Problems gefunden. Solche Heliometer produzierte dann auch Fraunhofer. Das erste Instrument dieser Art wurde an den Mathematiker Gauß ausgeliefert, der damals das Amt des Direktors der Göttinger Sternwarte bekleidete. Die Verstellung der beiden Objektivhälften ließ sich bequem von dem Platz aus vornehmen, an dem sich der Beobachter während seiner Tätigkeit befand. Die von Fraunhofer angefertigten Heliometer hatten Objektivdurchmesser von rund 80 mm und Brennweiten von etwa 1150 mm.

Um diese Zeit stand in Deutschland Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846) an der Spitze der Forscher auf dem Gebiet der Positions-astronomie. Wie viele seiner Kollegen war er eigentlich Autodidakt. Da er schon während seiner Schulzeit eine ausgeprägte Begabung für die Lösung von Rechenaufgaben erkennen ließ und zudem eine schöne Handschrift besaß, schickten ihn seine Eltern in die Kaufmannslehre. Die finanziellen Verhältnisse der Familie, zu der 9 Kinder gehörten, hätten ein Studium des Sohnes ohnehin nicht erlaubt. Hatte er sich bereits während seiner Schulzeit lebhaft für astronomische Erscheinungen interessiert, so fand er nun durch seine Tätigkeit in einem großen Bremer Handelshaus auf Umwegen wieder zu dieser Leidenschaft seiner Kinderjahre zurück. Warenkunde und Handelsgeographie mehrten nicht nur sein Wissen, sondern regten auch seine Phantasie an. In Gedanken verfolgte er die Schiffe auf ihren weiten Routen. Insgeheim träumte er davon, als Handelsvertreter an einer großen Seereise teilzunehmen, und begann sich daher für die Handhabung von Navigationsinstrumenten zu interessieren. Von dort war der Weg nicht weit bis zur Beschäftigung mit tieferen Problemen der Astronomie, der Positionsbestimmung von Gestirnen, der Zeitermittlung durch Sternbeobachtungen und anderem. Geschäftliche Reisen im Auftrag des Handelshauses nutzte er zu Besuchen bekannter Sternwarten. So lernte er die berühmten Astronomen Olbers und Gauß persönlich kennen. Schließlich löste er vorzeitig den auf 7 Jahre ausgefertigten Lehrvertrag, um fortan als Gehilfe an der Privatsternwarte zu arbeiten, die der Jurist Johann Hieronymus Schröter (1745–1816) in dem Moordorf Lilienthal errichtet hatte.

Schon hier begann sich Bessel mit den Meisterbeobachtungen des englischen Astronomen James Bradley zu beschäftigen, die er in den folgenden Jahren einer äußerst mühseligen und umfangreichen Neuberechnung unterzog. Die inzwischen geleisteten Arbeiten hatten ihm bei

den führenden Sternforschern seiner Zeit solches Ansehen verschafft, daß er eines Tages einen beglückenden Brief empfing: Durch Vermittlung Wilhelm von Humboldts (1767–1835) rief man ihn an die Universität Königsberg, wo er eine neue Sternwarte aufbauen und hernach auch leiten sollte. 1810 war für Bessel die Abschiedsstunde in Lilienthal gekommen. Freudig übernahm er die neue Aufgabe, die es ihm ermöglichen würde, entsprechend seinen eigenen Vorstellungen zu forschen.

Während der sich hinziehenden Bauarbeiten standen dem Forscher für seine Beobachtungstätigkeit nur kleinere Instrumente zur Verfügung. Er nutzte sie mit größtem Geschick und außerordentlichem Einsatz. Dabei entdeckte er einen in mehrerer Hinsicht sehr interessanten Stern mit der Katalogbezeichnung Nr. 61 im Sternbild Schwan (61 Cygni). Durch Positionsbeobachtungen dieses Sterns und durch Vergleich seiner Stellung mit früheren Angaben stellte Bessel fest, daß 61 Cygni eine überraschend große Eigenbewegung unter den Sternen aufweist. Daß sich die Fixsterne mit der Zeit fortbewegen, war schon 1714 von Edmond Halley (1656–1742) entdeckt worden, jedoch handelte es sich zumeist um so winzige Beträge, daß man erst im Laufe vieler Jahrhunderte etwas davon bemerken konnte. Der Stern im Schwan aber bewegt sich um $5,2''$ jährlich unter den anderen Sternen fort, das heißt, er verändert seine Position in knapp vier Jahrhunderten bereits um den Winkel eines Vollmonddurchmessers. Bessel vermutete daher, daß 61 Cygni uns besonders nahe steht. Deshalb, so meinte er, müßte sich dieser Stern auch besonders gut für eine Entfernungsbestimmung eignen. Immerhin bemühten sich die Astronomen bereits seit rund 270 Jahren erfolglos darum, die Entfernung eines Sterns zu bestimmen.

Fixsternentfernungen werden im Prinzip dadurch gemessen, daß man den Ort eines Sterns zweimal mit halbjährlichem Abstand betrachtet. Ist der Stern nicht unendlich weit entfernt, so muß sich der unterschiedliche Standpunkt des Beobachters im Kosmos, die Basis der Messung (1 Erdbahndurchmesser), dadurch bemerkbar machen, daß der Stern vor dem Himmelshintergrund jeweils eine andere Position einnimmt. Der halbe Winkel der maximalen jährlichen Verschiebung wird als Parallaxe bezeichnet. Natürlich ist diese Verschiebung des scheinbaren Sternorts um so kleiner, je weiter der Stern entfernt steht. Somit hängt der Nachweis einer Fixsternentfernung in erster Linie von der Meßtechnik ab. Andererseits konnte man ein Gelingen überhaupt nur erhoffen, wenn man nicht irgendwelche Kandidaten unter den Sternen auswählte, sondern möglichst nahe. So wird verständlich, warum Bessel die große Eigenbewegung des Sterns 61 Cygni für äußerst beachtenswert hielt. Seine

Beobachtungsinstrumente waren jedoch ungeeignet, diesem Objekt das Geheimnis seiner Distanz zu entlocken. In einem ausführlichen Aufsatz über den rasch dahinziehenden Fixstern forderte er deshalb die Fachkollegen mit besserer instrumenteller Ausrüstung auf, diesem Stern ihre Aufmerksamkeit zuzuwenden und die zum Greifen nahe Frucht zu ernten. Aber nichts geschah.

Natürlich war Bessel selbst außerordentlich an der Lösung dieser Aufgabe interessiert. Deshalb bestellte er schließlich bei Fraunhofer in München ein Heliometer. Doch es sollte ganz anders beschaffen sein als alle Instrumente dieses Typs, die Fraunhofer bis dahin gebaut hatte. Bessel wünschte einen Objektivdurchmesser von nahezu 16 cm und eine Brennweite von rund 2,5 m. Fraunhofer sagte erst nach einigem Zögern zu, das Heliometer zu bauen.

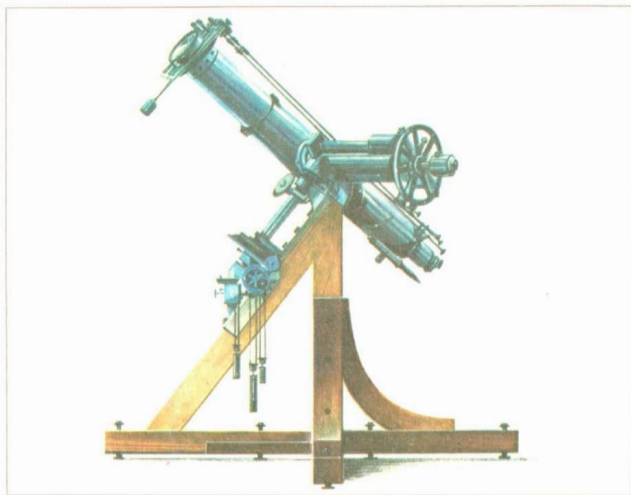
Konstruktion und Ausführung des Instruments nahmen etwa 5 Jahre in Anspruch. Doch das Ergebnis rechtfertigte alle Mühen und Geduld. Mit dem Heliometer für Bessel hatte Fraunhofer ein unvergleichliches Meisterwerk der Instrumententechnik geschaffen. Leider erlebte der Konstrukteur die Fertigstellung nicht mehr und folglich auch nicht die aufsehenerregenden Ergebnisse, die mit diesem Forschungswerkzeug unter Bessels geschickten Händen erzielt wurden.

Bessel zeigte schon während der Herstellung des Instruments ein großes Interesse für die technischen Lösungen, die Fraunhofer vorgeschlagen hatte, und für deren Realisierung. So reiste er 1827 nach München, um sich vom Stand der Arbeiten zu unterrichten und gleichzeitig ihren Fortgang mit Utzschneider zu beraten.

Als das Heliometer 1829 in Königsberg eintraf, widmete Bessel ihm eine Serie äußerst gründlicher Untersuchungen, um alle überhaupt denkbaren Daten und eventuellen Fehlermöglichkeiten genau kennenzulernen, ehe er mit wissenschaftlichen Beobachtungen begann. Er hatte nämlich, wie schon andere Astronomen vor ihm, erkannt, daß kein Instrument fehlerfrei messen kann, daß es aber darauf ankommt, die Fehler kalkulierbar zu machen. Von ihm stammt der treffende Ausspruch: „Jedes Instrument wird auf diese Art zweimal gemacht, einmal in der Werkstatt des Künstlers von Messing und Stahl; zum zweitenmale aber von dem Astronomen auf seinem Papiere, durch die Register der nöthigen Verbesserungen, welche er durch seine Untersuchung erlangt.“*

Daher hielt Bessel, nachdem die astronomischen Instrumente auf der

* F. W. Bessel, Populäre Vorlesungen über wissenschaftliche Gegenstände, Hamburg 1848, S. 432



Fraunhofers Heliometer, mit dessen Hilfe Bessel erstmals die Entfernung des 61. Sterns im Sternbild Schwan ermittelte

Grundlage des allgemeinen Entwicklungsstandes der Produktivkräfte durch die englischen Meister einmal die Vollkommenheit ihrer technischen Gestaltung erreicht hatten, die Theorie der Instrumente für das wirksamste Mittel zur weiteren Verbesserung der Beobachtungsgenauigkeit. Die Untersuchung des Fraunhoferschen Heliometers erweckte in ihm sofort die begründete Hoffnung, daß es mit Hilfe dieses Instruments gelingen könnte, endlich eine Fixsternparallaxe zu messen und damit erstmals eine Sternentfernung zu bestimmen.

Bessel begann mit seinen Messungen im August des Jahres 1837. Der gewählte „Kandidat“ war natürlich 61 Cygni. In seiner unmittelbaren Nähe fanden sich zwei andere sehr lichtschwache Objekte. Es war anzunehmen, daß diese beiden Sonnen ungleich viel weiter von der Erde entfernt stehen als 61 Cygni. Da ihre Parallaxe folglich weit unter der Nachweisgrenze liegen mußte, sollten sie als „feste“ Meßmarken dienen, an die Bessel den Ort des 61. Sterns anschließen konnte.

Ein gutes Instrument allein vermochte den Erfolg freilich nicht zu garantieren; außerdem war äußerste Sorgfalt des Mannes hinter dem Fernrohr erforderlich. Bessel wußte dies. Jeden Abstand des Sterns 61 Cygni von den „Meßmarken“ bestimmte er aus 16 einzelnen Messungen. Die Objektive standen dabei abwechselnd in entgegengesetzter Stellung. Auch dieser Arbeitsgang verlief nicht planlos: Viermal war die eine der beiden Objektivhälften und viermal die andere zu verschieben, um alle Fehlerquellen so weit wie nur möglich auszuschließen. Danach mußten sämtliche Meßwerte noch korrigiert werden, wobei Bessel die Strahlenbrechung in der Atmosphäre und den Einfluß der Lufttemperatur auf das Meßinstrument berücksichtigte. Nach rund 14 Monaten waren insgesamt 85 Anschlüsse an dem einen und 98 an dem anderen Vergleichssterne hergestellt. Dann begann die mathematische Auswertung der insgesamt 183 Gleichungen. Das Ergebnis lautete: Der Stern Nr. 61 im Sternbild Schwan steht knapp 10,5 Lichtjahre von der Sonne entfernt. Der rasche Boten Licht, der in jeder Sekunde 300 000 km durchzieht, ist also mehr als 10 Jahre unterwegs, um Informationen über diesen Stern zu uns zu tragen.

Mit diesem Resultat Bessels hatte die Astronomie nun auch messend den Schritt hinaus in die Weiten jenseits unseres eigenen Sonnensystems getan. Ohne die technische Perfektion des damaligen Instrumentenbaus wäre dieser Erfolg undenkbar gewesen. Die gemessene Winkeländerung des Sterns 61 Cygni von 0,3'', die der Entfernung von 10,5 Lichtjahren entspricht, bedeutete eine gegenseitige Verschiebung der beiden Objektivhälften des Heliometers um rund $\frac{1}{1000}$ mm!

Der enge Zusammenhang zwischen dem Stand der Meßtechnik, die gleichzeitig den allgemeinen Entwicklungsstand der Produktivkräfte zum Ausdruck bringt, und konkreten wissenschaftlichen Erkenntnissen wird schließlich gerade im Fall der Entfernungsbestimmung noch zusätzlich bestätigt: Unabhängig von Bessel wiesen nämlich um dieselbe Zeit auch Struve in Dorpat (heute Tartu, Estnische SSR) und Thomas Henderson (1798–1844) am Kap der Guten Hoffnung Sternparallaxen nach. Wenn wir an den jahrhundertelangen vergeblichen Kampf um die Parallaxen denken, so läßt sich der Nachweis durch drei Astronomen während der Jahre 1837 bis 1840 wohl nur als „gleichzeitiges Eintreffen am Ziel“ bezeichnen. Daß hier kein Zufall gewaltet haben kann, liegt auf der Hand.

Interessant ist der Umstand, daß Struve in Dorpat seinen Erfolg ebenfalls mit einem Instrument von Fraunhofer erzielte. Allerdings handelte es sich hier nicht um ein Heliometer, sondern um ein „gewöhnliches“



Sternwarte Dorpat im 19. Jahrhundert

Fernrohr, ungewöhnlich allerdings durch seine Qualität und seine Dimensionen. Es war das größte Fernrohr der damaligen Zeit. Struve hatte das Instrument für die erst im Jahre 1804 gegründete und international damals noch ruhmlose Sternwarte bestellt. Das Objektiv mit einer freien Öffnung von 24,4 cm war bereits im Jahre 1819 fertig. Es wurde unter großer öffentlicher Anteilnahme auf einer Gewerbeausstellung gezeigt und preisgekrönt. Mit Staunen vernahm das Publikum, daß man mit Hilfe dieser Riesenlinse eine gedruckte Zeitung aus einem Viertelkilometer Entfernung lesen konnte. Das gesamte Instrument wurde erst rund 5 Jahre später fertig. Um das Zusammenspiel der einzelnen mechanischen Teile besser überprüfen zu können, hatte Fraunhofer das Fernrohr mit fast 4,5 m Länge in einer Münchner Kirche aufgestellt. Dort war es gleichzeitig ein öffentliches Schaustück von magischer Anziehungskraft für ein interessiertes Publikum.

Im Spätherbst des Jahres 1824 begann emsige Geschäftigkeit in den Münchner Werkstätten: Die Einzelteile, samt und sonders Glanzstücke feinmechanisch-optischer Präzisionsarbeit, wurden in 21 große Kisten gepackt und sicher verschlossen auf die Reise in das 1500 km weit entfernte Dorpat geschickt. Am 19. Dezember traf die Sendung dort ein. Die Montage ließ sich dank der guten Vorbereitung durch Fraunhofer in der erstaunlich kurzen Zeit von 5 Tagen bewerkstelligen, so daß der berühmte Refraktor für die Dorpater Astronomen tatsächlich das Weihnachtsgeschenk des Jahres 1824 wurde.

Neben der ausgefeilten technischen Perfektion der mechanischen Teile

mit vielen wegweisenden neuartigen Lösungen und der ausgezeichneten Optik sind besonders die von Fraunhofer auf Struves Wunsch entwickelten Mikrometer hervorzuheben, mit deren Hilfe er Doppelsterne beobachten wollte. Dazu muß nämlich sowohl der Abstand dieser Objekte voneinander als auch der Winkel, den ihre Verbindungslinie jeweils mit einer festgelegten Linie bildet, gemessen werden.

Zu den wichtigsten Mikrometern, die Fraunhofer herstellte, gehörten die Positionsfadennikrometer. Hierbei sind Spinnfäden an verschiebbaren Schlitten befestigt, deren Verschiebung man an einer Skala ablesen kann. Die Fäden werden durch Lämpchen beleuchtet, so daß sie sich vor dem dunklen Himmelshintergrund gut erkennen lassen, ohne die Sternbeobachtung zu stören. Um die Spinnfäden zu erhalten und in geeigneter Weise aufzuspannen, mußte Fraunhofer viel Kunstfertigkeit und Geschicklichkeit aufbringen. Die Art, wie er die Tiere zum Absondern von Fäden veranlaßte, grenzt fast an „Spinnendressur“: Eine Spinne wurde auf eine kleine gebogene Drahtgabel gesetzt und dann durch Klopfen auf den anderen Schenkel der Gabel zur Ausübung ihrer Tätigkeit „animiert“. Anschließend hob man die Fäden ab und klebte sie mit einem kleinen Tropfen Firnis auf dem Schieber des Mikrometers fest.

Der Dorpater Refraktor brachte die schönsten wissenschaftlichen Ergebnisse. Die Messung der Entfernung des Sterns Wega in der Leier durch Struve war nur einer der großen Erfolge, welche die Forschung dem Instrument und seinem Benutzer zu verdanken hat. Die Doppelsternbeobachtungen, für die das Fernrohr eigentlich hergestellt worden war, gehören zu dem kostbarsten Schatz der beobachtenden Astronomie des 19. Jahrhunderts. Struve kann geradezu als der Begründer dieser neuen Disziplin der astronomischen Forschung gelten; denn alle Beobachtungen vor ihm – so wichtig sie auch waren – ließen sich hinsichtlich ihrer Präzision nicht mit den Dorpater Observationen vergleichen. Im Jahre 1837 veröffentlichte Struve einen Doppelsternkatalog mit insgesamt etwa 3000 Systemen, unter denen sich neben den „Pärchen“ auch zahlreiche Dreifachsysteme, drei Vierfachsysteme und sogar ein System von fünf fernen Sonnen befanden.

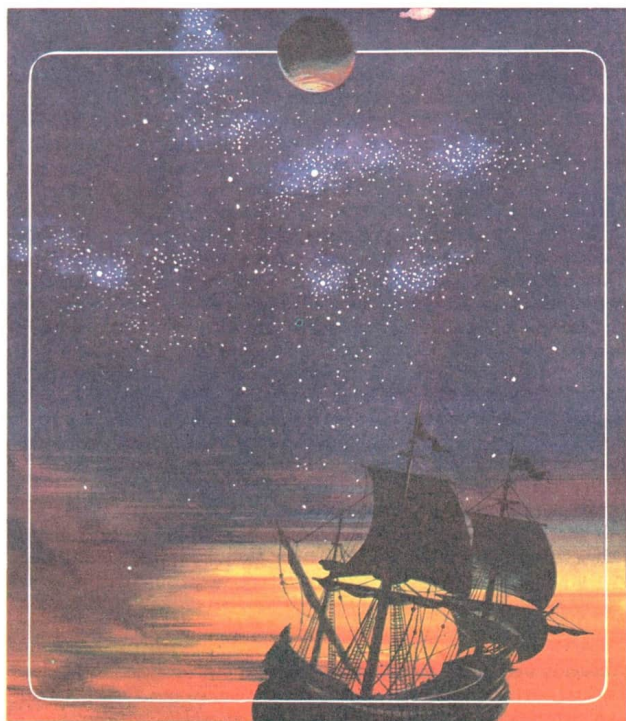
Die Bedeutung der Doppelsterne für die Erkenntnis der gesetzmäßigen Prozesse im Universum kann kaum überschätzt werden. Bei den Versuchen, die Bahnbewegungen der Objekte zu ermitteln, zeigte sich nämlich sehr bald, daß auch in den Tiefen des Raums, also weit außerhalb des Planetensystems, dasselbe Gesetz Gültigkeit hat, das den Fall der Körper auf der Erde und die Bewegung der Planeten und ihrer Satelliten im Sonnensystem bestimmt: das von Isaac Newton 1666 entdeckte Gesetz

der Massenanziehung. Damit hatte sich nicht nur der Gültigkeitsbereich des Gedankens von der materiellen Einheit der Welt enorm ausgedehnt. Vielmehr bestand nun auch prinzipiell die Möglichkeit, jene charakteristische Größe der fernen Sonnen zu bestimmen, welche diese Bewegungen regiert: die Masse. Ohne das Wissen über die Massen der Sterne im Universum wären diese Objekte jedoch letztlich überhaupt nicht zu verstehen, und man hätte auch später nicht daran denken können, die komplizierten Vorgänge zu erforschen, die mit der Energiefreisetzung im Sternenninnern zusammenhängen. An diesem Beispiel zeigt sich besonders deutlich, wie die Entwicklung der Forschungstechnik überhaupt erst die Voraussetzungen für das ständig wachsende Verständnis der kosmischen Prozesse schafft.

Der Dorpater Refraktor ist bis zum heutigen Tag ein sorgsam gehütetes kostbares Erinnerungsstück im astronomischen Museum zu Tartu. Mit diesem Fernrohr samt seinen komplizierten Zusatzeinrichtungen, seiner mechanischen Montierung und dem Spezialantrieb zur automatischen Nachführung auf den scheinbaren Lauf der Sterne hatte die Instrumententechnik für die Linsenfernrohre einen vorläufigen Endpunkt erreicht, dem zunächst eine neue Periode großer Spiegelteleskope folgte.

Um jedoch den starken Aufschwung der astronomischen Instrumententechnik und damit auch der astronomischen Forschung in vollem Umfang verstehen zu können, müssen wir uns vor Augen halten, daß es hierbei niemals ausschließlich um die Klärung „rein wissenschaftlicher“ Fragen ging. Vielmehr entstammt der außerordentliche Impuls, der die Feinmechanik und Optik im Dienste der Astronomie überhaupt erst ins Leben rief, einem elementaren praktischen Bedürfnis der frühkapitalistischen Gesellschaft: der Orientierung zu Wasser und zu Lande.

Sterne über den Ozeanen



Handelswege im Ungewissen

Der Mensch unserer Zeit gibt sich gern dem Zauber mittelalterlicher Städte hin; verwinkelte Gassen, schmale kleine Häuser und holprige Straßen erscheinen ihm in romantischer Verklärung oft als willkommene Kontraste zu dem Trubel der Boulevards des 20. Jahrhunderts. Für ihre Bewohner dürften diese Städte einst jedoch alles andere als reizvoll gewesen sein – vor allem für jene, welche nicht den Luxus der Patrizierhäuser genossen, sondern, in enge Räume gepfercht, die Waren produzierten, mit denen die Herrschenden ihren Reichtum mehrten.

Die Stadt als eine neuartige historische Erscheinung des Mittelalters produzierte nicht mehr allein zum eigenen Verbrauch, sondern zum Tausch. Dadurch wurden die Produkte in weit stärkerem Maß Handelsobjekte als zuvor. Folglich spielte der Transport von Gütern ebenfalls eine viel größere Rolle. Die Händler wollten ihre Ware wohlbehalten, schnell und obendrein in beträchtlichem Umfang ans Ziel bringen. Doch die Straßen des frühen Mittelalters erwiesen sich als schlecht gerüstet für diese Aufgabe. Oftmals waren sie so eng, daß nicht einmal zwei Pferde aneinander vorbeikamen. Eine volkstümlich formulierte Forderung an den Straßenbau lautete deshalb, die Straßen sollten so beschaffen sein, daß eine Braut darauf reiten kann, ohne den Beerdigungskarren zu berühren, der ihr entgegenkommt.

In dieser historischen Situation gewannen die Wasserwege, Flüsse, Seen und Meere, eine zunehmende Bedeutung als Hilfsmittel des Güterverkehrs. Günstig wirkte sich hierbei aus, daß die Städte meist ohnehin durch Flüsse miteinander in natürlicher Verbindung standen und daß außerdem bereits Erfahrungen auf dem Gebiet des Wassertransports aus der Antike vorlagen.

Die Geschwindigkeit der Beförderung war der auf den Landwegen von Anbeginn überlegen, ganz zu schweigen von den Mengen, die hier verfrachtet werden konnten. Schleppte sich ein großer Wagen von 10 „Ochsenstärken“ mit etwa 2 t Last 20 km an einem Tag vorwärts, so

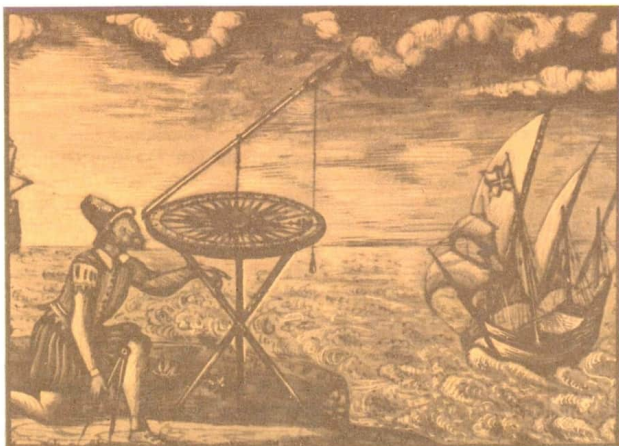
bedeutete dies bereits eine Rekordleistung. Ein Schiff hingegen transportierte schon im 14. Jahrhundert etwa die tausendfache Last und war außerdem bedeutend schneller. Den Weg von Konstantinopel (Istanbul) bis nach Venedig bewältigten Schiffe – trotz der längeren Strecke – beispielsweise etwa dreimal so schnell wie die Verkehrsmittel zu Lande.

Die Folgen der Erschließung von Seewegen für die Beförderung waren vielfältiger und weiter reichend, als die an billigen Transporten interessierten Händler sich je erträumen konnten: „Ich denke gerne, daß es mit den Schiffen anfang“, läßt Brecht seinen Galilei sagen. „Seit Menschengedenken waren sie nur an den Küsten entlang gekrochen, aber plötzlich verließen sie die Küsten und liefen aus über alle Meere. Auf unserm alten Kontinent ist ein Gerücht entstanden: es gibt neue Kontinente. Und seit unsere Schiffe zu ihnen fahren, spricht es sich auf den lachenden Kontinenten herum: das große gefürchtete Meer ist ein kleines Wasser. Und es ist eine große Lust aufgekommen, die Ursachen aller Dinge zu erforschen“*.

Tatsächlich waren die Schiffe nur der Beginn einer vielgestaltigen Entwicklung. Einerseits wurden sie selbst ständig vervollkommen. Dazu mußten ihre Schwimmigenschaften systematisch studiert, praktisch verbessert, ihre Tonnage vergrößert werden, kurzum: Hydrostatik und Hydrodynamik traten ins Leben. Zum andern machte der Einsatz von Schiffen eine Verbesserung der Wasserverbindungen, das heißt den Bau von Kanälen und Schleusen erforderlich und somit einen großangelegten Ausbau der Binnenwasserwege. Ein Weiteres war nicht minder bedeutsam: Die Wasserwege durchbrachen die Isolation der Städte, sprengten geistige und geographische Horizonte, belebten Geographie, Botanik, Zoologie und Völkerkunde und hatten insofern geradezu revolutionäre Auswirkungen. Die Schifffahrt war ein wichtiger Bestandteil jener größten progressiven Umwälzung, welche die Menschheit bis dahin erlebt hatte und die wir als Renaissance bezeichnen. Das historische Beispiel Englands liefert einen eindrucksvollen Beleg für die gewaltige Bedeutung der Seefahrt bei der Entfaltung der bürgerlichen Nationen, aber auch für die Verflechtung ökonomischer Interessen mit konkreten Anforderungen an die Wissenschaft.

Englands Aufstieg zur Seemacht begann sehr allmählich Anfang des 16. Jahrhunderts und stieß ständig auf die Schranken der bereits bestehenden Seemächte, vor allem Spaniens. Nur durch Kampf war den Spaniern zu entreißen, was England beehrte. Die Epoche der englischen Seeräuber

* A. a. O., S. 9f.



Himmelsmesser an fremder Küste (16. Jahrhundert)

begann. Besonders nachdem die protestantische Elisabeth I. (1533–1603) den Königsthron bestiegen hatte, fanden alle gegen das katholische Spanien gerichteten Aktionen wohlwollende Unterstützung.

Der erste „Vorreiter“ englischer Seepiraterie war der Sklavenhändler John Hawkins (1532–1595). In Afrika holte er Negersklaven an Bord, um sie in Haiti an spanische Sklavenhalter zu verkaufen. Doch die spanische Flotte war ihm bald auf den Fersen, und es kam zu einer Seeschlacht. Die Engländer ließen sich dadurch aber nicht von ihrem Vorhaben abbringen, die Weltrouten der See zu erobern. Vielmehr griffen sie immer häufiger die Galeonen der Spanier an, insbesondere solche, die Gold und Silber an Bord hatten. Wie erbittert dieser Kampf geführt wurde, können wir daran ermesen, daß die Spanier ihre englischen Gefangenen bei lebendigem Leibe verbrannten und die Engländer gefangene Spanier aufzuhängen pflegten.

1567 stach der englische Piratenkapitän Francis Drake (um 1540–1596) in See. Die Piraterie machte ihn binnen kurzer Zeit zu einem reichen Mann, der nun mit noch beträchtlicheren Hilfsmitteln zu noch

größeren Räubereien auszog. Nachdem er in einem wagemutigen Handstreich eine spanische Maultierkolonne mit peruanischen Schätzen ausgeraubt hatte, konnte er es sich sogar erlauben, vor die englische Königin mit dem Plan hinzutreten, den noch unentdeckten Südkontinent südlich der Magellanstraße zu suchen, um die Spanier von der Westseite Amerikas her anzugreifen.

Das Projekt fand die volle Unterstützung des Königshauses und zahlreicher hoher Adliger und gestaltete sich zu einem der dramatischsten Seeabenteuer des 16. Jahrhunderts. Insgeheim gründlich vorbereitet, stach Drake am 13. Dezember 1577 von Plymouth aus mit einer kleinen Flotte, angeführt von dem Hunderttonner „Pelican“, in See. In Südamerika wurde das 26 m lange Schiff für die bevorstehenden Aufgaben gerüstet, und im Herbst des Jahres 1578 segelte es unter dem neuen Namen „Golden Hind“ (Goldene Hirschkuh) im Pazifik. Durch einen Sturm, der die Flottille bis auf das Mutterschiff zerstörte oder seeuntüchtig machte, wurde Drake weit nach Süden abgetrieben, wo er jedoch von dem gesuchten Kontinent nichts entdecken konnte. Auf dem Weg nach Norden brachten die Engländer unter anderem eine reich mit Schätzen beladene spanische Fregatte auf und raubten sie aus. Nach einer neuerlichen technischen Überholung des Schiffs in der heute nach Drake benannten Bucht unweit San Franciscos lief die „Golden Hind“ wiederum nach Westen aus, um der Route zu folgen, die einst Magellan bei seiner Weltumsegelung genommen hatte. Das Vorhaben gelang leichter, als man erwartet hatte. Drake passierte die Palauinseln, die Philippinen, Java, umsegelte das Kap der Guten Hoffnung und ankerte am 26. September 1580, knapp 3 Jahre nach dem Beginn der großen Reise, wieder in Plymouth.

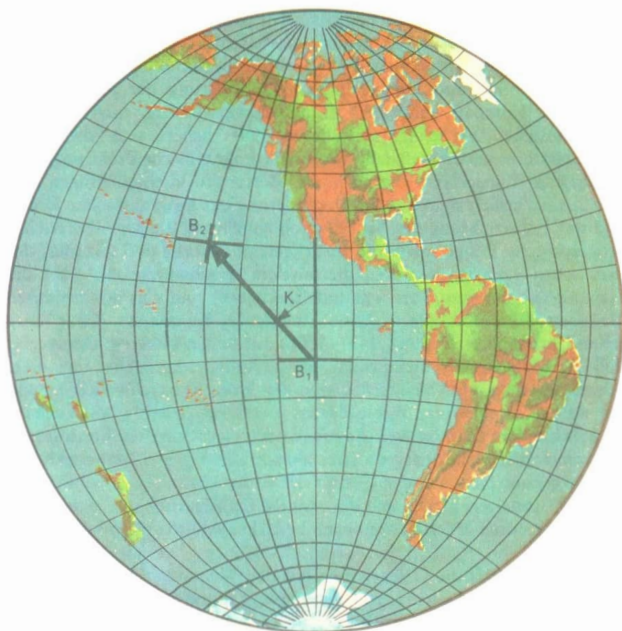
Die Spanier waren empört und verlangten die Auslieferung des Piraten. Die Engländer jubelten. Elisabeth schlug den neuen Weltumsegler zum Ritter. Für die englische Krone zahlte sich das Unternehmen voll aus: Drake soll Schätze im Wert von mehr als 2 Millionen Goldpfund nach England gebracht haben. Von dieser Summe kassierte die Königin die Hälfte. Die beteiligten Aktionäre erhielten fast fünfzigmal soviel Geld zurück, wie sie investiert hatten. Drake wurde als Held gefeiert, zum Mitglied des Parlaments und schließlich zum Admiral ernannt.

Die Widersprüche zwischen Spanien und England, die beide um die einträgliche Vorherrschaft auf See rangen, hatten sich nun derartig zugespitzt, daß es zu einer großen bewaffneten Auseinandersetzung kam. Die Spanier stellten unter Philipp II. (1527–1598) eine „unüberwindliche Armada“ auf, wie sie ihre Seestreitmacht selbst nannten. Die Schiffe

waren allerdings wenig wendig und technisch schlechter ausgerüstet als die der englischen Kriegsflotte. Die Stärke der Spanier betrug jedoch 30 000 Mann, die der Engländer hingegen nur die Hälfte. Als die Spanier im Juli 1588 in den Kanal einliefen, wurden sie rasch bedrängt und mehrfach so schwer angegriffen, daß der gesamte Kampf schon nach wenigen Wochen entschieden war. Nur wenige der über 100 spanischen Schiffe gelangten in ihre Heimathäfen zurück.

Englands Kampf gegen Spanien brachte vor allem auch den Niederlanden großen Vorteil, die nach der erreichten Unabhängigkeit zur führenden Seemacht aufstiegen. Die Niederländer waren Ende des 16. Jahrhunderts die eigentlichen „Fuhrmänner Europas“. Mit ihren weltweiten Fahrten über die Ozeane legten sie damals den Grundstein zu ihren kolonialen Besitzungen, die sie erbarmungslos ausplünderten. Mit der stärkeren Hinwendung Englands zur Seeschifffahrt ließen sich daher auf die Dauer auch scharfe Auseinandersetzungen mit den Niederlanden nicht vermeiden. Nachdem die englische Bourgeoisie in der Revolution von 1640/60 gesiegt hatte, waren für die rasche Entwicklung der Seefahrt günstige Bedingungen entstanden. Das Parlament beschloß unter Oliver Cromwell (1599–1658) im Jahre 1651 die Navigationsakte, welche die Widersprüche zwischen den Seemächten deutlich machte: Alle aus Asien, Afrika oder Amerika nach England eingeführten Handelsgüter durften danach einzig durch britische Schiffe transportiert werden. Wen konnte das mehr schädigen als die wirklichen Herren des Meeres, die Holländer, die zu dieser Zeit über die Hälfte der Weltschiffstonnage unter ihrer Flagge hatten? Die Widersprüche verschärfen sich schließlich bis zur offenen militärischen Auseinandersetzung in mehreren Seekriegen zwischen den beiden Mächten. Zu einem militärischen Sieg Englands reichten damals die Kräfte des Inselreichs noch nicht. Jedoch mußten die Niederländer die Navigationsakte akzeptieren, was letztlich dem weiteren Aufschwung der englischen Seefahrt diente.

Aber es blieb nicht bei Seeräubereien und Kämpfen um Vormacht. Die größte Räuberei kam erst – der Kolonialismus, und auch dieser Entwicklung brachen Seefahrer Bahn. Die zu diesem Zweck ausgerüsteten Forschungsfahrten brachten gleichzeitig zahlreiche wissenschaftliche Erkenntnisse, durch die nach und nach der Erdball immer besser bekannt wurde. Zu den größten Leistungen der Engländer auf diesem Gebiet zählen die Unternehmen des James Cook (1728–1779). Mit seiner „Endeavour“ begann er die erste große Seereise am 25. August 1768 von Plymouth aus, dem traditionellen Hafen an der englischen Südwestküste. Der Kapitän segelte ostwärts, nahm dann Kurs nach Süden, umschiffte



Bestimmung der Differenz zweier geographischer Längen auf See durch
Kursmessung und Breitenmessung
 K = Kurs, B_1 und B_2 = geographische Breiten

Feuerland und gelangte nach Tahiti. Nach mehr als dreijähriger Fahrzeit lief er wieder in den Heimathafen ein – eine Spitzenleistung der Seemannskunst jener Zeit.

Die überragende Bedeutung der Seefahrt in der Epoche des aufsteigenden Kapitalismus mag an diesen Beispielen hinreichend klargeworden sein. Doch war das gefürchtete Meer tatsächlich nichts als ein „kleines Wasser“? Keineswegs. Gegenüber seinen Bezwingern erwies es sich vielmehr als ein entschieden feindliches Element. Schiffe versanken samt

Mannschaft und Fracht in den tosenden Stürmen. Riesensegler liefen in ihren Untergang statt in den Heimathafen, und dies hatte oftmals nur einen Grund: Die Verfahren der Positionsbestimmung auf See waren äußerst primitiv und unzuverlässig. Die Richtung der Fahrt wurde mit dem Kompaß ermittelt. Daneben verwendete man einfache astronomische Winkelmeßinstrumente, mit denen sich die Höhe des Polarsterns bestimmen ließ, woraus die geographische Breite ungefähr hervorging. Wiederholte man nun die Messungen in regelmäßigen Abständen, so erhielt man aus der Veränderung der geographischen Breite und der Fahrtrichtung des Schiffs auch annähernd die jeweils erreichte geographische Länge sowie die zurückgelegte Strecke und dazu aus der inzwischen verstrichenen Zeit die mittlere Geschwindigkeit. Aber die Genauigkeit der Resultate war unbefriedigend, und dies aus mehreren Gründen: Einerseits gab es keine Theorie des Kompasses. Zwar hatte schon Christoph Kolumbus (1451–1506) auf seinen Fahrten festgestellt, daß die Magnetonadel nicht genau nach Norden zeigt. Aber daß diese Abweichung an verschiedenen Orten der Erde unterschiedlich ist und um welche Beträge man infolgedessen jeweils falsch mißt, war auch im 17. Jahrhundert noch wenig bekannt. Andererseits setzt die Bestimmung der vom Schiff zurückgelegten Strecken aus Längen- und Breitenmessungen die genaue Kenntnis der Gestalt der Erde voraus. (Die Kapitäne des späten Mittelalters gingen von der exakten Kugelgestalt aus.) Schließlich konnte die durch Meeresströmungen bewirkte Abdrift nicht berücksichtigt werden.

Wie mangelhaft die Orientierung auf den Weiten des Meeres noch zu Beginn des 18. Jahrhunderts war, davon zeugt zum Beispiel der Untergang einer ganzen britischen Flotte bei den Scilly-Inseln im Atlantischen Ozean unweit der Küste Englands. Nahezu 2000 Seeleute verloren bei dieser durch falsche Positionsmessung verursachten Katastrophe ihr Leben!

Das Problem der Orientierung auf den Meeren war also nicht bewältigt und seine Lösung im Interesse der herrschenden Klassen, ihrer ökonomischen und militärischen Macht, dringend erforderlich.

Sonne, Mond und Sterne weisen Wege

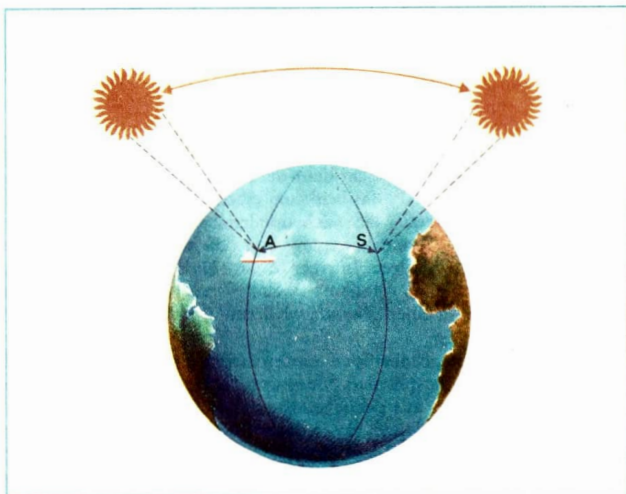
Wenn auch das Meer selbst keinerlei Markierungen trägt, die dem Schiffer seine Position anzeigen, so wölbt sich doch über ihm der Himmel, an dem des Tags die Sonne und des Nachts Mond und Sterne ihre wohlgeordneten

Bahnen ziehen. Es ist leicht einzusehen, daß man durch die Beobachtung der Vorgänge am Himmel auch das schwierige Problem lösen kann, die geographische Länge zu bestimmen: Unser Erdball rotiert in 24 Stunden einmal um seine Achse. Die Folge davon ist die scheinbare Bewegung der Sonne in 24 Stunden um die Erde. Unmittelbar aus dieser Bewegung wird die Einheit des Sonnentags abgeleitet: Ein Sonnentag ist der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen der Sonne durch den Meridian. Eine Stunde entspricht dann der Zeitspanne, während der sich die Sonne um $\frac{1}{24}$ von 360° , das heißt um einen Stundenwinkel von 15° , weiterbewegt hat. Hieraus läßt sich unmittelbar der Zusammenhang zwischen scheinbarer Sonnenbewegung und den anderen Zeiteinheiten Minute und Sekunde ableiten. In einer Minute ändert sich der Stundenwinkel der Sonne nämlich gerade um $\frac{1}{60}$ des Werts für eine Stunde, also um $\frac{1}{4}^\circ (=15')$, und in einer Sekunde wiederum um $\frac{1}{60}$ davon, das heißt um $\frac{1}{240}^\circ (=15'')$.

Weil die Sonnentage aber von unterschiedlicher Dauer sind, wird zweckmäßigerweise die „mittlere Sonnenzeit“ eingeführt, die sich auf die eben dargelegte Weise aus der scheinbaren Bewegung einer „mittleren Sonne“ ableiten läßt. Diese nur erdachte Sonne soll mit konstanter Winkelgeschwindigkeit im Laufe eines Jahres auf dem Himmelsäquator umlaufen. Da wir die Differenz zwischen der wahren und der mittleren Sonnenzeit, die Zeitgleichung, für jeden Tag im Jahr genau kennen, können wir aus der Beobachtung der Sonne unmittelbar die mittlere Sonnenzeit ableiten.

Ein einfaches Beispiel mag dies verdeutlichen: Nehmen wir an, wir haben am 6. November 1976 in Berlin durch Beobachtung den Augenblick des wahren Mittags erfaßt. An diesem Tag beträgt die Zeitgleichung $+16^{\text{min}}20''$. Wir stellen deshalb unsere Uhr für den Moment des Durchgangs der Sonne durch den Meridian auf $12^{\text{h}}-16^{\text{min}}20'' = 11^{\text{h}}43^{\text{min}}40''$.

Da die Sonne eine Stunde benötigt, um ihren Stundenwinkel um 15° zu vergrößern, bedeutet dies, daß der Moment ihres Meridiandurchgangs für Orte, die sich 15° westlich von Berlin befinden, eine Stunde später eintritt, während er für Orte 15° östlich von Berlin bereits eine Stunde früher gekommen ist. Mit anderen Worten, würden wir uns mit unserer in Berlin nach Sonnenbeobachtungen (einschließlich der erforderlichen Korrektur) gestellten Uhr 15° weiter westlich befinden und dort das Experiment wiederholen, so müßten wir feststellen, daß unsere Uhr gerade eine Stunde vorgeht. Würden wir ostwärts reisen, so kämen wir zu dem Ergebnis, daß unsere Uhr nachgeht oder – was dasselbe bedeutet – daß die Uhren der dortigen Beobachter gegenüber unserer eigenen Uhr



Scheinbare Bewegung der Sonne und Längendifferenz

Die Sonne steht für die auf unterschiedlichen Längengraden liegenden Orte S und A jeweils im Meridian. Um vom Meridian des Ortes A zum Meridian des Ortes S zu gelangen, benötigt sie eine der Längendifferenz der beiden Orte entsprechende Zeit.

vorgehen. Da wir jedoch wissen, daß die Uhren nach denselben Beobachtungsvorschriften eingestellt wurden, schließen wir, daß wir uns in dem einen Fall 15° westlich, im anderen 15° östlich von Berlin befinden. Es besteht also ein einfacher Zusammenhang zwischen Ortszeit und geographischer Länge: Man braucht die Ortszeitdifferenz gegenüber einer als Bezugszeit benutzten Ortszeit (gemessen in Stunden) lediglich mit 15° zu multiplizieren, um die Längendifferenz zwischen dem Bezugsmeridian und dem Ort, dessen Länge bestimmt werden soll, zu erhalten.

Die hier skizzierte Methode zur Längenbestimmung, die uns gleichzeitig mit dem Zusammenhang zwischen Länge und Ortszeitdifferenz vertraut gemacht hat, wurde vermutlich schon im Jahre 1533 von Gemma Frisius

(1508–1555) erfunden. Das Messen der Zeit des wahren Mittags geschah dabei praktisch auf folgende Weise: Der Navigator auf dem Schiff erhielt durch Beobachtung die Zeiten gleicher Sonnenhöhen am Vor- und am Nachmittag und bildete hieraus das arithmetische Mittel. Danach wurde die Uhr gestellt. Gleichzeitig ließen sich auf diesem Weg Ungenauigkeiten des Uhrengangs ausgleichen, da der wahre Mittag stets um 12 Uhr stattfindet. Ergab sich für den wahren Mittag aus der Messung zweier gleicher Sonnenhöhen beispielsweise ein Wert von $12^h 03^{\text{min}}$, so wußte der Navigator, daß seine Uhr 3 Minuten vorging.

Warum war nun das Problem der Längenbestimmung trotz dieser eleganten und zugleich unkomplizierten Methode nicht gelöst? Der Grund ist einfach: Um die ständig aus Beobachtungen auf eine Taschenuhr übertragene wahre Ortszeit mit der mittleren Zeit eines Bezugsmeridians zu vergleichen, benötigt man außerdem noch eine Präzisionsuhr (Chronometer), die als Bewahrer der Ortszeit des Vergleichsmeridians dient. Diese Uhr kann natürlich nicht durch Beobachtungen überprüft oder korrigiert werden. Auf sie muß Verlaß sein. Zumindest darf sie ihren Gang nur in einer genau bekannten Weise verändern. Dies war vor allem ein praktisch-technisches Problem. Schon Isaac Newton hat die Brauchbarkeit der „Chronometermethode“ im Jahre 1714 sehr treffend eingeschätzt, als er schrieb: „– wegen der Schiffsbewegung, des Wechsels von Heiß und Kalt, Nässe und Trockenheit und wegen der Schwerkraftunterschiede bei verschiedenen Breiten, wurde eine solche Uhr noch nicht gemacht.“*

Um die Anforderungen zu verstehen, die an ein derartiges Gerät zu stellen sind, brauchen wir nur zu bedenken, daß ein Fehler in der Zeitmessung von etwa 4 Minuten am Erdäquator einen linearen Fehler der Längenmessung von rund 100 km nach sich zieht.

Welche anderen Möglichkeiten, die Längen auf See hinreichend zuverlässig zu bestimmen, bestanden nun zur Zeit des sich ausweitenden Seehandels noch?

Im wesentlichen beruhen alle Verfahren, die auf ein Präzisionschronometer verzichten, darauf, daß die Ortszeit eines Bezugsmeridians von der „Himmelsuhr“ selbst abgelesen wird. Es gibt eine Reihe astronomischer Ereignisse, die zu einem scharf begrenzten Zeitpunkt stattfinden. Hierzu zählen beispielsweise Verfinsterungen der Jupitermonde, Sternbedeckungen durch den Mond, Sonnen- und Mondfinsternisse sowie Durchgänge

* Zit. nach: Eric G. Forbes, Die Entwicklung der Navigationswissenschaft im 18. Jahrhundert, in: „Rete“, Bd. 2, 4/1975, S. 311

des Mondes durch den Meridian. Berechnet man nun den Zeitpunkt des Eintritts dieser Ereignisse für einen Bezugsmeridian im voraus, so sind damit die Grundlagen der Längenbestimmung gegeben. Es kommt lediglich noch darauf an, den realen Zeitpunkt des Geschehens an dem Ort zu messen, dessen Länge bestimmt werden soll. Die Messung erfolgt durch Beobachtung und unter Benutzung einer Uhr, welche die mittlere Ortszeit anzeigt.

