

## Ausschnitte aus der Entwicklung astronomischer Beobachtungskunst

Von P. TEN BRUGGECATE<sup>1</sup>, Göttingen

Der Bau astronomischer Instrumente hat in den letzten Jahrzehnten vor allem in Amerika so große Fortschritte gemacht, daß es verlockend erscheint, in kurzen Ausschnitten die geschichtliche Entwicklung der astronomischen Beobachtungskunst zu verfolgen. Im folgenden soll deshalb dieses Thema an Hand dreier besonders typischer astronomischer Problemstellungen behandelt werden.

### 1. Die Messung einer Fixsternparallaxe

Aus der Lehre des KOPERNIKUS, daß sich die Planeten einschließlich der Erde um die Sonne als den Mittelpunkt des Planetensystems bewegen, ergab sich für den beobachtenden Astronomen eine bedeutsame Aufgabe. Als Folge der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne müssen die Sterne eine periodische Verschiebung an der Sphäre – man nennt sie Parallaxe – zeigen. Solche Verschiebungen konnte KOPERNIKUS mit seinem Meßinstrument, einem Dreistab aus Fichtenholz mit einer Skala aus Tintenstrichen, nicht beobachten. Er zog daraus den Schluß, daß der Durchmesser der Fixsternsphäre im Vergleich zur Entfernung Erde–Sonne unmeßbar groß sein müsse. Abb. 1 stellt eine von TYCHO BRAHE, dem bedeutendsten und ge-

schicktesten Beobachter des 16. Jahrhunderts, verbesserte Form des Dreistabs dar<sup>1</sup>. Das Instrument ist aus Holz hergestellt und dient zur Messung der Sehnenlänge von Zenitdistanzwinkeln. Die von KOPERNIKUS benutzten Lochvisiere sind bei dem Instrument von TYCHO durch je zwei parallele Schlitze ersetzt. Schlitz-



Abb. 2. Schlitzvisier nach TYCHO, bestehend aus zwei gleichen rechteckigen Platten. Anvisieren eines Sterns geschieht z. B. durch den linken Schlitz der augennahen Platte am linken Rand der zweiten Platte entlang.

Entnommen aus J. A. REPSOLD, *Zur Geschichte der astronomischen Meßwerkzeuge von Purbach bis Reichenbach 1450–1830* (Leipzig, Verlag Engelmann, 1908), dort Fig. 21 zu S. 24.

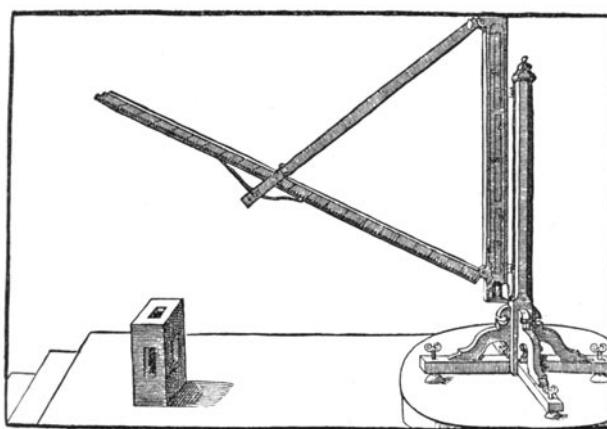


Abb. 1. Verbesserter Dreistab nach TYCHO. Die Fußschrauben gestatten die Vertikalstellung des einen Stabs, an dessen oberem Ende das Visierlineal und an dessen unterem Ende das die Teilung tragende Lineal zur Messung der Sehne des Zenitdistanzwinkels bestellt ist.

Entnommen aus J. A. REPSOLD, *Zur Geschichte der astronomischen Meßwerkzeuge von Purbach bis Reichenbach, 1450–1830* (Leipzig, Verlag Engelmann, 1908), dort Fig. 28 zu S. 26.

visiere besonderer Art hat TYCHO auch an seinem großen Mauerquadranten benutzt, einem in Grade geteilten Viertelkreis, der fest an einer von Nord nach Süd verlaufenden Mauer angebracht war. Abb. 2 stellt das Prinzip eines solchen Visiers dar<sup>2</sup>. TYCHO erzielte mit seinem Quadranten am Ende des 16. Jahrhunderts eine Meßgenauigkeit von rund 1'. Sie übertraf die Meßgenauigkeit von KOPERNIKUS etwa um das Zehnfache. Und trotzdem gelang es ihm nicht, eine Fixsternparallaxe zu messen. Er lehnte deshalb auch die Kopernikanische Vorstellung von der Bewegung der Erde um die Sonne ab.

Wenige Jahre nach TYCHOS Tod hat dann KEPLER durch Ableitung seiner drei Gesetze der Planetenbewegung aus TYCHOS Beobachtungen des Planeten Mars

<sup>1</sup> T. BRAHE, *Astronomiae instauratae mechanica* (Noribergae 1602). Vgl. auch J. A. REPSOLD, *Zur Geschichte der astron. Meßwerkzeuge von Purbach bis Reichenbach, 1450 bis 1830*, S. 26 (Verlag W. Engelmann, Leipzig 1908).

<sup>2</sup> REPSOLD, l. c. S. 24.

<sup>1</sup> Direktor der Universitätssternwarte Göttingen.

den endgültigen Übergang vom geozentrischen zum heliozentrischen Planetensystem vollzogen. Jedoch stand zu KEPLERS Zeiten der beobachtungsmäßige Nachweis von der Richtigkeit der Kopernikanischen Lehre, den man letzten Endes in der Messung von Fixsternparallaxen erblicken mußte, immer noch aus.

Im 17. und 18. Jahrhundert haben Astronomen immer wieder versucht, Parallaxen von Sternen zu messen. Den wichtigsten Versuch in dieser Richtung unternahm BRADLEY in den Jahren 1725-28. Er wählte den Stern  $\gamma$  im Sternbild des Drachen für seine Messungen aus. Dieser Stern kulminierte an BRADLEYS Beobachtungsort nahezu im Zenit und er führte deshalb Zenitdistanzmessungen mit einem Zenitsektor durch. Dazu visierte er  $\gamma$  Draconis beim Durchgang durch den Meridian an und maß dabei die Neigung der optischen Achse seines Fernrohrs gegen ein feines Lot. Abb. 3 stellt den 1727 von GRAHAM für BRADLEY gebauten Zenitsektor dar<sup>1</sup>. Das Resultat seiner Beobachtungen war, daß  $\gamma$  Draconis im Laufe eines Jahres eine kleine Ellipse am Himmel beschreibt, deren große Halbachse etwa  $20''$  beträgt. Aber die Phase des Umlaufs paßte nicht zur Deutung des Effekts als Parallaxe. BRADLEY hat dann auch die wahre Ursache der kleinen elliptischen Bewegung in der Aberration des Lichts er-

tion als den ersten beobachtungsmäßigen Nachweis von der Bewegung der Erde um die Sonne werten. Seine Meßgenauigkeit betrug etwa  $1''$ .

