Das moderne Spiegelteleskop in der Astronomie

von

Dr. Eugen von Krudy

Das moderne Spiegelteleskop in der Astronomie

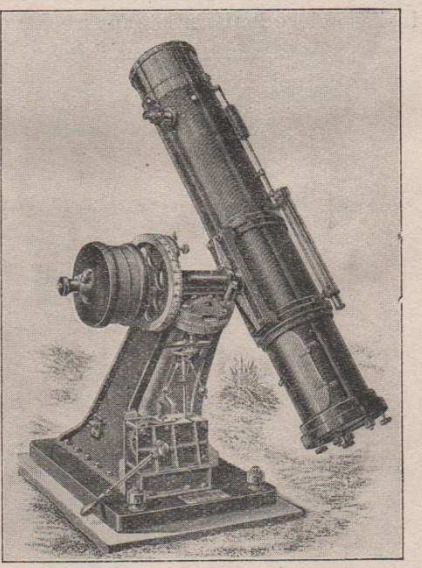
Leichtfaßliche technische Anleitung zur Herstellung parabolischer Spiegelflächen und deren Prüfungsmethoden nebst Geschichte der Spiegelteleskope und deren hohe Bedeutung und Zukunft in der modernen Astronomie.

Mit zahlreichen Abbildungen

von

Dr. Eugen von Krudy

Direktor der Flammarion-Sternwarte, Luzern,
Fellow of the Royal Astronomical Society.



71 51028

EDUARD HEINRICH MAYER
Verlagsbuchhandlung
Leipzig 1919

Der Verfasser behält sich alle Rechte,
insbesondere das Übersetzungsrecht vor.

Den unsterblichen Manen

der großen Forscher

Newton, Herschel und Foucault

in Anerkennung ihrer Verdienste um das Spiegelteleskop, dem mächtigsten und edelsten Sehwerkzeuge der Astronomie, widmet dieses Werk

Der Verfasser

Inhaltsverzeichnis.

		Seite
	Vorwort. (Zugleich Einführung)	1
1.	Eigenschaften, Verwendung und Vorteile des Spiegelteleskops	7
2.	Erfindung und Geschichte des Spiegelteleskops	11
3.	Die Herstellung parabolischer Teleskopspiegel	28
	Die ältere historische Methode	28
	Die moderne Methode	30
	Moderne Handmethode für Amateure	31
	Erforderliche Materialien	35
	Brennweite des parabolischen Spiegels und das Kontrollmaß	36
	Die Schleifprozeduren	37
	Schlämmungstabellen	39
	Vorbereitungen für das Polierverfahren	45
	Das Polieren und Figurieren der Spiegelfläche	48
	Ältere historische Parabolisierungsmethode	48
	Moderne wissenschaftliche Methode der Spiegelparabolisierung	50
	Die Foucaultsche Schattenprobe	51
4	Anleitung zur Versilberung von Reflektorspiegeln	62
5.	Die Herstellung des Fangspiegels für die Newtonsche Konstruktion	64
6.	Anleitung zur Herstellung einer einfachen Reflektor-Montierung	66
7.	Die Justierung der Teleskopspiegel	73
8.	Vergrößerungen und Okulare	76
9.	Gebrauch der Blenden (Diaphragmen)	77
10.	Über die zweckmäßige Aufstellung eines Spiegelteleskops	78
11.	Anhang. Anleitung zur Herstellung eines billigen und praktischen Garten-Observatorium	79

Vorwort

(zugleich Einführung).

Veranlassung zur Herausgabe dieses Werkes gab ein im Winter 1912 abgehaltener Zyklus von neun Vorträgen über das Wesen, Bedeutung und Herstellung parabolischer Silberglasspiegel für astronomischen Gebrauch, welchen der Verfasser in der Astronomischen Gesellschaft „Flammarion" zu Basel vor einem größeren Zuhörerkreis abhielt. Diese Vorträge haben bedeutendes Interesse wachgerufen, und da einige Teilnehmer sich größere Spiegelteleskope tatsächlich verfertigten, und an den Verfasser die Bitte gestellt wurde, den Inhalt der Vorlesungen im Druck erscheinen zu lassen, so soll diesem Wunsche im erweiterten Maßstabe nachgekommen werden.

Zum erstenmal wird hier in der deutschen astronomischen Literatur der Versuch unternommen, über die Selbstherstellung von parabolischen und versilberten Glasspiegeln für Teleskope eine leichtfaßliche und jedermann verständliche Anleitung zu geben. Wer die Anweisungen dieses Werkchens genau befolgt und mit Lust und Liebe an die Sache herangeht, wird sicher nicht wenig über das erlangte Resultat erstaunt sein, denn alsbald wird er ein astronomisches Spiegelfernrohr besitzen, welches neben der Freude, ein solch nobles Instrument selbst hergestellt zu haben, immerhin auch einen nicht zu unterschätzenden Produktionswert repräsentiert. Wohl wird die Astronomie als die Königin der Wissenschaften bezeichnet, und es ist allseits bekannt, wie die Beschäftigung mit der Himmelskunde den Verstand schärft, den Geist vertieft und das Gemüt erhebt. Es soll aber nicht verschwiegen sein, daß diese Früchte nur dann erlangt werden, wenn man sowohl auf der Schule, als auch später in seinen Mußestunden neben theoretischen Studien sich auch praktisch mit der Beobachtung des Himmels und seiner unerschöpflichen Wunder befaßt. Wie wenige von unseren Zeitgenossen sind aber in der Lage, sich ein einigermaßen kräftiges astronomisches Fernrohr anzuschaffen; selbst in den meisten Schulen und Erziehungsanstalten fehlt die notwendigste Ausrüstung für den astronomischen Beobachtungsunterricht, und die meisten Lehrer und Erzieher unserer Jugend kennen die einfachsten astronomischen Tatsachen nur vom Hörensagen. Es besteht also kein Zweifel, daß, wenn der ethische Kulturwert astronomischer Erkenntnisse zur vollen Geltung kommen soll, unbedingt schon auf der Schule und später dem Volke Gelegenheit geboten werden muß, aus der Natur selbst durch eigene

Anschauung, durch praktische Betätigung und Beobachtung der Himmelskörper und ihrer ewigen kosmischen Gesetzmäßigkeiten zu schöpfen.

Allerdings kann die Astronomie ohne instrumentelle Hilfsmittel mit freiem Auge und dann unter Zuhilfenahme eines einfachen Opernglases bis zu einem gewissen Grade ausgeübt werden. Jedoch bald ist hier eine unüberschreitbare Grenze erreicht und gerade die interessantesten Gebiete der Himmelskunde können nur durch eigene Vertiefung mit teleskopischen Hilfsmitteln unserem Verstande in bleibender Form zugänglich gemacht werden.

Dem bisherigen Mangel an geeigneten astronomischen Instrumenten für die sich interessierenden Kreise Abhilfe zu schaffen, ist der Zweck dieses Werkes. Es ist kein Zweifel, daß unsere schöne Wissenschaft in die weitesten Kreise hineingetragen und ihren bildenden und geisterhebenden Einfluß geltend machen wird, sobald jedermann mit gesunden Sinnen und mittlerer Durchschnittsbegabung in den Stand gesetzt ist, sich mit verhältnismäßig ganz geringen Auslagen ein Instrument zu bauen, welches ihm, gleichsam wie ein Himmelsschlüssel, die Tore zu den größten Wundern und Geheimnissen des Universums öffnet. In England und Amerika, Ländern, in denen die Astronomie unter dem Volke sich einer großen Verbreitung erfreut, ist die Herstellung solcher Spiegelteleskope schon längst kein Geheimnis mehr. Unternimmt man in irgendeiner Vorstadt Londons oder in einer der kleineren englischen Städte einen Spaziergang, so wird man, sofern man besonders darauf achtet, erstaunt sein, wie häufig unser Blick einer kleineren oder größeren Sternwartenkuppel, meist in ganz primitiver Form als Gartenhäuschen oder als provisorischer Aufbau auf dem Dache, begegnet. Und nicht immer sind die Besitzer dieser kleinen Uraniatempel den gelehrten oder wohlhabenden Kreisen angehörige Leute, sondern in den meisten Fällen sind es vielmehr schlichte Arbeiter oder Geschäftsleute, die tagsüber für ihren materiellen Lebensunterhalt sorgen müssen, deren Geist sich nach getaner Arbeit auf dieser selbsterrichteten weihevollen Stätte Ruhe, Erholung und Erhebung sucht und findet. Wahrhaftig ein edles Vergnügen und ein bei uns, wo man nach getaner Arbeit seine Erholung meist in Spiel und Trinkgelagen außer dem Hause findet, ein kaum gekannter Genuß. Und erst in Familien mit heranwachsenden Söhnen und Töchtern! Schon der bekannte Astronom Klein tat den Ausspruch, daß der Anschaffung eines Fernrohres in den Familien oft ein größerer Erziehungswert für die Jugend zukäme, als dem leidigen, ohrenbetäubenden Musizieren am Klavier. Da man nun aber bisher unter Fernrohren nur die teueren und durch geschulte Optiker herstellbaren Linsenfernrohre (Refraktoren) meinte, deren Anschaffung mindestens eine so große Summe beanspruchte, als ein einigermaßen brauchbares Klavier, so konnte diese Forderung in den meisten Familien keine Berücksichtigung finden. Der Verfasser hofft, daß durch die Anregung, welche diese

Arbeit auf dem Gebiete der Spiegelfernrohr-Technik in deutschsprechenden Ländern verursachen wird, dieser Mangel beseitigt werde. Der Autor weiß wohl, daß er bei Personen, die an der Herstellung von Fernrohren geschäftliches Interesse haben, keine Sympathien finden wird, da leider gerade in diesem Fache bis zum heutigen Tage eine unbegreifliche Geheimhaltung der Herstellungsmethoden beobachtet wird. Sind doch die Werkstätten der größeren optischen Firmen für Uneingeweihte hermetisch verschlossene Tempel, und es wird auf diesem Gebiete mit Argusaugen gewacht, daß ja keine Berufsgeheimnisse den Weg ins Publikum finden. Eine Methodik, die umsomehr zu bedauern ist, da sie gewiß nicht zur Verbreitung und Einbürgerung der schönen Himmelswissenschaft unter dem Volke beiträgt. Zur Beruhigung der Herren Berufsoptiker diene aber die Tatsache, daß ja gerade durch die Popularisierung des Spiegelfernrohrs ihre Kunst eher steigen als fallen dürfte. Es wird ja gewiß nicht jedermanns Sache sein, sich ein Spiegelteleskop selbst herzustellen, und anderseits wird ein solches selbsthergestelltes Instrument nur in seltenen Fällen mit den von berufener Künstlerhand erzeugten Spiegelteleskopen konkurieren können, während gerade wohlhabendere Amateure durch dieses Werk sicherlich Anregung zur Anschaffung solcher Spiegelfernrohre finden werden. Merkwürdig bezeichnend ist allerdings der Umstand, daß die größten Spiegelkünstler nur ausschließlich aus den Amateurkreisen hervorgegangen sind, das will also sagen, nicht aus der Klasse der Berufsoptiker. Newton, Herschel, Lassell, Rosse, Foucault, With usw. waren keine Berufsoptiker und glänzen als Sterne erster Größe in den Annalen der Spiegeltechnik.

Der Grund, warum die Spiegelteleskope, deren Herstellung durch Amateurhände doch schon vor mehr als 100 Jahren in England große Verbreitung fand, (man erinnere sich an Herschel, den Vater und Begründer der modernen beobachtenden Astronomie mit seinen staunenerregenden Erfolgen durch selbsthergestellte Spiegelteleskope), in neuerer Zeit so wenig Berücksichtigung und Verbreitung fanden, liegt in einer unbegreiflichen Abneigung, die diesen Instrumenten bis vor kurzem von Seite der Berufsastronomen entgegengebracht wurde. Eine solche Geringschätzung war aber nur gegenüber den älteren Metallspiegel-Instrumenten in soweit gerechtfertigt, als tatsächlich infolge der Erfindung des achromatischen Fernrohres durch Dollond im Jahre 1758 und dessen Verbesserung durch Fraunhofer, ein wesentlicher Fortschritt in den optischen Leistungen des Linsenfernrohres gegenüber den älteren Metallspiegel-Fernrohren erzielt wurde. Seit man aber die Spiegel aus Glas herstellt, ihren Flächen unter verfeinerten Methoden eine parabolische Form zu geben versteht und diese Flächen dann nach der von Liebig erfundenen Methode mit einer hochpoliturfähigen Silberschicht überzieht, änderte sich die Sachlage vollständig, und mit einem Male erhielt das alte klassische Spiegelfernrohr in dieser neuen Auferstehung Eigenschaften und Vorzüge, die es in vielen

Beziehungen weit über das Linsenfernrohr stellt. Es sind ungefähr 15 Jahre her, daß Verfasser dieser Zeilen unermüdlich auf diese, in England kennen gelernten Vorzüge des Spiegelteleskops hinwies und kategorisch den Ausspruch tat: **„Das Spiegelteleskop ist das einzige Instrument, auf welchem der ganze Fortschritt der zukünftigen Astronomie ruhen wird.“** Es war dies zu einer Zeit, wo in Deutschland auf den Sternwarten und bei den Berufsastronomen der Reflektor kaum bekannt und noch weniger im Gebrauch war. Die populär-astronomischen Schriftsteller Brenner in Lussinpiccolo und Prof. Klein in Köln beeinflußten durch ihre Feder die Amateurkreise ebenfalls im ungünstigen Sinne gegen das Spiegelteleskop. Warnte doch Brenner in der ersten Ausgabe seiner „Spaziergänge“ jeden Liebhaber der Himmelskunde vor der Anschaffung eines Reflektors, und der Astronom Klein meinte, daß ein Refraktor von 4 Zoll Öffnung der Firma Reinfelder & Hertel am Himmel alles das zeige, was der große Herschel mit seinem vierfüßigen Spiegelteleskop erforscht hatte. Kein Wunder, wenn das Spiegelteleskop unter diesen Umständen gemieden wurde. Diese reflektorenfeindliche Stellung der genannten Autoren kann nur darin ihren Grund haben, daß dieselben keine Gelegenheit hatten, durch ein wirklich gutes, nach wissenschaftlichen Prinzipien sorgfältig gebautes, modernes Spiegelteleskop nach den Gestirnen zu blicken; denn es muß betont werden, daß tatsächlich sowohl in Deutschland als auch namentlich in Frankreich bis in die neueste Zeit sehr viele Spiegelteleskope existieren, die äußerst schlecht korrigierte, mit sphärischer Aberration und andern Fehlern behaftete Spiegel besitzen, deren Montierungen auch viel zu wünschen übrig lassen; und so stützte sich jedenfalls das Urteil jener Astronomen auf die Benützung solch mangelhafter Instrumente.

Wer aber das Glück hatte, einmal durch einen modernen tadellosen Glasspiegel-Reflektor eine astronomische Beobachtung zu machen, sei es an den Oberflächen unserer großen Planeten oder in den labyrinthischen Gefilden unseres Erdtrabanten, dem Monde, oder sei es in der geheimnisvollen Welt der Sonnenrepubliken und den rätselhaften Nebelformen in den Tiefen des Universums, wird für immer ein überzeugter und beständiger Verehrer und Bewunderer dieses noblen Werkzeuges menschlicher Geistesschärfe bleiben. Und war er früher auf diesem Gebiete auch ein Saulus, so ist er sicher zum Paulus geworden.

Heute nach ungefähr 15 Jahren ist der vom Verfasser gemachte, oben zitierte Ausspruch zur Tatsache geworden. Die Überzeugung, daß das Spiegelteleskop die Grundlage der modernen Astronomie, speziell der Astrophysik bildet, hat sich mit Gewalt Bahn gebrochen. Die Sternwarten haben zum Einzuge des neuen Himmelswerkzeuges ihre Pforten weit geöffnet, und besonders die Spektralanalyse und die Himmelsphotographie, diese beiden Grundpfeiler der modernen Himmelskunde, haben ihre Ar-

beiten fast ausschließlich durch das Spiegelteleskop vollbracht und den staunenswerten Fortschritt der Astronomie in der Neuzeit begründet.

Der Refraktorenbau hat mit dem Yerkes-Fernrohr von 40 Zoll Öffnung seine Grenze erreicht, und heutzutage baut man große Linsenfernrohre überhaupt nicht mehr. Soweit es sich um mikrometrische Messungen handelt, werden die Refraktoren in ihren kleineren Dimensionen ihrer Handlichkeit und exakten Montierung wegen, stets ihre auf diesem Gebiete ihnen zukommende dominierende Stellung bewahren. Sobald es sich aber um physische Beobachtungen der Himmelskörper, Spektralanalyse, Himmelsphotographie oder Photometrie handelt, können sie die Spiegelfernrohre in ihren Leistungen niemals erreichen, viel weniger übertreffen. Keine Linse der Welt, und mag dieselbe aus was immer für Glasarten hergestellt sein, kann alle Spektralfarben in einem Punkte vereinigen; dies tut aber der Spiegel, während es keine vollkommen achromatische Linse gibt. Man überzeuge sich selbst und vergleiche z. B. das Bild einer Mondlandschaft in einem Refraktor und Reflektor von gleichen Durchmesser und man wird einfach staunen über den Unterschied. Auf der einen Seite alles wie mit einem violettbläulichen Schleier überzogen und auf der andern Seite ein reines schwarz und weiß von gestochener Schärfe. Bekanntlich hängt die Lichtstärke und damit die raumdurchdringende und trennende Kraft eines Fernrohres nur von dessen Öffnung ab und diese Öffnung, die im 40-zölligen Yerkes-Refraktor ihre äußerste Grenze bei Linsenfernrohren erreicht hat (wegen schädlicher Durchbiegung der Gläser und gesteigerter Lichtabsorption), ist bei Spiegelteleskopen fast unbegrenzt. Das Erreichbare auf diesem Gebiete hängt hier lediglich von der Überwindung technischer Schwierigkeiten ab, und wie weit letztere in Amerika bereits überwunden sind, bezeugt am besten die Tatsache, daß man sich dort derzeit an die Ausführung von Spiegelteleskopen mit der Öffnung von ca. $2^1/_2$ Metern heranwagt. Wenigstens ist ein solches Instrument gegenwärtig im Bau begriffen. Spiegel von ein bis einundeinhalb Meter Durchmesser sind schon seit einigen Jahren in Tätigkeit und haben z. B. in der Hand von Keeler mit dem Crossley-Reflektor und Ritchey auf Mount Wilson zu ganz ungeahnten Fortschritten in der Fixsternastronomie geführt.

So ist es nicht zu wundern, daß selbst die ursprünglich größten Gegner des Spiegelteleskops zu den überzeugtesten und anregenden Lobrednern geworden sind. So unter anderen der größte beobachtende Astronom der Gegenwart, Barnard, welcher vor mehreren Jahren von Spiegelteleskopen nichts wissen wollte (seine Erfahrungen bezogen sich auf einige mangelhaft ausgeführte, optisch minderwertige Instrumente), hat vor kurzem freimütig erklärt, daß er auf Grund seiner nunmehrigen Erfahrungen mit modernen, von Künstlerhand herrührenden Spiegeln, seinen diesbezüglichen Irrtum bekenne und von der großen Überlegenheit guter Reflektoren

über die besten Refraktoren der Welt (Barnard arbeitete bekanntlich mit einem als den vollkommensten Refraktor der Welt geltenden Instrumente, dem Lick-Fernrohr in Kalifornien) auch in visueller Beziehung überzeugt sei. **„Auch in visueller Beziehung“** ist ein bemerkenswerter Ausspruch, da viele der einstigen Gegner heute noch behaupten, daß das Spiegelteleskop wohl auf photographischem Gebiete Überlegenes leiste, aber nicht auf visuellem. Wie falsch und irrig diese Ansichten sind, geht nunmehr aus dem obigen Ausspruche eines unserer berühmtesten, noch lebenden Astronomen deutlich hervor und bedarf keines weiteren Kommentars.

Und dieses Instrument soll nun zum Gemeingute der Menschheit werden! Nicht nur die Berufsastronomen sollen fürderhin in die Wunder der Schöpfung mit ihren durch Reflektoren geschärften Sinnen blicken, sondern jedermann, ohne Unterschied des Berufes, soll imstande sein, Reisen bis in die entferntesten Räume des Universums auf den Flügeln des Lichtstrahls mit Hilfe eines solchen Reflektors durchführen zu können. Und nicht mehr soll der Amateurastronom abhängig sein von seinen Einkünften und materiellen Mitteln und den oft unerschwinglichen Preisen der Fachoptiker, sondern selbst mit eigener Hand, geleitet durch eigene geistige Überlegung soll er der Urheber und Erbauer, Ingenieur und Meister zugleich eines solchen Wunderinstrumentes werden. Intelligente Leser in diesen Stand zu setzen, ist die Tendenz und der Hauptzweck dieses Werkes. Derjenige aber, der sich der Mühe nicht unterwerfen will, ein solches Instrument selbst zu bauen und dessen Mittel hinreichend sind, aus der Werkstätte bewährter Künstlerhand ein fertiges Fernrohr zu beziehen, dem sollen durch den Inhalt dieses Werkes die hohe Bedeutung, der immense Wert und die vielen Vorzüge des modernen Reflektors nahegelegt werden. Das Werk soll ihm in der Anschaffung und Auswahl ein treuer Führer sein, es soll ihm in den Bau, Justierung und Gebrauch des Instrumentes die nötigen Einblicke verschaffen, damit er mit demselben selbständig arbeiten könne. Er wird dadurch sich und andern die köstlichsten Stunden geistiger Belehrung und Erholung verschaffen. Mathematische Formeln und Ableitungen wurden in dem Werke absichtlich vermieden, da dasselbe nicht nur für solche bestimmt ist, die die Sprache der Mathematik beherrschen, sondern vielmehr jedermann mit Durchschnittsbildung soll das Buch verstehen.

Sollte einer der Leser bei dem praktischen Bau eines Spiegelteleskopes auf Schwierigkeiten stoßen, so ist der Verfasser stets gerne bereit, alle erforderlichen und gewünschten Auskünfte kostenlos zu erteilen. Ebenso werden auf Anfrage solche Künstler namhaft gemacht, die nur erstklassige und bewährte Teleskopspiegel ausführen.

Möge nun das Buch hinaussegeln mit dem Wunsche des Verfassers, vielen eine neue, bisher ungekannte und ungeahnte Welt von kosmischen Wundern erschlossen zu haben.

I. Eigenschaften, Verwendung und Vorteile des Spiegelteleskops.

Die Spiegelteleskope unterscheiden sich von den Refraktoren in wesentlichen Punkten, und es ist notwendig, daß man die verschiedenen Eigenschaften beider Instrumente genau unterscheidet, da die vorteilhaftere Verwendung für den einen oder anderen Zweck gerade in diesen Differenzen begründet ist.

Ein Spiegelteleskop hat eine wesentlich kürzere Brennweite als ein Refraktor von gleicher Öffnung. Man baut heutzutage Spiegelteleskope usuell mit dem Öffnungsverhältnis von 1 : 6, d. h., die Brennweite ist gleich dem sechsfachen Durchmesser des Spiegels. Je kürzer die Brennweite, um so schwieriger ist die Herstellung einer korrekten parabolischen Fläche und deshalb auch um so höher der Preis eines Spiegelobjektives. Bei Spiegelteleskopen für photographische Zwecke ist man selbst auf 1 : $2^1/_2$ heruntergegangen. Diese Instrumente sind aber für visuellen Gebrauch nicht verwendbar. Sie besitzen infolge ihrer Kürze ein äußerst gekrümmtes Gesichtsfeld; das Brennpunktbild ist sehr klein und würde außerordentlich stark gekrümmte Okulare erfordern. Für die Photographie hingegen kommt freilich nur die Helligkeit in Betracht und an Lichtstärke fehlt es bei dieser enormen Kürze gewiß nicht. Das zuerst genannte Öffnungsverhältnis von 1 : 6 ist ein mittleres und sowohl für photographische als auch visuelle Zwecke gleich gut verwendbar.