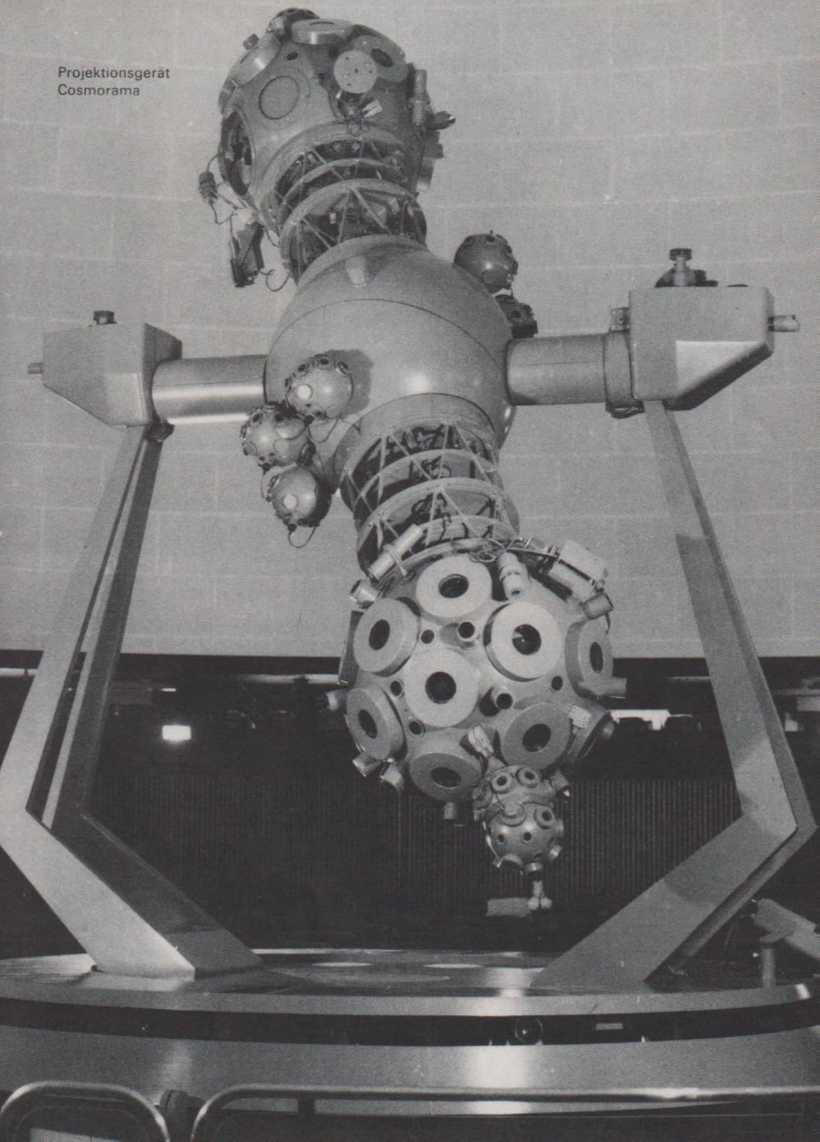
So einfach diese Verfahren zu sein scheinen – ihrer praktischen Anwendung stehen doch sehr große Schwierigkeiten entgegen. Einerseits haben Fernrohrbeobachtungen vom Deck eines schwankenden Schiffs – besonders wenn es auf hohe Präzision ankommt – wenig Aussichten auf Erfolg. Zum anderen setzen die Vorherberechnungen der Ereignisse für einen Bezugsmeridian voraus, daß der Navigator die Theorie der Bewegung der Himmelskörper vollständig beherrscht. Schließlich sind insbesondere die Beobachtungen von Sonnen- und Mondfinsternissen wegen der Seltenheit solcher Ereignisse ein nahezu unbrauchbares Hilfsmittel, da kein Seemann auf dem Ozean abwarten kann, bis eine Verfinsterung von Sonne oder Mond eintritt.

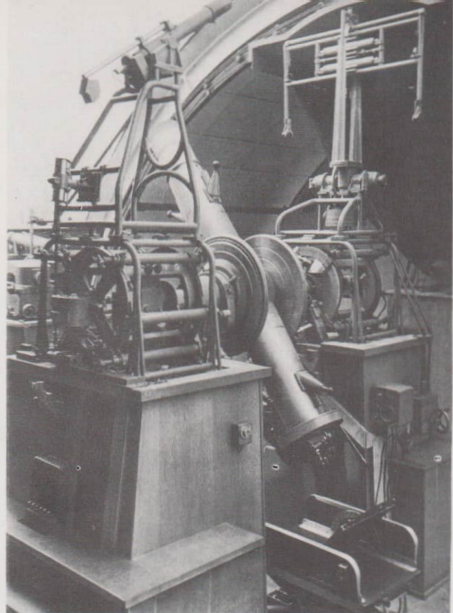
Die Messung der Zeitpunkte des Monddurchgangs durch den Meridian ergibt ein sehr genaues Resultat, wenn man den Durchgang für einen Vergleichsmeridian präzise vorherbestimmen kann. Dies vermochte man aber selbst zu Beginn des 18. Jahrhunderts noch nicht. Nach der Newtonschen Theorie der Bewegung des Mondes war lediglich eine Annäherung auf $\pm 5'$ in der Vorherbestimmung seiner Position möglich. Dies ist scheinbar ein geringer Betrag, doch wir müssen bedenken, daß unser Trabant unter den Sternen sehr rasch fortschreitet, da er sich im Laufe eines Monats um die Erde bewegt. Daraus folgt eine Winkelgeschwindigkeit des Mondes unter den Sternen von rund 13° je Tag, das heißt $30'$ je Stunde. Eine Positionsungenauigkeit von $5'$ kommt demnach einem Zeitfehler von 10 Minuten gleich. Der Fehler in der Längenbestimmung, der sich daraus ergibt, beträgt bereits $2,5^\circ$ (etwa 150 nautische Meilen).

Forschungsstätte im Park

In England, Frankreich und den Niederlanden, den mächtigsten Seefahrernationen des 17. Jahrhunderts, herrschte ein lebhaftes Interesse an allen wissenschaftlichen Methoden zur Längenbestimmung auf See.

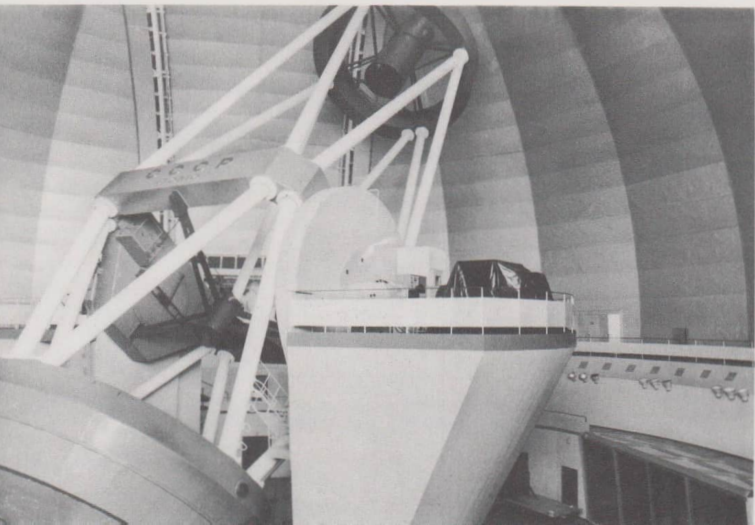
Projektionsgerät
Cosmorama

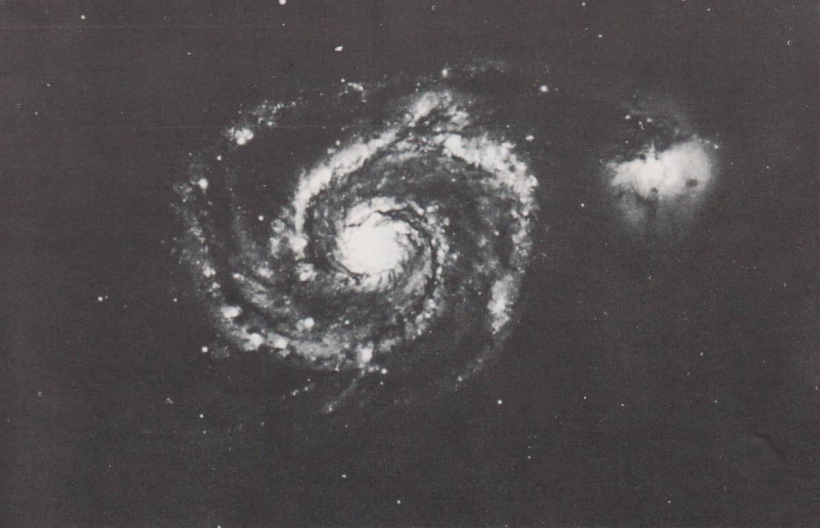




Großer Meridiankreis des Sternberg-Observatoriums Moskau

Sowjetisches 6-m-Spiegelteleskop im Kaukasus





Spiralnebel im Sternbild Jagdhunde

Spiralnebel im Sternbild Jagdhunde (Zeichnung von Lord Rosse)

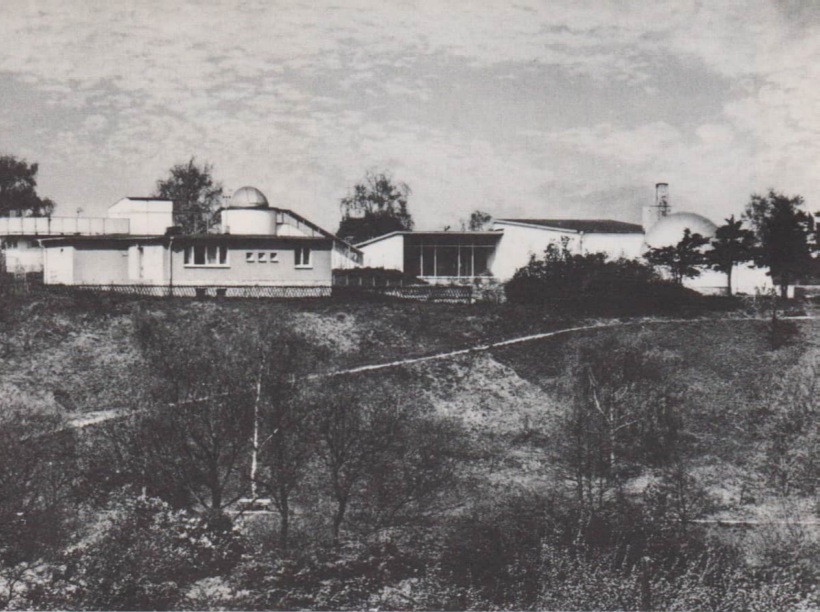




Große Kuppel des 2-m-Teleskops der Sternwarte Tautenburg
(Akademie der Wissenschaften der DDR)

Telementor-Schulfernrohr vom VEB Carl Zeiss JENA

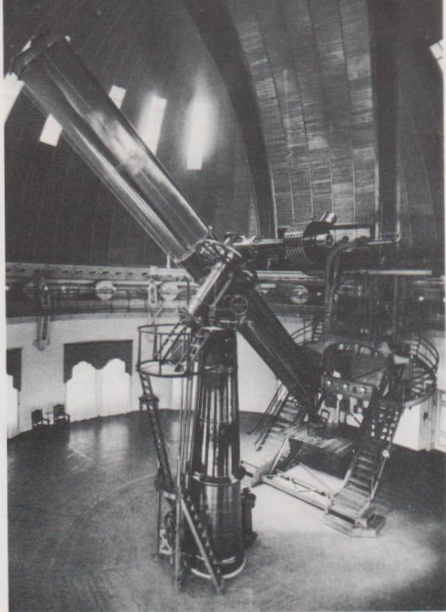




Volk- und Schulsternwarte „Juri Gagarin“ in Eilenburg

Astronomieunterricht an der Schulsternwarte in Rodewisch

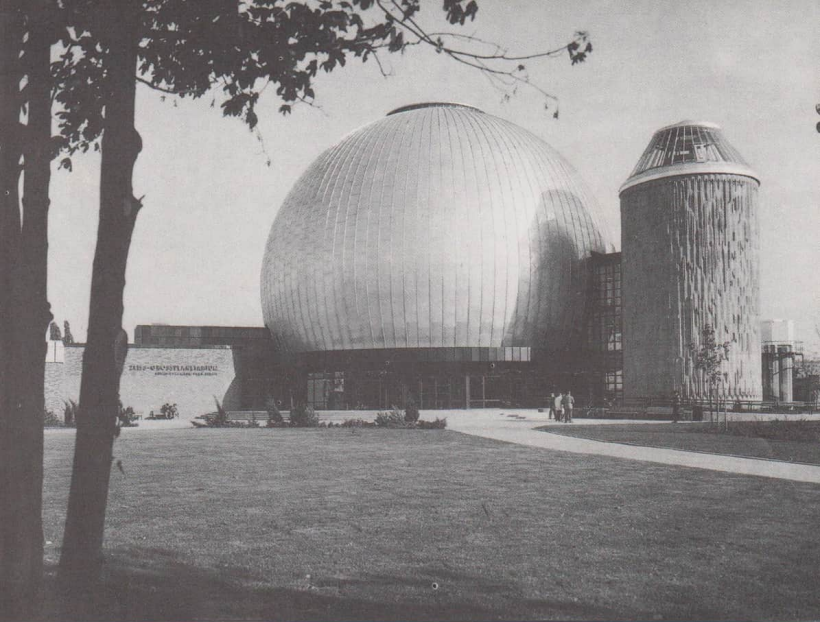




Doppelrefraktor des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam

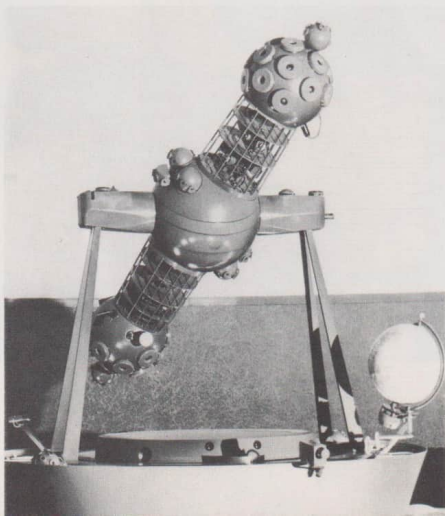
Krebsnebel im Sternbild Stier

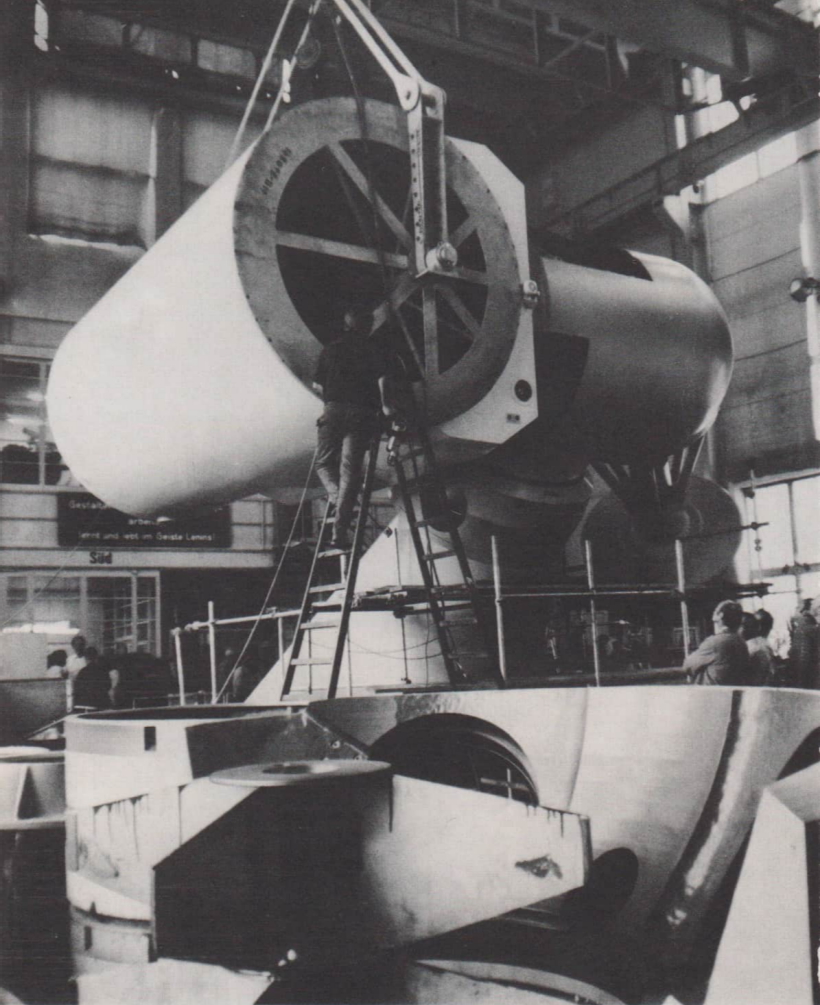




Zeiss-Großplanetarium Berlin

Vorführgerät des Raumflugplane-
tariums in Cottbus





Spiegelteleskop in der
Montagehalle des VEB Carl Zeiss JENA

Wo immer jemand eine Verbesserung der üblichen Verfahren versprach, konnte er auf gespannte Zuhörer in den höchsten Kreisen rechnen. So wurde auch der englische König Karl II. aufmerksam, als er – angeblich durch eine Mätresse des französischen Königs – von dem Vorschlag des Franzosen Sieur de St. Pierre erfuhr, die Länge mit Hilfe einer neuartigen Mondmethode zu bestimmen. Er veranlaßte unmittelbar darauf, daß sich eine Gruppe sachverständiger Berater zusammenfand, um über den Vorschlag ihr Gutachten abzugeben. An der Zusammenkunft von Experten am 12. Februar 1675 nahm auch ein junger Mann namens John Flamsteed (1646–1719) teil, der als kenntnisreicher Astronom galt.

Die vorgeschlagene Methode beruht im Prinzip darauf, den Zeitpunkt festzustellen, zu dem der Mond eine ganz bestimmte Winkeldistanz von der Sonne oder irgendeinem Fixstern aufweist, wobei gleichzeitig noch die Höhen von Mond und Sonne beziehungsweise Stern gemessen werden. Diesen Zeitpunkt (in Ortszeit am Meßort) gilt es dann mit dem vorherberechneten Zeitpunkt für dieses Ereignis zu vergleichen. Evident ist der Vorteil dieser Methode in ihrer generellen Anwendbarkeit. Vorausgesetzt, daß der Himmel klar ist und daß genügend Mondpositionen vorausberechnet wurden, läßt sich das Verfahren benutzen.

Aber die Sache hatte einen Haken, wie Flamsteed bald herausfand. Er begann nämlich mit den erforderlichen Messungen und machte dann eine Überschlagsrechnung, die Auskunft über die Genauigkeit des Verfahrens geben sollte. Das Resultat war niederschmetternd. Flamsteed kam zu dem Schluß, daß sich die Methode für die Benutzung auf See überhaupt nicht eignet, und dies gleich aus mehreren Gründen: Erstens existierte kein Instrument, mit dessen Hilfe man auf See die Polabstände von Sternen oder die Höhen des Mondes über dem Horizont bis auf 1' genau hätte messen können, was mindestens erforderlich war. Zweitens gab es auch keine Tabellen, die – auf Grund einer zuverlässigen Theorie der Mondbewegung berechnet – die Mondposition bis auf 1' genau enthielten. Außerdem störte die Strahlenbrechung (Refraktion) in der Erdatmosphäre. Sie hat zur Folge, daß die Höhen von Himmelskörpern um bestimmte Beträge zu groß oder zu klein gemessen werden. Das Ausmaß dieses Fehlers hängt nicht nur von der Höhe des Gestirns, sondern auch vom jeweiligen Zustand der Atmosphäre (Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Temperatur) ab. Diese Zusammenhänge kannte man jedoch nicht und konnte sie folglich nicht berücksichtigen.

Da Flamsteed nicht einfach die Unbrauchbarkeit der Methode behauptete, sondern zugleich die Bedingungen nannte, unter denen sie Erfolg versprach, hatte sein konstruktiver Urteilsspruch eine na-

heliegende Folge: Karl II. veranlaßte die Gründung einer Königlichen Sternwarte, deren Hauptaufgabe darin bestehen sollte, nach und nach jene wissenschaftlichen Unterlagen und Theorien zu entwickeln, welche es ermöglichten, das Längenbestimmungsproblem zufriedenstellend zu lösen.

Nachdem man sich in London nach einem geeigneten Platz für ein Observatorium, wie es schon 3 Jahre zuvor in Paris zu dem gleichen Zweck entstanden war, umgesehen hatte, entschied man sich schließlich für eine Anhöhe in dem nahe der Stadt gelegenen Park von Greenwich. So wurde im Sommer des Jahres 1675 eine der berühmtesten Sternwarten aller Zeiten gegründet. Sowohl die Vorgeschichte ihrer Gründung als auch die Tätigkeit der dortigen Forscher lassen deutlich erkennen, daß die Astronomie eine von der sich entwickelnden kapitalistischen Gesellschaft dringend benötigte Wissenschaft war. Hier gab es keine „Freiheit der Wissenschaft“, keine „Forschung um der Forschung willen“, sondern konkrete Anforderungen der herrschenden Klasse, die es zu erfüllen galt. Sie lauteten: Herstellung genauer Sternkarten und Berechnung von präzisen Mondtafeln, aus denen man die Position des natürlichen Erdbegleiters im voraus mit hoher Genauigkeit ablesen konnte.

Mit diesem schwierigen Aufgabenkomplex, der zudem rasch gelöst werden sollte, war Flamsteed allerdings völlig überfordert, wie die weitere Geschichte der „astronomischen Geographie“ beweist. Erst die Arbeit mehrerer Generationen von Gelehrten, Beobachtern, Theoretikern und Instrumentenbauern brachte das Werk zustande.

Flamsteed selbst beschäftigte sich insbesondere mit der Herstellung genauer Sternkarten. Dazu mußte er die Koordinaten der einzelnen Sterne mit möglichst großer Präzision ermitteln. Diese Aufgabe machte die Ausstattung der Sternwarte mit hervorragenden Instrumenten erforderlich, und das nahm Zeit in Anspruch.

Den baulichen Kern des neuen Observatoriums bildete ein alter Turm, der schon den verschiedensten Zwecken gedient hatte. Dieser Bau mußte ergänzt werden. Günstig war, daß sich in dem Turm ein achteckiger Raum befand, der sogenannte Oktagonraum, der Beobachtungen in verschiedenen Himmelsrichtungen gestattete.

Flamsteed begann bereits im September 1675, unterstützt durch zwei Assistenten, mit seinen Sternbeobachtungen. Fast ein halbes Jahrhundert hindurch hat der erste Königliche Astronom Großbritanniens beharrlich das mitunter recht eintönige Werk fortgesetzt und damit den Grundstein der modernen Positionsastronomie gelegt. Hierzu benutzte er vor allem einen großen Präzisionsmauerquadranten. Der Radius des Viertelkreises



Alte Sternwarte in Greenwich

betrug 7 Fuß (rund 2,1 m). Zur Bestimmung genauer Sternpositionen stellte Flamsteed einerseits die Winkelabstände der verschiedenen Sterne vom Zenit des Beobachtungsortes fest. Andererseits ermittelte er mit aller Sorgfalt die Zeitpunkte, zu denen bestimmte Sterne durch den Meridian von Greenwich laufen.

Die Kosten für das wertvolle Instrument trug der Astronom selbst. Offenbar wollte das Königshaus angesichts der sehr langsamen Fortschritte beim Bemühen um die Längenbestimmung keine aufwendigen Investitionen bewilligen. Hätte Flamsteed damals nicht gerade eine größere Summe Geldes von seinem Vater geerbt, wäre der Mauerquadrant wohl nicht aufgestellt worden.

Inzwischen hatte man dem Forscher von mehreren Seiten bedeutet, er solle die Resultate seiner jahrzehntelangen Untersuchungen endlich bekanntmachen. Flamsteed war sich aber darüber im klaren, daß die Be-

obachtung selbst nur einen Teil seiner Arbeit bildete. Außerdem kam es darauf an, die am Instrument vorgenommenen Messungen einer Reihe von Berechnungen zu unterziehen, sie zu reduzieren, wie die Astronomen sagen. Dies stellte keine leichte Aufgabe dar. Vor allem deshalb nicht, weil die Einflüsse, die eine Bestimmung der Lichtrichtung verfälschen können, im einzelnen nur ungenügend bekannt waren. Tatsächlich entdeckte man wesentliche Verfälschungen erst im Laufe des 18. und 19. Jahrhunderts. Dies ist auch der Grund dafür, daß die Beobachtungen Flamsteeds und seiner Nachfolger später noch einigemal neu reduziert wurden, so daß sich ihr Wert gleichsam mit ihrem Alter immer mehr erhöhte.

Anfang August 1691 schrieb Isaac Newton einen Brief an den Royal Astronomer in Greenwich, in dem er ihn aufforderte, einen Katalog mit den Positionen aller Sterne bis zur Helligkeit sechster Größe zu veröffentlichen, die von berühmten Astronomen aller Zeiten ermittelt wurden, einschließlich der Greenwicher Beobachtungen. Obwohl Flamsteed offiziell verlauten ließ, er würde keine Veröffentlichung vorbereiten, ehe er nicht das gesamte selbstgewählte Beobachtungsprogramm abgeschlossen hätte, machte er sich doch mit Hilfe einiger Assistenten bald darauf an die Ausarbeitung eines vorläufigen Katalogs. Das Resultat war ein umfangreiches Werk, das alle Beobachtungen der Jahre 1676 bis 1705 enthielt. Schon in einem Bericht, den Flamsteed kurz vor dem Ende des 17. Jahrhunderts verfaßte, gab er einen Überblick über seine Arbeiten, unter denen sich neben den Ermittlungen über Fixsternpositionen auch zahlreiche Mondbeobachtungen befanden. Er hoffte damals, das gesamte Material gemeinsam mit etwa 6 Mitarbeitern in 2 oder 3 Jahren aufzubereiten. Doch hierbei gab er sich einer groben Selbsttäuschung hin: Erst im Jahre 1712 konnte ein Katalog erscheinen, und er war alles andere als vollkommen; es handelte sich um noch wenig bearbeitetes Rohmaterial. 6 Jahre nach Flamsteeds Tod, im Jahre 1725, kam endlich die „*Historia Coelestis Britannica*“ heraus, ein Sternverzeichnis, das seinen Ruhm bis heute nicht eingebüßt hat. Der Katalog enthält die Positionen von 2848 Fixsternen, die auch in modernen Zusammenstellungen noch mit den Flamsteedschen Ziffern benannt sind.

Die lange und mühevolle Geschichte dieses Verzeichnisses hatte wohl selbst den größten Optimisten klargemacht, daß die Lösung des Problems der Längenbestimmung auf See zu den anspruchsvollsten Aufgaben gehörte, die der Wissenschaft damals gestellt werden konnten. Mit der Gründung einer Sternwarte und der Erteilung eines Auftrags jedenfalls war noch wenig gewonnen. Als daher im Jahre 1714 die beiden Gelehrten William Whiston (1667–1752) und Humphrey Ditton eine neue Methode

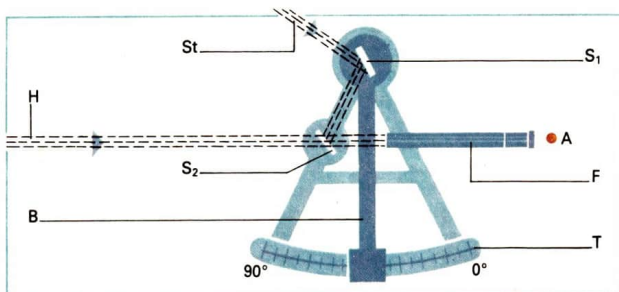
für die Längenbestimmung auf See vorschlugen und diese dem englischen Parlament zur Kenntnis brachten, entschloß sich die Regierung, mit Gesetzeskraft die bedeutende Summe von 20 000 Pfund (in heutigem Geld etwa 1 Million Mark) für die Lösung des Problems zur Verfügung zu stellen.

Über die eingereichten Lösungen hatte eine parlamentarische Kommission, das Board of Longitude (Längenbüro), zu entscheiden. Wenn 22 Ausschußmitglieder die Meinung vertraten, daß die Methode allgemein anwendbar sei, sollte nach dem „Leistungsprinzip“ verfahren werden: 10 000 Pfund winkten für eine erreichte Genauigkeit von 1° (60 nautische Meilen), 15 000 Pfund für eine Genauigkeit von $\frac{2}{3}^\circ$ (40 nautische Meilen) und die vollen 20 000 Pfund schließlich für eine Genauigkeit von $\frac{1}{2}^\circ$ (30 nautische Meilen). Die Zahlung sollte jeweils in zwei Raten erfolgen: Die erste Rate wurde fällig, wenn das Büro die Methode für geeignet erklärt, die zweite Hälfte hingegen, wenn sie die Feuertaufe der Praxis bestanden hatte, das heißt, wenn ein Schiff unter Anwendung der vorgeschlagenen Methode tatsächlich von den Britischen Inseln aus einen Hafen in Westindien erreicht hatte, ohne dabei um mehr als den von der Methode versprochenen Betrag vom Kurs abgewichen zu sein.

Die in Aussicht gestellte Summe war die höchste jemals für ein wissenschaftliches Thema ausgesetzte „Zielprämie“. Trotzdem mußten nochmals rund 50 Jahre vergehen, ehe die Astronomie den Navigations-offizieren Papiere und Instrumente in die Hand gab, mit denen sie sicher genug über die Weltmeere segeln konnten; und dieses halbe Jahrhundert war angefüllt mit intensiver Arbeit der unterschiedlichsten Art.

Der Oktant wird geboren

Inzwischen hatte eine neue Entwicklung auf dem Gebiet der Meßinstrumente eingesetzt, die in engem Zusammenhang mit dem in der englischen wissenschaftlichen Welt unablässig diskutierten Problem der Längenmessung stand. Im Mai 1731 informierte nämlich der englische Instrumentenhersteller John Hadley die Royal Society von der Erfindung eines Instruments, das er Spiegeloktant nannte. Noch eine Woche zuvor hatte Edmond Halley, der Nachfolger Flamsteeds an der Sternwarte Greenwich, vor der Königlichen Akademie erklärt, daß es kein Instrument gebe, mit dessen Hilfe man hinlänglich genau die Abstände des Mondes oder der Sonne von anderen Gestirnen auf See bestimmen könne,



Prinzip des Oktanten

Der Beobachter blickt mit seinem Auge A durch ein Fernrohr F auf eine halbverspiegelte Glasplatte S_2 . Der nichtverspiegelte Teil der Platte gestattet die Beobachtung des Horizonts H. Gleichzeitig wird über den Spiegel S_1 durch Drehung eines beweglichen Arms B ein Stern St eingestellt, dessen Licht über den verspiegelten Teil von S_2 ebenfalls in das Fernrohr gelangt. Die Winkelteilung T ist so angelegt, daß die Höhe des Sterns St über dem Horizont in Grad abgelesen werden kann.

und daß er deshalb auch die Methode der „Mondsdistanzen“ im Zusammenhang mit der Längenbestimmung für unbrauchbar halte. Die Koordinaten des Mondes könne man eben nur für solche Momente tatsächlich genau bezeichnen, in denen der Mond einen Stern bedeckt. Offensichtlich veranlaßte diese Äußerung Hadley, sein neues Instrument zu veröffentlichen, obwohl die Arbeiten daran noch nicht ganz abgeschlossen waren.

Der Aufbau des Oktanten erinnert in gewisser Weise an den alten Dreistab oder den auf See gebräuchlichen Jakobsstab, ein mit einer Skala versehenes Holzkreuz, dessen längs verschiebbarer Querstab auf die zu messende Winkeldistanz eingestellt wurde. Jedoch lassen sich die beiden metallenen Schenkel, die einen Sektor von 45° ($\frac{1}{8}$ des Vollkreises, daher der Name Oktant) bilden, gegeneinander verstellen, wobei der eine der beiden Metallstäbe über einen querlaufenden Verbindungsstab geführt wird. Der Teilkreis (Limbus) ist statt in 45° in 90 halbe Grade geteilt, die aber als ganze gezählt werden. Die Grade sind nochmals in Sechstel unterteilt, das heißt in Distanzen von 10 zu $10'$. Um den Zapfen bewegt sich die Alhidade. An ihrem Ende ist ein Nonius angebracht, auf dem jeder Teilstrich schließlich die Ablesung von $10''$ gestattet. Auf einer runden

Scheibe am Ende der Alhidade befindet sich ein senkrechter Planspiegel, dem am Körper des Oktanten ein kleinerer senkrechter Spiegel gegenübersteht. Der kleinere Spiegel unterscheidet sich von dem größeren vor allem dadurch, daß seine obere Hälfte durchsichtig und nur die untere verspiegelt ist. Mittels eines Fernrohrs, das sich auf den halbierten Spiegel so einstellen läßt, daß man gleichzeitig sowohl die durchsichtige als auch die spiegelnde Fläche im Gesichtsfeld hat, wird der kleinere Spiegel betrachtet.

Um nun den Winkelabstand zweier Objekte zu bestimmen, verfährt der Beobachter folgendermaßen: Zunächst bringt er das Gerät in die Ebene, in der die beiden Objekte liegen. Dann richtet er den kleinen Spiegel auf das eine der beiden Objekte und stellt den großen so ein, daß das andere Objekt ebenfalls im Beobachtungsfernrohr erscheint. Hat er beide Objekte im Gesichtsfeld des Fernrohrs zur Deckung gebracht, kann er den Winkelabstand auf der Teilung ablesen. Der Winkel zwischen den beiden Objekten beträgt dann gerade doppelt soviel wie der abgelesene Winkel, weshalb der 45° umfassende Teilkreis in 90° eingeteilt ist, so daß sich zahlenmäßig der richtige Betrag ersehen läßt.

Hadley war sich der großen praktischen Bedeutung seiner Erfindung voll auf bewußt. Deshalb schrieb er im August 1732 einen Brief an die britische Admiralität, in dem er seinen Oktanten für eine Erprobung auf hoher See anbot. Im Beobachten weitgehend ungeübte Seeleute der Yacht „Chatham“ führten das Gerät auf einer ihrer Fahrten mit sich und nahmen insgesamt rund 80 Bestimmungen vor. Die Hälfte davon war nahezu bis auf eine Bogenminute genau. Wenige Jahre später wurde das Prinzip des Hadleyschen Oktanten bereits in einer Druckschrift allgemein bekanntgemacht, und binnen kurzer Zeit verdrängte der Oktant (später auch oft für Messungen von Winkeln bis zu 120° als Sextant) die herkömmlichen primitiveren Meßwerkzeuge.

Die tausendfach bestätigte Bemerkung von Friedrich Engels, daß ein technisches Bedürfnis der Gesellschaft der Wissenschaft mehr voranhilft als zehn Universitäten, erweist sich bei der Erfindung des Oktanten wiederum als zutreffend: Das Instrument wurde nämlich in ganz ähnlicher Weise und fast zu gleicher Zeit auch von anderen Gelehrten und Praktikern erdacht. Im Oktober des Jahres 1730 kam dem amerikanischen Glaser Thomas Godfrey (1704–1749) ebenfalls die Idee eines Winkelmeßwerkzeugs auf der Basis der Doppelreflexion. Da ihm das große Interesse der Engländer an einem solchen Meßgerät bekannt war, bat er einen Freund, seine Erfindung der Royal Society zu übermitteln. Dieser ließ sich jedoch Zeit mit der Ausführung des Freundschaftsdienstes, so daß God-

freys Idee erst nach England drang, als Hadley sich bereits die Priorität gesichert hatte.

Auch Isaac Newton arbeitete offensichtlich an dem Problem. Nachdem Hadleys Erfindung bekannt geworden war, behauptete Halley, daß Newton bereits viel früher denselben Vorschlag gemacht und ebenfalls ein solches Instrument hergestellt hätte. Tatsächlich fanden sich sowohl in den Protokollen der Royal Society als auch in den nachgelassenen Papieren Halleys Belege für seine Behauptung. Vermutlich hatte man aber dieser Idee damals nicht die notwendige Beachtung geschenkt, da die theoretische Lösung des Problems noch nicht weit genug vorangeschritten war.

Ein Fahrplan für den Mond

An den Arbeiten zur Lösung der schwierigen Probleme war kein einziger Gelehrter oder Instrumentenhersteller beteiligt, der nicht eine tiefe Überzeugung von der praktischen Wichtigkeit der Wissenschaften besessen hätte. Das gilt auch für Tobias Mayer (1723–1762), einen gleichermaßen wissenschaftlich wie künstlerisch interessierten jungen Mann, der bereits während seiner Schulzeit eine unüberwindbare Abneigung gegen das Auswendiglernen nutzloser Fakten empfand. Über ihn hat später einer seiner großen Zeitgenossen, Georg Christoph Lichtenberg (1742–1799), geschrieben, daß ihm alles, was er lernte, Bedürfnis gewesen sei und er es deshalb in seiner Wissenschaft weit bringen konnte. „Wenn aber Jemand sich für ein einziges Fach ausbildet, und der ganze Mensch dahin zusammenstimmt, und er nur in so fern Mensch ist, als er dieses ist, dann ist er kein Gelehrter.“* Lichtenberg hat später dieselbe Erkenntnis nochmals kurz formuliert, indem er schrieb, wer nur etwas von Chemie verstehe, verstehe auch die nicht richtig.

Gerade ein solcher Mensch war Tobias Mayer nicht. Ihn interessierten Architektur, Poesie und die schönen Künste ebenso wie die Naturwissenschaften. Wie er über die Aufgabe der Astronomie seiner Zeit dachte, darüber hat er sich bereits als Vierundzwanzigjähriger folgendermaßen geäußert: „Mann weisst allzuwol, dass in der Erdbeschreibung sehr viel, ja das meiste an genauer Bestimmung der Breite und Länge vieler bekannten und merkwürdigen Örter gelegen. Diese zu erhalten ist eine der

* Georg Christoph Lichtenberg's Vermischte Schriften, Bd. 1, Göttingen 1844, S. 290

vornehmsten Absichten der Sternkunst, und diejenige(n), welche sich mit dieser Wissenschaft beschäftigen, haben allzeit grosse Bemühung auf solche Observationen gewendet, woraus die geographische Lage . . . kan(n) hergeleitet werden. Wenige aber haben ihren Fleiss dahin erstreckt, wie sie ihre eigene(n) Observationen zu ihrem Endzweck gehörig anwenden sollten.“*

Bald beschäftigte Tobias Mayer das Problem der Theorie der Mondbewegung, worüber er mit dem berühmten Leonhard Euler (1707–1783), Mitglied der Petersburger Akademie der Wissenschaften, in einen regen Briefwechsel trat. Tatsächlich gelang es ihm, bis zum Jahre 1753 eine bessere Mondtheorie zu entwerfen als der angesehene französische Mathematiker Alexis-Claude Clairaut (1713–1765) und Euler selbst. Er erklärte sogar, daß es ihm binnen kurzer Zeit möglich sei, die Mondörter bis auf eine Bogenminute genau in Tabellen zu fassen. Allerdings waren dazu exaktere Mondbeobachtungen notwendig, so daß Mayer nun auch dieser Seite der Aufgabe erhebliche Aufmerksamkeit zuwendete. Durch präzisere Beobachtungsdaten wollte er dann seine Theorie verbessern und diese schließlich für die Längenbestimmung auf See benutzen. Sorge bereitete ihm lediglich noch die Frage, ob man mit den herkömmlichen Beobachtungsmethoden an Bord eines Schiffes die Mondpositionen genau genug ermitteln könnte.

Da Tobias Mayer die Bedeutung der Messungen für die Erhöhung der Genauigkeit klar erkannt hatte, bemühte er sich, bessere Meßmethoden zu entwickeln. Er erfand zu diesem Zweck ein neuartiges Meßinstrument mit der Fachbezeichnung Repetitionskreis (Wiederholungskreis). Im Prinzip handelt es sich dabei um einen Seequadranten, einen Viertelkreis für Messungen auf See, den Mayer übrigens nur aus einer Beschreibung kannte. Jedoch wurde mit diesem Instrument nach seinem Vorschlag derselbe Winkel wiederholt eingestellt. Dadurch stieg die Genauigkeit der Messung ungefähr um den Faktor 20, nämlich bis auf etwa 10". Allerdings ließen sich derart zuverlässige Resultate nur vom Lande aus erreichen. Der Erfinder selbst bezweifelte die Anwendbarkeit seiner Methode auf dem Meer. Seine Freunde jedoch waren anderer Meinung: Sie rieten ihm, möglichst umgehend die Briten von seinen Mondtabellen und seiner Methode der Distanzmessungen zu informieren, um sich den ausgesetzten Preis oder wenigstens einen erheblichen Teil davon zu sichern. Mayer aber blieb unentschlossen. Da kam eines Tages ein Brief aus Petersburg. Leonhard Euler hatte Mayers Mondtafeln gründlich

* Zit. nach: Eric G. Forbes, Tobias Mayer, in: „ZbGOR“, 16/1970, S. 143f.

studiert und meinte, wenn er nur noch ein Verfahren der genauen Distanzmessung auf See angeben könnte, müßte ihm der Preis des englischen Parlaments sicher sein. Nun stand Mayers Entschluß fest: Er schickte der britischen Admiralität eine Kopie seiner Tabellen und ein Holzmodell seines Repetitionskreises. Die damals in England angefertigten Gutachten fielen durchweg positiv aus, auch der Königliche Astronom – inzwischen James Bradley – äußerte sich begeistert.

Etwa um diese Zeit erfuhr Mayer, daß Hadleys Oktant genau demselben Zweck diene wie sein Wiederholungskreis. Sein Mut sank dahin. Er kümmerte sich fortan nicht mehr um die Angelegenheit und betrachtete sie sozusagen als erledigt, zumal eine offizielle britische Stellungnahme ausblieb. Indessen entwickelte der Kapitän John Campbell aus einer Kombination von Mayers Meßkreis und Hadleys Achtelkreis den noch heute gebräuchlichen Sextanten.

Um den Beginn des Jahres 1762 schickte ein ehemaliger Student Tobias Mayers, Carsten Niebuhr (1733–1815), eine Reihe von Mondstanzmessungen, die er mit Hilfe eines Hadleyschen Oktanten auf dem Meer gemacht hatte, an seinen Lehrer. Die Präzision der Messungen begeisterte Mayer, er schöpfte neuen Mut und veranlaßte, daß sie zusammen mit seinen inzwischen noch verbesserten Mond- und Sonnentabellen wiederum nach England gesandt wurden. Doch das dauerte etliche Zeit, und als die Papiere endlich an Ort und Stelle waren, lebte Mayer nicht mehr.

In London beschäftigte sich der neue Royal Astronomer, Nevil Maskelyne (1732–1811), mit den Materialien. Er hatte schon 1755 die ersten Resultate Mayers begutachtet und diese insbesondere bei einer Reise nach St. Helena zur Beobachtung eines Vorübergangs der Venus vor der Sonnenscheibe (1761) mit Erfolg benutzt.

1765 befaßte sich das Board of Longitude mit den Mayerschen Tafeln: Am 9. Februar tagte die Gruppe von Sachverständigen, zu denen auf Maskelynes Vorschlag auch vier Schiffsoffiziere hinzugezogen wurden. Jeder von ihnen hatte die Tabellen praktisch erprobt und sich ihnen auf hoher See anvertraut. Die Länge hatte sich dabei bis auf 1° genau bestimmen lassen. Als störend empfanden die Beteiligten lediglich die umfangreichen Rechenarbeiten zur Auswertung der Beobachtungen, zu denen selbst ein geübter Rechner wie Maskelyne mitunter bis zu 4 Stunden benötigte. Deshalb schlug Maskelyne vor, diese Rechnungen zu vereinfachen und ein Tabellenwerk zu entwickeln, in dem die erforderlichen Angaben auf der Grundlage der Mayerschen Tabellen bereits enthalten sind. Einer solchen Datensammlung sollte man beispielsweise auch die Werte für Korrekturen, die aus der Strahlenbrechung in der Atmosphäre

oder der Parallaxe des Mondes resultieren, entnehmen können. Das Ergebnis lag binnen kurzem vor: 1766 erschien die erste Ausgabe des berühmten englischen Seefahrtsjahrbuchs, der „Nautical Almanac“, der zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel für alle Seeleute wurde.

Wie beurteilte nun das Längenbüro in London die berechtigten Ansprüche der Witwe Mayers auf einen Teil des vom Parlament ausgesetzten Preises? Die Genauigkeit der Methode bewertete man auf 60 nautische Meilen, so daß nur der niedrigste Satz, nämlich 10 000 Pfund, zu zahlen gewesen wäre, wovon zunächst die Hälfte fällig wurde. Doch auch diese Summe kam nicht zur Auszahlung. Vielmehr beschloß ein Parlamentsausschuß – entgegen der Empfehlung des „Längenbüros“ –, lediglich 3000 Pfund an die Erben des Urhebers zu zahlen und zusätzlich 300 Pfund an Leonhard Euler für dessen Anteil an den theoretischen Grundlagen der Tabellen.

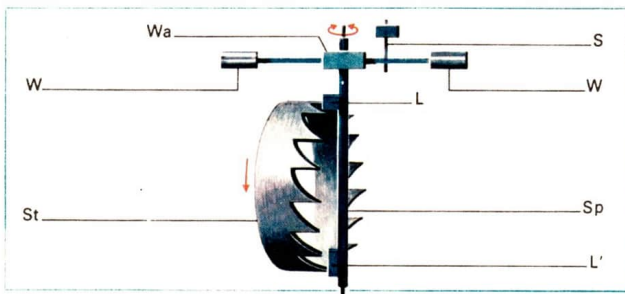
Die von Tobias Mayer im einzelnen bis zur praktischen Anwendbarkeit ausgearbeitete Methode indessen, auf der auch das englische Seefahrtsjahrbuch aufbaute, fand rasch eine weltweite Verbreitung, wie allein aus der hohen Auflage des „Nautical Almanac“ hervorgeht.

Erst im Laufe des 19. Jahrhunderts wurde dann zunehmend auch die andere Methode der Längenbestimmung verwendet, die auf der technischen Entwicklung von genauen Zeitmessern beruht. Zweifellos ist aber diese zweite, unabhängige Entwicklungslinie von denselben Bedürfnissen der Gesellschaft angeregt worden, der wir Sternkataloge, Mondtheorie und Sextanten verdanken.

Pendelschlag der Zeit

Die ersten Räderuhren mit Gewichtsantrieb kamen in Oxford und Paris zu Beginn des 14. Jahrhunderts auf. Damit hielt ein neuartiges Prinzip der Zeitmessung und Zeitbewahrung seinen Einzug in die Geschichte von Wissenschaft und Technik, das nach und nach außerordentliche Bedeutung gewann und schließlich für alle Bereiche der Wissenschaft, aber auch des täglichen Lebens unentbehrlich wurde.

Mechanische Uhren bestehen stets aus einem Antrieb, einem Laufwerk sowie einer Hemmung und einem Gangregler. Der Antrieb sorgt für die Bewegung des Gehwerks, indem er die dazu erforderliche Energie zur Verfügung stellt. Das Laufwerk ist ein Zahnradgetriebe, das die vom Antrieb hervorgerufene Drehbewegung umsetzt.



Prinzip der Spindelhemmung

Wa = Waag, W = Gewichte, S = Schweinsborste, L, L' = Hemmungsglaschen,
St = Steigrad, Sp = Spindel

Die ersten Laufwerke wurden durch Gewichte angetrieben, die jedoch keine gleichmäßige Bewegung der Räder ermöglichen. Um den „Zeitfluß“ einheitlich zu teilen, bedarf es einer in regelmäßigen Abständen einwirkenden Hemmung. Bei der anfangs benutzten einfachen Spindelhemmung sind an einer Spindel zwei sogenannte Spindellappen befestigt, die abwechselnd in das letzte Rad des Laufwerks eingreifen und dessen mechanische Bewegung aufnehmen. Die Bewegungsenergie, die sich dabei auf die Spindel überträgt, versetzt diese und die mit ihr mechanisch verbundenen Teile in eine Drehung, die ihrerseits durch eine Schwingbegrenzung wieder angehalten wird. Mit der Spindel kann sich auch das Räderwerk der Uhr bewegen, und zwar stets so lange, bis einer der Spindellappen erneut zwischen die Zahnräder gelangt und die Bewegung anhält. Damit nun diese Hemmung in einem bestimmten Zeitabstand eintritt, ist die Spindel mit einem Schwingssystem verbunden, der Waag. Die beiden zu diesem Zweck auf der Achse verstellbar befestigten Massen bewirken ein konstantes Trägheitsmoment, durch das eine festgelegte Dauer der Schwingung zustande kommen soll.

Die ersten Hemmungen dieser Art waren noch recht primitiv. Die Schwingbegrenzung bestand beispielsweise lange Zeit hindurch aus Schweinsborsten. Eine bestimmte Energieaufnahme ließ sich natürlich auf diese Weise nicht erreichen. Letztlich stellte die Waag kein schwingungsfähiges Gebilde mit einer konstanten Schwingungsdauer dar. In-

folgedessen konnte der Gang der Uhren nicht befriedigen, und Ungenauigkeiten von 10 Minuten und mehr je Tag mußten in Kauf genommen werden.

Die ersten Räderuhren beschränkten sich keineswegs auf die Anzeige der Stunden. Vielmehr handelte es sich meist um Konstruktionen mit recht komplizierten Werken, die auch den Stand von Sonne und Mond, die Stellung des Sternhimmels, die Kalenderdaten und die Mondphasen abzulesen gestatteten. Auf die künstlerische Gestaltung der Uhren wurde besonderer Wert gelegt. Die astronomischen Räderuhren am Münster zu Strasbourg, am Altstädter Rathaus zu Prag oder in der Marienkirche zu Rostock erregen noch heute Staunen und Bewunderung.

Wegen der außerordentlichen Bedeutung der Hemmung haben alle Uhrenhersteller diesem Problem besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Welches Gewicht man seiner immer besseren technischen Lösung beimaß, erschen wir daran, daß im Laufe der Zeit insgesamt nicht weniger als 250 verschiedene Hemmungsarten erfunden wurden, von denen freilich nur ein sehr kleiner Teil praktische Bedeutung erlangte.