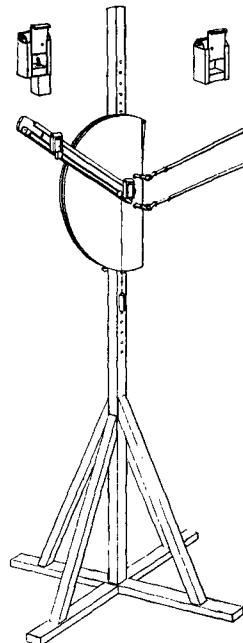


Abb. 4. HERSCHELS Lamp-Micrometer. Abstand und Positions-winkel der zwei künstlichen Sterne (Lämpchen) können mit Schlus-seln vom Okular des Reflektors aus variiert werden.

Entnommen aus J.A. REPSOLD, *Zur Geschichte der astronomischen Meßwerkzeuge von Purbach bis Reichenbach, 1450-1830* (Leipzig, Verlag Engelmann, 1908), dort Fig. 103 zu S. 71.

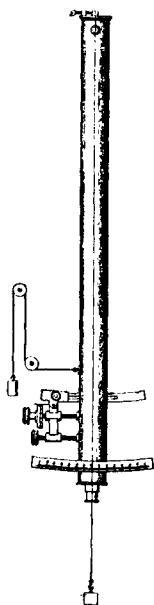


Abb. 3. GRAHAMS Zenitsektor für BRADLEY. Der Sektor hängt an Zapfen in zwei Ost/West-orientierten Wandlagern. Man beachte Lot und Skala.

Entnommen aus J.A. REPSOLD, *Zur Geschichte der astronomischen Meßwerkzeuge von Purbach bis Reichenbach, 1450-1830*, (Leipzig, Verlag Engelmann) 1908, dort Fig. 89 zu S. 65.

kannt. Obwohl es ihm somit nicht gelungen war, die nach der kopernikanischen Lehre zu erwartende parallaktische Verschiebung eines Sterns zu finden, müssen wir doch BRADLEYS Entdeckung der Aberra-

Hier müssen noch die Bemühungen von W. HERSCHEL, die Parallaxe von Fixsternen zu bestimmen, erwähnt werden. Dieser ging von einer ganz anderen Überlegung aus. Er wollte nicht mehr wie BRADLEY die absolute Parallaxe eines Sterns, sondern die relative Parallaxe von zwei Sternen messen. Sternpaare mit einer hellen und einer schwachen Komponente schienen ihm für seine Untersuchungen besonders geeignet zu sein. Denn vermutlich – so sagte er sich – muß der helle Stern sehr nah, der schwache sehr weit entfernt sein. Infolge der Standortänderung des Beobachters bei der Bewegung der Erde um die Sonne müßten dann die beiden Sterne eine relative Parallaxe aufweisen. HERSCHEL begann seine Doppelsternmessungen im Jahre 1779 mit einem selbst gebauten Spiegelteleskop und konnte 1804 der Royal Society in London zwar nicht die Messung einer Sternparallaxe anzeigen, wohl aber die grundlegende Entdeckung von physischen Doppelsternen, d.h. Sternen, die im Raum dicht beieinander stehen und eine Bahnbewegung um ihren gemeinsamen Schwerpunkt beschreiben. Um die Lichtstärke seines Reflektors voll auszunutzen, verwendete er zur Positionsmeßung der Komponenten der Sternpaare kein Fadenmikrometer, was immer ein wenn auch nur schwach erhelltes Gesichtsfeld bedingen würde, sondern konstruierte sein «lamp micrometer»<sup>1</sup>. Die eigentliche Messung erfolgte mit diesem

<sup>1</sup> W. PEARSON, *An introduction to practical astronomy*, London 1824-29. Vgl. auch REPSOLD, I. c. S. 65.

<sup>1</sup> REPSOLD, I. c. S. 70.

Mikrometer (siehe Abb. 4) so, daß der Beobachter mit dem einen Auge das wirkliche Sternpaar durch das Okular des Reflektors, und mit dem anderen Auge das

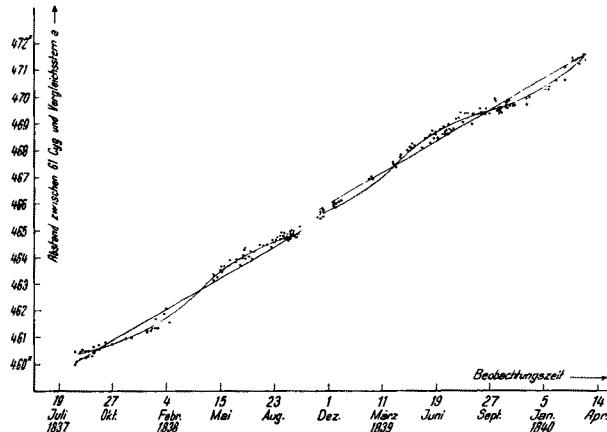


Abb. 5. Abstände zwischen 61 Cygni und Anschlußstern a nach Messungen von BESSEL.

Entnommen aus H. STRASSL, Naturwissenschaften 33, 1946, dort Fig. 7, S. 70.

künstliche Sternpaar in einem Abstand von drei Metern und mehr betrachtet. Das künstliche Sternpaar kann nun vom Beobachtungsstand aus so orientiert werden, daß es der Beobachter mit dem wirklichen Sternpaar zusammenfallen sieht. Wenn man dabei noch bedenkt, daß der Reflektor von HERSCHEL weder parallaktisch montiert war, noch durch ein Uhrwerk der täglichen Bewegung der Sterne nachgeführt wurde, muß man die Geschicklichkeit und Ausdauer bewundern, mit der er diese Doppelsternmessungen durchgeführt hat.

