

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Die Kultur der Gegenwart

ihre Entwicklung und ihre Ziele

Astronomie

Hartmann, J.

1921

Die Beziehungen der Astronomie zu Kunst und Technik. Von L. Ambronn

DIE BEZIEHUNGEN DER ASTRONOMIE ZU KUNST UND TECHNIK.

VON

L. AMBRONN.

Astronomie
und Kunst.

I. Alte Instrumente. Zu allen Zeiten hat die Schönheit des gestirnten Himmels empfängliche Gemüter begeistert, und die Dichter aller Völker haben die Sonne, den Mond und die Sterne besungen. Ebenso hat auch die darstellende Kunst namentlich im Altertum vielfache Anregungen von seiten der Astronomie empfangen, indem sie ihre Motive den alten an die Gestirne anknüpfenden Mythen entnahm. Doch von alledem soll im folgenden nicht die Rede sein, sondern nur von den direkten Einflüssen, die sich aus den Erfordernissen des Baues astronomischer Beobachtungswerkzeuge für Kunst und Technik ergeben haben. Während im Altertum die Anfertigung dieser Instrumente durch Künstler und demgemäß ihre künstlerische Ausschmückung in den Vordergrund tritt, verdanken in der Neuzeit mehrere Zweige der Technik, die Uhrmacherkunst, die Feinmechanik, die Optik in erster Linie den von der Astronomie gestellten Aufgaben ihre Entstehung und hohe Entwicklung.

Alte Himmels-
globen.

Himmelsgloben und Sonnenuhren sind die frühesten astronomischen Instrumente, die wir aus Beschreibungen, aus Abbildungen sowie durch einzelne Exemplare, die bis auf unsere Zeit erhalten geblieben sind, kennen. Die ältesten Himmelsgloben, von denen berichtet wird, scheinen diejenigen von Eudoxus und Hipparch zu sein; letztere waren zur Zeit von Ptolemäus noch in Alexandrien vorhanden, wie in dessen *Almagest* berichtet wird. Nahe auf die Zeit des Hipparch reicht auch der älteste auf uns gekommene Globus zurück, der sogenannte „Farnesische Atlas“, der in Neapel aufbewahrt wird, aber mehr zur künstlerischen Darstellung der Sternbilder diente, als zur Angabe der Sternorte. Die Symbole der Sternbilder sind als Reliefdarstellungen auf eine Marmorkugel von 65 cm Durchmesser aufgetragen.

Die Globen von Al-Sûfi und Ulugh Beg, von denen der erstere dem 10. Jahrhundert n. Chr. und der letztere dem 15. Jahrhundert angehört, sind nicht mehr vorhanden. Der des Bagdader Astronomen war nur eine Nachbildung desjenigen von Hipparch, insofern zu seiner Herstellung das Sternverzeichnis des *Almagest* verwendet wurde, während der fürstliche Astronom zu Samarkand seine Nachbildung des Firmamentes zum größten Teil auf

eigene Beobachtungen gründete, nachdem er gefunden hatte, daß trotz der Reduktion mit einer Präzession von einem Grad auf 70 Jahre vielfach Abweichungen der Hipparchischen Positionen der Sterne im Vergleich mit denjenigen zu seiner Zeit vorhanden waren. Aus dem Mittelalter sind uns noch einige Globen erhalten, z. T. mit reichem Schmuck der Aufstellung, darunter ein arabischer von 1279, der sich jetzt im Mathematischen Salon in Dresden befindet, ein anderer im Germanischen Museum, den Johann Stöffler Ende des 15. Jahrhunderts gebaut hat, und in Cues a. d. Mosel ein noch etwa 100 Jahre älterer, der einst dem Kardinal Nikolaus Cusanus gehörte.

Die Aufstellungen der Globen haben vielfach Veranlassung zum künstlerischen Schmuck gegeben, und auch die Darstellungen der Sternbilder selbst sind, z. T. sehr wenig fördernd für die eigentlichen Zwecke, reich ausgestaltet worden und haben dann die Sterne selbst arg in den Hintergrund treten lassen. Das ist vielfach auch bei den später an die Stelle der Globen tretenden Sternkarten der Fall, obgleich diese doch nicht in ähnlich dekorativer Weise verwendet werden konnten, wie es bei der plastischen Gestaltung der Globen der Fall war. Wenn man aber z. B. die aus dem 18. Jahrhundert stammenden Karten von Flamsteed betrachtet, so wird man der künstlerischen Darstellung der Figuren der Sternbilder alle Anerkennung zollen müssen, was aber ebenfalls nicht zum Vorteil des eigentlichen Zweckes dieser Karten beiträgt. Als Verzierungen älterer Karten, zur Ausfüllung freier Stellen u. dgl. sind um jene Zeit sehr vielfach figürliche, symbolische Darstellungen der im Altertum mit Sonne und Planeten in Beziehung gebrachten Göttergestalten verwendet worden.

Künstlerischer
Schmuck auf
Globen und
Sternkarten.

In gleicher Weise sind künstlerische Bestrebungen angeregt worden durch die Sonnenuhren, die man an öffentlichen Gebäuden, an Kirchen und in Gärten anzubringen pflegte. In verschiedener Weise hat hierbei die Technik den wissenschaftlichen Anforderungen genügen müssen; denn ist es an sich einfach, eine gewöhnliche Äquatorialuhr mit senkrecht darauf stehendem Zeiger herzustellen, so wird die Aufgabe schwieriger, wenn die Sonnenuhr, wie es meistens der Fall ist, eine durch anderweitige architektonische Rücksichten bedingte Lage besitzen soll. Dann müssen Rechnungen oder Konstruktionen nach den Regeln der sphärischen Trigonometrie angestellt werden, um die Linien richtig zu ziehen, auf die der Schatten des Zeigers zur Zeit der vollen oder halben Stunden fallen muß, oder wenn die Uhr gleichzeitig Angaben über den Eintritt der Solstitien und Äquinoktien darbieten soll. Erweiterte Ansprüche an die Konstruktion werden gestellt, wenn dergleichen Uhren auch noch transportabel, also für den Gebrauch an verschiedenen Orten der Erde eingerichtet sein müssen. Aus solchen Bedingungen heraus ist eine ganze Literatur über die Herstellung von Sonnenuhren entstanden, und besonders zu letzteren Zwecken hat man herrliche kleine Kunstwerke geschaffen, die nach Ausstattung und Universalität ihrer Anwendung als Zeitmesser, Kompass, Kalender und Sonnen- und Planetentafeln usw. kaum etwas zu wünschen übrig lassen.

Sonnenuhren

Schon das Altertum kannte verschiedene Formen von Sonnenuhren, die jedoch abweichend von unseren heutigen nicht die wahre Sonnenzeit, sondern die Temporalstunden anzeigten (vgl. oben S. 97). Drei recht gut erhaltene Exemplare dieser „Skaphe“ sind nach dem wertvollen Werke von H. Diels „Antike Technik“ auf Tafel I abgebildet; die beiden ersten befinden sich im Berliner Museum, das dritte wurde 1854 zu Pompeji ausgegraben. Bei dem ersten Exemplar befand sich in der jetzt ausgebrochenen größeren Öffnung eine Metallplatte mit einem kleinen Loch, durch welches ein Sonnenstrahl fiel, der auf dem Netz der schräg nach unten geneigten halbkugligen Höhlung die Zeit anzeigte. Die zweite Sonnenuhr trägt vorn das Strahlenhaupt des Helios, auf der linken Seitenfläche den Kopf der Athene, rechts den des Dionysos. Die dritte, mit oskischer Inschrift, zeigt deutlich den zungenförmigen Gnomon in der Mitte der konischen Auffangfläche.

Die modernen Sonnenuhren, die jetzt noch jeder aus eigener Anschauung kennt, geben nur die sogenannte wahre Zeit, d. h. den Stundenwinkel der wahren Sonne. Zur Umrechnung in mittlere Sonnenzeit, wie sie seit Beginn des 19. Jahrhunderts in Gebrauch ist, bedarf es noch der Kenntnis der Zeitgleichung (S. 114); man findet diese daher auf den Sonnenuhren nicht selten entweder für jeden Monatsanfang in Zahlen angegeben oder häufiger als Kurve dargestellt, die in Form einer langgezogenen 8 den Mittagsstrich umläuft.

Wasser- und
Sanduhren.

Neben den Sonnenuhren kommen bereits im Altertum für die Zeiteinteilung während der Nacht sowie an trüben Tagen verschiedene Formen von Sand- und Wasseruhren vor, bei denen Sand oder Wasser aus der engen Öffnung eines Gefäßes langsam und gleichmäßig ausfloß. Diese Sand- oder Wasseruhren haben lange Zeit, bis zur Einführung des Pendels oder der Schwingung schwerer oder elastischer Körper (Federn), zur Zeitmessung gedient. Ihre Konstruktionen sind sehr verschiedener Art und z. T. äußerst sinnreich gewesen, und äußerlich waren sie oft durch Beifügung von Skulpturen oder bildlichen Darstellungen hervorragend ausgestattet. Besonders die arabischen Künstler haben durch Anbringung von beweglichen Figuren, Musikanten, singenden Vögeln, Glockenspielen u. dgl. den Typus der Kunstuhr schon frühzeitig ausgebildet. Für die Genauigkeit der Zeitmessung, die jetzt bei der Anfertigung der Uhren das erstrebte Ziel ist, waren solche Zutaten nicht gerade förderlich.

Ältere
Beobachtungs-
instrumente.

Hat man mit den geschilderten Apparaten versucht und bezweckt, der Anschauung und dem Bedürfnis der Ordnung der Lebensweise und der gewerblichen Betriebe Genüge zu leisten, so mußten auch schon sehr früh Einrichtungen geschaffen werden, mit denen die Stellung der Himmelskörper zu jeder Zeit möglichst genau beobachtet werden konnte. So primitiv im Altertum diese Meßwerkzeuge auch waren, so hat man doch nicht unterlassen, sie nicht nur mit der erreichbaren Genauigkeit, sondern auch mit ihrem Zweck manchmal nur hinderlichem künstlerischen Beiwerk auszustatten. Es mag hier nur mit Übergehung der ältesten Apparate auf die schönen

Astrolabien, Meßringe und -platten (Scheiben) hingewiesen werden, die von den Arabern auf uns gekommen sind. Dieselben sind vielfach würdige Seitenstücke zu den Erzeugnissen des Abendlandes aus den Zeiten eines Hevelius (Danzig), eines Tycho und des Landgrafen von Hessen. Schlagen wir heute Tychos reich illustrierte Beschreibung seiner Sternwarte auf oder das Werk Chr. Hevels „*Machina coelestis*“, so finden wir in den dort abgebildeten Instrumenten wahre Kleinode feinsten Metallarbeit, sowohl was die Zusammensetzung der Instrumente zu zweckentsprechendem Gebrauche, als auch was die reiche Ausschmückung der Einzelteile und deren Ausführung in vergoldeten und reich verzierten symbolischen Darstellungen anlangt. Es mag hier als Beispiel für solche Instrumente und die darauf verwendete Kunstfertigkeit ein in Fig. 37 abgebildeter Quadrant des Hevelius dienen.

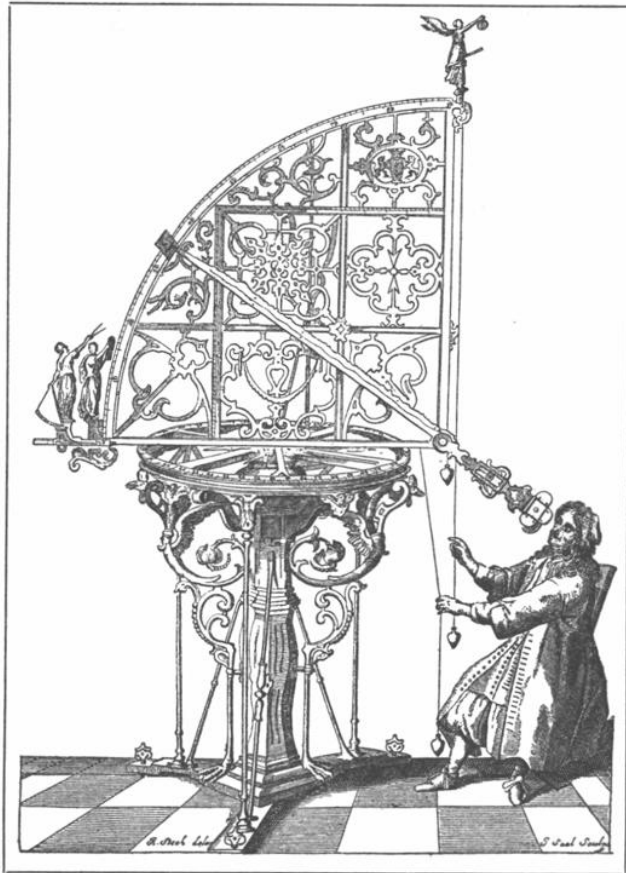


Fig. 37. Quadrant des Hevelius.

II. Vervollkommnung von Kreisteilung und Meßschraube. Die Kreisteilungen. wesentlichen Grundlagen der heutigen astronomischen Meßkunst sind außer dem Fernrohr geteilter Kreis, Schraube und Uhr, und es soll daher zunächst einiges über die Herstellung und Prüfung von Kreis und Schraube gesagt werden; über Uhren wurde schon oben (S. 120) gesprochen.