Schon kurz nach 1500 hatte der Nürnberger Peter Henlein (1480–1542) – vermutlich als Nachahmer früherer Uhrmacher – die Taschenuhr mit Federantrieb hergestellt. Statt durch Gewichte wie bei den herkömmlichen Uhren wurde hier die Bewegung durch die Kraft einer gespannten Feder hervorgerufen. Der scharfsinnige und vielseitige englische Gelehrte Robert Hooke (1635–1703) verfiel nun auf den Gedanken, eine Feder zu verwenden, um einen gleichmäßigen Gang der Uhr, das heißt eine regelmäßige Unterbrechung der Drehbewegung der Räder, zu erzielen. Er verband die Hemmung derart starr mit einer spiralförmigen Feder, daß die Drehbewegung die Spannung der Feder bewirkte, die den beweglichen Teil der Hemmung mit derselben Kraft wieder zurückwarf. Diese Erfindung der Unruh erfolgte etwa zwischen 1656 und 1658. In der Auswertung von Erfindungen ganz unerfahren, wandte sich Hooke an seinen Freund Robert Boyle (1627–1691), der die Neuerung dem Präsidenten der Royal Society mitteilte. Hooke wurde nun von Boyle und dem Akademiepräsidenten, die den Wert der Erfindung klar erkannt hatten und sich daraus erhebliche Einnahmen versprachen, aufgefordert, das Patent mit ihnen gemeinsam anzumelden. Die drei „freundschaftlichen Berater“ gingen aber etwas zu weit: Die Einkünfte aus allen Verbesserungen der Erfindung wollten sie sich allein sichern und Hooke dabei ausbooten. Hooke verzichtete unter diesen Umständen auf die Anmeldung seiner Erfindung.

Um die gleiche Zeit, als Hooke die Unruh erdachte, trat der niederlän-

dische Physiker und Mathematiker Christian Huygens mit einer anderen wichtigen Erfindung auf dem Gebiet der Zeitmessung hervor: der Pendeluhr. Im Alter von nur 27 Jahren veröffentlichte er seine Idee in einer weltberühmt gewordenen Schrift unter dem Titel „Horologium“. Ausgangspunkt seiner Erfindung war die unbefriedigende Ganggenauigkeit der seit Jahrhunderten existierenden Räderuhren, die nicht einmal ausreichte, um physikalische Experimente mit ihrer Hilfe exakt auszuführen. Galilei hatte beispielsweise bei seinen Fallversuchen noch mit Wasseruhren gearbeitet – ein anschaulicher Beleg für die Ungenauigkeit der Räderuhren. Andererseits hatte Galilei entdeckt, daß ein Pendel gegebener Länge für kleine Auslenkungen eine konstante Schwingungsdauer besitzt. Man konnte demnach erwarten, daß eine Uhr recht genau laufen würde, wenn man die Räder über ein schwingendes Pendel antrieb. Galilei selbst und sogar schon Leonardo da Vinci (1452–1519) hatten wohl bereits ähnliches im Sinn gehabt, aber nicht verwirklicht. Dennoch wurde Huygens später von vielen Seiten der Vorwurf des Plagiats gemacht, was ihn nicht wenig verdroß.

Die Erfindung der Pendeluhr ließ den Theoretiker und Konstrukteur nicht ruhen. Er suchte auch nach einer Möglichkeit zur Verbesserung der Taschenuhren. Wie schon Hooke, knüpfte er hierbei an die Erfahrungen mit den „Nürnberger Eiern“ des Peter Henlein an und kam rasch auf die gleiche Lösung, die Hooke gefunden hatte: die Unruh. Doch die Hooke'sche Erfindung war ja unbekannt geblieben, und so kommt es, daß mitunter Huygens auch als der Erfinder der Unruh angesehen wird, obwohl er hierin tatsächlich seinem englischen Kollegen zeitlich nachsteht.

Dieses Beispiel zeigt, daß Erfindungen keineswegs zufällig gemacht werden, sondern Ausdruck eines bestimmten Standes gesellschaftlicher und technischer Erfordernisse sind, die sich in den Köpfen der Gelehrten widerspiegeln und dort jene Aktivitäten auslösen, welche dann schließlich zur Realisierung führen. Gerade die Entwicklung der Uhren liefert außerdem einen Beweis dafür, daß geniale Köpfe nur dann ihre Ideen verwirklichen können, wenn diesen Ideen günstige Umstände vorhanden sind und die Entwicklung der Technik das entsprechende Niveau erreicht hat.

Huygens beschäftigte sich nicht aus Spielerei mit den Uhren. Er erkannte vielmehr – ebenso wie Hooke –, daß gut gehende Uhren auf Schiffen ein ausgezeichnetes Hilfsmittel zur Bestimmung der Länge auf See abgaben. Eine von Huygens hergestellte Uhr wurde auch tatsächlich im Jahre 1665 auf eine Reise von den Niederlanden nach Guinea mitgenommen. Sie soll eine recht brauchbare Längenbestimmung ermöglicht

haben. Huygens war jedoch selbstkritisch genug, einzusehen, daß die Uhren erst dann ein zuverlässiges Rüstzeug des Seemanns bilden würden, wenn es gelänge, die Genauigkeit ihres Gangs von unkalkulierbaren äußeren Einflüssen wie Luftfeuchtigkeit und Temperatur oder mechanischen Einwirkungen der Schiffsbewegungen unabhängig zu machen.

Harrison und seine Timekeeper

Weder Huygens noch Hooke lösten das Problem. Dies gelang vielmehr einem Amateur: John Harrison (1693–1776), Sohn eines Landzimmermanns aus Yorkshire, der nebenher die Pflichten des Feldmessers erfüllte und die Uhren in der heimatlichen Gegend reparierte. Wie damals üblich, so begleitete auch John seinen Vater bei dessen Arbeiten und half ihm von Kindesbeinen an. Dabei lernte er manches über die Praxis des Uhrenbaus, ohne jedoch eine systematische Ausbildung zu erhalten. Sein Wissensdurst war aber unstillbar. Da er tagsüber arbeiten mußte, studierte er nachts. Der Pfarrer zu Foulby, dem Wohnort der Familie, hatte ihm ein Manuskript über physikalische Probleme überlassen. Der junge Mann war besessen genug, es einschließlich sämtlicher Zeichnungen in den Nachtstunden zu kopieren, um den Inhalt des Werks ständig zur Verfügung zu haben.

Als Harrison 33 Jahre alt war, versuchte er sich mit dem Bau einer Uhr. Da es ihm an hochwertigem Material mangelte, stellte er die meisten Einzelteile aus Holz her. Die Uhr lief so genau, daß er von verschiedenen Seiten den Rat erhielt, seine Arbeit den maßgeblichen Stellen in London zu zeigen. Auf Anraten des königlichen Astronomen Halley setzte er sich mit dem berühmten Londoner Instrumentenbauer und Mechaniker George Graham in Verbindung. Dieser empfahl ihm, sein Projekt einer Präzisionsschiffsuhr zunächst für sich auszuführen und dann erneut nach London zu kommen, um seine Arbeit der Kommission für die Bestimmung der geographischen Länge auf See einzureichen.

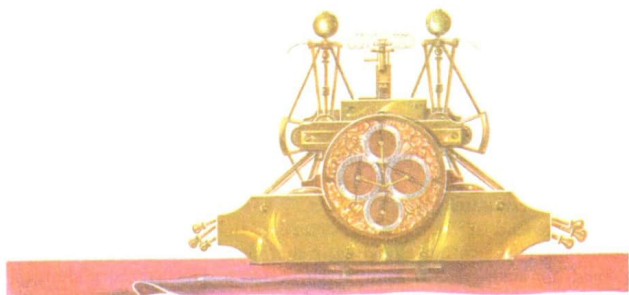
Harrison leistete gründliche Arbeit. Erst nach 8 Jahren stellte er sich erneut in der Metropole vor. Sein Timekeeper wurde probeweise auf eine Seereise nach Lissabon mitgenommen. Die beteiligten Seeleute sprachen ihm einhelliges Lob aus. Auch eine 1739 fertiggestellte neue Uhr fand viel Beifall. Doch Harrison arbeitete immer weiter an der Vervollkommenung seiner Zeitmesser. Wie mühselig er dem Material in zähem Kampf das Maximum seiner Leistungsfähigkeit abrang, zeigt die große Spanne von

10 Jahren, die verging, ehe er wieder mit einem Timekeeper an die Öffentlichkeit trat. Diesmal hatte er eine Ganggenauigkeit von rund 3 Sekunden je Woche erzielt!

Als Harrison nach diesem großen Erfolg die Prinzipien seiner Uhrenmechanik auf die Herstellung von Taschenuhren anwendete, gelang ihm der Bau eines nur 15 cm großen Geräts, das sich auf einer viermonatigen Seereise mit dem hervorragenden Resultat von 115 Sekunden Abweichung bewährte. Diese Zeitabweichung machte den neuen Timekeeper als Schiffsuhr zur Längenbestimmung entsprechend der Forderung des Preisausschreibens von 1714 geeignet. Harrison bewarb sich nun um den vollen Preis des britischen Parlaments. Selbstverständlich wurde auch diesmal die Probe aufs Exempel verlangt, das Ergebnis war jedoch nicht restlos zufriedenstellend. Dies lag zum Teil daran, daß die Gutachter Zweifel an der Genauigkeit der Zeitbestimmung bei Beginn und am Ende der Fahrt hegten.

Harrison war mit dem Urteil über seinen Zeitmesser nicht einverstanden und bat das Board of Longitude um eine zweite Probefahrt. So wurde der Timekeeper Nr. 4 erneut auf die Reise geschickt – diesmal ging es von Portsmouth nach Bridgetown auf der Insel Barbados nahe dem südamerikanischen Kontinent. Der mittlere Fehler bei vier unabhängigen Berechnungen durch vier berühmte britische Kapitäne betrug 39,2 Sekunden, entsprechend einer Längendifferenz von weniger als 10 nautischen Meilen. Damit hatte Harrison Anspruch auf die volle Höhe des vom Parlament ausgesetzten Preises. Ähnlich wie bei Mayer vertrat das Längenbüro jedoch auch bei ihm die Ansicht, daß er wohl eine anwendbare, aber nicht zugleich eine allgemein nutzbare Methode vorgelegt hätte. Dazu wäre es notwendig gewesen, die Konstruktionsgrundsätze mit sämtlichen Einzelheiten zu veröffentlichen, so daß die Uhren in Massenproduktion mit der gleichen Qualität wie die Muster der „Nullserie“ hätten hergestellt werden können. Das Büro entschloß sich daher, an den Erfinder nur die Hälfte des höchsten Prämiensatzes, nämlich 10000 Pfund, auszuzahlen. Harrison übergab nun alle vier Timekeeper und die dazugehörigen Unterlagen.

Nach den Mustern und den Angaben des Erfinders begann der Uhrmacher Larcum Kendall Uhren nachzubauen. Hierbei bestätigten sich Harrisons Grundsätze noch besser als erwartet: Schon die erste von Kendall gefertigte Uhr zeigte einen noch genaueren Gang als die Originale. Kapitän James Cook führte die Kendallsche Uhr von 1772 auf seiner zweiten Weltreise mit, wobei sie ihre vorzüglichen Eigenschaften bewies. Es war offensichtlich, daß Harrison auch die zweite Hälfte des mehr als



Harrisons Timekeeper Nr. 1

ein halbes Jahrhundert zuvor ausgesetzten Preises redlich verdient hatte. Dennoch bedurfte es einer Intervention von König Georg III. (1738–1820), um dieses Recht 1773 endlich durchzusetzen. Der Erfinder war inzwischen hochbetagt und starb 3 Jahre darauf. Sein Platz in der Geschichte als ein Begründer und Meister der Präzisionschronometrie ist bis heute unbestritten.

Harrisons Leistungen wären von sehr begrenzter Wirksamkeit geblieben, hätte er nicht noch im hohen Alter seine wertvollen Ideen und Erfahrungen in einer ausführlichen Veröffentlichung niedergelegt. Das ermöglichte es den Uhrmachern überall in der Welt, ebensolche Uhren zu bauen, sofern sie die dazu erforderlichen Materialien und das notwendige Geschick besaßen. Erst durch diese Veröffentlichung machte der Erfinder sein Lebenswerk wirklich allgemein nützlich – in einem viel weiteren Sinn, als es das Parlament mit seinem Beschluß einst bezweckt hatte.

Um einen Begriff von den Schwierigkeiten bei der Herstellung guter Schiffschronometer zu vermitteln, seien nur einige der von Harrison und späteren bedeutenden Uhrmachern gelösten technischen Probleme skizziert:

Damit die Uhren gleichmäßig gehen, ist es erforderlich, die Unruh möglichst völlig frei schwingen zu lassen. Die durch Reibungskräfte verlorene Energie muß jedoch wieder ersetzt werden. Je kürzer der Augenblick dieser Energieübertragung, also eines eigentlich unerwünschten Eingriffs in das empfindliche schwingungsfähige Gebilde, desto besser. Um dies zu erreichen, haben viele Uhrmacher die Zahl der Schwin-

gungen recht groß gewählt (bis zu 5 Schlägen je Sekunde); das macht die Unruh gleichzeitig noch weniger abhängig von äußeren Bewegungen. Demselben Zweck dient auch ihr Ausbau zu einem kräftig schwingenden System, was sich dadurch erreichen läßt, daß man ihre Masse durch zwei zylindrische Gewichte vergrößert, die sich an den beiden Enden ihres Durchmessers befinden.

Die starken und langen Spiralfedern werden oft nicht aus Stahl, sondern aus gehämmertem Gold gefertigt, um ein Rosten dieses funktionswichtigen Bestandteils zu verhindern.

Entscheidend ist verständlicherweise ein Minimum an Reibung. Diese Forderung läßt sich nur einhalten, wenn alle reibenden Teile aus weitgehend abnutzungsfreien Materialien bestehen. Höchste Sorgfalt muß daher dem eigentlichen Triebwerk der Uhr gelten. Gehärteter Stahl, poliert bis an die Grenze des technisch Möglichen, ist gerade der rechte Werkstoff für solche Teile. Das zur weiteren Verminderung der Reibung eingesetzte Öl muß besonderen Reinheitskriterien genügen. Harrison und seine Zeitgenossen benutzten hierzu bestes ungepreßtes Öl reifer Oliven.

Um den Einfluß der Temperatur weitgehend auszuschalten, führte Harrison das Prinzip der Kompensation ein: An der Unruh der Uhr werden zwei kleine Gewichte angebracht, die bei Erwärmung dem Zentrum näher rücken und dadurch die infolge der Temperaturänderung verlangsamte Schwingung der Unruh wieder beschleunigen.

Nach Harrison erzielten die Hersteller präziser Uhren in den technisch fortgeschrittenen Ländern Frankreich und Dänemark, aber auch in Deutschland glänzende Erfolge. In England bildete sich eine ganze Schule von hervorragenden Uhrmachern. Noch heute begegnet man den ausgezeichneten Erzeugnissen von Arnold, Mudge, Emery (London), Seifert (Dresden), Jürgensen (Kopenhagen) und Breguet (Paris) in allen großen Museen der Welt.

Kundendienst für Kapitäne

Die Kapitäne gewöhnten sich rasch an den Umgang mit den neuen Produkten von Forscher- und Erfindergeist. Doch sie benötigten – ehe sie ihre Fahrten antraten – die genaue Zeit. Im Prinzip hätten sie die Sternwarte ihres Landes aufsuchen und dort ihre Uhren nach den Präzisionsbeobachtungen der »Landratten« stellen können.

Die Männer auf der Sternwarte Greenwich fanden einen einfacheren Weg. Dieses Institut der Himmelsforschung hatte seinen gesellschaftlichen Auftrag durchaus nicht aus den Augen verloren. Der jährlich erscheinende »Nautical Almanac« war der beste Beweis dafür. An den Tabellen wurde ständig gerechnet, und die meisten Seefahrer der Welt benutzten dieses vortreffliche Hilfsmittel, obwohl auch andere Länder inzwischen ähnliche „Schifferbibeln“ herausgaben.

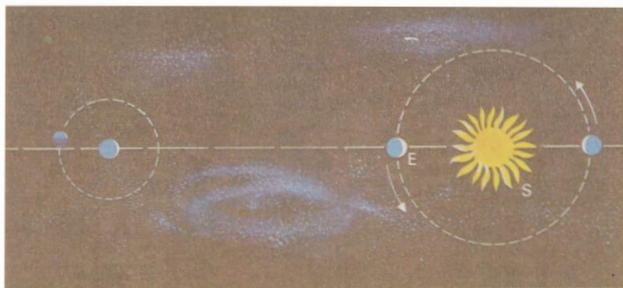
Unter dem sechsten Königlichen Astronomen, John Pond (1767–1836), wurde die Sternwarte Greenwich um ein weithin sichtbares, rotleuchtendes Attribut bereichert, das vom Dach des alten Flamsteed-Hauses heruntergrüßte. Dabei handelte es sich nicht um einen architektonischen Schmuck, sondern um eine sehr nützliche Einrichtung: Der rote Ball läßt sich nämlich von der unweit vorüberfließenden Themse aus gut beobachten, und den Grund für seine Montage bildete das Bedürfnis der Kapitäne nach genauer, das heißt astronomisch bestimmter Zeit. Täglich 12.55 Uhr wurde der „Timeball“ aufgezogen, so daß die Schiffer auf das optische Zeitzeichen vorbereitet waren. Punkt 13 Uhr fiel der Ball in seine alte Stellung zurück. Dies war für die Seeleute quasi der „letzte Ton des Zeitzeichens“. Mit präzise eingestellten Uhren fuhren sie dann hinaus auf die Weltmeere, sicher geschützt vor Umwegen durch Fehlnavigation.

Der wissenschaftliche Aufwand für die Dienstleistung war freilich nicht gering. Während Mayer, Hadley und Harrison an der Lösung der Längenbestimmung arbeiteten, blieben auch die Instrumentenbauer auf den Sternwarten nicht untätig. Neuartige Präzisionsinstrumente waren erdacht und angewendet worden, mit denen man Sternörter am Himmel weit genauer bestimmen konnte als je zuvor und die sich auch hervorragend zur Zeitbestimmung eigneten.

Für die genaue Ermittlung des Zeitpunkts, zu dem ein Stern durch den Meridian eines Ortes läuft, benötigt man Instrumente, die selbst mit aller erdenkbaren Präzision im Meridian aufgestellt sind. Je mehr Drehachsen jedoch ein Instrument hat, desto schwieriger wird es, die Lage dieser Achsen gegeneinander in einer genau festgelegten Stellung zu halten. Am einfachsten ist dies möglich, wenn das Instrument nur eine einzige Achse besitzt, um die man es drehen kann. Aus dieser Erkenntnis heraus hatte bereits Tycho Brahe, der große dänische Beobachter, auf der Inselsternwarte im Sund am Ende des 16. Jahrhunderts seine Mauerquadranten errichtet. Doch inzwischen stand das Fernrohr zur Verfügung, das sich als Visierinstrument zum Einstellen auf Richtungen benutzen läßt. Die Richtungen selbst werden an den Teilkreisen abgelesen, die gleichsam den Hauptbestandteil der Quadranten bilden.

Die Sternwarte in Greenwich war von Anbeginn mit hervorragenden Mauerquadranten ausgestattet. Schon der erste Direktor, Flamsteed, beobachtete 31 Jahre hindurch mit einem Mauerquadranten. Vortreffliche Qualität besaßen auch die beiden Quadranten der englischen Meister George Graham und John Bird (1709–1776), die 1725 und 1750 aufgestellt wurden. Diese Instrumente waren an einer genau nach Süden ausgerichteten Mauer befestigt und dienten zur Präzisionsbestimmung sowie zur Anfertigung genauer Sternkarten. Sie stellten Vorläufer eines Instrumententyps dar, der bis heute für diesen Aufgabenbereich der Forschung nicht mehr wesentlich verbessert werden konnte – des Meridiankreises.

Die grundlegende Idee zu diesem klassischen Instrument der Positions-astronomie stammt von dem dänischen Astronomen Ole Rømer (1644–1710). Er hatte lange Jahre als Schüler und Mitarbeiter des berühmten Astronomen Giovanni Cassini (1625–1712) an der Sternwarte der Französischen Akademie der Wissenschaften in Paris gewirkt. Später leitete er die Sternwarte in Kopenhagen und war gleichzeitig Bürgermeister dieser Stadt. Rømer wurde vor allem dadurch berühmt, daß er zum erstenmal die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts bestimmte, die bis dahin für unendlich groß galt. Diese wichtige Entdeckung hängt auf das engste mit der Rolle zusammen, die damals die Verfinsterungen der Jupitermonde für die geographische Längenbestimmung spielten. Cassini und Rømer beobachteten deshalb das Wechselspiel der Jupitermonde sehr eingehend und stellten dabei „Unpünktlichkeiten“ fest. Je nach der Jahresperiode traten die Verfinsterungen bald zu früh, bald zu spät ein. Rømer führte dieses Geschehen wegen seiner strengen Bindung an die Zeit eines Erdumlaufs um die Sonne jedoch nicht – wie andere Forscher – auf Unregelmäßigkeiten der Bewegung dieser Trabanten zurück, sondern darauf, daß der Lichtstrahl, der von der Erscheinung Kunde bringt, unterschiedlich lange Strecken zurücklegen muß, je nachdem, ob sich die Erde gerade auf den Jupiter zu oder von ihm weg bewegt. Im ersten Fall verkürzt sich der Abstand zwischen Jupitermond und Erde von Verfinsterung zu Verfinsterung, so daß es verständlich schien, wenn sich die Verfinsterungen „verfrühten“. Im zweiten Fall ließen sich die beobachteten „Verspätungen“ auf dieselbe Weise erklären. Beim Bestimmen der Lichtgeschwindigkeit ging Rømer nun von dem einfachen Gedanken aus, daß der Lichtstrahl den Durchmesser der Erdbahn genau in der Zeit durchheilt, die der größten Differenz zwischen „Verfrühung“ und „Verspätung“ der Verfinsterungen entspricht. So fand er mit 225 309 km/s einen zwar etwas zu kleinen, aber doch größenord-



Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit nach Rømer

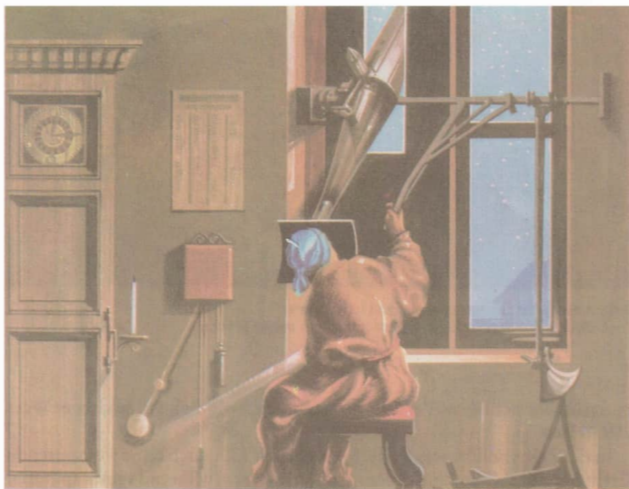
E = Erdbahn, S = Sonne; links Jupiter mit einem seiner Monde

nungsmäßig richtigen Wert für die Lichtgeschwindigkeit (moderner Wert 299 793 km/s).

In die Zeit von Rømers Pariser Aufenthalt fällt auch seine wegweisende Erfindung der „Machina domestica“, die er erst während seines späteren Wirkens in Kopenhagen ausführte. Die Horizontalachse dieses Instruments liegt genau in der Ost-West-Richtung. Das Beobachtungsfernrohr läßt sich lediglich in der Meridianebene bewegen. Zu dem Gerät gehört als wesentliche Neuerung noch ein fester Teilkreis, der aber nicht unmittelbar mit ihm verbunden ist und auf dem die Position des Fernrohrs mit Hilfe eines Mikroskops abgelesen werden kann.

Ein zweites von Rømer erdachtes Instrument stellt praktisch das Vorbild des modernen Meridiankreises dar. Sein Erfinder nannte es „Rota meridiana“. Die Drehachse wird dabei auf zwei Pfeilern gelagert. Statt Viertel- oder Sechstelkreisen ist hier erstmals ein Vollkreis eingesetzt. Dadurch lassen sich die Ablesefehler und die Einflüsse von Temperatur und Feuchtigkeit auf den Teilkreis weitgehend ausschalten.

Lediglich der Tatsache, daß man die Kreise nicht genau genug zu teilen vermochte, ist es zuzuschreiben, daß sich die genialen Ideen Rømers einstweilen noch nicht durchsetzten und daß der Mauerquadrant für längere Zeit der Favorit der Himmelsmesser blieb. Dies änderte sich jedoch grundlegend, als der Engländer Jesse Ramsden (1735–1800) 1773 eine Kreisteilmachine erfand, mit der das leidige Problem der gleichmäßigen Unterteilung der Kreise befriedigend gelöst wurde. Diese Teilmaschine,



Ole Rømer bei einer Meridianbeobachtung

Ergebnis einer zehnjährigen intensiven Entwicklungsarbeit, bestand aus einem großen metallenen Rad von über einem Meter Durchmesser, in dessen Rand 2160 Zähne eingelassen waren. Mit einem Pedal bewegte man den Kreis über eine endlose Schraube jeweils um ein konstantes Intervall weiter. Um einen Kreis zu teilen, wurde dieser mit dem „Mutterteil“ der Maschine starr verbunden. Eine spezielle Stahlnadel diente zum Anbringen der feinen Ritzungen. Mit Hilfe dieser Maschine ließen sich Teilungen bis zu 10'' Abstand vornehmen. Die ausgeklügelte Zahnteilung ermöglichte eine von keinem „Handteiler“ jemals erreichte Genauigkeit in der Teilung von Kreisen. Nach dem Muster von Ramsdens Teilmaschine wurden später ähnliche und bessere Maschinen hergestellt, die in Verbindung mit der Grundidee der Rømerschen Meridiankreise zu einer kaum noch überbietbaren Präzision im Bestimmen der Positionen von Sternen führten.

Hiermit war zugleich die Möglichkeit genauer Zeitbestimmungen ge-

geben, da die Spanne zwischen zwei hintereinander erfolgenden Durchgängen desselben Sterns durch die Südrichtung der Dauer eines Sterntags entspricht. Kennt man nun die Position eines Sterns im Koordinatensystem des Himmels (Äquatorsystem) genau, so kann man unmittelbar aus dem Zeitpunkt des Durchgangs dieses Sterns durch die Südlinie des Beobachtungsortes die Sternzeit ablesen. Die Zeitbewahrung geschieht mittels genau gehender Uhren, die aber ständig durch die Beobachtungen an der Himmelsuhr kontrolliert werden müssen. Die mittlere Sonnenzeit, die für die tägliche Praxis Bedeutung hat, läßt sich ebenfalls daraus ableiten – vorausgesetzt, die Theorie der Sonnenbewegung ist bekannt. Selbstverständlich kann man diese Theorie nur beherrschen, wenn man auch die Sonne selbst über sehr lange Zeit sorgfältigst beobachtet. Erst dadurch wird es überhaupt möglich, den Nullpunkt des äquatorialen Koordinatensystems ausfindig zu machen. Für die Praxis der Zeitbestimmung ist es aber einfacher, die Sterne am nächtlichen Himmel zu beobachten und die Sternzeit zu bestimmen, da die Beobachtung der Sonnenposition aus verschiedenen Gründen Schwierigkeiten bereitet.

Ersichtlich bedarf es einer ständigen systematischen Präzisionsarbeit von Beobachtern und Theoretikern, um die Zeit zu „machen“. Und diese Zeit stellen dann die Sternwarten der Öffentlichkeit für praktische Zwecke zur Verfügung. Anfangs war das – wie wir gesehen haben – hauptsächlich für die Seefahrt von Interesse. Die ansonsten von der Gesellschaft benötigte Zeit brauchte bis ins 19. Jahrhundert hinein noch nicht unbedingt „Sternwartenqualität“ aufzuweisen. Vielmehr reichte es durchaus, wenn ortsansässige Spezialisten die Zeit mittels Sonnenuhren bestimmten und die öffentlichen Uhren danach gestellt wurden.

Dies änderte sich jedoch mit der zunehmenden Geschwindigkeit der Verkehrsmittel.

Im Jahre 1825 dampfte erstmals eine Lokomotive von Stockton nach Darlington im Norden Mittelenglands. 10 Jahre später hatte auch das noch zersplitterte Deutschland seine erste Eisenbahnlinie von Nürnberg nach Fürth. Die außerordentlich große Bedeutung der Eisenbahnen für die Entwicklung des Kapitalismus geht bereits aus dem raschen Anwachsen des Streckennetzes hervor. In Deutschland stieg die Länge der Eisenbahnlinien von etwas über 2000 km im Jahre 1845 auf nahezu 8000 km im Jahre 1855. Der politische Zusammenschluß bei der Reichsgründung 1871 verbesserte die Bedingungen für diese Entwicklung noch erheblich, so daß Deutschland etwa 20 Jahre später schon über ein Streckennetz von über 30 000 km verfügte. Ähnliches vollzog sich in allen fortgeschrittenen kapitalistischen Staaten.

Damals gewann die Zeit größte Bedeutung für die gesamte Gesellschaft. Wie sollte das rasche Beförderungsmittel Eisenbahn funktionieren, wenn die Uhren jeder Ortschaft ihre individuelle Zeit anzeigten? Man mußte sich auf eine verbindliche Zeit einigen, die möglichst für das ganze Land oder wenigstens für große Teile davon Gültigkeit hatte. Auch diesmal reagierte England besonders rasch. Kaum ein Vierteljahrhundert nachdem die erste Lok über die Schienenstränge „gekrochen“ war, wurde in Großbritannien eine Eisenbahnzeit (Railway Time) eingeführt. Wie nicht anders zu erwarten, war sie mit der Ortszeit von Greenwich identisch. Günstig wirkte sich bei der Einführung der einheitlichen Zeit die Tatsache aus, daß die Erfindung des Telegrafen es ermöglichte, die Zeitsignale unabhängig von optischen Signalen, die – wie der Zeitball – nur eine sehr begrenzte Reichweite besitzen, zu verbreiten und somit die Zeit überall zur Verfügung zu stellen, wo man sie benötigte. Im Jahre 1880 wurde die Mittlere Greenwicher Zeit die offizielle Zeit für ganz Großbritannien.

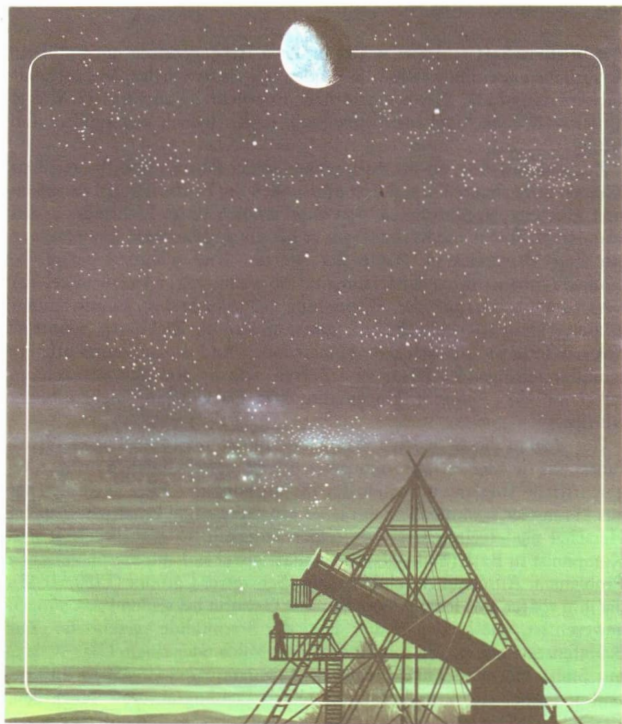
Da die Verflechtung der verschiedenen Staaten untereinander immer mehr zunahm, erschien es zweckmäßig, ein allgemein anerkanntes internationales System von Zeitzonen zu schaffen. Auch dieses System mußte auf irgendeinen Meridian bezogen werden. Im Jahre 1884 trafen in Washington (USA) Vertreter aller entwickelten kapitalistischen Staaten zusammen, um über dieses Problem zu beraten. Nach langen Debatten einigte man sich schließlich auf den inzwischen schon legendär gewordenen Meridian, der durch die Sternwarte Greenwich verläuft. Seit dieser Zeit werden alle geographischen Längenangaben international auf die Länge von Greenwich bezogen. Der durch Greenwich verlaufende Meridian gilt als Längengrad Null. Orte westlich von Greenwich haben demnach westliche Länge, Orte östlich davon östliche Länge.

Nach dieser Vereinbarung lag es nahe, auch das internationale Zeitzonensystem auf den Meridian von Greenwich zu beziehen. Die mittlere Sonnenzeit von Greenwich (Greenwich Mean Time, GMT) gilt daher bis heute als Weltzeit. Die gesamte Erde wurde in Zeitzonen von jeweils 15° Längenunterschied eingeteilt. 7,5° östlich und westlich von Greenwich sollte die GMT als verbindliche Zeit gelten. Für Orte bis 15° östlich der dadurch gegebenen Zonenzeitgrenze sollten die Uhren demgemäß gegenüber der GMT eine Stunde vor-, für Orte bis 15° westlich davon eine Stunde nachgehen. Aus Zweckmäßigkeitsgründen wählte man allerdings nicht genau die Längengrade als Begrenzung der Zeitzonen, sondern die nächstgelegene Landesgrenze. In Deutschland wurde die Zonenzeit im Jahre 1893 gesetzlich eingeführt. Sie wurde als die mittlere Ortszeit des

Meridians 15° östlicher Länge, der durch Görlitz verläuft, definiert und als mitteleuropäische Zeit (MEZ) bezeichnet.

Heute, da die wirtschaftlichen Beziehungen zwischen den Staaten, zum Beispiel durch intensive Integrationsprozesse im Rahmen von RGW und anderen Wirtschaftsvereinigungen, immer enger werden, hat es sich jedoch als zweckmäßig erwiesen, diese starre Bindung an die durch den Stand der mittleren Sonne gegebenen Zeitzonen teilweise zu lockern und weitere Vereinheitlichungen vorzunehmen.

Vorstoß in die Tiefen des Raums



Mit Eisenblech und Holzgerüst

Die Wissenschaft schreitet weder in ihren Erkenntnissen noch in ihren Ansprüchen geradlinig voran. So finden wir sie lediglich später in Lehrbüchern dargestellt. Ihre geschichtliche Entwicklung aber ist stets widerspruchsvoll, manchmal sogar unlogisch, immer jedoch vielgestaltig und farbig.

Zur gleichen Zeit, als die Astronomen in der Positionsforschung all ihr Können aufwendeten, um durch Messungen die Entfernungen der nächsten Fixsterne zu bestimmen, und dann endlich einige Lichtjahre in den kosmischen Raum vordrangen, gab es bereits angestrengte Bemühungen um Fernerliegendes im Sinne des Wortes. Und während einige Instrumentenbauer ihren Scharfsinn und die gesammelten Erfahrungen der Glasmacherkunst auf die Herstellung achromatischer Linsen immer größerer Dimensionen richteten, sahen andere ihr Ziel darin, neuartige Spiegelteleskope mit solchen Abmessungen und so außerordentlicher raumdurchdringender Kraft zu schaffen, wie sie von den Refraktoren selbst auf dem späteren Höhepunkt ihrer Entwicklung nicht erreicht wurden.

Der Beginn dieser bedeutenden Phase in der Instrumentengeschichte führt uns wieder in das ökonomisch und gesellschaftlich weit fortgeschrittene England am Ende des 18. Jahrhunderts. Hier hatte sich der aus Hannover stammende Sohn einer Musikerfamilie Friedrich Wilhelm Herschel niedergelassen. Neben seiner Tätigkeit als Kapellmeister und Komponist in Bath (Südengland) beschäftigte er sich mit astronomischen Problemen. Anschaulich schildert seine Schwester Caroline (1750–1848), die ihm später eine lebenslängliche treue Gehilfin bei seinen Forschungen gewesen ist, wie er sich immer mehr der Sternkunde verschrieb: „Zur Schlafenszeit zog er sich mit einer Schale Milch oder einem Glas Wasser mit Smith Harmonics und Fergusons Astronomy und ähnlichem zurück, und er schlief ein, begraben unter seinen Lieblingsautoren. Nach dem Erwachen waren seine ersten Gedanken, wie er zu Instrumenten kommen



Friedrich Wilhelm Herschel

könne, um selber die Objekte betrachten zu können, von denen er gelesen hatte.“*

Die finanzielle Lage des damals vierunddreißigjährigen von der Astronomie begeisterten Mannes gestattete es ihm nicht, die sehr teuren Instrumente zu kaufen. So machte er aus der Not eine ruhmbringende Tugend und begann selbst mit der Herstellung von Instrumenten. Zunächst fehlte es ihm vor allem an Erfahrung. Sie war nur durch beharrliches Arbeiten zu erlangen. Herschel besaß sehr viel Zähigkeit. Er experimentierte mit den verschiedensten Metallegierungen, schliff und polierte, verglich und verwarf, bis er einen geeigneten Spiegel zustande gebracht hatte.

Da es weder eine optische Methode zum Prüfen der Qualität der Spiegel gab noch allgemeingültige Rezepturen für die Auswahl und Herstellung der Legierungen, die wiederum für unterschiedliche Dimensionen der Spiegel verschieden beschaffen sein mußten, galt es, durch Probieren die besten Möglichkeiten herauszufinden. Praktisch bedeutete das, große Mengen von Spiegeln anzufertigen und davon die besten auszuwählen. Erst viel später konnten diese Erfahrungen verallgemeinert und zu „Rezepten“ verdichtet werden, kommenden Generationen zum Nutzen. Herschel wirkte bahnbrechend auf diesem schwierigen Gebiet. Noch heute findet man in vielen Museen der Welt seine Spiegel. Von Herschels eigenen Aussagen wissen wir, daß er einmal während eines Zeitraums von

* Zit. nach: Rolf Rickher, Fernrohre und ihre Meister, VEB Verlag Technik, Berlin 1957, S. 130

etwa 7 Jahren durchschnittlich in jeder Woche einen Spiegel angefertigt hat. Um zu veranschaulichen, welche großen körperlichen Anstrengungen das kostete, sei erwähnt, daß er alle Spiegel mit der Hand herstellte.

Herschel war wohl die letzte große geschichtliche Persönlichkeit der Astronomie, die den Instrumentenhersteller und den Sternforscher auf gleich hohem Niveau in sich vereinte. Sowenig sich seine Forschungsergebnisse ohne die von ihm gefertigten Fernrohre denken lassen, sowenig wären diese entwickelt und gebaut worden, wenn nicht die Leidenschaft des Forschers ihn zu immer neuen und kühneren Projekten angespornt hätte. Als er am 13. März 1781 mit einem relativ kleinen Spiegelteleskop von nur rund 16 cm Öffnung den Planeten Uranus entdeckt hatte, stand für ihn fest, daß er sich künftig ausschließlich und mit ganzem Einsatz seiner Person der Erforschung des Weltalls widmen würde.

Vor allem mangelte es an größeren Teleskopen. Doch um sie zu bauen, benötigte Herschel mehr finanzielle Unabhängigkeit, zumal wenn er seine Musikerstelle als Einnahmequelle aufgab. Eine Möglichkeit bot sich, als er sein Fernrohr dem englischen König Georg III. vorgeführt hatte und dieser ihn zum Königlichen Astronomen ernannte. Das Jahresgehalt sollte zwar nur 200 Pfund betragen, dafür bestand aber seine einzige Verpflichtung darin, die Königsfamilie gelegentlich sachkundig bei einem optischen Spaziergang am Himmel zu begleiten. In seiner Begeisterung nahm Herschel das Angebot an, das ihm für Instrumentenbau und Forschung genügend Zeit ließ. Da sich außerdem zahlreiche Wissenschaftler aus aller Welt für seine Spiegelfernrohre interessierten, konnte er die Forschungsprojekte aus zusätzlichen Einnahmen finanzieren. Herschel-Teleskope wurden auf Bestellung nach Deutschland, Rußland und Spanien geliefert. Es handelte sich meist um relativ kleine Instrumente mit Brennweiten von etwa 3 m. Das Rohr (Tubus) und das Gestell bestanden aus Holz.

Herschels Fernrohre besaßen ausgezeichnete Qualität und überragten in dieser Hinsicht sogar die Produkte der englischen „Berufskünstler“ jener Zeit. Der bekannte Astrooptiker Hugo Schröder, dessen Optiken und Instrumente an der Wende zum 20. Jahrhundert in vielen Sternwarten zu finden waren, hat die Spiegel Herschels mit Hilfe moderner Prüfmethoden untersucht. Hier sein Bericht über eines dieser Objekte: „Ich habe über 40 Jahre viele Instrumente unter Händen gehabt, aber in Präzision der Gestalt des Spiegels wenige gefunden, welche ihm gleich waren, und nur sehr wenige, welche ihn merkbar überragten.“*

* Zit. nach: „Die Sterne“, 38/1962, S. 73

Auch die schwierigen Probleme einer geeigneten Legierung für die Herstellung der Spiegel hatte Herschel offenkundig hervorragend gelöst. Zumeist verwendete er Bronzelegierungen. Diese ließen sich besonders günstig gießen und bearbeiten. Das Reflexionsvermögen ist allerdings verhältnismäßig gering: Es beträgt nur etwa 40 Prozent im Spektralbereich des sichtbaren Lichts. 1822 schloß man einige dieser Spiegel in Metalldosen ein und verlötete die Dosen. Über 100 Jahre später wurden sie geöffnet – die Spiegel erstrahlten noch immer im alten Glanz ihrer Politur!

Sowohl für die astronomische Forschung als auch für die Technik der Instrumentenherstellung hatten mehrere Großgeräte Herschels eine herausragende Bedeutung: namentlich das Spitzeninstrument von 1787 mit 40 Fuß Brennweite.

Das erste Großinstrument wies einen Spiegel von 47,5 cm Durchmesser und 6 m Brennweite auf. Wie bei den kleineren Geräten bestand auch hier der Tubus aus Holz, und das gesamte Werkzeug war in einem Balkengerüst montiert. Mit Hilfe von Flaschenzügen ließ sich die Höhe verändern, während die seitliche Bewegung durch Rollen ermöglicht wurde, auf denen das Gestell drehbar ruhte. Bei dem Strahlengang folgte Herschel dem Prinzip von Newton, indem er einen um 45° gegen die optische Achse geneigten Planspiegel in den Strahlengang brachte, der das Lichtbündel noch vor Erreichen des Brennpunkts seitlich am vorderen Ende des Rohrs ins Okular lenkte.

Herschel war so gespannt auf den Anblick des Himmels, den dieses Riesenfernrohr bot, daß er es bereits vor der Vollendung zu benutzen begann. Da die Beobachtergalerie noch fehlte, begab er sich auf einen schwankenden Balken. Der „Arbeitsschutz“ war natürlich ganz ungenügend. In einer stürmischen Nacht bewahrte ihn lediglich ein glücklicher Zufall vor schwerem Schaden. Unmittelbar nachdem er seinen Posten einige Meter über dem Erdboden verlassen hatte, stürzte das gesamte Gerüst in sich zusammen. Auch später war das Beobachten mit diesem großen Teleskop nie ganz ungefährlich.

Mit dem Instrument von 20 Fuß Brennweite vollendete Herschel eine seiner berühmtesten Arbeiten, die Durchmusterung des Himmels, die dem Ziel diente, die Struktur des Sternsystems aufzuklären. Der Erfolg dieses wichtigen, wenn auch äußerst anstrengenden und aufwendigen Beobachtungsunternehmens ermutigte ihn zum Bau eines noch gewaltigeren Teleskops. Der Spiegel sollte mit 122 cm Durchmesser mehr als doppelt so groß werden wie der des Vorläufers, und die Brennweite war auf 12 m veranschlagt. Im Jahre 1785 versprach der König einen

Zuschuß von 2000 Pfund. Erst daraufhin vermochte der Astronom mit dem kühnen Vorhaben zu beginnen.

Das gesamte Instrument wurde von Herschel erdacht, im einzelnen entworfen und so gezeichnet, daß er die Ausführung zum Teil ungelerten Hilfskräften überlassen konnte.

Als erstes nahm man die Herstellung des großen Holzgerüsts in Angriff. Herschel beschäftigte hierbei zeitweise bis zu 40 Arbeiter.

Zugleich begannen die Arbeiten an dem Riesenspiegel. Herschel führte die Aufsicht über den Guß sowie über das anschließende Schleifen und Polieren. Doch dieses große Werk gelang nicht auf Anhieb. Der erste Spiegel war wegen eines Versehens des Gießers an einer Stelle zu dünn geraten, so daß es Schwierigkeiten bereitet hätte, ihm die richtige Form zu geben. Knapp ein Jahr später wurde ein zweiter Guß versucht; er scheiterte, weil der Spiegelkörper beim Abkühlen zersprang. Erst der dritte Guß gelang zufriedenstellend. Vom Februar bis zum Herbst 1788 zogen sich die Arbeiten des Schleifens und Polierens hin.

Der Spiegel hatte die beachtliche Masse von 1000 kg, war 9 cm dick und besaß 122 cm Durchmesser. Herschel ließ ihn im Tubus montieren, um seine Qualität zu überprüfen. Bei der Beobachtung des Saturns fand er auf Anhieb einen sechsten Mond dieses Planeten. Den Tag der Entdeckung – es war der 27. August 1789 – betrachtete er fortan als das Datum der Vollendung des Instruments.

Neuartig war die technische Lösung bei der Herstellung des Tubus: Es handelte sich hierbei um eine gewaltige Röhre aus Metall. Herschel hatte nämlich berechnet, daß ein Holztubus rund 1,5 t schwerer ausgefallen wäre, von der geringen Beständigkeit gegen Wind und Wetter ganz zu schweigen. Als Material diente gewalztes, nahtlos verbundenes Eisenblech. Diese Methode war damals in England bei der Herstellung von Öfen üblich. Um die gewaltige Platte zusammenzufügen, wurden die parallel geschnittenen Ränder auf eine hohle Rinne gelegt, wie man sie auch zum Runden der Brückenbögen benutzte. Herschel wendete also Technologien an, die er der Industrie entlehnt hatte. Nachdem die gewaltige Röhre fertig und mit mehreren Schichten Firnis gegen Witterungsunbilden hinlänglich geschützt war, mußten 24 Arbeiter eingesetzt werden, um sie zu transportieren.

Ein ausgeklügeltes System von Rollen, großen Zahnradstangen und Flaschenzügen ermöglichte die Bewegung des Riesenrohrs in alle gewünschten Höhen und Richtungen.

Da nun der Beobachter oben am Okular auf einer Plattform stand, wenn er seine Tätigkeit ausübte, andererseits aber Assistenten für die



Sonnenbeobachtungen im astronomischen Zentrum „Bruno H. Bürgel“
in Potsdam



Phasen der Sonnenfinsternis vom 20. Juli 1963 über
dem Kapitol in Washington (USA)

Beobachtung einer teilweisen
Sonnenfinsternis im Jahre 1971
an der Volkssternwarte Schwe-
rin



Himmelsbeobachtung ohne
Fernrohr – während der Son-
nenfinsternis vom 29. April 1976
über Dresden





Gebäude des Schulplanetariums in
Hoyerswerda



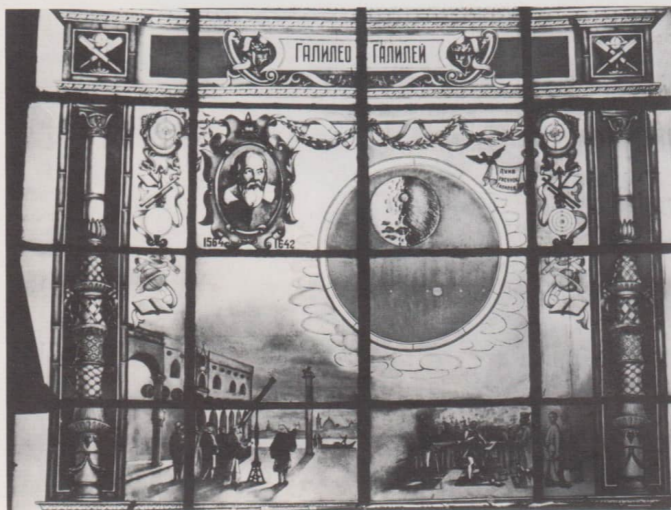
Amateurspiegelteleskop vom VEB
Carl Zeiss JENA



Saturnbedeckung durch den Mond am 3. Dezember 1973

Kuppelbauten der Archenhold-Sternwarte Berlin-Treptow für das 500-mm-Spiegelteleskop (links) und ein Spezialfernrohr mit 150 mm Linsendurchmesser





„Astronomisches Fenster“ im Großplanetarium Moskau mit der Darstellung der Leistungen von Galileo Galilei

Astronomischer Garten des Planetariums in Moskau



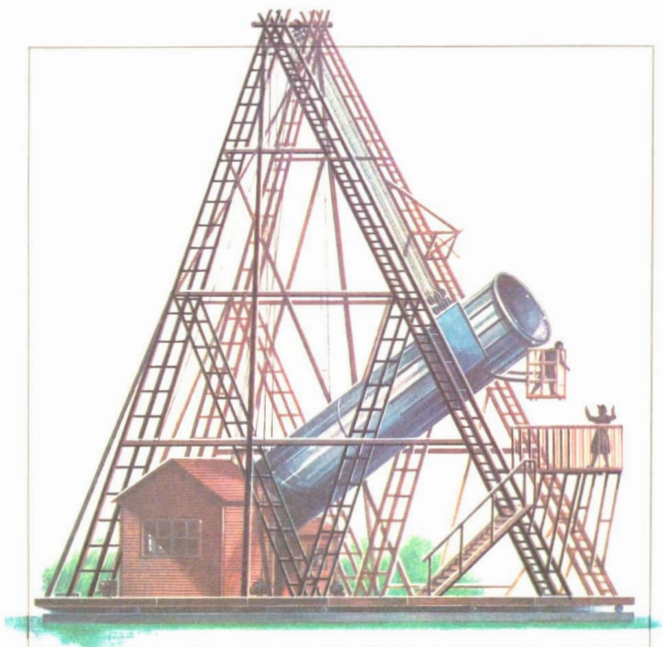


Planet Jupiter mit dem „Großen Roten Fleck“, aufgenommen am 2. Dezember 1974 von der amerikanischen Sonde „Pioneer 11“ aus rund 1 Million km Entfernung

Schüler aus Rodewisch bereiten fotografische Himmelsaufnahmen vor







Herschels großes Spiegelteleskop

Bewegung des Fernrohrs sowie für andere Hilfsarbeiten räumlich recht weit von ihm entfernt in einem „Gehilenzimmer“ postiert waren, bedurfte es einer Spezialeinrichtung für die Verständigung. Herschel konstruierte ein überdimensionales Sprachrohr. Trotz zahlreicher Biegungen, die dieses Rohr notgedrungen besitzen mußte, war es den an der Beobachtung Beteiligten mühelos möglich, einen Dialog zu führen.