Erst der Beobachtungskunst von BESSEL ist es gelückt, eine Sternparallaxe zu bestimmen. Er wählte für seine Untersuchung<sup>1</sup> den Doppelstern 61 Cygni, weil es sich dabei um einen relativ hellen Stern (5. Größe) mit großer Eigenbewegung handelt. Man konnte daher erwarten, daß seine Entfernung nicht allzu groß sein würde. BESSEL maß nun fortlaufend die Winkelabstände an der Sphäre von 61 Cygni zu zwei sehr viel schwächeren Nachbarsternen, von denen angenommen werden konnte, daß sie viel weiter entfernt seien als der Parallaxenstern. Der Winkelabstand 61 Cygni – Nachbarstern setzt sich nun im wesentlichen aus zwei Gliedern zusammen: einem mit der Zeit sich linear ändernden Glied, das von der Eigenbewegung von 61 Cygni relativ zum Anschlußstern herrührt, und einem diesem überlagerten periodischen Glied, das von der relativen Parallaxe von 61 Cygni und Anschlußstern herstammt. In Abb. 5 sind die Einzelmessungen von BESSEL in bezug auf den einen der beiden Anschlußsterne wiedergegeben. Sie zerfallen in zwei Gruppen, weil im Herbst 1837 das Königsberger Heliometer, ein Meisterwerk von FRAUNHOFER, mit dem BESSEL seine Messungen durchführte, wegen meßtechnischer Schwierigkeiten überholt werden mußte. Aus der Amplitude

der Wellenlinie leitete BESSEL die Parallaxe  $\pi = 0''.3584 \pm 0''.0193$  für 61 Cygni ab. Als bester Wert kann heute die Parallaxe  $0''.30$  gelten, der eine Entfernung von 10,9 Lichtjahren entspricht.

Wodurch hat BESSEL diesen Erfolg erzielt? Einmal ist das FRAUNHOFERSche Heliometer (siehe Abb. 6) ein Spezialinstrument, mit dem man Winkelabstände von Sternen, die am Himmel eng benachbart stehen, mit großer Genauigkeit messen konnte. Sein wesentliches Kennzeichen ist ein in der Mitte geteiltes Objektiv, wobei die Objektivhälften gegeneinander mit Meßschrauben verschoben werden können. Will man nun z. B. den Abstand zweier Sterne a und b messen, so dreht man zunächst das Objektiv so lange, bis die Trennungslinie der Objektivhälften in die Richtung der Verbindungslinie der beiden Sterne fällt. Verschiebt man dann die eine Objektivhälfte gegen die andere, so kann man erreichen, daß z. B. das von der ersten Objektivhälfte erzeugte Bild des Sterns a mit dem durch die zweite Hälfte erzeugten Bild des Sterns b zusammenfällt. Der Betrag, um den man dazu die Objektivhälften gegeneinander verschieben muß, ist ein Maß für den Winkelabstand der Sterne a und b. Außerdem hat aber BESSEL aus seinen Meßreihen stets gleichzeitig die Instrumental- und Aufstellungsfehler seines Fernrohrs ermittelt und hat gelehrt, wie man die Beobachtungen von diesen Fehlern

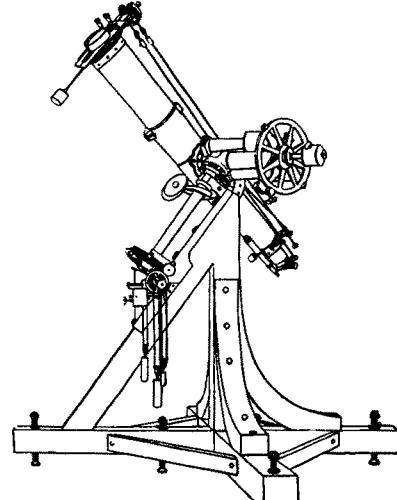


Abb. 6. Das für BESSEL gebaute Heliometer von FRAUNHOFER. Objektivöffnung 15,8 cm, Brennweite 260 cm.

Entnommen aus H. STRASSL, Naturwissenschaften 33, 1946, dort Fig. 4, S. 68.

befreien kann. So führt z. B. die Versetzung der beiden Meßreihen von 1837 und 1838 in Ordinatenrichtung (Abb. 5) von einer Änderung der Instrumentalkonstanten her. Wenn bis heute bereits von vielen tausend Sternen Entfernungen und Bewegungen an der Sphäre bestimmt werden konnten, so beruhen diese Ergebnisse letzten Endes auf den Arbeiten von BESSEL, einem der größten Meister astronomischer Beobachtungskunst. Dabei mag erwähnt werden, daß heute trigonometrische Parallaxen mit langbrennweiten

<sup>1</sup> FR. W. BESSEL, Astron. Nachr. 16, 65 (1838).

Instrumenten auf photographischem Weg mit einer Genauigkeit von etwa 0"01 bestimmt werden.

Dreihundert Jahre lang haben, wie wir sahen, die Astronomen immer wieder versucht, die bedeutendste Folgerung der kopernikanischen Lehre zu prüfen. BRADLEY hat dabei die Aberration und die Nutation, HERSCHEL die Bahnbewegung der Doppelsterne entdeckt. In den exakten Naturwissenschaften dürfte es kaum ein besseres Beispiel dafür geben, daß großes Können, unermüdlicher Fleiß und stete Beharrlichkeit von Generationen von Gelehrten schließlich zu grundlegenden Forschungsergebnissen geführt haben.

## 2. Der Bau des Milchstraßensystems

Wir wollen uns nun der Untersuchung des Fixsternsystems zuwenden. Dabei ist der nächstliegende Gedanke der: man bestimme auf die von BESSEL gelehrt Weise die Entfernung einer möglichst großen Zahl von Sternen. Dann kann man sich ein Modell der Fixsternwelt entwerfen, in dem jedem Stern sein richtiger Ort im Raum zukommt. Es ist aber sofort klar, daß dieser Weg wegen der Unzahl der Sterne und der Kleinheit ihrer Parallaxen praktisch nicht gangbar erscheint. Vielmehr versucht man heute, auf statistische Weise die Verteilung der Sterne im Raum aus ihrer Verteilung am Himmel zu erschließen. Die beobachtungsmäßige Grundlage dieser Untersuchungen bilden umfangreiche Durchmusterungen des Himmels in Gestalt von Sternzählungen. Wir interessieren uns in diesem Zusammenhang nicht mehr für den genauen Ort jedes einzelnen Sterns, sondern nur noch für die durchschnittliche Anzahl der Sterne in verschiedenen Himmelsarealen, aus der wir dann die mittlere Anzahl der Sterne in einem Volumenteil des Raumes zu bestimmen versuchen. Vor rund 50 Jahren haben SEE-LIGER und KAPTEYN dieses Problem mit verschiedenen Methoden angefaßt. Ihre ersten Ergebnisse<sup>1</sup> fußen auf der Durchmusterung der hellen Sterne am Himmel, etwa bis zur 10. Größe. Sie fanden, daß diese Sterne im Raum ein abgeplattetes System bilden, vergleichbar etwa mit der Gestalt einer Linse. Die Symmetrieebene dieses Systems fällt sehr nahe mit der durch die Milchstraßenwolken definierten Ebene zusammen. Die Sonne steht praktisch im Mittelpunkt dieses SEE-LIGER-KAPTEYNschen Systems.