Wenn wir nun berücksichtigen, daß man bei den Refraktoren, selbst bei den modernsten Typen, nicht gut unter 1 : 12 heruntergehen kann (gewöhnlich ist das Verhältnis der Refraktoren 1 : 16), so liegt ein wesentlicher Vorzug der Spiegelteleskope gerade in dieser kurzen Brennweite. Man erzielt dadurch sehr lichtstarke Bilder, denn die Lichtstärke nimmt umgekehrt zu, wie das Quadrat der Brennweite abnimmt[1]). Durch die Kürze der Brennweite ist ferner ein größeres Spiegelteleskop leichter und mit geringeren Kosten zu montieren, als ein gleichgroßer Refraktor, und so kommt es, daß man Spiegelteleskope selbst noch mit 10—12 Zoll Öff-

[1]) Allerdings hängt die Lichtstärke auch von dem Zustande der Silberschicht des Spiegels ab. Es wurde aber durch Steinheil, Foucault und andere Forscher nachgewiesen, daß ein frisch versilberter Glasspiegel durch Reflexion nur zirka 3 % Licht verliert, während durch Absorption bei Glaslinsen 23 % Licht verloren geht.

nung ohne Kuppelüberdeckung, einfach auf Rollen beweglich eingerichtet, auf einer Terrasse oder im Garten verwenden kann, während ein gleichgroßer Refraktor schon ein solcher Riese ist und ein so bedeutendes Gewicht besitzt, daß man an eine Aufstellung im Freien überhaupt nicht denken kann. Schon ein 6-zölliger Refraktor erfordert unbedingt einen Sternwartenbau mit Kuppel. Gewiß ein nicht zu unterschätzender Vorteil der Spiegelteleskope. Aber auch der Umstand ist zu berücksichtigen, daß man mit einem Newtonschen Reflektor selbst Zenitobjekte außerordentlich bequem beobachten kann, während die halsverrenkende Lage des Beobachters am Refraktor sicherlich nicht angenehm ist.

Man hört und liest oft den Einwand, daß die Spiegelteleskope nur bei äußerst guter Luft zu gebrauchen seien und für die klimatischen Verhältnisse unserer Gegenden nicht tauglich sind. Diese Behauptung beruht auf Irrtum und Unkenntnis der einschlägigen Verhältnisse. Man vergesse nicht, daß die in Verwendung stehenden Spiegelteleskope gewöhnlich eine größere Öffnung haben (selten unter 5 Zoll), als die gebräuchlichen Amateur-Refraktore, die selten über 4 Zoll hinausgehen. Nun ist es eine bekannte Tatsache, daß die Wahrnehmung der störenden Luftunruhe im kubischen Verhältnis zur Öffnung steht. Ein größerer Refraktor oder ein mit dem Spiegeldurchmesser gleicher Refraktor erfordert eine ebenso gute ruhige Luft zu einer erfolgreichen Beobachtung, wie ein Spiegel. Es soll nicht in Abrede gestellt werden, daß ein Spiegelteleskop infolge des offenen Rohres ein wenig empfindlicher gegen Luftschlieren ist, als ein gleichgroßer Refraktor; doch ist der Unterschied kaum von Belang und man braucht nur auf die ruhmreiche Geschichte der astronomischen Entdeckungen in England zurückzublicken, welch letztere doch bis heute hinauf fast alle mit Spiegelteleskopen gemacht worden sind.

Bei der Anschaffung des einen oder anderen Instrumentes kommt es wesentlich auf den Zweck an, welchem das Fernrohr dienen soll. Hat jemand die Absicht, an einer Schule den Sternenhimmel gelegentlich zu demonstrieren, respektive den Bau und die Verwendung eines kleineren Fernrohres vorzuführen, oder beabsichtigt er ab und zu selbst einen Blick nach dem Sternenhimmel zu werfen, auch seinen Freunden und Besuchern die Wunder des Himmels zu enthüllen, wie z. B. die Jupiterwelt mit ihren Monden, den Ring des Saturns, (ev. auch noch die Cassinische Teilung desselben), oder die abwechslungsreichen Mondlandschaften, respektive die Fackeln und Flecken auf der Sonnenoberfläche zu demonstrieren, und will er für diese Zwecke ein bequemes, transportables, vielleicht selbst noch auf das Fensterbrett aufzustellendes Fernrohr besitzen, dann greife er entschieden zu einem sogenannten Schulfernrohr oder zu einem andern Refraktor, aber ja nicht über 4 Zoll Öffnung. Die vierzölligen Refraktore bilden die äußerste Grenze bezüglich der Transportfähigkeit und Aufstellung, besonders, wenn sie parallaktisch montiert sind.

Am geeignetsten für diese Zwecke sind eigentlich die dreizölligen, parallaktisch montierten Refraktoren mit Kreisteilung, die man selbst schon mit einem Uhrwerk versehen erhalten kann. Jeder Besitzer eines solchen Fernrohres wird für diese Zwecke vollkommen befriedigt sein und Freude an dem Instrumente haben, wenn der optische Teil, die Linse, vollkommen ist.

Häufig kann man solche Instrumente guterhalten und zu billigem Preise aus zweiter Hand käuflich erwerben, jedoch sollte der Amateur dies niemals tun, ohne vorher durch einen geschulten Fachmann eine Prüfung vornehmen zu lassen. Oft sind Objektive, welche selbst aus der Werkstätte renommierter Firmen stammen, durch unvorsichtiges und unverständiges Auseinandernehmen der Gläser oder durch unachtsames Putzen usw. unreparierbar beschädigt.

Sollte aber ein Amateur sich ernstlich dem Studium der Himmelskunde widmen wollen, sei es, daß er Erfolge auf himmelsphotographischem Gebiete durch Aufnahmen von Sternhaufen, Nebeln usw. oder genaue visuelle Untersuchungen der Planetenoberflächen, spektrographische Durchmusterung des Fixsternhimmels, astrophysikalische Studien über Verteilung, Farbenwechsel oder Variabilität der Gestirne anstellt, so greife er unter keinen Umständen zu den oben genannten Refraktoren; hier ist einzig und allein das Spiegelteleskop am Platze und zwar nicht unter 8 Zoll Öffnung[1]). Er gehe gleich so weit, als es seine Geldmittel erlauben, wenn also tunlich, bis 10 oder 12 Zoll Durchmesser. Eine solide azimutale Montierung ist für die Arbeiten ausreichend, denn Verfasser kennt einige weltberühmte englische und französische Astronomen (die er auf spezielle Anfrage gerne namhaft macht), welche Hervorragendes leisten und nur im Besitze eines azimutal montierten Spiegelfernrohres von 8—12 Zoll Öffnung sind. Allerdings ist dem Verfasser auch ein englischer Sechszöller bekannt, welcher in der Hand eines ausgezeichneten Forschers gewaltig zur Vertiefung und Erweiterung unserer astronomischen Kenntnisse beigetragen hat. Hat doch dieser Spiegel nicht weniger als 17 neue Kanäle auf der Marsoberfläche gezeigt, die später durch mächtige Instrumente in Meudon und Mailand verifiziert wurden, und ebenso signalisierte er im Jahre 1876 den weißen Fleck auf der Saturnkugel drei Tage früher, als die telegraphische Mitteilung von Washington in Europa eingetroffen ist. Bekanntlich hat Hall durch Beobachtung dieses Fleckes die Rotationsdauer der Saturnkugel auf 10 Stunden 14 Minuten 25 Sekunden festgestellt. Ein solches Unikum von einem Spiegel ist allerdings selten. Doch sind auch die drei Gaudibertschen Spiegel, in deren Besitz sich der Autor seit dem Tode Gaudiberts befindet, von einer ebensolchen phänomenalen Leistungsfähigkeit und haben in der Hand Gaudiberts zu den schönsten

---

[1]) Nur Sonnenbeobachtungen dürften eine Ausnahme machen. Verfasser findet, daß Arbeiten auf diesem Himmelskörper mit einem kleinen Refraktor bequemer und erfolgreicher sind. Der Spiegel ist eben für die Sonne zu lichtstark.

Entdeckungen geführt, welche die Annalen der Astronomie zieren. Diese Spiegel besitzen Durchmesser von 11, $9^1/_2$ und 8 Zoll. Gerade letzterer, vom kleinsten Durchmesser, ist dem längst verstorbenen englischen Künstler in einer beispiellosen Vollkommenheit geglückt. Er zeigt den Begleiter des Sirius unter schwierigen Verhältnissen, trennt Gamma Andromedae II spielend mit 400-maliger Vergrößerung und verträgt auf dem Monde leicht eine 1000-malige Vergrößerung. Namentlich in der Selenographie ist dieser Spiegel durch seine Leistungen verewigt. Gaudibert entdeckte mit demselben die feinsten und schwierigsten Rillen und andere minutiöse Objekte auf der Mondfläche. Man kann wohl kein größeres wissenschaftliches Werk über die Mondforschung aufschlagen, ohne dem Namen Gaudibert und den mit seinem 8-zölligen Spiegel gemachten Entdeckungen zu begegnen.

Immerhin gehören solche Leistungen, namentlich bei 6 Zoll Öffnung, zu den Ausnahmen und man gehe bei der Anschaffung eines Spiegelteleskops nicht unter 8 Zoll herab. Etwas anderes ist es, wenn sich der Amateur an die Selbstherstellung eines Spiegelfernrohrs wagt. In diesem Falle dürfte wohl mit 6 Zoll Öffnung die äußerste Grenze eines noch leistungsfähigen Spiegels erreicht sein. Die Schwierigkeiten beim Schliff, Polieren und Parabolisierung der Fläche steigern sich ganz enorm mit jeder minimalen Durchmesservergrößerung von 6 Zoll aufwärts, und namentlich ohne mechanische und maschinelle Hilfsmittel dürfte man über diese Größe nichts Brauchbares erreichen.

Selbstverständlich entschließe sich der Käufer eines Spiegelteleskops, sofern es die Mittel erlauben, zu einer parallaktischen Montierung und geteilten Kreisen; noch besser ist natürlich das Vorhandensein eines Uhrwerkes. Besonders bei messenden und photographischen Arbeiten wird man durch eine solche Montierung die beste Hilfe finden. Man kann sich eine solche Auslage umsomehr erlauben, wenn die relative Billigkeit der Spiegelteleskope in Betracht gezogen wird. Um den gleichen Geldbetrag, welcher bei den renommierten Firmen ein 4-zölliger Refraktor mit Uhrwerk kostet, erhält man schon einen 8—10-zölligen Spiegel, parallaktisch montiert, mit Uhrwerk und allen modernen Einrichtungen versehen. Ein Instrument, welches jeder Arbeits- und Berufssternwarte zum Stolze gereichen kann, während obenerwähnter Refraktor doch nur ein lichtschwaches Amateurinstrument bleibt. Um hier eine Basis für die Beurteilung zu gewinnen, sehe man sich zum Beispiel einmal den Sternhaufen im Herkules, den Orionnebel oder Saturn in einem 4-zölligen Linsenfernrohr und dann gleich darauf in einem 10-zölligen guten Spiegelteleskop an. Und man wird sich von einem Ausruf der Bewunderung nicht enthalten können über die Schönheit und Großartigkeit der Objekte im Spiegelteleskop. Man wird buchstäblich neues Interesse an der Himmelskunde gewinnen und wird erst jetzt begreifen, was die astronomische Beobachtungskunst leistet, und wie die Objekte in den Himmelsräumen wirklich aussehen.

Die Beurteilung der optischen Qualität eines Spiegelteleskopes ist allerdings nicht leicht und erfordert neben theoretischer Fachkenntnis eine vieljährige Übung. Es kommt hier namentlich die Beurteilung diffiziler Beugungserscheinungen an den Fokalbildern in Betracht, die nur bei exquisit guter Luft durch ein geschultes Auge, unter Berücksichtigung genauer theoretischer Kenntnis der optischen Flächen zu einem brauchbaren Resultate führt. Immerhin wollen wir als Anhaltspunkte zur Beurteilung der Güte eines Spiegels folgendes ausführen: Ein einigermaßen guter 8-zölliger Spiegel soll bei guter Luft ohne weiteres Doppelsterne, wie Eta Orionis, Eta Coronae, My Bootes und Delta im Schwan trennen. Ein 10-zölliger Spiegel soll bei guter Luft den 6. Stern im Trapez des Orionnebels zeigen und auf Saturn die Enckesche Teilung und auf der Kugel ein detailliertes Wolkenbild wahrnehmen lassen. Verfasser ist gerne bereit, die Prüfung neuer oder aus zweiter Hand zu erwerbender Spiegel kostenlos zu übernehmen und auf Wunsch auch die besten Bezugsquellen für solche Spiegelteleskope auf Grund seiner reichen Erfahrungen bekannt zu geben. Ebenso wird angehenden Amateuren, die sich ihre Spiegel selbst herstellen wollen, jeder fachmännische Rat, sei es über die zu verwendenden Materialien oder sei es über Montierungen usw. jederzeit bereitwilligst erteilt, falls sich bei der Arbeit irgendwelche Schwierigkeit ergeben sollte.

Häufig wird auch dem Spiegelteleskop vorgeworfen und vor dessen Ankauf gewarnt, indem der Amateur mit der Versilberung Schwierigkeiten haben soll, und oft eine Neuversilberung des Spiegels notwendig sei. Auch dieser Einwurf entspricht nicht der Wahrheit, denn erstens ist die Versilberung eines Spiegels für einen einigermaßen sorgfältigen Amateur gewiß nicht viel schwieriger als die Entwicklung einer photographischen Platte, und außerdem ist es unrichtig, daß ein Spiegel jedes Jahr neu versilbert werden muß. Verfasser hat zum Beispiel gegenwärtig einen 10-zölligen Spiegel im Gebrauch, der vor acht Jahren versilbert worden ist, und derselbe zeigt noch heute die feinsten Sterne am Himmel und die schwierigsten Rillen auf dem Monde. Die Lichtstärke hat in diesen acht Jahren kaum um 10% abgenommen, was bei einer so großen Öffnung nicht von Belang ist. Überdies ist durch den in diesem Buche angegebenen Versilberungsprozeß jeder Amateur in der Lage, selbst leicht und fast kostenlos zu versilbern. Gewarnt sei indes noch, den Spiegel an sog. professionelle gewöhnliche Spiegelglas-Versilberer abzugeben, da diese Leute so feine optische Flächen unter allen Umständen verderben werden.

II. Erfindung und Geschichte des Spiegelteleskops.

Das Verdienst um das Spiegelteleskop, zu welchem der Jesuitenpater Zucchi die erste rohe Idee im Jahre 1616 gab, gebührt Hooke. Dann ver-

fiel der Jesuitenpater Mersenne in Paris auf dieselben und bildete sie weiter aus, ohne sie jedoch zur Ausführung zu bringen, da Descartes ihm die Spiegelteleskope als unpraktisch vorstellte. Der erste, der sie nunmehr wieder aufnahm und vervollkommnete, war James Gregory, ein ausgezeichneter Mathematiker und Astronom, geboren im Jahre 1638 zu Aberdeen in Schottland und gestorben 1675 zu Edinburgh im noch nicht vollendeten 37. Lebensjahre, nachdem er wenige Tage vorher erblindete. Seinen Vorschlag zum Spiegelteleskop machte er im Jahre 1663 in seiner Optica promota bekannt und hatte denselben aber schon 1661 erdacht. Er hoffte mit diesem Instrument die Fehler der sog. sphärischen Aberration bei den dioptrischen Fernrohren zu beseitigen, denn die andere Fehlerquelle, die chromatische Aberration, kannte er noch nicht. Er schlug demgemäß vor, im Grunde eines an einem Ende offenen Rohres (Fig. 1) einen parabolischen Metallspiegel *a* anzubringen und die von diesem reflektierten Strahlen mit einem kleinen elliptischen Spiegel *b* auf-

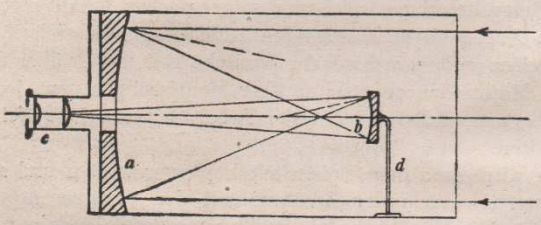


Fig. 1. Durchschnitt des Gregoryschen Reflektors.

zufangen, dessen Brennpunkt ein wenig außerhalb der Brennweite des parabolischen liegt. Bei dieser Einrichtung wird von dem größeren Spiegel ein verkehrtes Bild des fernen Gegenstandes noch außerhalb der Brennweite des elliptischen erzeugt, der dasselbe dann in aufrechter Stellung und vergrößert gegen die Mitte des parabolischen Spiegels zurückwirft. Letzterer hat im Mittelpunkt eine runde Öffnung, durch welche die zu dem aufrechten Bilde sich vereinigenden Strahlen hindurch treten, was nun mit einem Okular *c* betrachtet wird. Da die Entfernung des Gegenstandes Einfluß auf den Ort des verkehrten Bildes hat, so ist der elliptische Spiegel beweglich und muß zur Gewinnung eines scharfen aufrechten Bildes nach Bedürfnis mittels der Stange *d* verschoben werden.

Im Jahre 1664 oder 65 kam Gregory nach London, um seine Ideen von einem optischen Künstler ausführen zu lassen; allein obwohl ihm einer der renommiertesten empfohlen war, so scheiterten doch alle Bemühungen, und das Teleskop trat nicht ins Leben. Mißmutig darüber verließ Gregory sein Vaterland und ging nach Italien, wo er sich für einige Jahre in Padua niederließ und daselbst ein Werk über Quadratur des Kreises und der Hyperbel schrieb, das ihn in eine lebhafte Diskussion

mit Huygens verwickelte. 1668 kehrte er nach England zurück, war Mitglied der Royal Society, später Professor der Mathematik in Edinburgh und gab noch verschiedene, für die damalige Zeit wertvolle mathematische Schriften heraus.

Bemerkenswert ist noch, daß Gregory in der erwähnten Optica promota von 1663 den Vorschlag machte, den Vorübergang der Venus oder des Merkurs vor der Sonne als ein Mittel zu benützen, um die Parallaxe der Sonne, d. h. die Entfernung der Erde von der Sonne zu bestimmen. Man schreibt in der Regel diese Idee Gregorys Zeitgenossen, Halley, zu, und in gewisser Beziehung nicht mit Unrecht. Halley kam auf diese Idee, als er 1677 den Vorübergang des Merkurs auf St. Helena beobachtete. Er sprach sie 1691 öffentlich aus und entwickelte sie später 1716 in einer besonderen Schrift, um die Astronomen zu veranlassen, den Vorübergang der Venus am 6. Juni 1761, den er selbst wegen seines vorgerückten Alters (er lebte 1656—1742) nicht mehr zu erleben hoffen konnte, zu dieser Bestimmung zu benützen. Dies ist nun auch wirklich geschehen und wir haben durch diesen Vorübergang und besonders den folgenden im Jahre 1769 zuerst die Entfernung unseres Planeten von der Sonne kennen gelernt.

Fig. 2. Gregorysche Spiegelteleskope.

Noch heute beruht unsere ganze Kenntnis von dieser Entfernung auf den Beobachtungen von 1761 und 1769 und den genauen Berechnungen, welchen nachher Prof. Encke sie unterworfen hatte. Die späteren Beobachtungen haben diese Enckesche Konstante nur wenig modifizieren können. Halley sagt in seiner Schrift von 1716: **„Mögen die sterblichen Menschen, nachdem sie die Räume des Sonnensystems ausgemessen haben werden, sich dann auch erinnern, daß es ein Engländer war, der zuerst auf diese glückliche Idee gekommen ist!“** Nun man wird Halley nicht vergessen, da er diese Idee ebenso gewiß aus sich schöpfte, als er ihr den Eingang in die Wissenschaft sicherte; aber man darf doch nicht verschweigen, daß James Gregory es war, der sie zuerst aussprach.

Was nun die Erfindung der Spiegelteleskope betrifft, so griff Hooke die von James Gregory vorgeschlagene Konstruktion eines Spiegelteleskopes auf, und stellte danach ein Instrument her, das er am 5. Februar

1674 in der Royal Society vorzeigte. Es war dies das erste wirklich dargestellte Spiegelteleskop mit durchbohrtem Spiegel. Fig. 2a zeigt uns ein Spiegelteleskop Gregoryscher Konstruktion von $2^1/_2$ Zoll Öffnung, welches ca. 150 Jahre alt und mit tadellos erhaltenen Metallspiegeln versehen ist. Fig. 2b stellt wohl das allerkleinste alte Gregorysche Spiegelteleskop der Welt dar. Dasselbe ist über 200 Jahre alt, ebenfalls tadellos erhalten und wurde für Theaterzwecke verwendet, weshalb es auch mit einem Etui für die Tasche versehen ist. Beide abgebildete Teleskope befinden sich ebenfalls in der Instrumentensammlung des Autors.

Ob indes Hooke auch in der Krümmung der Spiegel die Ideen Gregorys ausführte, kann nicht mit Bestimmtheit gesagt werden. Die Beschreibung und Abbildung, die von diesem Hookeschen Instrument vorhanden sind, sagen darüber nichts. Man sieht daraus nur, daß in der Durchbohrung des Spiegels kein Okular, sondern bloß eine Linse vorhanden war.

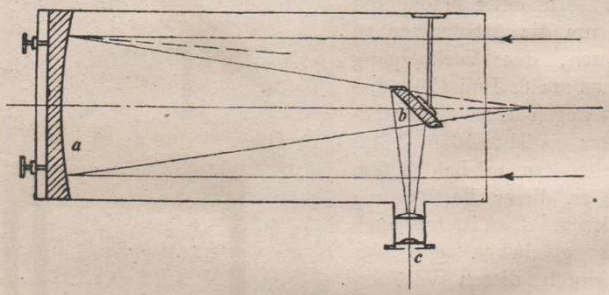


Fig. 3. Durchschnitt des Newtonschen Reflektors.

Während Hooke, was die Durchbohrung des großen Spiegels betrifft, sich an Gregorys Vorschriften hielt, waren einerseits Newton in England und Cassegrain in Frankreich bemüht, ebenfalls durch Gregorys Werk dazu veranlaßt, Reflexionsteleskope darzustellen.

Newton griff zum Spiegelteleskop, weil er, befangen in dem Irrtum, daß die Dispersion bei allen Körpern gleich sei, es für unmöglich hielt, aus einem dioptrischen Fernrohr alle falschen Farben zu entfernen und demnach dieses Instrument zu größerer Vollkommenheit zu bringen. Da er die Schwierigkeit, parabolische und elliptische Spiegel herzustellen, einsah, so beschränkte er sich auf sphärische. Das erste Instrument, welches er verfertigte, und zwar mit eigener Hand schon im Jahre 1668, hatte einen metallenen Auffangespiegel, war 6 Zoll lang, hielt 1 Zoll im Durchmesser und vergrößerte etwa 30—40-mal. Es leistete so viel, wie ein sechsfüßiges Fernrohr damaliger Zeit. Der große Spiegel hatte keine zentrale Durchbohrung, sondern zur Seite des Rohres war eine Öffnung angebracht, (Fig. 3), in welcher eine plankonvexe Linse saß. Die von dem großen

Spiegel *a* reflektierten Strahlen wurden auf einen kleinen ebenen Spiegel *b* geworfen, der so gestellt war, daß er die empfangenen Strahlen nach der Linse *c* in der Seitenöffnung des Rohres lenkte. Die Spiegelmasse hatte er sich selbst aus Kupfer, Arsenik und Zinn zusammengeschmolzen. Er versuchte auch Kupfer und Zinn mit etwas Silber, fand diese Masse aber zu weich und nicht gut polierbar. Späterhin konstruierte er ein zweites, ein wenig größeres Exemplar, dessen er sich einige Jahre in Cambridge, wo er damals lebte, zu seinen Beobachtungen bediente.

Die Royal Society in London erfuhr von diesem Instrument und bat, es ihr zur Ansicht zu schicken. Das geschah auch und wurde dieses Spiegelteleskop am 11. Januar 1672 zur Prüfung in der Gesellschaft vorgelegt, wo es außerordentlichen Beifall fand. Fig. 4 zeigt uns dieses erste

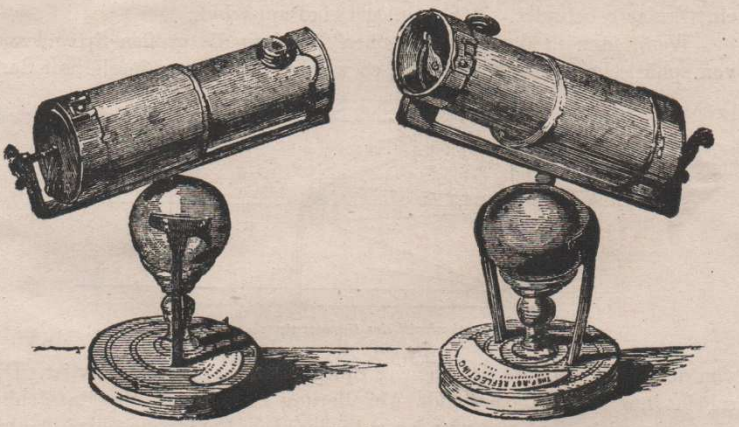


Fig. 4. Das erste Newtonsche Spiegelteleskop.

