

Die Entwicklung des Fernrohres.

Von

k. k. Regierungsrat Dr. Johann Palisa,

Vizedirektor der k. k. Sternwarte.

Vortrag, gehalten den 9. Februar 1916.

Mit 6 Abbildungen im Texte.

Das Fernrohr, eine der größten Errungenschaften des menschlichen Geistes, wurde im Jahre 1608 oder etwas früher durch Lipperhey und Metius in Holland erfunden. Als Galilei davon Kenntnis erhielt, dachte er, seiner eigenen Angabe zufolge, über die wahrscheinlichste Konstruktion nach und kam so zur Konstruktion des Linsensystems, das unter dem Namen des Galileischen Fernrohres bekannt ist und heute noch in der Form unserer Operngläser im Gebrauch steht. Eine andere Form des Fernrohres, welche in der Astronomie ausschließlich verwendet wird, wird das Keplersche Fernrohr genannt und es mögen daher zunächst die Prinzipien, auf denen dasselbe beruht und die den meisten wohl bekannt sein werden, in gedrängter Kürze wiederholt werden.

Die physikalische Grundlage des Fernrohres ist die Brechbarkeit der Lichtstrahlen beim Übergang von einem Medium in ein anderes, in unserem speziellen Falle von Luft in Glas und umgekehrt. Fällt ein Lichtstrahl auf eine ebengeschliffene Glasfläche auf, so ändert er nach dem Eintritt in den Glaskörper seine Richtung; man sagt: er wird gebrochen. Die an dem Einfallspunkte auf die Glasfläche gezogene Senkrechte heißt das Einfallslot, der Winkel zwischen Einfallslot

und dem Lichtstrahl der Einfallswinkel α und der zwischen der Fortsetzung des Einfallslotes und der neuen Richtung des Lichtstrahles der Brechungswinkel β . Zwischen Einfalls- und Brechungswinkel besteht die Relation $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$. n ist für jede Glassorte eine konstante Größe und heißt der Brechungsexponent. Wenn n der Brechungsexponent für den Übertritt eines Lichtstrahles von Luft in Glas ist, so ist $\frac{1}{n}$ der

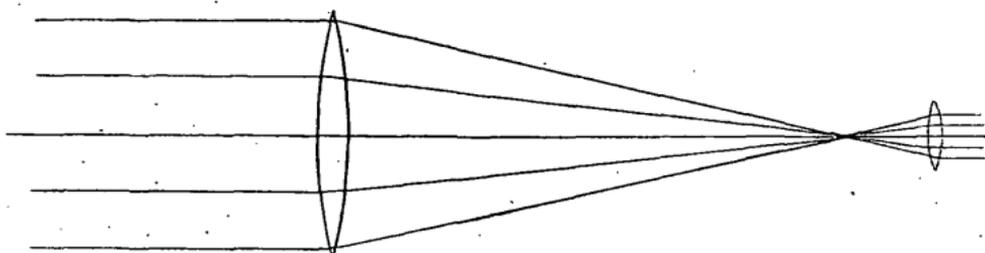


Fig. 1.

Brechungsexponent vom Übertritt von Glas in Luft. Mit Hilfe dieser Formel läßt sich also der Weg eines Lichtstrahles beim Durchgange durch einen Glaskörper berechnen.

Der wichtigste Bestandteil des Fernrohres ist die große oder Objektivlinse. Sie ist ein Glaskörper, dem zwei konvexe Kugelflächen angeschliffen sind. Ein Lichtstrahl, der senkrecht auf die Mitte des Objektivs fällt, geht ungebrochen durch dasselbe durch. Kommt dieser Lichtstrahl von einem weit entfernten Gegenstande her, so kann man die anderen von dem Gegen-

stande kommenden und das Objektiv treffenden Strahlen als untereinander parallel ansehen, was ja bei himmlischen Objekten in aller Strenge zutrifft. Diese anderen Strahlen stehen aber dort, wo sie die Objektivlinse treffen, nicht mehr senkrecht zur Objektivfläche und werden daher gebrochen. Die Wirkung der Linse ist nun, daß alle Strahlen sich nach dem Durchgange durch das Objektiv in einem Punkte, dem Brennpunkte, treffen und dann wieder auseinander streben. Die Entfernung des Brennpunktes vom Objektiv heißt die Brennweite. Wenn der Gegenstand nahe ist, dann tritt zwar auch eine Brechung der Lichtstrahlen ein, aber der Vereinigungspunkt liegt weiter vom Objektiv weg als der Brennpunkt.

Bevor ich in diesen Auseinandersetzungen fortfahre, will ich einiges über den Vorgang beim Sehen einschalten. Die Kristalllinse des Auges oder Augenlinse ist auch eine solche Objektivlinse und die von den einzelnen Punkten unserer Umgebung kommenden Lichtstrahlen werden wie beim Objektiv gebrochen und in einem Punkte vereinigt. Nur wenn diese Vereinigung auf der Netzhaut des Auges selbst erfolgt, findet deutliches Sehen statt. Da nun Gegenstände verschieden weit von dem Auge liegen können, so wäre ein deutliches Sehen nur in ganz bestimmten Entfernungen möglich, wenn nicht glücklicherweise das Auge die Eigenschaft hätte, die Krümmung der Augenlinse durch einen Muskel in bestimmten Grenzen zu ändern, so daß also auch bei verschiedenen Entfernungen der Ver-

einigungspunkt auf der Netzhaut zu liegen kommt und ein deutliches Sehen möglich ist. Man nennt diese Eigenschaft die Akkommodationsfähigkeit des Auges. Sie nimmt im Alter ab. Normale Augen sehen sowohl auf die größten Entfernungen, als auch auf etwa 10 Zentimeter Entfernung vom Auge scharf.

Wenn wir einen Gegenstand sehen wollen, so ist es ganz gleichgültig, wo wir uns aufstellen; wir sehen ihn von allen Seiten, wofern nicht ein undurchsichtiger Körper ihn verdeckt. Aber von den vielen Lichtstrahlen, die von ihm ausgehen, kommt nur ein ganz kleines Bündel, gerade so breit, als die Augenlinse passieren läßt, auf die Netzhaut. Auch die von einem Sterne kommenden und im Brennpunkte des Fernrohres zusammentreffenden Strahlen gehen wieder auseinander. Stellt sich nun das Auge in den sich so bildenden Strahlenkegel, so kann es im Brennpunkte des Fernrohres einen hellen Punkt, das sogenannte Bild des Sternes sehen, vorausgesetzt, daß es sich in deutlicher Sehweite vom Brennpunkte befindet. Man sieht aber auch ein, daß nicht alles durch das Objektiv gesammelte Licht in das Auge eintreten kann, sobald der Durchmesser des Strahlenkegels an der Eintrittsstelle ins Auge größer ist als diese. Die Aufgabe nun, alles von dem Objektiv gesammelte Licht nutzbar zu machen, erfüllt das Okular. Es ist in seiner einfachsten Form eine Sammellinse von kurzer Brennweite und so weit hinter den Brennpunkt des Objektivs gestellt, daß sein eigener Brennpunkt mit dem des Objektivs zusammenfällt.