Für eine Fortführung dieser Untersuchungen war es offenbar notwendig, zu schwächeren und immer schwächeren Sternen vorzustoßen. Dies war nur möglich unter Zuhilfenahme der Photographie. Und so setzen etwa seit 1910 umfangreiche photographische Durchmusterungen des Himmels ein. Besonders zu er-

wähnen ist in diesem Zusammenhang der KAPTEYNsche Plan der Durchmusterung ausgewählter Felder am Himmel<sup>1</sup>. Man sieht also bewußt von einer Durchmusterung des ganzen Himmels ab und stößt lieber in ausgewählten Feldern bis zu möglichst schwachen Sternen vor. Dieser Forderung konnte man nur gerecht werden durch den Bau immer lichtstärkerer Fernrohre. Da die Herstellung von Linsen mit Durchmessern von mehr als etwa 60–80 cm wegen der Inhomogenität großer Glasblöcke kaum möglich ist, so setzt zu Beginn dieses Jahrhunderts der Bau der modernen Spiegelteleskope ein. Bei einem Spiegel spielen

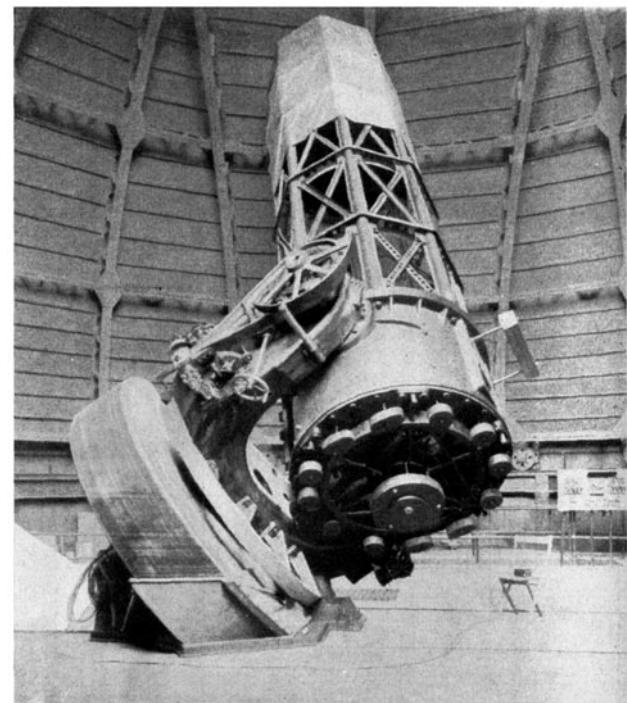


Abb. 7. Der 60"-Reflektor auf dem Mt. Wilson. Gabelmontierung. Der Druck des Instruments auf die Lager der Polachse wird durch einen auf der Achse angebrachten großen Schwimmer, der in ein Quecksilberbad eintaucht, aufgenommen.

Entnommen aus Publ. Astron. Soc. Pacific 22, 1910, dort S. 66.

bekanntlich Inhomogenitäten im Glas eine untergeordnete Rolle, weil das Licht eines Sterns an der konkav geschliffenen Oberfläche des Glasblocks reflektiert wird. Im Jahre 1905 wird ein Spiegel von 91 cm Durchmesser auf der Lick-Sternwarte bei San Francisco in Betrieb genommen, im Dezember 1908 folgt ein Spiegel von 152 cm Durchmesser auf dem Mt. Wilson bei Los Angeles (siehe Abb. 7). Im Jahre 1917 wurde dort ein weiteres Spiegelteleskop mit 258 cm Spiegeldurchmesser aufgestellt, und in diesen Monaten finden auf dem Palomar Mountain bei San Diego die ersten Aufnahmen mit dem 5-m-Spiegel statt. Es handelt sich dabei nicht etwa um eine Rekordsucht, immer größere Spiegel herzustellen, sondern der Bau immer licht-

<sup>1</sup> H. v. SEE-LIGER, Abh. Bayr. Akad. Wiss., II. Cl. 19, 3. Abt. (1898); 25, 3. Abt. (1909); Sitzber. Bayr. Akad. Wiss. 40, 413 (1911); 42, 451 (1912); Jg. 1920, 87 (1921). — J. C. KAPTEYN, Publ. Astron. Lab. Groningen, Nr. 8 (1901), Nr. 11 (1902), Nr. 18 (1908). — J. C. KAPTEYN und P. J. v. RHIJN, Groningen Publ., Nr. 27 (1917), Nr. 29 (1918), Nr. 30 (1920), Nr. 34 (1923), Nr. 36 und 38 (1925), Astrophys. J. 52, 23 (1920).

<sup>1</sup> J. C. KAPTEYN, *Reports on the Progress of the Plan of Selected Areas* (Groningen 1911).

stärkerer Instrumente wird durch die Entwicklung der Forschungsprobleme diktiert.

Die am weitesten in den Raum vorstoßende photographische Durchmusterung ausgewählter Felder am Himmel ist mit dem 60-Zoll-Reflektor der Mt.-Wilson-Sternwarte durchgeführt worden<sup>1</sup>. Sie ist in diesen Feldern vollständig bis zu Sternen der 18. Größe. So einfach die Durchführung von Sternzählungen erscheinen mag, so darf man doch die Sorgfalt und Mühe, die darauf verwendet werden müssen, nicht unterschätzen. Denn bei den Zählungen müssen die Sterne gleichzeitig nach ihrer Helligkeit sortiert werden. Wenn es sich dabei auch nicht um Präzisionsmessungen von Helligkeiten im strengen Sinne handelt, so hat man doch Vorsichtsmaßregeln zu ergreifen, um zu vermeiden, daß in der Durchmusterung systematische Fehler auftreten. Zu diesem Zweck ist durch internationale Zusammenarbeit eine ungeheure Arbeit in der Aufstellung einwandfreier photographischer und photovisueller Standardhelligkeiten von Sternen geleistet worden. Es ist hier vor allem die aus 96 Sternen bestehende Nordpolsequenz zu nennen<sup>2</sup>. Die astronomische Beobachtungskunst liegt hier also auf ganz anderem Gebiet als bei der Bestimmung genauer Sternörter, wie sie uns BESSEL gelehrt hat.