Newtonsche Spiegelteleskop; dasselbe wird noch in der Bibliothek der Royal Society aufbewahrt und führt die Inschrift: „Invented by Sir Isaac Newton and made with his own hands 1671.“ Zur Zeit der Übersendung dieses Instrumentes, das auch nur kleine Dimensionen hatte, war Newton noch nicht Mitglied der Royal Society, man beabsichtigte aber, ihn zu wählen, und bescheidener Weise sah er das Teleskop als Gegenstand der Empfehlung für sich an. Außer diesen beiden Instrumenten scheint Newton selbst keine dargestellt zu haben. Indes verband er sich später, im Jahre 1678, mit einem Londoner Künstler, um ein vierfüßiges Teleskop mit 150-maliger Vergrößerung nach seinem Prinzip anzufertigen. Bei diesem Instrument sollte der größere Metallspiegel durch einen belegten Glasspiegel und der kleinere Glasspiegel durch ein Glasprisma ersetzt werden; allein der Versuch scheiterte daran, daß man sich kein genügend reines Glas zu verschaffen wußte.

Kurz nachdem Newtons Instrument in den Philosophical Transactions 1672 beschrieben worden war, trat noch im gleichen Jahre der Franzose Cassegrain zu Paris im Journal des Savants mit der Beschreibung eines Spiegelteleskops auf, welches er seiner Angabe nach schon vor Newton erfunden haben will, und das besser als dasjenige Newtons sein sollte. Was die erste Behauptung betrifft, so kann sie wohl nicht anderweitig unterstützt werden; aber in der zweiten hat Cassegrain recht, und er verdient nicht die Vorwürfe, welche ihm mehrere Schriftsteller des 18. Jahrhunderts gemacht haben. Sein Teleskop (Fig. 5) enthält einen metallenen Hohlspiegel *a*, der in der Mitte durchbohrt ist. Die von diesem reflektierten Strahlen fallen auf einen kleineren konvexen Spiegel *b* und werden von letzterem nach der Öffnung im größeren Spiegel zurückgeworfen, wo sich ein Okular *c* befindet. Beide Spiegel sind sphärisch.

Wenn man in dem Gregoryschen Teleskop die großen Spiegel auch von sphärischer Gestalt annimmt, so weicht das Cassegrainsche nur darin

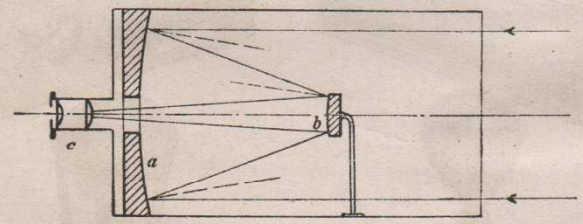


Fig. 5. Durchschnitt des Cassegrainschen Reflektors.

von demselben ab, daß der kleinere Spiegel konvex statt konkav ist. Dies scheint nur eine unbedeutende Abänderung zu sein, ist aber tatsächlich eine wesentliche Verbesserung, wesentlicher als es Cassegrain selbst glaubte, der vermutlich nicht durch klare theoretische Gründe daraufgekommen ist; denn erstens wird das Teleskop um die doppelte Brennweite des kleineren Spiegels kürzer als das Gregorysche, so daß es bei gleicher Länge stärker als dieses vergrößert. Bei einer Brennweite von $15^1/_2$ Zoll würde z. B. Gregorys Instrument 86-mal, Cassegrains dagegen 93-mal vergrößern; zweitens wird, da beide Spiegel entgegengesetzte Krümmungen einander zuwenden, ein großer Teil der sphärischen Aberration aufgehoben, und drittens endlich durchschneiden die Strahlen, ehe sie in das Auge gelangen, einander nicht in einem Brennpunkt. Dadurch wird einem Lichtverlust vorgebeugt, der bei einer solchen Durchschneidung immer stattfindet, selbst im vollkommensten achromatischen Fernrohr, wie dies zuerst Brewster nachgewiesen und später Kapitän Kater auch an Spiegelteleskopen gezeigt hat.

Diese Vorteile des Cassegrainschen Teleskops wurden von den damaligen Zeitgenossen nicht eingesehen, im Gegenteil gab man fast das

ganze 18. Jahrhundert hindurch dem Gregoryschen Teleskop den Vorzug, sowohl vor dem von Cassegrain wie dem von Newton.

Alle die von Hooke, Newton und Cassegrain verfertigten Spiegelteleskope waren nur von kleinen Dimensionen und leisteten der Wissenschaft keinen anderen Dienst, als daß sie den Weg zeigten, welchen man zu verfolgen habe, um zu größeren Wirkungen zu gelangen. Erst fünfzig Jahre später wurden die fast vergessenen Spiegelteleskope wieder ins Leben gerufen und zwar durch John Hadley. Derselbe überreichte der Royal Society im Jahre 1723 ein Spiegelteleskop von 6 Fuß Länge, das einen Spiegel von $62^5/_8$ Zoll Brennweite enthielt und ebenso viel leistete, als ein Huygenssches Fernrohr von 123 Fuß Brennweite. Dieses erste größere Teleskop baute Hadley nach Newtonschem Prinzip, da er aber manche Unbequemlichkeit daran fand, so ging er 1726 zu dem Gregoryschen mit durchbohrtem Spiegel über.

Dieser John Hadley ist derselbe, der einige Jahre später die für die Schiffahrt so wichtige Erfindung der Spiegelsextanten machte. Ein solches Instrument, eigentlich einen Spiegeloktanten, legte er am 13. Mai 1731 der Royal Society vor. Über das Leben dieses verdienstvollen Mannes wissen wir wenig und nur, daß er sich mehrfach mit nautischen Problemen beschäftigte, mit dem Astronom Halley in fleißigem Verkehr stand und im Jahre 1744 starb.

Um nach dieser Exkursion wieder auf Hooke zurückzukommen, muß erwähnt werden, daß er sich nicht damit begnügte, Teleskope zu konstruieren, sondern auch den Himmel fleißig durchmusterte und einige wichtige Tatsachen der physischen Astronomie ebenso früh und zum Teil noch früher beobachtete, als es auf dem Kontinente von dem berühmten Cassini geschah.

Seit jener Zeit ist der Reflektor damals in den allgemeinen Gebrauch der Astronomen in den meisten Ländern Europas gekommen und erhielt unter der Direktion eines Short, Mudge, Edwards und Herschel verschiedene Verbesserungen.

Short war in jener Zeit einer der eminentesten Spiegelkünstler. Er wurde in Edinburgh im Jahre 1710 geboren und starb in der Nähe Londons 1768. Während der Periode von 1732—1768 galt er als der beste Konstrukteur von Reflektoren. In 1743 konstruierte er einen Reflektor für Lord Thomas Spencer, der 12 Fuß Brennweite hatte und für den er 600 Guineen erhielt. Er verfertigte verschiedene andere Teleskope von der gleichen Fokallänge mit größeren Verbesserungen und stärkeren Vergrößerungen; im Jahre 1752 beendigte er ein Spiegelteleskop für den damaligen König von Spanien, für welches er 1200 Pfund erhielt. Dieses wurde als das nobelste Instrument seiner Art erklärt, welches jemals konstruiert worden war, und es wurde wahrscheinlich auch niemals von einem anderen übertroffen, bis Herschel seine 20- und 40-füßigen Reflek-

toren konstruierte. So hoch der Preis auch derzeit von großen erstklassigen englischen Spiegelteleskopen ist, so berechnete Mister Short damals für seine Instrumente noch höhere Preise, als heutzutage die Optiker beanspruchen, obzwar Arbeitslohn und jeder andere Artikel, der bei der Konstruktion eines Reflektors nötig ist, jetzt viel teuerer kommt. Er hatte aber damals kaum einen Konkurrenten und er selbst scheute weder Zeit, Mühe noch Auslagen, um seine Teleskope so vollkommen als nur möglich herzustellen. Es scheint, daß Mister Short für einen Gregoryschen Reflektor von 3 Fuß Länge 75 Guineen rechnete, während ein solches Instrument 100 Jahre später bei den englischen Optikern in gewöhnlicher Montierung bloß 23 Pfund und besser montiert 40 Pfund kostete.

Fig. 6. William und Karolina Herschel.

Wilhelm Herschel wurde am 15. November 1738 in Hannover geboren und wanderte im Jahre 1756 nach England aus, wo er sich in Bath als Organist und Musiklehrer niederließ. Im Jahre 1766 gelangte er durch einen Freund in den leihweisen Besitz eines Gregoryschen Reflektors, welcher bloß 2 Fuß lang war. Der Anblick des Sternenhimmels, den ihm dieses kleine Instrumt gewährte, erregte das lebhafte Verlangen, ein größeres und besseres Teleskop zu besitzen. Die geforderten Preise der Londoner Optiker waren aber für seine geringen Mittel viel zu hoch und so entschloß er sich, ein größeres Spiegelteleskop mit eigenen Händen herzustellen. Zuerst bemühte er sich, eine vorzüglich reflektierende Metalllegierung zu erhalten und fand durch zahlreiche Experimente und Versuche, daß eine Mischung aus 2 Teilen Kupfer und 1 Teil Zinn am geeignetsten sei. Im Jahre 1774 vollendete er einen siebenfüßigen Reflektor Newtonscher Konstruktion. Mit diesem Instrumente aber noch nicht befriedigt, baute er ein 20-füßiges Spiegelteleskop, welches 1783 fertig wurde. Herschel soll während seines 15-jährigen Aufenthaltes in Bath mehr als 400 Spiegelteleskope von 7 bis 20 Fuß Brennweite verfertigt haben.

Als Herschel am 13. März 1781 mit seinem selbstgemachten Spiegelteleskop den Planeten Uranus entdeckte, und der damalige König Georg III. davon erfuhr, bat er den Musiker-Astronomen, daß er mit seinem Teleskop

zu ihm nach Windsor kommen möge, damit der König den Planeten selbst beobachten, und außerdem Herschel ihm alles über die Entdeckung erzählen könne. Georg III. wurde bei dieser Gelegenheit für Herschel derart eingenommen, daß er ihn zum königlichen Astronomen ernannte und ihm ein Jahresgehalt von 200 Pfund bewilligte. Nun war Herschel in der Lage, seinen musikalischen Beruf aufzugeben und sich ganz seiner Lieblingsbeschäftigung, der Astronomie, zu widmen. Er galt damals auch als der berühmteste Astronom. In seiner Schwester Karolina hatte er eine recht eifrige Assistentin und unsere Abbildung Fig. 6 zeigt uns das Geschwisterpaar an der Arbeit. Nachdem nun Herschel mit seiner Schwester nach Datchet bei Windsor in der Eigenschaft als königlicher Astronom übersiedelt war, begann er mit der Herstellung seines größten Spiegelteleskops, dessen Länge 40 Fuß betrug und einen Spiegeldurchmesser von 4 Fuß hatte. Fig. 7 zeigt uns dieses Riesenteleskop, welches im Jahre 1789 vollendet war. Bei diesem Riesenteleskop wendete Herschel eine eigenartige, von ihm selbst erfundene Konstruktion an, bei welcher er, wie aus Fig. 8 ersichtlich ist, nur einen großen konkaven Spiegel *a* verwendete, der etwas schief gestellt war. Der auf diesen Spiegel auffallende Lichtstrahl wurde direkt auf das Okular *b* geworfen, wo es vom Auge des Beobachters aufgefangen wurde. Auf diese Weise ersparte er den zweiten kleinen Spiegel der anderen Konstruktionen. Wilhelm Herschel starb am 25. August 1822 in Slough bei Windsor, wo er seit 1786 lebte. Er hinterließ nur einen Sohn, Sir John Herschel. Letzterer nahm das Riesenteleskop auseinander und nach einer Familienfeier im Innern des Tubus wurde es im Jahre 1839 für immer zur Ruhe gebracht;

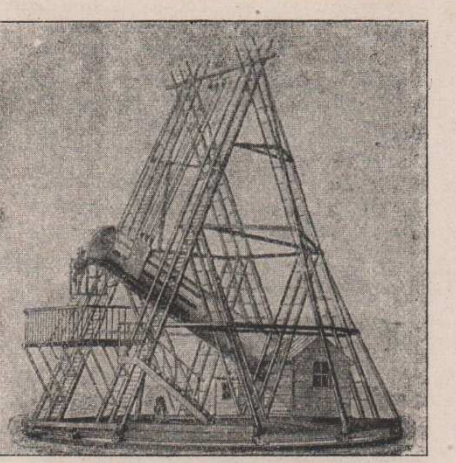


Fig. 7. Das vierzigfüßige Herschelsche Riesenteleskop.

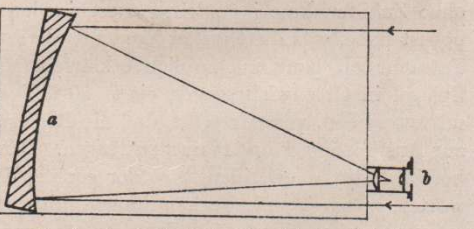


Fig. 8. Durchschnitt des Herschelschen Reflektors.

der Spiegel und Tubus befinden sich noch in Slough. Auch John Herschel, der ebenfalls ein berühmter Astronom war, fertigte einige Spiegelteleskope an, jedoch war keines mehr als 20 Fuß lang.

Neben dem Herschelschen 40-füßigen Reflektor war jenes Instrument damals das größte, welches im königlichen Observatorium zu Greenwich im Jahre 1820 durch Mister Ramage von Aberdeen errichtet worden war. Der Durchmesser des Konkavspiegels betrug 15 Zoll und hatte eine Brennweite von 25 Fuß. Die Montierung war der Herschelschen ähnlich, jedoch waren die Einrichtungen teilweise verbessert, so daß das Instrument vom Beobachter allein, ohne Hilfe eines Assistenten, dirigiert werden konnte. Das Rohr bestand aus einem zwölfseitigen Prisma aus $^5/_8$ Zoll dickem Eichenholz. Es wurde durch Hebel, Rollen, Flaschenzüge und Stricke vom Okularende aus in jede beliebige Lage gebracht.

Beobachter, die nicht gewohnt waren, Himmelskörper mit einem so lichtstarken Instrument zu betrachten, waren im ersten Moment über die schönen Bilder erstaunt und die Leistung des Instrumentes wurde als vorzüglich erklärt. Bei genauerer Prüfung stellte sich indes heraus, daß die zentralen Partien des Spiegels vollkommener waren als die äußeren. Bei Abblendung auf 10 Zoll verbesserten sich die Bilder wesentlich und der königliche Astronom äußerte sich dahin, daß das Spiegelteleskop in der Leistung mit einem ebenso großen guten Refraktor gleich stehe. Die Okulare hatten eine lineare Vergrößerung von 100—1500 und reichten für alle Fälle aus. Dieser Ramage errichtete auch ein ungefähr gleich großes Teleskop auf einem offenen Platz in Aberdeen. Im Jahre 1833 zeigte er einem Besucher 2—3 große Spiegel von 12—18 Zoll Durchmesser, die prachtvoll poliert waren. Er sagte, daß er dieselben mit seinen Händen ohne Zuhilfenahme irgendeiner maschinellen Einrichtung geschliffen und poliert habe, was die Optiker Englands derartig überraschte, daß sie diese Tatsache als ganz unglaublich erklärten. Man plante den 25-füßigen Spiegel in Greenwich, gegen einen 50-füßigen von 21 Zoll Durchmesser umzutauschen, vorausgesetzt, daß die Regierung geneigt sei, die Unkosten zur Ausführung dieses Planes zu tragen. Den Spiegel hatte Ramage auch bereits fertig, aber leider starb der geniale Künstler im Jahre 1835 unerwartet, gerade als die Verhandlungen mit der Regierung stattfanden.

Nunmehr erbaute im Jahre 1845 Lord Rosse in Parsonstown bei Dublin einen Reflektor von 56 Fuß Brennweite und 6 Fuß Spiegeldurchmesser. Der Spiegel dieses Riesenteleskops wiegt allein mehr als 4000 *kg* und das Gesamtgewicht beträgt über 16000 *kg*. Die Metallmischung des Spiegels besteht aus 4 Teilen Kupfer und 1 Teil Zinn. Die Lichtkraft dieses Instrumentes ist mehr als doppelt so groß, als diejenige des 40-zölligen Herschelschen Reflektors. Bei der Erbauung dieses mächtigen Teleskops schüttelte man ungläubig den Kopf. Lord Rosse, ein eifriger Astronom, befolgte bei der Herstellung des Spiegels die von Herschel an-

gewandte Methode, jedoch verwendete er zum Schleifen und Polieren eine mit Dampf betriebene Maschine, was einen großen Vorteil bot. Wie aus der Abbildung Fig. 9 ersichtlich ist, weicht die Art der Montierung von dem Herschelschen System wesentlich ab. Der Tubus steht zwischen zwei starken Mauern, die vom Meridian nach beiden Seiten nur eine seitliche Bewegung von 10 Graden zulassen. Durch eine sinnreiche Kettenkonstruktion kann das Instrument leicht in jede beliebige Poldistanz gebracht werden. Ein kräftiges Uhrwerk sorgt dafür, daß ein eingestelltes Objekt im Gesichtsfeld des Fernrohres bleibt. Die Montierung ist derart, daß der Spiegel sowohl nach Newtonschem, als auch Herschelschem Prinzip verwendet werden kann. Das Instrument eignet sich besonders für Nebel, Sternhaufen, Planeten und auch Mondbeobachtungen. Es führt den Namen „Leviathan" und ist heute noch das größte fertige Spiegelteleskop der Welt.

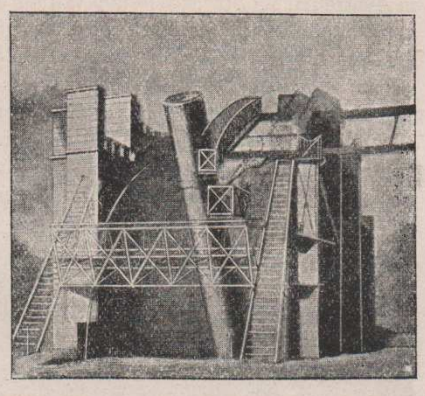


Fig. 9. Das Riesenteleskop „Leviathan" von Lord Rosse in Parsonstown.

Beinahe zur gleichen Zeit mit Lord Rosse konstruierte William Lassell in Starfield bei Liverpool ein Spiegelteleskop, dessen Spiegel einen Durchmesser von 2 Fuß hatte und sehr gute Bilder gab. Mit diesem Instrument entdeckte er im Jahre 1847 den Neptuntrabanten, 1848 gleichzeitig mit Bond den achten Saturntrabanten und 1851 zwei Trabanten des Uranus. Im Jahre 1852 übersiedelte er mit seinen Instrumenten nach Malta und verfertigte daselbst einen Riesenreflektor von 4 Fuß Öffnung. Mit diesem mächtigen Instrument entdeckte er mehr als 600 Nebelflecke. Fig. 10 zeigt uns den vierfüßigen Reflektor von Lassell, der in gewisser Beziehung eine eigenartige Montierung aufweist. Leider hat Lassell dieses wunderbare Instrument kurz vor seinem Tode vernichtet,

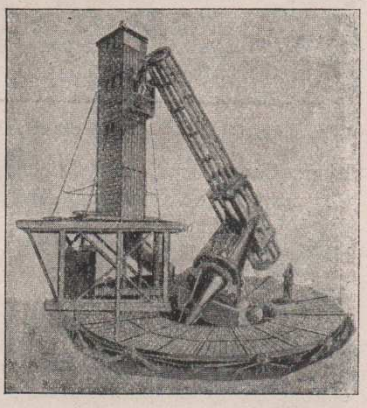


Fig. 10. Der vierfüßige Reflektor von Lassell.

da er nicht haben wollte, daß ein solches Unikum von einem Spiegel nach seinem Tode in andere Hände komme.

Im Jahre 1870 erbaute Grubb in Dublin für die Sternwarte Melbourne in Australien ein Spiegelteleskop von 4 Fuß Öffnung. Die für diesen Spiegel verwendete Metallmischung besteht, gleich der Lord Rosseschen, aus 4 Teilen Kupfer und 1 Teil Zinn. Die Montierungsart ist nach Cassegrainschem Prinzip. Das Rohr besteht aus zwei Teilen; der untere ist aus Eisenblech und über zwei Meter lang, worin der große, durchbohrte Spiegel enthalten ist. Der obere Teil besteht hingegen aus einem Gitterwerk von Stahlbändern, in welchem oben der kleine konvexe Spiegel angebracht ist. Die Abbildung Fig. 11 stellt uns diesen Riesenreflektor von Melbourne dar. Bei dieser Montierungsart war es keine geringe Aufgabe, zu verhindern, daß der Spiegel keine Verzerrung der Bilder gibt. Jede Spannung der einzelnen Partien des Spiegels wurde auf äußerst sinnreiche Weise dadurch vermieden, daß der ganze große Spiegel auf 48 Hebeln balanciert. Das Gewicht des Spiegels mit der Fassung beträgt ungefähr 2000 *kg*. Im Innern des Pfeilers befindet sich ein Uhrwerk, welches die 8000 *kg* schwere Gesamtmasse dem beobachteten Objekt genau nachführt.

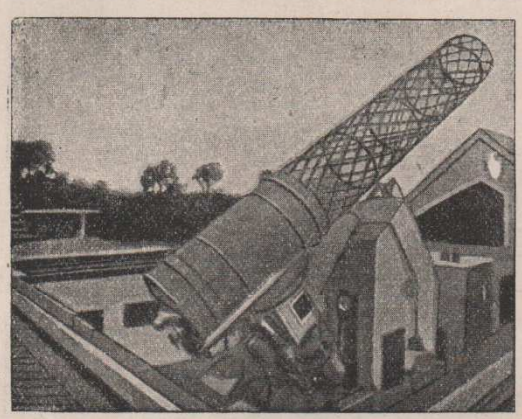


Fig. 11. Der große Reflektor von Melbourne.

Wir sehen, daß die Teleskopspiegel bisher nur aus Metallkompositionen hergestellt worden sind. Nachdem aber der berühmte Chemiker Justus von Liebig die Versilberung von Glasoberflächen erfunden hatte, beschäftigte sich der französische Physiker Léon Foucault mit der Herstellung von Teleskopspiegeln aus versilbertem Glas. Nachdem ihm eine Anzahl kleinerer Instrumente gelungen war, wagte er sich an die Herstellung eines größeren Reflektors, welcher bei einer Öffnung von 70 *cm* eine Brennweite von 4 *m* aufwies. Die zu diesem Spiegel erforderliche Glasplatte ließ er sich in der berühmten Fabrik zu Saint-Gobain gießen, während der Schliff unter seiner persönlichen Leitung vorgenommen wurde. Unsere Abbildung Fig. 12 zeigt uns dieses erste größere Spiegelteleskop mit versilbertem Glasspiegel von Foucault. Dasselbe war zuerst in Paris aufgestellt und wurde aber später nach Marseille gebracht, wo-

selbst mit diesem Instrument verschiedene neue Nebelflecke entdeckt worden sind.

Nunmehr wurde für die Pariser Sternwarte im Jahre 1875 von Martin & Eichens ein großer Glasspiegelreflektor erbaut, dessen Öffnung 4 Fuß betrug und eine Brennweite von 24 Fuß hatte. Unsere Abbildung Fig. 13 stellt uns diesen Reflektor der Pariser Sternwarte dar, und wie ersichtlich ist, handelt es sich bei der Montierungsart um die Newtonsche Konstruktion.

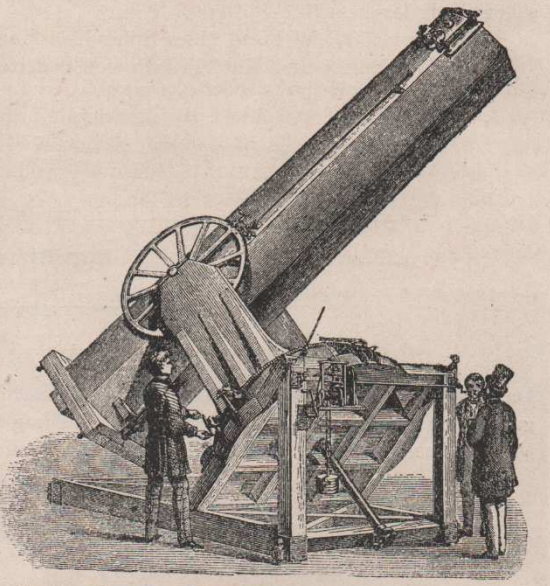


Fig. 12. Der erste große Reflektor mit versilbertem Glasspiegel von Leon Foucault.