Um die Mitte des 18. Jahrhunderts werden erfolgreiche Versuche gemacht, die Genauigkeit der Kreisteilungen wesentlich zu erhöhen. Von der Einteilung des Kreises mittels direkter Teilungen durch den Zirkel geht man zu anderen Methoden über. Es sind zunächst englische Mechaniker, Hindley (ein Uhrmacher), Hook und vor allem Ramsden, die erhebliche Fortschritte machen. In Frankreich ist es der Herzog des Chaulnes und später Gambey, die Teilungen liefern, von denen gesagt wird, daß sie die Winkel

bis auf einige Sekunden richtig geben. In Deutschland ist es Reichenbach, der mit Hilfe eines sinnreichen Fühlhebelverfahrens bald Kreise einzuteilen verstand, die an Genauigkeit den besten Ramsdenschen Teilungen mindestens gleichzustellen sind. Noch heute sind Reichenbachsche Teilungen in Verwendung. Gleichzeitig mit diesen Teilmaschinen wurde auch von Johann Georg Repsold eine solche begonnen und von seinem Sohn Adolf später vollendet, auf der bis vor kurzem noch durch die direkte Handkopie die mustergültigen Teilungen der Kreise, welche an den Instrumenten dieser Werkstätte Verwendung fanden, hergestellt wurden, und sie dürften die genauesten Kreisteilungen sein, die mit den uns heute zu Gebote stehenden Mitteln erlangt werden können. Aber das Verfahren ist äußerst umständlich, zeitraubend und erfordert eine große Rücksichtnahme auf die verschiedensten Umstände, wie Einfluß der Körperwärme des Teilenden, sehr feste Aufstellung der Maschine, wenn möglich unausgesetzte Arbeit, um neue Anfangsstellen zu vermeiden und dergleichen mehr.

Automatische
Kreisteil-
maschinen.

Diese Übelstände hat man zu beseitigen versucht durch automatisch arbeitende Kreisteilmaschinen. Die erste dieser Art ist von dem Mechaniker Oertling in Berlin gebaut worden. Sie ist ein Meisterstück technisch vorzüglicher Arbeit. Leider ist sie nur sehr wenig benutzt worden und steht heute im Deutschen Museum zu München. Nach gleichem Prinzip sind aber später eine ganze Anzahl Teilmaschinen ausgeführt worden, so von Sécretan in Paris, von der Société Gènevoise in Genf und in Deutschland von Th. Wegener in Berlin, Max Ott in Kempten und neuerdings von Gustav Heyde in Dresden. Alle diese Maschinen und auch weiterhin die amerikanischen von Buff & Berger und von Saegmüller beruhen auf der Anwendung der Tangentialschraube als Bewegungsmechanismus für den Mutterkreis, auf dem zunächst die Originalteilung mittels eben dieser Schraube hergestellt wurde und durch die ihrerseits nach sorgfältiger Prüfung die Schraube selbst wieder kontrolliert werden kann.

Fehler von
Kreisteilungen
und Schrauben.

So sorgfältig aber auch diese Einrichtungen bei den besten dieser Maschinen ausgeführt sind, und so vorsichtig man bei ihrer Anwendung zur Teilung von Kreisen, die konzentrisch zu dem Mutterkreis auf diesem befestigt werden, auch vorgeht, so ist es doch nicht möglich, absolut genaue Kreisteilungen auf diese Weise herzustellen, sondern es werden immer noch Fehlerquellen verschiedener Art vorhanden sein, die die Genauigkeit der Teilung beeinträchtigen. Einmal sind diese Ursachen in dem Zustande der Schraube und zum andern in ungleichmäßiger Materialbeschaffenheit sowie darin zu suchen, daß periodisch wirkende Exzentrizität der Aufspannung des zu teilenden Kreises, nachträgliche Spannungsänderungen und derartige Ursachen bei der Anwendung des Kreises zu Winkelmessungen mitsprechen. Es bedarf daher nicht nur der größten Geschicklichkeit und technischen Fertigkeit des Mechanikers, sondern der Gelehrte muß doch noch dafür aufkommen, daß ihm das winkelmessende Werkzeug die denkbar besten Resultate zu erlangen gestattet. Einmal galt es Methoden anzugeben, die die Fehler

einer Schraube zu bestimmen gestatten mit einer Genauigkeit, die eben nur bei astronomischen oder geodätischen Messungen gefordert wird, und andererseits war es auch nötig, die Abweichungen der Teilstriche auf einem Kreise von ihrer idealen Stellung aufzufinden. Ganz ähnliche Untersuchungen sind auch durchzuführen, wenn es gilt, die richtige Einteilung und die genaue Gesamtlänge eines geradlinigen Meßstabes zu ermitteln, oder wenn Schrauben als messende Teile in Mikrometerapparaten verwendet werden.

Es ist gerade die Meßkunst der Astronomen gewesen, welche die schärfsten Untersuchungsverfahren nötig gemacht hat, um schließlich Resultate von der Genauigkeit zu erhalten, wie sie gegenwärtig als etwas Selbstverständliches angesehen werden; die „astronomische Genauigkeit“ ist sprichwörtlich geworden.

In allen diesen Dingen hat der Astronom Friedrich Wilhelm Bessel bahnbrechend gewirkt. Ihm ist es zu Anfang seiner Tätigkeit in Königsberg gelungen, mit einem alten Caryschen Höhenkreis Beobachtungen auszuführen, welche alle bis dahin bekannten an Genauigkeit übertrafen. Es war ausschließlich ein Resultat der sorgfältigsten Untersuchung und genialen Anwendung des alten Kreises. Bessels Untersuchungen der Schrauben seines Heliometers haben die grundlegenden Vorschriften für die Prüfung der Meßschrauben geliefert. Die Möglichkeit, eine vom geschickten Mechaniker gefertigte Schraube genau auf die ihr noch anhaftenden Fehler hin zu untersuchen, und die Art, diese Fehler aufzudecken, gibt wieder dem Mechaniker die Fingerzeige, wie er eine solche Schraube verbessern muß.

Bestimmung
der Fehler.

Soll eine Schraube zu scharfen Messungen verwendbar sein, so muß von ihr gefordert werden, daß sie einen bestimmten Instrumententeil bei gleichem Drehungswinkel auch immer um die gleiche Strecke verschiebt. Auf dieser Forderung baut sich auch das Untersuchungsverfahren auf, indem man eine als konstant anzusehende Strecke der Reihe nach auf der Schraube entlang schiebt und an einer auf diese aufgesetzten geteilten Scheibe abliest, ob stets der gleiche Drehungswinkel der Verschiebung um diese Strecke entspricht. Aus den hierbei sich ergebenden Differenzen lassen sich die Fehler der Schraube genau berechnen bzw. die Verbesserungen, die man in jedem Falle an den mit dieser Schraube gemachten Messungen anzubringen hat, um die Resultate so zu erhalten, wie sie eine ideale, vollkommen fehlerfreie Schraube ergeben würde.

Schrauben-
untersuchung.

Es wird hier von Interesse sein zu sehen, um welche linearen Beträge es sich bei diesen Fehlern handelt. Bei einer sorgfältig hergestellten Schraube, deren Ganghöhe nahe 0.5 mm beträgt, kommen Unterschiede vor, die wenige Tausendstel der Schraubenumdrehung betragen. Das sind also lineare Fehler von Tausendstel Millimetern und Bruchteilen davon, Strecken, welche mit den besten Mikroskopen noch eben wahrgenommen werden können, ja Strecken, die häufig nur von der Größe der Wellenlänge des Lichts sind. Der Astronom oder Geodät ist in der Lage, solche Beträge noch aufzufinden,

ihre Ursachen anzugeben und für die Abstellung der Fehlerquellen dem Mechaniker die zweckentsprechenden Vorschläge zu machen.

Kreis-
untersuchung.

Es zeigt sich hier, in wie hohem Maße die Anforderungen, die der Astronom an seine Meßwerkzeuge zu stellen genötigt ist, auf die Vervollkommnung des technischen Arbeitsverfahrens einzuwirken vermocht haben. In gleicher Weise haben auch die großen Anforderungen, welche der Astronom an die Einteilungen der Kreise stellt und an deren zweckentsprechende Herstellung und Verbindung mit den anderen Instrumententeilen, zu einer weitgehenden Vervollkommnung der Technik geführt.

Hat man früher diese Kreise oder Teile derselben, welche die zum Messen der Winkel erforderlichen Teilungen tragen, vielfach nach äußerlichen Gesichtspunkten mit mehr oder weniger reichen Verzierungen angefertigt, so hat man etwa mit Beginn des 19. Jahrhunderts auch darin Wandel geschaffen und sich nach dem Vorgehen von Ramsden, Reichenbach und anderen ausschließlich von technischen Gesichtspunkten, die auf den Erfahrungen der damals lebenden Astronomen fußten, leiten lassen. Flamsteed, Bradley, Bessel und deren Nachfolger hatten wohl erkannt, daß das am einfachsten konstruierte Instrument auch stets die zuverlässigsten Resultate geben werde, da dann alle Teile den auf sie wirkenden äußeren Einflüssen, wie Temperatur, Schwerkraft usw. am besten frei folgen können und die dadurch hervorgebrachten Änderungen der idealen Gestalt oder Lage der Rechnung zugänglich bleiben. Jede Komplikation des Baues erschwerte den Überblick und die rechnungsmäßige Auswertung der Messungsergebnisse.

In welcher Weise die rein mathematischen Überlegungen bei solchen Untersuchungen verwertet werden können, und wie diese selbst wieder dazu dienen, die Wege zur Verbesserung der mechanischen Arbeitsmethoden zu zeigen und ein Maß zu schaffen für die erlangte Genauigkeit, möchte ich kurz erläutern an dem Beispiel der Untersuchung der Winkelteilung eines Kreises. Allerdings kann eine solche Arbeit hier nur in ganz allgemeinen Zügen geschildert werden, da eine genaue Auseinandersetzung viel zu weit ab von dem Zweck dieser Darlegungen führen würde.

Geht man darauf aus, die Abweichungen der Intervalle zwischen zwei Teilstrichen eines Kreises von ihrem Sollwerte festzustellen, so hat man als Ausgangswert eben nur den vollen Umkreis zu 360 Grad. Denkt man sich einen Winkel, welcher z. B. 60 solcher Grade fast genau umfaßt, so auf den Kreis abgetragen, daß der eine Schenkel mit dem Teilstrich, welcher die Bezifferung 0 trägt, zusammenfällt, so wird der andere Schenkel sehr nahe mit dem Teilstrich 60 zusammenfallen. Die Abweichung des 60er Teilstriches von dem Ort des zweiten Schenkels würde der Fehler in der Lage dieses Teilstriches sein, wenn eben der benutzte Winkel genau 60° betragen hätte. Dieser Forderung kann man aber in Wirklichkeit nicht genügen, denn wenn nun der Vergleichswinkel von nahezu 60° weiterhin noch 5mal angetragen wird, so müßte man, falls er richtig wäre, genau wieder auf den Ausgangspunkt zurückkommen. Das wird aber im allgemeinen nicht der Fall sein.

Werden nun die Abweichungen an den Strichen 60, 120, 180 usw. in Vergleichung gebracht mit dem schließlichen Unterschied gegen den Ausgangspunkt, so kann man auf rechnerischem Wege die Fehler der 6 Striche mit Bezug auf den Ausgangsstrich (hier der Nullstrich) bestimmen. Solche Vergleiche macht man nun nicht nur mit dem Winkel von nahezu 60° , sondern auch mit mehreren anderen, z. B. mit solchen von 45° , 30° , 15° , 12° usw., und alle diese Vergleichen, die sich z. T. wieder an dieselben Striche anschließen, werden dann einem gemeinsamen Rechnungsverfahren unterworfen, welches für die beobachteten Striche die wahrscheinlichsten Verbesserungen gegen ihre ideale Lage zu ermitteln gestattet. Die zweckmäßige Anordnung solcher Untersuchungsmethoden ist von Hansen, Schreiber und Bruns eingehend bearbeitet worden, und diese haben auch praktische Vorschriften für die rechnerische Ausführung solcher äußerst umfangreicher Arbeiten gegeben. Die allgemeinen Grundlagen für solche Rechnungen, bei denen es sich um die Ableitung der möglichst richtigen Resultate aus angestellten Beobachtungsreihen handelt, sind in ihrer völligen Allgemeinheit von Gauß entwickelt worden und unter dem Namen der „Methode der kleinsten Quadrate“ bekannt. Erst durch ihre Einführung in die Bearbeitung exakter Messungsergebnisse ist es möglich geworden, in objektiver Weise, d. h. unabhängig von jeder willkürlichen Beurteilung der Genauigkeit der Einzeldaten astronomischer, geodätischer oder auch physikalischer Messungen das denkbar Richtige, d. h. dasjenige Resultat abzuleiten, welches die größte Wahrscheinlichkeit besitzt, oder, anders ausgedrückt, dasjenige, welches am wenigsten von dem wahren Wert des Resultates abweicht.

III. Das Fernrohr. Die Einführung des Fernrohrs in die astronomische Meßkunst hatte zwei wesentliche Vorteile. Zunächst wurde es allerdings nur dazu verwendet, zölestische und terrestrische Objekte dem Auge scheinbar näher zu bringen, dieselben in vergrößerter Flächenausdehnung wahrzunehmen, besonders, soweit es sich um die Körper unseres Sonnensystems handelt. Damit zugleich war aber auch die Möglichkeit gegeben, die Einzelheiten der Objekte sicherer zu definieren, was weiter zur Folge hatte, daß die Einstellung der Fernrohrachse, die an die Stelle der einfachen Dioptr durch Einführung der Fadenkreuze getreten war, auf bestimmte Punkte der betrachteten oder anvisierten Objekte, mit wesentlich größerer Schärfe ausgeführt werden konnte. Die Verbindung des Fernrohrs mit den astronomischen Meßinstrumenten und die Verbesserung des ersteren in seinen optischen und mechanischen Teilen nimmt von da an einen ganz hervorragenden Platz in der astronomischen Beobachtungskunst ein, und die stete Vervollkommnung des Fernrohrs ist auf das engste mit den stetig wachsenden Anforderungen der Astronomen an dasselbe verknüpft, wenn natürlich auch andere Gebiete der Forschung (Mikroskopie) und der Technik und besonders in den letzten Jahrzehnten die Bedürfnisse der Photographie nicht geringen Anteil an der Ausgestaltung der Optik haben. Aber auch die photo-

Bedeutung des
Fernrohrs für
die Astronomie.

graphischen Beobachtungsverfahren sind während der letzten 30—40 Jahre in hohem Maße der astronomischen Forschung dienstbar gemacht worden, so daß auch in dieser Beziehung eine fortlaufende Wechselwirkung zwischen Astronomie und Technik besteht.

Erste
Entdeckungen
Galileis.