Wir wollen ganz kurz die stellarstatistischen Ergebnisse nennen, die aus diesen Durchmusterungen erhalten wurden. Es stellte sich heraus, daß das SEE-LIGER-KAPTEYNsche Sternsystem, in welchem die Sonne im Mittelpunkt des Systems stehen sollte, eine unzureichende Näherung ist. Das röhrt daher, daß erst photographische Durchmusterungen die Sterne schwächer als 12. Größe erfassen, bei denen sich der Einfluß der Milchstraßenwolken bemerkbar macht. Der Sternreichtum der Milchstraße ist aber in den Sternbildern des Schützen und Skorpion, unserer Sommermilchstraße, unvergleichlich viel größer als im Orion, unserer Wintermilchstraße, die der zuerst genannten Gegend am Himmel bekanntlich gegenüberliegt. Daraus folgt, daß die Verteilung der Sterne rings um die Sonne keineswegs gleichförmig sein kann. Vielmehr müssen wir der Sonne eine stark exzentrische Stellung im Milchstraßensystem zuschreiben. Das Zentrum des Sternsystems verlegen wir heute in die Richtung des Schützen und Skorpion (galaktische Länge 325°), in eine Entfernung, zu deren Zurücklegung das Licht etwa 30000 Jahre benötigt. In der Richtung nach dem Sternbild Orion ist dagegen die Grenze des Systems bereits in einer Entfernung von rund 5000 Lichtjahren erreicht. Um das entfernte Zentrum des Sternsystems beschreibt die Sonne eine Bahn, die nicht wesentlich von einer Kreisbahn abzuweichen scheint. Für einen vollen Umlauf um das Zentrum benötigt die Sonne bei

einer Bahngeschwindigkeit von etwa 200 km/sec rund 100 Millionen Jahre.

Erinnert diese Verschiebung des Standorts der Sonne im Sternsystem vom Mittelpunkt, wie noch SEE-LIGER und KAPTEYN annahmen, auf eine Kreisbahn, die nahe an der Peripherie des Systems verläuft, wie wir heute annehmen, nicht an die Verschiebung des Standorts der Erde vom Mittelpunkt im ptolemäischen Weltsystem auf eine Kreisbahn im kopernikanischen System? Wir wollen diese Parallele noch etwas weiter verfolgen. Bei der Erforschung des Planetensystems besteht die wesentliche Schwierigkeit darin, daß die Erde als Planet mit zum System gehört, dessen Struktur erforscht werden soll. Bei der Untersuchung des Sternsystems befinden wir uns in einer ganz entsprechenden Lage, denn hier gehört die Sonne als Fixstern mit zu dem zu untersuchenden System. Beim Planetensystem konnte, solange nur rohe Messungen der Planetenbewegungen vorlagen, die geozentrische Beschreibung der Bewegungsverhältnisse genügen. Erst die Verfeinerung der Messungen zwang zum Übergang vom geozentrischen zum heliozentrischen System. Beim Sternsystem genügte, solange man sich auf die Verteilung der hellen Sterne am Himmel beschränkte, das SEE-LIGER-KAPTEYNsche System mit der Sonne nahe dem Mittelpunkt. Erst der Übergang zum Studium der Verteilung der schwachen und schwächsten Sterne zwang dazu, der Sonne eine stark exzentrische Stellung im Sternsystem zuzuschreiben.

Beim Studium des Sternsystems tritt durch das Vorkommen absorbierender Wolken im Raum zwischen den Sternen eine erhebliche Schwierigkeit auf. Die Verdünnung der interstellaren Materie ist zwar außerordentlich groß – der Experimentalphysiker wäre dankbar, wenn es ihm gelänge, ein entsprechendes Hochvakuum herzustellen – aber durch die außergewöhnlich großen Schichttiefen kommt doch eine erheblich streuende und absorbierende Wirkung zu stande. Wenn der staubförmige Teil dieser Materie nicht die Eigenschaft hätte, blaues Licht stärker zu streuen als rotes Licht, so wäre wahrscheinlich das Beginnen, die Verteilung der Sterne im Raum aus ihrer Verteilung am Himmel zu ermitteln, ziemlich hoffnungslos. Denn nur durch die Verfärbung des Sternlichts sind wir in den meisten Fällen in der Lage, zu sagen, ob sich in einer bestimmten Richtung absorbierende Materie befindet, der dann entsprechend Rechnung zu tragen ist<sup>1</sup>. Heute wissen wir, daß gelegentlich absorbierende und verfärbende Wolken sogarkulissenartig hintereinander angeordnet sein können. Diese aus Verfärbungsmessungen erschlossene Tendenz der interstellaren Materie zur Wolkenbildung wird durch Untersuchungen von ADAMS<sup>2</sup> über die

<sup>1</sup> F. H. SEARES, J. C. KAPTEYN und P. J. VAN RHijn, Mt. Wilson Catalogue of photogr. magnitudes in Sel. Ar. 1–139, Washington 1930.

<sup>1</sup> Vgl. hierzu z. B.: W. BECKER, Z. Astrophys. 17, 285 (1939); siehe auch E. v. D. PAHLEN, Exper. 3, 471 (1947).

<sup>2</sup> W. S. ADAMS, Astrophys. J. 97, 105 (1943); Draft Report of I. A. U. p. 174 (Zürich 1948).

\* Transact. Int. Astr. Un. 1, 71 (1922).

Struktur interstellarer Linien auf das schönste bestätigt. In den Spektren von 300 Sternen, die ADAMS mit dem Coudé-Spektrographen am 100"-Reflektor bei einer Dispersion von 3-10 Å/mm auf interstellare Linien untersucht hat, zeigen 100 Sterne doppelte, 17 dreifache, 4 vierfache und 1 fünffache H- und K-Linien, die dem interstellaren ionisierten Kalzium zuzuschreiben sind. Offenbar durchsetzt das Licht zwischen Stern und Beobachter bis zu fünf diskrete Wolken, die relative Radialgeschwindigkeiten von 5-50 km/sec besitzen. Die Geschichte der Stellarastronomie ist zum guten Teil ein Suchen nach Methoden, mit der Absorption des Lichts im Raum zwischen den Sternen fertig zu werden.