Herschels Riesenteleskop erlangte binnen kurzer Zeit legendäre Berühmtheit. Nicht nur „gekrönte Häupter“ wünschten einen Blick durch dieses größte Fernrohr des 18. Jahrhunderts zu werfen, sondern ebenso

zahlreiche andere Menschen. Auch der Komponist Joseph Haydn (1732–1809) gehörte zu den Interessenten.

Herschel selbst wurde über seine gewaltigste Schöpfung allerdings nicht ganz froh. Das Instrument konnte seinen experimentellen Charakter letztlich nicht verleugnen. Die Bewegung war schwerfällig und die Durchführung längerer Beobachtungsreihen deshalb sehr mühevoll. Dazu gesellten sich Mängel der Abbildungsqualität: Der Spiegel deformierte sich infolge seiner erheblichen Masse. Ohnehin war es nicht gelungen, ihm eine in jeder Hinsicht befriedigende Form zu geben. Schließlich traten auch hier – wie bei allen Teleskopen mit Metallspiegeln – die unvermeidbaren Folgen der Lufteinflüsse zutage: Besonders wegen des großen Kupferanteils im Spiegelmetall (eine Erhöhung des Zinngehalts bringt die Gefahr des Zerspringens während der Abkühlungsphase mit sich) ließ das Reflexionsvermögen rasch nach, was immer wieder neue Polituren erforderlich machte. Aus diesen Gründen wurde das Prunkstück des Instrumentenbaus alles in allem weniger benutzt als die kleineren Teleskope.

Die Resultate, die Herschel erzielte, waren wahrhaft bahnbrechend: Sie ebneten neue Wege zur Erforschung von Objekten, die bis dahin bestenfalls im Mittelpunkt naturphilosophischer Spekulationen gestanden hatten.

Charakteristisch für diese großen, in die Zukunft wirkenden Forschungen ist der philosophische Geist, der sie durchdringt. Herschel, der sich schon in seiner Jugend nächtelang mit seinem Vater und seinem Bruder über philosophische Probleme auseinandergesetzt hatte, war von dem Optimismus erfüllt, daß die Welt erkennbar ist und daß selbst die schwierigsten Aufgaben der Forschung nach und nach gelöst werden können.

Dabei verließ er sich nicht allein auf seine neuartigen technischen Hilfsmittel, sondern brachte auch den Mut auf, mit neuen Ideen an die Beobachtungen heranzugehen. Nur drei charakteristische Beispiele seien hier angeführt, die zugleich den engen Zusammenhang zeigen, der zwischen den gewonnenen Ergebnissen und dem Leistungsvermögen der von Herschel geschaffenen Teleskope besteht.

Eine der großen wissenschaftlichen Entdeckungen Herschels sind die bereits erwähnten Doppelsterne. Bei seinem Bemühen, Fixsternparallaxen zu messen, suchte er nach geeigneten Sternpaaren. In der Nähe eines hellen Sterns, von dem anzunehmen war, daß er eine relativ geringe Entfernung aufweist, mußte jeweils ein schwacher „Anschlußstern“ stehen. Bei der Durchmusterung des Himmels fand Herschel aber nun so

viele derartige Objekte, daß er eine zufällige Anordnung der Sterne in solchen „Paaren“ für unwahrscheinlich hielt.

Er hatte recht: Die meisten Paare standen keineswegs zufällig so dicht beisammen. Sie waren vielmehr aneinander „gekettet“, und zwar durch das Band der Anziehung ihrer Massen. Es handelte sich um physisch zusammengehörige Objekte, wie die weitere Beobachtung dieser Sterne bald offenbarte. Nahm man sie nämlich längere Zeit aufs Korn, so zeigte sich, daß sich ihre gegenseitigen Positionen relativ rasch veränderten. Dabei führten sie zugleich eine gemeinsame Eigenbewegung im Raum aus, das heißt, sie bewegten sich mit derselben Geschwindigkeit und in derselben Richtung fort.

Ein anderes Resultat, mit dem Herschel das Tor zu einem noch heute aktuellen Forschungsgebiet aufstieß, betrifft die Anordnung der Sterne im Raum. Sein großer Zeitgenosse Immanuel Kant (1724–1804) hatte in dem berühmten Buch „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ (1755) erklärt, warum uns am Himmel das zartschimmernde Lichtband der Milchstraße erscheint. Er war zu dem Schluß gekommen, daß die Sterne nicht wahllos angeordnet sind, sondern in einer sehr dünnen Schicht, ähnlich wie auch die Planeten, annähernd in einer Ebene um die Sonne laufen. Herschel konnte mit seinem zwanzigfüßigen Teleskop weiter in die Tiefen des Raums vordringen als alle anderen Astronomen vor ihm. Er unterzog sich der Mühe, den gesamten Himmel sorgfältig zu durchmustern, die Sterne in den verschiedenen Arealen zu zählen und daraus ihre Verteilung herzuleiten. Es handelte sich hierbei um den ersten Versuch eines beobachtenden Astronomen, die Struktur des Weltalls zu enträtseln. Im Prinzip bestätigte er die Angaben von Kant.

Das gesamte 19. Jahrhundert brachte keine über Herschels Befunde wesentlich hinausgehenden Erfolge auf diesem komplizierten und wichtigen Forschungsgebiet. Erst als die Technik der Forschungsinstrumente eine höhere Qualität erreicht hatte, wendeten sich die Astronomen, denen inzwischen zahlreiche neue Erkenntnisse über die Natur der Sterne zur Verfügung standen, mit begründeteren Aussichten auf die Gewinnung gesicherter Ergebnisse wieder diesem Problemkreis zu. Es ist jedoch bezeichnend, daß sie dabei an die methodischen Grundlagen anknüpften, die Herschel nahezu ein Jahrhundert zuvor entwickelt hatte. Die Arbeit dieser Forscher in den ersten Jahrzehnten unseres Jahrhunderts ergab ein genaueres, verfeinertes Bild vom Sternsystem, aber Herschels Einsichten wurden damit keineswegs verworfen. Es war ein weiterer Schritt zur Annäherung der Wissenschaft an die objektive Realität. Erst ein nochmaliger qualitativer Sprung in der Entwicklung der Instrumententechnik

führte dann zu einem vorläufigen Abschluß der Bemühungen um die Struktur des Sternsystems. Hiervon werden wir später im Zusammenhang mit den Radioteleskopen erfahren.

Eine dritte wissenschaftliche Leistung von historischem Rang vollbrachte Herschel mit seinen Untersuchungen nebliger Objekte im Weltall. Auch diese Forschungen wären ohne lichtstarke Teleskope nicht möglich gewesen.

Als Herschel sein Interesse den nichtsternförmigen, verwaschenen Nebelobjekten zuwendete, kannte man nur etwa 100. Zwei Jahrzehnte später waren es zwanzigmal soviel. Worin besteht nun die besondere Bedeutung dieser Entdeckung? Herschel legte nicht nur umfassende Beschreibungen der Nebel vor, sondern machte sich auch Gedanken darüber, warum diese Objekte äußerlich so große Unterschiede aufweisen. Ihm kamen Vergleiche mit den Arbeiten zeitgenössischer Biologen in den Sinn, die sich gerade mit einer umfassenden Klassifizierung der Pflanzenwelt beschäftigten. Es gab zwei Möglichkeiten, die Mannigfaltigkeit der Formen theoretisch zu deuten: Entweder wird hierdurch eine Rangordnung der Natur repräsentiert, die gleichzeitig entstandene höhere und niedrigere Formen umfaßt, oder es handelt sich um unterschiedliche Reifegrade der Objekte. So wie uns der Blick auf eine blühende Wiese zugleich aufkeimende, heranwachsende, blühende und absterbende Pflanzen zeigt, könnte vielleicht auch der Himmel eine solche „Wiese“ von Objekten darstellen. Herschel war sich natürlich darüber im klaren, daß es aussichtslos bleiben mußte, das Aufkeimen, Erblühen und Sterben der „kosmischen Blumen“ direkt zu beobachten. Dennoch stellte er eine Entwicklungsfolge dieser Nebel auf. Hierbei ließ er sich von dem theoretischen Rüstzeug der Himmelsmechanik leiten. Als er eines Tages mit seinem Riesenspiegel ein schwaches Sternchen entdeckte, das von einer nebligen Hülle umgeben war, schloß er daraus, daß die Nebel der Urstoff seien, aus dem sich Sterne bilden.

Hatte Kant die Entwicklung der Himmelskörper und der Systeme von Himmelskörpern, ja des ganzen Universums auf der Grundlage theoretischer Überlegungen erörtert, so war Herschel der erste Astronom, der unmittelbar aus Beobachtungen Hinweise auf eine solche Entwicklung ableitete. Zur Zeit Kants und Herschels gab es allerdings noch wenig präzise Kenntnisse, die zu einer begründeten Entwicklungstheorie hätten

Forschungsergebnisse von Herschel

Oben: schematische Darstellung der Struktur unseres Sternsystems,
unten: Klassen von nebligen Objekten im Weltall



führen können. Die meisten Astronomen begegneten diesen Vorstellungen daher mit Ablehnung oder Skepsis. Auch hier – wie schon beim Studium der Struktur des Weltalls – kamen erst spätere Generationen zu schlüssigen Ergebnissen. Heute bildet die Untersuchung der Entwicklung von Sternen, Sternsystemen und des Kosmos als Ganzes einen Schwerpunkt der Erforschung des Universums. Dank den neuartigen Beobachtungsergebnissen, über die Herschel verfügte, wurde er zu einem Stammvater dieser Entwicklungslehre. Wenn Friedrich Engels von Immanuel Kant sagte, er hätte mit seinen Ideen von der Evolution der Himmelskörper eine Bresche in die versteinerte Naturauffassung der Metaphysik geschossen, so trifft diese Feststellung auch in vollem Umfang auf Herschel zu. Denn nur in der Wechselwirkung zwischen Beobachtung und theoretischer Überlegung waren letztlich jene komplizierten Fragen einer Klärung näher zu bringen, die sich hinter dem Problem der Entwicklung im Kosmos verbergen.

Gipfelpunkt der „Spiegelzeit“

Mit dem Rieseninstrument von Herschel fand die Epoche der Metallspiegel noch nicht ihr Ende. Fraunhofers intensives Bemühen um farbfehlerfreie Linsen hatte vielmehr gezeigt, daß man vorläufig außerstande war, Achromate annähernd gleicher Dimensionen anzufertigen. Dieser Umstand spornte die Spiegelhersteller weiter an. Doch wollte man die Abmessungen des großen Herschel-Teleskops noch überbieten, so begegnete man einer Fülle nie gekannter Schwierigkeiten. Diese betrafen sowohl den Guß des Spiegels als auch dessen Bearbeitung und schließlich ebenfalls die Herstellung einer geeigneten Montierung für das entsprechend massereiche Instrument.

Ein ökonomischer Gewinn war aus Experimenten dieser Art nicht zu erwarten. Welche Fortschritte die Forschung mit ihrer Hilfe machen würde, blieb ungewiß. So nimmt es nicht wunder, daß die Impulse zu weiteren Entwicklungen auf diesem Gebiet nicht von einer Firma, sondern von einem Liebhaber ausgingen, dem die erforderlichen Mittel auf Grund seiner sozialen Herkunft zur Verfügung standen: Lord Oxmantown (1800–1867), der sich Earl of Rosse nannte und in Irland den wohl ausgestatteten Landsitz Birr Castle besaß. Neben seiner Tätigkeit als Staatsmann blieb ihm noch genügend Zeit, sich in Birr Castle mit der Spiegelherstellung zu beschäftigen. Seine Interessen galten hauptsächlich

dem Mischen geeigneter Legierungen, der Technik des Gießens und der Abkühlung sowie dem Polieren großer Spiegel.

Rosse hatte sich schon als junger Mann zwei kleine Spiegel beschafft, die von professionellen Herstellern stammten. Der eine war auf herkömmliche Weise entstanden: Man hatte die Legierung in eine Sandform gegossen und dann allmählich abkühlen lassen. Den anderen hingegen hatte man sehr rasch abgekühlt. Als Rosse diese beiden Spiegel, die anfangs in ihrer Qualität nicht wesentlich voneinander abwichen, nach längerer Zeit wieder betrachtete, machte er eine interessante Feststellung: Das Reflexionsvermögen der beiden Stücke unterschied sich erheblich.

Rosse glaubte zunächst, daß die Ursache in der verschiedenartigen Zusammensetzung der Spiegellegierungen zu suchen war. Dann kam er aber auf den Gedanken, sich auch mit dem Prozeß des Gießens und des anschließenden Abkühlens in systematisch ausgearbeiteten Versuchen zu beschäftigen. Dabei erkannte er, daß die Bedingungen, unter denen die Abkühlung des Metalls stattfindet, für die spätere Qualität des Spiegels wesentlich sind.

Einerseits darf die Abkühlung keineswegs plötzlich erfolgen, da dann das Material spröde wird und sich für eine spätere Bearbeitung kaum eignet. Andererseits besteht aber bei zu langsamem Abkühlen die Gefahr, daß sich große Kristalle bilden, die der Politur des Spiegels hinderlich sind. Außerdem kommt es noch darauf an, daß sich die Abkühlung möglichst gleichmäßig vollzieht, damit keine Spannungen entstehen. Gerade diese Forderung läßt sich natürlich um so schwieriger erfüllen, je größer die Menge des abzukühlenden Metalls, das heißt je größer das Ausmaß des geplanten Spiegels ist. Nun hatte aber der irische Lord den Ehrgeiz, gerade auf diesem Gebiet die bestehenden „Rekorde“ zu brechen. Daher beschäftigte er sich intensiv mit der Frage, wie man allen Ansprüchen, die sich aus seinen Experimenten ergaben, gleichzeitig gerecht werden konnte. Wenn wir diese Bemühungen bewerten, dürfen wir nicht vergessen, daß damals keinerlei theoretische Kenntnisse zu Gebote standen, die – wie zum Beispiel heute die gut fundierte Werkstoffkunde – Hinweise auf die beste Verfahrensart vermittelt hätten.

Mühsame und kostspielige Versuche waren der einzige Weg mit Aussicht auf Erfolg. Immer wieder veränderte Rosse die Bedingungen, bis er schließlich eine befriedigende Lösung gefunden hatte: Für die Unterseite der Gußform wählte er eine Eisenplatte, die er in ihrer Größe auf die Masse des abzukühlenden Metalls abstimmte. Um ein plötzliches Abkühlen zu vermeiden, wurde diese Platte vor dem Guß aufgeheizt. Nun erfolgte die Abkühlung des Spiegelmetalls zügig, aber nicht schlagartig.

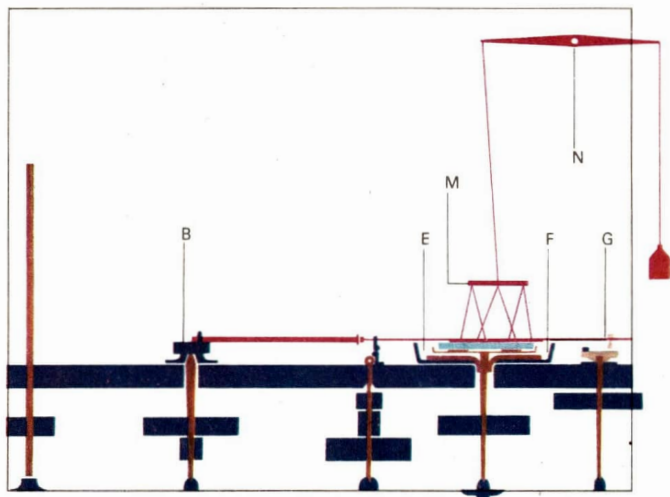
Die Sandform wurde unten feucht und oben trocken gehalten, so daß ein rascher Wärmeentzug an der Unterseite und ein langsamerer an der Oberseite stattfand. Auf diese Weise erreichte Rosse, daß die Abkühlung der Spiegelscheibe gleichmäßig von unten nach oben fortschritt. Nachdem die Masse erstarrt war, ließ er die Scheibe sofort aus der Form nehmen und in einen Spezialofen einschließen, in dem sie allmählich weiter abkühlte.

Nach 1840 entwickelte Rosse den Plan, ein Teleskop mit einem Spiegel von 1,8 m Durchmesser herzustellen. Allein die Produktion des Spiegels war eine bis dahin unerreichte Meisterleistung.

Ganz neue Probleme entstanden schon beim Guß. Immerhin handelte es sich um die beachtliche Masse von 4000 kg Spiegelmetall. Um die kleinste Ungleichmäßigkeit bei der Abkühlung zu vermeiden, war es natürlich erforderlich, die gesamte Masse mit einemmal und innerhalb eines möglichst kurzen Zeitraums auszugießen. Jedoch ließ sich kein Tiegel herstellen, der dafür ausgereicht hätte. Rosse mußte sich entschließen, drei Tiegel zu benutzen, die Teilmengen des Metalls in drei verschiedenen Öfen zu schmelzen und dann den Inhalt aller Tiegel gleichzeitig in die Form zu gießen. Das Kunststück gelang unerwartet perfekt: Die 4 Tonnen flüssigen Metalls strömten innerhalb von 3 (!) Sekunden in die Form. Der Erstarrungsvorgang war nach rund 20 Minuten beendet. Rasch wurde die Scheibe aus der Form entfernt und mit einer Schiffswinde in den auf Rotglut erhitzten Ofen gebracht. Der Abkühlungsprozeß nahm noch 6 Wochen in Anspruch.

Nun schloß sich die mühevolle Bearbeitung des Rohlings an: die Schleif- und Polierarbeit. Rosse benutzte – im Unterschied zu den meisten anderen Spiegelherstellern seiner Zeit – ausschließlich Maschinen für das Schleifen und Polieren der Metallflächen. Zur Entwicklung dieser Maschinen hatte er eine umfangreiche und verdienstvolle Arbeit geleistet, die auch für die spätere Produktion großer Glasspiegel von Bedeutung war. Als theoretisches Argument zugunsten der Maschinen vertrat er zu Recht die Ansicht, daß die auf die Spiegelmetalle einwirkenden Bedingungen hierbei präzise eingestellt und auch unter anderen Umständen in derselben Weise wiederholt werden könnten.

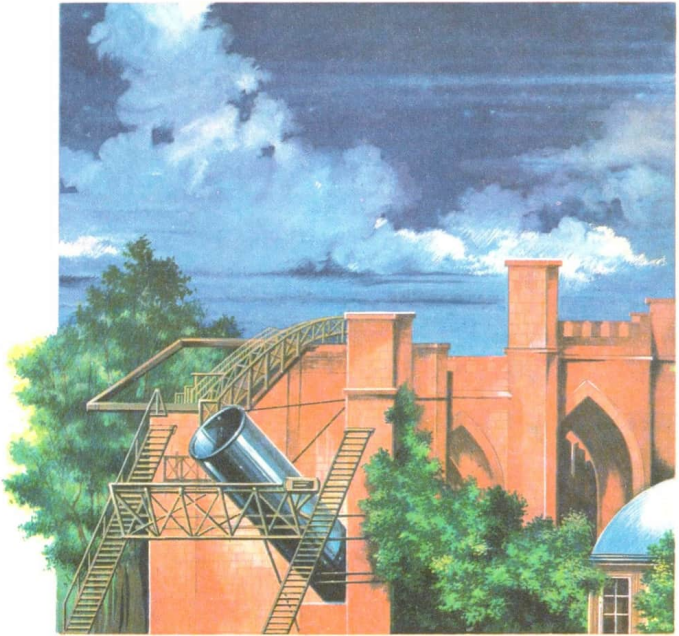
Enttäuschungen gehörten damals ebenso zum Alltag der Spiegelherstellung wie schon vorher und wie in unserer Zeit. Der 1,8-m-Spiegel lag bereits etwa 4 Wochen auf der Schleifmaschine, die Oberfläche nahm zusehends die für den Beginn der Politur erforderliche Form an, als die Riesenscheibe plötzlich auseinanderbarst. Es blieb nichts anderes übrig, als einen zweiten Spiegel zu gießen und mit den Schleifarbeiten unter noch



Schleif- und Poliermaschine des Lord Rosse

EF = Lager der Spiegelscheibe, B, G = Exzenter zur Bewegung der Schleif- beziehungsweise Polierscheibe, N = Entlastungssystem zur Aufhebung des Gewichts der Schleif- beziehungsweise Polierscheibe, M = Verteilungsplatte, über die das Entlastungssystem angreift

größeren Vorsichtsmaßnahmen erneut zu beginnen. Da die Metallspiegel selbst bei ausgesuchtesten Legierungen immer wieder von Zeit zu Zeit überpoliert werden müssen, ließ Rosse sogar noch einen dritten Spiegel gießen, schleifen und polieren, um auch während der erforderlichen „Schönheitskuren“ weiter beobachten zu können. Dieses dritte Exemplar zeigte sich bereits während der Abkühlung widerborstig: Es zersprang infolge einer ungleichmäßigen Verteilung der Temperatur im Kühllofen. Der unerfreuliche Zwischenfall erwies sich aber als sehr nützlich: Rosse kam auf diese Art dahinter, daß durch ungleichmäßige Kühlbedingungen Spannungen im Spiegelmetall entstehen, die es mechanisch äußerst anfällig machen. So wurde jede neue Erkenntnis unter großen materiellen Aufwendungen und Mühen gewonnen. Rosse ließ einen vierten Guß



„Leviathan“ des Lord Rosse

ausführen. Doch auch diesmal war das Glück noch nicht auf seiner Seite: Als das flüssige Metall in die Form strömte, verdampften Reste einer Rostschuttschicht aus Talg. Am folgenden Tag lag der Spiegel in zahllose Stücke zersprungen da. Beim fünften Guß endlich gelang das schwierige Werk einschließlich der Politur zur vollsten Zufriedenheit.

Das große Spiegelteleskop des Lord Rosse ist unter dem Namen „Leviathan“ („Ungeheuer“) in die Geschichte der Wissenschaft und Technik eingegangen. Unter den Fernrohren mit Metallspiegeln stellt es das mächtigste jemals errichtete Instrument dar. Gegenüber den Riesen-

instrumenten Herschels, deren Konzeption mit Rosses Arbeiten fortgeführt wurde, sind besonders die stabilere Montierung und die ausgeklügelte Lagerung der Spiegel hervorzuheben.

Was die Montierung des „Leviathan“ anlangt, so mußten ihre Vorzüge durch einen relativ großen Aufwand und eine recht eingeschränkte Beweglichkeit des Fernrohrs erkauft werden. Die mechanische Stabilität, die das Teleskop insbesondere gegen Einflüsse des Windes weitgehend unabhängig machte, wurde durch ein mächtiges Mauerwerk zu beiden Seiten des Tubus gewährleistet, in dem alle anderen mechanischen Vorrichtungen verankert waren. In der Höhe ließ sich das Rohr um insgesamt 160° bewegen. Die seitliche Bewegung erstreckte sich nur auf einen Winkel von 24° .

Schon Herschel hatte mit seinem 1,2-m-Spiegel die Erfahrung gemacht, daß es bei der Bewegung des Instruments in die verschiedenen Himmelsrichtungen zu Deformationen des Spiegels kommt, welche die Bildqualität beeinträchtigen. Bei einer Scheibe von 4 t Masse mußte sich dieser Übelstand noch viel verheerender auswirken, so daß von Anbeginn zu überlegen war, wie die mechanische Stabilität des Spiegels unabhängig von der Lage des Teleskops gewährleistet werden kann. Rosse zog einen einfallreichen Praktiker des Instrumentenbaus und der Fernrohroptik, den irischen Techniker Thomas Grubb (1800–1878), zur Lösung dieses Problems heran. Grubb entwickelte für den Riesenspiegel eine verzweigte Dreipunktlagerung. Drei große Platten sind über Kugelgelenke miteinander verbunden. Diese Platten liegen wiederum auf drei mit Kugelgelenken verbundenen Platten, diese abermals usw., so daß die gesamte Scheibe auf 81 gleichmäßig über die Fläche verteilten „Stützpunkten“ ruht.

Die große lichtsammelnde Fläche des „Leviathan“ machte dieses Instrument hervorragend für ein Forschungsgebiet geeignet, auf dem Herschel bereits Pionierarbeit geleistet hatte: die Untersuchung der Nebelobjekte am Himmel. Soweit ihm die technischen Arbeiten zu Beobachtungen Zeit ließen, widmete sich Rosse systematisch der Betrachtung, Vermessung und Zeichnung der auffallendsten Objekte aus Herschels Nebelkatalog. Obwohl der spätere Vergleich der sehr reizvollen Zeichnungen mit den Fotografien derselben Objekte manche subjektiven Elemente seiner Darstellung ans Licht brachte, trugen seine Beobachtungen doch wesentlich dazu bei, daß die wichtige Frage nach der eigentlichen Natur der Nebel nicht in Vergessenheit geriet.

Schon Herschel hatte zahlreiche Objekte gefunden, die in kleineren Instrumenten nebelartig erschienen, von größeren jedoch in Einzelsterne

aufgelöst wurden. Damit war die Frage aufgetaucht, ob letztlich alle Nebel als Sternansammlungen anzusehen sind oder ob es unter ihnen auch „echte“ Nebel gibt, das heißt solche, die aus feinverteilten Gas- oder Staubansammlungen bestehen. Rosse konnte diese Frage nicht beantworten. Seinem großen Teleskop haben wir jedoch eine bedeutende Entdeckung im „Reich der Nebel“ zu verdanken, die Feststellung nämlich, daß viele von ihnen spiralförmige Struktur aufweisen. Diese Erkenntnis ist bis zum heutigen Tage eine der wichtigsten Tatsachen über die Sternsysteme in den Tiefen des Raums, und keine Theorie ihrer Entwicklung kann an diesem Umstand vorbeigehen. Rosse sprach übrigens – wie schon zahlreiche Forscher vor ihm – mehrfach die Überzeugung aus, daß noch größere Teleskope schließlich auch eine Reihe von „Nebeln“ in Sterne auflösen würden, die einstweilen nur als verschwommene Lichtflecke erschienen. Insbesondere sollte dies auf den Andromedanebel zutreffen, von dem sich später – wieder dank einem qualitativen Sprung in der Beobachtungstechnik – tatsächlich herausstellte, daß er aus Einzelsternen besteht.

Sterne als Fotomodelle

Um die Mitte des vergangenen Jahrhunderts erregte eine neue Methode der Abbildung von Objekten weltweite Aufmerksamkeit und fand bald begeisterte Anhänger in allen Bevölkerungsschichten: die Fotografie. Daß die Lichtstrahlen chemische Wirkungen auszulösen vermögen, wußte man schon seit längerem. Doch erst 1822 gelang es dem Franzosen Joseph-Nicéphore Niepce (1765–1833), ein haltbares Lichtbild herzustellen. Der Maler Louis-Jacques-Mandé Daguerre (1789–1851), der mit Niepce bis zu dessen Tod zusammengearbeitet hatte, vervollkommnete 1837 die Erfindung der Fotografie. Abbildungen von Gebäuden, Landschaften und Personen waren auf den seit 1851 stattfindenden Weltausstellungen dicht umringte Exponate. Die Fotografie als neues Hilfsmittel der Abbildung entwickelte sich sehr rasch, zumal sich mit ihr außerordentliche Profite erzielen ließen. So bildete sich schon in den sechziger und siebziger Jahren des 19. Jahrhunderts eine fotografische Industrie heraus, die optische Instrumente, fotografische Apparate und Chemikalien produzierte, für die es in den zahlreichen fotografischen Ateliers überall Abnehmer gab.

Von früh an experimentierten auch Astronomen mit den Hilfsmitteln der „Lichtbilderei“. Schon Daguerre selbst hatte in den Anfangsjahren

der „neuen Verfahrungsart“ auf Anregung Alexander von Humboldts (1769–1859) eine Fotografie des Mondes versucht, die allerdings wissenschaftlich noch keine Aussagekraft besaß. Doch bald wurden die Fotos besser, zeigten größere Schärfe und mehr Details der astronomischen Objekte, besonders des Mondes. In den USA gelang es bereits im Jahre 1865, mit Hilfe eines Fernrohrs von 27,5 cm Objektivöffnung Sterne der Helligkeit 9^m5 aufzunehmen, wobei sich eine Belichtungszeit von 3 Minuten als ausreichend erwies.

Schon diese ersten Versuche ließen erkennen, daß man mit Hilfe der Fotografie zukünftig sehr viele lichtschwache Objekte abbilden und somit auf einfache Art für lange Zeit haltbare wissenschaftlich wertvolle Dokumente gewinnen konnte. Die Hoffnungen der Pioniere der Astrofotografie bestätigten sich besonders bei den Aufnahmen nebliger Gebilde. Diese zeigten auf den Fotos erheblich mehr Einzelheiten, als das Auge am Okular des Fernrohrs wahrzunehmen vermochte. Außerdem wurden mit Hilfe der fotografischen Platten zahlreiche kosmische Objekte entdeckt, die der unmittelbaren Beobachtung völlig verborgen geblieben waren.

Doch der Anwendungsbereich der Fotografie für die Forschung war noch größer. Bei den Versuchen stellte sich nämlich heraus, daß man durch die Ausmessung fotografischer Platten auch sehr genaue Angaben über die Position von Sternen gewinnen kann und daß sich sogar Helligkeiten aus der Schwärzung der Sternbildchen ableiten lassen. Auf diese Weise wurde die Fotografie rasch zum unentbehrlichen Hilfsmittel der astronomischen Forschung.

Die modernen Teleskope der heutigen Zeit sind zum überwiegenden Teil so konstruiert, daß sie eine unmittelbare visuelle Beobachtung gar nicht mehr ermöglichen. Von vornherein ist eingeplant, die mannigfaltigen Informationen, die uns das Teleskop vermittelt, fotografisch festzuhalten und zu einem beliebigen späteren Zeitpunkt umfassend auszuwerten. Es wäre ökonomisch überhaupt nicht zu vertreten, wollte man die kostbare Beobachtungszeit mit dem klassischen „Anschauen“ der Sterne verbringen. Auge und Gehirn des Menschen nehmen lediglich einen winzigen Bruchteil dessen wahr, was die Platte speichert. Doch auch sie nutzt nur etwa 0,4 Prozent der ankommenden „Lichtteilchen“ aus. Daher beginnt man in unserer Zeit, die Fernsehtechnik, das heißt die elektronenoptischen Bildwandler, ebenfalls in den Dienst der astronomischen Forschung zu stellen. Diese Einrichtungen sind rund hundertmal empfindlicher als die fotografischen Platten. So verdrängen die Fernsehkameras nach und nach die fotografische Platte an den großen Spiegelteleskopen.

Überblicken wir die letzten 100 Jahre der Erforschung des Weltalls, dann können wir feststellen, daß kaum eines der zahlreichen Ergebnisse ohne Platte und Kamera denkbar gewesen wäre.

Eine Denkschrift und ihre Folgen

Zur Zeit des Lord Rosse waren die Linsenfernrohre den Spiegelteleskopen hinsichtlich des Durchmessers der Empfängerfläche erheblich unterlegen. Der Riesenspiegel des „Leviathan“ besaß fast den fünffachen Durchmesser der größten damaligen Linse, welche die Firma Merz und Mahler, der Nachfolger des Optisch-Mechanischen Instituts von Fraunhofer in München, für die Sternwarte in Pulkowo (bei Leningrad) hergestellt hatte. Doch bedenklicher als diese Tatsache war, daß sich keinerlei Verbesserungen absehen ließen. Dies hatte einen einfachen Grund: Die Entwicklung der praktischen Optik war nach dem frühen Tod Joseph Fraunhofers leider nicht auf dem von ihm eingeschlagenen Weg fortgeschritten. Es fehlte an einer kontinuierlichen wissenschaftlichen Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Herstellung optischer Gläser in enger Wechselwirkung mit der Glasproduktion.

In einer bemerkenswerten Denkschrift legten der Theoretiker Ernst Abbe (1840–1905) und der Praktiker der Glasfabrikation Otto Schott (1851–1935) im Jahre 1882 diese Probleme dar. Die beiden verantwortungsbewußten Männer richteten ihre Schrift an den preußischen Kultusminister mit dem Ziel, die Aufmerksamkeit der Regierung auf diese wichtigen Fragen zu lenken und Maßnahmen einzuleiten, die der wissenschaftlichen Optik neue Impulse verleihen sollten. Abbe und Schott wiesen darauf hin, daß sich die Glasfabrikation von der Optik als Wissenschaft gelöst hatte: „Diejenigen, welche die Bedürfnisse der Optik kennen, verstehen nichts von der Glasfabrikation, und die Glasfabrikanten wissen nichts von den Anforderungen, auf welche die feineren Aufgaben der Optik allmählich geführt haben. In der Tat hat der Verkehr zwischen beiden Kreisen ... heute keine andere als eine rein kaufmännische Basis mehr.“* Schott und Abbe führten diesen unhaltbaren Zustand darauf zurück, daß die Produktion von optischem Glas, verglichen mit dem riesigen Umfang der sonstigen Glasproduktion, für die Hersteller

* Der Briefwechsel zwischen Otto Schott und Ernst Abbe über das optische Glas, Verlag von Gustav Fischer in Jena, 1946, S. 278

kaum profitbringend sei und deshalb nach althergebrachten Methoden geschehe. Um sie aber von Prübeleien und Routine zu befreien, gelte es, einen neuen Anfang zu machen und gegebenenfalls eine staatlich geförderte Glasproduktion aufzubauen, in der von Anbeginn wissenschaftliche Forschung und Produktion miteinander aufs engste verbunden sind. Dieses Projekt dürfe man jedoch keineswegs auf eine rein kaufmännische Basis stellen, wenn man nicht die Interessen, denen es dienen soll, wiederum vernachlässigen und gefährden wolle.

Tatsächlich wurde daraufhin der von den Verfassern der Denkschrift vorgezeichnete Weg zielstrebig beschritten. Zunächst unternahmen die beiden auf Privatinitiative beruhende Versuche zur Herstellung optischer Gläser mit allen Eigenschaften, die für die weitere Entwicklung der astronomischen Optiken erforderlich waren. Sie wurden dabei von der schon 1846 gegründeten Firma Carl Zeiß unterstützt, die als Produktionsstätte feinmechanisch-optischer Geräte ein großes Interesse an der Lösung jener Aufgaben hatte, welche sich Abbe und Schott stellten. 1884 entstand dann bereits das Glastechnische Laboratorium Schott & Gen., das auch die Unterstützung des preußischen Staates erhielt.

Mit Carl Zeiß (1816–1888), Abbe und Schott hatte sich ein ähnliches „Triumvirat“ zusammengefunden wie seinerzeit in München. Mechanik, Chemie, praktische Optik, Technologie und Theorie schlossen einen Bund, der zugleich eine Garantie für eine erfolgreiche Lösung all jener komplexen Probleme darstellte, welche mit der industriemäßigen Produktion leistungsfähiger astronomischer Instrumente verbunden sind. Die Entwicklung des Zeißwerks zur Weltfirma, die binnen kurzer Zeit viele berühmte Sternwarten mit ihren Geräten und Instrumenten ausstattete, bestätigte die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges.

Doch auch im Ausland gab es zahlreiche von Erfolg gekrönte Versuche, durch systematische Forschungsarbeit zu größeren achromatischen Objektiven und somit zum Bau großer Linsenfernrohre zu kommen.

Im Jahre 1871 stellte die englische Firma Cooke and Sons ein Objektiv von 63,5 cm Durchmesser ausgezeichneter Qualität her. Der Optiker Alvan Clark (1804–1887) fertigte in den USA eine noch größere achromatische Linse. Sie besaß eine freie Öffnung von 66 cm. Die Firma Clark, fortgeführt von dem Sohn des Begründers, Alvan Graham Clark (1832–1897), wurde mit lohnenden Aufträgen der bedeutendsten Forschungsstätten aus aller Welt überschüttet.

Zu dieser Situation hatte wesentlich der Umstand beigetragen, daß die astronomische Forschung mit der Fotografie ein neuartiges Hilfsmittel erhielt. Um nämlich die beim Spiegel auftretenden Abbildungsfehler zu



Alvan Clark (links) neben seinem 102-cm-Objektiv

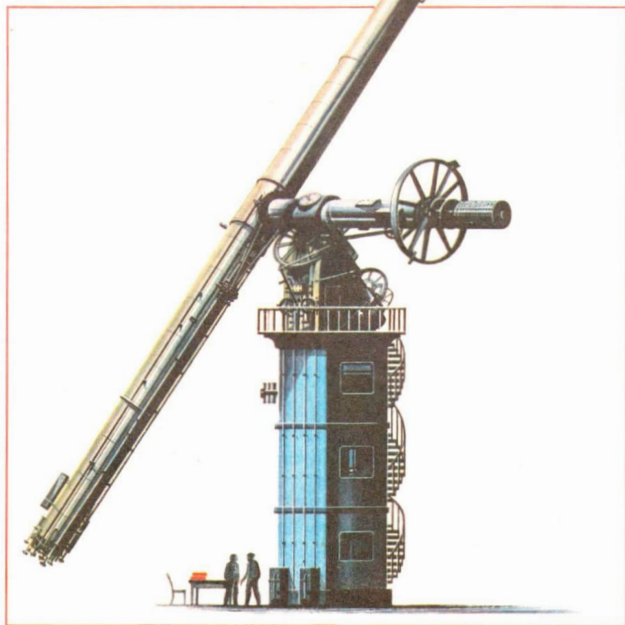
vermeiden, muß man sehr kleine Gesichtsfelder in Kauf nehmen. Bei Linsen lassen sich diese Fehler leichter beseitigen. Für die Himmelsfotografie waren nun größere Felder erwünscht. Daher hielt man den Refraktor für das geeignetere Forschungsinstrument. Um jedoch alle Bildfehler auszuschließen, genügten die zweilinsigen achromatischen Objektive nicht. Es war notwendig, zu mehrlinsigen Objektiven, aus drei, vier oder noch mehr Einzelobjektiven zusammengesetzt, überzugehen. Dies ergab aber für die Fertigung schwierige Probleme, deren Lösung durch die Erfordernisse der Fotografie wesentlich vorangetrieben wurde.

In den letzten 15 Jahren des 19. Jahrhunderts gelangen auf diesem Gebiet – vor allem durch die Firma Clark in den USA – Spitzenleistungen. Sie produzierte die mächtigsten jemals geschliffenen Astrolinsen. Clark startete das berühmte Observatorium in Pulkowo mit einem Teleskop von 76 cm freier Öffnung aus; er lieferte die 91-cm-Optik für das Hauptinstrument der Lick-Sternwarte in Kalifornien, und von ihm

stammt schließlich das größte je hergestellte Objektiv, die 102-cm-Linse des Yerkes-Refraktors in den USA, der außerdem mit 19,8 m zu den langbrennweitigsten Fernrohren der Erde gehört. Kurz nachdem das Riesenobjektiv, dessen Guß erst beim neunten Versuch gelang, ausgeliefert war, starb Clark. Unausgeführt blieb sein Projekt eines Objektivs mit 1,5 m Durchmesser!

Während die Gläser dieser berühmten Fernrohre zumeist aus Frankreich und England stammten, machten sich gegen Ende des Jahrhunderts

Großer Refraktor des Yerkes-Observatoriums



die Initiativen von Abbe und Schott in Form einer konkurrenzfähigen Glasproduktion bemerkbar. Die großen Objektive von Carl August von Steinheil (1801–1870) in München und von Zeiß in Jena kamen aber erst relativ spät auf den Weltmarkt.

Ein Riesenfernrohr für die Volksbildung

Im Oktober des Jahres 1891 gelang einem jungen begeisterten Mitarbeiter der Berliner Sternwarte auf der Außenstelle dieses Instituts die Fotografie eines Nebels im Sternbild Perseus. Der Mann hinter der Kamera hieß Friedrich Simon Archenhold (1861–1939). Er knüpfte bei seinen fotografischen Studien vor allem an die gelungenen Versuche des Amerikaners Edward Emerson Barnard (1857–1923) und des deutschen Astronomen Max Wolf (1863–1932) an, die unter Verwendung kurzbreitweitiger, eigentlich für die Porträtfotografie entwickelter Objektive ausgezeichnete Aufnahmen astronomischer Objekte gemacht hatten.

Durch seinen eigenen Erfolg angespornt, entwickelte Archenhold einen kühnen Plan: In Jena besuchte er Ernst Abbe und Otto Schott und fragte, ob sie in der Lage seien, die Scheiben für die Herstellung eines vierlinsigen Objektivs von etwa 125 cm Durchmesser zu gießen. Bei einer angemessenen Scheibendicke von etwa 20 cm hätte man zu diesem Zweck aber jeweils 1000 kg Flintglas und 530 kg Kronglas erschmelzen müssen; die in Jena vorhandenen Anlagen gestatteten den Guß solcher Mengen nicht einmal annähernd. Sollte der Plan des jungen Astronomen Gestalt gewinnen, so war es demnach erforderlich, in der Jenaer Glashütte produktionstechnische Veränderungen herbeizuführen, die natürlich kostspielig zu werden versprochen. Ohne vor den damit verbundenen Schwierigkeiten zurückzuschrecken, wandte sich Archenhold inzwischen schriftlich an die Firma Steinheil in München mit der Frage, ob sie das Schleifen und Polieren eines solchen Objektivs übernehmen könne. Natürlich kam es der Firma vor allem auf die Absicherung der Finanzierung des ungewöhnlichen Projekts an, so daß er nun einflußreiche Männer der Wissenschaft, wie Hermann von Helmholtz (1821–1894) und den Direktor der Berliner Sternwarte Wilhelm Förster (1832–1921), für sein Vorhaben zu interessieren begann. Förster reichte tatsächlich dem preußischen Kultusministerium einen Bericht über das vorgesehene Instrument ein, erhielt aber nur zur Antwort, daß man dem Vorhaben Erfolg wünsche, eine staatliche finanzielle Hilfe jedoch nicht zu erwarten sei.

Unterdessen entwickelte Archenhold noch ein weiteres Projekt: Das Objektiv des zweiten Fernrohrs sollte zwar einen etwas geringeren Durchmesser haben, dafür war aber seine Brennweite auf 35 m veranschlagt! Da zu dieser Zeit eine große Gewerbeausstellung in Treptow bei Berlin vorbereitet wurde, brachte Archenhold sogleich sehr geschickt den Vorschlag ins Spiel, das Instrument als eine Sehenswürdigkeit ersten Ranges auf dieser Schau zu zeigen und es erst anschließend an den endgültigen Aufstellungsort zu bringen. Er versäumte auch nicht, darauf hinzuweisen, daß mit diesem Riesenfernrohr die amerikanische „Konkurrenz“ aus dem Felde geschlagen würde. Doch all diese Argumente verhalfen nicht zu staatlicher finanzieller Hilfe. Erstaunlich ist die Tatsache, daß man in Jena trotzdem mit dem Guß der Scheiben begann.

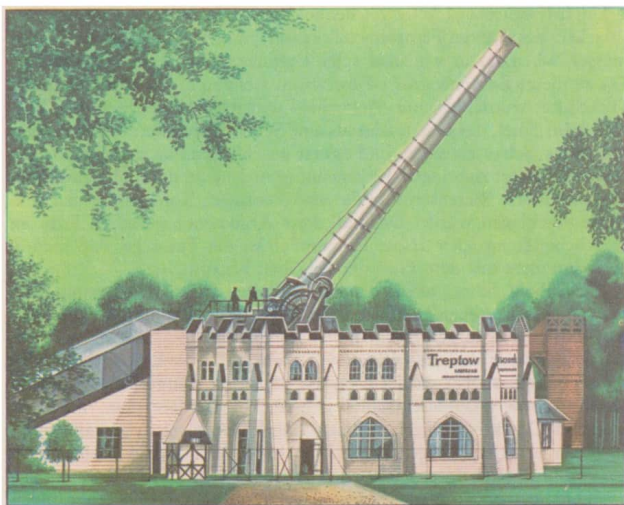
Archenhold hatte inzwischen ein Komitee für die Herstellung des Instruments ins Leben gerufen und im Spätherbst 1894 die Öffentlichkeit zu Geldspenden aufgefordert. In dem Aufruf zur Finanzierung des Teleskops erklärte er, daß die gespendete Summe durch die Eintrittsgelder der Ausstellungsbesucher wieder eingebracht werden könne. Angesichts der großen Schwierigkeiten entschloß sich Archenhold dann aber, mit einem kleineren Objektiv vorliebzunehmen, dessen Brennweite ebenfalls unterhalb der ursprünglich geplanten 35 m blieb. Das andere Projekt eines kurzbrennweitigen Instruments ließ er ganz fallen.

Die Gewerbeausstellung, deren große Attraktion das Fernrohr bilden sollte, wurde am 1. Mai 1896 eröffnet, doch das „Himmelsmonstrum“ war nicht fertig. Erst gegen Ende der Schau konnte es in Betrieb genommen und der Öffentlichkeit für Beobachtungen zur Verfügung gestellt werden.

Interessant ist der Kommentar, den Archenhold zu dem großen Fernrohr abgab. Er läßt erkennen, daß der Astronom schon zu dieser Zeit an eine breite Nutzung des Instruments im Dienste der Volksbildung gedacht hat: „Nach Beendigung der Ausstellung bemühte ich mich nun, das Fernrohr dauernd dem deutschen Volke zu erhalten. . . . ich sagte mir, daß die Astronomie unbedingt einer Stätte bedürfe, wo dem Laienelement, welches bemüht ist, in die Tiefen unserer Wissenschaft einzudringen, Gelegenheit geboten wird, auch wirklich an die hierzu nötigen Hilfsmittel heranzukönnen.“*

So wurde das große Instrument, um dessen Bau so mancher Streit und viele Diskussionen entbrannt waren, zum zentralen Anziehungspunkt

* Zit. nach: Diedrich Wattenberg, Beiträge zur Geschichte der Archenhold-Sternwarte, Berlin-Treptow 1966, S. 103



Treptower Riesenfernrohr mit dem alten Holzbau der Sternwarte

einer Sternwarte, die sich das Ziel setzte, die Forschungsergebnisse der Astronomie einer breiten interessierten Öffentlichkeit nahezubringen. Hierin besteht die eigentliche Pionierleistung des Initiators der Treptower „Himmelskanone“. Mit der Treptow-Sternwarte hatte Archenhold ein Volksbildungsinstitut geschaffen, in dem die Vorstellungen hervorragender Wissenschaftler des 19. Jahrhunderts Wirklichkeit wurden. Seit der Französischen Revolution war der Gedanke an eine Verbreitung von Wissen unter allen Mitgliedern der Gesellschaft, unabhängig von ihrer sozialen Stellung, bei fortschrittlichen bürgerlichen Gelehrten lebendig geblieben. Während der Staat das Privileg der Bildung den Vertretern der herrschenden Klasse vorbehält, versuchten diese Forscher immer wieder, allen Menschen Wissen – in erster Linie über die Natur – darzubieten. Namen wie der des französischen Physikers D. François J. Arago (1786–1853), Alexander von Humboldt oder Adolf Diesterweg (1790 bis

1866) sind bis zum heutigen Tag weithin bekannt und für immer mit der Entwicklung einer Bewegung zur Verbreitung der Wissenschaft verbunden.

Auf den Vorschlag Humboldts, der Bevölkerung in bestimmten Abständen Beobachtungen auf der Berliner Universitätssternwarte zu ermöglichen, reagierte die Sternwartendirektion verständlicherweise zurückhaltend, weil dadurch die Forschungsarbeiten behindert worden wären. So kam es unter Mitwirkung Wilhelm Försters zur Gründung der „Urania-Sternwarte“ (1888/89) und der Gesellschaft Urania, die sich das Ziel setzten, Wissen aus allen Gebieten der Forschung für jedermann in Form von Vorträgen, Demonstrationen und Beobachtungen zu vermitteln.

Zu den Mitarbeitern dieser „Volkssternwarte“ in Berlin gehörte Archenhold. Das Schicksal des verdienten Astronomen war tragisch. Die Gewaltherrschaft der Faschisten verwies den Juden Archenhold aus der von ihm selbst geschaffenen Stätte seines Wirkens. Mitglieder seiner Familie kamen in Konzentrationslagern ums Leben.

Erst nach dem zweiten Weltkrieg erblühte die traditionsreiche Volkssternwarte in der DDR zu neuem Leben. Sie wurde nach und nach großzügig mit modernen Instrumenten und wertvollen Ausstellungsstücken ausgestattet. Heute ist sie die größte und älteste von insgesamt fast 150 Volks- und Schulsternwarten unserer Republik. Die Besucherzahlen dieser Bildungs- und Forschungsstätte haben sich in den letzten Jahren sprunghaft erhöht. Rund 60 000 Menschen, mehr als die Hälfte davon Jugendliche, kommen jährlich zu Führungen, Vorträgen, Arbeitsgemeinschaften und Beobachtungsabenden in die Treptower Volkssternwarte.

In der DDR wurde die Astronomie im Jahre 1959 als Lehrfach an den allgemeinbildenden polytechnischen Oberschulen eingeführt, womit sich ein alter Traum von Pädagogen und Astronomen erfüllte. Doch Volksbildungsarbeit auf dem Gebiet der Sternforschung kann nicht allein von Tafel und Kreide leben. Sie braucht vor allem Fernrohre. Die lange Tradition der Jenaer Zeißwerke im Bau von astronomischen Instrumenten mit leistungsfähigen Optiken bot hervorragende Voraussetzungen, dieses Problem in großem Umfang zu lösen. So entwickelten die Wissenschaftler, Ingenieure und Facharbeiter des VEB Carl Zeiss JENA eine ganze Serie ausgezeichnete Amateur- und Schulfernrohre, die in ihrer Qualität den weltberühmten Großgeräten durchaus ebenbürtig sind. Zu den neuesten Schöpfungen zählen das Schulfernrohr Telementor und das Amateureteleskop sowie ein kleines Spiegelfernrohr mit vielseitiger Verwendungsmöglichkeit. Das Schulfernrohr verfügt über ein Objektiv von

63 mm Durchmesser und 840 mm Brennweite. Die Masse des gesamten, aus drei Baugruppen zusammensetzbaren und transportablen Geräts beträgt nur 15 kg. Das Amateurfernrohr besitzt eine Optik von 80 mm Öffnung und 1200 mm Brennweite mit Sucherfernrohr. Infolge der stabilen Montierung erreicht die Gesamtmasse dieses Instruments rund 100 kg. Für höhere Ansprüche wurde beim VEB Carl Zeiss JENA auch ein Amateuerteleskop mit einer Optik von 100 mm Öffnung entwickelt. Das Auflösungsvermögen beträgt hier bereits 1,1". Daneben bietet die Firma ein 150-mm-Spiegelteleskop und eine Amateurastrokamera an. Alle Schulen unserer Republik wurden für die Zwecke des Astronomieunterrichts und der Arbeitsgemeinschaften mit dem Telementor ausgestattet.