Sofort nach der Erfindung des Fernrohrs wurde dieses durch Galilei in seiner ursprünglichen Form zur Betrachtung der Gestirne verwendet. Er entdeckte mit einem von ihm selbst nach Angaben, die er aus Paris erhalten haben dürfte, zusammengesetzten Instrumente die Sichelgestalt der Venus, die Gebirge auf dem Mond und die Satelliten des Jupiter. Schon im Jahre der Erfindung 1608 waren Fernrohre (Perspizillen) in Paris, Frankfurt a. M. und anderen hervorragenden Verkehrszentren bekannt und käuflich zu erwerben.

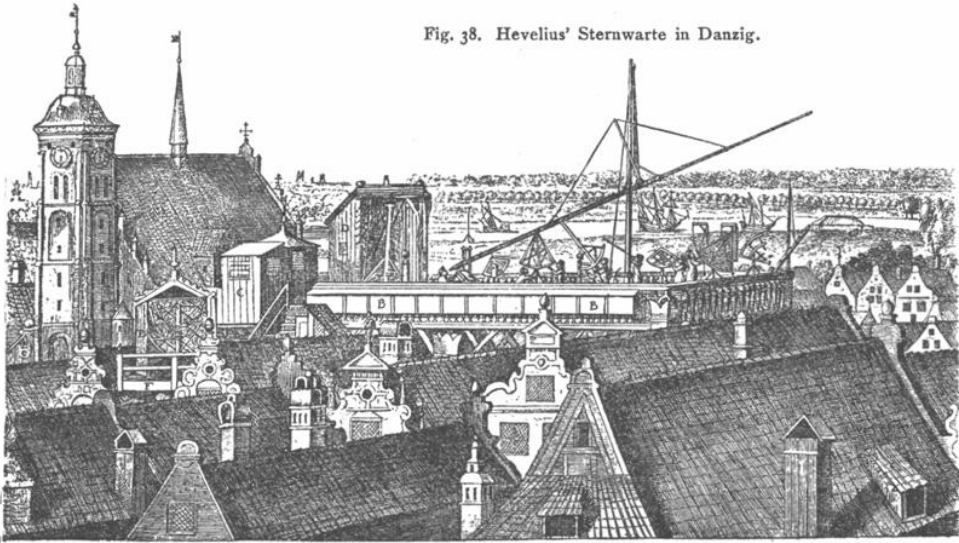
Das Keplersche
Fernrohr.

Die erste (holländische) Fernrohrkonstruktion, die aus der Verbindung einer dem Gegenstand zugewendeten Konvexlinse und einer dem Auge nahe stehenden Konkavlinse bestand, wird dadurch gekennzeichnet, daß das mit ihrer Hilfe vom Auge wahrgenommene Bild des Gegenstandes zwar in gleicher Stellung wie in der Natur erscheint, daß aber die Vergrößerung, die das Instrument zu gewähren vermag, d. h. der Quotient aus dem Winkel, unter dem die Sehstrahlen nach dem Durchgang durch das Fernrohr in das Auge gelangen, dividiert durch denjenigen, welchen sie ohne Zwischenschaltung des Fernrohrs am Auge bilden, nur gering sein kann. Dieser Umstand veranlaßte Kepler, an die Stelle der konkaven Augenlinse auch eine konvexe Linse zu setzen, wodurch er bewirkte, daß das von der Vorderlinse (dem Objektiv) erzeugte Bild erst wirklich zustande kommt und dann erst von der Augenlinse mit der Wirkung einer Lupe betrachtet wird. Bringt man im Fernrohr an dem Orte des Bildes ein Fadenkreuz an, so wird dieses mit dem beobachteten Gegenstande durch das Okular gleichzeitig scharf gesehen, man kann das Fadenkreuz somit auf die einzelnen Teile des Gegenstandes scharf einstellen und letzteren auf diese Weise einer Ausmessung unterwerfen. Darin liegt neben dem größeren Gesichtsfeld der Hauptvorteil des Keplerschen Fernrohrs vor dem holländischen. Daß im Keplerschen Fernrohr die beobachteten Gegenstände in umgekehrter Stellung gesehen werden, ist für astronomische Objekte ohne Belang. Für die Astronomie ist die weitere Ausgestaltung des Keplerschen, oder, wie es auch vielfach genannt wird, „astronomischen“ Fernrohrs allein von Bedeutung.

Fehler der
Objektive.

Ohne hier auf manche zwischenliegende Entwicklungsstufen näher einzugehen, soll sogleich auf einen Mangel hingewiesen werden, der allen aus Linsen gebildeten, d. h. auf die dioptrischen Vorgänge in solchen gegründeten, Sehwerkzeugen eigen ist. Das ist die mit der Ablenkung der Lichtstrahlen bei ihrem Übertritt von einem Medium in ein anderes von verschiedener Dichtigkeit eintretende Dispersion, die Zerlegung in die verschiedenen Farben. Ist der erstere Vorgang für das Zustandekommen der Abbildung unbedingt erforderlich, so ist die zweite Eigenschaft für die Schärfe und Deutlichkeit des erzeugten Bildes von nachteiligster Wirkung, wird doch

Fig. 38. Hevelius' Sternwarte in Danzig.



dadurch bedingt, daß die Bilder, welche die verschiedenen Strahlengebiete zustande kommen lassen, nicht in gleicher Entfernung von der Linse liegen, dadurch verschieden groß werden und so das, was wir als Gesamtbild mit unserem Auge wahrnehmen, stets mit farbigen Rändern umgeben erscheinen lassen. Außerdem ist es aus rein technischen Gründen zunächst nur möglich, größeren Linsen eine sphärische Gestalt ihrer Oberfläche zu geben, wodurch von denselben eine streng punktweise Abbildung der Objekte nicht erzeugt werden kann. Das Bestreben, diese beiden Nachteile einfacher Linsen bei ihrer Benutzung für Fernrohre, Mikroskope und später für photographische Apparate zu beseitigen, um vor allem den Anforderungen der Astronomen zu genügen, ist für die Entwicklung der Glaserzeugung und für die optischen Werkstätten bis auf den heutigen Tag der Antrieb zu außerordentlich vielen, höchst wertvollen und weitgehenden Arbeiten und Verbesserungen geworden.

Damit in direkter Verbindung stehen die Untersuchungen einer Reihe der bedeutendsten Mathematiker über den Strahlengang in Linsensystemen und der Physiker über die Eigenschaften des Lichts und seiner Veränderung beim Übergang von einem Medium in ein anderes.

Man hatte zunächst versucht, die Mängel der Abbildung in den ersten Fernrohren, die besonders bei der Anwendung stärkerer Vergrößerungen fühlbar wurden, dadurch zu beseitigen, daß man den Fernrohren eine im Verhältnis zu ihrer Öffnung sehr große Länge gab, denn es zeigte sich, daß dadurch sowohl die Unschärfe als auch, bis zu einem gewissen Grade, die farbigen Ränder der Bilder behoben werden konnten. Dieser Weg führte allmählich zu enormen Dimensionen der Fernrohre, wie sie von Divini, Campani in Mailand, Auzout in Paris und später in Deutschland von dem Danziger Astronomen Hevelius (Höwelke) mit 20—30 m Länge angefertigt und benutzt wurden. Ein solches Fernrohr ist in Fig. 38 zu sehen, die eine Ansicht von dem Danziger Observatorium gibt, welches leider im Jahre 1679

Lange
Fernrohre.

durch eine Feuersbrunst vernichtet wurde. Man erkennt sofort, daß es bei der großen Länge der Fernrohre häufig nicht mehr möglich war, Objektiv und Okular durch ein wirkliches Rohr zu verbinden, sondern, daß an dessen Stelle lange Stangen traten, die nur eine mangelhafte Verbindung beider Teile gewähren konnten. Ja auch diese Verbindung mußte bei einigen der Campanischen Instrumente weggelassen werden; man brachte das Objektiv am Ende eines hohen Mastes an, und das Okular wurde ganz gesondert davon gehandhabt, während mittels Rollen und Schnurläufen dem Objektiv die erforderliche Stellung gegeben werden mußte.

Diese primitiven Anordnungen, die aber z. T. äußerst komplizierte mechanische Einrichtungen und die gleichzeitige Tätigkeit einer ganzen Anzahl eingeübter Hilfskräfte erforderten, konnten natürlich nicht zu guten Erfolgen führen; gleichwohl ist manche wichtige Beobachtung mit solchen Fernrohren gelungen.

Die Spiegel-
teleskope.

Diese Umstände und die damaligen Ansichten über die Natur des Lichts, über die ja ein langer Streit zwischen Newton und Huygens und ihren Schülern und Anhängern schwebte, ließen auf Grund der Versuche Newtons die Meinung entstehen, daß man auf dem eingeschlagenen Wege, nämlich durch die Vergrößerung der Brennweite der Fernrohrobjektive, nicht dazu gelangen könne, besonders farbfreie Abbildungen der beobachteten Objekte zu erlangen, denn sobald man die Objektive vergrößerte, um mehr Lichtstrahlen zur Erzeugung der Bilder zu gewinnen, traten die farbigen Ränder der Bilder und ihre wachsende Undeutlichkeit wieder stärker störend in Erscheinung. Deshalb schlug Newton vor, zur Erzeugung der Bilder nicht Linsen, sondern Hohlspiegel zu verwenden. Werden durch Reflexion an solchen die Lichtstrahlen zum Bilde vereinigt, so findet eine Zerlegung des Lichtes in seine einzelnen Farben nicht statt, während doch Bilder der Objekte zustande kommen; allerdings wird dabei der Gestaltfehler, solange die Spiegel sphärisch geschliffen sind, auch nicht beseitigt werden können, doch wußte man, daß diese Fehler weit weniger störend für die Bildqualität sind.

Der erste Gedanke zu einem derartigen Fernrohre rührt von Niccola Zucchi her, der ihn in seiner *Optica phil.* 1652—1656 ausgesprochen hat. Er betrachtete, so wie das beim Galileischen Fernrohre geschieht, das von dem Hohlspiegel entworfene Bild durch eine Konkavlinse und erhielt damit aufrechte Bilder. Später hat Mersenne und darauf Gregory, indem sie die Strahlen an einem kleinen Spiegelchen reflektieren ließen und sie dann durch eine Öffnung im Hauptspiegel mittels einer Okularlinse betrachteten, die Konstruktion wesentlich verbessert.

Kurze Zeit darauf (1671) war aber von Newton diejenige Anordnung des Spiegelteleskops angegeben und ausgeführt worden, welche noch heute seinen Namen trägt. Im Jahre 1672 wurde dann auch von Cassegrain im *Journal des Savants* der Vorschlag gemacht, den Gregoryschen kleinen Hohlspiegel durch einen Konvexspiegel zu ersetzen und dadurch die Länge des Fernrohrs erheblich zu vermindern.

Alle Mühe und aller Scharfsinn der Astronomen und Optiker war im 18. Jahrhundert zunächst darauf gerichtet, die Spiegelteleskope zu verbessern, während die Linsenfernrohre vernachlässigt wurden. Erst die Untersuchungen von Euler veranlaßten den englischen Optiker John Dollond, Newtons Versuche nachzuprüfen. Das Resultat war, daß Dollond durch sinnreiche Versuche mit einem in ein Wasserprisma gestellten Glasprisma fand, daß wohl eine Farbenzerstreuung stattfinden könne, ohne daß eine Gesamtbrechung der von dem Objekt kommenden Strahlen stattfand, dieses also am gleichen Ort erschien, an dem es das Auge erblickte, wenn das Prismensystem ausgeschaltet wurde, aber das Bild hatte farbige Umrandung. Die umgekehrte Versuchsanordnung brachte nun Dollond auf den Gedanken, statt Glas mit Wasser zu kombinieren, dieses auch einmal mit zwei verschiedenen Glassorten zu tun. Der Versuch gelang, und er konnte zeigen, daß zwei geeignete Prismen von Glas, hintereinander geschaltet, wohl eine Brechung des Lichts, aber keine merkliche Farbenzerlegung hervorbrachten. Nun schliiff er statt der Prismen zwei Linsen, die eine aus dem dichteren Flintglase, die andere aus dem leichteren Crown Glas, deren Brechungsindices sich etwa wie 16:15 verhielten. Nach vielen Versuchen, entsprechende Linsen praktisch herzustellen, gelang es ihm endlich 1758, ein Fernrohr von etwa $1\frac{1}{2}$ m Brennweite zu bauen, welches nahezu farblose Bilder gab.

Achromatische
Objektive.

Das der Royal Society vorgelegte Fernrohr übertraf an Deutlichkeit die Bilder der früheren Fernrohre von 3- und 4-fach größeren Dimensionen.

Damit war ein großer Schritt sowohl für die astronomische Forschung wie auch für die Konstruktion anderer wichtiger optischer Instrumente getan.

Euler stand zunächst dieser Erfindung sehr skeptisch gegenüber, aber schließlich wurde er durch die Untersuchungen von Ziehrer davon überzeugt, daß der Bleigehalt der Gläser wesentlich die verschiedenen Brechungsverhältnisse bedingte und es daher doch einzusehen sei, daß sich seine Theorie mit dem Dollondschen auf empirischem Wege gefundenen Resultate vereinigen lasse.

Während dieser Untersuchungen und wissenschaftlichen Kontroversen über den Verlauf des Strahlenganges in verschiedenen Medien hatte man aber eifrig an der Verbesserung und Ausgestaltung der Reflektoren gearbeitet.

Vervollkom-
nung der Spiegel-
teleskope.