Nun schritten in England, Frankreich und Amerika sowohl zahlreiche Optiker als auch Amateure zur Herstellung von Silberglasspiegeln für Teleskopzwecke, und besonders in England und Amerika haben die Spiegelteleskope ihre größte Verbreitung gefunden und eine unglaubliche Vollkommenheit in ihrer Leistungsfähigkeit erreicht. Merkwürdig allerdings ist der Umstand, daß, wie bereits erwähnt, die besten Teleskopspiegel nicht von Berufsoptikern, sondern von Amateuren hergestellt worden sind, während Spiegel von

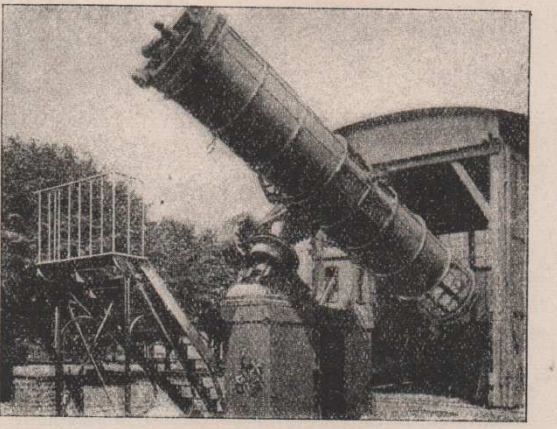


Fig. 13. Der große Reflektor der Pariser Sternwarte.

sonst berühmten optischen Firmen für Kenner häufig sehr viel zu wünschen übrig lassen.

Eine eigentümliche Form eines Spiegelteleskops stellt das im Jahre 1876 von J. Forster und Karl Fritsch konstruierte Brachyteleskop dar.

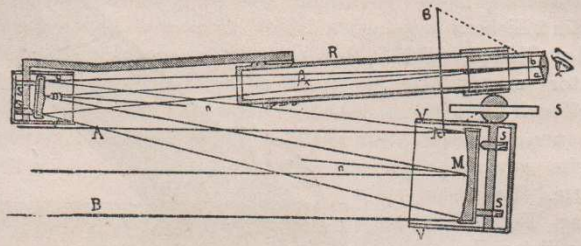


Fig. 14. Durchschnitt des Brachyteleskops.

Dasselbe ist sozusagen eine Vereinigung der Herschelschen mit der Cassegrainschen Form, wobei durch die schiefe Stellung des Hauptspiegels der Vorteil erreicht wird, daß der kleine Spiegel seitlich zu stehen kommt,

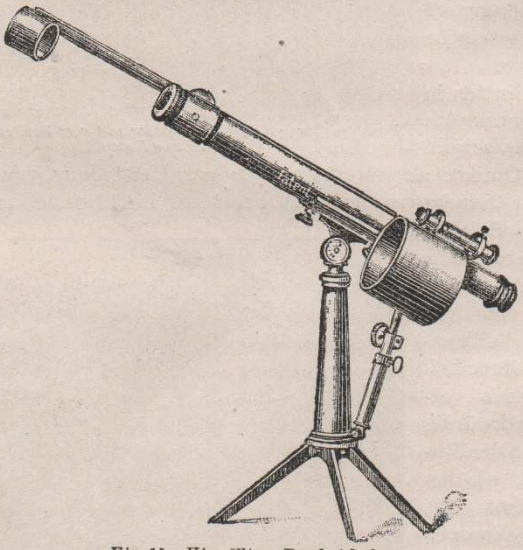


Fig. 15. Vierzölliges Brachyteleskop.

so daß bei dieser Konstruktion die Zentralstrahlen vollständig zur Geltung gelangen und nur ein Teil der Randstrahlen des Hauptspiegels teils durch den Okularstutzen, teils durch den kleinen Spiegel aufgefangen wird. Es handelt sich bei diesem System um zwei versilberte Glasspiegel. Das

Prinzip soll durch Fig. 14 veranschaulicht werden. Der große Spiegel M, der zur Okularachse $m \frac{a}{b}$ geneigt ist, wirft die von dem Gegenstand ausgesandten Strahlen konvergierend dem kleinen Spiegel m zu und dieser, der eine schwach konvexe Krümmung besitzt, verursacht, daß das Bild erst hinter dem großen Spiegel zustande kommt, welches dann durch das Okular vergrößert in A' B' gesehen wird. Wäre statt des konvexen Spiegels ein Planspiegel vorhanden, so würde, wenn der Abstand desselben vom großen Spiegel ungefähr $^2/_3$ von dessen Brennweite beträgt, ein Bild in β zustande kommen. Die Beobachtung desselben mit dem kurzen astronomischen Okular wäre dadurch unmöglich. Die Krümmung des kleinen Spiegels ist so berechnet, daß sich die Strahlen erst in a b zu einem Bilde vereinigen. Da der einfallende Strahl A nicht parallel zur Okularachse ist, also auch nicht zum reflektierenden Strahl des kleinen Spiegels, so ist ein Sucher unbedingt erforderlich. Der große Spiegel befindet sich zur Linken des Beobachters und ist zu seinem besseren Schutze mit einem Gehäuse umgeben; der kleine Spiegel ist am Ende des dünnen Rohres angebracht, welches an dem entgegengesetzten Ende das mittels Trieb ein- und ausschiebbare Okularrohr trägt, in dem nun das Okular eingeschraubt ist. Beide Spiegel können mit je drei vorhandenen Rektifizierschrauben eingestellt werden. Das Rohr, welches die andern Spiegelteleskopsysteme besitzen, ist beim Brachyteleskop nicht vorhanden. Außerdem ist das Instrument leicht und kurz und dadurch für Liebhaberastronomen sehr handlich. Fig. 15 stellt ein solches azimutal montiertes Brachyteleskop von 4 Zoll Öffnung dar, welches sich ebenfalls im Besitze des Autors befindet. Dasselbe läßt sofort die Duplizität von Kastor, den Polarstern, Rigel usw. erkennen und zeigt überhaupt eine bedeutende Bildschärfe, wie sich aus den an verschiedenen Mondkratern wahrnehmbaren Details ergibt.

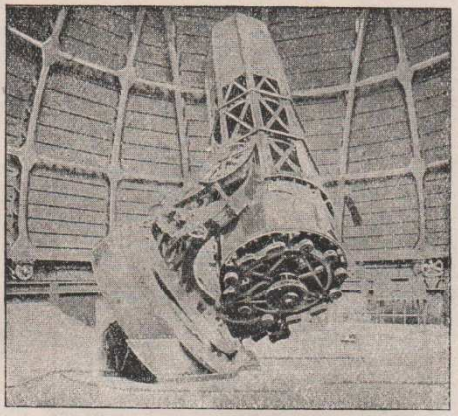


Fig. 16. Der fünffüßige Spiegelglas-Reflektor des Sonnen-Observatoriums auf Mount Wilson.

In neuester Zeit besitzt Amerika den größten Spiegelglas-Reflektor auf dem Sonnenobservatorium auf Mount Wilson bei Pasadena in Kalifornien. Der Spiegeldurchmesser beträgt 5 Fuß. Die Abbildung Fig. 16

zeigt uns dieses moderne mächtigste Spiegelteleskop der Welt, zu dessen Herstellung Carnegie die Mittel bot. Es mußte zuerst eine spezielle Schleifmaschine hergestellt werden, bevor man an das Schleifen eines so großen Glasspiegels gehen konnte. Auch war die Herstellung einer so mächtigen, gleichmäßig gekühlten Glasscheibe mit Schwierigkeiten verbunden. Aber schließlich ist es nach Jahren dem unermüdlichen amerikanischen Künstler doch gelungen, das begonnene Werk in zufriedenstellender Weise zu vollenden.

Auch das Flagstaff-Observatorium in Arizona hat in neuerer Zeit ein größeres Spiegelteleskop aufgestellt, dessen Durchmesser etwas über 3 Fuß beträgt. Der eifrige Marsforscher Prof. Lowell hat durch diesen Reflektor die Marskanäle als feine, genau geometrische Linien gesehen.

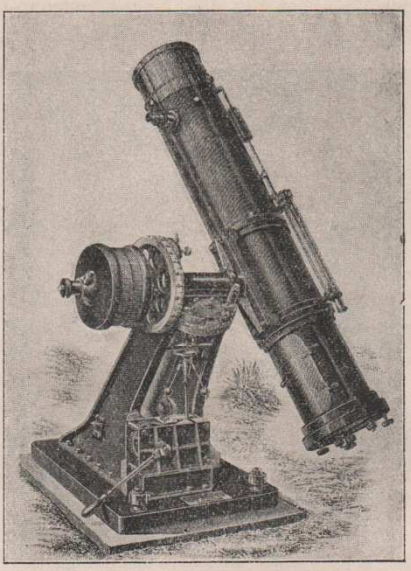


Fig. 17. Der 20 zöllige englische Reflektor der Flammarion-Sternwarte, Luzern.

Ebenso besitzt auch die Lick-Sternwarte in Kalifornien ein modernes Spiegelteleskop von ca. 3 Fuß Öffnung, welchem Instrumente die moderne Astrophysik ihre größten Fortschritte zu danken hat. Dieses Spiegelteleskop, welches ein englischer Künstler in der größtmöglichen Vollkommenheit hergestellt hat, führt in der Wissenschaft den Namen „Crossley-Reflektor".

Die im Besitze der „Flammarion"-Sternwarte in Luzern befindlichen zwei Hauptspiegelteleskope wurden sowohl in ihren optischen als auch mechanischen Teilen vom gleichen englischen Künstler hergestellt und sind vorzüglich geglückt. Das größere Instrument besitzt einen Durchmesser von 20 Zoll und ist parallaktisch montiert, mit Uhrwerk und allen modernen Einrichtungen versehen. Das zweite kleinere Teleskop hat eine Öffnung von 10 Zoll und ist bloß azimutal montiert, jedoch mit horizontaler und vertikaler Feinbewegung versehen. Die Abbildungen Fig. 17 und 18 zeigen diese beiden erstklassigen, modernen englischen Spiegelteleskope der „Flammarion"-Sternwarte in Luzern.

Nunmehr soll in Reggio-Emilia, der Geburtsstadt des berühmten Jesuitenpaters und ehemaligen Leiters der päpstlichen Sternwarte am Collegio Romano, Angelo Secchi, dem die Wissenschaft besonders wert-

volle Sonnenforschungen verdankt, in einem turmartigen Aufbau ein sehr großes Spiegelteleskop für astrophysikalische Arbeiten errichtet werden. Daselbst soll auch auf einem 35 Meter hohen Aufbau in chaldäisch-babylonischem Stil in der Mitte ein Standbild Secchis gestellt und an den vier Ecken gigantische Figuren von Kopernikus, Galilei, Kepler und Newton errichtet werden.

Und zum Schlusse hat die Sonnenwarte auf Mount Wilson in Kalifornien mit ihrem 60-zölligen Reflektor bereits so zufriedenstellende Erfahrungen gemacht, daß dort ein modernes Spiegelteleskop von derselben Künstlerhand hergestellt wird, dessen Durchmesser aber alles bisherige übertrifft, indem er 100 Zoll betragen wird. Die Kosten dieses Riesenintrumentes wird der amerikanische Multimillionär John D. Hooker bestreiten, dessen Namen es auch führen soll. Der sphärische Schliff dieses $2^1/_2$ Meter-Glasspiegels ist bereits vollkommen gelungen und kommt nunmehr die Parabolisierung der Spiegelfläche an die Reihe. Der Grundpfeiler für das Instrument ist schon errichtet und hat bei einer Höhe von 10 Metern eine Grundfläche von $6{,}10 \times 12{,}20$ *m*. Die Gabel, in welcher sich der Tubus bewegt, wiegt allein 28000 *kg*.

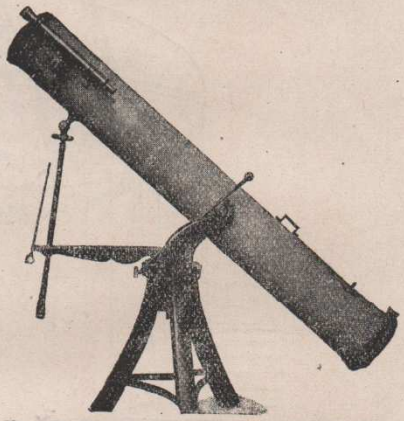


Fig. 18. Der zehnzöllige englische Reflektor der Flammarion-Sternwarte, Luzern.

Ebenso sind schon die Grundmauern des Gebäudes zur Aufnahme des Teleskops erstellt. Die drehbare Kuppel besitzt einen Durchmesser von $30^1/_2$ *m* und ist mit einer Spaltöffnung von 6 *m* versehen. Die Höhe des Kuppelgebäudes beträgt 32 *m*. Damit die Luft ungehindert zirkulieren kann und ein ständiger Temperaturausgleich stattfindet, wird die Bedachung in doppelter Lage ausgeführt und zwar so, daß dieselben 2 Fuß voneinander entfernt und beide Lagen mit Lücken versehen sind. Den Kuppelbau, der ebenfalls ein Meisterwerk der Ingenieurkunst darstellt, besorgt die Firma Burnham & Co. in Chicago.

Mit Recht dürfen wir durch dieses schöne Riesenteleskop die großartigsten Leistungen erwarten; vielleicht Ergebnisse, die auf vielen astronomischen Gebieten unsere Anschauungen völlig verändern können.

III. Die Herstellung parabolischer Teleskopspiegel.

Die ältere historische Methode.

Um sich einen allgemeinen Begriff über die Herstellung parabolischer Glasteleskopspiegel zu machen, wollen wir die Arbeitsweise der ehemaligen Erzeuger von Metallspiegeln berücksichtigen, da die moderne Herstellungsweise parabolischer Glasspiegel im Prinzip mit derjenigen des 18. Jahrhunderts identisch ist. In der Mitte der optischen Werkstätte war gewöhnlich ein runder Holzblock oder ein Faß aufgestellt, die so groß waren, daß der Arbeiter um dieselben rundgehen konnte und dabei jede Stelle

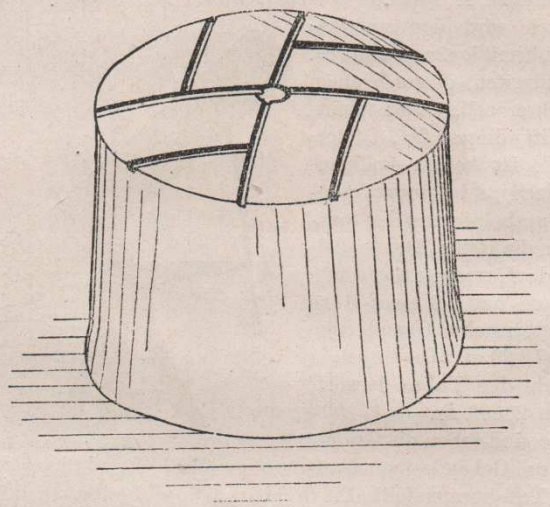


Fig 19. Konvexe Schleifschale.

der oberen Holzblock- oder Faßplatte ohne Anstrengung erreichbar war. Auf die Platte wurde als erste Schleifschale ein konvex geformtes Metallstück gelegt, das aus dem gleichen Metall wie der herzustellende Spiegel bestand. Fig. 19 zeigt eine solche Schleifschale. Auf diese konvex geformte Schleifschale wurde Schmirgel gestreut und derselbe mit Wasser befeuchtet. Nun wurde jenes scheibenförmig gegossene Metallstück, das für den Spiegel bestimmt war, an einer Seite so lange darauf hin und hergerieben, bis die Form der Metallspiegelfläche genau an die Schleifschale angepaßt und genügend glatt war. Die in der Abbildung sichtbaren Furchen und die kleine zentrale Vertiefung auf der Schleifschale bezweckten, daß der Schmirgel zwischen den beiden Flächen frei hin und her zirkulieren konnte, um ein gleichmäßiges Abschleifen der Metallspiegelfläche zu ermöglichen.

Nachdem diese erste Bearbeitung der Metallfläche beendigt war, wurde an Stelle der bisher verwendeten konvexen Schleifschale aus Metall, eine zweite Schleifschale gebracht, die ebenfalls eine konvex geformte Grundfläche aufwies, auf der aber aus Wetzstein kleine Quadrate waren. Fig. 20 zeigt uns auch eine solche Schleifschale. Auf dieser zweiten Schale wurde der Spiegel nunmehr fein geschliffen und zwar so lange, bis er für die nun folgende Politur geeignet schien.

Ein sogenannter Polierer wurde sodann auf die Art hergestellt, daß man die Facetten der zweiten Schleifschale mit einer Mischung von Pech und Harz überzog. Auf dieser Fläche wurde nunmehr der Spiegel unter Verwendung von sog. Polierrot (feinst geschlämmtes Eisenoxyd) poliert.

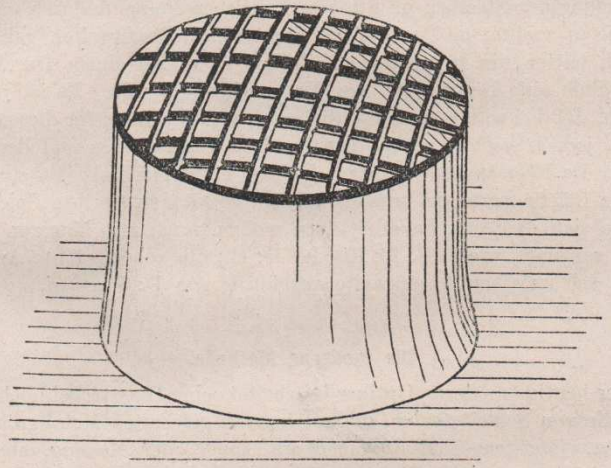


Fig. 20. Konvexe Schleifschale mit quadratischen Formen aus Wetzstein.

Durch diese letzte Prozedur wurde aber der Spiegel nicht nur äußerst fein poliert, sondern erhielt auch gleichzeitig die parabolische Kurve, die nötig war, um eine gute Definition in einem Teleskope zu erlangen.

Während der ganzen Arbeitsdauer ging der Erzeuger unaufhörlich rund um das Faß, wobei er nach jedem Strich die Form der Bewegungslinien des Spiegels wechselte. Um die Kurve der Spiegelfläche zu verändern, wurden Länge und Art der Striche, die er mit dem Spiegel auf der Schleifschale oder dem Polierer durch Hin- und Herreiben ausführte, modifiziert. Der Effekt, welcher durch diese jeweilige Veränderung der Striche verursacht wurde, war dem Erzeuger solcher optischer Metallspiegel bekannt und gerade in dieser Kenntnis lag seine Geschicklichkeit und sein Geheimnis in der Herstellung parabolischer Teleskopspiegel. Nach der oben beschriebenen Methode haben die berühmtesten Künstler

gegen Ende des 18. und zu Anfang des 19. Jahrhunderts ihre Spiegel bearbeitet. An der Spitze dieser Ära der Spiegeltechnik stehen Namen allerersten Ranges, wie Short, Mudge, Edwards, Ramage, Herschel und Rosse; Namen, die mit den Annalen der Geschichte des Spiegelteleskops unauslöschlich auch für die spätesten Kulturperioden der Menschheit verbunden sind. Die eigentlichen Methoden der Strichausübung, um eine Parabel zu erzielen, waren individuell verschieden und jeder Künstler suchte seine Methode möglichst geheim zu halten.

Böse Zungen behaupten, daß William Herschel seine Spiegel gar nicht parabolisierte, indem er keine darauf zielende Methode kannte, sondern seinen Spiegeln eine möglichst genaue sphärische Form verlieh und eine Vereinigung der Strahlen im gemeinschaftlichen Fokus dadurch möglichst zu erzielen suchte, daß er den Spiegeln lange Brennweiten gab. Tatsächlich hatten die Herschelschen Spiegel z. B. bei einem Durchmesser von 1 Fuß eine Brennweite von 20 Fuß, also 1 : 20. Es ist nicht zu leugnen, daß bei so langen Brennweiten eine gute Sphäre für diesen Zweck genügt, jedoch leider nur auf Kosten des Gesichtsfeldes und der Lichtstärke. Da aber gerade Anfänger leichter eine sphärische als eine parabolische Fläche zustande bringen werden, so können sie ihre Spiegel, sofern sie sich die Aufgabe erleichtern wollen, auch mit längeren Brennweiten versehen, wie z. B. 1 : 10 oder 1 : 12; nur schon geübte Amateure dürfen sich zu einem Brennweitenverhältnis von 1 : 6 wagen.

Die moderne Methode.

Der heutige moderne Optiker bearbeitet seine Glasspiegel noch immer mit Hilfe von Schleifschalen, die aus konvex geformten Metallgußstücken bestehen. Meistens sind dieselben aus Eisen oder Messing, aber auch Kompositionen von Blei, Zink oder Zinn werden verwendet. Die letzteren sind jedoch nicht so widerstandsfähig und nützen sich leicht ab. Auch die Politur wird in den modernen optischen Anstalten noch immer in den meisten Fällen auf einer harzigen Pechschicht durchgeführt. In Frankreich übt man jedoch die Methode des Polierens auch auf Tuchstoff aus; das Polieren auf Tuch geht aber langsamer vor sich und es ist auch keine so hohe Politur wie auf Pech erzielbar. In England erzielen manche Künstler auf einem mit ungeleimtem Papier überzogenen Polierer, natürlich auch mit Polierrot versehen, häufig ganz vorzügliche Resultate.

Diese moderne Methode unter Verwendung von Metallschleifschalen ist jedoch nur für Optiker vom Fach, die ihre Spiegel nicht mit der Hand bearbeiten, sondern sich für Schliff und Politur mehr oder weniger kompliziert gebauter Polier- und Schleifmaschinen bedienen und elektrische Kräfte zum Treiben verwenden, zu empfehlen. Der Amateur, der nicht im Besitze solcher Hilfsmittel ist und sich selbstverständlich zur Her-

stellung eines einzigen Spiegels solche Auslagen nicht machen kann, darf sich mit dieser Arbeitsweise nicht befassen; dieselbe kommt nur dort in Betracht, wo es sich um die fabrikmäßige Massenerzeugung mehrerer, namentlich auch großer Teleskopspiegel handelt.

Die Größe oder der Spiegeldurchmesser darf bei der im folgenden angegebenen Handbearbeitungsmethode keinesfalls 8 englische Zoll (1 engl. Zoll = 25,4 *mm*) übertreffen; am besten ist es, der Amateur hält sich unter dieser Größe und bleibt bei $5^1/_2$—6 Zoll Durchmesser, wenn er gute Resultate erzielen will. Er sei des Spruches eingedenk: „Besser ein kleines, aber vollkommenes Spiegelobjektiv, als ein großes und schlechtes.“ Nach den Erfahrungen des Verfassers kann man z. B. einen 10-zölligen Spiegel mit der Hand nicht mehr vollkommen herstellen; es ist dazu unbedingt Maschinenarbeit erforderlich.

Moderne Handmethode für Amateure.

Bei dieser Methode entfallen alle Metallschleifschalen und es werden lediglich zwei gleich große, möglichst dicke, runde Glasscheiben aus fehlerfreiem Spiegelglas (Kronglas) verwendet. Die eine Glasscheibe ergibt den künftigen Teleskopspiegel, während die andere als Hilfswerkzeug zur Herstellung dient.

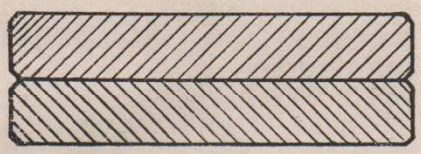


Fig. 21. Lage der Glasscheiben bei Beginn der Striche.

Den Grundsatz, auf welchem diese überaus schöne, am Kontinente noch gar nicht bekannte Methode des Spiegelschleifens und Polierens beruht, verdanken wir einer zufälligen Entdeckung des großen englischen Physikers William

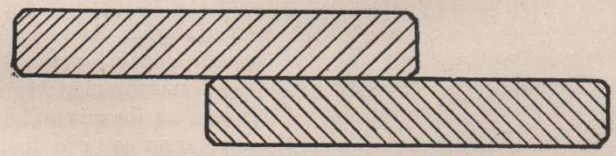


Fig. 22. Lage der Glasscheiben bei geraden Strichen.

Thomson (Lord Kelvin). Derselbe fand, daß wenn man zwei Glasscheiben, eine untere und eine obere, flach aufeinanderlegt und zwischen beide mit Wasser befeuchtetes Schmirgelpulver bringt und weiter die obere Glasscheibe unter Ausübung eines Druckes auf der unteren Scheibe nach allen Richtungen hin- und herbewegt, so wird durch diese Manipulation die untere Scheibe konvex und die obere konkav geformt. Fig. 21 zeigt die Lage der beiden Glasscheiben bei Beginn der Arbeit.

Wenn man nun die obere Platte mit beiden Händen hin- und herbewegt, so daß die erstere über die letztere zur Hälfte hinausragt (Fig. 22), wobei die Mitte der oberen Platte auf den Rand der unteren drückt, so entsteht die Tendenz des Konkavwerdens der oberen Glasscheibe und des Konvexwerdens der unteren, wie aus Fig. 23 ersichtlich ist.

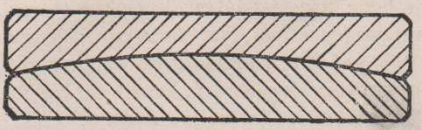


Fig. 23. Kurvenergebnis der Strichbewegungen.