Stellarstatistische Untersuchungen reichen wegen dieser interstellaren Absorption nicht weiter als bis in Entfernung, die etwa ein Viertel der Entfernung bis zum Zentrum des Systems ausmachen. Was wir heute über die Struktur des Sternsystems im Großen wissen oder vermuten, beruht zu einem erheblichen Teil auf Analogieschlüssen, die aus Untersuchungen an anderen Sternsystemen gewonnen sind. Der Bau immer lichtstärkerer Instrumente hat es nämlich ermöglicht, in solchen Richtungen, in denen keine allzu große Absorption des Lichts stattfindet, weit über unser eigenes Milchstraßensystem hinauszublicken und dort draußen im Weltraum Sternsysteme, analog unserem Milchstraßensystem, die sog. Spiralnebel zu untersuchen. In welch glücklicher Lage wäre KOPERNIKUS gewesen, wenn er irgendwo am Himmel ein Abbild unseres Planetensystems hätte entdecken können!

### 3. Die Welt der Spiralnebel

Extragalaktische Nebel – ein Beispiel ist der allgemein bekannte Andromedanebel – sind Artgenossen unserer Milchstraße. Sie setzen sich durchschnittlich aus etwa 10 Milliarden einzelner Sterne zusammen. Die Auflösung der äußeren Teile des Andromedanebels in einzelne Sterne gelang HUBBLE<sup>1</sup> bereits im Jahre 1929 mit dem 100"-Reflektor. Damals sah es so aus, als ob, wenn überhaupt, eine Auflösung des Kerns des Nebels nur mit einem noch größeren Spiegel, etwa dem damals bereits geplanten 200"-Reflektor, gelingen könne. Indessen hat BAADE<sup>2</sup> dieses Problem mit dem 100"-Spiegel durch Entwicklung einer besonderen Beobachtungstechnik gelöst. Bei Verwendung langbelichteter blauempfindlicher Platten setzt nämlich der erhebliche Plattschleier, herührend vom Nachthimmellicht, der Auflösung des Nebels in einzelne Sterne eine Grenze. Deshalb unternahm er mit Erfolg Versuche mit rot sensibilisierten Platten unter strenger Unterdrückung alles Lichts auf der blauen Seite von  $\lambda$  6300 Å, also z. B. auch der grünen Nachthimmellinie  $\lambda$  5577. BAADE konnte auf diese Weise zeigen, daß die hellsten Sterne im Kern des

Andromedanebels rote Riesensterne sind, wie man sie auch als hellste Sterne in kugelförmigen Sternhaufen beobachtet. Im Gegensatz hierzu kommen in den äußeren Teilen des Andromedanebels als hellste Sterne blaue Übergiganten vor, wie wir sie z. B. als B-Sterne auch in der Umgebung der Sonne, also in den äußeren Teilen unserer Milchstraße beobachten können. Diese blauen Übergiganten sind im photographischen Spektralbereich etwa 4 Größenklassen heller als die roten Riesen im Kern des Nebels. So wird es verständlich, daß HUBBLE nur die Auflösung der äußeren Teile gelingen konnte. Neuerdings ist es nun STEBBINS und WHITFORD<sup>3</sup> durch eine lichtelektrische Infrarotphotometrie gelungen, hinter absorbierenden Wolken in Richtung der galaktischen Länge  $\lambda$  325° den Kern unseres eigenen Milchstraßensystems nachzuweisen. BAADEs Beobachtungskunst hat somit zur Entdeckung einer sehr allgemeinen und kosmogonisch bedeutungsvollen Gesetzmäßigkeit geführt: Außenteile und Kern eines Spiralnebels setzen sich aus verschiedenen Sternpopulationen I und II zusammen. Das Gros der Sterne eines Spiralnebels – und unserer Milchstraße – bildet die Population II (Kennzeichen rote Riesen). In diese ist die Population I (Kennzeichen B-Sterne) in Form von Spiralarmen als eine Art «Verzierung des Systems» eingebettet. Um Mißverständnisse zu vermeiden, sei bemerkt, daß die Sterne, durch die wir die beiden Populationen kurz gekennzeichnet haben, keineswegs etwa den häufigsten Sterntypus der betreffenden Population darstellen.

Wie viele extragalaktische Nebel kennt man am Himmel? Das hängt wegen der Absorption des Lichts innerhalb unseres Sternsystems sehr davon ab, in welche Richtung wir blicken. In solchen Richtungen, die weitab von der Milchstraße liegen, etwa in den Sternbildern des Großen Bären, des Löwen oder der Jungfrau wird uns der Ausblick durch absorbierende Materie praktisch nicht verwehrt. Halten wir uns deshalb allein an langbelichtete Aufnahmen, die unter besten Bedingungen in dieser Gegend des Himmels mit dem 100-Zoll-Reflektor auf dem Mt. Wilson gemacht worden sind. Auf solchen Aufnahmen hat HUBBLE<sup>2</sup> auf einem Himmelsareal so groß wie die Fläche des Vollmonds bis zu 400 extragalaktische Nebel gezählt. Man kann leicht abschätzen, daß dann für den 100-Zoll-Reflektor unter besten Bedingungen am ganzen Himmel etwa 75 Millionen Artgenossen unseres Milchstraßensystems erreichbar sind.

Die Welt dieser extragalaktischen Nebel zeigt nun ganz andere Eigenschaften als etwa die Welt der Fixsterne, aus denen sich unser eigenes Sternsystem aufbaut. Am auffallendsten sind die großen Rotverschiebungen der Spektrallinien in den Spektren der Nebel gegenüber Standardlinien einer irdischen Lichtquelle<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> J. STEBBINS und A. E. WHITFORD, *Astrophys. J.* 106, 235 (1947).

<sup>2</sup> E. P. HUBBLE, *Astrophys. J.* 69, 103 (1929).

<sup>3</sup> E. P. HUBBLE, *The Realm of the Nebulae* (Oxford University Press, 1936).