Sowohl die Herschelsche Konstruktion der Spiegelteleskope als auch die nach Newtonschem Prinzip konstruierten haben den Nachteil, daß das Auge des Beobachters nicht nach dem Gestirn gerichtet ist, sondern im ersteren Falle entgegengesetzt und im zweiten Falle senkrecht zum ankommenden Lichtstrahl. Das bildet eine Unbequemlichkeit, die besonders bei der schwierigen Handhabung der großen Instrumente für die Aufsuchung der Gestirne nicht ohne Bedeutung ist. Bei der von Gregory angegebenen Konstruktion fällt dieser Übelstand weg, aber dafür hat dasselbe einen anderen, nämlich den, daß durch die Verwendung zweier Hohlspiegel die sphärischen Fehler der Abbildung vergrößert werden. Deshalb schlug Cassegrain, welcher wenig später als Newton die nach ihm benannten Konstruk-

tionen angab, vor, statt des konkaven „kleinen“ Spiegels einen konvexen zu wählen, denn dadurch würden bei der zweiten Reflexion die Fehler des konkaven Auffangespiegels mit umgekehrter Wirkung das Zustandekommen des Bildes beeinflussen und so dasselbe verbessern. Außerdem konnte das Teleskop bei gleicher Brennweite wesentlich verkürzt werden, denn die Vereinigung der Strahlen zum Bilde findet dabei erst nach ihrer Reflexion am kleinen Spiegel statt, und dazu kommt wieder der Vorteil, daß das Auge des Beobachters nach dem anvisierten Objekte gerichtet ist. Mit der Verkürzung des Fernrohrs wird aber auch seine Montierung erheblich erleichtert, und die Bewegungseinrichtungen erhalten eine größere Freiheit in ihren konstruktiven Teilen.

Die Aufstellung der großen Instrumente und ihre Handhabung stellten an den mechanischen Betrieb große Anforderungen, und so kam es, daß z. B. Lord Rosse sich bei seinem Instrumente, dessen Spiegel eine Öffnung von 1,83 m bei einer Brennweite von 16,2 m besitzt, darauf beschränkte, diesem nur eine geringe Bewegungsmöglichkeit zwischen zwei meridionalen Mauern zu geben, so daß nur in kleinen Stundenwinkeln und auf der Südseite des Meridians beobachtet werden kann.

Foucaults
Glasspiegel.

Die Herstellung der großen Spiegel aus Spiegelmetall bot so große Schwierigkeiten, daß Foucault 1875 den Vorschlag machte und ihn auch bei einem nach Newtons Konstruktion für Paris gebauten Reflektor ausführte, die Spiegel aus Glas herzustellen und sie auf der Vorderseite zu versilbern. Bei dem in neuester Zeit wieder einsetzenden Bau solch großer Reflektoren werden ausschließlich diese versilberten Glasspiegel verwendet.

Fraunhofer.

Der Wettstreit zwischen Refraktor und Reflektor schien am Ende des 18. Jahrhunderts trotz der Erfolge Dollonds unbedingt zum Vorteil des letzteren entschieden zu sein, bis durch die Arbeiten des genialen Optikers Joseph Fraunhofer sich die Verhältnisse wieder sehr erheblich zugunsten des Linsenfernrohrs änderten. Fraunhofer war es beschieden, nach zwei Richtungen hin die Linsenfernrohre zu vervollkommen. Einmal dadurch, daß er die Verbesserung der Glastechnik durch eigene Schmelzungen in der neu errichteten Glashütte zu Benediktbeuern mit bestem Erfolge unternahm, und andererseits durch seine an den neu hergestellten Glasarten vorgenommenen physikalischen Untersuchungen. In Fraunhofers Arbeiten tritt der Einfluß, den die wissenschaftlichen Forschungen auf die Ausgestaltung technischer Methoden und gegenseitige Förderung beider ausüben, in typischer Form vor Augen.

Fraunhofer suchte zunächst für den rein technischen Zweck der Konstruktion achromatischer Objektive nach einer schärferen Definition der einzelnen Farben. Seine klug und sorgfältig ausgeführten Versuche wurden durch die Entdeckung der nach ihm benannten dunklen Linien im Sonnenspektrum belohnt, mit deren Benutzung es möglich wurde, bestimmte Lichtstrahlen — also Licht von ganz bestimmter Wellenlänge — bei ihrem Durchgang durch die verschiedenen Glasarten, genau zu verfolgen. Dadurch ge-

lang es erst, die Gesetze der Brechung und der Dispersion mit Sicherheit aufzustellen und zu zeigen, daß bei der Wahl zweckentsprechender Glasarten und diesen angepaßter Gestaltgebung der Linsen es allerdings möglich ist, Fernrohrobjektive herzustellen, durch die sowohl die chromatischen als auch die sphärischen Bildfehler bis auf ein Minimum vermieden werden können. Fraunhofer hat selbst, obgleich ihm nur eine kurze Wirksamkeit beschieden war, noch Objektive bis zu 250 mm Durchmesser geschliffen, von einer Vollkommenheit, die selbst heute kaum übertroffen werden kann.

Die von Fraunhofer gewählte Form der beiden das Objektiv zusammen- Abbe und Schott setzenden Linsen wird gegenwärtig bei zweiteiligen Linsen noch meistens angewendet, wenn auch durch die großen Fortschritte, die in den letzten 40—50 Jahren die Glastechnik durch die systematischen Untersuchungen von Abbe und Schott aufzuweisen hat, mancherlei Änderungen in der Objektivkonstruktion herbeigeführt worden sind. Besonders muß aber erwähnt werden, daß es durch eben diese Versuche gelang, Glasflüsse herzustellen die, was Brechung und Dispersion anlangt, in sehr weiten Grenzen den verschiedensten Bedingungen, die der Optiker zu stellen hat, genügen können. Fraunhofer hat sich noch im wesentlichen mit drei oder vier verschiedenen Arten von Crown- und Flintglas begnügen müssen, die ihm in größeren, für optische Zwecke verwendbaren Schmelzungen gelangen. Heute stehen deren Dutzende zur Verfügung, so daß daraus je nach dem speziellen Zweck gewählt werden kann. Zu Fraunhofers Zeiten wurde an ein gutes Fernrohrobjektiv allerdings auch nur die Anforderung gestellt, daß es die für das menschliche Auge besonders wirksamen Strahlengebiete in bester Weise zum Bild vereinige, heute fordern aber die Astrophotographie und die Astrophysik, daß auch die aktinisch wirksamen Strahlengebiete ebensogut zum Bilde vereinigt werden müssen, wie die sichtbaren Strahlen. Diese Forderung machte es auch nötig, die Licht absorbierenden Eigenschaften verschiedener Glasarten näher zu untersuchen und solche Schmelzungen herzustellen, die in dieser Richtung besonders für die stärker brechbaren Strahlen — von geringer Wellenlänge — günstige Bedingungen bieten. Auf Grund dieser Forderungen sind die neuen, die ultravioletten Strahlen besonders durchlassenden Gläser, die sogenannten U. V.-Gläser, in Jena entstanden.

Direkt von der Astronomie ist auch noch ein letzter großer Fortschritt Optische Prüfungsmethoden. in der Herstellung der Linsen und Spiegel ausgegangen. Wie wir oben sahen, daß die Vervollkommnung der Meßschrauben und der Kreisteilungen Hand in Hand ging mit der Untersuchung der Fehler dieser Hilfsmittel seitens des beobachtenden Astronomen, so war auch die höchste Vollkommenheit der optischen Apparate erst zu erreichen, nachdem man ihre Fehler in allen Einzelheiten genau zu messen gelernt hatte. Zwar kannte man in der Foucaultschen Messerschneidenmethode ein Verfahren, welches namentlich bei der Anfertigung von Hohlspiegeln Auskunft darüber gab, ob die hergestellte Spiegelfläche streng die Aufgabe erfüllte, daß alle parallel auffallenden Strahlen nach ein und demselben Punkte hin reflektiert wurden. Aber

einerseits ergab dieses Verfahren keine Auskunft über den Betrag der noch vorhandenen Fehler, andererseits war es an Objektiven, bei denen sich mit der sphärischen Abweichung noch der Farbenfehler vermischt, schwer anwendbar. Das große photographische Objektiv von 80 cm Durchmesser, welches im Jahre 1899 von der optischen Anstalt C. A. Steinheil Söhne dem Astrophysikalischen Observatorium in Potsdam geliefert wurde, gab daher dem damals dort tätigen Astronomen J. Hartmann Veranlassung, eine neue Prüfungsmethode auszuarbeiten, welche mit Hilfe einiger photographischer Aufnahmen alle Eigenschaften und Fehler jeder Linse, jedes Spiegels und auch jedes zusammengesetzten optischen Apparates, z. B. eines Spektrographen, genau zahlenmäßig festzustellen gestattet. Dieses Prüfungsverfahren hat sich seither in der astronomischen Praxis wie auch in den optischen Werkstätten überall eingebürgert und von großem Nutzen erwiesen. Während früher der Astronom nur über die Unschärfe der Bilder eines Fernrohrs klagen konnte, gibt das neue Verfahren genau die Ursache der Unschärfe an und zeigt den Weg, wie dieselbe beseitigt und das Objektiv oder der Spiegel verbessert werden kann. Gerade hierdurch hat sich die Förderung der Technik durch den Astronomen wieder aufs deutlichste gezeigt.

Äquatoriale
Montierung.

IV. Die Aufstellung der Fernrohre. Für den Gebrauch der Fernrohre sind, sobald sie gewisse Dimensionen überschreiten, besondere Aufstellungen — Montierung genannt — nötig, die sich wieder im wesentlichen nach zwei Richtungen hin unterscheiden. Soll das Fernrohr zur Beobachtung der Gestirne in allen Gegenden des Himmels dienen, so bedarf es einer Montierung, die ihm diese Beweglichkeit ermöglicht. Im allgemeinen kann das erreicht werden durch ein System von zwei Achsen, die senkrecht zueinander stehen; entweder gibt man einer davon die Richtung des Lotes, dann wird die andere bei Drehung des Instruments um die Vertikale die Ebene des Horizonts beschreiben, oder man stellt die eine der Achsen parallel der Erdachse und läßt die zweite sich in der Ebene des Äquators bewegen. In beiden Fällen wird es möglich sein, jeden Punkt des Himmels anzuvisieren. Die erstere Aufstellung nennt man die azimutale, die zweite die äquatoriale. Für große astronomische Instrumente pflegt man fast ausschließlich die letztere zu wählen, weil sie der scheinbaren täglichen Bewegung der Gestirne entspricht und es dadurch möglich wird, durch Benutzung eines Uhrwerks dem Fernrohr eine konstante Richtung im Raume zu erteilen, so daß ein in das Gesichtsfeld gebrachtes Gestirn auch dort an derselben Stelle stehen bleibt, während bei anderer Aufstellung der Beobachter selbst die Absehlenslinie des Fernrohrs fortwährend dem Ortswechsel des Gestirns entsprechend nachbewegen muß.

Die Bedingungen, denen eine äquatoriale Fernrohrtaufstellung genügen muß, haben bei großen Instrumenten der Technik häufig recht schwierige Aufgaben gestellt. Dieselben sind in verschiedener Weise gelöst worden, und diese Montierungen sind häufig geradezu als technische Kunstwerke anzu-

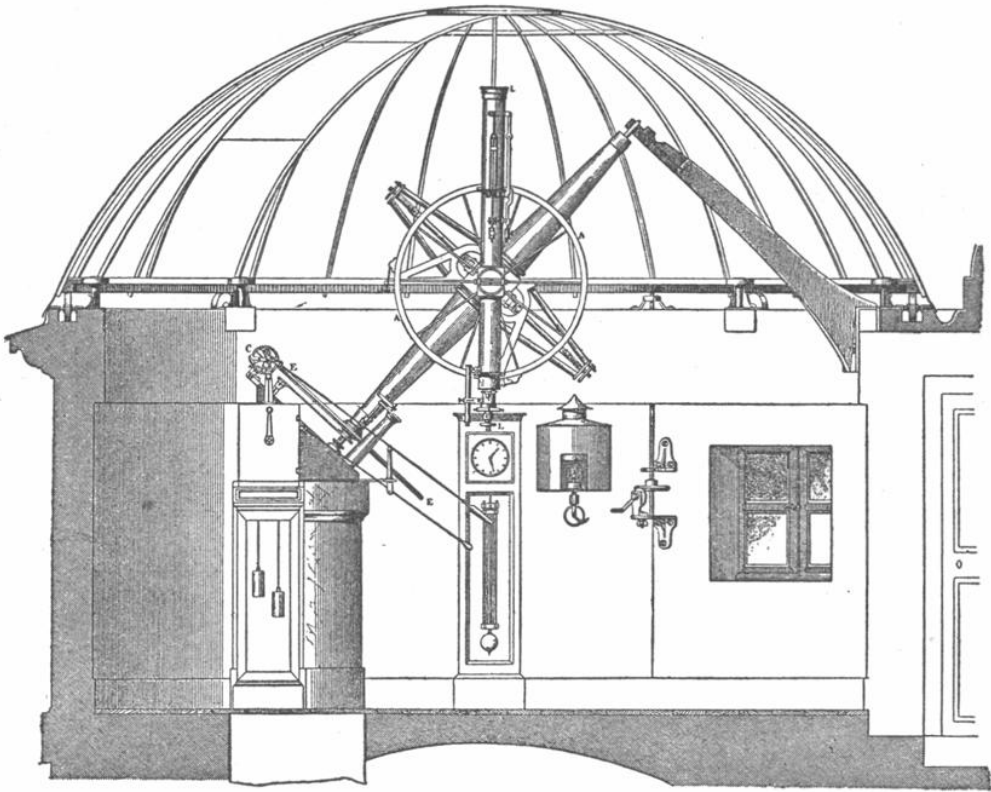


Fig. 39. Englisch montierter Refraktor.

sehen. Man pflegt dabei zwei durch die Anordnung und Lagerung der Achsen verschiedene Typen zu unterscheiden. Einmal hat man, um dem Fernrohr eine möglichst große Bewegungsfreiheit zu geben, die beiden Achsenzapfen voneinander getrennt und diese in je einem besonderen Lager gestützt. In dem die Achsenzapfen verbindenden Teile ist dann die Kippachse des Fernrohrs gelagert. In Fig. 39 ist eine solche Aufstellung dargestellt, man pflegt sie die „englische Montierung“ zu nennen. Man bedarf dazu meist zweier Pfeiler, von denen der eine das obere, nach dem sichtbaren Pole des Himmels gerichtete Ende der Achse trägt, der andere den unteren Achsenzapfen aufnimmt.

Englische
Montierung.