Aus Fig. 24 können wir nun die Arbeitsweise weiter ersehen. Die Schleifschale, also in unserer **„Werkstätte mit Handbetrieb“** die untere Glasscheibe, wird zuerst auf eine runde oder viereckige Holzplatte gekittet. Letztere soll, wie ebenfalls aus unserer Abbildung ersichtlich ist, etwas größer im Durchmesser sein als die Glasscheibe. Am besten kittet man Glas mit Holz, indem man auf die Klebflächen geschmolzenes Harz und Pech tröpfelt und nachher erkalten läßt. Nunmehr wird diese Holzplatte mit Schrauben auf ein durch Wasser oder Sand beschwertes altes Faß oder auf einen feststehenden Holzsockel befestigt.

Fig. 24. Der Amateur bei der Schleifarbeit.

Auf die zweite Glasscheibe, die wir fortan der Deutlichkeit und Einfachheit halber „Spiegelscheibe“ nennen wollen, im Gegensatz zur ersten „Schleifscheibe“, kittet man ebenfalls mit Pech und Harz einen runden Handgriff aus Holz. Dieser Holzgriff dient zur bequemeren Handhabung.

Nunmehr nimmt man die Spiegelscheibe mit beiden Händen genau so, wie die Abbildung zeigt und reibt dieselbe in solcher Weise hin und her, daß sich die aufeinanderfolgenden Striche nicht decken, oder mit anderen Worten ausgedrückt, daß die Spiegelscheibe bei den Bewegungen immer mit andern Stellen der unteren Schleifscheibe in Berührung kommt. Nur auf diese Art erhält die obere Spiegelscheibe eine regelmäßige und sphärisch ausgeschliffene Konkavität. Es ist erforderlich, daß der Amateur bei dieser Arbeit im gleichmäßigen Tempo langsam rund um das Faß

geht, wobei er unter Ausübung eines gleichmäßigen Druckes die Spiegelscheibe unter seinen Händen leicht rotiert und derselben gleichzeitig eine ruckweise Seitenbewegung erteilt. Diese kompliziert scheinende, weil zusammengesetzte Bewegung wird bei einiger Übung leicht erlernt. Zur Erleichterung wollen wir diesen Bewegungsvorgang noch einmal in seine einzelnen Bewegungsarten zerlegen: 1. Die untere Schleifscheibe liegt zwar fest; dadurch aber, daß der Amateur um dieselbe rund geht, bewirkt er dasselbe, als wenn die untere Schleifscheibe rotieren würde.

Es sei erwähnt, daß man die Arbeit auch so modifizieren kann, daß man die untere Schleifscheibe auf eine runde, flache Holz- oder Metallplatte kittet und in das Zentrum der letzteren eine Metall- oder Holzachse anbringt. Diese Achse wird nun in ein Führungsloch, welches man in die Ecke eines alten Tisches oder in eine mit Sand beschwerten Kiste gebohrt hat, gesteckt. In diesem Falle erspart man sich das monotone Rundgehen um das Faß, indem man einfach regelmäßig und periodisch nach jedem,

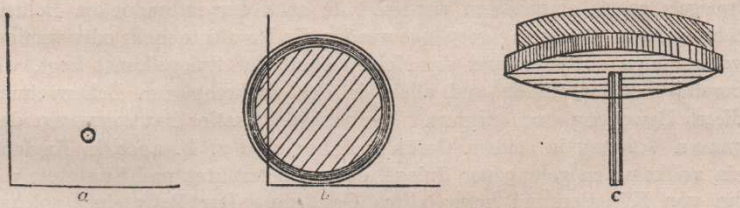


Fig. 25. Schleifvorrichtung, bei welcher das Rundgehen erspart wird.
a) Tischecke mit Öffnung zur Aufnahme der kleinen Metallachse. b) Tischecke mit Metallachse, Metallplatte und Schleifscheibe; Metallplatte links über die Tischkante ragend. c) Metallachse, Metallscheibe und Schleifscheibe, um in die Tischöffnung gesteckt zu werden.

mit beiden Händen ausgeführten Strich der oberen Spiegelscheibe, der unteren Schleifscheibe mit der linken Hand eine ungefähre Achteldrehung erteilt. Es empfiehlt sich in diesem Falle, die runde Metall- oder Holzplatte etwas größer zu nehmen, als die darauf gekittete Schleifscheibe ist. Die Achse muß bloß einige Zentimeter lang sein, aber das Loch sollte so gebohrt werden, daß die runde Platte an der linken Seite die Tischkante etwas überragt, wodurch man dieselbe mit der linken Hand leicht drehen kann. Fig. 25 zeigt diese Vorrichtung. Falls die Achsendrehung zu viel Reibung ergibt, empfiehlt es sich, auf die Tischplatte ein Stück Blech zu nageln und etwas Fett darauf zu bringen. Dieses Blech muß natürlich in der Mitte ebenfalls ein Loch haben, da die Achse durchgesteckt wird.

Nach dieser Exkursion kehren wir nun zur weiteren Analyse unseres Bewegungsvorganges zurück. 2. Die beiden aufgelegten Hände erteilen der oberen Spiegelscheibe von uns ab und zu uns gehende Reibbewegungen, wobei auf die Länge dieser Striche genau geachtet werden soll, worüber noch später ausführlich berichtet wird. 3. Damit nun bei diesem Hin- und Herbewegen die beiden Glasscheiben sich nicht an denselben Stellen

treffen, erteilt man der oberen Spiegelscheibe eine, allerdings schwer zu beschreibende, aber um so leichter auszuführende ruckweise Seitenbewegung nach rechts. Der Verfasser fand, daß diese ruckartige Bewegung am leichtesten in dem Moment gemacht wird, wo man die obere Spiegelscheibe von sich fortbewegt.

Da nun die beschriebenen drei Bewegungsarten fast gleichzeitig erfolgen, so ist der resultierende Effekt ein gleichmäßiges Ausschleifen der oberen Spiegelscheibe. Nur durch genaue Einhaltung und Übung dieser Regeln wird eine regelmäßige sphärisch konkave Flächenfigur erzielt. Im anderen Falle würden Unregelmäßigkeiten, sogenannte Zonen, das sind Vertiefungen und Erhöhungen, entstehen und dadurch die Fläche für unsere Zwecke total ungeeignet machen.

Diese drei Bewegungen in Verbindung mit den genau im Verhältnis angepaßten Strichlängen bilden das ganze große Geheimnis der Spiegelschleifkünstler und müssen auch bei einer maschinellen Bearbeitung des Spiegels genau eingehalten werden. Je nach der individuellen Beherrschung dieser Bewegungsvorgänge werden die Resultate mehr oder weniger vollkommen ausfallen und die Meisterschaft der Spiegelkunst liegt, wie bereits erwähnt, einzig und allein in der vollkommenen Beherrschung dieses Bewegungsmechanismus. Der wahre Künstler hat sozusagen den ganzen Vorgang in seinem Gefühle; daher wird z. B. auch in England ein vollkommen gelungener Spiegel ebenso betrachtet und bewertet, wie ein von Künstlerhand hergestelltes Gemälde. Der Preis eines solchen Spiegels wird dann zum imaginären Begriff und es gibt Spiegel, die tatsächlich auf dem Markte nicht zu erhalten und einfach unbezahlbar sind. So zerschlug Lassell kurz vor seinem Tode den berühmten Spiegel, mit welchem er die beiden Uranusmonde, den Neptunmond und den achten Saturntrabanten entdeckte, da er nicht haben wollte, daß dieses Unikum von einem Spiegel in fremde Hände gerate. Viele berühmte Spiegel sind nur im unveräußerbaren Besitz von Museen und Sternwarten. Das erste kleine Newtonsche Spiegelteleskop (Fig. 4) könnte von der Royal Society in London um keinen erschwingbaren Preis erkauft werden. Aber auch der Autor würde z. B. seinen 8-zölligen Gaudibertschen englischen Spiegel unter keinen Umständen vermissen wollen. Solche vollkommene Kunstwerke werden eben nicht täglich produziert und gehören zu den größten Seltenheiten. Damit sei natürlich nicht gesagt, daß nicht auch einzelne vorzüglich gelungene Exemplare von Linsenobjektiven, z. B. eines Alvan Clark, eines alten Fraunhofer oder Reinfelder und Hertel, von Liebhabern ebenso hoch bewertet sind.

Wenn nunmehr die beiden Glasflächen mit Schmirgel auf die oben angeführte Weise genügend ausgeschliffen sind, so wird das Schleifen mit Verwendung von verschiedenen Graden feineren Schmirgels so lange fortgesetzt, bis die obere Spiegelscheibe so glatt ist, daß man mit diesen feinen

Schmirgelgraden nichts mehr erreichen kann. Sodann wird die Spiegelscheibe durch die Politur mit Polierrot auf Pech vollendet. Man kann also sehen, daß der angeführte moderne Herstellungsprozeß für Amateure im Grunde genommen mit der Methode der Optiker des 18. Jahrhunderts identisch ist.

Erforderliche Materialien.

Bevor nun der Amateur mit der Herstellung des parabolischen Teleskopspiegels beginnt, muß er sich folgende Materialien verschaffen:

1. Zwei runde, glattpolierte Glasscheiben von dem erforderlichen Durchmesser; also z. B. für ein 6-zölliges Spiegelteleskop müßte der Durchmesser der Glasscheiben ebenfalls 6 Zoll betragen. Die beiden gleich großen Glasscheiben sollen, um schädliche Biegungen bei der Arbeit zu vermeiden, ungefähr 1 Zoll dick sein. Selbstverständlich braucht es kein optisches Glas zu sein, doch sollte dasselbe möglichst wenig innere Spannungen enthalten und daher gut gekühlt sein. Am besten eignet sich Spiegelglas, welches in diesen Dimensionen für einige Mark käuflich ist. Um das Aussplittern der Ränder und ein dadurch verursachtes zufälliges Beschädigen der Spiegelschleiffläche bei der Bearbeitung zu verhindern, lasse man die Kanten der Glasscheiben ein wenig abschrägen, wie dies aus Fig. 21 deutlich ersichtlich ist*).
2. Schleifmaterial:
   a) Schmirgel oder Karborund für den Rohschliff. In neuerer Zeit verwendet man auch Diamantin, ein modernes Schleifmittel, das noch härter sein soll als Karborund und dadurch die Arbeit, besonders beim Rohschliff, beschleunigt.
   b) Feinere geschlämmte Grade oben angeführter Schleifmittel zum Feinschliff.
3. Polierrot, sogenanntes Pariserrot, oder Juwelierrouge. Manche polieren zwar mit Tripelerde (sogenanntes Tripolis), was aber zur Erzielung einer feinen Glaspolitur nicht anzuraten ist. Mit 30 *g* Polierrot kann man schon mehrere Spiegel polieren.
4. Pech und Harz. 1 Pfund Pech und $^1/_2$ Pfund Harz genügen reichlich.
5. Einige kleine Schwämme zum jeweiligen Reinigen der Glasscheiben und diverse Gefäße.
6. Ein Kontrollmaß (sogenannte Lehre); das ist ein gekrümmter Metallausschnitt, mit welchem die Krümmung der Spiegelfläche während der Schleifarbeit kontrolliert wird. Die Herstellungsart eines solchen Kontrollmaßes wird noch im folgenden genau erklärt werden.

---

*) Sollte der Amateur bei der Anschaffung der erforderlichen Materialien auf Schwierigkeiten stoßen, so ist der Verfasser stets gerne bereit, mit Rat an die Hand zu gehen.

Brennweite des parabolischen Spiegels und das Kontrollmaß.

Ehe man zur Herstellung eines Teleskopspiegels schreitet, muß man sich klar werden, welche Brennweite man seinem Spiegel geben will. Selbstverständlich kann man Spiegel von jeder beliebigen Öffnung und Brennweite herstellen und in diesen Variationen liegt ja ein besonderer Reiz für den geübten Künstler. Der Anfänger hingegen soll sich aus den schon einmal ausgeführten Gründen an ein größeres Brennweitenverhältnis halten, und zwar am besten 1 : 10. Bei einem Spiegeldurchmesser von 6 Zoll ergibt dies eine Brennweite von 5 Fuß, da bekanntlich 1 engl. Fuß 12 Zoll hat. Natürlich kann man sich die Größen auch in Metermaße leicht umrechnen und wir erhalten in diesem Falle einen Spiegeldurchmesser von ca. $152^1/_2$ *mm* mit einer Brennweite von $152^1/_2$ *cm*.

Man muß nun einen Hauptsatz aus der Optik entnehmen, welcher lautet: „Die Brennweite eines Konkavspiegels für parallele Lichtstrahlen

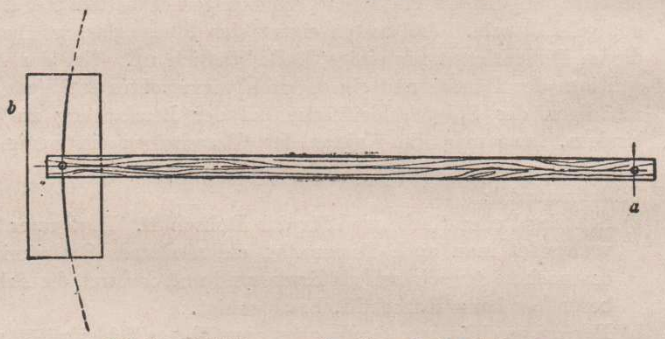


Fig. 26. Vorrichtung zur Herstellung des Kontrollmaßes.

ist gleich dem halben Radius der zugehörigen Kugelkrümmung.“ Nachdem unser 6-zölliger Spiegel 5 Fuß Brennweite besitzen soll, muß der Krümmungsradius das Doppelte, also 10 Fuß betragen.

Um uns nun eine Lehre für diesen Krümmungsradius herzustellen, welche als Kontrollmaß dienen soll, um unsere ersten Krümmungsflächen des Spiegels zu kontrollieren, oder mit anderen Worten, um zu erfahren, wann der Rohschliff genügend vorgeschritten und die erforderliche Konkavität hinreichend erlangt ist, muß man folgendermaßen vorgehen.

Man nehme eine gerade dünne Holzlatte, die in unserem Falle etwas über 10 Fuß lang ist, und befestige dieselbe an einem Ende mittels eines Stiftes auf einen ebenen glatten Fußboden, so daß sich das andere Ende frei hin- und herbewegen kann (einarmiger Zirkel), wie aus Fig. 26 ersichtlich ist. Genau 10 Fuß entfernt von dem Drehpunkt *a* stecke man eine starke, spitze Nadel oder eine Ahle durch die Latte und beschreibe auf einer untergelegten kleinen, dünnen Zink- oder Kupferplatte *b* einen Kreis-

ausschnitt und bewege die Spitze so lange hin und her, bis die dünne Metallplatte durchschnitten ist. Man erhält auf diese Art zwei gekrümmte Schnittflächen, deren eine, wie aus Fig. 27 ersichtlich ist, konvex, während die andere, Fig. 28, konkav ist. Indem man diese beiden gekrümmten Schnittflächen mit ein wenig feinem Schmirgel aneinander reibt, kann man dieselben genau zusammenpassend und glatt machen. Um diesen Metallplatten nunmehr eine bessere Handhabe zu geben und der ganzen Form etwas mehr Festigkeit zu verleihen, empfiehlt es sich, die obere gerade Kante etwas umzubiegen, wie ebenfalls in der Abbildung ersichtlich ist. Das konvex geformte Metallstück ist nun unser erforderliches Kontrollmaß, welches beim Rohschliff genau senkrecht in verschiedenen Durchmessern an die konkave Spiegelscheibe angehalten wird. Man sieht

Fig. 27. Konvex gekrümmte Metallplatte (Kontrollmaß)

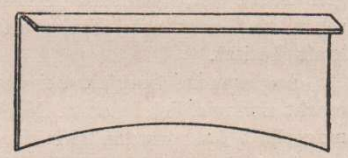


Fig. 28. Konkav gekrümmte Metallplatte.

dann sofort, ob die Konkavität genügend vorgeschritten ist, um mit dem Rohschliff aufhören zu können. Jedenfalls soll letzteres nicht früher geschehen, als bis sich das Kontrollmaß überall an die Spiegelscheibe genau anschließt.

Die Schleifprozeduren.

Für den ersten Rohschliff kann entweder Schmirgel oder noch besser Karborund oder Diamantin benützt werden. Gewöhnlicher Schmirgel ist zwar etwas billiger, jedoch verliert er rascher seine schneidende Kraft als die beiden anderen Schleifmittel. Der käufliche Schmirgel ist numeriert und beziehen sich diese Nummern meistens auf die jeweilige Maschengröße der Siebe, die bei der fabriksmäßigen Sortierung verwendet werden. Schmirgel Nr. 60 will z. B. sagen, daß bei dem verwendeten Siebe 60 Maschenlöcher auf ein Quadratzoll entfielen. Die Schmirgelsorten Nr. 40, 60 und 90 sind für den Rohschliff und das erste Stadium des Feinschliffes hinreichend. Bei Bezug des Schmirgels vergewissere man sich, daß die Numerierung auf die beschriebene Art entstanden ist.

Der Rohschliff wird nach den schon früher angegebenen Grundsätzen ausgeführt; es kommt jedoch in diesem Stadium nicht so sehr auf die Genauigkeit der Strichlänge an. Vielmehr Hauptsache bei dieser Arbeit ist, daß man so rasch als möglich vorwärts kommt und die Spiegelscheibe die mit dem Kontrollmaß übereinstimmende Form approximativ erlangt.

Der nunmehr folgende Feinschliff ist hingegen eine viel exaktere Prozedur, zu welchem geschlämmter Schmirgel in verschiedenen Feinheitsgraden verwendet werden muß. Da der Amateur vielleicht nicht immer an Ort und Stelle die feinen Grade geschlämmten Schmirgels erhalten kann und er aus diesem Grunde geneigt sein könnte, sich die feinen Grade durch Schlämmung nach dem Muster früherer Optiker selbst herzustellen, so will der Verfasser im folgenden diesen Elutriationsprozeß (Schlämmung des Schmirgels) genau beschreiben.

In ein Gefäß schüttet man ungefähr 10 *l* Wasser und 1 Pfund fein pulverisierten Schmirgel. Diese Mischung wird mit einem Stab gut umgerührt. Es sei noch darauf aufmerksam gemacht, daß gutes und reines Schmirgelpulver von einer hell-schokoladeartigen Farbe ist, während Schmirgelpulver mit schieferfarbigem Aussehen verfälscht sein dürfte und dadurch eine ungenügende Schneidekraft besitzt.

Angewandte Sorgfalt bei der Ausübung des Schlämmungsprozesses macht sich reichlich belohnt. Nachdem man die oben angegebene Mischung umgerührt hat, werden sich die gröberen Körner des Schmirgelpulvers sofort zu Boden setzen, während eine Quantität feineren Schmirgels im Wasser schwimmend verbleibt. Läßt man nun diese Mischung vollkommen ruhig stehen, so werden sich nach Ablauf von 10 Sekunden die gröbsten Körner, nach 20 Sekunden die nächstkleineren usw. am Boden niedergeschlagen haben, bis nach Ablauf von einer halben Stunde die größte Menge des Schmirgelpulvers gesunken ist und nur mehr die feinsten Partikelchen desselben, sichtbar als eine leichte Verfärbung des Wassers, schwebend erscheinen. Dieses schwach getrübte Wasser wird nun vorsichtig, d. h. ohne die Lösung aufzurütteln, in ein reines, seichtes Gefäß geschüttet, vor Staub geschützt und beiseite gestellt, bis sich dann im weiteren Verlaufe die noch enthaltenen Partikelchen des Schmirgels als feines Pulver niedergeschlagen haben. Das nunmehr ganz klare Wasser wird ebenfalls, ohne aufzurütteln, vorsichtig entfernt, was vielleicht am besten durch Absaugen mit einem kleinen Gummischlauch geschieht. Das zurückgebliebene Pulver, welches den Boden des letzten seichten Gefäßes überzieht, wird getrocknet und gesammelt.

Wir kehren nun abermals zu unserer ersten ursprünglichen Mischung zurück und rühren dieselbe wieder gut durcheinander und lassen abermals die Schmirgelkörner zu Boden sinken und zwar diesmal nur 15 Minuten. Nach Ablauf dieser Zeit wird wieder ein Teil des Wassers, in welchem ebenfalls feine Partikelchen enthalten sind, vorsichtig in ein seichtes, reines Gefäß abgeschüttet und das darin befindliche Schmirgelpulver getrocknet und gesammelt wie zuvor. Diese Prozedur wird 5—6-mal wiederholt und zwar in einer Reihenfolge, wie nachstehende Tabelle anzeigt:

Feinster Grad	a	gesammelt	nach	30	Minuten
„	b	„	„	15	„
„	c	„	„	6	„
„	d	„	„	2	„
„	e	„	„	1	„
Gröbster Grad	f	„	„	15	Sekunden

Die gröbsten Körner, welche nicht einmal nach 15 Sekunden schwimmend verbleiben, sollten nur für das erste Stadium des Feinschliffes verwendet werden.

Die verschiedenen Grade und die darauf bezughabende Zeit, variieren bei den meisten Optikern. Die oben gebrachte Tabelle wurde von einem berühmten englischen Linsenschleifer verwendet. Es sollen hier aber noch zwei andere Tabellen angeführt werden, die von den großen Künstlern Robinson und Rosse befolgt wurden.

Schlämmungstabelle von Robinson:

Feinster Grad	a	gesammelt	nach	30	Minuten
„	b	„	„	10	„
„	c	„	„	3	„
„	d	„	„	1	„
„	e	„	„	20	Sekunden
Gröbster Grad	f	„	„	3	„

Schlämmungstabelle von Rosse:

Feinster Grad	a	gesammelt	nach	60	Minuten
„	b	„	„	20	„
„	c	„	„	10	„
„	d	„	„	2	„
„	e	„	„	30	Sekunden
Gröbster Grad	f	„	„	10	„

Man bemerkt nun, daß der feinste Grad zuerst gewonnen wird, während sich der gröbste Grad zuletzt ergibt. Bei Verwendung von 1 Pfund Schmirgelpulver wird man von den feineren Graden nur sehr kleine Mengen erhalten; man hat aber auch nur sehr wenig davon nötig. Zur Vollendung eines 6-zölligen Spiegels wird von dem feinsten Grad **a** bloß eine gute Messerspitze voll erforderlich sein. Am besten verwendet man für den Schlämmungsprozeß Gefäße aus Glas oder Steingut. Das Pulver setzt sich an der glatten Fläche der Gefäße an und kann, nachdem es trocken ist, mit den Fingerballen leicht zu einem kleinen Häufchen vereinigt werden. Jeder Grad des geschlämmten Schmirgelpulvers sollte in eine separate Schachtel oder in ein Gläschen gegeben und gleich mit einer Etikette bezeichnet werden.

Für die Politur unserer Spiegelscheibe verwendet man Polierrot, das auch unter dem Namen Juwelierrot bekannt ist. Die Farbe desselben variiert von dunkelrot bis zu einem ausgesprochenen purpurrot und das letztere stellt die beste Qualität dar. Wie bereits einmal erwähnt worden ist, kann man mit 30 *g* Polierrot schon mehrere Spiegel polieren.

Pech verwendet man zur Erzeugung des Polierers, während uns Harz mit Pech vermischt, als Klebemittel dient. Beide Präparate kann man in richtiger und guter Qualität in jeder besseren Drogerie erhalten. Wenn man Glas an Glas oder Glas an Holz kitten will, so sollten zuerst die Oberflächen leicht erwärmt werden, damit die heiße Harzmischung bei Berührung der Flächen nicht sogleich erstarrt.

Unsere Schleifscheibe, die wir auf ein Holzbrett gekittet haben, schrauben wir nun mit vier Schrauben auf einen runden Holzblock oder auf ein Faß, wie dies deutlich in Fig. 24 sichtbar ist. Auf diese Schleifscheibe streuen wir nunmehr einen gehäuften Eßlöffel voll groben Schmirgel, Karborund oder Diamantin und verteilen denselben mit dem Finger gleichmäßig. Sodann befeuchten wir das Ganze gut mit Wasser. Nun nehmen wir unsere zweite Glasplatte, die mit einem Handgriff bereits versehene Spiegelscheibe, die wir auf die mit feuchtem Schmirgel bestreute Schleifscheibe legen, und indem wir mit beiden Händen die Spiegelscheibe ergreifen (Fig. 24), beginnen wir mit Ausübung eines Druckes die Spiegelscheibe von uns fort und ebenso zurück zu uns über die ursprüngliche Ruhelage, zu reiben (Fig. 22) und zwar mit langen, schwingenden Strichen wobei besonders darauf zu achten ist, daß sich nach jedem Strich, den wir zu uns ausführen, die Mittelpunkte der Schleifscheibe und Spiegelscheibe decken. Dabei bewegt sich der Amateur langsam, indem er nach Ausübung eines Hin- und Herstriches einen Schritt macht, um das Faß, oder falls er an Stelle des Fasses sich die drehbare Schleifscheibenvorrichtung, die auf Seite 33 speziell beschrieben war, gemacht hat, muß er mit der linken Hand jedesmal eine Drehung der Schleifscheibe vornehmen, anstatt einen Schritt zu machen. Es wird dadurch verhindert, daß zwei aufeinanderfolgende Striche die gleiche Richtung haben. Beim Schleifen muß man öfters den Schmirgel mit Wasser befeuchten, denn auf keinen Fall darf trocken geschliffen werden. Fühlt man, daß das Schleifmaterial nicht mehr schneidet, so wasche man dasselbe mit Schwamm und Wasser ab und gebe frischen Schmirgel darauf.