In dieser Stellung des Okulars treten die das Okular verlassenden Strahlen parallel aus und werden, weil das Auge in diesem Falle für unendliche Entfernungen akkommodiert ist, auf der Netzhaut bequem in einem Punkte vereinigt. Aus der Figur 1 sieht man auch sofort, daß, je größer die Brennweite des Okulars ist, um so breiter der Durchmesser des austretenden Lichtbündels an der Eintrittsstelle in's Okular wird. Es wäre daher ganz unvorteilhaft, Okulare zu verwenden, deren Brennweite so groß wäre, daß der Durchmesser des austretenden Lichtbündels größer als der Durchmesser der Pupille ist, weil dann ebenso wie in dem kurz vorher angeführten Falle nicht alles vom Objektiv kommende Licht ins Auge treten kann. Es wäre genau so, als ob das Fernrohr ein Objektiv von kleinerem Durchmesser besäße oder das Objektiv abgeblendet würde. Eine ähnliche Wirkung tritt ein, wenn der an jedem Okular befindliche Deckel eine so kleine Öffnung besitzt, daß das Lichtbündel nicht vollständig durchgehen kann. Die hauptsächlichste Wirkung des Fernrohres besteht also darin, daß das große Lichtbündel, welches von einem Sterne kommt und den Durchmesser der Objektivlinse besitzt, in ein schmales Lichtbündel vom Durchmesser der Augenlinse zusammengezogen wird. Wenn man sich nun vergegenwärtigt, daß jeder Gegenstand eine bestimmte Lichtmenge ausstrahlen muß, um gesehen zu werden, und daher unsichtbar bleibt, wenn die Lichtmenge geringer ist, so begreift man, wieso es kommt, daß man mit dem Fern-

rohr Sterne sieht, die man mit freiem Auge nicht sehen kann. Man kann die Wirkung des Fernrohres auch damit vergleichen, daß es unserem Auge auf künstlichem Wege den Durchmesser des Objektivs verleiht.

Ich gehe nun zu dem Falle über, daß das Fernrohr nicht auf einen einfachen Punkt (Stern), sondern auf einen mit Fläche behafteten Gegenstand, ein entferntes Haus, den Mond oder auf zwei nahestehende Sterne gerichtet wird. Sie werden bemerkt haben, daß

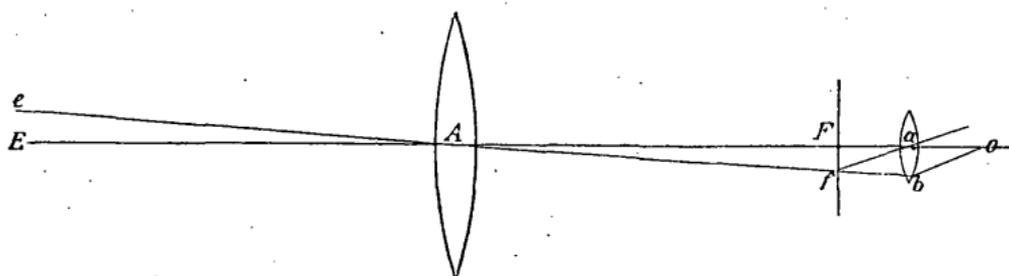


Fig. 2.

einzig und allein der auf die Mitte des Objektivs fallende Strahl ungebrochen das Objektiv passiert. Das gilt nahezu auch dann, wenn die Richtung der Strahlen einen nicht allzu großen Winkel mit der optischen Achse einschließt. Man nennt den die Mitte des Objektivs passierenden Strahl den Hauptstrahl. EA (Fig. 2) sei der Hauptstrahl, der vom Sterne E kommt und parallel zur optischen Achse ist, eA der Hauptstrahl von einem zweiten Stern. Wenn F der Brennpunkt des Objektivs ist, so brauchen wir jetzt nur eine Senkrechte durch F zur optischen Achse zu ziehen,

um in f , wo die Senkrechte den Hauptstrahl eA trifft, die Vereinigungsstelle aller von e kommenden Strahlen zu erhalten. Während aber der Hauptstrahl EAF ungebrochen durch das Okular durchgeht, wird der Hauptstrahl eAF , der bei b das Okular trifft, gebrochen. Um nun die neue Richtung kennen zu lernen, müssen wir uns erinnern, daß F auch der Brennpunkt des Okulars ist und daher alle von f kommenden Strahlen parallel zu einer Richtung aus dem Okular austreten, die gegeben ist durch die Linie fa . Der Hauptstrahl eAb schlägt den zu fa parallelen Weg bo ein. In o muß sich daher das Auge befinden, damit es alle durch das Fernrohr von den Sternen kommenden Strahlen in dasselbe eintreten sieht. Ohne Fernrohr sieht der Beobachter die beiden Sterne unter dem Winkel $E Ae = F Af$, durch das Fernrohr aber unter dem Winkel $aOb = F af$. Nun ist aber $F af$ größer als $E Ae$. Der Beobachter sieht also die beiden Sterne unter einem größeren Winkel als mit freiem Auge. Das Verhältnis dieser Winkel ist die Vergrößerung. Da die vorkommenden Winkel immer klein sind, so kann man die Proportion aufstellen: $F Af : F af = aF : AF$ oder die Vergrößerung ist $\frac{AF}{aF}$. Das heißt: die Vergrößerung ist gleich der Brennweite des Objektivs dividiert durch die Brennweite des Okulars. Dieser Satz sagt nun zweierlei. Erstens: wenn der Nenner unverändert bleibt, das heißt, wenn die Brennweite des Okulars sich nicht ändert, oder wenn wir stets dasselbe Okular

anwenden, ändert sich die Vergrößerung proportional der Brennweite des Objektivs. Stehen mir verschiedene Fernrohre zur Verfügung, deren Brennweiten sich wie $1 : 2 : 3$ usw. verhalten, so werden sich auch die Vergrößerungen bei Anwendung desselben Okulars wie $1 : 2 : 3$ usw. verhalten. Zweitens: wenn der Zähler unverändert bleibt, das heißt bei einem und demselben Fernrohr, wachsen die Vergrößerungen in demselben Verhältnisse, als die Brennweiten der Okulare abnehmen, also sie erreichen den 2-, 3-, 4fachen Wert, wenn die Brennweiten der Okulare auf die Hälfte, das Drittel, das Viertel zurückgehen. Man kann also durch Anwendung verschiedener Okulare verschieden starke Vergrößerungen bei ein und demselben Fernrohr erhalten. Wenn das auch theoretisch richtig ist, so gibt es in der Wirklichkeit doch eine Grenze, die teils durch die Unvollkommenheit aller menschlichen Erzeugnisse, teils aber durch die infolge der Bewegung der Luft eintretende Unruhe der Sternbilder gezogen wird. Diese Unruhe wird hauptsächlich durch die ungleichen Temperaturen hervorgerufen, welche die verschiedenen von den Lichtstrahlen zu passierenden Luftschichten besitzen. Eine tausendfache Vergrößerung anzuwenden ist äußerst selten möglich. Aus dem Vorhergesagten geht auch hervor, daß die oft gestellte Frage, wie vielfach dieses oder jenes Fernrohr vergrößert, eine positive Antwort nur dann zuläßt, wenn dem Fernrohr nur ein Okular beigegeben ist, wie z. B. bei den gewöhnlichen Feldstechern u. dgl.