Künstlicher „Samtmantel der Nacht“

Die Sterne sind rar geworden am Firmament großer Städte unserer Zeit. Industrieschlote und Lichterfluten triumphieren über die Zierden des Himmels. Die Städte wachsen in die Breite, und wo ehedem am äußersten Siedlungsrand Sternforscher ihre Teleskope ins All richteten, entstehen neue Produktionsstätten oder Wohngebiete. Die Forschung flüchtet in Gebirge und Wüsten.

Doch die Bewohner der Städte, die aus Schaulust und Wissensdurst den Wunsch verspüren, den gestirnten Himmel zu betrachten und sich seine Erforschung fachkundig erläutern zu lassen, brauchen deshalb keine weiten Reisen zu unternehmen. Für sie schuf die Firma Zeiß im Jahre 1926 ein bis heute unübertroffenes Hilfsmittel, mit dem der Anblick des Sternhimmels naturgetreu nachgeahmt werden kann. Die Besucher nehmen unter einer großen Kuppel Platz, in deren Mitte ein sonderbar anmutendes Gerät zu erkennen ist: das Projektionsinstrument des Planetariums. An der täuschend echt imitierten Himmelsfläche segeln gemächlich Haufenwolken entlang — von einem Spezialprojektor entworfen. Allmählich zieht die Dämmerung ein; der Horizont färbt sich rot, und nach und nach erstrahlen am Firmament die ersten Sterne.

Doch damit nicht genug: Das moderne Zeiss-Planetarium bildet den Himmel keineswegs nur für eine bestimmte Stunde oder für einen bestimmten Ort der Erdoberfläche ab, sondern gestattet auch den Flug durch Zeiten und Länder. Das Projektionsgerät, mit dessen Hilfe Tausende von Einzelsternen sowie Sonne und Planeten an die gewölbte Kugel

gezaubert werden, ist derart konstruiert, daß sich durch seine Bewegung der Tageslauf der Sterne ebenso nachahmen läßt wie die Veränderungen, die in Jahren und Jahrhunderten eintreten. Soeben erblickten wir noch den Himmel des Sommers 1988 über Berlin, und schon haben wir den ägyptischen Himmel jener Zeit vor mehr als 3000 Jahren über uns, da die Priesterastronomen ihre Beobachtungen anstellten.

Aber auch die komplizierten Bewegungen der Planeten können mit einer Präzision sondergleichen wiedergegeben werden – dank raffiniert konstruierten Getriebemechanismen, mit deren Hilfe die von der Erde aus beobachteten Bahnen an der Kuppel erscheinen.

Das Zeiss-Projektionsplanetarium vermittelt uns ebenfalls einen optischen Eindruck von Sonnen- und Mondfinsternissen, von einem Flug durch den Kosmos, einer Landung auf dem Mond und vielem anderen. In allen großen Städten der Welt findet man diese Wunderwerke der Technik, in Moskau und Rom, in Toronto (Kanada) und Prag ebenso wie in Budapest oder Paris und Osaka.

Die Geschichte des Zeiss-Planetariums reicht bis zum Jahre 1913 zurück. Seinerzeit hatte der Astronom Max Wolf dem damaligen Vorsitzenden des naturwissenschaftlichen Deutschen Museums in München Oskar von Miller (1855–1934) den Vorschlag unterbreitet, die mannigfaltigen Ausstellungsschätze um einen künstlichen Sternhimmel zu erweitern. Der Vorschlag wurde angenommen und auch realisiert. Allerdings vermittelte das Modell dem Betrachter nicht den Eindruck des nächtlichen Sternhimmels. Aber Miller hatte wegen der Idee von Wolf schon Verbindung zu den Zeißwerken aufgenommen. Warum sollte jene berühmte Firma, von der so zahlreiche Instrumente zur Beobachtung des Himmels stammten, nicht auch Interesse an der Entwicklung eines Spezialgeräts zur Nachbildung des Firmaments besitzen? Hier schuf nun der damalige Chefkonstrukteur Walther Bauersfeld (1879–1959) in mehrjähriger Arbeit das erste Modell eines Projektionsplanetariums. Im Jahre 1926 wurde dann das verbesserte Zeiß-Großplanetarium aus der Taufe gehoben, dessen äußere Gestalt die mächtigen Doppelkugeln mit den zahlreichen Projektoren für die Sterne des nördlichen und des südlichen Himmels bestimmen.

Das neuartige Demonstrationsgerät erzielte einen weltweiten Erfolg nicht nur für die Unternehmer von Zeiß, sondern vor allem als unvergleichliches Hilfsmittel zur Verbreitung astronomischer Kenntnisse. Zu dem Großplanetarium, das unter Kuppeln bis zu 24 m Durchmesser aufgestellt werden kann, gesellte sich später noch ein Zeiss-Kleinplanetarium, das vorzugsweise für 6- und 8-m-Kuppeln vorgesehen ist. Dieses

vergleichsweise billige Instrument, das natürlich nicht das gesamte Vorführprogramm des großen Geräts umfaßt, wurde in einer Gesamtanzahl von rund 300 Exemplaren gebaut, die in alle Welt hinausgingen. Allein in der DDR finden sich etwa 30 solcher Kleinplanetarien an Volks- und Schulsternwarten.

Vor einigen Jahren warteten die Zeißwerker mit einer neuen Schöpfung aus dem Programm ihrer Planetarien auf: dem Raumflugplanetarium „Spacemaster“. Es vermag den Anblick des nördlichen und südlichen Sternhimmels zu demonstrieren, aber auch die Bewegung von Sonne, Mond und Planeten unter den Fixsternen. Besonders interessant ist die Nachahmung von Raumflügen mit dem Anblick des Sternhimmels vom Mond und von anderen Himmelskörpern aus.

Optische und feinmechanische Forschung und Entwicklung haben damit ihre Wirksamkeit außerordentlich erhöht: Sie dienen nicht allein der Wissenschaft selbst, sondern leisten zugleich wertvolle Beiträge zur Wissensvermittlung und zur Verbreitung der materialistischen Weltanschauung.

Ein „Hexenmeister“ gibt den Anstoß

Im Jahre 1817 hatten sich viele Neugierige auf dem Markt zu Darmstadt um einen jener Schausteller geschart, die damals von Stadt zu Stadt zogen und ihr Publikum mit Darbietungen aller Art unterhielten. Nicht selten waren unter den Kunststücken auch verblüffende physikalische und chemische Experimente. Der Darmstädter „Hexenmeister“ imponierte unter anderem mit der Herstellung von Knallsilber – dunklen Kristallen, die sich in einer Lösung von Silberoxid in wäßrigem Ammoniak bilden. Die sehr explosive Verbindung war vermutlich die Attraktion der Vorführung.

Unter den Zuschauern befand sich ein vierzehnjähriger Junge, der davon so beeindruckt war, daß er selbst mit ähnlichen Experimenten begann und deshalb – wie die Anekdote berichtet – von der Schule verwiesen wurde. Er hieß Justus von Liebig (1803–1873) und wurde später einer der berühmtesten und erfolgreichsten Chemiker seiner Zeit. An den Versuchen mit Knallsilber arbeitete der junge Liebig auch weiter, als er die Apothekerlehre absolvierte. Sogar die erste wissenschaftliche Arbeit, die der Achtzehnjährige drucken ließ, beschäftigte sich mit der Herstellung von Knallsilber.

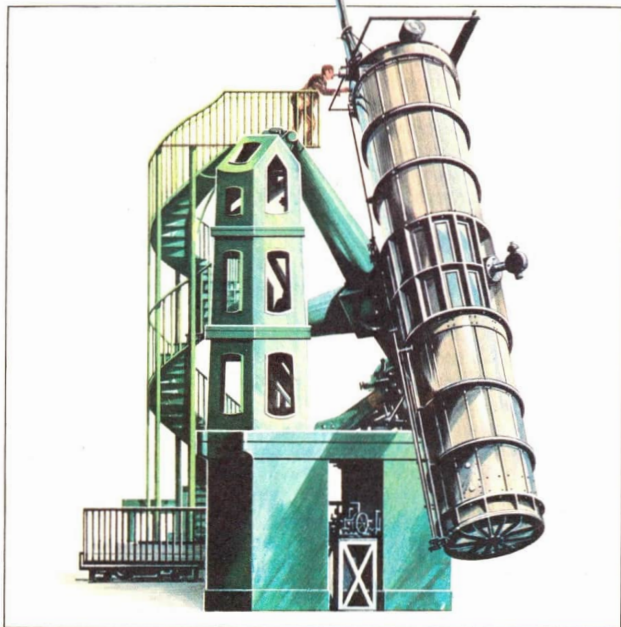
14 Jahre später hatte Liebig, der inzwischen längst als Professor an der Universität tätig war, seinem Interesse für die Silberverbindungen eine folgenreiche Entdeckung zu verdanken: Als er ein Gemisch aus Silberoxid und anderen Stoffen in einem Glasgefäß erhitzte, bemerkte er plötzlich, daß sich das Silber in Form eines sehr feinen Films auf der Glaswandung niedersetzte und die Innenseite des Gefäßes in einen hervorragenden Spiegel verwandelte.

Liebig ließ es jedoch nicht bei diesem Zufallsergebnis bewenden. Er nahm eine Reihe Experimente in Angriff, mit denen er das Ziel verfolgte, den chemischen Mechanismus dieser Vorgänge zu erforschen und die originelle Methode zur Verspiegelung von Glasoberflächen noch weiter zu verbessern. Zusammen mit seinen Mitarbeitern war er vom frühen Morgen bis zur sinkenden Nacht tätig. Auf Vergnügungen jeglicher Art wurde verzichtet. „Die einzigen Klagen, die sich stets wiederholten, waren die des Dieners, welcher am Abend, wenn er reinigen wollte, die Arbeitenden nicht aus dem Labor bringen konnte.“* Dieses angestrengte Arbeiten brachte mannigfaltige Erfolge, unter anderem auch auf dem Gebiet der Glasverspiegelung.

Als Liebig später nach München übersiedelte, kam er dort in Kontakt mit dem Optiker Carl August Steinheil, der sich lebhaft für die neue Verspiegelungsmethode interessierte und selbst Vorschläge zu ihrer weiteren Vervollkommnung unterbreitete. Auf diese Weise gelangten die beiden Experimentatoren schließlich in den Besitz eines Verfahrens, mit dem sich hervorragend reflektierende Schichten erzielen ließen. Sie begannen auch als erste damit, dieses Verfahren zur Versilberung von Glasspiegeln für Fernrohre anzuwenden.

Gegenüber den früheren Metallspiegeln wurden gleich mehrere Vorteile sichtbar, die Hoffnungen auf eine erfolgreiche Zukunft des Spiegelteleskops erweckten: Vor allem war das Reflexionsvermögen – zumindest unmittelbar nach der Versilberung – beträchtlich höher als bei den bestpolierten Metallspiegeln. Sodann waren die Glasspiegel erheblich leichter als ihre metallenen Vorläufer, was die mechanischen Schwierigkeiten beim Aufbau der Instrumente verringerte. Schließlich mußten die für Spiegel vorgesehenen Glasscheiben keineswegs die hohen Anforderungen erfüllen, die man an die optischen Gläser für Linsen zu stellen hatte, da das Licht den Spiegel nicht passiert, sondern an der Oberfläche reflektiert wird.

* Zit. nach: Deutsche Forscher aus sechs Jahrhunderten, VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1966, S. 142



Großer Reflektor der Pariser Sternwarte (Ende des 19. Jahrhunderts)

Ein Anhänger der Verwendung von versilberten Glasspiegeln für astronomische Teleskope war der vielseitige französische Experimentalphysiker Léon Foucault (1819–1868), der sich durch die von ihm entwickelte Präzisionsmethode zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit, durch interessante Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Fotografie in der Astronomie sowie durch die experimentelle Bestätigung der Erdrotation (Foucaultsches Pendel) dauerhaften Ruhm erworben hat. Nahezu gleichzeitig mit Liebig und Steinheil stellte er ebenfalls eine Methode zur Versilberung von Glasoberflächen vor und trat für ihre

Anwendung im Dienst der astronomischen Instrumente ein. Er begnügte sich jedoch nicht damit, die versilberten Glasspiegel zu propagieren, sondern schritt selbst zur Tat. Bekannt ist ein von ihm entworfenes Teleskop mit einem Spiegel von 80 cm Durchmesser, das im Jahre 1873 aufgestellt wurde.

Optische Spiegeloberflächen müssen bekanntlich viel genauer ausgeführt sein als Linsen, um eine einwandfreie Abbildung zu liefern. Deshalb spielt die Qualitätsprüfung bei ihrer Anfertigung eine wichtige Rolle. Herschel hatte, um gut abbildende Spiegel zu erzielen, den sehr aufwendigen Weg der Herstellung einer großen Anzahl beschreiten müssen, aus denen dann durch Vergleich nach und nach die immer besseren ausgewählt wurden. Es war daher ein gewaltiger Fortschritt, daß Foucault nun eine sehr einfach zu handhabende und außerordentlich zuverlässige Prüfmethode für Abweichungen der Spiegel- von den Idealflächen entwickelte. Mit diesem als Schneidemethode bekannt gewordenen Verfahren (benannt nach der dazu unter anderem benötigten Messerschneide) lassen sich noch Abweichungen der Spiegelform bis zu etwa $\frac{1}{100}$ der Wellenlänge des Lichts nachweisen. Die Einführung der Prüfmethode von Foucault, die bis heute bei der Qualitätskontrolle von Spiegeln angewendet wird, lieferte erstmals ein Hilfsmittel, das dem Prübeln ein Ende bereitete und somit auch der Prüfung von Spiegeln ein wissenschaftliches Fundament verlieh.

Bis zum Ausgang des 19. Jahrhunderts, also während jener Zeit, da die Epoche der großen Linsenfernrohre ihrem Höhepunkt entgegenstrebte, wurden insbesondere in England und Frankreich mehrere leistungsstarke Spiegelfernrohre errichtet. Die Spiegeldurchmesser erreichten die Dimensionen der Metallspiegel von Herschel. Die Qualität war jedoch unvergleichlich besser und machte die Instrumente vor allem für die Anwendung in der Himmelsfotografie geeignet.

Der Riesenspiegel setzt sich durch

Im Jahre 1876 ging eine Meldung durch die Welpresse, in der von einem ungewöhnlichen Vorhaben berichtet wurde: In den USA sollte unter der Schirmherrschaft des Millionärs James Lick (1796–1876) aus San Francisco ein Teleskop mit 4 m Spiegeldurchmesser gebaut und in der Sierra Nevada aufgestellt werden. Die Brennweite des Spiegels war auf 40 m veranschlagt. Allerdings konnte man damals keineswegs daran denken,

einen Glasspiegel dieser Dimension anzufertigen. Der Spiegel sollte vielmehr von einem großen Quecksilberzylinder gebildet werden, den man in Rotation versetzen wollte. Durch die rasche Umlaufbewegung des Zylinders um seine Achse muß nämlich die Oberfläche die Gestalt eines Paraboloids annehmen. Das Projekt wurde nie realisiert, zeigt aber, daß bereits die ersten Erfolge auf dem Gebiet der Herstellung größerer Spiegelteleskope ehrgeizige Pläne entstehen ließen, die auf erheblich lichtstärkere Instrumente gerichtet waren.

Ehe tatsächlich eine kontinuierlich fortschreitende Entwicklung zu immer gewaltigeren Ausmaßen der Spiegelteleskope einsetzte, vergingen viele Jahrzehnte, und ein Teleskop der von Lick erträumten Dimensionen ließ sogar noch ein Dreivierteljahrhundert auf sich warten. Das hat mehrere Gründe: Technische Entwicklungsstufen können nicht übersprungen werden. Die Produktion von Großteleskopen ist ein derart komplizierter Prozeß, daß nur eine lange und mühevollen Arbeit überhaupt Fortschritte ermöglicht. Zum anderen zeigte sich erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts, daß eine Weiterentwicklung der Linsenabmessungen auf prinzipielle Grenzen stößt. Doch wesentlicher als diese technischen Gründe sind wissenschaftliche Probleme. Die Entwicklung der Technik kann zwar die Wissenschaft beeinflussen, indem sie ihr neue Problemstellungen ermöglicht, aber ebenso findet ständig auch eine Rückwirkung der Wissenschaft auf die Technik statt. Sie besteht hauptsächlich darin, daß sich in der Wissenschaft Problemstellungen entwickeln, zu deren Lösung bestimmte technische Hilfsmittel erforderlich sind. Diese wechselseitige Beziehung wirkt oftmals sogar gleichzeitig, so wenn in der Technik erreichte Ergebnisse nach mehr oder weniger tiefgreifenden Veränderungen unmittelbar in der Wissenschaft verwendet werden können. Die Entstehung der Oberflächenversilberungsmethode für Spiegel bietet ein gutes Beispiel für dieses dialektische Zusammenspiel „rein“ wissenschaftlicher und technischer Tätigkeit auf der einen und praktischer Forderungen auf der anderen Seite. Wenn jedoch nur eine der genannten Komponenten vorhanden ist, kommt es nicht automatisch zu Rückwirkungen. Ergibt sich beispielsweise in der Technik für einen speziellen Fall eine neuartige Lösung, an der auf anderen Gebieten kein Interesse besteht, so muß dieses Interesse keineswegs schon durch das Vorhandensein der technischen Lösung geweckt werden.

Ähnlich war die Situation in der Astronomie gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts. Zwar ermöglichten die neuartigen Versilberungsmethoden die Herstellung größerer leistungsstarker Spiegelteleskope –

wie auch durch die Anfertigung einzelner Exemplare eindrucksvoll nachgewiesen wurde –, aber ein allgemeiner Bedarf an derartigen Spiegeln bestand noch nicht. Inhaltlich war nämlich die gesamte Astronomie noch immer vorrangig auf die Feststellung von Sternpositionen ausgerichtet – einen Forschungszweig, dem sie bis dahin fast alle glänzenden Erfolge zu verdanken hatte. Seit den Zeiten des Copernicus gab es kaum eine bahnbrechende Erkenntnis, die nicht auf dem sorgfältigen Studium der Sternpositionen und der theoretischen Auswertung solcher Beobachtungen beruhte: Die gesellschaftlich so wichtige Navigationswissenschaft gründet sich ausschließlich auf die Beobachtung und Berechnung von Positionen; Sternentfernungen werden aus Positionsbeobachtungen bestimmt; die mathematische Beherrschung der Planetenbahnen und der Bewegung von Kometen, Doppelsternen usw. ist ebenfalls ein Ergebnis derartiger Beobachtungen. Solche Triumphe wie die Entdeckung des Neptuns, der auf dem Papier berechnet war, noch ehe ihn eines Menschen Auge am Himmel gesehen hatte, verdanken wir dem Studium der Bewegungen von Himmelskörpern.

Man macht sich heute kaum noch einen Begriff von der starken Wirkung, welche die Erfolge der Mechanik, nicht zuletzt der Himmelsmechanik, auf das gesamte Denken von Naturwissenschaftlern und Philosophen ausübten. Die Mechanik wurde mit der Wissenschaft schlechthin identifiziert. So vertrat der Gelehrte Pierre Simon Laplace (1749–1827) die Auffassung, daß sich das Geschehen des gesamten Kosmos für alle Zeiten der Vergangenheit und Zukunft berechnen lasse, wenn man seinen Zustand zu irgendeiner Zeit in sämtlichen Einzelheiten kennt. Friedrich Engels enthüllte die historische Wurzel dieser Auffassung, welche die Entwicklung der Natur und der Gesellschaft auf mechanische Bewegungen zurückführen und durch die Gesetze der Mechanik erklären wollte, indem er darauf hinwies, daß im 18. Jahrhundert von den Naturwissenschaften nur die Mechanik der Schwere zu einem gewissen Abschluß gekommen war.

Die Verabsolutierung der Erkenntnisse und Methoden der Mechanik, die zeitweise die naturwissenschaftliche Forschung ebenso wie das philosophische Denken hemmte, wirkte natürlich erst recht in der Astronomie. Der hervorragende Vertreter der Positionsastronomie Friedrich Wilhelm Bessel erklärte zum Beispiel, daß die einzige Aufgabe der Astronomie darin bestehe, die Regeln ausfindig zu machen, nach denen sich die Bewegung der Gestirne vollzieht. Alle anderen Fragestellungen seien zwar nicht uninteressant, gehörten aber nicht in das Forschungsgebiet der Sternkunde. Unter dem Eindruck der Erfolge der Positions-

astronomie sowie der Himmelsmechanik und der Äußerungen anerkannter Gelehrter machten zahlreiche Astronomen diese Auffassung zu ihrer eigenen.

Indessen hatte aber im Schoß der herkömmlichen Forschungen ein ganz neuer Zweig der Astronomie zu keimen begonnen: die Astrophysik. Theoretisch verfolgte diese in Erweiterung der früheren Aufgabenstellung das Ziel, unter Berücksichtigung mehrerer Eigenschaften der Materie, also nicht nur der Schwere, alle Vorgänge im Kosmos zu beobachten und zu erklären. Praktisch trat die neue Disziplin dadurch ins Leben, daß Methoden angewandt wurden, mit deren Hilfe sich nicht allein die Örter der kosmischen Objekte, sondern zum Beispiel auch ihre Helligkeiten und Farben bestimmen ließen. Bezeichnenderweise waren die Bahnbrecher dieser neuartigen Forschungsrichtung fast ausnahmslos keine Astronomen, sondern Physiker, die über astronomische Kenntnisse verfügten.

Bereits in den ersten Jahren nach dem Beginn astrophysikalischer Forschungen konnten die jungen Neuerer der Wissenschaft große Erfolge vorweisen: Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) deutete die dunklen Linien im Sonnenspektrum, die Fraunhofer ein halbes Jahrhundert zuvor entdeckt hatte, als Absorptionen von Licht aus dem Inneren der Sonne durch eine kältere Sonnenhülle. Damit war der „Startschuß“ für die Entwicklung einer wissenschaftlichen Theorie der Sonne und der anderen Fixsterne gegeben. Durch Helligkeitsuntersuchungen wurden mehr und mehr Sterne mit periodisch schwankender Helligkeit (veränderliche Sterne) entdeckt, was einen mächtigen Impuls für die Erforschung des Lebensweges der Sterne darstellte. Die spektrale Untersuchung des Lichts der Sterne und der Nebel offenbarte die chemisch einheitliche Zusammensetzung der Weltkörper und anderes mehr.

Daraus ergab sich geradezu zwangsläufig die Forderung nach lichtstärkeren Instrumenten. Nur mit ihrer Hilfe schien es möglich, dereinst aus den Spektren der Sterne annähernd so viele Einzelheiten und Informationen abzulesen wie aus dem breiten und hellen Farbenband des zerlegten Sonnenlichts. Deshalb richteten sich die Hoffnungen erneut auf die parabolischen Glasspiegel als lichtsammelnde Konkurrenten der Linse, die an den Grenzen ihrer Möglichkeiten angekommen war. Da Spiegel keine Farbabweichung aufweisen, eignen sie sich gleichzeitig für die visuelle wie für die fotografische Untersuchung – ein weiterer Vorteil angesichts der inzwischen allgemein erkannten Bedeutung der Himmelsfotografie.

So einleuchtend diese Erkenntnisse heute auch anmuten – zunächst mußten ihnen risikofreudige und finanzkräftige Praktiker allgemeine

Anerkennung verschaffen, ehe der Bau von Spiegelteleskopen zur „Generallinie“ in der Produktion astronomischer Großinstrumente werden konnte.

Als der Forscher und Organisator der amerikanischen Astronomie George Ellery Hale (1868–1938) Ende des vergangenen Jahrhunderts George Willis Ritchey (1864–1945) an das Yerkes-Observatorium holte, brachte dieser, gleichsam als „Einstand“, ein von ihm selbst hergestelltes Spiegelteleskop mit. Obwohl die freie Öffnung des Hauptspiegels nur 58 cm betrug, erwiesen sich die Vorzüge dieses Instruments sehr rasch: Nach mehrstündigen Belichtungszeiten zeigten die mit Hilfe des Teleskops aufgenommenen Fotografien weit mehr Einzelheiten von Nebeln und Sternhaufen, als eine visuelle Beobachtung mit dem mächtigen Yerkes-Refraktor.

Von diesem Erfolg war Ritcheys Chef tief beeindruckt. Er begann daher, die Voraussetzungen für den Bau eines größeren Instruments zu schaffen. Zunächst ging er mit finanzieller Unterstützung seines Vaters und gemeinsam mit Ritchey an die Herstellung eines 1,5-m-Spiegels. Die dazu erforderliche Scheibe fertigte die bekannte französische Spiegelglasfirma Saint-Gobain. Die gesamte Bearbeitung des Rohlings, der eine Masse von rund 1000 kg aufwies, nahm Ritchey in einer eigens dazu hergerichteten Werkstatt des Yerkes-Observatoriums selbst vor. Er leistete in diesem Zusammenhang einen umfassenden Beitrag zur Weiterentwicklung der üblichen Schleif- und Poliermaschinen. Unter anderem schuf er die bei den meisten späteren Spiegelproduktionen verwendete Einrichtung, die es ermöglichte, den Spiegel für die optische Prüfung aufzustellen, ohne daß er ausgebaut werden mußte. Für die außergewöhnliche Sorgfalt, mit der Ritchey zu Werke ging, ist charakteristisch, daß er beide Seiten der französischen Glasscheibe zunächst planschliff und polierte, um sich ein sicheres Urteil über die Qualität des Glases zu verschaffen, ehe er mit dessen eigentlicher Formgebung begann.

Als der Spiegel endlich zur Zufriedenheit seines Bearbeiters fertiggestellt war, traten erhebliche Schwierigkeiten beim Bau einer geeigneten Montierung auf. Im Vordergrund standen allerdings weniger technische Probleme – Ritchey hatte eine Fülle von Ideen zur Lösung dieser Aufgabe – als vielmehr die Frage nach der Finanzierung eines so „unnützen“ Objekts. Erst nachdem es gelungen war, den Großkapitalisten Andrew Carnegie (1835–1919) zur Spende einer größeren Summe zu bewegen, konnte man an die Ausführung gehen. Um die praktischen Arbeiten kümmerte sich Ritchey mit höchstem Verantwortungsbewußtsein. Während er die mechanischen Feinteile wiederum in der institutseigenen

Werkstatt herstellen ließ, übernahm eine Spezialfirma in San Francisco die Produktion der Guß- und Schmiedeteile. Das Spiegelteleskop wurde im Jahre 1908 eingeweiht.

Ein Fernrohr stürzt die Weltvorstellung

Hale wartete diesmal gar nicht erst den Erfolg des neuen Instruments ab, ehe er seine Schlußfolgerungen zog. Ihn drängte es, auch die Dimensionen des „Leviathan“ von Rosse zu übertreffen. Natürlich war Hale nicht von Rekordsucht befallen, sondern ihm ging es um wissenschaftliche Programme. Ein Teleskop mit einem Spiegel von 2,5 m Durchmesser, so meinte er, müßte letztlich auch neuartige Forschungsprogramme ermöglichen, an die man mit kleineren Instrumenten nicht denken konnte. So begannen schon um 1906 die Vorarbeiten zu einem Fernrohr, das sich in der Geschichte der modernen Astronomie später einen hervorragenden Platz eroberte: dem Hooker-Spiegel auf dem Mount Wilson, benannt nach dem diesmal als Mäzen fungierenden Geschäftsmann John D. Hooker aus Los Angeles. Der Spiegel sollte 100 Inch (2,5 m) Durchmesser aufweisen.

Erstmals wurden alle Probleme und Schwierigkeiten bei der Herstellung moderner optischer Großteleskope in vollem Umfang sichtbar. Die Zeitspanne von der Idee bis zur Inbetriebnahme erreichte jene charakteristischen Werte, die immer wieder staunen lassen: Beim Hooker-Spiegel waren es 13 Jahre.

Zunächst vergingen 2 Jahre von der Bestellung der Spiegelscheibe in Frankreich bis zu ihrer Auslieferung. Die sorgfältige Qualitätskontrolle durch Ritchey ergab, daß die Verwendung des Rohlings für die weitere Arbeit am Instrument mit Risiken verbunden war, die niemand übernehmen konnte. Um die gestellten Anforderungen zu erfüllen, mußte die französische Firma jedoch erst neuartige Anlagen bauen, zudem verliefen mehrere Güsse erfolglos, so daß wieder Jahre vergingen, ehe man im Besitz einer neuen Glasscheibe war.

Die gesamte Spiegelbearbeitung in einer von Ritchey eingerichteten Spezialwerkstatt nahm volle 5 Jahre in Anspruch! Das Ergebnis war allerdings nach diesen außerordentlichen Mühen auch sehr zufriedenstellend. Beim weiteren Bau des Instruments – die gewaltigen Grobteile lieferte eine Schiffswerft – traten dann noch Verzögerungen durch den Ausbruch des ersten Weltkriegs ein. Die Inbetriebnahme konnte 1919 erfolgen.



Hooker-Spiegel des Mount-Wilson-Observatoriums

Das Fernrohr vom Mount Wilson ist für alle Zeiten untrennbar mit einer Reihe großer wissenschaftlicher Entdeckungen verbunden, die zugleich einen unwiderlegbaren Beweis für den Zusammenhang zwischen Erkenntnisgewinn und Entwicklungsstand der Instrumententechnik darstellen.

Zu den bahnbrechenden Erkenntnissen, die mit Hilfe des Hooker-Teleskops und seines kleineren „Bruders“, des 1,5-m-Spiegels, gewonnen wurden, gehört die Klärung der Abmessungen unseres Sternsystems.

Schon im 18. Jahrhundert hatte sich die Überzeugung durchgesetzt, daß

unsere Sonne mit ihren Planeten Bestandteil eines umfassenderen Systems von Fixsternen ist. Wäre es möglich gewesen, die Entfernungen aller Fixsterne im einzelnen zu bestimmen – eine unlösbare Aufgabe –, hätte man sich zweifellos zutreffende Vorstellungen von der Anordnung der Sterne im Raum machen können. So aber bemühte man sich, aus umfangreichen statistischen Untersuchungen ein Bild der Struktur der kosmischen Welt um uns abzuleiten. Den allgemeinsten Hinweis auf diese Struktur gibt das Band der Milchstraße. Ein Fernrohr zeigt nämlich, daß es aus vielen Einzelsternen besteht. Man kann sich das Zustandekommen einer solchen Erscheinung erklären, wenn man annimmt, daß wir uns in einer flachen Sterneninsel befinden, deren Kante gleichsam die Milchstraßenebene bildet.

Im 20. Jahrhundert wurden nun zahlreiche Verfahren ausgeklügelt, um aus Sternzählungen in Verbindung mit Helligkeitsmessungen genaue Aufschlüsse über die Struktur des Universums zu erhalten. Methodisch waren diese Forschungen übrigens gleichsam Fortsetzungen jener aufwendigen Sternzählungen, welche einst Herschel mit seinen Riesenteleskopen vorgenommen hatte. Die Ergebnisse befriedigten jedoch nicht. Wie wir heute wissen, lag dies vor allem daran, daß zwischen den Sternen eine weitverbreitete gas- und staubförmige Materie existiert, deren Vorhandensein uns ein völlig verzerrtes Bild unseres Sternsystems vortäuscht. Die Sterndichte scheint gleichmäßig nach allen Seiten abzunehmen, bis sich das Sternsystem in der Leere des Weltalls verliert.

Daß dieses Bild falsch ist und insbesondere zu irrigen Vorstellungen von der Größe des Sternsystems führte, zeigte der Astronom Harlow Shapley (1885–1972) mit Hilfe des neuen Hooker-Spiegels. Das hohe Auflösungsvermögen in Verbindung mit der großen Reichweite des Instruments ermöglichte es ihm, in den Kugelsternhaufen Objekte nachzuweisen, die sich für eine Entfernungsbestimmung dieser Haufen eigneten. (Kugelsternhaufen sind Ansammlungen einer großen Anzahl Sterne mit hoher Konzentration gegen das Haufenzentrum.) Daraus ergab sich ein sehr interessantes und für viele Zeitgenossen sogar verblüffendes Bild: Die traubenartigen Kugelsternhaufen sind wiederum recht gleichmäßig in einem kugelförmigen Raum verteilt, der weit über jene Grenzen hinausreicht, von denen man bis dahin angenommen hatte, daß sie das Ende der heimatlichen Sterneninsel darstellen. Shapley wagte nun den kühnen Schluß, daß die gewaltige Sphäre der Kugelsternhaufen mit ihrem Durchmesser (moderner Wert) von 50 kpc (Kiloparsec) die tatsächlichen Grenzen des Sternsystems bildet und die linsenförmige, flache Sterneninsel darin eingebettet liegt.

Abgesehen davon, daß Shapleys Zahlenangaben späterer Korrekturen bedurften, hat sich dieses wissenschaftliche Resultat völlig bestätigt. Der Hooker-Spiegel war es also, der unter dem klugen Gebrauch des Astronomen die wirkliche Größe unserer kosmischen Heimat im weiteren Sinne zeigte und damit zugleich ein umfassendes Forschungsprogramm einleitete, in dessen Verlauf wir unser Milchstraßensystem immer besser kennenlernten. Ungewiß blieb jedoch, ob dieses System das gesamte Universum darstellt oder nicht.

Schon seit den Tagen Kants und Herschels faszinierten die Nebel unter den kosmischen Objekten die Astronomen. Viele dieser verwaschen anmutenden Gebilde hatte Herschel mit der Kraft seiner Teleskope in Einzelsterne auflösen können. So erhob sich die Frage, ob letztlich alle Nebel aus Sternen bestünden. Sie wurde durch den Einsatz der Spektralanalyse beantwortet: Zahlreiche Nebel zeigten in ihren Spektren die charakteristischen hellen Linien leuchtender Gase, andere die bekannten Sternspektren mit dunklen Linien und Banden. Es gibt also „echte“ Nebel und nebelartig wirkende Sternansammlungen unter den Objekten des Weltalls. Folglich galt es nun zu klären, ob die Sternansammlungen im Prinzip etwas Ähnliches darstellen wie unser eigenes Milchstraßensystem und außerhalb seiner Grenzen tief im kosmischen Raum angesiedelt sind oder ob sie als kleinere Systeme zu unserer kosmischen Weltinsel gehören.

Mit diesem Problem stand der Aufbau des Weltalls grundsätzlich zur Debatte. Offenkundig kann man es lösen, wenn man die Entfernungen der Sternansammlungen bestimmt und in Beziehung zu den Abmessungen des Milchstraßensystems bringt. Doch gerade darin lag die Schwierigkeit. Die großen Nebel, von denen man durch spektroskopische Studien bereits wußte, daß sie aus Sternen bestehen, waren mit den verfügbaren optischen Hilfsmitteln nicht in Einzelsterne aufzulösen, so daß es aussichtslos schien, ihre Entfernung zu bestimmen. Hier beginnt das Pionierwerk des neuen Teleskops auf dem Mount Wilson und des bedeutenden Astronomen Edwin Powell Hubble (1889–1953).

Hubble hatte an der Universität von Chicago studiert, wo er unter dem Einfluß von Hale lebhaftes Interesse an astronomischen Problemen gewann. Obwohl seine Laufbahn zunächst vom Boxsport und später von seinen juristischen Studien bestimmt war, entschloß er sich um 1914 doch zu einer ernsthafteren Tätigkeit auf dem Gebiet der astronomischen Forschung. So begann er am Yerkes-Observatorium mit Studien über die kosmischen Nebel und deren Klassifikation. Bei einem Besuch dieses Observatoriums traf Hale den hoffnungsvollen jungen Wissenschaftler

wieder und bot ihm eine Stelle am Mount-Wilson-Observatorium an. Durch den ersten Weltkrieg verzögerte sich Hubbles Übersiedlung bis zum Jahre 1919. Damals war der Hooker-Spiegel gerade fertig geworden, und Hubble hatte das seltene Glück, in der schwungvollen Periode seines Lebens sogleich über das leistungsfähigste Forschungsinstrument der Welt zu verfügen.

Seine früheren Untersuchungen fortsetzend, wendete er sich wieder den Nebeln zu, und auf diesem Gebiet gelang ihm mit einer fotografischen Aufnahme vom 5. Oktober 1923 eine der bedeutsamsten astronomischen Entdeckungen unseres Jahrhunderts. Die gewaltige auflösende Kraft des Hooker-Spiegels ließ nämlich erstmals Einzelsterne in den Randgebieten des Andromedanebels erkennen. Hubble machte sich an die mühevollen Arbeit, die Objekte genau zu studieren, und fand dabei verschiedene Sterne und Sternansammlungen, die auch aus den Weiten unseres Milchstraßensystems bekannt waren: offene Sternhaufen (Ansammlungen von Sternen mit geringer Konzentration gegen das Haufenzentrum), Sternwolken und andere.

Besonderes Gewicht aber hatte die Entdeckung eines veränderlichen Sterns, dessen Helligkeitswechsel sich ebenso vollzog wie die Lichtschwankungen des Sterns Delta im Sternbild Cepheus (Delta-Cephei-Stern). Dabei handelt es sich um Sterne, die ihre Helligkeit regelmäßig in Abständen von etwa 2 bis 50 Tagen um ein bis zwei Größenklassen verändern. In den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts hatte die amerikanische Astronomin Henrietta Swan Leavitt (1868–1921) die Entdeckung gemacht, daß die Periode, mit der die Helligkeit dieser Sterne schwankt, in engem Zusammenhang mit deren sogenannter absoluter Helligkeit steht. Als absolute Helligkeit der Sterne bezeichnen wir diejenige Helligkeit, welche sie besäßen, wenn sie alle in einer einheitlichen Entfernung von uns angeordnet wären.

Die absolute Helligkeit gestattet uns also, die Sterne in ihrer Strahlung unmittelbar miteinander zu vergleichen. Andererseits kann man aus der Differenz zwischen der absoluten Helligkeit und der scheinbaren Helligkeit eines Sterns seine Entfernung ableiten (Methode der fotometrischen Parallaxen); denn daß uns ein Stern erheblich lichtschwächer erscheint, als es seiner absoluten Helligkeit entspricht, liegt natürlich in erster Linie daran, daß er sich in Wirklichkeit nicht in der Einheitsentfernung, sondern weiter entfernt befindet. Damit ist die Bedeutung der Cephei-Sterne klar: Ihre Periode ermöglicht uns die Bestimmung der absoluten Helligkeit und somit auch die Ableitung der Entfernung des jeweiligen Objekts.



Randpartien des Andromedanebels

A = Kugelsternhaufen, B = Delta-Cephei-Stern, C = Sternwolke,
D = offener Sternhaufen

Als Hubble nun die Perioden-Helligkeits-Beziehung der Cepheiden auf das von ihm im Andromedanebel entdeckte Objekt anwandte, kam er zu einem höchst bemerkenswerten Resultat: Der Andromedanebel ist rund 1 Million Lichtjahre (moderner Wert 2,2 Millionen Lichtjahre) von uns entfernt! Dies war nicht nur die größte Entfernung, von der man jemals aus astronomischen Messungen erfahren hatte. Viel gewichtigere Folgen für die gesamten Vorstellungen vom Kosmos hatte die Tatsache, daß sich der Andromedanebel damit weit außerhalb unseres Sternsystems befinden mußte. Die Galaxis ist also nicht mit dem Universum identisch. Vielmehr bildet auch sie nur einen Baustein des Weltalls, allerdings einen unvergleichlich größeren als beispielsweise unser Planetensystem. Die Technik hatte eine der Fragen gelöst, denen Jahrhunderte hindurch die kühnsten Denker vergeblich nachspürten. Die „Weltinsel-Theorie“, schon im 18. Jahrhundert von Immanuel Kant vertreten, fand damit ihre Bestäti-

gung. Daß dies jedoch fast 200 Jahre auf sich warten ließ, war keineswegs ein Zufall. Hinter der Entdeckung verbirgt sich letztlich nicht nur die Entwicklung der astronomischen Instrumente, sondern der gesamten gesellschaftlichen Produktivkräfte, ohne die auch ein Hooker-Spiegel undenkbar wäre.

Das Mount-Wilson-Teleskop ermöglichte noch einen Fund, der in seiner Tragweite unmittelbar an die Entdeckung ferner Sternsysteme anschließt. Hale hatte beim Bau des großen Instruments von Anbeginn auch spektroskopische Untersuchungen im Sinn, so daß es nur folgerichtig erscheint, wenn Hubble sich ihnen ebenfalls zuwendete. Da die extragalaktische Forschung als ein neuer Zweig der modernen Astronomie mit der Entdeckung des tatsächlichen Charakters des Andromedanebels allgemeine Aufmerksamkeit unter den Fachleuten erregte, beschäftigte auch er sich weiter mit diesem Thema. Unerschlossenes Forschungsland lockte zu neuen Vorstößen in das Unbekannte. Systematisch studierte Hubble mit seinen Mitarbeitern die Spektren der fernen Sternsysteme. Er hielt die Sternsysteme für die strukturellen Einheiten der kosmischen Materie. Ihre Verteilung und Bewegung zu erforschen erschien ihm deshalb als der sicherste Weg, auch das Universum als Ganzes zu verstehen.

Einerseits wendete Hubble die Methode zur Entfernungsbestimmung der Galaxien bis an die Grenze des zu seiner Zeit überhaupt Möglichen an. Andererseits widmete er den Spektren größte Aufmerksamkeit, um die Bewegungsverhältnisse der „Bausteine“ zu untersuchen. Hierbei bediente er sich eines Prinzips, das seit den achtziger Jahren des 19. Jahrhunderts große Erfolge gebracht hatte: das Studium der Lage der einzelnen Spektrallinien in den Farbenbändern zerlegten Lichts. Bewegt sich nämlich eine Lichtquelle sehr rasch vom Beobachter fort, so erreichen ihn je Zeiteinheit weniger „Wellenzüge“ der elektromagnetischen Welle – die Farbe scheint ins Rötliche verschoben. Umgekehrt tritt eine Violettverschiebung ein, wenn sich leuchtende Körper dem Beobachter nähern. Damit dieser Effekt überhaupt meßbar wird, müssen sich die Objekte allerdings mit sehr hohen Radialgeschwindigkeiten bewegen. Im Spektrum macht sich diese Bewegung dann dadurch bemerkbar, daß die einzelnen Linien gegenüber den gleichen, jedoch aus Laborlichtquellen stammenden Linien entweder zum roten oder zum violetten Ende des Spektrums hin verschoben sind.

Als Hubble im Jahre 1929 die Entfernungen einer Reihe von Sternsystemen untersuchte und mit den gemessenen Radialgeschwindigkeiten verglich, fand er, daß zwischen beiden Größen eine lineare Beziehung besteht: Je größer die Entfernungen, desto größer waren die Radial-

geschwindigkeiten, und zwar durchweg im Sinne von „Fluchtbewegungen“, die sich im Spektrum durch Rotverschiebungen feststellen ließen. Innerhalb von zwei Jahren wurde das Hubble-Gesetz der Nebelflucht sorgfältig überprüft und für Objekte bis zu einer Entfernung von mehr als 100 Millionen Lichtjahren bestätigt.

Hubble hatte damit eine Entdeckung von grundlegender Bedeutung gemacht. Das Universum ist kein statisches Gebilde, sondern auch als Ganzes in einer ständigen Entwicklung begriffen, deren wichtigste Kenngröße die Expansion (Ausdehnung) bildet. Seit jener Entdeckung, welche nur dank der Leistungsfähigkeit des Hooker-Spiegels möglich war, stellt die beobachtete Expansion gemeinsam mit der allgemeinen Relativitätstheorie von Albert Einstein (1879–1955) das wichtigste Rüstzeug der Kosmologen dar – der Forscher, die sich mit den Eigenschaften und Prozessen des Universums als Ganzes beschäftigen. Grundsätzliche Fragen unseres Weltverständnisses, wie zum Beispiel das Problem der Unendlichkeit, hängen mit diesem Fragenkomplex eng zusammen.

Nur der Bau noch gewaltigerer Instrumente konnte nach den außerordentlichen Erfolgen der Forschung Aussicht auf die baldige Klärung der neuen schwierigen Fragen bringen. Hale erkannte diesen Zusammenhang sofort und setzte alle Kraft in ein neues Projekt.

Die Geburt des Palomarteleskops

Ursprünglich dachte man an ein Teleskop mit 7,5 m Spiegeldurchmesser, bald aber ging man auf einen realistischen Wert von 5 m zurück. Hale war wieder unermüdlich bei der Propagierung seines Vorhabens; denn eine staatliche Finanzierung erschien in den USA wie eh und je ausgeschlossen. Er setzte sich mit dem Präsidenten der Rockefeller-Stiftung in Verbindung und legte die Bedeutung seines Projekts in allen Einzelheiten dar. Die Stiftung stellte 6 Millionen Dollar zur Verfügung. Damit konnte man an die Vorarbeiten gehen.

Im Jahre 1928 begann ein Kollektiv aus Vertretern verschiedener wissenschaftlicher und technischer Disziplinen mit den Beratungen über die Einzelheiten. Die Fachleute stimmten darin überein, daß es ein großer Vorteil für das Instrument wäre, wenn der Spiegel aus Quarzglas gefertigt werden könnte, da diese Glasart einen besonders geringen Ausdehnungskoeffizienten besitzt und zudem noch leichter ist als anderes in Frage kommendes Glas.

Die Herstellung großer Quarzglasscheiben bereitet allerdings unerhörte Schwierigkeiten, und tatsächlich waren allein für entsprechende Experimente bald schon über eine halbe Million Dollar verbraucht, ohne daß man auch nur annähernd einen Rohling mit der vorgesehenen Abmessung zur Verfügung hatte. So wurde denn eine Scheibe der erforderlichen Größe aus einem Kunstglas gefertigt. Man entschloß sich, ihre Rückseite mit wabenförmigen Hohlstellen zu versehen, um auf diese Art die Masse des Spiegels und auch die erforderliche Abkühlungszeit zu verringern. Da es an Erfahrungen fehlte, gingen die Techniker schrittweise vor. Zunächst wurde eine 75-cm-Scheibe, danach eine 1,5-m-Scheibe und schließlich noch eine 3-m-Scheibe gegossen, ehe man sich an den Hauptspiegel wagte. Der erste Guß erfolgte dann im Beisein zahlreicher geladener Gäste am 25. März 1934 in den Glaswerken von Corning im Staate New York. Die Kerne aus feuerfestem Material, die sich in der Gußform befanden, um dem Spiegel die wabenförmige Gestalt zu geben, waren mit starken Bolzen am Boden der Form verankert worden, damit sie sich nicht während des Gusses ablösten und die Schmelze zunichte machten. Als sich die Glasmasse schon in die gewaltige Form ergossen hatte, schwammen plötzlich trotzdem Kerne auf dem Glasee. Einige Bolzen hatten offensichtlich der Hitze nicht standgehalten. Ein zweiter Guß mußte vorbereitet werden. Rund ein Dreivierteljahr später strömten erneut die Glasfluten in eine Gußform mit Spezialbefestigungen der Kerne – diesmal zur Zufriedenheit aller Beteiligten.

Inzwischen hatte man in Pasadena eine optische Spezialwerkstatt für die Bearbeitung des Riesenspiegels geschaffen. Als das 20 t schwere Wunderding nach einer unter strengen Vorsichtsmaßnahmen erfolgten Reise in der Stadt eintraf, wurde es von einer schaulustigen Menschenmenge begrüßt.

In der Werkstatt begann nun die sorgfältig vorbereitete Bearbeitung des wertvollen Rohlings. Innerhalb eines Vierteljahres verlor die Glasscheibe durch das Einschleifen einer Krümmung mit einer größten Tiefe von etwa 10 cm in der Mitte des Blocks 5 t Masse.

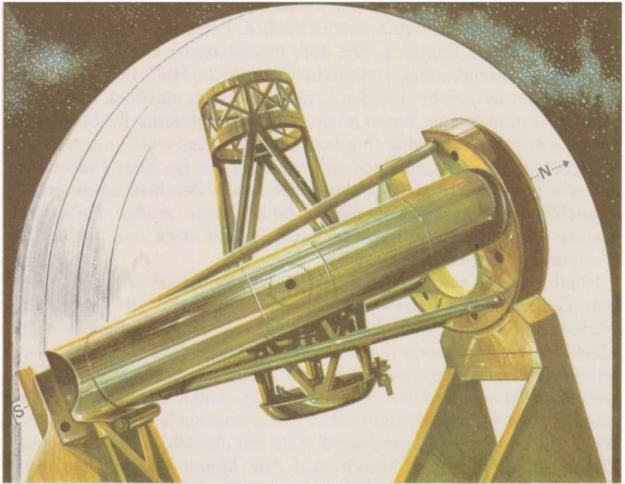
Dann erfolgte das Schleifen abwechselnd mit Polierarbeiten unter Verwendung einer Schleiffläche mit nahezu 2000 Blöcken aus Glas. Um einen Eindruck von der außerordentlichen Präzision zu geben, die für eine spätere einwandfreie Funktion erforderlich war, sei erwähnt, daß der 5-m-Spiegel nur 0,14 mm von der reinen Kugelform abweichen durfte.