Das Zentrum der Spiegelscheibe und der Rand der Schleifscheibe werden zuerst tiefer abgeschabt und erst nach und nach gleichmäßig verlaufend abgeschliffen. Der Rohschliff muß so lange fortgesetzt werden, bis die Konkavität der Spiegelscheibe mit dem Kontrollmaß (Fig. 27) genau übereinstimmt, d. h. senkrecht daraufgehalten, in allen Durchmessern ganz anschließt. Dieser rohe Konkavschliff sollte bei einem 6-zölligen Spiegel in 4—5 Stunden vollendet sein. Es ist besser, wenn

die erlangte Kurve ein wenig tiefer als zu flach ist, da sie sich in den ersten Stufen des Feinschliffes noch ein wenig abflachen wird.

Nachdem man den Rohschliff in dieser Weise vollendet hat, müssen beide Glasscheiben und auch das Faß usw. mit Wasser und Schwamm sorgfältig gereinigt werden. Das Vorhandensein eines einzigen verstreuten gröberen Schmirgelkornes während der späteren Arbeit kann sehr nachteilige Folgen haben. Aus diesem Grunde sollte man für jeden feineren Prozeß stets einen kleinen frischen Schwamm bei der Reinigung verwenden.

Die gewünschte endgültige Kurve erhält der Spiegel durch zweckmäßig angepaßte Bewegungen in Richtung und Länge auf der Schleifschale. In der durch Erfahrung gewonnenen Kenntnis, welchen genauen Effekt eine Strichveränderung auf die konkave Spiegelfläche ausübt, liegt die ganze Geschicklichkeit in der Herstellung parabolischer Teleskopspiegel.

Für den Feinschliff sind folgende zwei Regeln zur Richtschnur zu nehmen:

1. **Lange gerade Striche vertiefen den Spiegel, indem sie mehr die Mitte angreifen.**
2. **Kurze gerade Striche verflachen wieder die Aushöhlung (Konkavität), indem sie mehr auf die Randpartien wirken.**

Aus diesen beiden Regeln folgt nun, daß es der Operateur immer in der Hand hat, die einmal gewählte Brennweite einzuhalten; denn findet er mit dem Kontrollmaß oder durch die später angeführte Lichtprobe, daß sein Spiegel zu tief geworden ist, so verkürzt er seine Striche, während umgekehrt bei einem zu flach ausgefallenen Spiegel längere Striche angewendet werden müssen.

Damit nun der Amateur ein Maß bezüglich der Strichlängen hat, denke er sich den Halbmesser des Spiegels in Zolle oder Zentimeter geteilt und nun kann man die Strichlängen folgendermaßen klassifizieren:

a) Die längsten Striche; vom äußersten Rande der Spiegelscheibe bis zur Mitte reichend.
b) Halbe Striche; vom Rande bis zur Mitte des Radius reichend.
c) Viertel Striche; vom Rande bis zum vierten Teile des Radius reichend.
d) Achtel Striche; vom Rande bis zum achten Teile des Radius reichend. In diesem Falle schiebt man also die obere Spiegelscheibe nur um den achten Teil des Radius über die untere Schleifscheibe hinaus. Im allgemeinen nennt man ganze, dreiviertel und halbe Striche lange Striche, während viertel und achtel Striche kurze Striche heißen.

Es ist aber auch erforderlich, in Zwischenräumen für kurze Zeit mit unregelmäßigen Strichen zu arbeiten, wobei der Mittelpunkt der Spiegelscheibe unregelmäßig (erratisch) über die untere Schleifscheibe wandert.

Fig. 29 zeigt die Bewegungslinien, die die Mitte der Spiegelscheibe auf der Schleifscheibe bei den erratischen Bewegungen mit einer Rosseschen Schleifmaschine beschreibt. Auch bei der Handarbeit muß man diese Linienzüge nachzuahmen suchen. Die erratischen Bewegungen dienen nur zur gleichmäßigen Verteilung des Schleifeffektes und werden nur zeitweise, also z. B. alle 10 Minuten zwischen den regelmäßigen geraden Strichen eingefügt und zwar jedesmal während der Dauer von ca. einer halben Minute, mit anderen Worten, man macht diese unregelmäßigen erratischen Bewegungen nach allen Richtungen vier- bis fünfmal, wobei man aber ebenfalls um das Faß geht oder die untere Platte dreht.

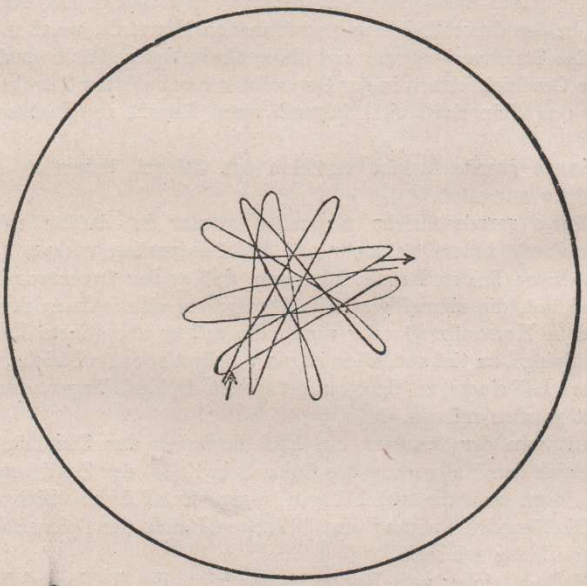


Fig. 29. Bewegungslinien, die das Zentrum der Spiegelscheibe bei erratischen Strichen beschreibt.

Außerdem unterscheidet man noch sog. kurze epizykloide Bewegungen, das sind kurze, gekrümmte oder spiralförmige Linien, die man auf die Weise ausführt, daß man die Spiegelscheibe ungefähr $^1/_8$—$^1/_4$ Zoll über den Rand der Schleifscheibe hinaus und hineinbewegt und gleichzeitig kleine, kreisförmige Bewegungen rund um die untere Scheibe beschreibt. Die Fig. 30 zeigt uns, wie sich der Mittelpunkt der Spiegelscheibe auf der unteren Schleifscheibe bei dieser epizykloiden Figur bewegen soll. Diese Bewegung dient zum gleichen Zweck wie die erratische und wird ebenso wie die letztere nur zeitweise eingefügt.

Nachdem wir uns nun theoretische Kenntnisse der verschiedenen

Stricharten und deren Resultate angeeignet haben, können wir zum weiteren Schliff unseres Spiegels übergehen. Indem wir nun die erläuterten Schleifbewegungen ausführen, verwenden wir dabei sukzessive immer feinere Grade des Schmirgelpulvers. Keinesfalls wechsle man zu rasch den Grad. Die Zeit des Wechsels läßt sich nicht genau angeben; im allgemeinen kann man sagen, daß mit jeder Schmirgelnummer ca. eine halbe Stunde gearbeitet werden soll, bevor man zu dem folgenden feineren Grade übergeht. Das Aussehen der Spiegelfläche gibt eben den Ausschlag und ebenso das Gefühl beim Schleifen, welches uns anzeigt, daß das Schleifmaterial die Glasfläche nicht mehr angreift.

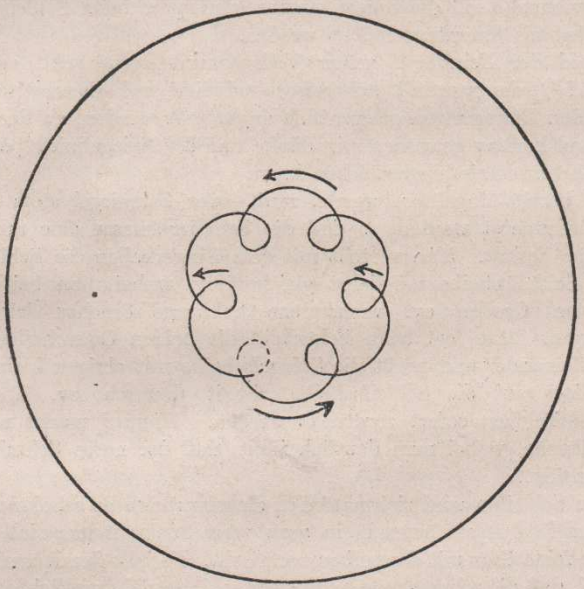


Fig. 30. Bewegungslinien, die das Zentrum der Spiegelscheibe bei epizykloiden Strichen beschreibt

Die verschiedenen Nummern oder Grade des ungeschlämmten Schmirgels sind so lange zu verwenden, bis die Spiegelscheibe ein ziemlich gleichförmiges Aussehen erreicht, d. h. bis die gröberen Löcher und Kratzer, die der Schmirgel verursachte, fast ganz verschwunden sind. Nunmehr sind erst die verschiedenen Grade des geschlämmten Schmirgels anzuwenden.

Indem die Anwendung eines jeden folgenden feineren Schmirgelgrades bezweckt, daß die Kratzer des vorhergegangenen gröberen Grades reduziert werden, so unterscheidet der Amateur durch Prüfung jeweils selbst, wann der Augenblick gekommen ist, daß der angewandte Grad in den

nächstfeineren umzuändern ist. Bei dieser Prüfung läßt sich mit Vorteil eine Lupenvergrößerung verwenden.

Die jedesmal angewandte Dosis (bei den gröberen Graden ungefähr $^1/_2$ Teelöffel voll) des richtig präparierten Schmirgelpulvers sollte 10—15 Minuten arbeiten, bevor sie ihre Schneidefähigkeit verliert. Je kleiner die verwendete Dosis der verschiedenen Grade ist, desto besser wird das Resultat ausfallen.

Bei der Arbeit mit den ersten geschlämmten Graden wird es am besten sein, wenn der Amateur Striche macht, die $^1/_3$ des ganzen Spiegeldurchmessers hinausragen. Es wird dabei kaum nötig sein, einen Druck auszuüben, vielmehr soll die Spiegelscheibe künftighin beim Schleifen mehr nur geführt als hinuntergedrückt werden.

Sobald der Feinschliff seiner Vollendung entgegengeht, sollte der Strich auf $^1/_4$ des ganzen Durchmessers reduziert und die erratischen und epizykloiden Bewegungen gelegentlich angewandt werden, da der Spiegel hinreichend konkav geworden sein dürfte und der Spiegelmittelpunkt sich nicht mehr exzentrisch verschieben kann.

Wie bereits angeführt wurde, muß jeder Schmirgel stets gut mit Wasser befeuchtet werden, so daß die Schmirgelmasse eine rahmartige Konsistenz besitzt. Man verteilt mit dem Fingerballen die Schleifmasse auf der Schleifscheibe möglichst gleichmäßig, wobei man bei den geschlämmten Graden ev. vorhandene Schmirgelkörnchen leicht entfernen kann. Man legt beim Feinschliff die beiden Glasscheiben zuerst genau aufeinander und preßt die Spiegelscheibe mit einigen kleinen Drehungen fest auf die Schleifscheibe, damit dadurch ev. übersehene Schmirgelkörnchen sofort zerdrückt werden. Hierauf macht man erst gerade Striche, wobei man deutlich fühlt, daß der nasse Schmirgel das Glas schneidet.

Beim Schleifen wird sich natürlich die ursprüngliche schokoladeartige Farbe des Schmirgels langsam in grau verwandeln, indem sich das abgeriebene feine Glas mit demselben vermischt. Es fällt damit auch gleichzeitig auf, daß die schneidende Wirkung nachläßt und zum Schluß bewegt sich die Spiegelscheibe wie auf fettiger Unterlage. Die Spiegelscheibe wird dann von der Schleifscheibe abgezogen, niemals abgehoben, und die Glasoberflächen spült man ab, bevor frischer Schmirgel aufgetragen wird.

Aus Mangel an Geschicklichkeit kann es vorkommen, daß beim Feinschliff der Spiegelmittelpunkt zu tief ausgeschliffen wurde. Dies zeigt sich sofort bei der feineren Polierarbeit dadurch, daß die Randpartien der Spiegelscheibe ein glattes, feineres Aussehen erhalten, während die Mitte unverändert (rauh) bleibt. In einem solchen Falle ist es am ratsamsten, für kurze Zeit zum Feinschliff zurückzukehren und mit irregulären Strichen und ohne Druck zu arbeiten.

Es ist empfehlenswert, die Brennweite des Spiegels zu prüfen, bevor

man noch die geschlämmten Schmirgelgrade verwendet. Man kann dies am leichtesten in der Weise ausüben, daß man die Spiegeloberfläche mit Wasser stark befeuchtet und dieselbe in das direkte Sonnenlicht stellt, so daß ein blasses Bild der Sonne auf eine beschattete Mauer oder Papier reflektiert wird. Wenn das reflektierte Bild am kleinsten ist, so ergibt die Entfernung vom Spiegel zum Bilde die approximative Brennweite. Findet man, daß die Brennweite zu kurz oder zu lang ist, so kann dieselbe äußerst rasch korrigiert werden, indem man Rohschliff mit langen, geraden Strichen macht, um die Brennweite zu verkürzen, während kurze kreisförmige Striche die Brennweite verlängern.

Nehmen wir nun an, daß unsere Brennweite richtig ist, so kann mit dem Feinschliff beständig fortgefahren werden, indem man die verschiedenen Grade des geschlämmten Schmirgels in genauer Reihenfolge vom gröbsten zum feinsten anwendet, wobei man mit jedem Grade das möglichst Erreichbare machen muß, ehe man zum nächstfeineren Grad schreitet. Es ist gut, wenn man bei den drei feinsten Graden nach Ablauf von 10—15 Minuten den Spiegel abzieht (keinesfalls abhebt) und denselben mit Wasser abspült, während man die Schleifplatte ungereinigt läßt. Man legt auf letztere die nasse Spiegelscheibe wieder darauf und arbeitet noch 5 Minuten weiter. Dieses Verfahren sichert eine außerordentlich zarte Oberfläche.

Wenn der Feinschliff richtig ausgeführt wurde, so ist die erlangte Kurve ganz sphärisch und die Spiegelfläche ist halb transparent. Dieselbe erscheint, als wäre sie mit einer dünnen Schicht eingetrockneter Milch bedeckt. Nun ist der Spiegel für die Politur bereit.

Vorbereitungen für das Polierverfahren.

Die feingeschliffene Oberfläche wird nunmehr mit Polierrot auf einer aus Pech, Harz und Terpentinöl geformten Polierhaut poliert. Letztere nimmt im erhitzten Zustande jede Form leicht an und behält dieselbe auch für längere Zeit. Wir müssen nun unsere Schleifscheibe mit einer solchen Pechhaut überziehen. Dieselbe soll ungefähr $^1/_4$ Zoll dick sein. Damit die feuchte Polierrotmasse bei der Arbeit frei zirkulieren kann, wird die pechige Polierhaut mit Facetten versehen, wie dies unsere Fig. 31 zeigt. Um beim Polieren Zonenbildungen zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Facetten derart zu arrangieren, daß der Mittelpunkt der zentralen Facette mit dem Mittelpunkte der Schleifscheibe nicht in Übereinstimmung steht. Die abgebildete Einteilung der Facetten ist nach reichlicher Erfahrung als die allerbeste gefunden worden; durch dieselbe kann ein großer Teil der Polierarbeit mit Sicherheit mittels gerader Strichbewegungen bewerkstelligt werden, was für den ungeübten Anfänger ein entschiedener Vorteil ist. Der weiße, kleine Fleck in der Abbildung zeigt den Mittelpunkt der Schleifscheibe an.

Um unsere Polierhaut mit Facetten versehen zu können, ist es erforderlich, eine Schablone anzufertigen. Fig. 32 stellt eine solche Facettenschablone dar. Dieselbe besteht aus drei zusammengeschraubten Holzteilen. Die beiden Leisten *a a* sind ungefähr $^1/_4$ Zoll dick, deren unterer Rand ein wenig abgerundet ist. Derselbe sollte dieselbe Krümmung besitzen wie unser Kontrollmaß (Fig. 27). Das Mittelstück *b* unserer Facettenschablone muß von derselben Breite wie die erforderlichen Facetten sein, also ungefähr $^3/_4$ Zoll betragen. Diese drei Holzteile werden, wie aus der Abbildung ersichtlich ist, mit je drei Schrauben zusammengeschraubt und damit haben wir uns die Facettenschablone hergestellt.

Indem man diese Facettenschablone auf die noch warme Pechhaut drückt, entstehen die erforderlichen Facetten. Um aber ein Ankleben der

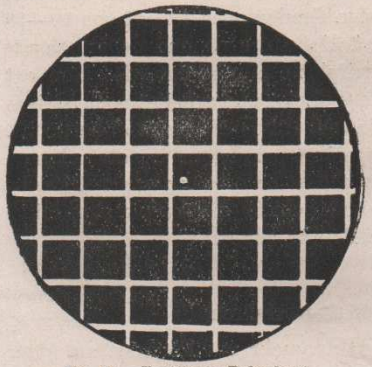


Fig. 31. Facettierte Polierhaut.

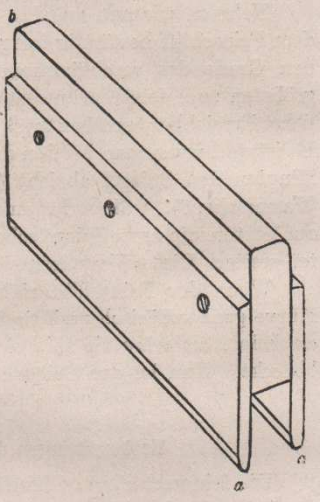


Fig. 32. Schablone zur Herstellung der Facetten.

Schablone auf der Pechhaut zu verhindern, muß erstere jeweils in Wasser getaucht werden.

Pech ist in jeder besseren Drogerie erhältlich; dasselbe ist gewöhnlich frei von steinigen Körnern. Sollte aber bezüglich der Reinheit des gekauften Pechs ein Zweifel bestehen, so ist es ratsam, das erwärmte Pech durch einen ausgebreiteten Musselin durchzusieben. Am besten und sichersten wird das Pech in einem irdenen Gefäß auf einem Ofen erhitzt. Man darf das Pech aber nicht sieden lassen, da sich sonst Luftblasen bilden, die die Gleichmäßigkeit der Masse stören würden.

Nachdem nun diese Vorbereitungen bewerkstelligt wurden, und alle Sachen bereitstehen, stellen wir uns noch ein Gefäß mit lauwarmem Wasser zurecht, um die Spiegelscheibe darin eintauchen zu können. Um zu verhindern, daß das auf die Schleifscheibe kommende flüssige Pech am Rande der-

seiben ablaufen kann, binden wir mit einer dünnen Schnur einen Streifen starkes Papier um den Rand der Schleifscheibe und zwar so, daß der Schutzrand ungefähr $^1/_4$ Zoll hoch wird. Dieser Papierstreifen ist zuerst mit der Polierpaste, bestehend aus Polierrot und Wasser, einzuschmieren.

Die Schleifscheibe wird nun über einer Spiritusflamme erwärmt und das warme flüssige Pech darauf gegossen. Letzteres wird sich langsam ausbreiten, bis die ganze Oberfläche damit bedeckt ist. Man soll dabei trachten, daß diese Pechhaut gleich in der richtigen Dicke aufgetragen wird, also ungefähr $^1/_4$ Zoll hoch. Damit die Pechhaut auch gleich die erforderliche Krümmung erhält, nimmt man die Spiegelscheibe, die man vorher in lauwarmes Wasser taucht, und preßt dieselbe sogleich auf die Pechhaut auf. Nunmehr sollte unsere Facettenschablone so rasch als möglich zur Pressung der Facetten verwendet werden. Sofern die Prozedur nicht gleich gelingen sollte oder die Pechschichte auf der Schleifscheibe zu hart geworden ist, um die sämtlichen Facetten zu formen, so kann die Pechschichte auf der Schleifscheibe durch Erwärmung der letzteren wiederholt nach Belieben weich gemacht werden; natürlich darf diese Erwärmung nur bis zu einem gewissen Grade geschehen, damit dadurch die bereits gepreßten Facetten nicht wieder zerstört werden.

Sobald die ganze Pechhaut mit den Facetten versehen ist, erwärmt man nochmals leicht die Schleifscheibe, um die Pechhaut etwas zu erweichen. Hierauf preßt man abermals die vorher in Wasser getauchte Spiegelscheibe auf die Pechhaut. Man muß bei dieser Prozedur besonders darauf achten, daß der Spiegel nicht zu trocken wird, da er sonst an die Pechhaut ankleben würde. Die Spiegelscheibe sollte bei dieser Abdämpfung fortwährend leicht bewegt werden und um ein Ankleben zu vermeiden, ist es besser, wenn man bei dieser Prozedur die Spiegelscheibe anstatt mit Wasser, mit der Polierpaste (Polierrot mit Wasser) gut bestreicht. Nunmehr besitzen wir eine Pechhaut, die mit regelmäßigen quadratischen Facetten versehen ist. Der Papierrand und ev. überflüssiges Pech wird entfernt. Ein vollkommener Polierer muß so geformt sein, daß die Spiegelscheibe die Pechhaut an allen Stellen berührt. Um sich hiervon zu überzeugen, bestreiche man die Facetten einzeln mit Polierrot und lege den reinen, trockenen Spiegel leicht darauf. Der Abdruck auf der Spiegelfläche wird dann anzeigen, wo der Kontakt unvollständig ist.

Die Polierpaste bereitet man, indem man Polierrot mit Wasser zu einer breiigen Masse mischt. Auf die Pechhaut trägt man die Polierpaste am besten mit einem flachen Kamelhaarpinsel auf.

Die Polierscheibe sollte vor Staub geschützt werden. Es ist etwas schwierig zu beschreiben, wie man die richtige Härte der Pechhaut feststellt, jedoch wird man sich am leichtesten in der Weise orientieren können, ob die Pechhaut zu weich oder zu hart ist, indem man versucht, den Fingernagel in die erkaltete Pechmasse einzudrücken. Bei richtiger Konsistenz

sollte ein leichter Druck mit dem Fingernagel einen Eindruck hinterlassen. Das in der Drogerie erhältliche Pech besitzt meistens diese Eigenschaft. Findet man aber, daß es zu hart ist, so füge man in das geschmolzene Pech etwas Terpentinöl hinein, während bei zu weichem Pech etwas Harz hinzugefügt werden muß. Es sei aber ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß man bei dieser Konsistenzänderung äußerste Vorsicht walten lassen muß, infolge der leichten Entzündbarkeit der geschmolzenen Masse. Sollte dieselbe Feuer fangen, so decke man das brennende Gefäß rasch mit einem vorbereiteten Metalldeckel zu. Keinesfalls darf man Wasser darauf geben oder die Masse etwa ausschütten.

Das Polieren und Figurieren der Spiegelfläche.

Wir kommen nun zu dem Polieren und Figurieren. Der Ausdruck „Polieren" gibt selbst seine Erklärung, während man unter „Figurieren" jenen Prozeß versteht, durch welchen der polierten Spiegelfläche die nötige parabolische Kurve verliehen wird. Die beiden Prozeduren können entweder gleichzeitig zusammen oder auch einzeln nacheinander ausgeführt werden. Der erste Fall erfordert große Erfahrung und wurde von den früheren Künstlern befolgt. Im letzteren Falle hingegen behält die Spiegelfläche die sphärische Kurve so lange unverändert bei, bis die Arbeit des Polierens vollendet ist und erst dann wird die sphärische Kurve vorsichtig zur Parabel gebracht. Dies wird unter Führung der äußerst wichtigen Foucaultschen Schattenprobe bewerkstelligt, die noch später ausführlich beschrieben werden soll.

Ältere historische Parabolisierungsmethode.

Wir wollen uns zuerst mit der ersten Parabolisierungsmethode vertraut machen.

Man vergesse nicht, daß ein sphärischer Spiegel parabolisch und dadurch für teleskopische Zwecke vollkommen wird, daß die Kurve entweder regelmäßig vom Rande zum Zentrum vertieft wird oder durch Abflachung der Kurve vom Zentrum zum Rande.