Die englische Aufstellung erscheint etwas umständlich und ist konstruktiv nicht mit der nämlichen Eleganz durchführbar wie die zweite, die die „Fraunhofersche“ oder „deutsche“ genannt wird. Diese ist im Laufe des letzten Jahrhunderts sowohl in Deutschland als auch in England und Amerika zu hoher Vollkommenheit ausgebildet worden. Tafel II zeigt eine der neusten dieser Aufstellungen, den großen Doppelrefraktor des Potsdamer Observatoriums, der im Jahre 1899 von der weltberühmten Hamburger Werkstätte von A. Repsold & Söhne vollendet wurde, die nach dem Tode ihrer Inhaber nun leider eingegangen ist. Die Aufstellung trägt in Potsdam zwei nebeneinander gelagerte Fernrohre von 50 bzw. 80 cm Öffnung und etwa 12 m Länge, von

Deutsche
Montierung.

denen das erste für visuelle Beobachtungen, das zweite für photographische Aufnahmen des Himmels bestimmt ist. Auch die noch größeren, jedoch nicht doppelten Fernrohre des Lick-Observatoriums und dasjenige der Sternwarte an der Williamsbai bei Chicago, das von dem Amerikaner Yerkes gestiftet wurde, gehören in diese Kategorie, doch muß man trotz ihres äußerst zweckmäßigen Baues sagen, daß sie die Eleganz und kompensiöse Anordnung der Einzelteile — wenn man bei den riesigen Abmessungen sich so ausdrücken darf — der deutschen Instrumente nicht erreichen.

Der große
Potsdamer
Refraktor.

Wie die Abbildung des Potsdamer Refraktors deutlich erkennen läßt, ist die der Weltachse parallele Stundenachse am oberen Ende der senkrechten Säule in einer Büchse gelagert, die dieselbe ganz umfaßt und ihrerseits mit dem Kopf der Säule organisch verbunden ist. In einer zweiten Büchse, die wiederum mit der Stundenachse — an ihrem oberen Ende — verbunden ist, ist die Deklinationsachse gelagert. Das eine Ende dieser Achse trägt das Fernrohr selbst, indem ein starkes Mittelstück desselben auf deren Stirnfläche aufgeschraubt ist, das andere ein Gegengewicht.

Fernrohr und beide Achsen mit der Deklinationsbüchse stellen die beweglichen Teile der Montierung dar und können trotz ihres bedeutenden Gewichtes von ca. 140 Zentnern ganz bequem durch die Hand des Beobachters oder durch ein einfaches Uhrwerk in Bewegung gesetzt werden, welches rechts am Fuße der Säule zu sehen ist. Dazu ist es erforderlich, daß der Schwerpunkt dieses Massensystems genau in den Durchschnittspunkt der beiden Achsen fällt, also die Massen ganz gleichmäßig um denselben verteilt sein müssen. Das Fernrohr sitzt an dem einen Ende der Deklinationsachse, also muß am anderen Ende ein Gegengewicht angebracht sein. Um dieses so leicht wie möglich machen zu können, ist das Fernrohr so nahe wie nur zugänglich an den Schwerpunkt des Systems herangerückt und das Fernrohr ist deshalb vom Objektiv bis zum Okularende stetig verjüngt, im Gegensatz zu der früheren Gepflogenheit, an dem Mittelstück zwei, sowohl nach dem Objektiv als auch nach dem Okularende zu geringerem Durchmesser übergehende Teile anzusetzen.

Aber die mit der Stundenachse in deren Lagern sich drehenden Teile würden doch noch eine Reibung zu überwinden haben, die eine bequeme Bewegung ausschließen. Deshalb sind alle beweglichen Massen durch eine Rolle unter dem gemeinsamen Schwerpunkt unterstützt, die um eine horizontale Achse drehbar auf dem höchsten Punkt ihrer Peripherie den bei weitem größten Teil der Last trägt und die ihrerseits mittels eines Hebelsystems durch ein im Innern der Säule hängendes Gewicht in die Höhe gepreßt wird, wodurch die fast völlige Entlastung der Lager der Stundenachse und eine sehr leichte Bewegung erreicht ist.

Alle Drehungen des Instruments müssen an Kreisen, die auf den beiden Achsen angebracht sind, genau meßbar sein. Dazu sind Mikroskope erforderlich, die wiederum für den Beobachter leicht zugänglich sein müssen; sie sind so angebracht, daß die Bewegungen des Fernrohrs an den beiden

Kreisen sowohl vom Okularende aus abgelesen werden können, als auch von dem Platze links am Fuße der Säule, wo sich die Handräder für die Bewegung des ganzen Instruments befinden. Der Strahlengang wird dadurch zwar kompliziert, aber die konstruierenden Mechaniker haben die Forderung in mustergültiger Weise gelöst. Alle Klemmungen des Instruments, alle Feinbewegungen können vom Okular aus betätigt werden.

Diese wenigen aus dem ganzen Mechanismus herausgegriffenen Angaben zeigen schon, wie eingehender Überlegung der Bau eines solchen Instruments bedarf. Und doch ist bei all diesem die äußere Form des ganzen Aufbaues eine äußerst elegante und auch das Auge des Künstlers befriedigende.

Dazu kommt weiterhin noch die Notwendigkeit, solche Instrumente gegen alle Unbilden der Witterung genügend zu schützen und dabei doch den freien Ausblick nach allen Punkten des Himmels zu ermöglichen. Zu diesem Zweck hat man große Kuppelbauten mit drehbaren Dächern nötig, die sich in geeigneter Weise leicht öffnen und schließen lassen und die bei einem Gewicht von Hunderten von Zentnern dem Druck der Hand folgen sollen oder die heutigentags mittels elektrischer Einrichtungen durch den Druck auf einen der Hand des Beobachters jederzeit leicht zugänglichen Hebel die gewünschte Bewegung automatisch ausführen. Tafel II zeigt die Innenseite der großen Potsdamer Kuppel. Das halbkugelförmige Dach besteht aus einer kunstvollen Eisenkonstruktion, die außen mit Eisenplatten, innen mit Holz abgedeckt ist; es hat, wie der Beobachtungsraum, 22 m Durchmesser, ein Gewicht von etwa 4000 Zentnern und ist trotzdem, dank seiner Lagerung auf 20 äußerst sorgfältig gearbeiteten Laufrädern sowohl mit der Hand als auch durch elektrischen Antrieb leicht drehbar. Ein 3,8 m breiter Spalt, der vom Horizont bis über den Zenit hinaus reicht, kann ebenfalls auf beide Arten geöffnet werden. Nach den jeweiligen Bedürfnissen und architektonischen Plänen können die Kuppeln zwar in mancherlei Formen ausgeführt werden, doch bleibt die Aufgabe, die sie zu erfüllen haben, immer dieselbe.

Endlich muß auch bei den größeren Refraktoren noch dafür gesorgt werden, daß der Beobachter in allen Lagen des Instruments das Okularende erreichen kann, um von dort aus seine Beobachtungen vorzunehmen. Diesem Zwecke dienen bei kleineren Instrumenten bewegliche Leitern, bei größeren entweder ein eigener „Beobachtungsstuhl“, wie er in besonders kunstvoller Form auf Tafel II zu sehen ist, oder man macht auch den ganzen Fußboden des Beobachtungsraumes beweglich, so daß er je nach der Höhe des Okulars gehoben und gesenkt werden kann. Es ist an dieser Stelle natürlich nicht möglich, näher auf die ungeheuer vielen Konstruktionseinzelheiten einzugehen, aber die Darstellungen werden erkennen lassen, welch großer Aufwand an technischem Können allein es möglich macht, ein den Ansprüchen des Astronomen genügendes Werk zu schaffen.

Anforderungen anderer Art müssen wieder an den Bau und die Auf-

stellung von Fernrohren gestellt werden, die zu den fundamentalen Bestimmungen der Orte der Gestirne dienen sollen. Für sie ist die denkbar größte Stabilität, wenn auch bei beschränkter Bewegungsmöglichkeit, erste Bedingung. Hier braucht sich das Fernrohr nur in der Ebene des Meridians oder in einer anderen Vertikalebene zu bewegen. Seine Drehachse wird also so genau als möglich horizontal und für den Fall der Bewegung im Meridian von Osten nach Westen gelagert sein müssen. Ist die Vertikalebene nicht der Meridian, so tritt an die Stelle der Richtung Ost—West meist die Richtung Nord—Süd, während im übrigen alle Bedingungen dieselben bleiben.

Diese, unter dem Namen der Meridiankreise oder Durchgangsinstrumente in der astronomischen Beobachtungskunst benutzten Instrumente bedürfen, wie bemerkt, vor allem einer sehr festen und sicheren Aufstellung, so daß sich die Lage ihrer Drehachse zum Horizont und zum Meridian nicht ändern kann. Ebenso ist die Stabilität des Instrumentes in seinen einzelnen Teilen als hauptsächliche Bedingung für zweckentsprechende Anwendung zu fordern. Demgemäß werden tiefe Fundamente, frei von allem Zusammenhang mit den übrigen Gebäuden zum Aufbau der steinernen oder eisernen Pfeiler, zwischen denen das Instrument in sicheren Lagern liegt, herzustellen sein.

Durchgangs-
instrumente.

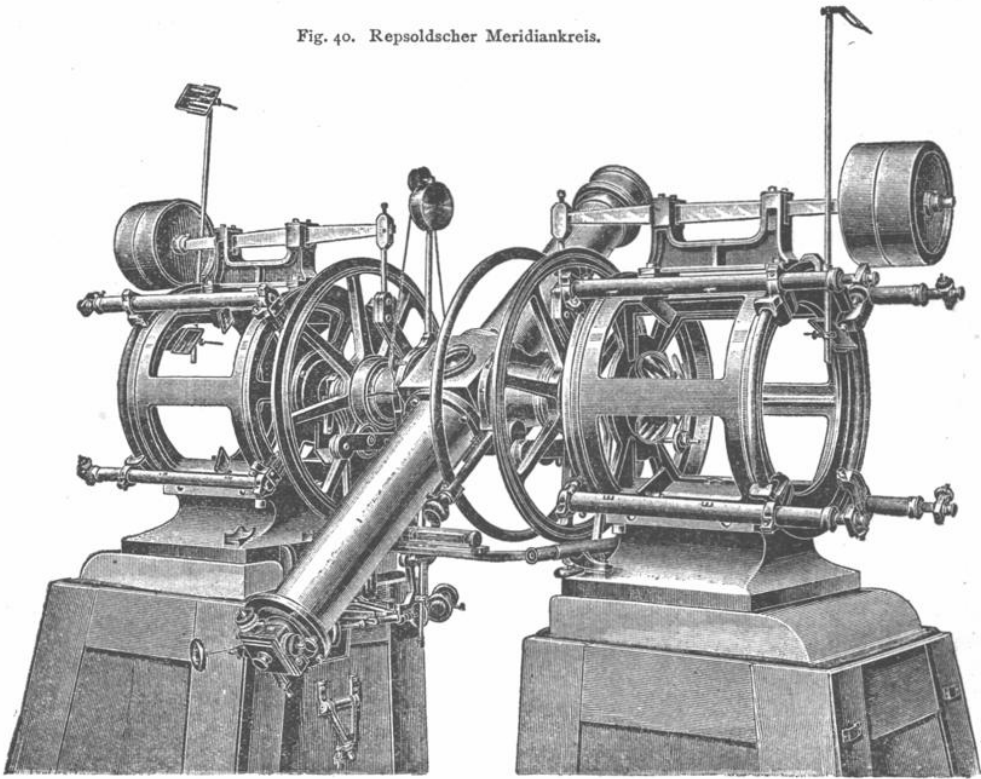
Außerdem ist es Aufgabe des Mechanikers, bei möglichst einfachem, übersichtlichem Bau des Instrumentes diesem eine zweckmäßige Form zu geben, seine Masse nicht größer zu machen, als für die Sicherheit der Konstruktion nötig ist, und nach gegenwärtigen Ansichten die vollkommenste Symmetrie, sowohl hinsichtlich des Meridianschnittes als auch mit Bezug auf die dazu senkrechten Ebenen, die durch das Zentrum des Instruments gehen, zu wahren.

Ein Meridiankreis besteht gegenwärtig immer aus einem Fernrohr von geeigneter, den Geldmitteln entsprechender Größe — zwischen 80 und 300 mm Öffnung und etwa dem 15- bis 18-fachen Betrag als Brennweite —, welches von einer senkrecht dazu stehenden starken Achse getragen wird. Letztere hat die Form zweier Kegelstümpfe, die sich zu beiden Seiten des als Würfel oder Kugel ausgebildeten Mittelstückes ansetzen und die an den beiden Enden in starke, zylindrische Stahlzapfen auslaufen, mit denen das Instrument in seinen Lagern ruht. Jede dieser Achsenhälften trägt einen Kreis, von denen mindestens einer mit feiner Gradteilung versehen ist, die bis auf Einheiten von fünf oder zwei Bogenminuten herabgeführt wird. An den Pfeilern sind vier bis sechs Mikroskope angebracht, die die Ablesung der Kreisteilung vermitteln, und zwar bis auf Zehntel Bogensekunden herab. Das Fernrohr ist in der Bildebene mit Einrichtungen — Fadennetz und Mikrometer — versehen, um den Moment des Durchgangs eines Sternes durch die Meridianebene mit einer Genauigkeit zu fixieren, die über den hundertsten Teil einer Zeitsekunde kaum in Zweifel lassen darf.

Repsoldscher
Meridiankreis.

In Fig. 40 ist die Darstellung eines der großen Meridiankreise gegeben, wie sie in den letzten Jahrzehnten für mehrere Sternwarten in der Repsold-

Fig. 40. Repsoldscher Meridiankreis.



schen Werkstätte gebaut wurden; es ist die Abbildung des Instruments in Wien-Ottakring. An der Hand dieser Zeichnung möchte ich auf einige Einrichtungen hinweisen, die gerade geeignet sein dürften, einen Einblick zu gewähren in die durch die Praxis der astronomischen Beobachtungskunst bedingte sinnreiche und bis in die geringsten Einzelheiten durchdachte technische Ausführung.