Während des Schleifens rotierte der Spiegel jeweils knapp 3 Minuten lang auf einem speziellen Poliertisch. Die Polierscheibe wurde unterdessen darüber hin- und herbewegt. Der tägliche Masseverlust betrug während

dieser Arbeiten nur 1,5 g. Um den möglicherweise verheerenden Einfluß von Staubteilchen im Raum auszuschließen, hatte man besondere Vorichtsmaßnahmen ergriffen: Die dort Beschäftigten mußten ihre Kleidung gegen Spezialanzüge vertauschen, ehe sie die Halle betraten, in der die Arbeiten ausgeführt wurden. Zuschauern war ein Blick in den hermetisch verschlossenen Raum allein durch eine gläserne Beobachtungskanzel gestattet. Sogar eine eingebaute Klimaanlage wurde nur zeitweise betrieben, um Luftströmungen zu vermeiden, die bei einer Prüfung des Spiegels gestört hätten. Als das umfassende Bearbeitungsprogramm abgeschlossen war, konnten die Techniker einen großen Erfolg verzeichnen: Die Form des Spiegels wich lediglich um etwa $\frac{1}{25000}$ mm von der theoretisch vorgegebenen Form ab!

19 Jahre waren seit jenem Tag vergangen, da man dem neuen Spiegel erste Gedanken gewidmet hatte, als er im Spätherbst 1947 endlich die Werkstatt verließ. Unter Aufbietung aller Vorsichtsmaßnahmen einschließlich Geleitschutzes durch die Polizei wurde das kostbare Glas auf der eigens ausgebauten Bergstraße, der „Highway to the Stars“, 1700 m hoch zum Mount Palomar emporgefahren. Dank der Sorgfalt überstand die Fracht den Transport ohne den geringsten Schaden. Allerdings betrug die Durchschnittsgeschwindigkeit, mit der sich der Lastzug seinem Ziel näherte, nur knapp 3 km/h. Auf dem Mount Palomar hatte man inzwischen eine kleine Produktionsstätte mit Werkstatt, Kraftanlage und Wassertank gebaut, um den Dom zu errichten, unter dem das Gerät mit dem 5-m-Auge Platz finden sollte. Die gewaltige Rohrkonstruktion war bereits fertiggestellt und in der Zwischenzeit mit einer Betonattrappe des Spiegels bestückt worden, um die Funktion erproben zu können.

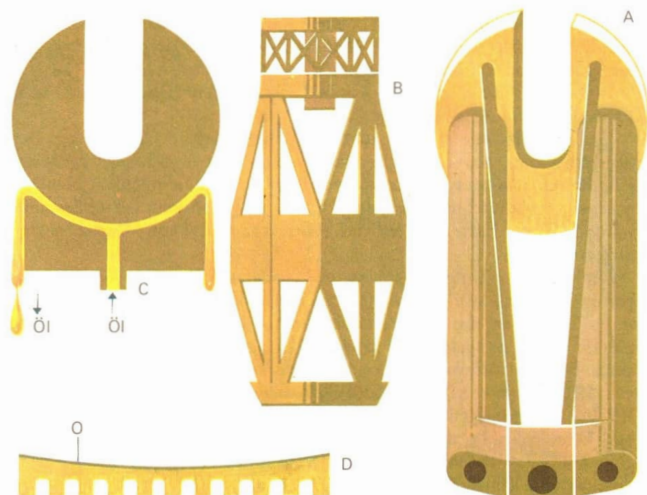
Eigens für das Rieseninstrument hatte man nach umfassenden Diskussionen und Variationen eine neuartige Montierung gefunden, die alle Anforderungen an die Aufstellung und Bewegung des Teleskops zu erfüllen vermochte. Hierbei wurde die schon vom Hooker-Spiegel bekannte Rahmenmontierung mit der Gabel- und Split-Ring-Montierung kombiniert. Bei der Split-Montierung – ursprünglich für kleinere Fernrohre erdacht – handelt es sich um einen einseitig offenen Ring in der Ebene des Himmelsäquators, der den Instrumententubus trägt. Die Zapfen, mit deren Hilfe das Instrument in dem offenen Ring gehalten wird, bilden zugleich die Deklinationsachse. Indem man das Fernrohr um diese Achse dreht, kann man Sterne verschiedener Deklination, das heißt verschiedenen Winkelabstands vom Himmelsäquator, einstellen. Die Rotationsachse des Rings hingegen ist die auf den Himmelspol gerichtete Stundenachse, mit der sich verschiedene Stundenwinkel einstellen lassen.



5-m-Teleskop auf dem Mount Palomar
N = Nordrichtung, S = Südrichtung

Die Ausführung der Montierung erforderte viel Erfindungsreichtum; denn nie zuvor war dergleichen verwirklicht worden. Die Organisation dieser Aufgabe übernahm ein Mann, der Erfahrung im Umgang mit großen Massen besaß – ein Marinekapitän. Als die gesamte Anlage, deren bewegliche Teile eine Masse von 500 t umfassen, fertig war, wurde der Spiegel eingebaut. In einer Vakuumkammer hatte man diesen zuvor mit einer hochreflektierenden Aluminiumschicht bedampft, zu deren Schutz außerdem noch eine dünne Quarzdeckschicht diente.

Beim Hooker-Spiegel fing ein Quecksilberauftrieb die durch die gewaltigen Massen bedingten auf die Achsen wirkenden Kräfte ab. Ein solches Entlastungssystem ist für die präzise und weitgehend reibungsfreie Bewegung des Instruments außerordentlich wichtig. Für den Palomarspiegel ersann man nun eine Lagerung auf einem Ölfilm. Zwischen



Bestandteile des Palomartelekops

A = Hauptachse der Gabelmontierung, B = Gittertubus, C = Schnitt durch das Öllager,
D = Schnitt durch den Hauptspiegel mit der dünnen reflektierenden Schicht O

die einzelnen Gleitflächen wird Öl unter einem Druck bis zu 4000 kPa (Kilopascal) gepreßt. So schwimmen die gewaltigen Massen letztlich auf einer Ölschicht, die nur Bruchteile eines Millimeters dick ist.

Wie bei allen modernen Spiegelteleskopen üblich, kann auch das Palomartelekop in mehreren Strahlengängen benutzt werden, je nach dem wissenschaftlichen Zweck. Die Brennweite des Spiegels (Newton-Fokus) beträgt 16,75 m. Soll im Newton-Fokus gearbeitet werden, so kann sich der Beobachter in eine dort installierte Kabine begeben, wo er 17 m hoch über dem kostbaren Glasauge thront und telefonisch seine Weisungen an den das Schaltpult bedienenden Assistenten erteilt.

Im Cassegrain-System hat das Fernrohr eine Brennweite von 81,3 m. Schließlich ist es durch Einbringen eines schräggestellten Planspiegels in den Strahlengang auch noch möglich, das Strahlenbündel in ein Rohr des

Rahmens zu lenken, von wo es in einen Raum weitergeleitet wird, in dem sich hochauflösende Spektrographen und andere Geräte zur Auswertung des eintreffenden Lichts der kosmischen Objekte befinden.

Im Sommer des Jahres 1948 wurde das Instrument in einer Feierstunde seiner Bestimmung übergeben.

Große Aufgaben standen dem bis dahin mächtigsten Teleskop der Sternforschung bevor. Insbesondere erschien der 5-m-Spiegel geeignet, jene Untersuchungen weiterzuführen, welche Hubble mit dem Hooker-Spiegel vor Jahrzehnten begonnen hatte. Das Volumen des überschaubaren Weltalls hatte sich auf das Achtfache des zuvor Möglichen vergrößert.

Die Fülle der Untersuchungen, die seither mit dem 5-m-Spiegel ausgeführt wurden, läßt sich hier nicht einmal skizzieren. Zu den unerwarteten Resultaten, die dieses Teleskop schon bald nach seiner Inbetriebnahme erbrachte, gehört die Revision der astronomischen Entfernungsskala. Bei der Untersuchung des Andromedanebels stieß man nämlich auf eine Mißstimmigkeit: Man wußte über die veränderlichen Sterne des Typs RR Lyrae, deren Helligkeitswechsel sich wie bei dem Stern RR im Sternbild Leier vollzieht, daß sie eine absolute Helligkeit von $0^m,0$ besitzen. In eine Einheitsentfernung von 10 pc versetzt, würden alle diese Sterne demnach wie Objekte der Größenklasse Null strahlen. Im Andromedanebel, dessen Entfernung man mit maximal 300 000 pc annahm, hätte ein RR-Lyrae-Stern deshalb mit einer scheinbaren Helligkeit von $22^m,4$ strahlen müssen. Für den Hooker-Spiegel lag diese Helligkeit unterhalb der Nachweisgrenze. Das neue Instrument aber mußte imstande sein, RR-Lyrae-Sterne in den Randpartien des Sternsystems auszumachen. Rechnungen zeigen, daß eine Grenzhelligkeit von $22^m,4$ mit diesem Mammutauge gerade noch erreichbar wäre. Die Astronomen wunderten sich deshalb sehr, als sie auf einer 30 Minuten lang belichteten Platte keinerlei RR-Lyrae-Sterne fanden, jedoch eine Reihe Sterne, von denen man wußte, daß sie genau 1,5 Größenklassen heller strahlen als diese. War man keinem Trugschluß erlegen, so konnte dies nur bedeuten, daß die Gesuchten statt $22^m,4$ um $1^m,5$ schwächer, das heißt mit einer scheinbaren Helligkeit von $23^m,9$ strahlen. Bei einer weiteren Untersuchung stellte sich heraus, daß man infolge ungenügender Kenntnisse über die Cephei-Sterne alle Entfernungen der extragalaktischen Objekte fehlerhaft bestimmt hatte. Die neuen Werte, die sich unter Berücksichtigung der mit dem 5-m-Spiegel gewonnenen Erkenntnisse ergaben, waren rund doppelt so hoch wie die alten.

Damit löste sich ein weiteres Rätsel: Der Andromedanebel war wegen

seiner zu gering angenommenen Entfernung als ein Objekt erschienen, das erheblich kleiner als unser eigenes Sternsystem sein mußte. Auch die anderen Galaxien zeigten sich alle winzig im Verhältnis zu unserer heimatlichen „Weltinsel“. Da die Sternsysteme ansonsten prinzipiell unserem System gleichen, war diese Ausnahme hinsichtlich der Dimensionen ein unbegreiflicher und nicht logisch erscheinender Tatbestand. Nun ergab sich im Ganzen ein widerspruchsfreies Bild, ein noch „größerer“ Kosmos und somit eine weitere Annäherung der Erkenntnis an die objektive Wirklichkeit.

Das Riesenauge von Selentschukskaja

Die gewaltigen Anstrengungen beim Bau des 5-m-Teleskops in den USA ließen es fragwürdig erscheinen, ob man in absehbarer Zeit die Herstellung noch größerer optischer Instrumente planen und ausführen könnte. Doch das Auge auf dem Mount Palomar befand sich erst einige Jahre in Betrieb, als sich in der UdSSR Konstrukteure an ihren Reißbrettern mit einem noch kühneren Projekt zu beschäftigen begannen: einem Spiegelteleskop mit einer freien Öffnung des Hauptspiegels von 610 cm. Von Anbeginn war klar: Sollte dieses Meisterwerk gedeihen, so mußten Höchstleistungen vieler wissenschaftlicher und technischer Disziplinen erbracht werden – vom Schwermaschinenbau bis zur Feinmechanik und elektronischen Datenverarbeitung. Werkstoffe mit neuen Materialeigenschaften galt es ebenso nach „Programm“ zu erfinden wie wissenschaftlich neuartige Lösungen, die den Nachteil der gewaltigen Masse auszugleichen vermochten. In den Leningrader Optisch-Mechanischen Werkstätten, die den Koloß herstellen sollten, errichtete man für das einzigartige Erzeugnis der Firma Werkhallen, deren Dimensionen sich dem Instrument gewachsen zeigen mußten; denn bevor es seine endgültige Aufstellung erhalten konnte, war eine Probemontage erforderlich.

Während so Techniker und Wissenschaftler der unterschiedlichsten Disziplinen und Arbeiter in mehreren Betrieben dem größten Auge, das sich der Mensch je selbst schuf, ihre volle Aufmerksamkeit zuwendeten, hatte eine Gruppe von Meteorologen andere Sorgen: Sollte das kostbare Instrument dereinst höchst wirksam arbeiten, so mußte der bestmögliche Aufstellungsort gefunden werden. Der ökonomische Aufwand für den Bau des Mammutfernrohrs ließ sich nur vertreten, wenn es viele Nachtstunden des Jahres hindurch wertvolle Daten sammelte.

Das große Territorium der Sowjetunion enthält ein breites „Angebot“ günstiger Orte für astronomische Beobachtungen. Die Aufgabe der Meteorologen war es nun, aus jahrzehntelangen Aufzeichnungen über Temperatur, Bewölkungsdauer, Luftfeuchtigkeit und anderes diejenigen auszuwählen, welche ein Maximum an klaren Nächten auswiesen. Doch damit nicht genug: Die Erfahrungen hatten bereits gezeigt, daß neben der Anzahl der klaren Stunden auch die „Qualität des Himmels“ entscheidend für die Standortwahl sein muß. Eine besonders klare Durchsicht, wie sie im Hochgebirge, weit entfernt von den Lichtern der Städte, herrscht, ist erforderlich, damit sich die Vorzüge eines großen Beobachtungsinstruments voll entfalten können. Solche Informationen hatten aber die Wetterforscher verständlicherweise nicht gesammelt. So wurden insgesamt 16 Expeditionen zusammengestellt und auf weite Reisen geschickt, um speziell das „astronomische Klima“ der Sowjetunion zu untersuchen. Als die Wissenschaftler schließlich nach umfassenden Messungen alle Daten miteinander verglichen, fiel die Wahl auf einen einsamen Ort in 2070 m Höhe über dem Meeresspiegel nahe der Siedlung Selentschukskaja in der Region Stawropol. Hier oben in den Bergen des Kaukasus, wo einst die Alanen, allein auf die Kraft ihrer Augen und primitiver Meßwerkzeuge gestützt, den Himmel beobachtet hatten, sollte das größte Teleskop aufgestellt werden und das bescheidene Werk der Ureinwohner dieser Gegend auf dem höchsten technischen Niveau unserer Zeit fortsetzen.

Die Erzeugung des optischen Hauptbestandteils, des Spiegels, war Neuland. Noch nie zuvor in fünf Jahrtausenden Glasherstellung wurde ein Glaskörper dieser Masse und Dimension produziert. 70 000 kg Glas galt es zu einem Rohling von äußerster Gleichmäßigkeit zu verarbeiten. Obwohl die für solche Zwecke heute zur Verfügung stehenden Kunstgläser bei weitem nicht mehr jene Empfindlichkeit gegenüber Temperaturwechsel zeigen wie in der Pionierzeit der großen Glasspiegel, muß doch die Abkühlung – zumal bei derartigen Massen – noch recht behutsam vonstatten gehen. Als man die ersten Probeabgüsse vorgenommen und einige unentbehrliche Erfahrungen in der Technologie erworben hatte, für die es nirgendwo Vorbilder gab, erfolgte der entscheidende Guß. Die Temperatur des flüssigen Rohlings wurde dann während 736 Tagen von anfangs 1600 °C auf die Umgebungstemperatur abgekühlt. Eine Kommission aus zahlreichen Spezialisten erschien zur Abnahme des Teilprodukts. Erst nachdem diese zufriedenstellend ausgefallen war, konnte man die nächsten Schritte wagen.

Unter größten Vorsichtsmaßnahmen wurde das zukünftige Kernstück

des Teleskops aus der Schmelzerei in einen Arbeitsraum übergeführt, wo der Schliff begann. Allein für diese Arbeit waren 3000 g Diamanten erforderlich. Die Bearbeitung des Rohlings fand unter Bedingungen statt, die eher an den Operationssaal einer modernen Klinik als an eine Produktionsstätte der Technik erinnerten. Nur wenige unentbehrliche Personen hatten überhaupt Zutritt zu dem staubfreien und temperaturkonstanten Raum, in dem der Schleifvorgang abließ. Wieder und wieder kamen bange Minuten. So als der kostbare Glasblock mit Hilfe eines 100-t-Laufkrans zum Auflagegestell befördert und behutsam herabgelassen wurde. Dann senkte sich die eigens für diesen Zweck entwickelte und hergestellte Schleifscheibe mit ihrer Masse von 12 t auf den Glaskörper. Zehntel um zehntel Millimeter arbeitete sich das Schleifwerkzeug mit seinen rotierenden Bewegungen in das Glas hinein. Immer wieder mußte der Vorgang unterbrochen werden, weil sich der Glaskörper erwärmt hatte. Dem Schleifen folgte die Politur. Die mathematisch bestimmte Struktur der Oberfläche ist an jeder Stelle bis auf weniger als $\frac{1}{1000}$ mm einzuhalten, wenn der Spiegel dereinst die ihm zugeordneten Forschungsaufgaben erfüllen soll. Geringste Unsauberkeiten bei der Arbeit, zum Beispiel durch auf die Oberfläche gelangte Staubteilchen, haben schwerwiegende Folgen: Wird die Glasoberfläche um $\frac{1}{10}$ mm eingeschrämmt, so muß man vom gesamten Glasblock eine Schicht in Dicke der Schramme abtragen. Dies verringert jedoch die Masse, worauf das Entlastungssystem nicht eingerichtet ist.

Wochen und Monate gingen ins Land, bis endlich der große Tag heranrückte: Schliff und Politur waren beendet, und die Überprüfung des Spiegels konnte beginnen. Eine Kommission, der die Schöpfer des Instruments Dmitri Maksutow, Oleg Melnikow und andere hervorragende Wissenschaftler und Techniker angehörten, kam unter Leitung von Akademiemitglied Alexander Prochorow zu dem Ergebnis: Der Spiegel eignet sich für die Montage im Teleskop.

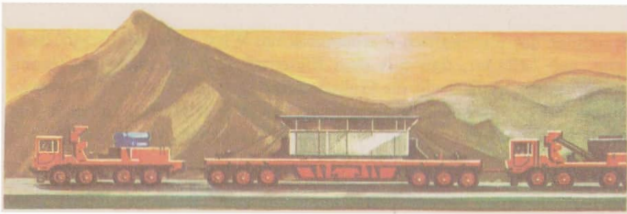
Indessen war die gewaltige Konstruktion, die das Auge aufnehmen sollte, ebenfalls weit vorangeschritten. Gegen die Masse dieser technischen Schöpfung mutet der Spiegel leicht an; denn das Teleskop wiegt 850 t! Es muß aber so mühelos bewegt werden können wie das feinste Uhrwerk. Der Chefkonstrukteur, Leninpreisträger Bargat Ioannissiani, ließ sich mit seinem Mitarbeiterkollektiv etwas Ungewöhnliches einfallen: Wegen der gewaltigen Masse des Instruments wollten sie auf die bei allen Großteleskopen übliche Montierung, bei der sich das Instrument um eine zur Erdachse parallele Achse bewegt, verzichten. Statt dessen sollte das Fernrohr so aufgestellt werden, daß es nur vertikal und horizontal zu

bewegen ist. Eine solche Aufstellung nennt man azimutal. Auf diese Weise kann man selbstverständlich ebenfalls jeden gewünschten Punkt am Himmel einstellen, jedoch bedarf es ständiger Veränderungen der Lage des Instruments in zwei Ebenen, um dem scheinbaren Lauf der Objekte am Himmel zu folgen. Nur eine spezielle elektronische Datenverarbeitungsanlage ist imstande, dieses komplizierte Problem zu lösen.

Inzwischen hatte auf dem Pastuchow-Berg im Kaukasus ein emsiges Treiben begonnen. Der in Leningrad von Chefarchitekt D. Jenikejew projektierte Bau für das Rieseninstrument wurde errichtet. Mit seinen 53 m Höhe und 44 m Durchmesser stellte er in der unwegsamen Gegend des Hochgebirges ein schwieriges Vorhaben dar. Baumaterialien und technisches Zubehör mußten von weither angeliefert werden, und schließlich befanden sich die Einzelteile des Teleskops ausnahmslos in Leningrad. Tausende von Bauelementen waren wieder zu demontieren und dann zu Wasser und zu Lande auf die einsamen Nordhänge des Kaukasus zu transportieren. Doch das wichtigste optische Element fehlte noch: der Spiegel.

Die Beförderung der Teleskopteile mit Sattelschleppern und Lastkränen hatte bereits gezeigt, daß die Anlieferung des Spiegels ein besonders schwieriges Problem sein würde. Unvorhergesehene Ereignisse durften nicht eintreten, wollte man nicht die Arbeit vieler Jahre leichtfertig aufs Spiel setzen. Deshalb faßten die Mitglieder des Kollektivs der Optisch-Mechanischen Werkstätten den Entschluß, den Transport des Riesenspiegels vom Werktor in Leningrad bis in die Höhen des Kaukasus vorher genau auszuprobieren. Statt des richtigen Spiegels wollten sie eine Attrappe auf die Reise schicken, die in Abmessungen und Gewicht eine getreue Nachbildung des Originalspiegels sein mußte. Die Straßen, auf denen die ungewöhnliche Fracht rollen sollte, wurden sorgfältig inspiziert und – wo nötig – ausgebessert, um jede Erschütterung während des Transports zu vermeiden. Brücken, die für 50 t nicht zugelassen waren, verstärkte man. Sogar besondere Witterungsumstände kalkultierten die Planer ein.

Im späten Frühjahr 1974 fand dann die Generalprobe statt. Eine im Vergleich zu dem Original wertlose Last wurde mit größter Behutsamkeit zum Kaukasus transportiert. Und erst als diese Fahrt gut überstanden war, ging der Riesenspiegel auf die gleiche Reise. In Selentschukskaja nahmen ihn die Techniker in Empfang und bauten ihn in das vorbereitete Teleskop ein. Jetzt endlich konnte man die dünne Schicht Aluminium aufdampfen, an der das Licht der kosmischen Objekte reflektiert wird und die somit das Auge erst sehfähig macht.

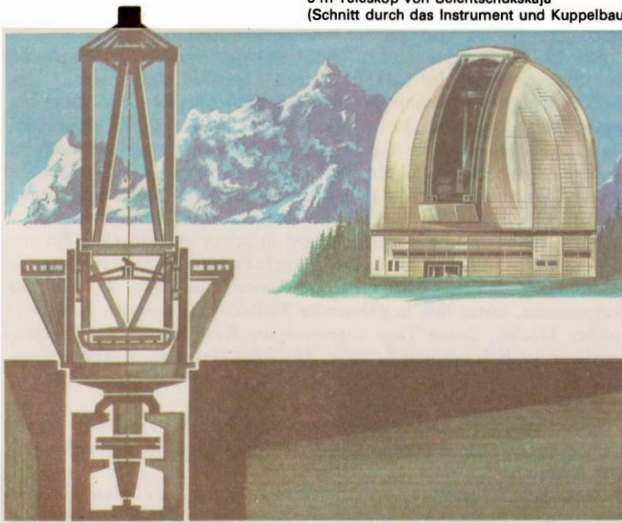


Transport des 6-m-Spiegels durch die Bergwelt des Kaukasus

Anfang 1975 ging die lang erwartete Meldung um die Welt: Das größte jemals erbaute optische Fernrohr hat seinen Probebetrieb aufgenommen.

Der stellvertretende wissenschaftliche Direktor des Observatoriums,

6-m-Teleskop von Selentschukskaja
(Schnitt durch das Instrument und Kuppelbau)



Kandidat der physikalisch-mathematischen Wissenschaften Sergej Rubljow, gab bekannt, daß mit dem Riesenteleskop vor allem die fernen Sternsysteme im Weltall, die Galaxien und ihre verschiedenen Entwicklungsstadien, untersucht werden sollen – ein Spezialgebiet, auf dem die sowjetischen Astronomen in der jüngsten Vergangenheit bereits bedeutende Erfolge zu verzeichnen hatten.

Das Fernrohr von Selentschukskaja vermag tiefer in das Universum zu blicken als jedes andere Instrument vor ihm. Seine gegenüber dem amerikanischen 5-m-Teleskop fast anderthalbmal größere Fläche sammelt von den schwächsten Objekten mehr Licht und ermöglicht dadurch das Vordringen in neue Weiten. Grundfragen der astronomischen Forschung, die sich wohl jeder schon einmal gestellt hat, werden ihrer Lösung näher gebracht: Ist das Weltall unendlich oder nur unbegrenzt, ist es in sich geschlossen, so daß ein Lichtstrahl, der irgendwo ausgesendet wird, nach sehr langen Zeiten wieder in sich zurückläuft? Werden die Spiralnebel auch in Zukunft auseinanderfliegen wie die Splitter einer Granate, oder wird die kosmische Expansion in eine Kontraktion übergehen? Ob sich all diese Fragen beantworten lassen, hängt zu einem großen Teil von der Reichweite und der Qualität der Forschungsinstrumente ab.

Auf dem XXV. Parteitag der KPdSU gab der Präsident der Akademie der Wissenschaften der UdSSR Anatoli Alexandrow die offizielle Inbetriebnahme des Instruments für die wissenschaftliche Forschung bekannt. Nun klappen Nacht für Nacht die 12 Schutzsegmente über dem Hauptspiegel auseinander wie eine Blume, die ihre Blütenblätter öffnet. In der Siedlung Selentschukskaja, die 40 km entfernt im Tal liegt, wurden neue Laternen aufgestellt, damit der Himmel so dunkel wie nur irgend möglich ist.

Des Nachts bezieht der Beobachter in seiner zylindrischen Kabine direkt im Newtonschen Fokus des Spiegels Posten. Im Strahlengang des Instruments schwebt er wie zwischen Himmel und Erde: über ihm das Sternenmeer, unter ihm in gähnender Tiefe das Riesenauge. Erst viele solcher Nächte, denen Tage angestrengter Auswertungsarbeit folgen, werden neue Erkenntnisse bringen, die es der Natur unter Anspannung aller Kräfte abzurufen gilt wie stets in der langen Geschichte der Himmelsforschung.

Schon liegen Fotografien des Universums vor, die mit diesem gigantischen Auge gemacht wurden. Die Konstrukteure sind äußerst zufrieden. Die Astronomen ebenfalls.

Auch das „Wagnis“ der azimuthalen Montierung, von vielen Experten abwartend verfolgt, hat sich gelohnt. Die moderne Datenverarbeitungs-

technik vermag die Nachteile einer solchen Montierung bei der Nachführung vollständig abzufangen. Zukünftig werden zweifellos mehrere Großteleskope in der Welt die mechanisch vorteilhafte azimutale Montierung aufweisen, die bisher als eine sehr risikoreiche Variante galt und deshalb stets ausgespart blieb.

Wie geht es weiter?

Mit der Vollendung des sowjetischen 6-m-Teleskops scheint eine kaum noch überbietbare Grenze in den Dimensionen der Spiegelteleskope erreicht. Technologische Probleme und steil ansteigender Kostenaufwand stellen sich noch größeren Projekten als schier unüberwindliche Hindernisse entgegen. Dennoch versuchen findige Techniker gegenwärtig, die Grenzen großer Teleskope noch weiter hinauszuschieben. So wurden neuerdings Pläne für ein 7,5-, ein 10- und sogar ein 16-m-Teleskop bekannt. Die Verformung der Spiegel läßt sich dann allerdings nicht mehr vermeiden. Sie wird bewußt einkalkuliert und durch Spezialeinrichtungen ausgeglichen. Sollte an den Plänen solcher überdimensionalen Teleskope festgehalten werden, dürften wohl noch Jahrzehnte bis zu ihrer Verwirklichung vergehen. Daneben gibt es jedoch auch qualitativ neuartige Ansatzpunkte für die Konstruktion von optischen Beobachtungsinstrumenten, mit denen man tiefer als bisher in den Kosmos vordringen kann. Die zu diesem Zweck entworfenen Pläne weichen allerdings von den herkömmlichen Lösungsvarianten ab.

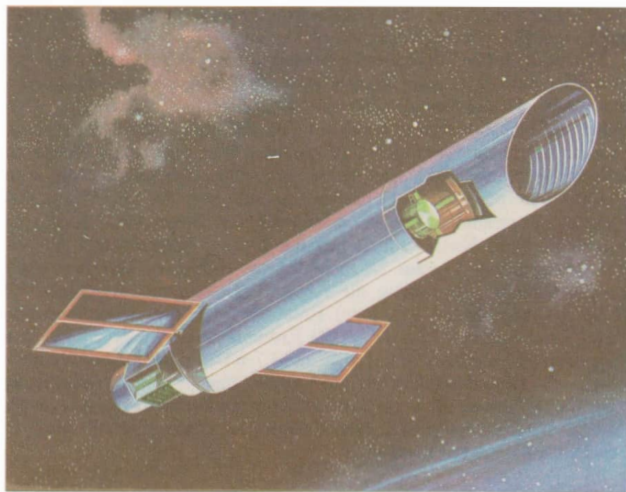
So ist daran gedacht, statt eines großen mehrere kleine Primärspiegel zu verwenden. Nach den bisher vorliegenden Untersuchungen erscheint es möglich, etliche voneinander unabhängige Spiegelteleskope zu errichten, mit denen dasselbe Objekt visiert wird. Die dabei empfangenen optischen Signale lassen sich dann über elektronenoptische Bildwandler zusammenführen. Man hat berechnet, daß ein System von 36 Einzelteleskopen mit je 1,9 m freier Öffnung in seiner Leistungsfähigkeit einem Einzelteleskop mit einem 11,4-m-Spiegel entspräche. Der Radius des überschaubaren Universums würde sich damit gegenüber dem 6-m-Teleskop im Kaukasus nochmals fast verdoppeln, und schwache punktförmige kosmische Lichtquellen würden mit der nahezu vierfachen Intensität abgebildet.

Eine zweite Variante des „Mehrspiegelkonzepts“ sieht vor, verschiedene Einzelspiegel in einer Montierung zu vereinigen. Die Anordnung

wird so getroffen, daß sich für alle derselbe Brennpunkt ergibt. Jeder der Primärspiegel muß dann allerdings seinen eigenen Sekundärspiegel besitzen. Da die Kosten eines solchen Instruments in erster Linie durch die Abmessungen der Einzelspiegel bestimmt werden, während die optische Leistung von deren Anzahl abhängt, strebt man ein System mit möglichst vielen, aber kleinen Spiegeln an. Hierbei ergeben sich natürlich nicht geringe technische Probleme, weil es mit wachsender Anzahl der Einzelspiegel immer mehr Schwierigkeiten bereitet, die Bilder in einen einzigen Brennpunkt zusammenzuführen.

Da die Verwendung solcher Mehrspiegel in vielerlei Hinsicht technisches Neuland darstellt, hat man sich entschlossen, ein kleineres Instrument nach diesem Prinzip zu bauen, um damit die erforderlichen Erfahrungen über die praktische Eignung zu gewinnen. In den USA ist 1979 ein Sechsspiegler mit einer Öffnung von 1,8 m für jeden Einzelspiegel aufgestellt worden. Insgesamt entspricht er der Reichweite eines 4,5-m-Teleskops herkömmlicher Bauart mit einem Hauptspiegel. Erstaunlich ist der relativ geringe Preis des Sechsspieglers: Er beträgt nur ein Viertel der Kosten, die man für ein traditionelles 4,5-m-Teleskop aufwenden müßte. Die Ergebnisse des Neulings werden jetzt in der Fachwelt mit Spannung erwartet. Die Toleranzen in der Justierung der Einzelspiegel sind nämlich äußerst gering. Einige tausendstel Millimeter Abweichung genügen schon, um die nötige Abbildungsqualität unerreichbar zu machen. Mit Hilfe einer starren Montierung können die hohen technischen Anforderungen an die Justierung ohnehin nicht befriedigt werden. Deshalb ist vorgesehen, die Lage der Einzelspiegel während des Beobachtens unter Anwendung von Laserstrahlen ständig zu verändern. Für die Montierung des Teleskops wurde – wie beim sowjetischen Riesenspiegel – die azimutale Variante gewählt.

Weitere Fortschritte in der Technik des Baus astronomischer Großinstrumente dürfen wir uns von der konsequenten Anwendung der elektronischen Datenverarbeitung erhoffen. Die Automation mit Hilfe der EDV spielt auf diesem Gebiet seit längerem eine wichtige Rolle. Sie dient vor allem der Einstellung des Teleskops durch Koordinatenvorwahl. Dabei werden sogar die Lichtbrechung in der Atmosphäre und die Durchbiegung des Instruments, die ja von dessen Lage und damit von der Position der jeweils beobachteten Objekte abhängen, mit berücksichtigt. Solche technischen Hilfen verdrängen den Beobachter im herkömmlichen Sinn immer weiter aus dem unmittelbaren Beobachtungsprozeß. Die früher üblichen Beobachterkabinen oder Sucherfernrohre, die möglichst leicht zugänglich sein mußten, verlieren an Wichtigkeit. Folglich ergeben



Astronomisches Teleskop in der Erdumlaufbahn

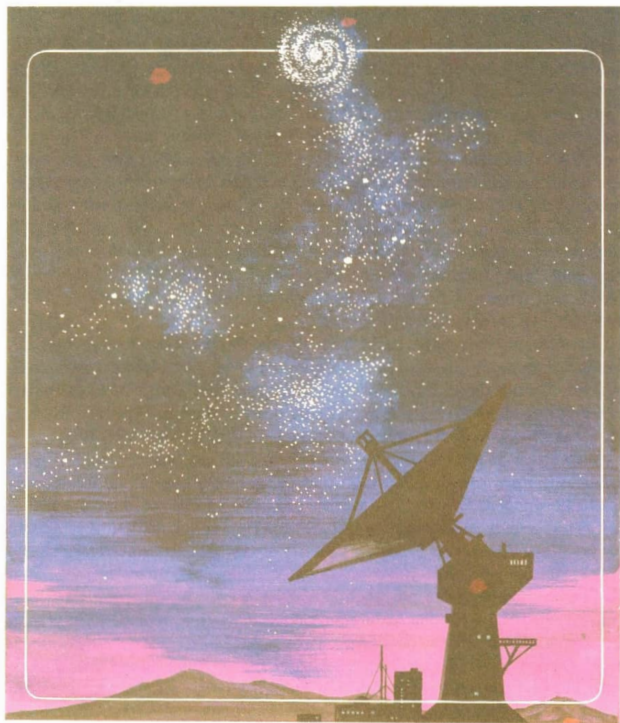
sich aus der weiteren Automatisierung von Instrumenten zwangsläufig Rückwirkungen auf deren Konstruktion.

Inzwischen verstärkt sich aber unter den Fachleuten für den Bau von Riesenteleskopen immer mehr die Meinung, daß man dem zum Instrument gehörigen Prozeßrechner noch weitere Aufgaben übertragen sollte. Manche Experten sind der Ansicht, daß es paradox sei, zwar einen teleskopeigenen Computer zur Verfügung zu haben, ihn jedoch nur auf den Fernrohrbetrieb auszurichten und nicht gleichzeitig für die unmittelbare Verarbeitung der gewonnenen Daten einzusetzen. Selbst wenn der Rechner in Zukunft nicht überall eine so vielseitige Verwendung finden sollte, wird er aber solche Kenngrößen wie die Zentrierung des gesamten optischen Systems, die Fokussierung und die Form des Spiegels kontrollieren und steuern. Dann brauchen sich die Konstrukteure nicht mehr um zahlreiche Erscheinungen zu kümmern, die gegenwärtig noch einen starken Einfluß auf den Bau der Instrumente haben. Unter anderem ließe sich

das Gewicht vieler Teile verringern, womit zugleich größere Abmessungen in den Bereich des Möglichen rücken würden.

Teleskope auf der Erdoberfläche sind stets den Wirkungen der Atmosphäre ausgesetzt. Ihre Verwendung für die Wissenschaft hängt von der Tageszeit und von den Wetterverhältnissen ab. Folgerichtig wird daher seit dem Start von „Sputnik 1“ im Oktober 1957 die extraterrestrische Astronomie entwickelt, die mit ihren Instrumenten im Weltraum operiert. Teleskope gehören zur Ausrüstung zahlreicher Kosmosflüge, zum Beispiel innerhalb des sowjetischen „Salut“- und des amerikanischen „Skylab“-Programms. Ein als Erdsatellit frei fliegendes Teleskop ist bereits im Bau. Nach Reduzierung des anfangs vorgesehenen Spiegeldurchmessers von 3 m auf 2,4 m und nach erheblichen Terminverzögerungen besteht gegenwärtig die Absicht, dieses große Raumteleskop (LST = Large Space Telescope) Ende 1989 mit dem amerikanischen Raumpendler „Space Shuttle“ in die Erdumlaufbahn zu befördern. Das Instrument besitzt bei 14,3 m Länge und 4,7 m Durchmesser eine Gesamtmasse von 10 t. Bedenken wir die Vorteile einer Himmelsbeobachtung vom Weltall aus, so können wir wohl mit einiger Berechtigung annehmen, daß Sternwarten in einer fernerer Zukunft nur noch außerhalb der Erdatmosphäre operieren werden.

Augen für das Unsichtbare



Füllhorn der Wellen

Einen wesentlichen Teil der Informationen über die uns umgebende Welt verdanken wir unseren Augen. Sie sind der natürliche Empfänger für jenen Bereich elektromagnetischer Wellen, in dem die Sonne den größten Teil ihrer Energie abstrahlt. Die Wellenlänge der sichtbaren elektromagnetischen Strahlung liegt zwischen 0,4 und 0,8 μm ($1 \mu\text{m} = 1/1000 \text{ mm}$). Das sichtbare Licht ist jedoch nur ein winziger Ausschnitt aus einem ganzen Spektrum elektromagnetischer Wellen, deren Längen von einigen Kilometern bis zu einem millionstel Mikrometer reichen. Schreiten wir vom Bereich des sichtbaren Lichts zu kürzeren Wellen fort, so schließt sich zunächst die ultraviolette Strahlung an, die in die noch kurzwelligere Röntgen- und Gammastrahlung übergeht. Zum langwelligen Ende des Spektrums folgen dem sichtbaren Licht die infrarote Strahlung (Wärmestrahlung) sowie die Radiowellen.

Obwohl das sichtbare Licht seit eh und je zur Gewinnung von Informationen auch aus dem Weltall genutzt wird, blieb lange unbekannt, welcher Natur diese Strahlen sind. Erst der englische Physiker James Clerk Maxwell (1831–1879) schuf eine mathematische Theorie, die uns die Entstehung und Ausbreitung derartiger Wellen begreifen läßt.

Einige der Strahlen, die der Mensch mit seinen Sinnesorganen nicht unmittelbar erfassen kann, waren bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts entdeckt worden. Bei einer Strahlenart handelt es sich um Wellen jenseits des roten Endes im Spektrum des sichtbaren Lichts. Wilhelm Herschel spürte diese infraroten Strahlen auf, als er das Farbenband des Sonnenlichts mit einem Thermometer studierte. Er bemerkte dabei, daß die Säule des Temperaturmessers am höchsten stieg, wenn die Messung dort ausgeführt wurde, wo für das Auge Dunkelheit herrschte. Kurz darauf gelang es, am anderen Ende des Spektrums mit Hilfe einer fotochemisch reagierenden Schicht ebenfalls im Unsichtbaren Wirkungen nachzuweisen. Damit waren die ultravioletten Strahlen entdeckt. Das alles wurde aber erst viel später klar.

Einen wesentlichen Fortschritt in der Erkenntnis dieser Erscheinungen erzielte der deutsche Physiker Heinrich Hertz (1857–1894), als er sich mit der Frage nach dem Wahrheitsgehalt der Auffassungen von Maxwell beschäftigte. Nach Maxwell sollte das Wesen elektrischer und magnetischer Vorgänge in besonderen Zuständen um elektrische Leiter bestehen. Durch die Bewegung von Ladungsträgern wechseln dauernd elektrische und magnetische Feldstärke, und eine Störung des Feldes breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit als elektromagnetische Welle in den Raum aus.

Um diese Theorie einer Prüfung zu unterziehen, mußte man sehr schnelle elektrische Schwingungen erzeugen können. Hertz bog den üblichen Schwingkreis mit Kondensator und Spule gleichsam auseinander, so daß die Spule nur noch aus einem Draht bestand. Die Schwingungen, die er mit Hilfe dieser Einrichtung hervorrief, waren natürlich unsichtbar, und für ihre Existenz mußte ein ausgeklügelter Nachweis geführt werden. Hertz stellte in einiger Entfernung von seinem „Sender“ einen gebogenen Kupferdraht auf, an dessen Ende sich in sehr geringem Abstand zwei kleine Kupferkugeln befanden. Nach langwierigen Versuchen gelang es ihm im Jahre 1888 tatsächlich, mit Hilfe dieses „Resonators“ das Vorhandensein unsichtbarer vom „Vibrator“ ausgehender Wellen nachzuweisen. Ähnlich, wie die Saite eines Musikinstruments, die einen bestimmten Ton hervorbringt, eine andere Saite in Resonanz versetzen kann, so daß diese ebenfalls zu schwingen beginnt, wurden auch in dem „Resonator“ elektrische Schwingungen erzeugt. Und jedesmal, wenn an den Enden des „Vibrators“ kleine Funken übersprangen, konnte Hertz zugleich an den Kugeln des „Resonators“ winzige Fünkchen beobachten. Dieser Tatbestand ließ sich nur so deuten, daß sich die Schwingungen, die vom „Vibrator“ ausgingen, durch den Raum ausgebreitet hatten. Die Meldung von der Entdeckung lief als eine wissenschaftliche Sensation um die Welt und führte bald zu einer großangelegten technischen Entwicklung, an deren Ende das neue Kommunikationsmittel Rundfunk stand.

Mit dem Nachweis der Funk- oder Radiowellen hatte Heinrich Hertz nicht nur die Richtigkeit der Maxwellschen Theorie bestätigt; zugleich war es zur Gewißheit geworden, daß es eine Fülle elektromagnetischer Wellen gibt, die – abgesehen von ihrer unterschiedlichen Länge – prinzipiell weitgehend ähnliche Eigenschaften besitzen.

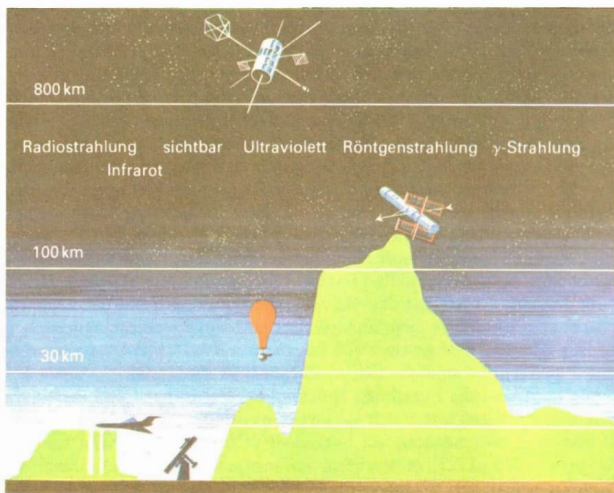
Die physikalische Forschung spürte diese Wellen nach und nach auf, und viele von ihnen lassen sich aus unserem Alltag nicht mehr wegdenken. In diesem Zusammenhang sei nur an die 1895 durch Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923) entdeckten, anfangs rätselhaften „X-Strahlen“ erinnert, von denen 1912 nachgewiesen wurde, daß es sich um elektro-

magnetische Wellen sehr kurzer Länge handelt. Sie sind nicht allein in der medizinischen Diagnostik ein unentbehrlicher Helfer, sondern ebenso in vielen Bereichen der Technik, zum Beispiel in der Werkstoffprüfung.

Die Physik unseres Jahrhunderts, besonders die von Max Planck (1858–1947) geschaffene Quantentheorie (1900) und die von Albert Einstein entwickelte spezielle und allgemeine Relativitätstheorie (1905 beziehungsweise 1916), erklärte auch, wie es in der Natur zur Aussendung der elektromagnetischen Wellen verschiedener Längen kommt. Damit wurde offenkundig, daß man aus ihrem Auftreten Rückschlüsse auf die physikalischen Vorgänge in den Körpern ziehen konnte, welche diese Wellen abstrahlen.

Keine Wissenschaft ist so ausschließlich auf die durch Strahlung übermittelten Informationen angewiesen wie die Astronomie. Sehen wir von

Durchlässigkeit der Erdatmosphäre für die verschiedenen Wellenlängen
Innerhalb der grünen Fläche sind Messungen in den jeweiligen Wellenlängen nicht möglich oder nicht sinnvoll.



den wenigen der Erde im Weltraum relativ nahe stehenden Objekten ab, die durch die Raumfahrt erreicht werden können (Mond und nähere Planeten), so stellen die elektromagnetischen Wellen neben den Meteoriten und kosmischen Teilchenströmen die einzigen Boten dar, die uns von den Objekten des Kosmos Kunde bringen. Da das Licht nur einen verschwindend kleinen Ausschnitt aus dem Füllhorn elektromagnetischer Strahlung bildet, mußte die Aussicht auf eine Untersuchung der gesamten Strahlung größte Hoffnungen erwecken. Um es vorwegzunehmen: Diese Hoffnungen wurden nicht nur erfüllt, sondern bei weitem übertroffen, obwohl bis heute keineswegs alle Möglichkeiten der Erforschung des Kosmos im Bereich der nichtsichtbaren oder nichtoptischen Wellen ausgeschöpft sind.

Diese neuartigen Untersuchungen waren zu Beginn äußerst mühselig und für die beteiligten Wissenschaftler oftmals enttäuschend. Zudem wußte man anfangs nicht, daß unsere irdische Atmosphäre für die verschiedenen Wellenlängen unterschiedlich durchlässig ist und den bei weitem umfassendsten Anteil elektromagnetischer Wellen aus dem Kosmos überhaupt abschirmt. Neben dem sichtbaren Licht gelangt in erster Linie Radiostrahlung aus dem Weltall ungehindert durch die Atmosphäre bis zur Erdoberfläche. Hieraus erklärt sich auch, daß die Radiowellen am Anfang aller Versuche einer „Astronomie mit unsichtbaren Strahlen“ standen.

Nachrichten aus dem Zentrum der Milchstraße

Die Entdeckung von Heinrich Hertz ließ die Experimentalphysiker überall auf der Welt aktiv werden. In Rußland war der Petersburger Physiker Alexander Popow (1859–1905) von den „elektrischen Wellen“, wie Hertz die nachgewiesenen unsichtbaren Strahlen genannt hatte, fasziniert. Als Ergebnis unerbittlich harter Arbeit schuf er 1896 den ersten drahtlosen Telegrafen, mit dem er die Worte „Heinrich Hertz“ über eine Entfernung von 250 m übertrug. In den USA beschäftigte sich Thomas Alva Edison (1847–1931) mit diesen Problemen. Einer seiner Mitarbeiter berichtete in einem Brief an den Direktor der Lick-Sternwarte schon im Jahre 1890, nur zwei Jahre nach der Entdeckung der Funkwellen, von Edisons Versuchen, Radiostrahlung der Sonne zu empfangen. Diese Versuche besaßen einen beträchtlichen wissenschaftlichen Wert, wußte man doch bereits seit 1852, daß es Parallelen zwischen der Sonnenflecken-

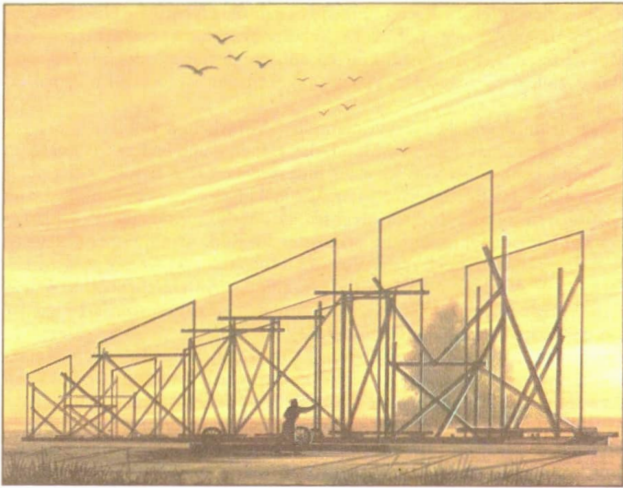
häufigkeit und den Schwankungen des Erdmagnetfelds gibt. Da unbekannt war, auf welche Weise diese Störungen übertragen werden, lag es nach der Entdeckung der Radiowellen nahe, die Eigenschaften der Sonne als Radiostrahler zu untersuchen. Leider blieben die Bemühungen damals erfolglos. Man wußte nämlich noch nicht, daß die irdische Atmosphäre jene langwellige Radiostrahlung, welche die Einrichtung registrieren sollte, gar nicht hindurchtreten läßt.

Um 1900 beschäftigte sich ein französischer Student in Anlehnung an Untersuchungen im Astrophysikalischen Observatorium Potsdam mit der Frage, ob die Radiostrahlung von der Sonne in einem Zusammenhang mit den Aktivitäten an der Sonnenoberfläche steht. Doch auch er konnte keine Radiostrahlung nachweisen.

Im Jahre 1930 widmete sich ein junger Physiker der Bell Telephone Laboratories (USA), Karl Guthe Jansky (1905–1950), dem Phänomen der Radiostrahlung. Allerdings hatte er einen ganz praktischen Auftrag: Er sollte Störungen der Ausbreitung von Radiowellen untersuchen und die Bedingungen für eine möglichst ungehinderte transatlantische Radioverbindung ermitteln. Insbesondere ging es um Radiowellen der Länge von etwa 15 m. Jansky hatte zu diesem Zweck eine Empfangseinrichtung aus rechteckigen Metallbügeln geplant, die jeweils 4 m hoch und – nebeneinanderstehend – 30 m lang sein sollten. Damit konnte er Strahlung aus einem beträchtlichen Winkelbereich empfangen. Im Jahre 1932 veröffentlichte er seine Ergebnisse: Unter den verschiedenen Störungen hatte er auch eine Strahlung entdeckt, die periodisch mit der Rotation der Erde, das heißt alle 24 Stunden, zu beobachten war. Als er diese merkwürdige Erscheinung weiter untersuchte, stellte sich heraus, daß die Periode nicht genau 24 Stunden, sondern 23 Stunden 56 Minuten betrug. Dies ist gerade jene Zeitspanne, welche ein Stern benötigt, um scheinbar einmal die Erde zu umlaufen. Die Strahlung konnte demnach nicht von der Sonne stammen; die Quelle mußte vielmehr in den Tiefen des Kosmos liegen. Eine Bestimmung der Richtung, soweit sie mit der einfachen Apparatur möglich war, verwies darauf, daß die empfangene Radiostrahlung aus dem Zentrum der Milchstraße kam.