Die Fläche, die wir beim Sehen auf einmal überblicken, ist das Gesichtsfeld des Auges und wird durch den Winkel bestimmt, den die von den äußersten noch wahrnehmbaren Gegenständen kommenden Lichtstrahlen am Auge bilden. Das Gesichtsfeld des Auges erreicht fast 160 Grad, aber es dürfte nicht jedermann sich dessen bewußt sein, daß wir beim Sehen nur einzig allein den Punkt vollkommen scharf sehen, auf den die Augenachse gerichtet ist; kleine Änderungen in der nächsten Nachbarschaft des Auges werden schon nicht mehr erkannt. Folgendes Experiment wird Ihnen das klar machen. Geradeaus sehend fassen Sie irgendeinen Punkt A fest ins Auge. Strecken Sie jetzt eine Hand so aus, daß ihre Richtung zu A einen rechten Winkel bildet. Sie werden von Ihrer Hand nichts sehen. Wenn Sie aber nur ein wenig die Hand nach vorne bewegen, nehmen Sie dieselbe wahr, aber wie undeutlich! An einem Finger Ihrer Hand sei ein Ring. Nun passen Sie auf, wie weit Sie die Hand herüberdrehen müssen, bis Sie zum Bewußtsein kommen, daß etwas Gelbes auf Ihrem Finger sitzt. Es dürfte bei 10 Grad Abstand von A der Fall sein; aber wenn Sie auch den Ring erkennen, so müssen Sie sich gestehen, daß Sie ihn noch immer nicht scharf sehen. Unser Auge ist also lange nicht so vollkommen, wie allgemein geglaubt wird. Nur dadurch, daß wir fast unbewußt die Augenachse fortwährend in die gewollte Richtung bringen können, glauben wir, über ein größeres Gesichtsfeld zu verfügen, in dem wir scharf sehen.

Beim Beobachten am Fernrohr ist nur ein scharf begrenzter Teil des Himmels im Okular sichtbar. Wir nennen denselben das Gesichtsfeld und bestimmen es durch die Angabe des Winkels, den zwei an entgegengesetzten Stellen des Gesichtsfeldes stehende Sterne, mit freiem Auge gesehen, bilden. Das Gesichtsfeld ändert sich mit den Okularen. Okulare mit großer Brennweite und daher schwacher Vergrößerung haben ein großes Gesichtsfeld, solche mit starker Vergrößerung ein kleines. Es leuchtet ja auch sofort ein, daß z. B. ein Gesichtsfeld von einem Grad bei 360facher Vergrößerung ein Unsinn ist, denn das würde sagen, daß die Hälfte des Gesichtsfeldes sich hinter dem Kopfe des Beobachters befindet.

Das astronomische Fernrohr war in seiner ursprünglichen Gestalt noch sehr unvollkommen. Der bei weitem größte und ausschlaggebendste Fehler bestand darin, daß es nicht achromatisch war. Mehr als hundert Jahre dauerte es, bis das erste Fernrohr hergestellt wurde, das diesen Fehler nicht hatte, und noch mehrere Jahrzehnte vergingen, bis auf Grund der Studien Fraunhofers die wissenschaftliche Grundlage gefunden war, um achromatische Objektive mit Sicherheit herzustellen.

Mit Hilfe eines Schirmes, in dem ein kleines Loch vorhanden ist, läßt sich aus den Lichtstrahlen eines nach allen Richtungen leuchtenden Punktes ein einzelner Strahl isolieren. Läßt man einen weißen, auf diese Weise isolierten Strahl auf ein Glasprisma

auffallen und versucht ihn dann nach dem Durchgange durch das Prisma auf einem weißen Schirm aufzufangen, so hat er, wie wir bereits wissen, seine Richtung geändert, aber außerdem erscheint er nicht, wie man vielleicht erwarten möchte, auf dem Schirm als weißer Punkt, sondern als eine Linie, die an dem einen Ende rot, dann gelb, grün, blau und zuletzt violett gefärbt ist. Die so zustande gekommene farbige Linie ist aber in der Regel so schmal und so lichtschwach, daß man an ihr genauere Beobachtungen kaum machen kann. Deshalb verwendet man zu diesen Experimenten statt des Loches einen Spalt, wobei die Längsrichtung des Spaltes parallel zur Kante des Prismas sich befinden muß. Durch entsprechende Aufstellung von Sammellinsen läßt sich nun erzielen, daß die von jedem Punkte des Spaltes kommenden und auch auseinander gehenden Lichtstrahlen in einer senkrecht zum Spalt stehenden farbigen Linie auf dem weißen Schirm vereinigt werden, sowie daß die von jedem Punkte des Spaltes erzeugten Linien nebeneinander auf dem Schirm erscheinen und so ein breites und helles farbiges Band darstellen. Die farbige Linie, beziehungsweise das farbiges Band, heißt das Spektrum des leuchtenden Körpers. Wir sagen, daß der weiße Lichtstrahl in seine Bestandteile zerlegt worden ist. Durch ein gleichgestaltetes, aus derselben Glassorte bestehendes zweites und entsprechend aufgestelltes Prisma sind wir in der Lage, die farbigen Bestandteile wieder zu weißem Lichte zu vereinigen.

Man nennt die Zerlegung des weißen und überhaupt eines jeden Lichtes in seine Bestandteile Dispersion oder Farbenzerstreuung. Sie rührt daher, daß von allen Glassorten rotes Licht schwächer als violettes gebrochen wird, oder mit anderen Worten, daß der Brechungsexponent von Rot gegen Violett immer mehr von dem Werte „Eins“, bei welchem die Brechung Null ist, abweicht. Beim Objektiv ist das Endresultat dieser Eigenschaft des Glases, daß die Vereinigung der Lichtstrahlen nicht mehr in einem Punkte erfolgt, sondern auf einer Linie VR (Fig. 3), längs der optischen Achse. Die Vereinigung der violetten Strahlen erfolgt zuerst (in V), dann kommen die anderen Farben blau, grün, gelb und endlich (in R) die roten Strahlen.