Die einfachste Deutung dieser Verschiebungen ist die, daß es sich um einen Doppler-Effekt, also eine Bewegung der Nebel relativ zum Beobachter handelt. Besonders wichtig ist, daß man durch die Konstruktion immer lichtstärkerer Spektrographen zu immer schwächeren Nebeln vordringen konnte. Bei dem Nebelspektrographen der Mt.-Wilson-Sternwarte hat sich ein Kameraobjektiv, das einem Mikroskopobjektiv nachgebaut worden ist und das eine Ölimmersionsschicht enthält, besonders bewährt<sup>1</sup>. Es besitzt bei einem Durchmesser von 50 mm eine Brennweite von nur 30 mm. Beim Mikroskop dienen Immersionsflüssigkeiten zur Erhöhung des Auflösungsvermögens, beim Nebelspektrographen dagegen zur Erhöhung der Lichtstärke. Denn dadurch kann bei gegebenem Querschnitt des Lichtbündels das spektral zerlegte Licht auf einen möglichst kleinen Bereich der photographischen Platte konzentriert werden. Die Spektren werden dadurch zwar winzig klein. Ihre Länge beträgt vom violetten bis zum roten Ende des Spektrums nur knapp 3 mm. Aber bei den großen Linienverschiebungen in den Nebelspektren ist mit dieser Kleinheit kein unerlaubter Verlust an Genauigkeit verbunden. Die zunehmende Beobachtungskunst hat bei den Bewegungen der Nebel zur Entdeckung einer merkwürdigen Gesetzmäßigkeit geführt. Die Geschwindigkeiten der Nebel sind nämlich alle von uns weg gerichtet und wachsen proportional mit der Entfernung der Nebel an. Die größten gemessenen Nebelgeschwindigkeiten betrugen im Jahre 1929 7800 km/sec, 1931 19700, 1932 24000 und 1935 42000 km/sec. Der letzte Wert beträgt bereits  $1/7 \cdot 1/8$  der Lichtgeschwindigkeit.

Die Deutung dieser Beobachtungen gipfelt in der Vorstellung des expandierenden Universums. Wenn sich aber alle extragalaktischen Nebel von uns weg bewegen, haben wir dann nicht wieder eine Welt entdeckt, in der der Beobachter im Mittelpunkt steht? Die Antwort lautet: Nein. Zur Begründung mag die Bemerkung genügen, daß bei einer Expansion des Weltalls jeder Beobachter, mit welchem unter den vielen Millionen Artgenossen unseres Sternsystems er auch verbunden sein mag, feststellen würde, daß alle übrigen Nebel von ihm forteilen.

Wir müssen uns darüber klar sein, daß sowohl die vorliegenden Nebelzählungen als auch die Radialgeschwindigkeiten extragalaktischer Nebel das Äußerste darstellen, was geübte Beobachter unter besten Bedingungen aus dem 100-Zöller der Mt.-Wilson-Sternwarte herausholen können. Wesentliche Fortschritte in den Fragen des expandierenden Universums können deshalb erst erzielt werden, wenn der neue 5-m-Spiegel auf dem Mt. Palomar die notwendige Erweiterung des Beobachtungsmaterials liefert. Wenn wir heute mit dem 100-Zoll-Reflektor bis in Entferungen vorstoßen, die das Licht in etwa 500 Millionen Jahren zurücklegt, so ist zu erwarten, daß der 5-m-Spiegel es noch ge-

stattet, Nebel zu photographieren, die eine Milliarde Lichtjahre entfernt sind. Was wir heute über das expandierende Universum wissen, fußt zum guten Teil auf Helligkeitsmessungen schwächer und schwächster Nebelflecke bis etwa 21. GröÙe. Eine sorgfältige Diskussion der Nebelzahlen hat aber bereits vor einer Reihe von Jahren gezeigt<sup>1</sup>, daß man nichts Endgültiges über das expandierende Universum oder gar über die Struktur des Raumes – euklidischer oder nichteuklidischer Raum – aussagen kann, wenn man die Helligkeiten der schwächsten Nebel nicht auf weniger als  $1/11$  GröÙenklassen garantieren kann. Denn die Deutung der Beobachtungsergebnisse durch HUBBLE<sup>2</sup> beruht ganz auf der beobachteten Zunahme der Nebelzahlen pro Quadratgrad mit abnehmender Helligkeit, und diese natürlich wiederum auf der Richtigkeit der photometrischen Skala. Ein systematischer Fehler von weniger als 0,1 GröÙenklassen zwischen den Helligkeiten der schwächsten Nebeln in der Durchmusterung mit dem 60''- und denjenigen in der weiter reichenden Durchmusterung mit dem 100''-Reflektor kann die Lösung vollständig ändern. Der 5-m-Spiegel soll deshalb in den Händen von BAUDE zunächst dazu dienen, photometrische Standardfelder am Himmel bis zur 22,5. GröÙe zu schaffen. Man hofft, das Verhältnis der Beleuchtungsstärken von 100000:1 zwischen dem Andromedanebel und den Nebeln 18. GröÙe mit einer Photozelle und Verstärkeranordnung zu überbrücken. Auf photographischem Weg wäre dann nur noch für die letzten 4,5 GröÙenklassen eine einwandfreie Skala zu ermitteln. Die Durchführung dieses Programms ist aber selbst im kalifornischen Klima nicht leicht. Denn Nebel der 22,5. GröÙe lassen sich auch dort nur unter exzeptionellen atmosphärischen Bedingungen messen, in den wenigen Nächten, in denen sich die Temperatur während der Nacht praktisch nicht ändert, so daß der Riesen-Spiegel bis zu seiner äußersten Grenze ausgenutzt werden kann. Mit diesem Programm soll also erst einmal im kommenden Jahrzehnt die solide Beobachtungsgrundlage geschaffen werden, auf der dann die Untersuchung des expandierenden Universums, also z. B. die Frage nach der Krümmung des Raumes, aufgebaut werden kann.

Die astronomische Beobachtungskunst hat durch den Bau des 200''-Reflektors eine weitere Steigerung erfahren<sup>3</sup>. Der Spiegel von 5 m Durchmesser ist ein parabolisch geschliffener Konkavspiegel, dessen geschliffene Oberfläche an keiner Stelle von der Fläche eines Rotationsparaboloids um mehr als etwa ein Zehntel Wellenlänge abweicht. Seine Brennweite beträgt etwas weniger als 17 m. Diese kann durch Anbringung eines konvex geschliffenen Spiegels kurz vor dem Brennpunkt auf 82,5 m vergröÙert werden, ohne

<sup>1</sup> Siehe z. B. P. TEN BRUGGENCATE, *Naturwissenschaften* 24, 609 (1936); 25, 561 (1937).

<sup>2</sup> E. P. HUBBLE, *Observational Approach to Cosmology* (Oxford University Press, 1937).