Das Instrument steht zwischen zwei Pfeilern aus Ziegelsteinen, die auf einem zum besseren Austrocknen und rascheren Temperatúrausgleich mehrfach durchbrochenen mächtigen Mauerblock aufgeführt sind. Sie tragen gußeiserne Aufsätze, die aus je zwei starken, untereinander durch Querstücke verbundenen Kreisen bestehen, welche an ihren inneren Seiten zur Aufnahme der Achsenlager und an ihren Rändern zum Befestigen der Mikroskope bestimmt sind. Diesen Aufsätzen gegenüber befinden sich die geteilten Kreise auf der Achse des Instruments. Das Fernrohr hat 123 mm Öffnung und 150 cm Brennweite. Das Objektiv und die gesamte Okulareinrichtung lassen sich leicht vertauschen, um dadurch einen etwa vorhandenen Einfluß der Durchbiegung des Fernrohrs auf die an den Kreisen abgelesenen Winkelgrößen aus zwei Beobachtungen zu eliminieren. Eine Reihe von Hilfsapparaten ist im Laufe der Zeit ersonnen worden, um die Abweichungen des Instruments von seiner idealen Gestalt und der streng richtigen Lage seiner Achse zu bestimmen. Dahin gehört zunächst eine äußerst empfindliche Libelle,

die mit zwei hakenförmigen Armen auf die Achsenzapfen gehängt wird, ferner die Umlegevorrichtung, die es ermöglicht, den Meridiankreis in seinen Lagern umzulegen, damit das vorher im Westen befindliche Achsenende dann nach Osten gerichtet ist. Unter der Mitte des Instruments ist eine Schale mit Quecksilber — ein sogenannter Quecksilberhorizont — aufgestellt, in dessen absolut horizontaler, spiegelnder Oberfläche die im Okular ausgespannten Fäden bei senkrechter Stellung des Fernrohrs reflektiert werden. Fällt der mittlere der Fäden des Horizontalsystems mit seinem Spiegelbild genau zusammen, so steht das Fernrohr oder richtiger die Linie horizontaler Mittelfaden—Mitte der Objektivlinse, genau vertikal, und am Kreise wird dann diejenige Ablesung gemacht werden, die der Lotrichtung entspricht. Kennt man diesen Punkt des Kreises, so kann der Winkel, den die Richtung der Lotlinie mit irgendeiner Visierlinie nach einem Stern bildet am Kreise bestimmt werden. Fällt auch das Bild des vertikalen Mittelfadens mit seinem Spiegelbild in beiden Lagen des Instruments genau zusammen, so liegt die Drehachse horizontal und die Absehlenslinie des Fernrohrs steht senkrecht auf dieser Achse.

Andere Nebeneinrichtungen dienen dazu, das Gesichtsfeld des Fernrohrs bei Nacht zu beleuchten und neben den Sternen das im Okular angebrachte System feiner Spinnfäden dem Auge sichtbar zu machen, denn es sollen ja die Momente, in denen der sich durch das Gesichtsfeld bewegend Stern mit den einzelnen Fäden zusammentrifft, beobachtet werden. Diese Beleuchtung geschieht durch die Achse des Instrumentes hindurch, welche zu diesem Zwecke durchbohrt ist. Im Würfel befinden sich Prismen oder Spiegel, die das von der Seite kommende Licht nach dem Objektiv hin reflektieren; auf dessen Rückseite ist wiederum ein kleines Spiegelchen aufgekittet, von dem aus dann die Lichtstrahlen zentral zum Okular zurückgeworfen werden, oder die Rückfläche des Objektivs wird selbst zur Reflexion benutzt, um die Fäden dunkel im gleichmäßig hellen Felde erscheinen zu lassen. Sehr schwache Sterne würden aber in dem erleuchteten Gesichtsfelde verschwinden, deshalb ist noch Vorkehrung getroffen, daß ein Teil des Lichts auf ein Spiegelsystem am inneren Umkreise des Okularansatzes trifft, von wo die Strahlen die Fäden seitlich treffen, ohne in das Auge des Beobachters zu gelangen. Dann bleibt das Gesichtsfeld dunkel, und die Fäden erscheinen hell im dunklen Felde, so daß auch ganz schwache Sterne mit den mäßig hell erscheinenden Fäden in Vergleich gebracht werden können. Die Kreise haben je eine Teilung von 550 mm Durchmesser und sind in Intervalle von z' geteilt, so daß also nicht weniger als 10800 Striche in ganz genau gleichen Abständen voneinander gezogen werden mußten; sie können mit den an den eisernen Pfeileraufsätzen befindlichen, mit Schraubenmikrometern ausgerüsteten Mikroskopen auf Zehntelsekunden genau abgelesen werden.

Früher hat man die Pfeiler selbst bis zur Oberkante der Kreise geführt, so daß den Kreisen das Mauerwerk der Pfeiler gegenüber stand; dieses folgt aber den Temperaturschwankungen in anderer Weise wie das Metall der

Kreise, so daß dadurch ungleiche Erwärmung der letzteren eintreten konnte, wodurch wiederum deren Gestalt Veränderungen erleiden und die Intervalle zwischen den Teilstrichen ungleich werden mußten. Es würden dann die Fehlerbestimmungen dieser Striche, wie sie oben angedeutet wurden, nicht zutreffen. Die Masse der Kreise bedingt bei schwächerem Bau, wie sie die älteren Instrumente dieser Art aufweisen, eine Formveränderung, deshalb sind neuerdings jene sehr massiv gehalten, so daß derartige Fehlerquellen nicht zu befürchten sind.

Alle die vielen einzelnen Einrichtungen zur Bewegung und sicheren Feststellung des Instruments, die Hilfeeinrichtungen zur Bestimmung der Abweichungen von der idealen Lage und der Richtung seiner Absehlenslinie zur Umdrehungsachse, können hier nicht mehr beschrieben werden, aber alle sind bis in das kleinste hinein in sinnreichster Weise konstruiert.

Bei den für die genauesten und wichtigsten Messungen des Astronomen bestimmten Durchgangsinstrumenten kommt besonders viel darauf an, daß die Gebäude, in denen derartige Apparate aufgestellt werden und die in erster Linie immer nur als Schutz gegen die Witterung während der Zeit der Nichtbenutzung zu denken sind, so beschaffen sind, daß sie durch ihr notwendiges Vorhandensein den Zweck des Instruments so wenig wie möglich stören. Also vor allem dürfen sie dem vollständigen Temperaturausgleich nicht hinderlich sein, und das bezieht sich sowohl auf die gleichmäßige Erwärmung des Instrumentes selbst als auch auf die dasselbe umgebenden Luftmassen, denn durch diese hindurch muß ja das Licht von den Gestirnen zum Instrument gelangen. Entstehen dort Temperaturschichtungen in unregelmäßiger Weise, so wird die Brechung der Lichtstrahlen nicht mehr so verlaufen, wie es die zu ihrer Berücksichtigung entworfenen Tafeln voraussetzen. Neuerdings baut man deshalb um den Meridiankreis oder das Durchgangsinstrument herum tonnenförmige Hallen, deren beide Hälften sich weit auseinander schieben lassen, so daß das Instrument selbst, während an ihm beobachtet wird, so gut wie völlig frei steht, jedenfalls aber auch die zunächst gelegenen Luftschichten durch das Dach soweit wie möglich in zur Achse des Instruments konzentrischer Weise durch Wärme und Strahlungsvorgänge beeinflußt werden.

Von der Tätigkeit des beobachtenden Astronomen selbst ist bisher noch kaum die Rede gewesen, und doch ist diese natürlich, auch bei aller mechanischen Vollkommenheit seines Instruments, die Hauptsache; denn die Eindrücke, die während der Beobachtung seine Sinne, vor allem die Augen, das Gehör und neuerdings auch die motorischen Nerven, die eine durch diese Organe empfangene Wahrnehmung der Hand oder selbst dem Fuße mitteilen, kommen dabei in Betracht. Eine lange und gewissenhafte Schulung ist nötig, um bei diesen physiologischen und psychischen Vorgängen eine gewisse Sicherheit und Konstanz zwischen Ursache und Wirkung hervorzubringen.

Von besonderem Interesse dürften die Fortschritte sein, die man bezüglich der sicheren Auffassung der Koinzidenz zwischen dem bewegten

Beobachtungs-
raum.

Persönliche
Gleichung bei
Durchgangs-
beobachtungen.

Stern und den Fäden im Gesichtsfelde gemacht hat. Es gilt bis auf Hundertel der Zeitsekunde den Moment des Zusammenfallens von Sternbild und Fäden festzustellen. Da hat es sich gezeigt, daß die verschiedenen Beobachter dasselbe Ereignis ganz verschieden auffassen, und diese Verschiedenheit, die sich sowohl auf die Schätzung des Ortes der Gestirne mit Bezug auf das Fadennetz als auch in Hinsicht der Zeit in verhältnismäßig weiten Grenzen verschieden erweist, macht natürlich die Resultate der einzelnen Beobachter, selbst am gleichen Instrument nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar. Die Unterschiede müssen bestimmt, in Rechnung gezogen oder auf mechanischem Wege möglichst vollständig ausgeschaltet werden. Diese Unterschiede stellen den Betrag dar, den man in der Astronomie die „persönliche Gleichung“ nennt. Selbst die verschiedene Helligkeit der Gestirne bedingt kleine Unterschiede in der Auffassung von Ort und Zeit in dem angedeuteten Sinne.

Unpersönliches
Mikrometer.

Namentlich die Fehlerquellen ersterer Art hat man seit etwa zwei Dezennien dadurch zu beseitigen versucht, daß der Beobachter nicht schätzt, wie weit bei einem bestimmten Sekundenschlag der Stern sich rechts oder links von einem Faden befindet, oder daß er in dem Moment der scheinbaren Koinzidenz mit der Hand ein Signal durch Schließung des elektrischen Stromes gibt, welches sich in Form von Punkten auf einem Papierstreifen darstellt, der außerdem noch die Zeichen aufnimmt, die eine gute Uhr jede Sekunde durch entsprechenden Kontakt veranlaßt, sondern, daß man den Faden selbst zugleich mit dem von ihm bisezierten Sternbildchen durch das Gesichtsfeld führt. Das geschieht entweder mit der Hand, die eine zur gleichförmigen Bewegung des Fadens dienende Schraube betätigt, oder auch wohl mit Zwischenschaltung eines Uhrwerkes. Eine auf der den Faden bewegenden Schraube sitzende Scheibe trägt am Rande eine Anzahl von Kontaktstiften, durch deren Berührung mit einer Feder beim Drehen der Schraube der elektrische Strom automatisch geschlossen wird und die Zeit der Signale so von der Hand des Beobachters und von seiner Schätzung des Ortes des Gestirnes im Gesichtsfeld in weitem Maße unabhängig wird. Dieses sogenannte „unpersönliche Mikrometer“ wird jetzt zur scharfen Bestimmung von Durchgangszeiten fast überall benutzt und hat die Beobachtungsergebnisse tatsächlich ganz erheblich genauer und unabhängiger von den psychologischen Eigentümlichkeiten des Beobachters gemacht. Solche Einrichtungen sind gegenwärtig besonders auch im Gebrauch bei der Bestimmung der geographischen Längenunterschiede zwischen den Sternwarten und anderen für die Erdmessung wichtigen Orten. Wenn man bedenkt, daß in unseren Breiten einem Fehler in der Längendifferenz von einer Zeitsekunde eine lineare Strecke von etwa 300 m entspricht, daß man aber noch 5—10 m sicher verbürgen will, was bei Breitenbestimmungen keine allzu großen Schwierigkeiten hat, so muß schon ein Zeitfehler von ein bis zwei Hundertel der Sekunde vermieden werden. Das sind Anforderungen an die Beobachtungsgenauigkeit, die in gleichem Maße unter gleichen Umständen von keiner anderen Wissen-

schaft gefordert werden. Und allen diesen Bedingungen hat die Vervollkommnung der technischen Einrichtungen im Laufe der Zeit Rechnung tragen müssen.

Eine ganz bedeutende Erweiterung hat das Gebiet der Astronomie mit der Anwendung der Spektroskopie und der Photographie auf die zölestische Forschung erfahren. Damit ist der früheren astronomischen Beobachtungstätigkeit ein neuer höchst bedeutungsvoller Zweig hinzugefügt worden, der sich mit der physikalischen Beschaffenheit der Himmelskörper befaßt und bei dem in vielen Fällen die photographische Platte an die Stelle der Wahrnehmung durch das Auge des Beobachters gesetzt wird. Es unterliegt keinem Zweifel, daß gegenwärtig durch die großen Fortschritte, die in dieser Beziehung der Bau höchst sinnreicher spektrographischer und photographischer Apparate gemacht hat, die in Verbindung mit den großen Refraktoren und Reflektoren neuester Konstruktion gebraucht werden, Erfahrungen gesammelt werden können, die tiefe Einblicke in die physische Beschaffenheit der Sternwelt zu tun gestatten und die eben durch Zwischenschaltung der photographischen Platte es möglich machen, die darauf vom Lichtstrahl selbst verzeichneten Ergebnisse zu jeder Zeit erneuter Durchforschung und Deutung zu unterwerfen.

Der Unterschied zwischen dem einfachen Projektionsschirm, den schon Christoph Scheiner zu Beginn des 17. Jahrhunderts zum Auffangen des Sonnenbildes hinter dem Okular seines Fernrohres anwendete, und der ihm das Vorhandensein von dunklen Flecken auf der bis dahin als Sinnbild der Reinheit gedachten Sonnenscheibe anzeigte, bis zu den neusten photographischen und spektrographischen Aufnahmen, die auch wieder zunächst zu Forschungen auf der Sonne benutzt wurden, ist ein ungeheurer Schritt, und die mechanische Kunst hat der Astronomie außerordentlich feine Apparate schaffen müssen, damit diese den an sie gestellten Forderungen genügen konnte.