Ist nun das Okular so gestellt, daß sein Brennpunkt in V liegt, so sieht der Beob-

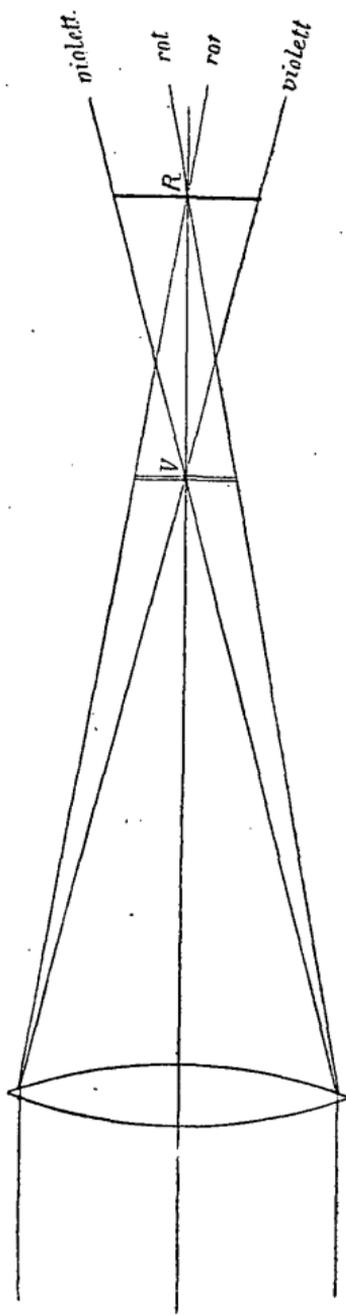


Fig. 3.

achter ein farbiges Scheibchen (Querschnitt durch den Strahlenkegel), das in der Mitte am hellsten ist und gegen den Rand zu immer schwächer wird. Die Mitte ist violett und gegen den Rand zu folgen die anderen Farben bis Rot. Fällt aber der Brennpunkt des Okulars mit R zusammen, so sieht man gleichfalls ein Scheibchen, dessen Mitte aber rot ist und die anderen Farben in umgekehrter Reihenfolge aufweist. Stellt man endlich das Okular in die Mitte der beiden eben angeführten Stellungen, so erhält das Scheibchen seinen kleinsten Durchmesser. Die Farbe ist zwar keine einheitliche, aber nähert sich am meisten dem Weiß. Angenommen, wir hätten zwei Objektive von gleich großer Objektivöffnung, aber von sehr verschiedener Brennweite, so ist klar, daß bei dem Objektiv mit der großen Brennweite die früher erwähnten Scheibchen bei V und R bedeutend kleiner sein werden als bei dem andern Objektiv, weil ja der Winkel, den die Randstrahlen des Strahlenkegels einschließen, immer spitzer wird. Auch das Scheibchen, das zwischen V und R liegt, wird kleiner, die Farben mischen sich besser und man erhält den Eindruck eines weißen Sternes. Wir haben also ein angenähert achromatisches Objektiv vor uns. In jenen ersten Zeiten, wo man noch nicht achromatische Objektive zu erzeugen verstand, sah man sich daher genötigt, zu langen Brennweiten seine Zuflucht zu nehmen, und so entstanden Fernrohre von 30 bis 40 Fuß Länge bei nur kleinen, wenige Zoll messenden Objektivöffnungen. Nun müssen aber die

optischen Achsen von Objektiv und Okular immer zusammenfallen und das ist nur möglich, wenn Objektiv und Okular fest miteinander verbunden sind. Das wird bei unseren jetzigen Fernrohren durch das Rohr erreicht. Anders war es aber in jenen ersten Zeiten. Es muß unsere Bewunderung hervorrufen, wie eine solche brauchbare Verbindung hergestellt wurde, und noch mehr, wie mit solchen Ungetümen hantiert werden konnte.

Es dauerte hundert Jahre, bis eine Entdeckung einen weiteren Fortschritt ermöglichte. Fertigt man aus zwei verschiedenen Glassorten, z. B. Flintglas und Kronglas, Prismen an, so kann man durch Änderung des Winkels, welchen die beiden vom Licht passierten Flächen einschließen, des sogenannten brechenden Winkels, es dahin bringen, daß das auf dem weißen Schirm erzeugte Spektrum bei jedem dieser Prismen gleich lang wird, aber gleichzeitig stellt sich die überaus wichtige Tatsache ein, daß das Spektrum nicht mehr an den gleichen Stellen des Schirmes erscheint. Man kann sagen, daß das ganze Spektrum verschieden stark gebrochen wurde. Stellt man nun die Prismen hintereinander und so auf, daß bei dem einen die Kante oben, bei dem andern sich unten befindet, so wird wohl die Farbenzerstreuung aufgehoben, aber nicht die Brechung. Ein Teil der letzteren bleibt erhalten und auf dem Schirm wird man ein Bild des Spaltes in weißem Lichte an einer andern Stelle des Schirmes erblicken, als wenn die beiden Prismen nicht vorhanden

wären. Diese Entdeckung führte zu dem Gedanken, eine Sammellinse mit einer Zerstreuungslinse aus verschiedenen Glassorten zu kombinieren, so daß die Farbenzerstreuung der ersten vollständig aufgehoben wird, die Brechung aber zum Teil erhalten bleibt.

Der englische Optiker Dollond war es, der im Jahre 1757 einen derartigen Versuch mit Prismen durchführte, und ein Jahr darauf gelang es ihm, die erste Doppellinse zu konstruieren, bei welcher die Brennpunkte der verschiedenen Farben zusammenfielen und die also farbenfreie Bilder gab. Man nennt solche Linsen achromatische Linsen.

Rasch verbreitete sich der Ruf der Dollondschen Objektive in alle Welt; sie erweckten das größte Erstaunen, aber auch das Bestreben, das Geheimnis der Konstruktion dieser Gläser kennen zu lernen, um solche Objektive anderweitig herzustellen. Insbesondere waren die französischen Gelehrten durch diesen Fall in die größte Aufregung versetzt worden. Ein achromatisches Fernrohr von Dollond wurde von ihnen unter der Hand besorgt, auseinandergenommen, jede Linse genau untersucht, aber als man die einzelnen Gläser wieder zusammengesetzt hatte, war kein schönes Bild zu bekommen und das Fernrohr mußte wieder nach England wandern. Dollond und sein Sohn besaßen lange Zeit eine Art Monopol für die Erzeugung guter achromatischer Objektive, in erster Linie deshalb, weil die Herstellung des Flintglases, aus dem eine der beiden Linsen bestehen mußte, mehr oder weniger ein Geheimnis der

Fabrik von Russel war, welche aus Patriotismus die besten Stücke Flintglas an Dollond und nur minderwertiges Material an das Ausland abtrat, dann aber auch, weil Dollonds die meiste Erfahrung besaßen. Übrigens muß hier gesagt werden, daß die Erzeugung eines guten und brauchbaren Flintglases stark vom Zufalle abhing, weil man die Bedingungen für das sichere Gelingen des Schmelzprozesses damals noch nicht kannte. So ist es erklärlich, daß Flintglasstücke von größerem Durchmesser als $3\frac{3}{4}$ englische Zoll nicht erhältlich waren und daß Dollond nur ein einziges Objektiv von 5 Zoll anfertigen konnte.