Die Meldung über diese Entdeckung ging zwar durch die Tagespresse, sie wurde auch vom Rundfunk verbreitet, aber als ein Kuriosum angesehen. Keine Universität oder Sternwarte nahm ernsthaft davon Notiz. Die Firma, bei der Jansky beschäftigt war, zeigte keinerlei Interesse an diesen „fruchtlosen“ Untersuchungen. Allmählich geriet seine Entdeckung in Vergessenheit.

So verstrichen fast 10 Jahre, ehe ein neuer Versuch zum systematischen



Janskys Empfangsanlage für Radiostrahlung

Empfang von Radiostrahlung aus dem Weltall unternommen wurde. Diesmal widmete sich der junge amerikanische Radioingenieur Grote Reber dem „lieggelassenen“ Problem der kosmischen Radiostrahlung. Er ging unmittelbar von den Veröffentlichungen Janskys aus, dessen Entdeckungen er für grundlegend hielt. Reber war sich darüber im klaren, daß Fortschritte auf diesem Gebiet nur erzielt werden konnten, wenn man neue und speziell für den Empfang kosmischer Radiostrahlung geeignete Einrichtungen konstruierte und baute. Er überlegte, welche Wellenlängen am zweckmäßigsten zu beobachten wären und wie ein Empfangsinstrument für diese Wellen beschaffen sein müßte. Auf diese Weise entstand das erste Radioteleskop, ein Standardtyp, der später in perfektionierter Form zu Hunderten überall auf der Welt gebaut wurde. Reber führte sämtliche Arbeiten an dem Instrument persönlich aus und trug auch die Kosten selbst. Als Empfänger wählte er eine parabolische Metallfläche mit einem Durchmesser von 9,5 m. Diese Fläche reflektiert die ankommenden

Radiowellen in einen Brennpunkt, wo sich die eigentliche elektronische Empfangseinrichtung befindet. Rebers Nachbarn betrachteten das Monstrum, das er in seinem Garten aufgestellt hatte, mit Staunen, und einige sollen es sogar für einen umgekehrten Regenschirm gehalten haben.

Nach umfangreichen experimentellen Vorarbeiten begann Reber sowohl die Sonne als auch den Mond, die Planeten und hellere Fixsterne im Wellenlängenbereich von 9 cm zu untersuchen. Der Erfolg war jedoch gleich Null. Im Bereich von 33 cm Wellenlänge erhielt er ebenfalls keine positiven Resultate. Endlich, als er seine Einrichtung auf eine Wellenlänge von 1,87 m umstellte, konnte er kosmische Radiostrahlung empfangen. Reber war unermüdlich tätig. Von Mitternacht bis 6 Uhr morgens durchforstete er den Himmel nach Radiostrahlung. Anschließend fuhr er zur Arbeit. Am Abend schlief er wenige Stunden, um ab Mitternacht wieder seine Privatforschungen fortzusetzen.

Anfangs hatte Reber, weil Erfolge im Bereich der kürzeren Wellen ausblieben, an der Gültigkeit des Planckschen Strahlungsgesetzes im Kosmos gezweifelt. Jetzt kam er auf die Idee, daß die Radiostrahlung der Milchstraße möglicherweise nicht als Folge der Temperatur dieser Quellen, das heißt als thermische Strahlung, auftritt. Er schlug vor, ihre Entstehung durch freie Elektronen zu erklären, die im interstellaren Raum, im Raum zwischen den Fixsternen (lat. stella = Stern), mit positiven Ionen von ionisiertem Wasserstoff zusammenstoßen. Die genauere Untersuchung dieser Zusammenhänge durch andere Theoretiker zeigte, daß Reber recht hatte.

Allgemein herrschte nun die Überzeugung, daß man sich intensiv dem Bau spezieller Radioteleskope widmen müsse. Diese Notwendigkeit wurde durch eine weitere zufällige Entdeckung unterstrichen, die dem englischen Physiker James Stanley Hey gelang. Hey hatte sich bis dahin noch nie mit Radiowellen beschäftigt. Sein Wissen auf diesem Gebiet war – nach seinen eigenen Worten – unbedeutend. In einer sechswöchigen intensiven Ausbildung auf der Army Radio School wurde ihm alles Notwendige für eine Mitarbeit an der Entwicklung des Armee-Radarsystems beigebracht.

Im Februar 1942 meldeten verschiedene Radarstationen Radiostrahlungen der Wellenlängen zwischen 4 und 8 m, die stets zu derselben Tageszeit besonders stark auftraten. Hey dachte sofort an einen Zusammenhang mit der Sonne und telefonierte mit dem Observatorium in Greenwich, um von dort zu erfahren, ob außergewöhnliche Aktivitäten auf der Sonne beobachtet worden waren. Tatsächlich hatte genau zum

Zeitpunkt der kräftigen Radiostrahlung ein besonders auffälliger Sonnenfleck den Zentralmeridian der Sonne passiert. Hey wußte, daß mit dem Auftreten von Sonnenflecken sehr starke Magnetfelder verbunden sind. Außerdem vermutete er zu Recht, daß von derartigen Aktivitätszentren gleichzeitig Ströme elektrisch geladener Partikel ausgehen. Deshalb meinte er, daß solche geladenen Teilchen, die sich im Magnetfeld eines Sonnenflecks bewegen, Radiowellen im Bereich der Wellenlänge einiger Meter hervorrufen.

Nachdem die ersten Publikationen von Reber in der Welt bekannt geworden waren, kam es zu zahlreichen theoretischen Überlegungen, die keinen Zweifel daran ließen, daß die Entwicklung einer Radioastronomie gewaltige Bedeutung für die weitere Erkenntnis der Gesetze des Universums hat: Nahezu gleichzeitig und unabhängig voneinander sagten der sowjetische Astrophysiker I. S. Schklowski und der Holländer Hendrik Christoffel van de Hulst die Existenz einer ganz bestimmten Linie im Spektrum der Radiostrahlung voraus. Aus den Erkenntnissen der Atomphysik leiteten die beiden Gelehrten ab, daß der zwischen den Sternen weitverbreitete neutrale Wasserstoff eine Strahlung der Wellenlänge 21 cm aussende. Entsprach dies den Tatsachen, so eröffneten sich äußerst günstige Aussichten auf eine zuverlässige Erkundung des Sternsystems. Die früheren Sternzählungen hatten erkennen lassen, daß man niemals in der Lage sein würde, auf diese Art die tatsächlichen Dimensionen des Systems zu erfassen. Interstellarer Staub verschluckt nämlich von den entfernteren Sternen so viel Licht, daß man sie schließlich überhaupt nicht mehr wahrnehmen kann. Elektromagnetische Wellen einer Wellenlänge von 21 cm haben jedoch die Eigenschaft, ausgedehnte Staubschichten nahezu ungehindert zu durchdringen. Tatsächlich entdeckten holländische, amerikanische und australische Astronomen fast gleichzeitig im Jahre 1951 die von Schklowski und van de Hulst vorhergesagte Strahlung.

Damit waren auch die letzten Zweifel an der Zukunft der Radioastronomie besiegt. Die innerhalb weniger Jahre von einer relativ kleinen internationalen Forschergruppe errungenen Erfolge hatten gezeigt, daß man von der Untersuchung der aus dem Kosmos zu uns gelangenden Radiostrahlung Erkenntnisse von außerordentlicher Bedeutung für das Verständnis der Prozesse im Weltall erwarten konnte. So entstanden in allen wissenschaftlich fortgeschrittenen Ländern unter hohem technischem Aufwand Radiosternwarten mit ihren charakteristischen großen Metallspiegeln.

Kosmische Hörrohre

Die klassischen Teleskope zum Empfang für Radiostrahlung erinnern an die Spiegelteleskope der optischen Astronomie. Wie bei diesen dient eine parabolische Fläche als Empfänger, der die eintreffenden Strahlen infolge seiner geometrischen Beschaffenheit in einen Brennpunkt reflektiert. Dort befindet sich die Antenne, die mit dem erforderlichen elektronischen Zubehör verbunden ist und den Nachweis der empfangenen Radiowellen ermöglicht. Dem Laien erscheint es meist unverständlich, daß man mit Hilfe solcher Einrichtungen, die kein sichtbares Bild ergeben, überhaupt die Objekte des Himmels erforschen kann. Doch im Grunde ist eine optische Abbildung auch nichts anderes als eine „Radioabbildung“: Bestimmten Koordinaten am Himmelsgewölbe werden bestimmte „Helligkeiten“, das heißt Intensitäten, zugeordnet. Dabei ist es unwesentlich, in welchem Wellenlängenbereich diese Helligkeiten gemessen werden. Mit Hilfe solcher Zuordnungen gelingt es, die Lage der Objekte, ihre Größe und ihre Struktur zu bestimmen.

Hieraus folgt natürlich, daß man auch im Radiowellenbereich annähernd dasselbe Auflösungsvermögen erreichen muß wie im Bereich der sichtbaren Wellen. Denn nur dann können Radioquellen ebenso präzise lokalisiert und hinsichtlich ihrer Größe und Struktur untersucht werden wie optische Quellen. Und erst wenn dies gelingt, vermag man zu überprüfen, ob „Radioobjekte“ mit optischen Quellen identisch sind, ob sie überwiegend oder nur teilweise im Bereich der Radiowellen strahlen usw. Solange man lediglich wußte, daß Radiostrahlung aus dem Zentrum der Milchstraße zu uns dringt, war dies bestenfalls ein die weitere Forschung anspornender Fakt, der aber keine größere wissenschaftliche Aussagekraft besaß.

Um ein hohes Auflösungsvermögen zu erzielen, das heißt zwei sehr eng benachbarte Strahler noch getrennt wahrzunehmen, muß man jedoch bei den „kosmischen Hörrohren“ erhebliche Schwierigkeiten überwinden. Genau wie bei gewöhnlichen Fernrohren und Spiegelteleskopen hängt nämlich das Auflösungsvermögen sowohl vom Durchmesser der Empfängerfläche (Linse, Glasspiegel oder Radiospiegel) als auch von der Wellenlänge der empfangenen Strahlung ab, und zwar erhöht sich der Durchmesser des Bildes einer punktförmigen Quelle mit wachsender Wellenlänge der Strahlung, während er mit wachsender Objektöffnung abnimmt. Das Problem des Auflösungsvermögens in der Radioastronomie ergibt sich daher aus der riesigen Wellenlänge, mit der man es hierbei zu tun hat. Sie ist millionenmal größer als die des sichtbaren Lichts.

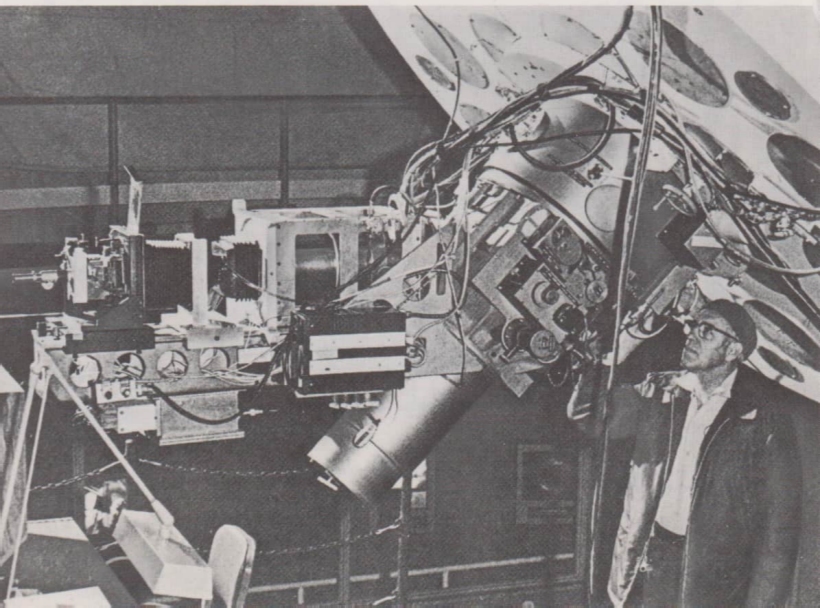


„Orbita“-Station in der Siedlung Bilibino jenseits des Polarkreises
im Nationalen Kreis der Tschuktschen (UdSSR)



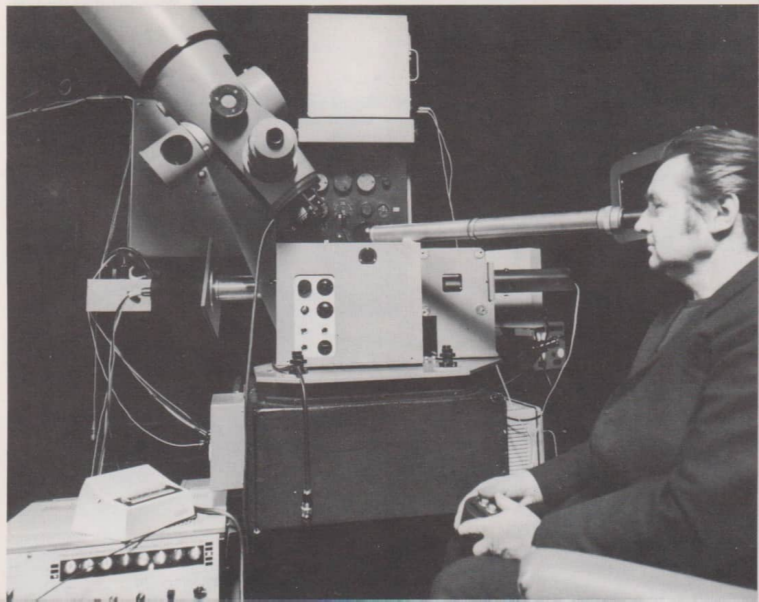
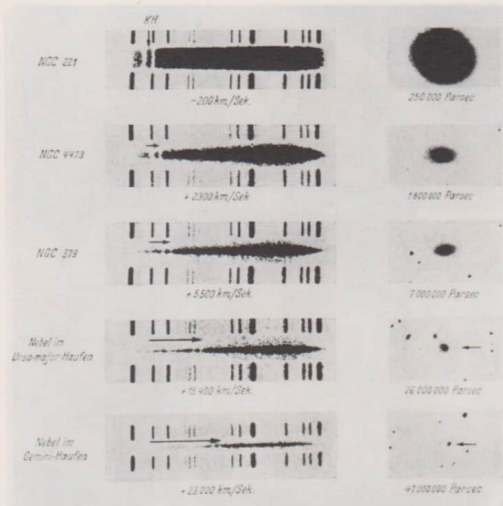
100-m-Radioteleskop Effelsberg (BRD)

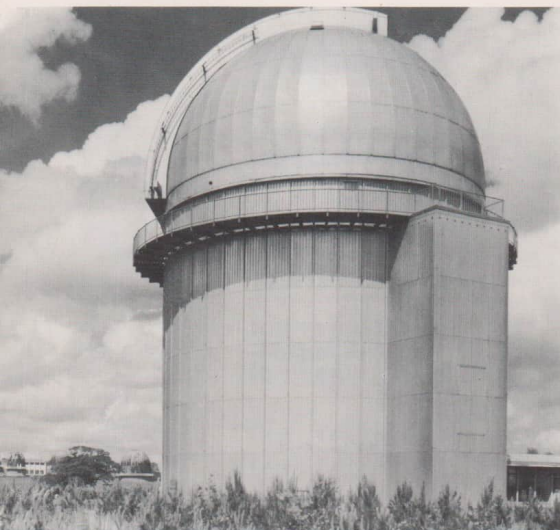
Spektrograph mit elektronischer Bildwandlung an einem Teleskop
des Kitt-Peak-Nationalobservatoriums (USA)



Extragalaktische Sternsysteme (rechts) in verschiedenen Entfernungen und die dazugehörigen Spektren (jeweils Mitte der linken Bilder) im Vergleich zu den Spektren irdischer Laborlichtquellen; die Zusammenstellung läßt die Expansion der Sternsysteme erkennen

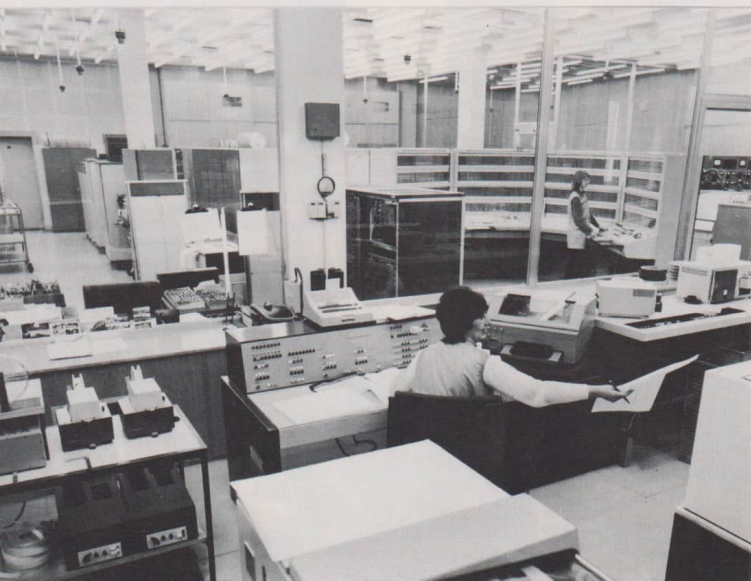
Im Spektrographenraum des 2-m-Universalspiegelteleskops Tautenburg



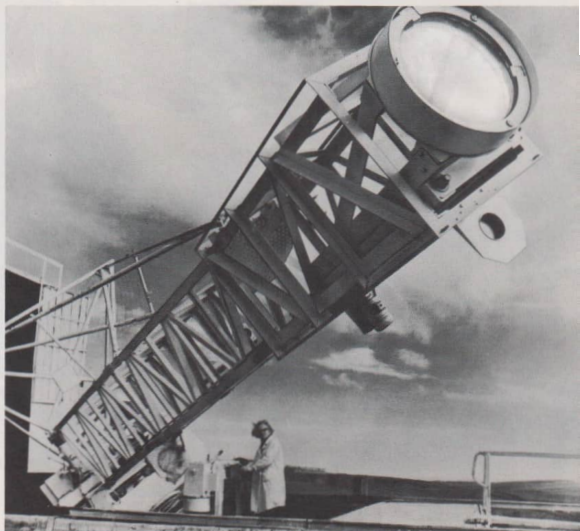


Kuppelbau des 2,5-m-Teleskops der Sternwarte zu Herstmonceux in Sussex (Südengland)

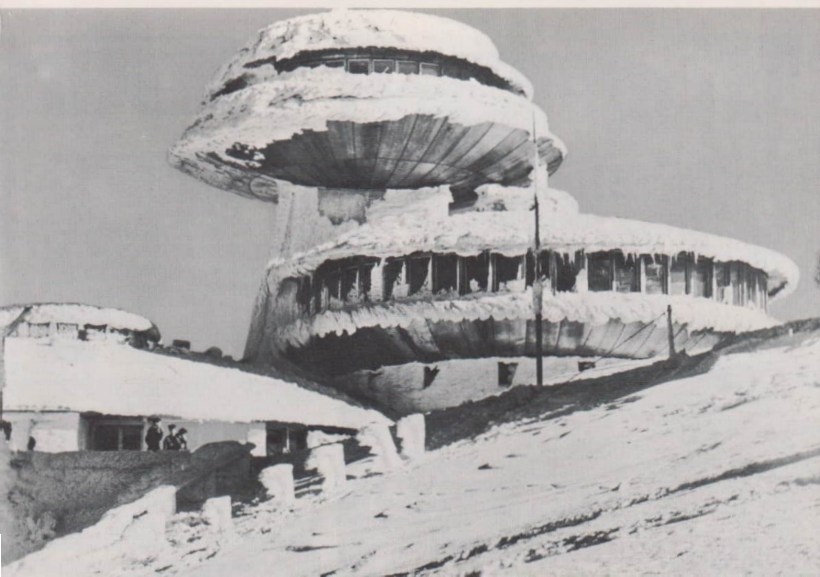
Zentrum für Rechentechnik der Akademie der Wissenschaften der DDR

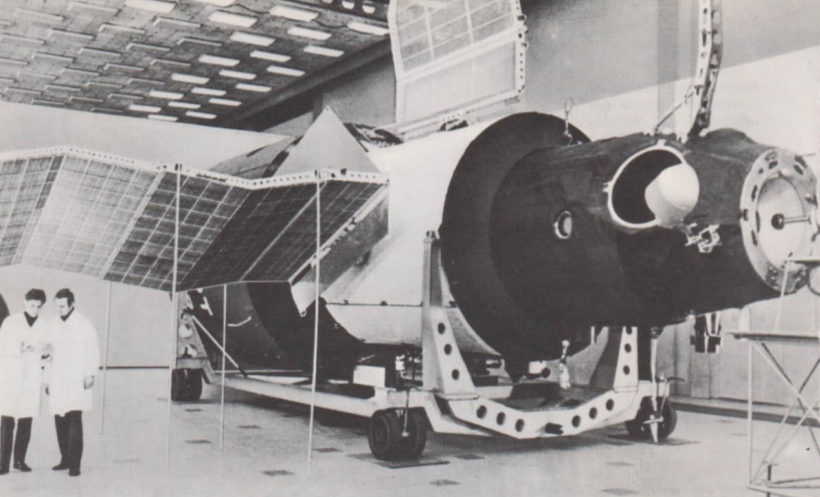


Koronograph des astronomischen Instituts der Akademie der Wissenschaften der UdSSR im Kaukasus



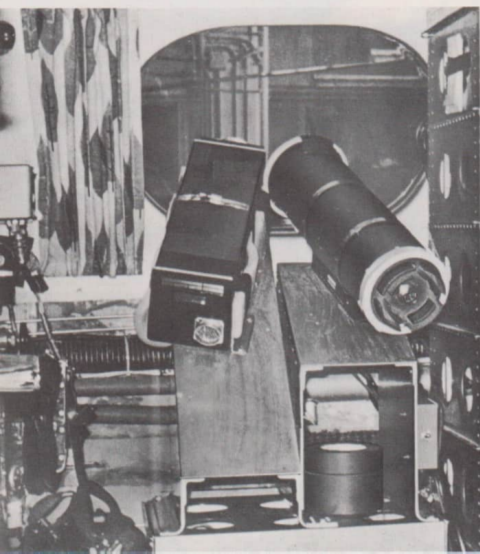
Astronomisches Observatorium auf dem Śnieżka-Gipfel der Kar-konosze (VR Polen)

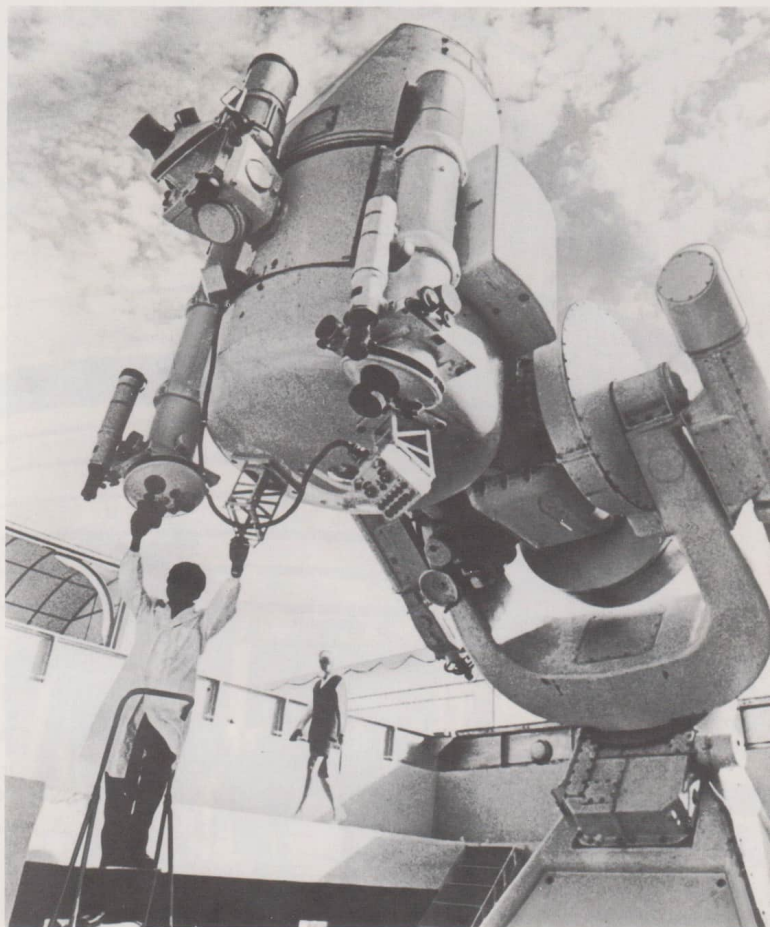




Modell der sowjetischen Orbitalstation „Salut“

Meteorspektrograph in einem fliegenden astronomischen Forschungslabor der USA





Spiegelteleskop des Observatoriums von Gissar (Tadshikische SSR)



Kuppelbau des 2,6-m-Teleskops der Sternwarte Bjurakan (Armenische SSR)

Machen wir uns die praktischen Auswirkungen dieser Tatsachen an einem Beispiel klar: Ein Linsenfernrohr mit einer freien Öffnung des Objektivs von 150 mm erzeugt von einem Fixstern (Punktlichtquelle) im gelbroten Bereich des Spektrums ein scheibenförmiges Abbild des Sterns mit einem Durchmesser von 1". Wollte man nun ein Radioteleskop errichten, das bei einer Wellenlänge der Radiostrahlung von 1 m im Auflösungsvermögen mit diesem kleinen Linsenfernrohr konkurrieren kann, so müßte der parabolische Metallspiegel einen Durchmesser von 250 km besitzen!

In der Praxis ist der Bau solcher Metallspiegel natürlich völlig ausgeschlossen. Daher mußte man sich in den Anfangsjahren der Radioastronomie wohl oder übel mit einem kleineren Auflösungsvermögen begnügen. Beispielsweise erreicht man für eine Wellenlänge, wie sie der neutrale Wasserstoff ausstrahlt (21 cm), ein Auflösungsvermögen von rund 33", wenn man einen Empfängerdurchmesser von 25 m wählt. Tatsächlich wurden in den Jahren nach dem zweiten Weltkrieg mehrere dem etwa entsprechende Radioteleskope gebaut. Beispielsweise besaß das große Instrument der Akademie der Wissenschaften der DDR in Berlin-Adlershof einen Durchmesser von 36 m. Auf dem Stockert in der Eifel (BRD) wie auch in Dwingelo (Niederlande) wurde ein 25-m-Teleskop in Betrieb genommen.

In der UdSSR schenkte man der Entwicklung der Radioastronomie von Anbeginn große Beachtung. Namentlich im Lebedew-Institut für Physik in Moskau fand sie eine Heimstatt. Besonders bekannt wurde das vor allem für den Bereich der Millimeterwellen eingesetzte 22-m-Teleskop des Instituts, das auf diesem Gebiet in der Welt ohne Konkurrenz geblieben ist.

Daß die Radioastronomen dennoch mit den Abmessungen ihrer Teleskope nicht zufrieden sein konnten, folgt aus dem niedrigen Auflösungsvermögen dieser Instrumente im Bereich der längeren Wellen. Ein naheliegender, aber sehr kostspieliger Ausweg aus diesem Dilemma bot sich in der weiteren Vergrößerung der Teleskopdimensionen. Nur wirtschaftlich mächtige Staaten konnten diesen Weg beschreiten. So baute man in den fünfziger Jahren in England das heute bereits berühmte 76-m-Teleskop von Jodrell Bank mit einem Kostenaufwand von fast einer halben Million Pfund.

In der BRD wurde 1972 das größte bewegliche Radioteleskop der Welt mit einem Spiegeldurchmesser von 100 m in Betrieb genommen.

Daneben macht man gelegentlich von der Möglichkeit Gebrauch, noch größere Dimensionen der Teleskope zu erreichen, ohne daß die Instru-



76-m-Radioteleskop von Jodrell Bank

mente jedoch bewegt werden können. So befindet sich in einem Talkessel auf Puerto Rico ein unbewegliches Teleskop mit rund 300 m Spiegeldurchmesser.

Im Jahre 1974 wurde in der Sowjetunion in unmittelbarer Nachbarschaft des größten optischen Teleskops der Welt auch das größte Radioteleskop, Ratan 600, in Betrieb genommen. Sein Durchmesser beträgt 600 m. Der erst vom Hubschrauber aus übersehbare gewaltige Ring des Teleskops besteht aus 895 verstellbaren einzelnen Aluminiumreflektoren. Die gesamte Auffangfläche beträgt $14\,000\text{ m}^2$. Die vier Sektoren, die jeweils in eine der vier Himmelsrichtungen weisen, können unabhängig voneinander betrieben werden. Sogar gleichzeitige Untersuchungen kosmischer Objekte nach verschiedenen Programmen lassen sich durchführen. Ebenso wie moderne optische Teleskope ist Ratan 600 mit elektronischen Datenverarbeitungsanlagen gekoppelt, die einerseits dazu dienen, die Stellung der Spiegel für die Beobachtung der Objekte zu berechnen,

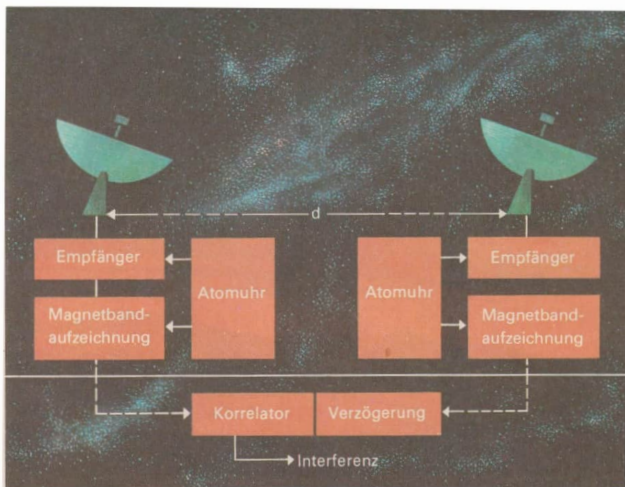


Ratan 600 — das größte Radioteleskop der Welt in Selentschukskaja

andererseits aber auch die empfangenen Daten mathematisch weiterverarbeiten.

Will man die Konstruktion immer größerer Instrumente vermeiden, so bieten sich noch interessante andere Wege zur weiteren Steigerung des Auflösungsvermögens.

Englische Radioastronomen schlugen Anfang der fünfziger Jahre vor, zwei Radioteleskope in einem bestimmten räumlichen Abstand voneinander genau in Ost-West-Richtung aufzustellen und elektrisch miteinander zu verbinden. Beide Teleskope empfangen Signale einer Quelle, und diese Signale gelangen zu einem Empfänger, wo sie überlagert werden. Je nach der Richtung der ankommenden Strahlen führt die Überlagerung (Interferenz) der Signale der beiden Empfänger zur Verstärkung oder zur Auslöschung. Diese am Empfänger entstehende Folge von Maxima und Minima kann analysiert und dazu benutzt werden, die Position sehr genau zu bestimmen. Der maximale Ausschlag ist in dem Augenblick zu be-



Prinzip der Radiointerferometrie
 d = Basis der Messung

obachten, da sich das Objekt durch den Meridian bewegt. Im Prinzip arbeiten also diese Interferometereinrichtungen, bei denen die Interferenz der Wellen zur Messung benutzt wird, wie ein Durchgangsinstrument der klassischen Astronomie. Interessant ist nun die Tatsache, daß man mit einer Interferenzanordnung dasselbe Auflösungsvermögen erreicht wie mit einem einzigen Teleskop, das den Durchmesser des Abstands der beiden Einzelteleskope besitzt. Je weiter also die Einzelteleskope voneinander entfernt stehen, desto besser gelingt es, punktförmige Radioquellen voneinander zu trennen.

Die Entwicklung der Interferometereinrichtungen hat in den letzten Jahren erstaunliche Fortschritte gemacht. Die Abstände, in denen man die einzelnen Teleskope aufstellte, wurden mehr und mehr vergrößert. Heute spricht man von Very Long Baseline Interferometry (VLBI), das heißt von der Interferometrie mittels sehr großer Basislänge, wenn sie über Kontinente hinwegreichen. Bekannt ist die Zusammenarbeit der UdSSR

und der USA auf diesem Gebiet. Die Basis beträgt hier viele tausend Kilometer, und das Auflösungsvermögen solcher Interferometereinrichtungen liegt im Bereich von einigen zehntausendstel Bogensekunden und übertrifft somit die besten optischen Teleskope.

Zwischen den Interkontinentalteleskopen besteht natürlich keine Kabelverbindung. Die von ihnen empfangenen Signale werden vielmehr auf Magnetbändern aufgezeichnet, die außerdem mit von Atomuhren stammenden Zeitmarken versehen sind, so daß sich die Überlagerung im Elektronenrechner anschließend künstlich herbeiführen läßt.

Einen Nachteil bildet allerdings die geringe Empfindlichkeit der Very-Long-Baseline-Einrichtungen, die sich aus den relativ kleinen Empfängerflächen ergibt. Doch auch diesen Mangel vermag man durch einen Trick zu beheben: Zusätzlich zu den feststehenden Teleskopen des Interferometers bringt man ein bewegliches Teleskop an die verschiedenen Punkte zwischen den beiden Hauptteleskopen und sammelt die dort eintreffenden Signale sozusagen nacheinander. Auf diese Weise wird gleichsam die Riesenfläche eines einzigen Teleskops nach und nach zusammengesetzt – ein Verfahren, das als Apertursynthese (Öffnungszusammensetzung; lat. apertura = Öffnung) bekannt geworden ist.

Verwendet man mehr als zwei bewegliche Teleskope zur Synthese und nutzt man außerdem die Drehung der Erde um ihre Achse aus, so gestaltet sich die Zusammensetzung einfacher, als es zunächst scheint. Wenn die Erde nicht rotierte und für die Synthese nur zwei 20-m-Teleskope zur Verfügung stünden, müßte man eines der beweglichen Instrumente nacheinander an 2500 verschiedene Punkte bringen, um das Leistungsvermögen eines Teleskops von 1000 m Durchmesser zu erzielen. Stehen aber die beiden Hauptteleskope von der beobachteten Quelle aus gesehen in Ost-West-Richtung, so genügt es, die anderen Teleskope in einer Richtung zu bewegen, um die gesamte Fläche zusammenzusetzen. Ein Beispiel für diese Verfahrensweise bietet das 5-km-Teleskop in Cambridge, das aus insgesamt 8 Einzelinstrumenten besteht, von denen 4 beweglich angeordnet sind.

Sensationelle Ergebnisse der Radioastronomen

Wenn von Radioastronomie die Rede ist, denken viele Menschen im Sinne des Wortes an „Radiosendungen aus dem Kosmos“, eine Art „kosmischen Rundfunks“, mit dem uns Angehörige fremder Zivilisationen auf ihre

Errungenschaften aufmerksam machen und ihren Wunsch bekunden, mit uns in Kontakt zu treten.

Tatsächlich ist die in den letzten Jahren viel diskutierte Frage nach der Existenz von hochentwickelten Lebewesen im Weltall keineswegs in das Reich bloßer Spekulationen zu verweisen. Wir wissen heute sicherer als früher, daß Planetensysteme sehr wahrscheinlich in großer Anzahl existieren, so daß sich auch viele darunter befinden dürften, die – ähnlich unserer Erde – die Bedingungen für die Entwicklung von Leben aufweisen. Es besteht ferner kaum Zweifel daran, daß Zivilisationen – sollten sie existieren – mit Hilfe der Radiotechnik nach kosmischen „Brüdern“ suchen werden. Bisher haben wir allerdings keinerlei Signale empfangen, die auf das Vorkommen gesellschaftlicher denkender Wesen mit einem entsprechend hohen Entwicklungsstand von Wissenschaft und Technik schließen lassen.

Doch die Ergebnisse der astronomischen Forschung, die wir bis heute bereits dem Einsatz von Radioteleskopen verdanken, sind darum nicht weniger interessant und aufregend.

Schon in den Anfangsjahren der Radioastronomie entdeckte man im Sternbild Schwan eine außerordentlich intensive Quelle von Radiostrahlung. Nach dem lateinischen Namen des Sternbilds erhielt sie die Bezeichnung Cygnus A. Das Auflösungsvermögen der Instrumente war damals noch zu gering, um einen eventuellen Zusammenhang mit anderen, aus der optischen Astronomie bekannten Objekten dieser Himmelsgegend nachzuweisen. Später jedoch konnte die Radioquelle mit einem Sternsystem identifiziert werden. Und als sich das Auflösungsvermögen der Radioteleskope noch weiter steigerte, zeigte sich, daß es sich bei Cygnus A gar nicht um eine einzige, sondern um zwei Radioquellen handelt, die beidseitig symmetrisch zu dem optisch nachweisbaren System angeordnet sind. Inzwischen wissen wir, daß die Mehrzahl aller Galaxien, die erhebliche Mengen ihrer Gesamtenergie im Radiowellengebiet aussenden (Radiogalaxien), solche merkwürdige Doppelstruktur aufweist.

Diese Entdeckung hat eine Reihe neuer Fragen aufgeworfen: Ein Problem ergibt sich daraus, daß die Radiogalaxien im Radiowellenbereich weit mehr Energie abstrahlen als die „normalen“ Galaxien, wie zum Beispiel unser eigenes Milchstraßensystem. Somit erhebt sich zunächst die Frage, auf welche Weise die Energie im Radiowellengebiet erzeugt wird. Ein anderes Problem ist die bei den Radiogalaxien beobachtete symmetrische Lage zum sichtbaren Gebiet. Aus der Energieverteilung im Radiowellengebiet hat man schließen können, daß es sich nicht um thermische Strahlung handelt. Sonst müßte die Energieverteilung dem

Planckschen Strahlungsgesetz folgen. Deshalb nimmt man an, daß die intensive Radiostrahlung von Elektronen ausgeht, die auf Spiralbahnen entlang den Kraftlinien von Magnetfeldern laufen. Eine solche Strahlung heißt Synchrotronstrahlung. Die Quelle der Energien liegt höchstwahrscheinlich im Kern der Galaxien.

Seit längerem weisen zahlreiche Beobachtungen der modernen Astronomie darauf hin, daß die Kerne von Galaxien in besonderen Entwicklungsstadien dieser Gebilde sehr aktiv sind. Sie senden dann einen erheblichen Anteil ihrer Gesamtenergie in nichtoptischen Spektralbereichen aus, so dem ultravioletten (Blaue Galaxien). Im Jahre 1963 wurden beispielsweise kosmische Objekte entdeckt, die bis zum heutigen Tag trotz angestrengter wissenschaftlicher Forschungsarbeit voller Rätsel geblieben sind. Im optischen Bereich unterscheiden sich diese Objekte nicht von Sternen. Sie zeigen insbesondere keine nachweisbare Ausdehnung. Man nennt sie daher quasistellare (sternähnliche) Radioquellen oder Quasars, abgeleitet von Quasistellar Radio Sources (engl. source = Quelle). Die von diesen durchweg sehr weit entfernten Objekten ausgehende Radiostrahlung ist ebenfalls nicht thermisch. Inzwischen verdichteten sich die Hinweise darauf, daß es sich bei den Quasars um Sternsysteme in äußerst frühen Entwicklungsstadien handelt, wie sie unser Sternsystem möglicherweise längst hinter sich hat. Allgemein herrscht daher die Ansicht vor, daß sich Sternsysteme in ihrer „Jugend“ durch große Aktivitäten der Kerne auszeichnen. Demnach wären auch die Radiogalaxien noch junge Objekte, von deren Kern wahrscheinlich gewaltige Materiewolken ausgeschleudert werden, Ströme heißen Gases, die zu den symmetrisch auftretenden Radioquellen führen. Wenn die Kenntnisse über diese komplizierten Prozesse auch noch sehr unvollkommen sind, so zeigen doch bereits diese kurzen Bemerkungen, daß die Radioastronomie mithelfen kann, die „Biographien“ der Sternsysteme zu schreiben.

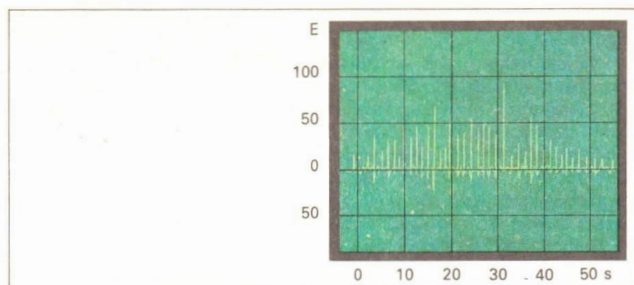
Einen bemerkenswerten Beitrag leisteten radioastronomische Untersuchungen zur Erforschung des Lebensweges einzelner Sterne. Der Impuls ging auch hier von einer ganz unerwarteten Entdeckung aus, die englischen Wissenschaftlern am 28. November 1967 gelang. Die Radioastronomen von Cambridge hatten sich vorgenommen, das „Flimmern“ der Radiostrahlung zu messen, das durch unterschiedlich dichte Elektronenwolken mit Durchmessern von etwa 100 km zwischen den Planeten hervorgerufen wird. Dazu benötigten sie eine spezielle Empfangseinrichtung, die es gestattet, rasche Intensitätsänderungen der Radiostrahlung nachzuweisen. Mit einer raffiniert konzipierten Interferometeranordnung tasteten die Astronomen innerhalb einer Woche das gesamte Firmament

ab. Dabei fanden sie an einer genau definierten Stelle des Himmels eine merkwürdige Quelle: Mit einer Präzision ohnegleichen traf von ihr alle 1,34 Sekunden ein Radiosignal ein. Die Dauer des „Aufblitzens“ der Quelle betrug nur rund eine Drittel Sekunde. Die Forscher waren so verblüfft über diese Entdeckung, daß sie einstweilen mit der Veröffentlichung zögerten. Sollten es gar die immer wieder ins Spiel gebrachten „kleinen grünen Männer“ sein, die den Beweis ihrer Intelligenz und ihrer technischen Entwicklung in den Kosmos hinausfunkteten?

Es dauerte nicht lange, bis sich die wahre Ursache des Verhaltens dieser Quelle herausstellte. Eigentlich brauchte man nur in älteren Journalen der theoretischen Physik zu blättern, um sich daran zu erinnern, daß sich Wissenschaftler schon Jahrzehnte zuvor Gedanken über ähnliche Probleme gemacht hatten. Der sowjetische Theoretiker Lew Landau (1908–1968) beschäftigte sich Anfang der dreißiger Jahre mit der Frage, unter welchen Bedingungen Objekte großer Masse im Gleichgewicht bleiben könnten. Er fand dabei, daß Objekte oberhalb einer bestimmten Masse von Riesen mit 1 000 000 km Durchmesser und mehr auf winzige Kugeln bis zu 15 km Durchmesser schrumpfen können. Die physikalischen Zustände der Materie verändern sich in diesem Fall grundlegend. Der Stern besteht nunmehr im wesentlichen aus Neutronen. Die Rotationsgeschwindigkeit eines Neutronensterns muß außerordentlich hoch sein. Um dies zu verstehen, brauchen wir nur an den Pirouetteneffekt der Eiskunstläufer zu denken: Zieht der Sportler während der Drehung die ausgestreckten Arme an den Körper, so vergrößert sich seine Drehgeschwindigkeit. Der Gesamtdrehimpuls bleibt nämlich erhalten, und dies muß bei Verkleinerung der Abmessungen dazu führen, daß sich die Drehgeschwindigkeit erhöht.

Somit entstand die Frage, ob man es bei den blinkenden kosmischen Leuchtfeuern nicht eventuell mit Neutronensternen zu tun haben könnte. Die theoretischen Untersuchungen zeigten bald, daß man das entdeckte sonderbare Verhalten tatsächlich sehr gut zu erklären vermag, wenn man annimmt, daß es sich bei den Objekten um zusammengebrochene Sterne am Ende ihres Lebensweges handelt. Die Deutung der Pulsare, der rasch pulsierenden Radioquellen, als Neutronensterne extrem hoher Dichte und extrem kleiner Durchmesser war einer der größten Erfolge der neuen Astrophysik.

Besonders interessant und aufschlußreich ist der Umstand, daß wir in einem Fall sogar die unmittelbare Vorgeschichte eines Neutronensterns kennenlernten, weil sie sich erst vor historisch relativ kurzer Zeit abgespielt hat: Aus alten Aufzeichnungen wissen wir, daß im Jahre 1054



Impulsfolge des Pulsars CP 1919

E = Energieeinheiten

im Sternbild Stier plötzlich ein scheinbar neuer Stern mit ungewöhnlicher Helligkeit aufflammte. Wegen der früher allgemein verbreiteten Annahme, daß es sich dabei um eine Art von Sterngeburt handelt, heißen solche Objekte je nach ihrer Helligkeit Nova (lat. novus = neu) oder Supernova. Erst nach der Erfindung des Fernrohrs entdeckte man an der Stelle der einstigen Supernova im Stier, die inzwischen unsichtbar geworden war, einen Nebel, und zwar den Krebsnebel. Man konnte also annehmen, daß dieser Nebel mit dem Stern von 1054 in einem ursächlichen Zusammenhang steht. Noch 1968 – also unmittelbar am Beginn der Pulsarforschung – wurde im Zentrum des Krebsnebels ein Pulsar gefunden. Damit stellt sich nun der gesamte Ablauf des Ereignisses von 1054 nach unseren heutigen Kenntnissen folgendermaßen dar: In jenem Jahr wurde kein neuer Stern geboren, sondern ein alter Stern starb. Seine Energievorräte waren aufgebraucht, und das Objekt brach zusammen. Dabei erhitzte sich das Sterninnere derart rasch, daß es zu einer Explosion kam. Dies verursachte das helle Aufleuchten des Sterns, so daß er für das bloße Auge sichtbar wurde und gleichsam als „neuer Stern“ erschien. Mit dem Ende des explosionsartigen Vorgangs nahm die Helligkeit des Sterns wieder ab, und das Objekt verdichtete sich zu einem rasch rotierenden Neutronenstern. Die bei der Explosion in den Kosmos hinausgestoßene Materie aus der Hülle des Sterns bildete den bis heute sichtbaren Krebsnebel, dessen Gasmassen immer noch nach außen gerichtete Geschwindigkeiten bis zu 1000 km/s aufweisen.

Somit hatte sich gezeigt, daß Neutronensterne tatsächlich mögliche Endstadien der Entwicklung für Sterne bestimmter Masse darstellen.

Die Entdeckung und wissenschaftliche Erklärung der Pulsare liefert einen aussagekräftigen Beleg dafür, daß an der Front der heutigen astronomischen Forschung Erfolge nur im engen Wechselspiel zwischen Beobachtung und Theorie unter Einsatz zahlreicher Errungenschaften modernster Technik erzielt werden können. So ist es unmöglich, die Entwicklung von Sternen ohne die Erkenntnisse der Atom- und Elementarteilchenphysik zu verstehen. Will man die Entwicklung eines Sterns theoretisch verfolgen, so sieht man sich weiteren Schwierigkeiten gegenüber: Einerseits muß man eine Reihe von Annahmen über die im Innern der Sterne ablaufenden Prozesse einführen, deren Berechtigung sich nicht unmittelbar beweisen läßt. Alle diese Annahmen ergeben ein Sternmodell. Durch die im Innern ablaufenden Vorgänge verändert sich nun der Aufbau des „Modellsterns“ allmählich. Um diese Veränderungen mathematisch zu beschreiben, müssen unvorstellbar viele Rechnungen durchgeführt werden. In der Aufeinanderfolge von unzähligen kleinen Rechenschritten werden die physikalischen und chemischen Veränderungen und somit die Entwicklungsvorgänge erfaßt. Die modernen, sehr schnellen Großrechenanlagen bilden demnach ein unentbehrliches Hilfsmittel für solche Untersuchungen. Die Ergebnisse derartiger Berechnungen müssen sich dann letztlich wieder in der Praxis bewähren, das heißt mit den Beobachtungsdaten übereinstimmen. Findet man keine Übereinstimmung, so ist es erforderlich, das Ausgangsmodell zu verändern und neue Berechnungen anzustellen.

Mit der Entdeckung der Pulsare hatte die Wissenschaft natürlich nicht nur eine offene Frage geklärt; zugleich war ein ganzer Katalog neuer Fragen entstanden, an dessen Beantwortung die Pulsarforschung jetzt arbeitet. Wenn ein Astrophysiker unlängst gesagt hat, die heutige Astronomie zerfalle in zwei Hälften: die Untersuchung des Krebsnebels und den Rest der anderen Probleme, so ist diese Äußerung gewiß übertrieben, aber sie kennzeichnet doch den großen Wert und den außerordentlichen Umfang der Forschungen auf diesem neuen Gebiet, das durch die Radioastronomie ins Leben gerufen wurde.

Nicht minder bedeutsam sind die Durchmusterungen des Himmels nach dem neutralen Wasserstoff in der weiteren kosmischen Umgebung unserer Sonne. Da man die 21-cm-Linie bis in viel größere Raumtiefen verfolgen kann als einzelne Sterne, haben diese Untersuchungen einen wichtigen Beitrag zur Erkenntnis der Struktur unseres Sternsystems geliefert.

Aus optischen Beobachtungen wußte man bereits, daß wir uns in einem vermutlich spiralförmigen flachen Sternsystem befinden, das rotiert. An Hand der Beobachtungsdaten wurde ein Rotationsmodell entwickelt, und daraus konnte man die räumliche Verteilung der Rotationsgeschwindigkeiten ableiten, das heißt, es gelang, für jeden Punkt im Raum die je nach dem Abstand vom Rotationszentrum unterschiedliche Rotationsgeschwindigkeit anzugeben. Prinzipiell ist dies für alle Punkte des Systems möglich, weil hier dieselben Naturgesetze wirken, die wir auch aus unserem Planetensystem kennen. Insbesondere rotieren die Sterne unseres Sternsystems – soweit sie sich nicht nahe dem Zentrum befinden – gemäß den Keplerschen Gesetzen.