Ohne die großen Fortschritte, die in den letzten 30 Jahren die Photochemie in der Herstellung äußerst empfindlicher Platten gemacht hat, würden aber der astronomischen Photographie nicht so vorzügliche Aufnahmen der subtilsten Vorgänge auf der Sonne gelungen sein, wie sie heute durch unsere Instrumente zu erhalten sind. Konnte man früher eben wegen der geringen Empfindlichkeit der Platten nur an die photographische Aufnahme der Sonne herantreten, so sind heute sinnreiche Einrichtungen erforderlich, damit die Belichtungszeiten auf ganz kurze Zeitintervalle herabgedrückt werden können. Die Einrichtungen der sogenannten Momentverschlüsse spielen dabei eine große Rolle, da es vielfach nötig wird, die Dauer dieser Belichtungszeiten meßbar verändern zu können. Andererseits ist es auch erforderlich geworden, Belichtungszeiten von vielen Stunden anwenden zu können, um von Strahlenwirkungen, die von den feinsten Details der Nebelflecke und schwächsten Sterne zu uns gelangen, die zur Schwärzung der Platten notwendige aktinische Energie dem Silberkorne der Platte zuzuführen. Das bedingt eine äußerst genaue Nachführung des Fernrohres, dem die photographische Einrichtung angefügt ist, damit das Bild des Gestirnes für lange Zeit an derselben Stelle der photographischen Platte oder auf dem engen Spalt des Spektroskops

Das photographische Fernrohr.

gehalten werden kann. Dazu ist einmal erforderlich, daß die Montierungen der großen Instrumente mit Uhrwerken versehen werden, die den, wie wir gesehen haben, meist sehr großen Massen der Fernrohre selbst eine äußerst gleichmäßige Bewegung zu erteilen vermögen, daß aber dazu auch für lange Expositionszeiten noch die Möglichkeit kommen muß, die Abweichungen der scheinbaren Sternbewegungen, wie sie durch Refraktion der Lichtstrahlen in der Luft und die Veränderungen, die das Instrumentensystem selbst durch die Schwerkraft in verschiedenen Lagen zum Horizont erleidet, ausgeglichen werden können. Das kann am besten dadurch geschehen, daß ein Beobachter mit Hilfe eines zweiten Fernrohres die Richtung des ersteren ständig überwacht. Deshalb hat man bei solchen Instrumenten neuerdings häufig zwei Fernrohre in unmittelbarer Verbindung miteinander angebracht, wie wir dies oben bei dem großen Potsdamer Refraktor sahen. Wo ein solches zweites Fernrohr nicht vorgesehen ist, benutzt man einen kleinen Teil des Gesichtsfeldes von dem zur photographischen Aufzeichnung dienenden Objektiv, um neben dem photographischen auch ein dem Auge sichtbares Bild zu erhalten, entweder indem man direkt neben der photographischen Platte ein Okular anbringt, oder indem man einen kleinen Ausschnitt aus dem allgemeinen Strahlenkegel um 90° ablenkt und so von der Seite her die Einstellung überwacht.

Die photographische Kamera ist im allgemeinen ja eine sehr einfache Einrichtung. Ganz wesentlich komplizierter wird der Apparat aber, wenn es sich um spektrographische Forschungen handelt. Es kann hier nicht auf die Einzelheiten dieser Apparate eingegangen werden, das ist auch bereits an anderer Stelle (S. 390f.) geschehen, sondern es soll nur darauf hingewiesen werden, zu welcher weiteren umfangreichen Neukonstruktionen die Astronomie den Mechaniker veranlaßt hat. Die zuletzt erwähnten Apparate müssen in sehr weitgehendem Maße vor der Einwirkung der Temperaturänderungen während der oft stundenlangen Belichtungen geschützt werden. Zu diesem Zwecke schließt man sie in Hüllen ein, deren Temperatur auf elektrischem Wege automatisch konstant gehalten wird. Auch die stabile Anordnung der optischen und mechanischen Einzelteile, deren Zusammenwirken von höchster Bedeutung ist, muß für die verschiedenen Lagen, die ein solcher Spektrograph im Verlaufe der langen Expositionszeit gegen die Richtung der Schwerkraft einnimmt, gesichert sein.

Das moderne
Spiegelteleskop.

Auch ganz neue Formen von Fernrohrmontierungen sind z. T. durch die Erfordernisse der Astrophysik notwendig geworden. Für die großen Reflektoren, wie sie neuerdings für photographische und spektrographische Himmelsforschungen verwendet werden, hätte man in Anlehnung an die Aufstellungen der Spiegelteleskope von Herschel, Lassell oder Lord Rosse die nötige freie und allseitige Beweglichkeit nicht erreichen können, wie sie für lange Expositionszeiten und dadurch bedingtes genaues Folgen der täglichen Bewegung nötig sind. Man mußte daher im Anschluß an die Fraunhoferschen Formen der parallaktischen Achsenstellung dem Umstande Rechnung zu tragen suchen, daß die Massenverteilung, sowohl der optischen als auch der übrigen

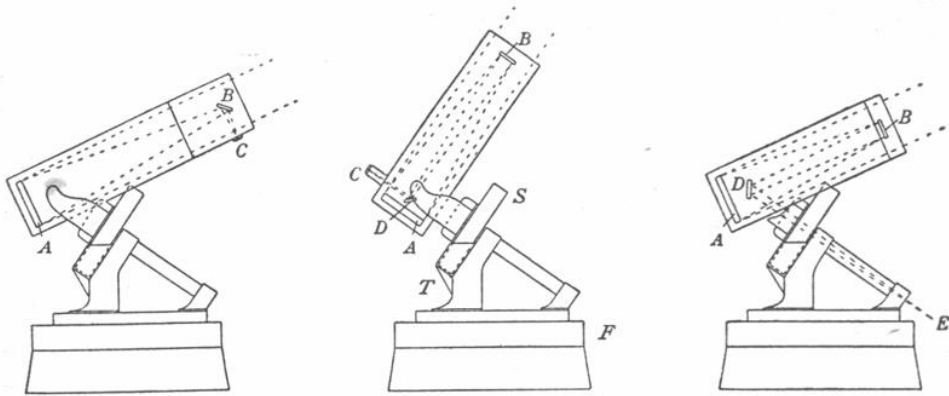


Fig. 41, 42, 43. Anwendungsformen des 60-zölligen Reflektors auf Mt. Wilson.

Teile der Instrumente, die ihren speziellen Zwecken dienen, eine andere geworden ist. Dadurch wird schon, wie z. B. beim Melbournier Teleskop, der Gesamtaufbau des Instrumentes erheblich variiert. Noch mehr aber bildeten sich bestimmte, aber bei weitem nicht so gleichmäßige Formen heraus bei den kurzbrennweitigen Reflektoren mit sehr großer Winkelöffnung, wie sie die für die photographischen Aufnahmen äußerst schwacher zölesterischer Objekte nötige Lichtstärke besitzen. Um welche Formen und Dimensionen von Instrumenten es sich dabei handelt, möge hier kurz an dem Reflektor von 60 inches = 152 cm Öffnung des Observatoriums auf Mount Wilson in Kalifornien gezeigt werden, der im Jahre 1909 vollendet wurde und damals das größte und lichtstärkste zur Himmelsbeobachtung dienende Instrument war; jetzt ist dasselbe schon durch den inzwischen nahezu vollendeten Spiegel von 100 inches = 254 cm Öffnung auf derselben Sternwarte in Schatten gestellt. Der sechzigzöllige Reflektor kann in vier verschiedenen Formen verwendet werden, die in den Figuren 41, 42 und 43 veranschaulicht sind: erstens als Newtonsches Teleskop (Fig. 41) für photographische Aufnahmen im Fokus des Hauptspiegels A, der 7.6 m Brennweite hat; das Öffnungsverhältnis ist dann 1:5. Der (wie alle übrigen) auf der Vorderseite versilberte Glasspiegel ist parabolisch geschliffen, am Rande 194 mm, in der Mitte 175 mm dick und wiegt 865 kg. Die photographische Platte wird nicht direkt in die Bildebene des Hauptspiegels gebracht, sondern in der optischen Achse desselben ist zunächst der unter 45° geneigte Planspiegel B (368:502 mm) befestigt, der das Bild nach der Seite C reflektiert, wo die Kassette und die mit ihr verbundenen Okulare zum Halten des Sternbildchens montiert sind. Die zweite Verwendungsform ist die in Fig. 42 dargestellte als Cassegrainsches Teleskop. Statt des Planspiegels ist dann in B senkrecht zur optischen Achse ein hyperbolischer Konvexspiegel angebracht, der eine beträchtliche Verlängerung der Brennweite bewirkt und das Bild nach Reflexion vom Planspiegel D nahe am Hauptspiegel in C entwirft. Die dritte Verwendungsform ist der vorigen sehr ähnlich, nur wird in B ein anderer hyperbolischer Spiegel benutzt, der eine Gesamtbrennweite von 24.4 m, also ein Öffnungsverhältnis von 1:16 liefert; in dieser Form wird der Reflektor in Verbindung mit einem bei C

Das 60-zöllige
Teleskop auf
Mt. Wilson.

angesetzten großen Sternspektrographen verwendet. Die vierte, in Fig. 43 skizzierte Anordnung kann man als gebrochenes Cassegrain-Teleskop bezeichnen. In *B* befindet sich ein hyperbolischer Spiegel von 445 mm Durchmesser, der eine Gesamtbrennweite von 45.7 m erzeugt. Die von diesem Spiegel kommenden Lichtstrahlen werden in *D* von einem Planspiegel (318:565 mm), der im Kreuzungspunkte der optischen und der Stundenachse *DE* steht, in die Richtung der letzteren reflektiert: sie durchlaufen die hohle Achse und vereinigen sich erst hinter dem unteren Achsenlager, in einem tiefer gelegenen Beobachtungsraume, zum Bilde. In dieser Form wird das Teleskop mit sehr großen Spektrographen verbunden, die wegen ihrer starken Dispersion bedeutende Belichtungszeiten und daher auch besonders sorgfältige Konstanthaltung der Temperatur und Vermeidung von Biegungsfehlern erfordern.

Über die Montierung sei noch folgendes gesagt. Die Grundplatte *F* wiegt mit den beiden Achsenträgern 11532 kg. Die hohle Polarachse ist aus Nickelstahl hydraulisch geschmiedet; sie ist 4.6 m lang, 38 bis 46 cm dick und wiegt 4140 kg. Um bei dem großen Gewicht des Instruments doch eine leichte Drehung zu ermöglichen, genügte hier die oben beim Potsdamer Refraktor erwähnte Entlastungsrolle nicht, vielmehr wird hier der größte Teil des Gewichtes dadurch aufgehoben, daß man es auf Quecksilber schwimmen läßt. Die Stundenachse trägt nämlich an ihrem oberen Ende zunächst den hohlen Schwimmkörper *S* aus starkem Kesselblech, der eine Scheibe von 61 cm Dicke und 305 cm Durchmesser bildet und selbst wieder 3900 kg wiegt. Er taucht in den nur wenig weiteren gußeisernen Trog *T*, der 295 kg Quecksilber enthält. Durch den Auftrieb des durch den Schwimmer verdrängten Quecksilbers werden 19479 kg oder 95 % des Gesamtgewichtes der beweglichen Teile des Teleskops getragen. Die Massen sind so verteilt, daß diese Entlastung senkrecht unter dem Schwerpunkt angreift. Nur der untere, den Hauptspiegel tragende Teil des Teleskops wird durch ein massives gußeisernes Rohrstück gebildet; der obere Teil, der nur die kleineren Spiegel zu tragen hat, ist in Form eines achteckigen Gerüsts aus Stahlrohren und geeigneten Verbindungsstücken leicht und trotzdem sehr fest gebaut. Das ganze Instrument macht trotz seiner kolossalen Dimensionen doch einen gefälligen Eindruck.

Gerade bei diesem Instrumente — und Ähnliches gilt auch von den anderen Apparaten auf Mount Wilson — zeigt sich die Einwirkung der Astronomie auf die Technik im hellsten Lichte. Der Erbauer desselben, Prof. Ritchey, war nämlich in einer Person der konstruierende Mechaniker und der Optiker, der den Schliff der Spiegelflächen in der höchsten Vollkommenheit ausführte, und gleichzeitig ist er der Astronom, der die prachtvollsten Himmelsaufnahmen mit diesem mächtigen Instrument hergestellt hat.

Die Heliostaten-
anlagen.

Gänzlich andere Montierungsformen haben sich endlich für die astrophysikalischen Instrumente herausgebildet, die vorzugsweise zur Beobachtung der Sonne dienen. Wegen der Fülle des Lichtes, die in diesem Falle zur

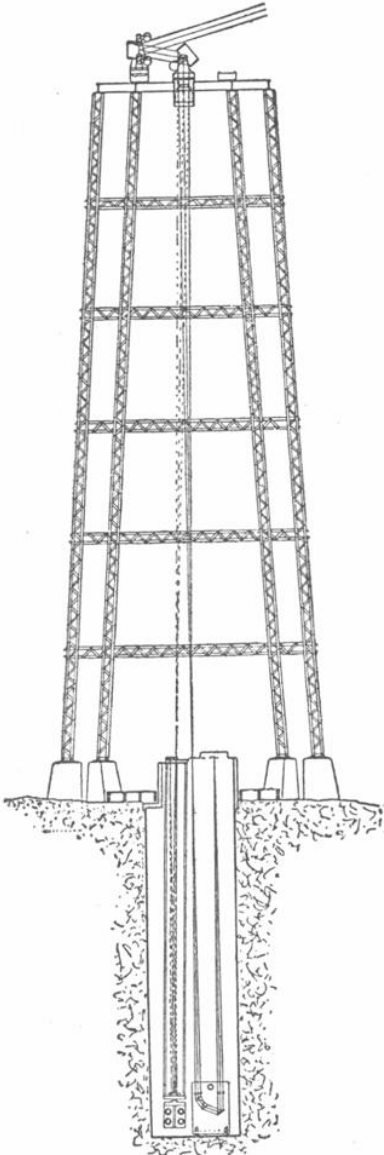


Fig. 44. 50 m-Turmteleskop auf Mt. Wilson.