Die Möglichkeit der Herstellung eines achromatischen Objektivs war also durch Dollond bewiesen worden, aber das wirkliche Gelingen hing doch immer noch von Zufälligkeiten ab. Der nächste wesentliche Schritt erfolgte in Bayern. Der bayrische Hauptmann Reichenbach war von England zurückgekehrt, wo ihn die Erzeugung genauer astronomischer und geodätischer Instrumente aufs höchste angeregt hatte, so daß er beschloß, die Fabrikation solcher Instrumente in München einzuführen. Mit dem tüchtigen Mechaniker und Uhrmacher Liebherr und dann mit Utzschneider, der selbst ein guter Techniker war und außerdem über Geldmittel verfügte, gründete er im Jahre 1804 die Firma Utzschneider, Reichenbach und Liebherr. Da wegen der Kontinentalsperre achromatische Objektive aus England nicht erhältlich waren, entschloß sich die Firma, selbst an diese Aufgabe heranzutreten. Sie

engagierte den Schweizer Uhrmacher Guinand, welcher schon früher brauchbares Flintglas geschmolzen hatte, und den Glasschleifer Niggl. Da aber auch diesen die wissenschaftlichen Grundlagen fehlten, so war es immer noch ein Zufall, wenn eine Schmelze und ein Objektiv glückte. Die Sachlage änderte sich, als sich Utzschneider des armen Glaserlehrlings Fraunhofer erinnerte, den König Max aus dem Schutte eines eingestürzten Hauses gerettet hatte und den Utzschneider nach eingehender Prüfung durch den Astronomen Schiepp als Optiker der Anstalt anstellte. Die Nachfrage nach optischen Instrumenten wurde immer größer, so daß die Münchner Werkstätte nicht mehr ausreichte. Utzschneider übersiedelte mit derselben nach Benediktbeuren, wohin schon früher die Glasschmelzerei verlegt worden war. Hier überflügelte Fraunhofer sehr bald seinen Kollegen Niggl. Er ersann neue Methoden, um die Glasmassen auf ihre Brauchbarkeit zu untersuchen, wobei sich herausstellte, daß nicht nur die französischen und englischen Gläser, sondern auch die bayrischen noch mangelhaft waren. Da Guinands Glasschmelzen häufig mißlingen, so beauftragte Utzschneider Fraunhofer, der die auf ihn gesetzten Hoffnungen vollständig erfüllt hatte, auch die Leitung dieses Teiles in die Hand zu nehmen. Schon die zweite Schmelze gelang Fraunhofer vollständig. Die dritte war nahe daran zu mißlingen, aber Fraunhofer erriet bald den Grund hievon. Von nun an mißlang kein Schmelzversuch mehr. Guinand verließ, nachdem er von Fraunhofer homogenes Flint-

glas zu erzeugen gelernt hatte, Utzschneiders Institut und übersiedelte nach Frankreich. Fraunhofer erfand weiters den Rührapparat, durch welchen die Glasmasse während des Schmelzens fortwährend durchgeknetet wird, so daß die verschiedenen Zusätze gleichmäßig durch die ganze Masse verteilt werden. Denn nur so kann erzielt werden, daß in jedem Teile des fertigen Glasstückes die Lichtstrahlen dieselben Brechungsbedingungen antreffen, und nur dann ist es möglich, die richtigen Oberflächen der Linsen, welche nur kugelförmige sein können, durch Rechnung zu ermitteln und der Rechnung gemäß zu schleifen.

Fraunhofer verbesserte auch die Erzeugung des Kronglases, ferner erfand er Schleif- und Poliermaschinen, durch welche die Unsicherheit des Gelingens der Oberflächen vollständig beseitigt wurde. Alle Erfindungen, welche sich auf das Schmelzen und das Schleifen des Glases bezogen, wurden sorgfältig als Geheimnis gehütet und erst nach und nach wurde die Kenntnis derselben durch Arbeiter, die den Dienst verließen, in andere Länder getragen. Bereits im Jahre 1811, in demselben, in welchem Fraunhofer die Leitung des Schmelzprozesses übernommen hatte, schuf er aus seinem neuen Glase ein Objektiv von $7\frac{1}{2}$ Zoll für Neapel.

Es ist nicht bekannt, ob Dollond und Niggel auf Grund von Rechnungen oder nach gelungenen Modellen oder nach praktischen Erfahrungen ihre Objektive schliffen; jedenfalls war Fraunhofer bestrebt, die wissen-

schaftlichen Grundlagen der Objektivschleiferei festzulegen und sie vollkommener zu gestalten. Zu diesem Zwecke mußte er für die zu verwendenden Glassorten die Brechungsexponenten der verschiedenen Farben des Spektrums durch Beobachtung im Spektrometer bestimmen. Dann konnten die Krümmungsradien der Oberflächen der beiden Linsen berechnet und so das Ziel erreicht werden, daß alle farbigen Strahlen einen gemeinschaftlichen Brennpunkt haben. Da trat nun eine große Schwierigkeit auf. Die Bestimmung der Brechungsexponenten erfolgte im Laboratorium und als Lichtquelle zur Erzeugung des Spektrums diente ihm das Licht einer Lampe oder Kerze. In einem solchen Spektrum gehen nun die Farben kontinuierlich ineinander über; man kann nicht erkennen, wo z. B. Rot aufhört und Gelb anfängt. Hatte also Fraunhofer für eine Stelle im Rot den Brechungsexponenten für die eine Glassorte bestimmt, so blieb er vollständig im Ungewissen, ob er bei Wiederholung der Messung an der andern Glassorte auch wirklich dieselbe Stelle des Spektrums der Beobachtung unterzogen habe. Das Spektrum des Lampenlichtes hat eben keine besonders markierten Stellen. Als aber Fraunhofer einmal Sonnenlicht verwendete, fand er das Sonnenspektrum von mehreren auffallend dunklen Linien durchzogen, die dann nach ihm die Fraunhoferschen Linien genannt wurden. Und diese Linien boten ihm nun das, was er wünschte und brauchte, feste Anhaltspunkte im Spektrum. Er benannte die auffallendsten mit den Buch-

staben *A* bis *H*. Nun hatte er eine feste Grundlage zur Berechnung der Krümmungsradien seiner Gläser. Damit war die Hauptschwierigkeit endgültig beseitigt; es blieben zwar noch andere Fehler übrig, wie sphärische Aberration, Astigmatismus und sekundäres Spektrum, aber diese besaßen bei weitem nicht die Bedeutung des chromatischen Fehlers. Das größte Objektiv, welches Fraunhofer herstellte, hatte neun Zoll im Durchmesser, war ursprünglich für Göttingen bestimmt, kam aber nach Dorpat in Rußland. Es machte das größte Aufsehen in der ganzen astronomischen Welt.