Wenn der Roh- und Feinschliff richtig ausgeführt wurde, so besitzt der Spiegel eine genaue sphärische Kurve. Es wird nun mit geraden Drittel- oder Viertelstrichen poliert, wobei die Striche in der Richtung ebenfalls stets verändert werden. Die untere Schleif- oder Polierscheibe wird beim Polieren auch gedreht oder falls man die Faßeinrichtung vorgezogen hat, muß man statt dieser Bewegung der Schleifscheibe, selbst um dieselbe rund gehen. Auch hier sind zeitweise irreguläre Striche einzufügen. Sobald man merkt, daß die Politur der Spiegelfläche ihrer Vollendung entgegengeht, verläßt man die geraden Striche und geht zu epizykloiden

Kurven über, die in der Weise auszuführen sind, daß der Rand der Spiegelscheibe bei den Bewegungen den Rand der Schleifscheibe nur wenig überschreitet. Durch diese Bewegungen wird die Kurve vom Zentrum zum Rande abgeflacht und auf diese Art wird die sphärische Fläche zur Parabel. Man hüte sich aber ja des Guten zu viel zu tun und es ist ganz Sache der Praxis und des Gefühls, um zu wissen, wann man mit den Bewegungen aufhören soll.

Bei Spiegeln mit einem Durchmesser von 4—6 Zoll genügen in der Regel 20 Minuten epizykloider Bewegungen zur richtigen Parabolisierung. Wer die Foucaultsche Schattenprobe gut beherrscht, sollte den Spiegel während der Parabolisierungsarbeit alle 5 Minuten damit prüfen. Läßt man die Vorsichtsmaßregeln außer acht, so kann es passieren, daß der Spiegel am Rande zu sehr abgeflacht wird; die Spiegelfläche ist in einem solchen Falle von der Sphäre durch die Ellipse und Parabel zu einer Hyperbel übergegangen. Eine solche hyperbolische Fläche nennt man überkorrigiert; bei derselben vereinigen sich die Zentralstrahlen in einem Punkte früher als die Randstrahlen. Es handelt sich hier um den entgegengesetzten Fehler wie bei der Sphäre, wo sich die Randstrahlen früher oder näher dem Spiegel vereinigen als die Zentralstrahlen. Natürlich gilt dies nur für Strahlen, die aus der Unendlichkeit kommend gedacht werden, also mit anderen Worten für parallele Strahlen. Aber auch bei der Ellipse ist dies noch teilweise der Fall und man nennt Flächen dieser Art, im Gegensatz zu den überkorrigierten, unterkorrigierte.

Eine normale Korrektion, wobei sich alle Rand- und Zentralstrahlen genau in einem Punkte vereinigen, ist eben nur bei einer richtig geformten Parabelfläche der Fall, und Aufgabe des Künstlers ist es, unter allen Umständen und mit allen ihm zu Gebote stehenden Mitteln eine solche Parabelfläche zu erzielen. Man darf aber nicht vergessen, daß die bezüglichen Niveauunterschiede zwischen den Randflächen und den zentralen Teilen des Spiegels unvorstellbare minimale, d. h. infinitesimale Größen sind. Bei unserem 6-zölligen Amateurspiegel mit einer Brennweite von 5 Fuß beträgt der Unterschied bloß 0,00015 *mm*. Bei einem kurzbrennweitigen Spiegel wäre der Unterschied, allerdings nur um ein Minimum, größer. Es folgt nun daraus, daß Spiegel mit langer Brennweite viel weniger Parabolisierungsarbeit erfordern, da ein solcher Spiegel beinahe mit einer Sphäre übereinstimmt. Anfänger werden aus diesem Grunde, wie bereits an anderer Stelle erwähnt wurde, vor einer zu kurzen Brennweite gewarnt.

Man kann auf diese Art ein erfolgreiches Resultat erzielen. Dasselbe hängt aber von der durch Erfahrung gewonnenen Kenntnis ab, wie lange die jeweiligen Striche angewendet werden müssen, ehe man eine Änderung derselben vornehmen darf. Sollte das Resultat nicht zufriedenstellend ausgefallen sein, so wird uns die Foucaultsche Schattenprobe anzeigen,

wo die Unvollkommenheit liegt; in einem solchen Falle muß die Kurve natürlich korrigiert werden.

Diese Parabolisierungsmethode ist auch vom historischen Standpunkte äußerst interessant, denn die in unserem geschichtlichen Teile erwähnten unübertroffenen Spiegelflächen des englischen Künstlers Short im 18. Jahrhundert sollen hauptsächlich nach dieser Methode erzeugt worden sein. Die Shortschen Spiegel waren weltberühmt, und es existieren noch heute bei einigen Liebhabern solche Exemplare, deren Metallpolitur sich wunderbarerweise im vollen Glanze erhalten hat. Short war aber ein Mann, der das Geheimnis seiner Kunst äußerst sorgfältig bewahrte und darin selbst so weit ging, daß er kurz vor seinem Tode alle Werkzeuge, Formen und Schleifschalen zerstörte. Allerdings übergab er dem Ministerium ein versiegeltes Schriftstück, worin seine Kunst enthüllt sein sollte. Als nach seinem Tode dasselbe geöffnet worden war, so enthielt es bloß Anweisungen zur Herstellung von Linsengläsern. Spiegelflächen wurden mit keiner Silbe erwähnt. Und so schien schon Shorts Geheimnis für die Nachwelt verloren gegangen zu sein.

Short hatte aber einen intimen Freund, namens Mudge, mit welchem er viel verkehrte. Und dieser Mudge hat sich in seinen späteren Jahren ebenfalls mit der Herstellung von Teleskopspiegeln befaßt und auch einige vorzügliche Spiegel zusammengebracht. Er hat auch seine Methode in wissenschaftlichen Kreisen der damaligen Ära bekanntgemacht; es war die oben beschriebene, praktische Methode der Parabolisierung. Man kann nun mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß durch das intime Freundschaftsverhältnis, welches zwischen Short und Mudge bestand, und auch durch die Tatsache, daß letzterer erst nach dem Tode des Short Spiegel erzeugte, die Methoden identisch sind.

Moderne wissenschaftliche Methode der Spiegelparabolisierung.

Die zweite, eine wissenschaftlichere Methode, eignet sich besonders auch für den weniger erfahrenen Amateur, da bei derselben der Willkür und dem Gefühl weniger Spielraum eingeräumt ist, und die Fortschritte der Arbeit einer ununterbrochenen Kontrolle, allerdings auch nur mit der Foucaultschen Schattenprobe, zugänglich sind. Bei dieser Methode wird derselbe gerade Drittel- oder Viertelstrich mit Variationen angewendet, bis die Oberfläche des Spiegels zu glänzen beginnt. Man wird bei der Polierarbeit nach kurzer Zeit bemerken, daß durch das Poliermaterial entweder alle Teile der Glasscheibe gleichmäßig angegriffen werden oder zuerst stärker der Rand oder das Zentrum; höchstwahrscheinlich ist das letztere der Fall. Die Strichführung wird nun entweder beibehalten oder je nach dem Ergebnis modifiziert, d. h. also, man verändere die Striche nicht, so lange die Glasfläche gleichmäßig poliert wird. Sofern dies aber

nicht der Fall sein sollte, muß man die Striche so lange variieren, bis der modifizierte Strich der Glasfläche eine gleichmäßige Politur verleiht.

Man setze die Polierarbeit dann so lange fort, bis die Glasfläche hinreichend Licht reflektiert, um mit der Schattenprobe geprüft werden zu können.

Nachdem man auf diese Art poliert hat, kommt es leider manchesmal vor, daß der Spiegel bei der Schattenprobe an einzelnen Stellen Unregelmäßigkeiten und Zonen zeigt, das sind ringförmige Erhabenheiten und Vertiefungen. In einem solchen Falle wenden manche Künstler die sogen. Lokalretouche an. Bei dieser Korrekturart wird die Spiegelscheibe derart auf einen Tisch gelegt, daß die geschliffene Fläche nach oben kommt. Die vorher angemerkten unregelmäßigen Stellen werden mit einem kleinen rundlichen Polierer, der aus Holz bestehen kann und ebenso mit einer Pechhaut überzogen und mit Polierrotpaste eingerieben ist, lokal durch spiralartige Striche bearbeitet. Diese Arbeitsweise ist aber gewöhnlich so diffizil, daß nur ganz hervorragend geübte Künstler dieselbe mit Erfolg ausüben werden können. Für den Amateur ist es in einem solchen Falle besser, den Spiegel wieder auf der gewöhnlichen Schleifscheibe durch gerade halbe oder Viertelstriche und zeitweise eingeschobene erratische Bewegungen möglichst zu einer regelmäßigen Sphäre überzuführen, um dann wieder sukzessive unter Verkürzung der Striche und sehr vorsichtigem Arbeiten die Parabel herauszumodellieren. Natürlich hat dies alles unter Prüfung mit der Foucaultschen Schattenprobe zu geschehen.

Die Foucaultsche Schattenprobe.

Man sollte mit dem Polieren nicht früher beginnen, als bis man sich mit dem Inhalt dieser Abhandlung genau vertraut gemacht hat. Es ist auch ebenso nützlich als interessant, über den Fortgang und die Resultate seiner Arbeiten schriftliche Aufzeichnungen zu machen, da diese Notizen bei späteren Arbeiten eine richtige Grundlage abgeben und den Mangel an einer größeren Erfahrung teilweise ersetzen werden.

Dem Spiegelschleifer müssen Mittel an die Hand gegeben sein, wodurch er befähigt ist, sich jederzeit von der Kurve des polierten oder halbpolierten Spiegels zu überzeugen. Es gibt da verschiedene Prüfungsmethoden, jedoch soll hier die beste, die Foucaultsche Schattenprobe, genau beschrieben werden. Dieselbe wird auf der unversilberten Glasfläche in einem dunklen Zimmer vorgenommen.

Man benötigt zu diesem Zweck einen künstlichen Stern, den man sich in der Weise darstellt, daß man über eine brennende Lampe einen undurchsichtigen Schirm schiebt, der gerade gegenüber der hellsten Flammenstelle ein winzig kleines Loch besitzt. Am einfachsten kann ein solcher Schirm durch Zuhilfenahme eines Blechrohres gemacht werden und das Loch

kann mit einer feinen Nadel durchstochen werden, nachdem man das Blechrohr an jener Stelle durch Feilen verdünnt hatte. Fig. 33a zeigt uns eine solche Lampe mit dem künstlichen Stern.

Man stellt nun die zu untersuchende Spiegelscheibe auf einen kleinen Tisch, indem man die ungeschliffene Seite an die Wand oder an eine andere Stütze legt. Um das Umfallen der Spiegelscheibe zu verhindern, empfiehlt es sich, dieselbe in ein kleines aufgestelltes Holzkistchen zu stellen. In der Entfernung der doppelten Brennweite des Spiegels (also z. B. in unserem Falle 10 Fuß) stellt man auf einem zweiten Tisch unseren künst-

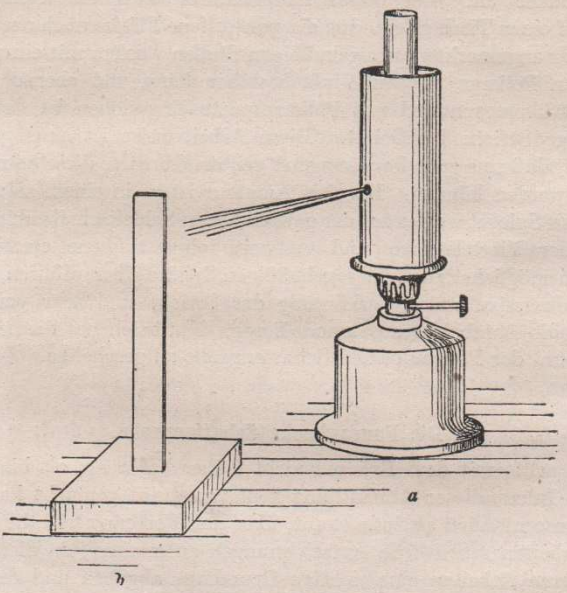


Fig. 33. Lampe und Schneide für die Foucaultsche Schattenprobe.

lichen Stern, also die oben beschriebene Lampe mit durchlöchertem Blechschirm. Von dem kleinen Lampenloch wird nun ein Strahlenbündel auf die Spiegelfläche geworfen und die Spitze des Strahlenkegels wird von dem Spiegel in das rechte Auge des Beobachters zurückreflektiert. Hierbei erscheint das Glas, trotzdem es noch unversilbert ist, bei richtiger Stellung, d. h. wenn die Spitze des Strahlenbündels in das Sehloch des Beobachters dringt, so hell beleuchtet wie eine Vollmondscheibe.

Der Beobachter sitzt ganz in der Nähe der Lampe, die vor seiner rechten Gesichtshälfte steht (Fig. 34), und schiebt langsam schneidend von links nach rechts ein auf ein Holzstück senkrecht angebrachtes Lineal (Fig. 33b)

vor, um den Kegel der reflektierten Strahlen rechtwinklig zu schneiden. Es entspricht auch eine gerade Messerklinge diesem Zweck. Es ist besonders darauf zu achten, daß die Schneide immer von links nach rechts bewegt wird. Wenn die Schneide gewisse Strahlen abschneidet, so verdunkelt sich ein Teil der Oberfläche des Vollmondspiegels. Man hat es bei diesem Durchschneiden mit drei Erscheinungsformen des sich an der Vollmondscheibe bildenden Schattens zu tun. Je nachdem sich die Metallschneide genau im Brennpunkt des reflektierten Strahlenkegels oder innerhalb oder außerhalb desselben befindet, tritt auf der beleuchteten Glasscheibe ein verschiedenartiger Schatten auf.

Um eine Basis zu haben, gehen wir von der Voraussetzung aus, daß unsere Glasfläche eine Sphäre oder nahezu eine Sphäre ist und wollen

Fig. 34. Der Spiegelschleifer bei der Foucaultschen Schattenprobe.

nun die auftretenden drei verschiedenen Schattenmodifikationen beschreiben.

1. **Die Schneide innerhalb des Brennpunktes.** Hierbei tritt ein deutlicher rundlicher Schatten auf der Spiegelfläche an derjenigen Seite auf, von welcher aus die Metallschneide bewegt wird, also von links nach rechts. Der Spiegel wird in diesem Falle derart beschattet erscheinen, wie aus Fig. 35 ersichtlich ist. Die Abbildung erklärt gleichzeitig, wieso diese Schattenbildung zustande kommt; es werden die Strahlen nach und nach durch die vordringende Schneide abgeschnitten.
2. **Die Schneide außerhalb des Brennpunktes.** In diesem Falle tritt die erste Schattenbildung auf jener, der Schneidebewegung entgegengesetzten Seite des Spiegels auf, also rechts.

In Fig. 36 ist diese Schattenbildung dargestellt und erklärt die Abbildung ebenfalls das Zustandekommen derselben.

3. Die Schneide im Brennpunkte. Wenn die Schneide die Strahlen genau im Brennpunkte trifft, so tritt eine plötzliche Verdüsterung der ganzen Fläche ein; es erscheint eine Art Zwie- oder Dämmerlicht. Fig. 37 stellt diese Erscheinung ebenfalls dar.

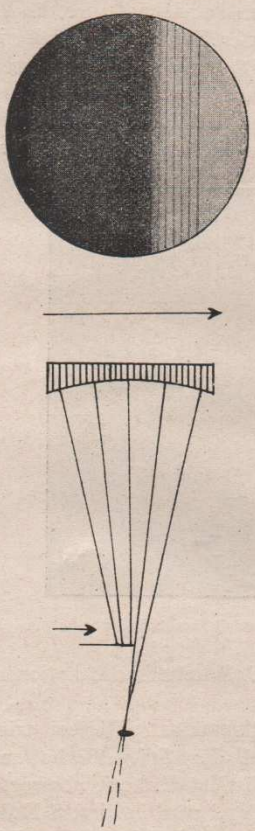


Fig. 35. Schatten mit Schneide innerhalb des Brennpunktes.

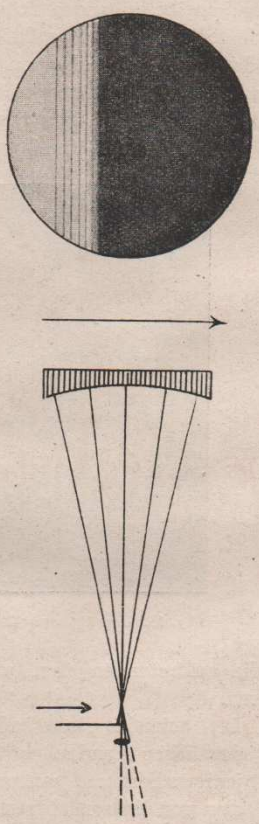


Fig. 36. Schatten mit Schneide außerhalb des Brennpunktes.

Diese dritte Lage ist die wichtigste und dienen die beiden ersten Fälle eigentlich nur dazu, sich rasch zu orientieren, ob man sich mit der Schneide innerhalb oder außerhalb des Brennpunktes befindet. Die eigentliche Untersuchung und Beurteilung der optischen Fläche hat immer im Brennpunkte zu erfolgen. Es enthüllen sich hier mit einem Blick die

Formen, welche die Spiegelfläche jeweils besitzt. Die erzielte optische Fläche kann, wenn wir von groben und ganz unregelmäßigen Fehlern absehen, nur eine der nachstehenden vier Kurven besitzen.

1. Die Sphäre, 2. das Sphäroid oblong, 3. die Parabel und 4. die Hyperbel.

Je nach diesen Kurvenflächen werden die Erscheinungen, welche sich bei der Schattenprobe im Brennpunkte zeigen, verschieden ausfallen. Also

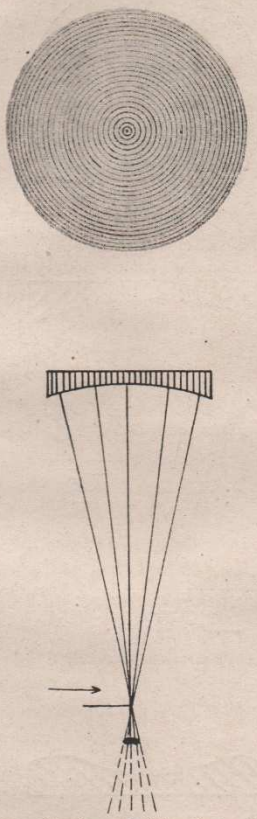


Fig. 37. Schatten mit Schneide im Brennpunkte.

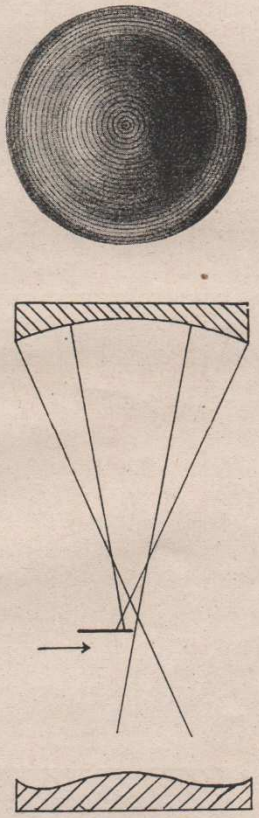


Fig. 38. Die abgeplattete Sphäre (Sphäroid oblong).

durch den Charakter und die Intensität des Schattens, welcher auf dem Spiegel in dem Augenblick erscheint, wo die Metallkante den Brennpunkt schneidet, wird die Art der Spiegelkurve festgestellt. Bei dieser Probe muß daher die Schneide immer genau im Brennpunkte sein, der durch achtsame Versuche gefunden wird. Bei einem sphärischen Spiegel werden

alle Strahlen gleichzeitig geschnitten und der Spiegel erscheint dadurch plötzlich gleichmäßig grauschwarz. Im Falle der Spiegel aber nicht sphärisch ist, ist der Brennpunkt nur approximativ, und da hier die Schneide nur einen Teil der Strahlen absperrt, während ein anderer frei in das Auge des Beobachters eintritt, so erscheint die Spiegelfläche nur teilweise dunkel.

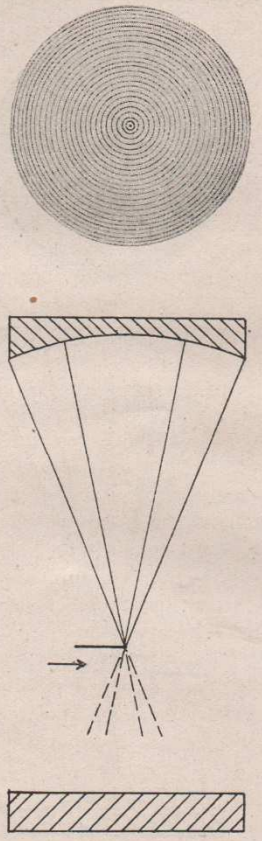


Fig. 39. Die Sphäre.

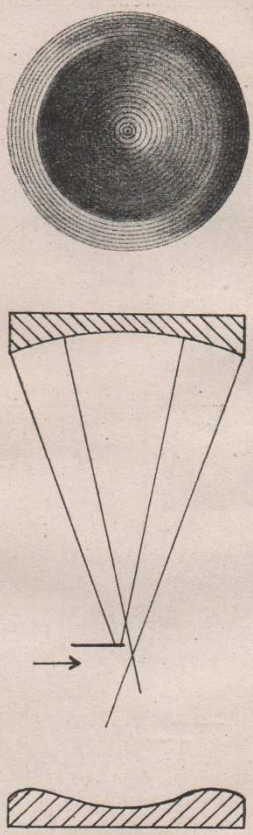


Fig. 40. Die Hyperbel.

Durch das Figurieren vertieft sich die Sphäre zur Ellipse und diese weiter zur Parabel. Es gibt noch eine Figur, die im Range vor der Sphäre steht, nämlich die abgeflachte Sphäre oder das Sphäroid oblong. Eine solche Figur muß erst durch Vertiefung zur Sphäre übergeführt werden.

Die Hyperbel stellt das andere äußerste Extrem dar und tritt ein,

wenn bei dem Versuch, die sphärische Kurve zu parabolisieren, letztere zu viel modifiziert worden ist.

Die Schattenformen, welche man in der Mitte der Krümmung (Kurve) sieht, zerfallen in drei Klassen; es erfordert jedoch eine gewisse Erfahrung und Übung, um bei der Prüfung unterscheiden zu können, wo der deutliche Schatten der einen Klasse in denjenigen der anderen übergeht. Diese Probe ist also äußerst heikel. Die Klassen sind:

1. Die abgeplattete Sphäre (Fig. 38).
2. Die Sphäre (Fig. 39).
3. Die Ellipse, Parabel und Hyperbel (Fig. 40).

In der dritten Abteilung sind die Schattenformen alle identisch; die Klassifikation hängt nur von der Intensität des Lichtes und des Schattens ab.

Um die Bilder richtig auszulegen, denke man sich, daß ein Lichtstrahl von der der Schneide entgegengesetzten Seite, also in unserem Falle von rechts, die Spiegelfläche trifft. In diesem Falle wird sich eine jede Erhöhung (Hügel) der Spiegelfläche auf der dem Lichte zugewandten Seite als heller Fleck zeigen und sich auf der entgegengesetzten Seite als Schatten präsentieren. Bei einer Vertiefung (Grube) der Spiegelfläche wird der Intensitätsgrad von Licht und Schatten die Größe derselben angeben. Das genaue Studium der Abbildungen wird diese komplizierten Verhältnisse dem Verständnis des Anfängers näherbringen. Bei der Sphäre (Fig. 39), wo ein gleichmäßiger Schatten die Fläche überzieht, erscheint der Durchschnitt, wie die untere Projektion zeigt, flach. Während beim Sphäroid oblong (Fig. 38) eine bemerkenswerte Erhöhung in der Mitte und am Rande sichtbar ist und wie die Abbildungen zeigen, ist diese Form bei der Ellipse, Parabel und Hyperbel (Fig. 40) gerade umgekehrt. Da, wie bereits erwähnt, sich diese drei letzten Figuren nur durch den Intensitätsgrad des Schattens unterscheiden, während der eigentliche Schattencharakter unverändert bleibt, so genügt zur Erläuterung unsere Abbildung der Hyperbel.

Wir kommen nun zu dem Verfahren, die oben genannten verschiedenen Formen zur Parabel umzuwandeln. Zuerst werden alle unregelmäßigen Formen immer wieder zur Sphäre gebracht, da das Parabolisieren einer Sphäre am leichtesten ist.

Um das Sphäroid oblong zuerst zur Sphäre zu reduzieren, muß man die zentrale Erhöhung und die erhobenen Ränder zu entfernen suchen. Diese beiden Fehler können gleichzeitig dadurch behoben werden, daß man die Spiegelfläche vom Mittelpunkte aus gegen den Rand vertieft; der zentrale Hügel und die Randerhöhung verschwinden dann zusammen. Wenn also der Spiegel bei der Probe einen Schatten vom Charakter der Fig. 38 zeigt, dann wird es ratsam sein, die Arbeit mit kleinen geraden Strichen fortzusetzen. Um den Fortschritt zu kontrollieren, soll dabei der Spiegel häufig mit der Foucaultschen Schattenprobe untersucht werden.