<sup>3</sup> Vgl. hierzu kurze Berichte in *Publ. Astr. Soc. Pacific* 60, 215 ff. (1948).

daß die Baulänge des Instruments zunimmt. Eine besondere Kunst ist es, bei dem riesigen Glasblock, der trotz 115 auf der Rückseite angebrachten Aussparungen über 15 Tonnen wiegt, in jeder Lage des Fernrohrs eine Durchbiegung zu vermeiden. Würde der Spiegel nur an seinem Rand aufliegen, so würde bei horizontaler Lage in seiner Mitte eine Durchbiegung von  $125\lambda$  auftreten. (Beim 100"-Reflektor betrüge die entsprechende Durchbiegung  $12\lambda$ , beim 60"-Reflektor nur  $4\lambda$ ). Daß dies ein völlig unzulässiger Betrag ist, er-

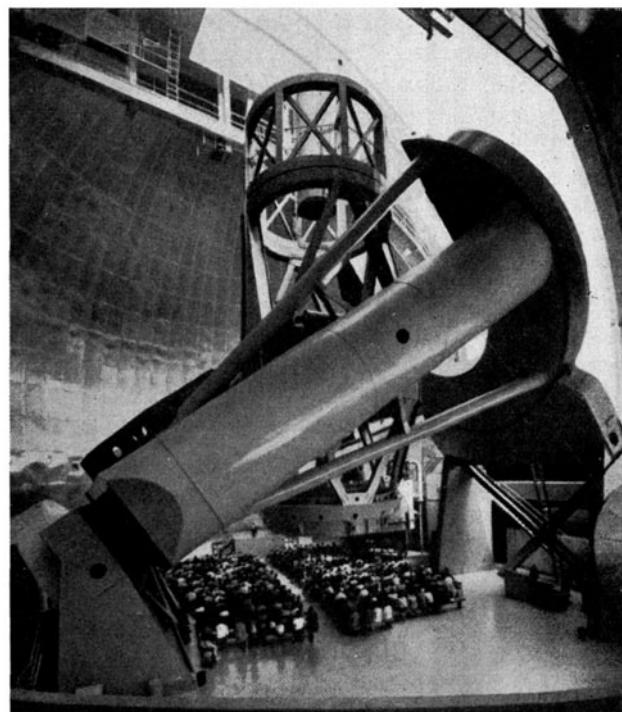


Abb. 8. Das Hale-Teleskop (200"-Reflektor). Rechts das Nordlager, auf dem das hufeisenförmig ausgebildete Nordende der Polachse ruht. Das Teleskop weist zum Zenit. Am unteren Ende erkennt man die Halterung des 5-m-Spiegels, am oberen Ende die Beobachtungskabine für Aufnahmen im Primärfokus.

Entn. aus GEORGE H. HERBIG, Publ. Astron. Soc. Pacific 60, 1948, Fig. zu S. 220.

kennt man sofort, wenn man ihn mit der beim Schliff des Spiegels erreichten Genauigkeit vergleicht. Das Instrument als Ganzes hat ein Gewicht von 500 Tonnen. Der Druck, den dieses Gewicht auf die Lager der Polachse ausübt, wird dadurch weitgehend aufgehoben, daß dauernd durch kleine Düsen an den Auflagestellen der Polachse mit hohem Druck Öl gepreßt wird. Das ganze Instrument schwimmt also sozusagen auf einer dünnen Ölfolie von etwa  $1/100$  mm Dicke, die dauernd zwischen der Polachse und ihren Auflagestellen aufrechterhalten wird. Hierdurch ist es möglich, das Rieseninstrument mit einem Motor von nur  $1/12$  PS der täglichen Bewegung der Sterne nachzuführen. Es ist selbstverständlich, daß bei einem solchen Instrument, das in Abb. 8 wiedergegeben ist, die letzten technischen Feinheiten für die Einstellung von Sternen, die Nachführung und ihre Kontrolle durch den Beobachter verwendet werden sind.

Das Instrument ist in einer halbkugelförmigen drehbaren Kuppel von 45 m Durchmesser und 1000 Tonnen Gewicht aufgestellt. Auch ist hierbei auf die technische Ausgestaltung dieser Kuppel größte Sorgfalt verwendet worden. Denn die relativ niedrige Temperatur, die im Kuppelraum während der Nacht beim Beobachten herrscht, soll während des darauffolgenden Tages praktisch erhaltenbleiben, damit die große Glasmasse des Spiegels keinen erheblichen Temperaturschwankungen ausgesetzt ist.

Mit dem 5-m-Spiegel sind wir vielleicht an der oberen Grenze für den Bau astronomischer Instrumente angelangt, nicht etwa aus technischen Gründen, wohl aber wegen der störenden Einflüsse der Erdatmosphäre. Denn auch in einer sternklaren Nacht unter kalifornischem Himmel sind die Schichten der Erdatmosphäre, die ja das Licht der Sterne durchsetzen muß, keineswegs vollkommen ruhig. Vielmehr sind so gut wie immer in hohen Schichten turbulente Strömungen vorhanden, die zeitliche und örtliche Schwankungen im Brechungsindex der Luft bewirken<sup>1</sup>. Diese Schichten sind für das Funkeln der Fixsterne, das man mit bloßem Auge wahrnimmt, verantwortlich. Sie begrenzen aber gleichzeitig die volle Ausnutzbarkeit eines Riesenteleskops.

Bei dem Versuch, die historische Entwicklung astronomischer Beobachtungskunst zu behandeln, konnte es sich nur um die Darstellung von Ausschnitten aus einer langen sich gegenseitig befruchtenden wissenschaftlichen und technischen Entwicklung handeln, die an vielen Stellen lückenhaft bleiben mußte. Es lag mir daran, zu zeigen, daß wissenschaftliche Fragen in der Regel nur durch langwierige Untersuchungen gelöst werden können. Wir leben aber in einer gehetzten, ungeduldigen und unduldsam gewordenen Zeit. Trotzdem wird selbstlose und geduldige Arbeit im Bewußtsein, oft nur die Lösung eines Problems für eine künftige Generation vorbereiten zu können, auch heute noch einer der besten Dienste an der Wissenschaft sein.

#### Summary

Three different astronomical problems are treated in some detail: (1) the measuring of a stellar parallax, (2) the structure of the stellar system, and (3) the world of the extragalactic nebulae.

The development of observational skill is sketched starting in the first problem from observations of TYCHO and culminating in the work of BESSEL. The construction of large reflecting telescopes has been much influenced by the second problem. In this connection the work of KAPTEYN is mentioned and the difficulties arising from interstellar absorption are treated. Great photometric skill is needed to surmount the difficulties. The same is true of the solution of the third problem. Here the work of HUBBLE and BAADE on the resolution of spiral nebulae and also the Mt. Wilson work on the red shift of the nebulae is treated. An outlook is given on the Hale telescope on Palomar Mountain and on some problems that may be solved with it.

<sup>1</sup> Vgl. z. B. A. DANJON und A. COUDER, *Lunettes at Télescopes*, p. 72 (Paris 1935).