Als die Nachricht von diesem Fernrohr nach England kam, erklärten die englischen Gelehrten es einfach für unmöglich, ein so großes Objektiv zu konstruieren. Sie kannten eben nur ihren Dollond. Nachdem jedoch Struve eine Beschreibung des Instrumentes eingesandt und durch Mitteilung von Beobachtungen ein gültiges Zeugnis über die Vollkommenheit des Fernrohrs beigebracht hatte, mußten sie daran glauben, und es berührte sie schmerzlich, daß das Monopol, welches sie so lange inne gehabt hatten, nach Deutschland gewandert war. Fraunhofer starb 1826, leider viel zu früh. Er hatte seinen Gehilfen Georg Merz in alle seine Geheimnisse des Glasschliffes, aber nicht in die der Fabrikation des Glases eingeweiht und so war die Verlegenheit groß. Allein Merz besiegte diese Schwierigkeit und 1834 wurde ein $10\frac{1}{2}$ -zölliges Objektiv für München fertig. Gezahlt wurden dafür 20.000 fl. Die Schmelzversuche aber, welche unter-

nommen werden mußten, kosteten 90.000 fl. 1839 lieferte Merz ein 15zölliges Objektiv nach Pulkowa, welches durch viele Jahre das größte Objektiv der Welt blieb. Ja es entwickelte sich der Glaube, daß diese Dimension schon die Grenze des Erreichbaren bedeute, und dieser Glaube mag mit ein Grund gewesen sein, daß lange Zeit ein wesentlicher Fortschritt nicht zu verzeichnen war.

Guinand war, nachdem an seiner Stelle Fraunhofer die Leitung des Schmelzprozesses übernommen und er von diesem gelernt hatte, Flintglas zu erzeugen, nach Frankreich übersiedelt. Im Jahre 1848 wurde Bontemps, ein Mitarbeiter Guinands, aus Frankreich vertrieben und trat in der großen Glasgießerei Chance Brothers & Co. bei Birmingham ein und da ihm hier sehr reichliche Mittel zur Verfügung standen, gelang es ihm mit der Zeit, Glasplatten von außerordentlicher Größe zu erzielen. Fast gleichzeitig gelangte auch die Firma Feil in Paris zu großem Ansehen, welche Glasscheiben lieferte, aus denen die Objektive mehrerer der bekanntesten Riesenfernrohre geschliffen wurden. Hier ist auch der Ort, des Künstlers zu gedenken, welcher in den sechziger und siebziger Jahren fast ausschließlich diese großen Scheiben zu Objektiven umarbeitete und dem sein Sohn in den achtziger und neunziger Jahren würdig nachfolgte. Es ist Alvan Clark in Cambridgeport bei Boston gewesen.

Ich will nun einige der wichtigsten dieser Fernrohre hier anführen:

Jahr	Öffnung	Aufstellungsort	Verfertiger	
			des Objektivs	der Montierung
1863	47 cm	Chicago	Clark	Clark
1868	63 "	Cambridge, Engl.	Cooke & Sons	Cooke & Sons
1871	66 "	Washington	Clark	Clark
1882	68 "	Wien	Grubb	Grubb
1885	76 "	Pulkowa	Clark	Repsold
1888	91 "	Lick-Sternwarte	Clark	Warner & Swassey
1889	77 "	Nizza	Henry	Gautier
1897	102 "	Yerkes-Sternwarte	Clark	Warner & Swassey

Dieser Liste wäre noch das für die Pariser Weltausstellung 1900 bestimmte Fernrohr hinzuzufügen, dessen Öffnung 125 Zentimeter betrug. Dasselbe mußte aber im nicht ganz vollendeten Zustande abgeliefert werden, und die tadellose Fertigstellung scheint aus Mangel an Geldmitteln überhaupt nicht mehr vorgenommen worden zu sein, denn man hat nichts mehr von diesem Fernrohr gehört.

Während früher die Erzeugung der Flintglaslinse Schwierigkeiten geboten hatte, war es später die Herstellung der Kronglaslinse. So z. B. soll die Herstellung der Kronglaslinse für das Wiener Objektiv 22 Güsse erfordert haben und aus diesem Grunde erfolgte die Fertigstellung des Instrumentes um beiläufig fünf Jahre später, als vereinbart war.

In obiger Liste sind nur jene Instrumente angeführt, welche Marksteine auf dem Gebiete der Entwicklung des Fernrohres vorstellen. Gegenwärtig ist besonders in Amerika eine große Zahl von Fernrohren

in Tätigkeit, welche dem Wiener Instrument an Größe gleichkommen. Nach der Fertigstellung des Objektivs für die Yerkes-Sternwarte, des größten gelungenen Objektivs, soll sich Clark geäußert haben, daß ein Weiterschreiten in dieser Richtung vorläufig nicht mehr möglich sei, weil sich bereits bei dem zuletzt genannten Objektiv der Einfluß der Schwere in Form von Durchbiegungen bemerkbar macht. Das Objektiv zeigte nämlich in der Zenithlage anders als in der Horizontallage. Das bereits erwähnte Pariser Ausstellungsobjektiv wurde daher horizontal gelagert und ein ihm vorgesetzter Spiegel sollte das Licht in das Objektiv werfen. Ob viel damit gewonnen worden wäre, läßt sich natürlich nicht sagen, weil ja erstens durch die Reflexion am Spiegel ein Lichtverlust eintritt, und zweitens weil sich auch beim Spiegel, der in verschiedene Stellungen gegen den Horizont kommen muß, ähnliche Einflüsse durch die Schwere einstellen können.

Die Erzeugung großer Glasmassen war also nach England und Frankreich übergegangen. Erst in den neunziger Jahren wurden auch in Deutschland energische Versuche gemacht, um hier wieder die Führung zu erobern. Es wurde auf Betreiben von Professor Abbe in Jena und mit Unterstützung der deutschen Regierung durch Dr. Schott eine Glasschmelzerei gegründet und fast gleichzeitig und gleichfalls auf Anregung von Professor Abbe entstand die Firma Carl Zeiss, welche die von Schott gegosseneu Gläser zur Herstellung

optischer Instrumente in die Hand nahm. Die Firma Schott lieferte die Glasscheiben für das große Potsdamer Objektiv von 80 Zentimeter und später für Hamburg ein Objektiv von 60 und für Berlin eines von 65 Zentimetern Öffnung.