Nimmt man nun an – was naheliegt –, daß der interstellare Wasserstoff an dieser Rotation des gesamten Systems teilhat, dann muß aus dem „Geschwindigkeitsfeld“ seine räumliche Verteilung abzuleiten sein, da einer bestimmten Rotationsgeschwindigkeit jeweils eine bestimmte Lage im System entspricht. Durch Frequenzmessungen lassen sich diese Geschwindigkeiten bestimmen. So konnte man in mühseliger Kleinarbeit schließlich die Spiralstruktur unseres Sternsystems weitgehend aufklären.

Eine andere Entdeckung der Radioastronomie machte in den letzten Jahren viel von sich reden. Auch sie hat bedeutende Konsequenzen für die Erkenntnis grundlegender Prozesse des Universums.

Mit Hilfe des Hooker-Spiegels war die Expansion des Weltalls aufgespürt worden. Doch die theoretische Deutung des Beobachtungsergebnisses hatte nicht überall Zustimmung gefunden. Eine der Entwicklungsauffassung entgegengesetzte Theorie amerikanischer Wissenschaftler behauptete, der Anblick des Kosmos sei zu jeder Zeit derselbe, das Weltall befinde sich in einem unveränderlichen Zustand (engl. *steady state*), weil dauernd neue Materie entstünde. Insbesondere erklärte die *Steady-state*-Theorie es für eine reine Illusion, daß die Abstände zwischen den Galaxien stetig anwachsen und daß diese zu einem weit zurückliegenden Zeitpunkt viel enger benachbart waren als heute.

Obwohl verschiedenes gegen diese Theorie spricht, konnte sie doch nicht eindeutig widerlegt werden – bis die Radioastronomen eine neue verblüffende Entdeckung bekanntgaben: Sie hatten festgestellt, daß aus allen Richtungen des Universums eine Radiostrahlung zur Erde gelangt, die nicht mit bestimmten Strahlungsquellen verbunden ist. Nach dem Planckschen Strahlungsgesetz entspricht die Intensitätsverteilung dieser Strahlung einer Strahlungstemperatur von rund 3 K. Wie ließ sich diese gleichzeitig von überallher strömende (isotrope) Radiostrahlung erklären?

Geht man davon aus, daß die beobachtete „Flucht der Spiralnebel“ keine Einbildung ist, sondern tatsächlich stattfindet, und daß der Abstand der Objekte sich gegenüber anderen Längen, wie zum Beispiel dem Durchmesser der Atome, dauernd vergrößert, so wird offenbar, daß das Weltall vor langer Zeit in einem qualitativ ganz anderen Zustand war als gegenwärtig. Wenn wir das heute beobachtete Verhalten des Kosmos in die Vergangenheit hinein verfolgen, kommen wir schließlich zu einem Zeitpunkt, da sich die gesamte Materie innerhalb eines sehr kleinen Raums befunden haben muß. Damals waren Dichte und Temperaturen unvorstellbar hoch. Sterne oder Sternsysteme gab es noch nicht. Alle vorkommenden Energiearten wurden bei weitem durch die Energie sehr kurzwelliger Strahlung übertroffen. Wir können diese Zustandsform der Materie als ein äußerst energiereiches Photonengas bezeichnen.

Was bedeutete nun die Expansion für dieses heiße Photonengas? Offensichtlich mußten die Teilchen, die Photonen oder Lichtquanten, einen ständigen Energieverlust erleiden, und außerdem mußte das gesamte Gas dünner und dünner werden. Kommen während dieses Prozesses keine neuen Photonen hinzu, so handelt es sich letztlich um einen Körper mit sinkender Temperatur, dessen Energieverteilung sich zu jedem Zeitpunkt durch das Plancksche Strahlungsgesetz beschreiben läßt.

Der „superdichte“ Zustand, aus dem das heute beobachtete Weltall hervorging, herrschte nach neuesten Berechnungen vor 13 Milliarden Jahren. Man vermag nun nachzuweisen, daß sich die maximale Strahlungsintensität im Laufe der inzwischen vergangenen ungeheuer großen Zeitspanne von den kurzwelligsten Röntgen- und Gammastrahlen bis in das Gebiet der Dezimeterwellen verlagert haben muß. Die Temperatur des in einem riesigen Raum verteilten Photonengases beträgt, wie Rechnungen ergaben, gegenwärtig ungefähr 3 K. Die von den Radioastronomen entdeckte isotrope 3-K-Strahlung kann folglich als ein Überbleibsel des weit zurückliegenden Urzustands des Universums gedeutet werden. Insbesondere geht daraus hervor, daß keine neuen Photonen hinzugekommen sind, die Steady-state-Theorie also falsch ist. Wir befinden uns demnach tatsächlich in einem auseinanderfliegenden, sich entwickelnden Weltall.

Gegenwärtig läßt sich allerdings noch nicht sagen, wie die Entwicklung künftig verlaufen wird. Dazu sind weitere intensive Bemühungen der Forschung erforderlich. Dieses Beispiel genügt jedoch, um zu zeigen, wie die Radioastronomie mit ihren Beobachtungsbefunden auch Fragen von prinzipieller Bedeutung für unser Verständnis des Universums klären hilft.

Schließlich sei noch eine Entdeckung der Radioastronomen erwähnt,

die einen ganzen Komplex von Fragen in neuem Licht erscheinen läßt.

Bereits die optische Astronomie hatte gezeigt, daß der Raum zwischen den Sternen von weitverteilten Gaswolken erfüllt ist und der Wasserstoff hierbei eine vorherrschende Rolle spielt, daß daneben aber ebenfalls Kalzium, Kalium und andere Elemente vorkommen. Die Radioastronomie brachte jedoch einen grundlegenden Wandel auch auf diesem Gebiet. Seit 1968 erregten in nahezu ununterbrochener Folge Meldungen von der Entdeckung komplizierterer Moleküle im Raum zwischen den Sternen Aufmerksamkeit. Die Wellen, die von ihnen ausgesendet oder verschluckt (absorbiert) werden, liegen durchweg im Radiowellengebiet, und daher konnte man diese Moleküle erst aufspüren, als man geeignete Radioteleskope zur Verfügung hatte.

Erstaunlich an den Entdeckungen war weniger die Tatsache, daß überhaupt Moleküle im Raum zwischen den Sternen vorkommen. Das Sensationelle bestand vielmehr darin, daß hier eine Reihe einfacher organischer Moleküle gefunden wurden, wie Ameisensäure, Formamid und Formaldimin! Ameisensäure und Formaldimin können sich beispielsweise zu Glyzin verbinden, einer der Aminosäuren, die zu den Grundbausteinen des Lebens gehören. Bis dahin wurde allgemein angenommen, daß sich die Vorformen des Lebens erst in der Frühgeschichte unseres Heimatplaneten, in der „Urbrühe“, den warmen Wassermassen der Erde, unter der Einwirkung gewaltiger elektrischer Entladungen ausgebildet haben. Nun war erwiesen, daß bereits unter den außerordentlich unwirtlichen Verhältnissen in den eisigen Tiefen des Weltalls chemische Prozesse ablaufen, die gleichsam elementare Voraussetzungen für die spätere Entstehung von organischem Leben unter geeigneten Bedingungen schaffen. Wir haben daher dank den interessanten radioastronomischen Untersuchungen Grund zu der Annahme, daß das Auftreten von Leben keine Ausnahmerecheinung im Weltall darstellt, sondern daß es sich unter bestimmten Bedingungen gemäß den Naturgesetzen überall bilden kann. Diese Ansicht wird noch dadurch gestützt, daß sich die „Lebenskeime“ stets in solchen Gas- und Staubsammlungen fanden, in denen sich nach unserem gegenwärtigen Wissen auch die Bildung von Sternen und Planetensystemen vollzieht.

Die Radioastronomie hat somit insgesamt einen wesentlichen Beitrag zur weiteren Lösung von Problemen geleistet, die in der Astronomie bereits seit langem untersucht wurden. Aber all diese Untersuchungen waren an eine Informationsgrenze gestoßen. Das zur Forschung benutzte sichtbare Licht konnte die Antworten auf die gestellten Fragen nicht

geben. Andere „Boten“ tragen sie durch das All. Man muß sie nur „abfangen“ und auf geschickte Weise befragen.

Die großen Erfolge der Radioastronomie haben den Astrophysikern Mut gemacht. Obwohl man schon am Beginn der Radioastronomie einige interessante Fragen zu formulieren vermochte, auf die Antworten zu erwarten waren, übertraf die Praxis der Forschung doch alle gedachten Möglichkeiten weit. Ähnliches konnte man sich gewiß auch von der Untersuchung der anderen Wellenlängen des elektromagnetischen Spektrums erhoffen. So wurde dieses Werk ebenfalls in Angriff genommen.

Kalte Sterne strahlen Wärme

Jedermann kennt die Erscheinung, daß ein erhitztes Stück Metall je nach seiner Temperatur verschiedene Farben annimmt. Bei sehr hohen Temperaturen sieht es weißglühend aus, bei geringerer Temperatur gelb und bei niedrigen Temperaturen schließlich rot. Ein erfahrener Schmied ist zum Beispiel in der Lage, aus der Farbe des von ihm bearbeiteten Metalls recht genau auf dessen Temperatur zu schließen. In der Fachsprache des Physikers bedeutet dies, daß die Farbenbereiche des Spektrums, in denen die meiste Energie abgestrahlt wird, von der Temperatur eines Körpers abhängen und sich um so stärker zum roten Ende hin verschieben, je niedriger die Temperatur liegt. Einen exakten Ausdruck findet diese Tatsache in dem von Max Planck im Jahre 1900 entdeckten Strahlungsgesetz. Nach diesem Gesetz strahlen auch die Sterne um so mehr Energie im kurzwelligen Bereich des elektromagnetischen Spektrums aus, je heißer sie sind. Umgekehrt verlagert sich das Maximum der Strahlung mit sinkenden Temperaturen ins Langwellige. Sterne, die im Vergleich zu unserer Sonne niedrigere Oberflächentemperaturen besitzen, können deshalb einen erheblichen Anteil ihrer Gesamtenergie im Bereich jenseits des roten Endes vom Band der sichtbaren Spektralfarben abgeben. Solche „Infrarotstrahler“ lassen sich natürlich mit den üblichen Hilfsmitteln der optischen Astronomie weder wahrnehmen noch untersuchen. Sie beanspruchen jedoch ein außerordentliches Interesse der modernen Astronomie.

Einer der Gründe für die Aufmerksamkeit, die man derartigen Objekten zuwendet, hängt mit dem Lebensweg der Sterne zusammen, wie ihn die Astrophysiker aus zahlreichen Beobachtungen und theoretischen Überlegungen nach und nach erschlossen haben. Es ist heute so gut wie

sicher, daß Sterne aus sehr fein verteilter Materie entstehen, die sich infolge der Anziehungskraft nach und nach zusammenzieht. Die dabei frei werdende Energie führt zu einer allmählichen Aufheizung des anfänglich stark ausgedehnten Gebildes. Zunächst wird jedoch nur sehr langwellige Strahlung ausgesendet, so daß die Infrarotastronomie ein geeignetes Hilfsmittel wäre, solchen in der Entstehung begriffenen Sonnen auf die Spur zu kommen.

Die Suche nach derartigen im optischen Bereich nicht sichtbaren Gebilden hat tatsächlich zum Erfolg geführt. Im Jahre 1967 wurde in dem bekannten großen Nebelgebiet des Sternbilds Orion ein Objekt niedriger Temperatur, aber sehr hoher Leuchtkraft entdeckt. Obwohl sich nur eine Temperatur von 700 K nachweisen läßt, beträgt die Leuchtkraft, das heißt die von der gesamten Oberfläche abgestrahlte Energie, das Tausendfache dessen, was unsere Sonne abstrahlt. Die niedrige Temperatur zeigt an, daß je Flächeneinheit eine viel geringere Energiemenge in den Raum hinausgelangt. Wenn sie insgesamt trotzdem so beeindruckend hoch ist, kann dies nur daran liegen, daß wir es mit einem Objekt von sehr großer Oberfläche zu tun haben. Offensichtlich handelt es sich um einen im Entstehen begriffenen Stern, den noch eine ausgedehnte Staubbhülle umgibt. Inzwischen hat man im Oriongebiet weitere solcher „verdächtigen“ Infrarotquellen gefunden. Dabei sind Durchmesser bis zu 500 000 Sonnendurchmesser bestimmt worden! Ähnliche Objekte haben sich im Sternbild Cassiopeia nachweisen lassen.

Es besteht kaum ein Zweifel daran, daß die Infrarotkameras hier unmittelbar einen Blick in die kosmische „Sternenwochenstube“ warfen, wo sich unter dem Wirken der Naturgesetze Sonnen in der Geburtsphase befinden. Da die Theorie besagt, daß diese Anfangsstadien der Sternentwicklung relativ schnell durchlaufen werden, ist damit zu rechnen, daß genügend präzise arbeitende Infrarotmeßgeräte binnen relativ kurzer Zeitspannen charakteristische Veränderungen der entstehenden Sterne feststellen, deren Analyse wertvolles Material für den Vergleich der ausgearbeiteten Theorien mit den sich tatsächlich vollziehenden Prozessen liefert.

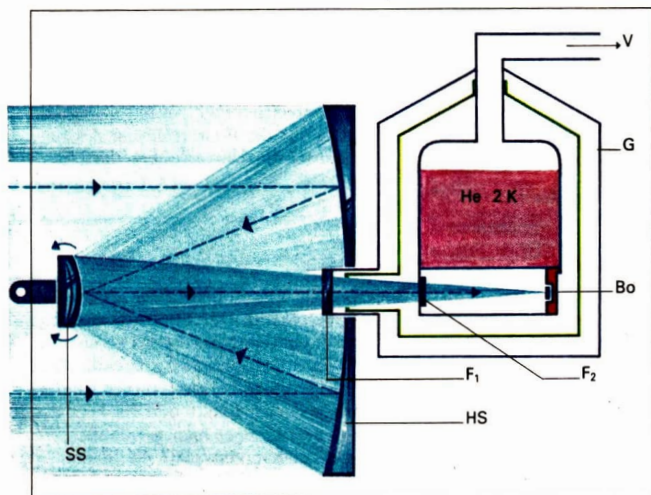
Andererseits wurden auch ganze Sternsysteme entdeckt, die einen sehr großen Anteil ihrer Gesamtenergie im Gebiet der zwischen dem sichtbaren Licht und den Radiowellen liegenden Infrarotstrahlung aussenden.

So hat dieser neue Zweig der Astronomie, den eigentlich bereits Herschel mit seinen Thermometern begründete, hohe Aktualität erlangt.

Prinzipiell werden für den Empfang von Infrarotstrahlung aus dem Kosmos sowohl Fotodetektoren als auch thermische Detektoren verwendet. Die thermischen Empfänger vermögen einen großen Bereich des Spektrums zu erfassen und sind wegen dieses Vorzugs weit verbreitet. Meist handelt es sich um heliumgekühlte Detektoren, deren eigentlichen Empfänger ein Germaniumkristall darstellt. Es besitzt die spezifische Eigenart, seinen elektrischen Widerstand im Bereich von 1 bis 4 K rasch mit der Temperatur zu verändern. Das Widerstandselement befindet sich in einem Vakuum. Mit dem Wärmeleiter, der durch flüssiges Helium gekühlt wird, ist es lose gekoppelt. So erfolgt ein großer Temperaturanstieg bei geringer empfangener Wärmeenergie. Bei einer Temperatur von 2 K können beispielsweise Temperaturänderungen von $\frac{1}{10\,000\,000}$ K (10^{-7} K) nachgewiesen werden. Die dabei während einer Sekunde „aufgesammelten“ (integrierten) Energiebeträge liegen im Bereich bis zu 10^{-14} W! Wenn es gelänge, die Kühlung weiter zu verbessern, ließen sich vielleicht noch Energiebeträge um 10^{-17} W nachweisen.

Die Detektoren müssen mit herkömmlichen Teleskopen gekoppelt werden. Wesentlich für die Wirksamkeit der Meßeinrichtungen ist dabei, inwieweit es gelingt, die infrarote Hintergrundstrahlung (Rauschen) von dem eigentlichen Stern (Signal) zu trennen. Je nach dem Wellenlängenbereich, in dem die Beobachtungen vorgenommen werden sollen, empfehlen sich zu diesem Zweck verschiedene Instrumentenabmessungen. Für die Wellenlänge zwischen 5 und $25\,\mu\text{m}$ eignen sich Teleskope mit einer Öffnung des Primärspiegels zwischen 75 cm und 1,5 m am besten, während man für die Untersuchung kürzerer Wellen durchaus auch größere verwenden kann. Das hängt damit zusammen, daß die „Helligkeit“ des Himmelshintergrundes in diesen Wellenlängenbereichen viel geringer ist als in anderen Teilen des Infrarot.

Die Absorptionskurve der Infrarotstrahlung in der Atmosphäre zeigt jedoch einen idealen Ausweg aus diesen Problemen: Wenn es gelänge, ein Infrarotteleskop in größere Höhen der Atmosphäre zu transportieren und dort störungsfrei arbeiten zu lassen, würde man weit bessere Forschungsbedingungen antreffen. Für solche Untersuchungen können hoch fliegende Ballons und Flugzeuge eingesetzt werden. Noch günstiger sind allerdings Raumflugkörper, die den Bereich der irdischen Atmosphäre verlassen und an der „Tür“ zum Weltraum operieren. Hier bereitet auch die Kühlung der Detektoren keine Schwierigkeiten, so daß man gleichzeitig die Empfindlichkeit der Beobachtungseinrichtung erheblich erhöhen kann. Detektoren, die bis auf 0,2 K gekühlt werden, sind theoretisch in der Lage, Objekte zu erfassen, die 10 Größenklassen schwächer strahlen als die von



Prinzip eines Detektors für kosmische Infrarotquellen

SS = Sekundärspiegel, HS = Hauptspiegel, F_1 = Fenster im Durchbruch des Hauptspiegels, F_2 = gekühltes Filter, Bo = Germaniumbolometer (Empfänger für Infrarotstrahlung), G = gekühltes wärmeisolierendes Gefäß, He 2 K = flüssiges Helium der Temperatur 2 K, V = Vakuumpumpe

der Erde aus nachweisbaren Infrarotquellen (Intensitätsverhältnis 1:10 000). Wollen wir diese Leistungssteigerung mit Beobachtungsmöglichkeiten im optischen Bereich vergleichen, so müssen wir an den gewaltigen Sprung denken, den der Übergang von einem Feldstecher mit einer Öffnung von 50 mm zum 5-m-Spiegel darstellt. Fachleute vermuten, daß es mit Hilfe von Infrarotteleskopen in Erdumlaufbahnen gelingen könnte, mehr infrarote Sternsysteme in großen Entfernungen zu entdecken, als gegenwärtig im sichtbaren Bereich des Strahlungsspektrums bekannt sind.

Obwohl es bisher noch sehr wenige Infrarotbeobachtungen mittels Raumflugkörper gibt, zeigen schon die erdgebundenen Beobachtungen, daß wir uns davon bedeutsame Ergebnisse erhoffen dürfen. So wie die

Untersuchung der infrarot strahlenden Einzelsterne wichtige Aussagen über die Entwicklung dieser Objekte zuläßt, sind aus der Erforschung von infrarot strahlenden Galaxien ebenfalls wesentliche Erkenntnisse über den Lebensweg der gewaltigen Sternsysteme zu erwarten. Auch hieran wird deutlich, daß die Untersuchung im Bereich bisher „vernachlässigter“ Wellenlängen geradezu eine Bedingung für die Weiterführung des zentralen Forschungsthemas – der Evolution im Universum – darstellt.

Blinkender Röntgenhimmel

Würden wir das Firmament mit „Röntgenaugen“ betrachten können, so erschiene es uns in merkwürdigem Glitzerkleid. Der Eindruck majestätischer Ruhe, den der Himmel im Bereich des sichtbaren Lichts vermittelt, fehlt hier. Nach unserem heutigen Wissen liegt dies daran, daß die Prozesse, die zur Aussendung von Röntgenstrahlen bei den Sternen führen, meist nur kurze Zeit andauern; infolgedessen blinkt und flackert der Röntgenhimmel. Als Röntgenstrahlung bezeichnet man gewöhnlich die elektromagnetischen Wellen einer Wellenlänge von 0,001 bis 10 nm.

Die Geschichte der Röntgenastronomie ist kurz, aber ereignisreich. Eine glänzende Zukunft dürfte ihr gewiß sein. Sehen wir einmal davon ab, daß im Jahre 1948 die Röntgenstrahlung von der Sonne mittels Fotoplaten an Bord einer Höhenrakete nachgewiesen wurde, so beginnt die eigentliche Röntgenastronomie im Sommer des Jahres 1962.

Damals wurde in den USA eine Nike-Rakete, eigentlich als Kampfrakete für den Einsatz von Land- oder Seekampfmitteln aus gegen Luftziele (Boden-Luft-Rakete) entwickelt, mit zwei Geigerzählern, den Nachweisgeräten der Atomphysik, bis in eine Gipfelhöhe von 230 km in die Thermosphäre der irdischen Lufthülle emporgeschossen. Mit Hilfe der Geigerzähler entdeckte man eine Strahlenquelle im Röntgenwellenbereich. Das im Sternbild Skorpion liegende Objekt erhielt den Namen Scorpius X-1.

Nur wenig später wurde eine weitere Röntgenstrahlenquelle aufgespürt, und zwar in dem bereits erwähnten Krebsnebel. Da die Entfernung des Krebsnebels bekannt ist, konnte man aus der gemessenen Röntgenstrahlenintensität ohne Schwierigkeiten die Energiemenge bestimmen, die das Objekt insgesamt tatsächlich abstrahlt (Röntgenleuchtkraft). Dabei stellte sich heraus, daß diese Quelle allein im Röntgenbereich rund fünfundzwanzigtausendmal soviel Energie in den Raum hinaus-

schleudert, wie unsere Sonne in allen Wellenlängenbereichen zusammen-
genommen. 4 Jahre nach der Entdeckung des ersten „Röntgensterns“
wurde auch eine Galaxie gefunden, die einen wesentlichen Anteil ihrer
Energie im Röntgenbereich aussendet.

An der Bedeutung einer Untersuchung des Kosmos im Röntgenbereich
bestand nun kein Zweifel mehr. Damit war klar, daß man von den nur
für kurze Zeit wirksamen Raketen zu Satelliten als Hilfsmitteln über-
gehen mußte.

Am 17. November 1970 um 7.28 Uhr rollte das erste von Menschenhand
geschaffene Mondfahrzeug auf den Boden unseres natürlichen Begleiters.
Das vielbestaunte ferngesteuerte sowjetische Auto „Lunochod I“ war mit
zahlreichen wissenschaftlichen Meßapparaturen ausgestattet. Da der
Mond keinerlei Atmosphäre besitzt, gelangen alle im Kosmos entstehen-
den Strahlungen ungehindert bis an seine Oberfläche. Für die Konstruk-
teure von „Lunochod“ lag es deshalb nahe, das Mondauto auch mit einem
Röntgenteleskop auszurüsten. Während seiner zehnmonatigen Tätigkeit
hat es mit Hilfe dieses Teleskops eine ganze Reihe von Röntgenquellen
des Himmels entdeckt.

Am 12. Dezember 1970 starteten die USA den ersten Satelliten, der
ausschließlich zur Erforschung von Röntgenquellen bestimmt war. Das
unter dem Namen „Uhuru“ bekannt gewordene fliegende Röntgenobser-
vatorium durchmusterte den Himmel nach Röntgensternen und entdeckte
dabei weit mehr Objekte, als man erwartet hatte. Darunter befanden sich
auch einige, die den Astrophysikern schwierige Rätsel aufgaben und für
sie echte Überraschungen darstellten.

Womit werden nun die Röntgenstrahlenquellen erforscht? Wegen der
außerordentlich geringen Intensität des bei uns ankommenden „Rönt-
genlichts“ (lediglich die Sonne macht infolge ihrer Nähe eine Ausnahme)
ist der Nachweis durch Fotoplatten nicht möglich. Daher haben sich in
der jungen Geschichte der Röntgenastronomie vor allem jene Empfangs-
und Meßinstrumente bewährt, welche die Atomphysiker in den irdischen
Laboratorien zum Nachweis von Röntgenstrahlen benutzen. Der wich-
tigste Detektor ist nach wie vor der Proportionalzähler. Dabei handelt
es sich um ein gasgefülltes Metallgefäß, durch das sich dünne Metalldrähte
ziehen. Die Drähte dienen als Anode und die Gefäßwandung als Kathode.
Um eine Absorption der Röntgenstrahlung in der Wandung zu verhindern,
ist das Zählrohr mit einer dünnen Spezialfolie in Form eines Eintritts-
fensters versehen. Gelangt nun ein Photon der Röntgenstrahlung in das
Innere des Zählrohrs, so löst es aus einem Atom des Füllgases ein Elektron
heraus, das sich im elektrischen Feld des Rohrs zur Anode bewegt, wobei

es – wegen seiner beschleunigten Bewegung – weitere Atome ionisiert. Die Anzahl der entstehenden Elektronen ist etwa proportional der Energie des eingefallenen Röntgenquants. Der dadurch verursachte Spannungsstoß läßt sich mit Hilfe elektronischer Geräte nachweisen. So wird die Anzahl der eingefallenen Röntgenquanten ermittelt.

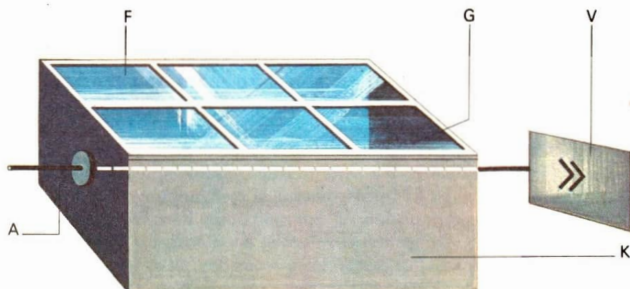
Verständlicherweise besitzen Proportionalzähler kein hohes Auflösungsvermögen. Ein einfacher Zähler zeigt das Vorhandensein von Röntgenstrahlung aus einem sehr weiten Winkelbereich (etwa 50°) an, so daß sich die Röntgenquellen auf diese Art nicht präzise lokalisieren lassen. Gerade bei astronomischen Untersuchungen lautet die Frage der Forscher aber nicht nur: Gelangt Röntgenstrahlung aus dem Weltall zu uns? Vielmehr ist es von höchstem Interesse, so genau wie möglich zu erfahren, aus welcher Richtung diese Strahlung stammt. Hat man eine Röntgenquelle entdeckt, dann kann man die Messungen beispielsweise vornehmen, während der Mond die in Betracht kommende Himmelsgegend passiert. Sowie er nämlich die Quelle abdeckt, bleibt der Röntgenstrom aus. Da die Mondbewegung sehr genau bekannt ist, gelingt durch Registrierung des Zeitpunkts, da eine Röntgenquelle „verlöscht“, eine präzise Lokalisierung. Auf diese Weise wurde beispielsweise die Identität der Röntgenquelle im Sternbild Stier mit dem Überrest der Supernova aus dem Jahre 1054 entdeckt, die inmitten des Krebsnebels steht.

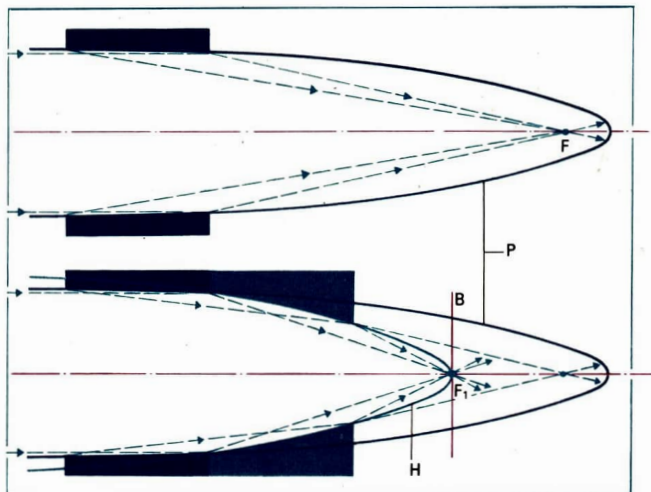
Jedoch kann man auch das Gesichtsfeld des Detektors selbst einschränken, indem man das ankommende Strahlenbündel durch metalli-

Einfaches Röntgenteleskop nach dem Prinzip des Geiger-Zählrohrs

A = Anode, K = Kathode, G = Gasfüllung, F = dünnes Spezialfenster,

V = Verstärker





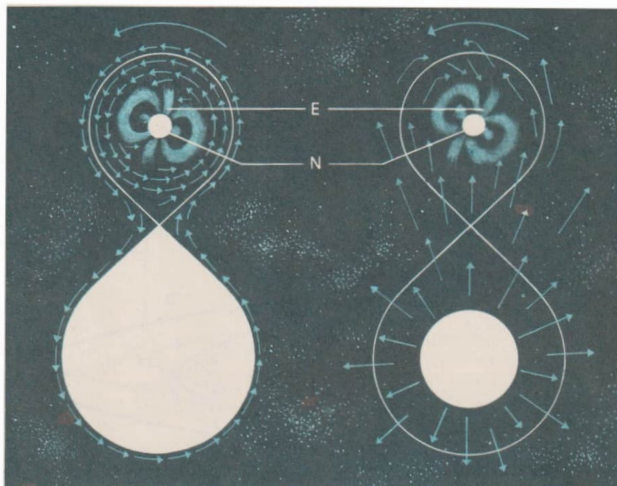
Röntgenoptik

Oben: Als Lichtsammelfläche wird ein Paraboloid P verwendet. Lediglich das blau gezeichnete Segment wirkt reflektierend. Der Detektor befindet sich im Brennpunkt F.

Unten: Als Lichtsammelfläche werden Paraboloid P und Hyperboloid H kombiniert verwendet. Die Brennebene B verläuft durch den Brennpunkt F₂.

sche Lamellen hindurchtreten läßt, welche die aus bestimmten Winkeln eintreffende Strahlung absorbieren. Mit dieser Methode hat man Auflösungen bis zu $0,5^\circ$ erreicht.

„Echte“ Röntgenteleskope, die auf dem Prinzip der Abbildung durch Reflexion an geeigneten Flächen ähnlich wie beim optischen Spiegelteleskop beruhen, wurden bereits im Jahre 1952 in der Literatur vorgeschlagen. Allerdings sehen solche Teleskope ganz anders aus als die üblichen Spiegelfernrohre. Röntgenstrahlen werden nämlich beim Auftreffen auf Spiegel oder Linsen, unabhängig von dem Material, aus dem diese bestehen, weder reflektiert noch gebrochen. Entweder treten die Strahlen ungehindert durch, oder das Material verschluckt sie. Die Rönt-



Entstehung von Röntgenstrahlung in einem Doppelsternsystem mit einem Pulsar

Links: Heiße Gase strömen von dem größeren Stern auf den Pulsar und senden dort Röntgenstrahlung aus.

Rechts: Der von dem größeren Stern ausgesendete Sternwind, ein Gemisch verschiedener Teilchen, strömt auf den Pulsar und ruft dort Röntgenstrahlung hervor.

N = Neutronenstern, E = Emissionsgebiet von Röntgenstrahlung

genteleskope beruhen deshalb auf dem Prinzip der Totalreflexion bei streifendem Einfall. Röntgenstrahlen der Wellenlänge 1 nm werden bei einem Einfallswinkel von 1° oder weniger total reflektiert. Benutzt man nun ein spezielles Rotationsparaboloid als Lichtsammelfläche, so vermag man mit einem Stück der Fläche Röntgenstrahlen zu sammeln. Mit einer Kombination aus Paraboloid und Hyperboloid gelingt es, röntgenstrahlende Objekte abzubilden. Man kann von solchen Röntgenteleskopen Winkelauflösungen bis zu $1''$ erwarten.

Allerdings stehen der Herstellung von Röntgenteleskopen erhebliche

praktische Schwierigkeiten im Wege. Die Ansprüche an die Genauigkeit der Oberflächenform des Paraboloids und des Hyperboloids sind noch weit höher als bei den optischen Spiegeln. Mit dem Einsatz der ersten größeren Röntgenteleskope wird in den achtziger Jahren zu rechnen sein.

Um einen Eindruck von der Bedeutung der Röntgenastronomie zu vermitteln, wollen wir noch kurz über eine Klasse von Objekten sprechen, die durch sie entdeckt worden ist: die kompakten Röntgenquellen in engen Doppelsternsystemen. Die Natur dieser Objekte wurde anhand der beiden Röntgenquellen Cen X-3 und Cyg X-1 aufgeklärt. Bei dem Objekt im Sternbild Centaurus zeigte sich eine Veränderlichkeit im Röntgenbereich mit zwei verschiedenen Perioden: 2,08712 Tage und 4,842 Sekunden. Da man aus der Theorie der Sternentwicklung über die bereits durch Beobachtungen gesicherte Erkenntnis verfügte, daß Sterne, die gegen Ende ihres Lebens eine Masse größer als 1,2 Sonnenmassen besitzen, in das schon erwähnte Stadium des Neutronensterns übergehen, bot sich folgende Erklärung für die festgestellten Verschiedenheiten an: Bei Cen X-3 handelt es sich um ein Doppelsternsystem, dessen eine Komponente sich bereits zum Neutronenstern entwickelt hat. Dieser rasch rotierende kleine Stern besitzt eine Rotationsperiode von 4,842 Sekunden (entsprechend der Kurzzeitperiode). Gleichzeitig bewegt er sich auf seiner Bahn um die andere Komponente. Dabei deckt ihn der Begleiter jeweils im Abstand von 2,08712 Tagen ab, so daß die Röntgenstrahlung in diesem Abstand ausfällt.

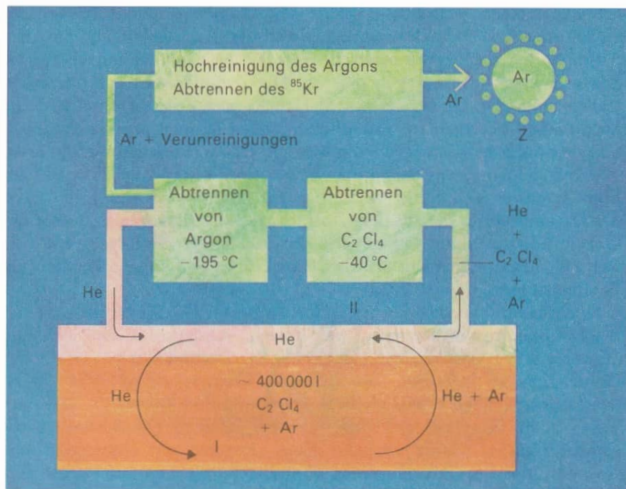
Tanks und Zylinder als Teleskope

Radioteleskope mögen den Laien seltsam anmuten, wenn er sie mit dem herkömmlichen astronomischen Fernrohr vergleicht. Röntgendetektoren unterscheiden sich drastisch von den üblichen Teleskopen. Aber je tiefer der Mensch in die aus dem Kosmos einströmende Informationsfülle einzudringen wünscht, desto mehr ist er auf die gesamten Errungenschaften der Technik angewiesen und desto weiter entfernen sich die Nachweisgeräte von dem seit Jahrhunderten Üblichen.

Zu den merkwürdigsten „Teleskopen“ gehören zweifellos die modernen Nachweisgeräte für Neutrinos aus dem Weltall. Aber ihre Beschaffenheit folgt zwangsläufig aus den Eigenschaften der Teilchen, die damit erfaßt werden sollen.

Seit der Mechanismus der Energiefreisetzung im Innern der Sterne bekannt ist, wissen wir, daß dabei auch jene erst im Jahre 1955 entdeckten (1933 theoretisch vorhergesagten) Teilchen entstehen müssen, die keine Ruhmasse besitzen, extrem geringe Wechselwirkungen mit der Materie eingehen und als Neutrino bezeichnet werden. Der Wert der Neutrinos für die astronomische Forschung liegt gerade darin, daß sie – im Gegensatz zu den elektromagnetischen Wellen – praktisch ungehindert durch ausgedehnte Materieschichten dringen. Das ermöglicht es nämlich, mit ihrer Hilfe einen Blick in das Innere der Sterne zu werfen, aus dem sie in den Weltraum hinausgelangen. Andererseits besteht natürlich in der geringen Wechselwirkung das eigentliche Problem ihres Nachweises. Wissenschaftler haben aber zeigen können, daß eine große Menge von Chloratomen, beispielsweise in Form von Tetrachloräthylen, mit den Neutrinos, die aus dem Innern der Sonne stammen, reagieren, wobei sich ein Isotop des Edelgases Argon (³⁷ Ar) bildet. Die Schwierigkeit liegt allerdings darin, daß man unvorstellbar viele Chloratome im Detektor bereithalten muß, um überhaupt eine für die Meßtechnik nachweisbare Anzahl von Argonatomen zu gewinnen. In Süddakota (USA) hat man einen Tank mit einem Fassungsvermögen von 400 000 l in dem rund 500 m tiefen stillgelegten Schacht eines Goldbergwerks installiert. Die Flüssigkeit wird ständig umgewälzt, wobei die wenigen entstehenden radioaktiven Argonatome gleichsam „herauszufischen“ sind. Aus der Anzahl der gefundenen Argonatome schließt man dann auf den Neutrinostrom von der Sonne.

Die bisherigen Ergebnisse der noch in den Kinderschuhen steckenden Neutrinoastronomie lassen aufhorchen. Man fand nämlich viel weniger Neutrinos, als man erwarten mußte, wenn die heutigen Vorstellungen von den Prozessen der Energiefreisetzung in der Sonne stimmen. Angesichts der außerordentlichen technischen Schwierigkeiten sind aber auch Meßfehler nicht völlig auszuschließen. Nimmt man die bisherigen Resultate ernst, so könnte die drastische Formulierung eines Wissenschaftlers zutreffen, der den merkwürdigen Befund mit den Worten kommentierte: „Wir wissen nicht mehr, warum die Sonne scheint.“ Doch gerade in der Entdeckung noch nicht bekannter Sachverhalte – besonders wenn sie schlecht oder gar nicht mit unseren bisherigen Vorstellungen harmonisieren – liegt eine der wesentlichen Quellen für die Weiterentwicklung der Wissenschaft. So machen sich die Sonnenforscher gegenwärtig viele Gedanken um mögliche Ursachen dieses „Neutrinodefekts“, wobei nicht auszuschließen ist, daß wir auch das Neutrino noch zuwenig kennen, um sein Verhalten vollständig verstehen und erklären zu können.



Prinzip eines Neutrinoobservatoriums auf der Grundlage von Tetrachloräthylen (C_2Cl_4)

I = erster Heliumkreislauf, II = zweiter Heliumkreislauf, Z = Proportionalzählrohr

Gegenwärtig sind an einem steilen Abhang im Elbrusmassiv die sowjetischen Metroerbauer dabei, einen viele hundert Meter tiefen Schacht in das Felsmassiv zu treiben. Auch dort soll ein „Tankteleskop“ zum Nachweis von Neutrinos seiner Bestimmung übergeben werden. Der Vergleich zwischen den Resultaten der sowjetischen Wissenschaftler und denen ihrer amerikanischen Kollegen wird mit größter Spannung erwartet; denn er ist zweifellos geeignet, der Erforschung der Energiefreisetzung in den Sternen neue Impulse zu vermitteln.

Nicht weniger eigenartig als die „Wannenteleskope“ muten jene tonnenschweren Metallzylinder an, welche mittlerweile in zahlreichen Laboratorien der Welt stehen und mit denen ihre Schöpfer Gravitationswellen nachzuweisen versuchen. Die Existenz solcher Wellen, die nicht mit den elektromagnetischen Wellen verwechselt werden dürfen, folgt aus

der allgemeinen Relativitätstheorie von Einstein. Die Schöpfer der Gravitationswellendetektoren haben sich überlegt, daß solche aus dem Kosmos über die Erde hinstreichenden Wellen einen Metallzylinder zu Eigenschwingungen anregen müssen. Die Zylinder sind von Quarzkristallen umgeben, die bei geringsten Druck- oder Zugkräften elektrische Spannungen hervorrufen. Diese Spannungen können mittels elektronischer Apparaturen nachgewiesen werden. Die anfangs geäußerten übertriebenen Hoffnungen haben inzwischen einer nüchternen Betrachtung Platz gemacht. Theoretiker wiesen darauf hin, daß die Empfindlichkeit der Detektoren für die aus dem Kosmos zu erwartenden Intensitäten der Gravitationsstrahlung viel zu gering ist. Bei den ersten Ergebnissen, die weltweit bekanntgemacht wurden, handelte es sich augenscheinlich um Fehlmessungen.

Doch es besteht kein Grund zu Pessimismus. Die Konstrukteure der Nachweisgeräte machen mit Recht darauf aufmerksam, daß sich ihre „Fernrohre“ – verglichen mit den optischen Instrumenten – erst in der Galilei-Epoche befinden. Sie arbeiten intensiv daran, die Nachweisempfindlichkeit erheblich zu steigern, und sind überzeugt, daß eines Tages auch Gravitationswellen aus dem Kosmos zweifelsfrei erfaßt werden können. Damit wäre ein neues „Fenster“ ins Universum aufgestoßen, das uns Informationen übermittelt, die sich auf andere Art kaum erlangen ließen.

Schattenstab, Riesenspiegel – und dann?

Der lange Weg vom Schattenstab zum Riesenspiegel ist zugleich die mühevolle Entwicklung der Produktivkräfte vom Steinbeil bis zu den modernsten Methoden der Werkstofferschaffung aus der Retorte, den kompliziertesten elektronischen Datenerfassungs- und -verarbeitungsverfahren und der feinmechanischen Industrie.

An diesem jahrtausendelangen Ringen des Menschen um die Erkenntnis der Naturgesetze wird deutlich, daß letztlich alles Wissen von dem konkreten Entwicklungsstand der Produktion abhängt, aus der sämtlicher Reichtum der Menschheit entspringt. In immer stärkerem Maße zahlt heute die Wissenschaft diesen Kredit zurück und wird selbst zur Produktivkraft und damit zur unmittelbaren Bedingung des ökonomischen Fortschritts.

Schon jetzt zeichnet sich ab, daß der Riesenspiegel unserer Zeit, jenes

Symbol des menschlichen Forschergeistes, nicht der Endpunkt des Wegs ist, der beim Schattenstab begann. Immer kompliziertere Wunderwerke zum Erfassen kosmischer Informationen erwachsen auf dem Fundament moderner Wissenschaft und Technik.

Mächtige Raketen tragen Instrumente vom Boden des Luftmeers in den Weltraum empor, wo sie ungestört von den Einflüssen der Atmosphäre operieren können und Erscheinungen entdecken, von denen noch vor wenigen Jahren niemand etwas ahnte. Eine immer bedeutsamere Rolle beim Prozeß der Erforschung des Kosmos spielt die Elektronik. Sie muß – insbesondere im Zusammenhang mit der Weltraumfahrt – höchsten Ansprüchen genügen und verdankt wesentliche Impulse ihrer Entwicklung den aus Astronomie und Raumfahrt erwachsenen Anforderungen. Fernsehkameras tragen gestochen scharfe Bilder ferner Planeten heute schon Hunderte von Millionen Kilometern durch das All, ehe die Empfangsapparaturen auf der Erde sie aufzeichnen. Unschwer läßt sich voraussehen, daß der Tag kommen wird, da riesige Forschungsstationen von der idealen Basis des Mondes aus das grandiose Schauspiel kosmischer Experimente verfolgen. Die ungewöhnlichen Zustandsformen der Materie im Weltall und die ebenso ungewöhnlichen Bedingungen ihrer kosmischen Existenz lassen neue Entdeckungen von größter Tragweite erwarten.

Der internationalen Zusammenarbeit kommt bei diesen Forschungsprogrammen viel mehr Bedeutung zu als jemals in der Geschichte der Weltallforschung. Die von der UdSSR und den anderen sozialistischen Staaten betriebene Politik der friedlichen Koexistenz macht diese Zusammenarbeit möglich und nötig zugleich. In den zahlreichen Spezialorganisationen der UNESCO wirken Wissenschaftler aus aller Welt nach sinnvoll abgestimmten Programmen an der Lösung der Forschungsprobleme. Beispiele hierfür sind die Internationale Astronomische Union (IAU) und die Internationale Astronautische Föderation (IAF), zu deren aktiven Mitgliedern die DDR seit vielen Jahren gehört.

Die Erforschung des Weltalls kann heute schon längst nicht mehr allein durch Astronomen betrieben werden. Sie erfordert intensive Anstrengungen auf allen Gebieten menschlicher Tätigkeit, von der Sphäre der unmittelbaren materiellen Produktion bis zu den verschiedensten Spezialwissenschaften.

Ohne Zweifel wird der Mensch diesen Weg weiter verfolgen und die Früchte der Arbeit nutzen, um die Bedingungen seiner Existenz in einer friedlichen Zukunft weiter zu verbessern.

Inhalt

- 5 Himmelskunde ohne Fernrohr**
 - 6 Am Anfang waren Stock und Stein
 - 10 Auf der Spur der Sonne
 - 16 Im Wasserstrom der Zeit
 - 18 Nebenbuhler des Gnomons
 - 21 Im Weltzentrum die Erde
 - 25 Neue Ideen ohne neue Instrumente
 - 31 Dialog mit der Natur

- 41 Künstliche Augen entdecken den Himmel**
 - 42 Von Glasmachern und Brillenschleifern
 - 45 Wer erfand das Fernrohr?
 - 47 Wie der Himmel der Alten verschwand
 - 50 Rätsel des Strahlengangs
 - 55 Bilder ohne Gütezeichen
 - 59 Die Linse bekommt Konkurrenz
 - 64 Ein Riß im Schmelztiegel
 - 68 Qualität wird gemessen
 - 71 Uranus gibt neue Impulse
 - 75 Eine Bestellung aus Königsberg

- 85 Sterne über den Ozeanen**
 - 86 Handelswege im Ungewissen
 - 92 Sonne, Mond und Sterne weisen Wege

- 96 Forschungsstätte im Park
- 101 Der Oktant wird geboren
- 104 Ein Fahrplan für den Mond
- 107 Pendelschlag der Zeit
- 111 Harrison und seine Timekeeper
- 114 Kundendienst für Kapitäne

123 Vorstoß in die Tiefen des Raums

- 124 Mit Eisenblech und Holzgerüst
- 134 Gipfelpunkt der „Spiegelzeit“
- 140 Sterne als Fotomodelle
- 142 Eine Denkschrift und ihre Folgen
- 146 Ein Riesenfernrohr für die Volksbildung
- 150 Künstlicher „Samtmantel der Nacht“
- 152 Ein „Hexenmeister“ gibt den Anstoß
- 155 Der Riesenspiegel setzt sich durch
- 160 Ein Fernrohr stürzt die Weltvorstellung
- 167 Die Geburt des Palomarteleskops
- 173 Das Riesenauge von Selentschukskaja
- 179 Wie geht es weiter?

183 Augen für das Unsichtbare

- 184 Füllhorn der Wellen
- 187 Nachrichten aus dem Zentrum der Milchstraße
- 192 Kosmische Hörrohre
- 197 Sensationelle Ergebnisse der Radioastronomen
- 206 Kalte Sterne strahlen Wärme
- 210 Blinkender Röntgenhimmel
- 215 Tanks und Zylinder als Teleskope
- 218 Schattenstab, Riesenspiegel — und dann?

ISBN 3-355-00786-2

Verlag Neues Leben Berlin
4., unveränderte Auflage, 1988
Lizenz Nr. 303 (305/358/88)
LSV 1499

Schutzumschlag: Karl-Heinz Wieland

Fotos: ADN-ZB/CAF (1); ADN-ZB/Franke (1); ADN-ZB/Großmann (1); ADN-ZB/Häßler (1); ADN-ZB/Haseloff (1); ADN-ZB/Högner (1); ADN-ZB/Ihde (1); ADN-ZB/Kaffka (1); ADN-ZB/Link (2); ADN-ZB/TASS (5); ADN-ZB/Thieme (2); ADN-ZB/UPI (1); Archenhold-Sternwarte Berlin (3); Archiv der Archenhold-Sternwarte (1); Archiv Herrmann (2); Archiv Rothenberg (6); Archiv der Volks- und Schulsternwarte „Juri Gagarin“ Eilenburg (1); Atlas Celeste de Flamsteed, Paris 1776 (1); Burde, Berlin (1); VEB Carl Zeiss JENA (3); Deutsche Fotothek Dresden (2); Herrmann, Berlin (2); Hubble, Das Reich der Nebel, Braunschweig 1938 (1); Max-Planck-Institut für Radioastronomie Bonn (1); Meyer, Das Weltgebäude, Leipzig und Wien 1908 (2); Le opere di Galileo Galilei, Bd. III, Florenz 1907 (1); Riekher, Fernrohre und ihre Meister, Berlin 1957 (1); Rothenberg, Berlin (3); Sammlung Karger-Decker (1); Science Research Council (1); The Scientific Papers of William Pearson, London 1926 (1); Sky and Telescope, 4/1976 (1); Zentralbild (1)

Typografie: Gerhard Christian Schulz

Schrift: 11 p Garamond-Antiqua

Lichtsatzherstellung: (140) Druckerei Neues Deutschland, Berlin

Foromechanischer Nachdruck und buchbinderische Weiterverarbeitung INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig – III/18/97

Bestell-Nr. 642 665 6

01680

2000 Jahre Technik der Himmelsforschung

Himmelskunde ohne Fernrohr

Künstliche Augen entdecken den Himmel

Sterne über den Ozeanen

Vorstoß in die Tiefen des Raums

Augen für das Unsichtbare

ISBN 3-355-00786-2

Verlag Neues Leben Berlin