Verfügung steht, können einerseits bei mäßiger Fernrohröffnung verhältnismäßig lange Brennweiten und ebenso bei den Spektralapparaten sehr starke Dispersionen angewandt werden; andererseits müssen die Apparate, die aus dem genannten Grunde sehr groß ausfallen werden, besonders vorsichtig vor der Erhitzung durch die Sonnenwärme geschützt und stabil aufgestellt werden. Alle diese Gründe haben dazu geführt, daß man für Sonnenbeobachtungen jetzt allgemein die unveränderlich feste Aufstellung des Fernrohrs und der damit vereinigten Hilfsapparate bevorzugt. Das Sonnenlicht wird dem Fernrohr dann durch einen oder zwei davor in geeigneter parallaktischer Montierung aufgestellte Spiegel — Heliostaten oder Zölostaten — zugeführt. Schon im Jahre 1874 haben deshalb H. C. Vogel und O. Lohse den Plan zu einer Heliostatenanlage entworfen, die dann auf dem Astrophysikalischen Observatorium in Potsdam ausgeführt wurde und zu regelmäßigen Sonnenaufnahmen dient. Das 4 m lange Fernrohr liegt in der Richtung der Erdachse, das Objektiv nach unten, und vor diesem steht der in diesem Falle besonders einfache Heliostat.

Potsdamer
Heliostat.

Noch bequemer erwies sich für lange Brenn- **Snow-Teleskop.** weiten die horizontale Lagerung des Fernrohrs. In dieser Art ließ Prof. Hale, der jetzige Direktor des Mt. Wilson-Observatoriums, damals noch in der Werkstatt der Yerkes-Sternwarte bei Chicago zunächst das sogenannte Snow-Teleskop bauen, in welchem Konkavspiegel von 18 m und von 44 m Brennweite zur Entwerfung des Sonnenbildes benutzt werden können. Da sich bei dieser Anordnung die durch die Sonne ungleich erwärmten, horizontal übereinander liegenden Luft-

schichten besonders störend bemerklich machen, so ging Hale 1907 zu einer vertikalen Zölostatanlage, dem sogenannten Turmteleskop über. Zunächst erbaute er ein solches von 18 m Brennweite, dem, als es sich bewährt hatte, bereits 1910 das mächtige 50 m hohe Turmteleskop auf Mt. Wilson folgte. Fig. 44 zeigt eine Skizze des 18-m-Teleskopes. Ein etwa 18 m hoher Turm aus Eisenkonstruktion trägt in der Mitte seiner oberen Plattform ein horizontal liegendes Objektiv von 18 m Brennweite und 30.5 cm Öffnung, welches sein Licht von einem darüber drehbar aufgestellten elliptischen Planspiegel von 32 : 56 cm Durchmesser empfängt. Der eigentliche,

Turmteleskop.

durch ein Uhrwerk bewegte Zölostaten Spiegel ist seitlich davon auf Schienen fahrbar aufgestellt und kann der wechselnden Deklination der Sonne entsprechend jedesmal in die günstigste Lage gebracht werden. Dieser Spiegel ist rund und hat 43.2 cm Durchmesser. In Verbindung mit diesem Turmteleskop finden zwei mächtige Spektralapparate Verwendung, die zur Erzielung konstanter Temperatur in einem 10 m tiefen Schacht unterirdisch aufgestellt sind. Bei dem neuen 50 m-Turmteleskop ist der Schacht 25 m tief.

Schönheits-
formen bei den
neueren
Instrumenten.

Oben sahen wir, wie noch zur Zeit des Hevelius, also in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts, die astronomischen Meßinstrumente mit reichen, kunstvollen Verzierungen überladen waren. Mit dem Einsetzen der Bradleyschen Zeit und durch dessen Streben nach höchster Genauigkeit verschwinden diese Instrumente aus den Sternwarten, und das reine Zweckmäßigkeitsprinzip gelangt nach und nach zur vollen Herrschaft. Das schließt aber durchaus nicht aus, daß die Erbauer der astronomischen und geodätischen Instrumente doch immer bestrebt gewesen sind, mit diesem Prinzip auch eine gefällige und im ganzen gewissen ästhetischen Anforderungen entsprechende Form für ihre Werke anzustreben. Die Instrumente von Fraunhofer, Reichenbach und neuerdings die aus der Repsoldschen Werkstätte, um hier nur einige der bekanntesten Feinmechaniker zu nennen, haben oft ein so gefälliges und konstruktiv durchdachtes Äußere, daß man manchmal versucht ist anzunehmen, daß bei dieser äußeren scheinbaren Einfachheit kaum den Bedingungen an größte Stabilität, wie sie oben allgemein als für astronomische Instrumente nötig erwähnt wurde, genügt werden könne. Aber trotzdem geben diese Instrumente zu keinerlei Klagen Anlaß.

Diesem Bestreben, äußere Eleganz mit zweckmäßiger Ausführung der wesentlichsten Teile zu verbinden, haben die etwa um die Mitte des vorigen Jahrhunderts in die astronomische Forschung eintretenden Amerikaner nicht in gleichem Maße ihr Augenmerk zugewendet, wie das in Europa und da besonders in Deutschland, England und Frankreich geschieht. Bei den großen Dimensionen, die den meist aus privaten Mitteln beschafften Instrumenten gegeben werden konnten, wurden dort in erster Linie die optischen Teile möglichst vollkommen ausgeführt und die Konstruktion der Aufstellungen nur insoweit, als es eben zur Erfüllung des Zweckes der Instrumente nötig erschien, durchgebildet. Wenn man sich dabei auch meist an die traditionellen Formen Fraunhofers und seiner Zeitgenossen anlehnte, so hat man doch vielfach die einzelnen Teile der Montierungen nur so weit feiner bearbeitet, als es dringend nötig war. Man hat aus Zweckmäßigkeitsgründen mehrfach die äußere Harmonie der Formen geopfert, um z. B. die Beleuchtung eines Kreises oder seine Ablesung zu erleichtern. Die Massen der Konstruktionsteile sind mehrfach erheblich größer, als es dringend nötig wäre, Säulen und Achsen sowie die Kreise ohne viel Rücksicht auf äußere Form angeordnet und dimensioniert.

Es kann aber doch nicht gesagt werden, daß dadurch ein besseres oder

stabileres Instrument zustande gekommen sei, und wir empfinden unwillkürlich den Unterschied der beiderseitigen Konstruktionsverfahren.

V. Die Sternwartenanlagen. Nicht nur bei dem Bau der Instru-^{Die Sternwarten.}mente selbst hat man diese Schönheitsrücksichten, wenigstens zunächst in der alten Welt und erst in den letzten Dezennien auch jenseit des Ozeans, zur Geltung zu bringen versucht, sondern man hat auch dem Bau der Observatorien selbst außer ihrer beobachtungstechnisch zweckmäßigen Ausgestaltung, Anordnungen und Formen zu geben gesucht, die auch architektonischen Ansprüchen, soweit es sich mit den wesentlichen Zwecken derselben vereinigen läßt, gerecht werden.

Aus beiden Bedingungen heraus haben sich im Laufe der letzten 100 Jahre die Aufstellungen der zu genauen Messungen dienenden astronomischen Instrumente von den früher allein als wünschenswert erachteten hohen Türmen emanzipiert und sind, der Forderung größter Stabilität folgend, zu den sicheren, sich wenig über den Erdboden erhebenden Pfeilerbauten übergegangen. Dadurch sind selbstverständlich auch die äußeren Verbindungen zwischen den eigentlichen Beobachtungsräumen und denjenigen, welche dem Beobachter als Wohnung und Arbeitszimmer dienen, ganz andere geworden. Ohne auf die jetzt allseitig aufgegebenen übereinanderliegenden Zimmer mit dem den Bau krönenden Instrumentenraum zurückzukommen, muß auf die noch gegenwärtig nicht ganz zur Entscheidung gelangte Frage der Raumverteilung beim Bau einer größeren Sternwarte doch etwas näher eingegangen werden, da von der Entscheidung darüber auch die architektonische Ausgestaltung der wesentlichen Bauten in mancher Beziehung abhängt.

Es handelt sich dabei darum, ob man die Beobachtungsräume organisch in das ganze Gebäude mit eingliedert, was sich aus Gründen der Bequemlichkeit und leichten Erreichbarkeit bei den nächtlichen Arbeiten empfiehlt, oder ob man eine völlige Trennung der eigentlichen Beobachtungsräume von den Wohn- und Arbeitsräumen wählen soll, zu denen in erster Linie hier die Zimmer für die Rechner, Bibliothek und Sammlungsräume, sowie etwa nötige Laboratorien zu rechnen sind. Im allgemeinen neigt sich die Ansicht der praktischen Astronomen heute der letzteren Anordnung zu, da man dabei der Eigenart der einzelnen Instrumentengattungen bei weitem am besten Rechnung tragen kann, und außerdem die Beobachtungsergebnisse von dem Einfluß der Wärmestrahlung, der Rauchentwicklung, wie sie bei bewohnten Gebäuden doch unvermeidlich ist, so weit wie möglich unabhängig erhält. Es kann die Anordnung und Lage der einzelnen Beobachtungshäuser zum Hauptgebäude so getroffen werden, daß die vorherrschende Windrichtung die von dem letzteren ausgehenden Störungen erheblich abschwächt, es kann weiterhin auch der manchmal wünschenswerten gegenseitigen Ergänzung zweier Instrumente genügt werden, indem beide z. B. im gleichen Meridian oder demselben Parallel aufgestellt werden. Die Kuppelbauten für

Instrumente, die allseitig möglichst freien Horizont beanspruchen, können an höher gelegene Punkte des Gesamtgeländes gelegt werden, so daß ihr Aufstellungspunkt die anderen Baulichkeiten überragt.

Die bei dieser Anordnung auftretende Unannehmlichkeit liegt im wesentlichen nur in der geforderten bedeutenderen Ausdehnung des benötigten Geländes und in der weniger bequemen Verbindung der einzelnen Gebäude, die sich bei den nächtlichen Arbeiten oder bei stürmischem Wetter unangenehm bemerkbar macht. Nach dem älteren, zusammenhängenden System ist z. B. die vor 100 Jahren vollendete Göttinger Sternwarte angelegt, sowie die in den 70er Jahren erbauten großen Observatorien in Wien und Potsdam, alles Gebäude von monumentaler Schönheit. Zwischenstufen stellen etwa die Sternwarten in Pulkowa, Algier und in kleinerem Maßstabe diejenige in Leipzig dar, bei denen man in langgestreckter, meist Ost-West gerichteter Anordnung Beobachtungs-, Arbeits- und Wohnräume mehr oder weniger symmetrisch nebeneinander gestellt und sie untereinander durch kurze Gänge in direkte Verbindung gesetzt hat. Dabei ist namentlich für die Meridianinstrumente auf eine freie Sichtlinie in meridionaler Richtung das Hauptaugenmerk gelegt worden.

Bei späterer Aufstellung neuer Instrumente hat man aber dann, wie z. B. auch in Potsdam, von den bis dahin bestehenden Räumlichkeiten unabhängige Kuppelbauten und Räume für Durchgangsinstrumente erbaut und sich damit dem zuletzt genannten Sternwartentyp angeschlossen. Sternwarten, welche von vornherein in ihrer gesamten Anlage auf breitem Geländeausmaß die volle Trennung der Einzelbauten durchführten, sind diejenigen von Straßburg, Nizza, auf dem Königsstuhl bei Heidelberg und ganz neuerdings in Bergedorf bei Hamburg und die neue Berliner Sternwarte in Neu-Babelsberg.

Die Observatorien der ersteren Art boten natürlich dem Architekten bei seinen künstlerischen Bestrebungen ein wesentlich günstigeres Objekt dar, wenn sich auch dabei die Forderungen des astronomischen Beobachters nicht immer leicht mit denen des Künstlers in Einklang bringen ließen. Aber auch die schönen Kuppelbauten und gut dimensionierten Meridianbauten der Nizzaer und Straßburger Sternwarte, diejenigen der großen amerikanischen Observatorien auf dem Mount Hamilton und an anderen Orten sowie die zuletzt genannten beiden deutschen Neuanlagen haben Gelegenheit gegeben, den durchaus zweckmäßigen Beobachtungsräumen eine architektonisch gut durchgeführte äußere Form zu schaffen. Bei diesem Einzelhüttensystem fällt auch dem Landschaftsgärtner eine wichtige Aufgabe zu, indem er durch passende Bepflanzung und geschickte Anlage der Verbindungswege die vielen Einzelhäuser zu einem einheitlichen Ganzen zusammenfassen und so bei aller Zweckmäßigkeit doch auch einen dem Auge gefälligen Anblick schaffen kann. Überhaupt empfiehlt es sich, das Gelände in der Umgebung der Sternwarten möglichst weitgehend mit niedrigem Buschwerk zu bepflanzen, da hierdurch die Erhitzung des Bodens an sonnigen Tagen, die eine starke Luftunruhe zur Folge hat, verhütet wird.

Literatur.

Von Beschreibungen älterer Instrumente seien hier erwähnt: TYCHO BRAHE, *Astronomiae instauratae mechanica* (Wandesburgi 1598). — JOHANNES HEVELIUS, *Machinae coelestis pars prior* (Gedani 1673). — FIORINI-GÜNTHER, *Erd- und Himmelsgloben* (Leipzig 1895, Teubner). — GEORG THIELE, *Antike Himmelsbilder* (Berlin 1898, Weidmann), besonders über den Farnesischen Atlas. — H. DIELS, *Antike Technik*, 2. Aufl. (Leipzig 1920, Teubner). — EILHARD WIEDEMANN, *Über die Uhren im Bereich der islamischen Kultur* (Halle, 1915 *Nova Acta*). — J. HARTMANN, *Die astronomischen Instrumente des Kardinals Nikolaus Cusanus* (Berlin 1919, Weidmann).

Von zusammenhängenden Werken kommen in erster Linie in Betracht:

L. AMBRONN, *Handbuch der astronomischen Instrumentenkunde* (Berlin 1899, Springer).

JOH. A. REPSOLD, *Zur Geschichte der astronomischen Meßwerkzeuge* (Leipzig 1908 u. 1914, Engelmann).