Als in den achtziger Jahren die Photographie infolge der Erfindung der Trockenplatte und der durch sie ermöglichten Daueraufnahmen ihren eigentlichen Einzug in die Astronomie feierte, war es notwendig, eigene Objektive zu konstruieren. Diese Notwendigkeit wäre entfallen, wenn der Achromatismus der bisherigen Objektive vollkommen gewesen wäre. Das war aber nicht der Fall. Bei dem bisher angeführten Experiment mit dem Flint- und Kronglasprisma tritt nämlich etwas auf, was an jener Stelle nicht erwähnt zu werden brauchte. Wenn die Entfernung zweier auf dem Schirm sichtbaren Fraunhoferschen Linien z. B. *C* und *F* gleich groß gemacht wird, so wird z. B. die Entfernung der Linie *D* von *C* in den beiden Spektren äußerst selten die gleiche sein. Noch stärker werden die Unterschiede für die in Blau liegenden Linien *G* und *H*. Das hat nun zur Folge, daß ein vollkommener Achromatismus mit solchen Gläsern nicht zu erreichen ist. Da nun das blaue Licht dem Auge dunkler erscheint als Rot, Gelb und Grün, so begnügte man sich, den Achromatismus nur für die letzten Farben herzustellen. Die Sternbilder der hellen Sterne zeigen dann einen schwachen blauen Hof, der aber nicht stört und daher unschädlich ist. Man nennt diesen Mangel des Achromatis-

mus den Fehler des sekundären Spektrums. Beim Photographieren sind es aber gerade die blauen und violetten Strahlen, die den stärksten Eindruck auf der photographischen Platte hervorbringen, während z. B. rotes Licht, wie die Verwendung desselben in der Dunkelkammer zeigt, die photographische Platte im allgemeinen gar nicht angreift. Aus diesen Gründen müssen Objektive, die zur Himmelsphotographie verwendet werden sollen, für Blau und Violett achromatisiert sein. Die Folge dieses Verhältnisses ist, daß man mit einem Fernrohr, welches zu Beobachtungen mit dem Auge bestimmt ist, im allgemeinen nicht photographieren und ebenso mit einem Fernrohr, das der Himmelsphotographie dienen soll, keine visuellen Beobachtungen machen kann. In Jena ist es zwar gelungen Glassorten zu erzeugen, die vollkommen achromatische Objektive herzustellen gestatten und sich daher für beide Beobachtungsarten eignen; aber dieselben sind zum Teil nicht wetterfest, d. i. sie verlieren infolge der Zersetzung an der Luft die Politur und werden mit der Zeit blind; auch ist es noch nicht gelungen, größere Scheiben solchen Glases zu gießen, und endlich sind solche Gläser außerordentlich teuer. Bei photographischen Aufnahmen ist es notwendig, die richtige Stellung des durch ein Uhrwerk den Sternen nachgeführten Fernrohres durch Beobachtung mit dem Auge zu kontrollieren. Diese Kontrolle geschieht mit Hilfe eines visuellen Fernrohres, das mit dem photographischen unveränderlich verbunden ist. Man braucht hier also

ohnehin ein zweites, dem ersten nahezu ebenbürtiges Objektiv mit visueller Achromasie und damit entfällt der Vorteil, den ein vollkommen achromatisches, sogenanntes apochromatisches Objektiv bieten würde. Das große Potsdamer Objektiv von 80 Zentimetern ist ein photographisches; das mit demselben verbundene optische Objektiv mißt 50 Zentimeter.

Bei den bisher besprochenen Fernrohren wird das Bild des Objektes durch Brechung (Refraktion) in

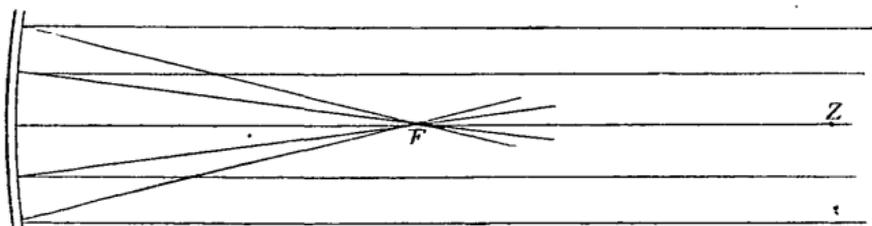


Fig. 4.

Glaslinsen erzeugt und sie heißen daher auch kurz Refraktoren; es gibt aber noch eine zweite Art von Fernrohren, Reflektoren oder Spiegelteleskope, bei denen das Bild durch Zurückwerfung (Reflexion) des Lichtes entsteht. Da aber bei der Reflexion keine Zerlegung in Farben eintritt, so ist der Achromatismus eines Spiegelteleskops als vollkommen zu bezeichnen. Die großen Schwierigkeiten oder vielmehr die scheinbare Unmöglichkeit, achromatische Objektive herzustellen, veranlaßten Newton und Gregory, das von Nikolaus Zucchius erfundene Spiegelteleskop in die Astronomie einzuführen. Ich will nun in gedrängter Weise die

Prinzipien, auf denen diese Konstruktion beruht, anführen.

Fallen auf einen konkav (hohl) geschliffenen sphärischen Spiegel (Fig. 4) parallele Lichtstrahlen auf, so werden dieselben im Brennpunkte F vereinigt, der

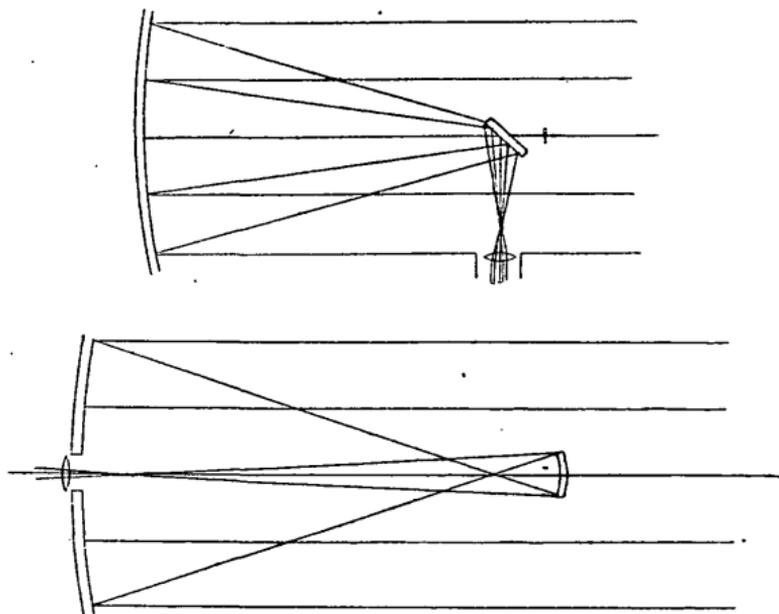


Fig. 5. und 6.

in der Mitte zwischen der Spiegelfläche und dem Krümmungsmittelpunkte Z liegt. Soll eine absolut genaue Vereinigung der Strahlen stattfinden, so muß der Querschnitt des Spiegels eine Parabel und nicht ein Kreis sein. Solche parabolische Spiegel herzustellen ist jedoch erst in der letzten Zeit gelungen. Da das Anbringen eines Okulars bei F den Beobachter zwingen würde, sich mit seinem eigenen Körper in den Weg

der von außen kommenden Lichtstrahlen zu stellen, so mußte den Strahlen nach der Reflexion ein anderer Weg gewiesen werden. Newton stellte zu diesem Zwecke kurz vor der Vereinigung der Strahlen im Brennpunkte einen kleinen ebenen Spiegel auf, welcher die Lichtstrahlen gegen die Wand des Instruments warf, so daß die Vereinigung seitwärts erfolgte (Fig. 5). Hier konnte nun das Okular in einer Durchbohrung der Wand angebracht werden.

Gregory fing die Lichtstrahlen, nachdem sie den Brennpunkt bereits passiert hatten, mit einem kleinen Konkavspiegel auf, der sie dann gegen das Spiegelzentrum so warf, daß sie sich in dessen Nähe vereinigten (Fig. 6). Das Zentrum des großen Spiegels durchbohrte Gregory und schuf so einen Weg für die Lichtstrahlen und den Platz für das Okular.

Cassegrain änderte das Gregorische System insofern, als er dem kleinen Spiegel eine konvexe Form gab und denselben vor dem Brennpunkte aufstellte. Dadurch wurde das Instrument kürzer.

Die Newtonsche Form erfordert, daß der Beobachter sich am oberen Ende des Instruments aufstelle, gleichgültig, wohin auch das Instrument gerichtet wird. Wenn die Erfüllung dieser Anforderung bei kleinen Instrumenten nicht besonders schwer fällt, so wächst diese Schwierigkeit ungemein bei großen und daher langen Instrumenten dieser Art und erfordert eigene, sehr komplizierte Einrichtungen. Dieser Nachteil fällt bei der Cassegrainschen Form weg,

für die aber wiederum die Durchbohrung des großen Spiegels eine gefährliche Sache bleibt. Allen bis jetzt konstruierten Spiegelteleskopen aber haftet der Nachteil an, daß das Gesichtsfeld im Vergleich zu dem der Refraktoren sehr klein ist.

Die Spiegel wurden bis etwa zur Mitte des 19. Jahrhunderts aus einer Metallegierung, dem Spiegelmetall, hergestellt. Das Schleifen derselben war sehr schwierig, große Sorgfalt mußte auf die Erhaltung der Politur verwendet werden und außerdem machte sich auch bei den großen Spiegeln der Einfluß der Schwere bemerkbar. Bekannt sind die Spiegel, die Herschel selbst herstellte. Sein erster 1774 vollendeter Reflektor maß 7 Fuß Länge, ihm folgte 1783 ein solcher von 20 und 1789 einer von 39 Fuß Länge und 4 Fuß Spiegeldurchmesser. Aber die Benützung des letzteren war mit so großen Schwierigkeiten verbunden, daß er 1839 zerlegt und als Reliquie aufbewahrt wurde. Das größte Spiegelteleskop stellte aber Lord Rosse 1845 her. Es besaß 17 Meter Brennweite und 1·8 Meter Spiegeldurchmesser. Ein wesentlicher Fortschritt wurde 1857 durch Foucault erzielt, indem er Glasspiegel herstellte, deren Oberfläche auf chemischem Wege mit einer feinen Silberschicht belegt wurde, die viel weniger Lichtverlust ergibt als die Politur der Metallspiegel. Es sollen aber hier nur die zwei wichtigsten und größten in den letzten Jahren erbauten genannt werden. Das eine wurde von Crossley der Lick-Sternwarte gespendet und mißt 91 Zentimeter Durch-

messer bei 9·5 Meter Brennweite. Mit demselben wurden großartige photographische Nebelaufnahmen gemacht, welche Details in diesen Gebilden zeigen, die man mit keinem Fernrohr sehen kann. Das zweite befindet sich auf Mount Wilson in Kalifornien. Der Durchmesser beträgt 1·5 Meter. Es wird gleichfalls zur photographischen Aufnahme von Nebelflecken und Sternspektren mit dem großartigsten Erfolge verwendet.

Da beim Spiegel die Lichtstrahlen nicht in den Glaskörper eindringen, so könnte man glauben, daß die innere Beschaffenheit des Glaskörpers mehr oder weniger gleichgültig sei und daß das Gießen der Glasblöcke keine großen Schwierigkeiten bereite. Das ist nun nicht der Fall, denn auch in diesem Falle muß der Guß sehr sorgfältig bewerkstelligt und die Abkühlung sehr langsam vorgenommen werden, weil sonst bei Änderungen der Temperatur im Innern des fertigen Spiegels vorhandene Spannungen die Gestalt der Oberfläche ungünstig beeinflussen können. Es möge nicht unerwähnt bleiben, daß das Schleifen des großen Spiegels der Mount Wilson-Sternwarte nicht von einem Mechaniker oder Optiker, sondern von einem der Astronomen, von Professor G. W. Ritchey besorgt wurde, sowie daß vorher eine eigene Schleif- und Poliermaschine, ferner zwei Planspiegel zur Prüfung des großen Spiegels gebaut und hergestellt werden mußten. Aber damit nicht genug. Es ist für dieselbe Sternwarte die Konstruktion eines Spiegelteleskops in Ausführung, dessen Spiegel 100 Zoll, d. i. 2·54 Meter

betragen wird. Die Mittel zur Herstellung des Spiegels allein im Betrage von 225.000 Kronen wurden von einem kalifornischen Ingenieur, Herrn Hooker, gespendet. Die erste Schwierigkeit stellte sich bei der Beschaffung eines geeigneten Glasblocks ein. Hale, der Direktor des Observatoriums, hatte 1913 die renommiertesten Firmen besucht und berichtete der 1913 in Hamburg tagenden Astronomenversammlung, daß bereits ein Glasblock hergestellt sei, der indes nicht vollständig befriedige. Es werden noch weitere Güsse gemacht werden. Unterdessen aber wird der fertige Glasblock in Bearbeitung genommen werden, um auf alle Fälle neue Erfahrungen zu sammeln, die man später verwerten wird. Seit dieser Zeit ist uns nichts Weiteres über den Fortschritt dieses Unternehmens bekannt geworden. Daß man aber nach den so großartigen Fortschritten in der Herstellung von Riesenobjektiven wieder an den Bau von Spiegelteleskopen gegangen ist, ist darin begründet, daß Clark anlässlich der Vollendung des großen Objektivs der Yerkes-Sternwarte erklärt hat: Mit Objektiven geht es vorläufig wegen der Einwirkung der Schwerkraft nicht weiter!

Bisher habe ich nur von den optischen Teilen des Fernrohres gesprochen. Einen wesentlichen Teil bildet aber die Montierung, welche Objektiv und Okular trägt, also das Rohr und alle Einrichtungen, die notwendig sind, um das Fernrohr in jede beliebige Richtung zu bringen. Wenn wir die optischen Teile des

Fernrohres als dessen Seele bezeichnen, so stellt die Montierung dessen Körper vor. Das sind Aufgaben, deren Lösung immer dem Techniker zufällt und die niemals der Herstellung großer Fernrohre hinderlich waren. Deren Aufgaben werden immer gelöst, denn schon Archimedes sagte: „Gebt mir einen festen Punkt im Weltraume und ich werde die Erde aus den Angeln heben.“

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1916

Band/Volume: [56](#)

Autor(en)/Author(s): Palisa Johann

Artikel/Article: [Die Entwicklung des Fernrohres. 147-180](#)