Durch spätere vorsichtige Verlängerung der Striche passiert die erlangte Sphäre die Ellipse und geht zur Parabel über. Man erkennt das Eintreten einer Parabel an dem Auftauchen eines leichten parabolischen Schattens, wie es die Figuren 41 und 42 zeigen; eine dieser beiden Schattenfiguren muß sich bei einem vollkommenen parabolischen Teleskopspiegel zeigen. Der schwächere Schatten entspricht einem Spiegel von längerer Brennweite, während der stärkere Schatten einen Spiegel mit kürzerer Brennweite darstellt. Es gehört jedoch sehr große Übung und Erfahrung dazu, um aus der Intensität dieses Schattens auf die Brennweite des

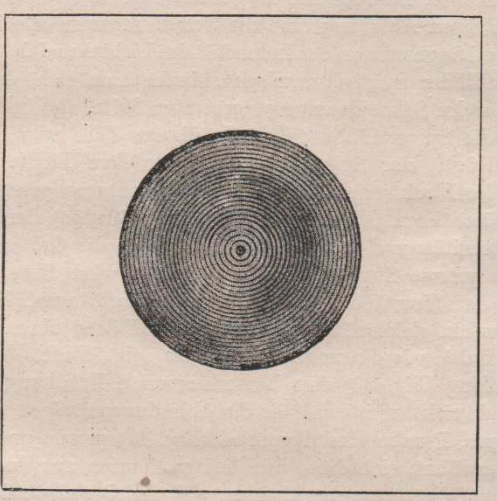


Fig. 41. Schattenfigur einer Parabel mit langer Brennweite.

Spiegels zu schließen; man sei zufrieden, wenn man das Eintreten des parabolischen Schattens überhaupt mit Sicherheit zu konstatieren vermag.

In diesem Stadium sollte aber der Spiegel am Himmel an einem Stern mit Hilfe einer Probemontierung geprüft werden. Überhaupt möge sich der Leser ein für allemal merken, daß dieser Prüfung des Teleskopspiegels an einem Himmelsobjekt das letzte und entscheidende Wort über die Brauchbarkeit respektive der Qualität der erzielten optischen Fläche zukommt. Zieht man was immer für Methoden der Spiegelprüfung in Betracht, so ist wohl die Foucaultsche Lichtschneidemethode unzweifelhaft die genaueste, fruchtbarste und richtigste und zwar schon mit Rücksicht darauf, daß sie die ganze Arbeit des Polierens und Figurierens unter einer strengen Kontrolle stellt. Trotz alledem hat aber auch Foucault der Prüfung der nach seiner Methode hergestellten Spiegel, an den Beugungsringen

eines Fixsterns zweiter Größe, den Wert einer Feuerprobe zuerkannt; mit andern Worten, diese Prüfungsmethode als das oberste Tribunal in der Entscheidung über die Bewertung des Spiegels erklärt.

Um nun diese Prüfung vorzunehmen, bedarf es keineswegs einer kompletten Montierung; vielmehr kann man dieselbe mit einer einfachen Hilfseinrichtung arrangieren. Es genügt ein einfaches Holzbrett von der ungefähren Länge der Spiegelbrennweite, an dessen einem Ende der Spiegel in irgendeiner einfachen, aber immerhin, was die Neigungen betrifft, korrigierbaren Weise befestigt wird. Am besten wird es sein, wenn man

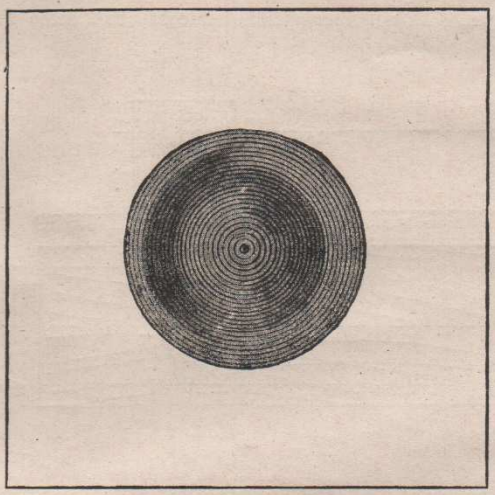


Fig. 42. Schattenfigur einer Parabel mit kurzer Brennweite.

auf dem Holzbrett ein zweites, senkrecht stehendes Brett anbringt, an dem nun der Spiegel angelegt wird. Wenn man von außen an dieser kleinen Holzplatte drei Schrauben anbringt, so läßt sich mit Hilfe derselben dem Spiegel jede erforderliche Neigung beibringen. Nunmehr wird am andern Ende des langen Holzbrettes in der Mitte unter 45° Neigung ein kleiner ebener Fangspiegel aufgestellt und gegenüber diesem an einem ebenfalls verstellbaren Stab ein astronomisches Okular von nicht zu starker Vergrößerung angebracht. Fig. 43 zeigt eine solche primitive Einrichtung. Man kann das Brett dann entweder auf einem Ständer montieren oder noch einfacher auf der Lehne eines Stuhles stützen. Im letzteren Falle legt man das Brett auf den Fußboden und hebt dasselbe an der Okularseite auf eine Stuhllehne. Dadurch, daß die Stuhllehne nun dem Hauptspiegel mehr genähert oder entfernt wird, läßt sich jede erforderliche Höhenlage

erzielen. Und durch Bewegung der ganzen Einrichtung nach rechts oder links erhält man die gewünschte Richtung im Azimut. Der Stuhl wird in der Weise aufgestellt, daß wenn sich jemand auf demselben setzen würde, dem Hauptspiegel der Rücken zugekehrt wäre.

Es sind die Beugungsringe, die z. B. der für diesen Zweck geeignete Polarstern zeigt, wenn man das Okular ein wenig innerhalb oder außerhalb des Brennpunktes (Fokus) verschiebt, die sofort dem Beobachter über die Beschaffenheit seiner Spiegelfläche Auskunft geben. Im Fokus selbst erscheint der Stern, wenn alles in Ordnung ist, als eine kleine, scharf umgrenzte Scheibe, umgeben von zwei bis drei ganz schwach angedeuteten Beugungsringen. Es sei aber gleich bemerkt, daß diese Probe nur bei

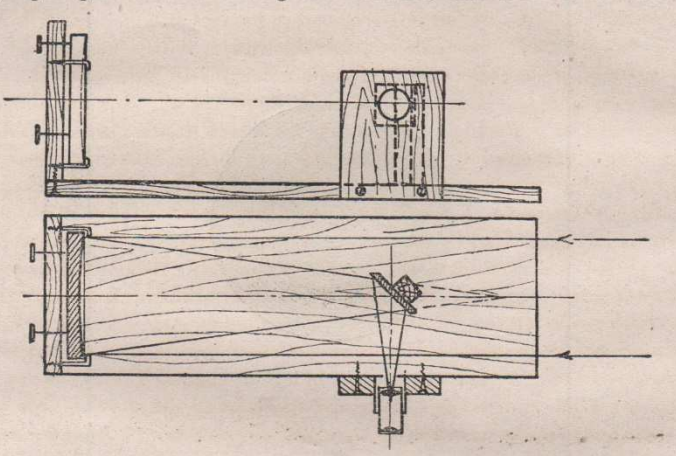


Fig. 43. Provisorische Spiegelmontierung zur Prüfung des Spiegels am Himmel.

vorzüglich ruhiger Luftbeschaffenheit vorgenommen werden kann, und da eine solche in unseren Klimaten leider nur selten ist, so prüfen viele Künstler ihre Spiegel nur auf einen künstlichen Stern. Eine mehrere hundert Meter entfernt aufgestellte glänzende kleine Thermometerkugel, die von der Sonne beschienen ist, eignet sich vorzüglich für diesen Zweck.

Wie die Beugungsbilder in und außer dem Fokus aussehen müssen, wird in einem andern Kapitel noch erläutert. Es sei nur noch erwähnt, daß sich die kleinsten Unregelmäßigkeiten und besonders auch Zonen, an den Beugungsringen durch helle und dunkle Stellen oder ungewöhnlich helle Ringe kundgeben; mit andern Worten, das Beugungsbild stellt das genaue Abbild der Spiegelfläche dar. Freilich gilt auch auf diesem Felde das Sprichwort: „Übung macht den Meister.“ Doch kann schon der Ungeübteste sofort auf den ersten Blick die Güte eines Fernrohres, sei es ein Reflektor oder Refraktor, beurteilen, wenn er den Grundsatz beachtet,

daß bei einer optisch korrekten Fläche das Bild des Sternes in einem einzigen Punkte innerhalb des Okulars scharf umgrenzt erscheint, so daß die geringste Verschiebung des Okulars, heraus oder hinein über diesen scharfen Brennpunkt, eine sofortige Unschärfe des Fokalbildes zur Folge hat. Man wende bei diesem Verfahren eine mittlere Vergrößerung an, z. B. bei einem 6-zölligen Spiegel nicht unter 100. Findet man aber, daß man das Okular in weiteren Grenzen hin- und herschieben kann, ohne daß eine merkbare Unschärfe des Bildes eintritt, dann taugt der Spiegel oder die Linse sicher nicht viel.

Nach dieser Exkursion müssen wir nun wieder zu unserer Foucaultschen Schattenprobe zurückkehren. Finden wir, daß sich der Schatten so ausprägt als uns Fig. 40 zeigt, oder daß sich vielleicht diese Schattenform schon einstellt, bevor die Politur der Spiegelfläche beendigt ist, mit andern Worten, letztere einen hyperbolischen Charakter aufweist, dann versuche man auch in diesem Falle die Hyperbel zur Sphäre zurückzubringen. Dies geschieht hier am besten durch gerade Viertelstriche, die vielleicht selbst noch kürzer sein dürfen. Hierdurch wird die leichte Erhöhung, welche in diesem Falle zwischen dem Mittelpunkte und dem Rande des Spiegels vorhanden ist, entfernt.

Obige Prozedur wird aber nur in seltenen und leichten Fällen zum Ziele führen. Es ist nämlich sehr schwer, eine ausgesprochen hyperbolische Fläche mit dem Polieren allein wieder zurechtzubringen. Deshalb arbeite man von vornherein so sorgfältig als nur möglich, um nicht gerade diese unerwünschte hyperbolische Figur zu erzielen. Sollte dies aber dennoch der Fall sein, wie es den Anfängern häufig begegnen kann, so ratet der Verfasser, nicht zu viel Zeit auf die Verbesserung des Fehlers mit Hilfe der Polierscheibe zu verwenden, sondern einfach die Pechhaut von der Schleifscheibe zu entfernen und wieder zum Feinschliff unter Verwendung des feinsten Grades geschlämmten Schmirgels für einige Zeit zurückzukehren. Der Anfänger kann deshalb nicht oft genug darauf aufmerksam gemacht werden, daß er den Spiegel unter die Foucaultsche Probe nimmt, sobald eine schwache Politur auftritt. Diese Probe zeigt ihm dann die Tendenz der Kurve, zu welcher sich die Spiegelfläche neigt, an und in diesem Stadium kann er allerdings durch richtige Bemessung, Modifizierung und Anpassung der zu wählenden Striche den erwähnten Fehlern leicht vorbeugen.

Wir sind nun am Schlusse unserer Anleitung über die Herstellung parabolischer Spiegelflächen, und bildet diese Abhandlung die Quintessenz des Werkes. Um günstige Erfolge auf Grund dieser Anleitung zu erzielen, ist es aber nötig, dieselbe wiederholt und aufmerksam zu studieren. Sollte der Leser aber trotzdem irgendwo auf Schwierigkeiten stoßen, so wende er sich nur ungeniert um Aufklärung an den Verfasser.

IV. Anleitung zur Versilberung von Reflektorspiegeln.

Nachdem der parabolische Spiegel fertig poliert worden ist, muß die optische Fläche oben versilbert werden. Ebenso ist die optische Fläche des kleinen ebenen Fangspiegels zu versilbern.

Die erste Vorbedingung bei der Versilberung optischer Glasflächen ist, die letzteren chemisch rein zu machen. Unter keinen Umständen kann eine Versilberung gelingen, wenn die Glasfläche vorher nicht absolut chemisch rein gemacht worden ist. Dies kann aber niemals durch einfaches Waschen und Abreiben mit einem weichen Lederlappen geschehen, denn was man im gewöhnlichen Leben reines Glas nennt, ist noch lange nicht chemisch rein.

Für die Reinigung des Spiegels sind folgende Chemikalien erforderlich:

1. Destilliertes Wasser. Da solches auch für die Versilberung nötig ist, so besorge man sich gleich mehrere Liter.
2. Rektifizierter Spiritus, 500 Gramm.
3. Starke Ammoniaklösung (Salmiakgeist), 50 Gramm.
4. Salpetersäure, 50 Gramm.

Man gieße nun zuerst auf die zu versilbernde Glasfläche etwas Salpetersäure und verreibe dieselbe mit reiner Watte gleichmäßig über die Glasfläche. Hierbei bediene man sich eines Holzstäbchens, da die Salpetersäure die Haut und überhaupt alles Organische, wie Kleidungsstücke usw., anätzt und man deshalb vorsichtig damit umgehen muß. Hierauf spüle man die Glasfläche unter dem Wasserleitungshahn gründlich ab, berühre aber keinesfalls mehr die Fläche mit dem Finger. Nunmehr schütte man etwas Salmiakgeist auf die Glasfläche und verreibe diesen ebenfalls mit Watte und Hölzchen auf der ganzen Fläche und spüle nun abermals mit Wasser ab. Denselben Vorgang wiederholt man noch mit Spiritus. Nachdem man nun zum letztenmal mit Leitungswasser abgespült hat, schütte man etwas destilliertes Wasser über die Glasfläche. Jetzt ist erst letztere chemisch rein und muß vor Staub und Berührung geschützt werden. Bis zur Versilberung lege man die Glasscheibe, die gereinigte Glasfläche nach oben gekehrt, in ein vorher gereinigtes Glas- oder Porzellangefäß und schütte so viel destilliertes Wasser darauf, daß die Oberfläche der Glasscheibe überall reichlich bedeckt ist.

Nunmehr schreitet man zur Bereitung der Versilberungsflüssigkeiten. Man stellt sich zwei Lösungen her und zwar in einer Flasche eine 3-prozentige Silbernitrat-(Höllenstein-)Lösung und in einer zweiten Flasche eine 3-prozentige weinsaure Kali-Natron-(Seignettesalz-)Lösung. In die Silbernitratlösung tröpfelt man so lange Ammoniak (Salmiakgeist), bis der entstehende Niederschlag eben wieder zu verschwinden beginnt. Dabei darf diese Lösung nicht ganz klar werden, sondern es muß noch etwas von dem bräunlichen Niederschlag verbleiben. Sofern die Lösung aber infolge

zu vielem Salmiakgeist klar geworden sein sollte, so fügt man noch ein wenig Silbernitrat hinzu, bis die Lösung wieder bräunlich wird. Es ist wohl überflüssig zu bemerken, daß zur Bereitung dieser Lösungen nur destilliertes Wasser verwendet werden darf und empfiehlt es sich, die Lösungen in gelblichen Gläsern zu bereiten.

Nachdem diese Flüssigkeiten vorbereitet worden sind, nimmt man von den beiden Lösungen gleiche Teile und mischt sie gut zusammen. Diese Mischung muß sofort gebraucht werden, da sich die Lösungen nur einzeln halten.

Die zu versilbernde Glasscheibe wird nun, nachdem man dieselbe nochmals mit destilliertem Wasser abgespült hat, in ein Glas- oder Porzellangefäß derart gebracht, daß die optische Fläche oben zu liegen kommt. Jetzt schüttet man in dieses Gefäß die soeben gemachte Mischung und zwar so viel Flüssigkeit, daß die Spiegelfläche noch 5—10 Millimeter hoch damit bedeckt ist. Nun wird das Gefäß während der Versilberung langsam drehend bewegt. Sobald die Oberfläche zu glänzen beginnt, ist die Versilberung beendet. Es ist empfehlenswert, gleich zweimal zu versilbern, indem man die alte Flüssigkeit vorsichtig ausschüttet und neue Mischung darauf gibt. Zum Schlusse nimmt man den Spiegel aus dem Gefäße heraus und spült die versilberte Fläche vorsichtig mit destilliertem Wasser ab und läßt ihn trocknen.

Wenn der Spiegel ganz trocken ist, so sieht er gelb und matt aus Die versilberte Fläche muß nun zum Hochglanz poliert werden. Man nimmt, am besten erst nach 24 Stunden, ein Stück sehr weiches Rehleder und legt in dessen Mitte einen Wattebausch, so daß man einen weichen Lederpolierer erhält. Auf die Lederfläche gibt man ein wenig von dem trockenen Polierrotpulver und beginnt mit ganz leichtem Druck die versilberte optische Fläche spiralförmig damit zu polieren. Nach und nach bekommt die Spiegelfläche einen prachtvollen gleichmäßigen Silberglanz und die Versilberung ist gelungen und fertig.

Wenn der Spiegel vor Staub und Berührung der Finger geschützt wird, so hält die Versilberung mindestens drei Jahre. Allerdings kann man den Spiegel mit Polierrot jährlich aufpolieren, was auf dieselbe Weise geschieht wie bei der Versilberung.

Sollte einmal auf die Silberschicht Staub kommen, so darf dieser nur mit einem weichen Kamelhaarpinsel leicht entfernt werden. Die Silberschicht muß natürlich auch vor Nässe, wie z. B. Tau, geschützt werden. Um einen feucht gewordenen Spiegel zu trocknen, darf man denselben nicht etwa abwischen, sondern man bringt ihn in die Nähe eines Feuers, wo die Nässe schadlos verdunstet.

Da allgemein angenommen wird, daß der Versilberungsprozeß schwer durchführbar und unsicher sei, so muß hier betont werden, daß dies auf Irrtum beruht. Wenn die obigen Vorschriften genau befolgt werden, so

wird jede Versilberung anstandslos gelingen. Die drei Kardinalpunkte, gegen welche meist verstoßen wird, sind:

1. Möglichst gleiche Temperatur der Flüssigkeiten und der Glasfläche; daher ist es ratsam, sämtliche Chemikalien inkl. Spiegel und Versilberungsgefäße 24 Stunden vorher in einem möglichst temperierten Raum zu geben und bis zur Vollendung der Versilberung darin zu lassen.
2. Absolute Reinlichkeit.
3. Während der Versilberung Bewegung des Spiegels und wenn irgend möglich, voller Sonnenschein. Aus letzterem Grunde erzielt man bessere und haltbarere Silberschichten im Sommer. Es wirken hier in geheimnisvoller Weise die aktinischen Strahlen des Sonnenlichtes auf den Molekularzerfall der angewendeten Ingredienzien.

Es sei noch bemerkt, daß es verschiedene Methoden der Versilberung gibt. Die hier beschriebene ist jedoch für Amateure am meisten zu empfehlen, da das Resultat bei Beachtung der Vorschriften stets ein zufriedenstellendes sein wird.

V. Die Herstellung des Fangspiegels für die Newtonsche Konstruktion.

Der kleine ebene Fangspiegel muß bei dieser Art von Spiegelteleskop eine elliptische Form erhalten, da die vom parabolischen Hauptspiegel kommenden konvergierenden Strahlen (Strahlenkonus) in schiefer Richtung geschnitten werden, was im Durchschnitt einer elliptischen Figur entspricht. Damit sämtliche Strahlen, die auf den Fangspiegel auftreffen, in das Okular reflektiert werden, ist es erforderlich, daß der Fangspiegel elliptisch geformt ist. Selbstverständlich muß derselbe bezüglich seiner Größe in richtiger Proportion zur Brennweite des parabolischen Spiegels stehen. Wäre z. B. der Fangspiegel größer als erforderlich, so würde derselbe zu viel Licht des parabolischen Hauptspiegels absperren; während umgekehrt bei zu kleinem Fangspiegel das Gesichtsfeld eine unnötige Einschränkung erfahren würde.

Der elliptische Fangspiegel erhält die richtige Größe, wenn sein kleiner Durchmesser mit dem Durchmesser des Strahlenkonus an jenem Orte gemessen übereinstimmt, an welchem der Fangspiegel stehen muß. Das ist also an jener Stelle, die gleich ist der Brennweite des parabolischen Spiegels, weniger dem halben Durchmesser des Rohres. Die lange Achse des elliptischen Fangspiegels wird gefunden, wenn man durch den Mittelpunkt der kleinen Achse unter einem Winkel von 45 Grad eine gerade Linie so weit zieht, bis dieselbe den Strahlenkonus an beiden Seiten schneidet. Diese Linie gibt die Länge der langen Achse des elliptischen Fangspiegels an. In Fig. 44 stellt a die Länge der kleinen Achse, während b die große Achse

darstellt. Bei strenger Einhaltung dieses Verhältnisses entsteht durch die Zwischenlage des kleinen Spiegels fast gar kein Lichtverlust und man gewinnt dadurch ein möglichst großes Gesichtsfeld, was bei Beobachtungen von Sonne, Mond, Nebelflecken und Sternhaufen von großem Vorteil ist. Bei einem richtig konstruierten Spiegelteleskop muß das Gesichtsfeld immerhin so groß sein, daß z. B. bei einer Anwendung einer schwachen, ca. 35—40-maligen Vergrößerung nicht nur die volle Scheibe der Sonne oder des Mondes im Gesichtsfeld erscheint, sondern noch darüber hinaus ein kreisförmiger Raum von der Größe des Halbmessers dieser Himmelskörper vorhanden ist. Da also der Sonnen- oder Monddurchmesser am Himmel ungefähr unter $^1/_2$ Grad erscheint, so soll das Gesichtsfeld bei der oben angeführten Vergrößerung mindestens 1 Grad betragen. Natürlich beziehen sich diese Auseinandersetzungen auf die usuelle Normalbrennweite von 1 : 6. Wählt man hingegen eine längere Brennweite wie 1 : 8

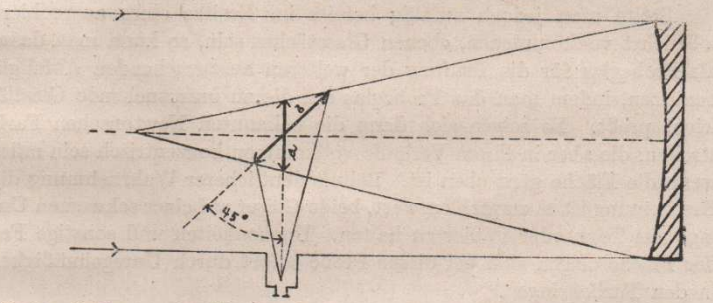


Fig. 44. Bestimmung der Ellipsengröße für den ebenen Fangspiegel eines Newtonschen Spiegelteleskops.

oder 1 : 12, so wird das Gesichtsfeld unter allen Umständen so klein, daß man die volle Mond- oder Sonnenscheibe auch bei Anwendung einer schwachen Vergrößerung nicht mehr überblicken kann.

Um sich nun den kleinen Spiegel zu präparieren, wende man sich an einen Glaser, und frage nach Abfällen von dickem, geschliffenen Spiegelglas. Unter solchen unversilberten Abfällen wird man immer Stücke finden, die vollkommen eben und somit für unseren Zweck geeignet sind. Es wäre überflüssig und nicht empfehlenswert, sich selbst solche ebene Spiegelglasflächen zu schleifen, da die damit verursachte Mühe nicht im Verhältnis zu dem Endresultat steht, denn man erhält keine bessere ebene Fläche, als man durch Suchen und Prüfen unter den Abfällen feiner Spiegelglasstücke finden wird.

Die Prüfung auf vollkommene Ebenheit der Glasoberfläche geschieht in der Weise, daß man z. B. das Bild eines Fensterkreuzes oder eines Blitzableiters, überhaupt gerader Linien, darauf reflektieren läßt, und dieses reflektierte Bild bei schiefem Hinblicken nach der horizontalen Glasfläche

genau betrachtet. Bei der geringsten Unebenheit erscheinen die geraden Linien des Fensterkreuzes, Blitzableiters usw. wie gebrochen oder geknickt, mit einem Wort verzerrt. Noch genauer kann man eine solche Glasfläche auf ihre Ebenheit mittels Hilfe eines kleinen Fernrohres prüfen; es genügt schon ein Handfernrohr, welches allerdings auf einem Ständer befestigt werden muß. Auch in diesem Falle legt man das Spiegelglas horizontal, z. B. auf das Fensterbrett oder im Freien auf einen Tisch, und betrachtet mit dem Fernrohr aus einiger Entfernung sowohl das wirkliche als auch das reflektierte Bild eines entfernten Blitzableiters, einer Telegraphenstange, Haus- oder Kaminkante oder dergleichen. Muß man bei diesen Beobachtungen das Fernrohr verstellen, um beide Bilder gleich scharf zu sehen, so taugt das Glasstück für unsere Zwecke nicht. Bei einem geeigneten Spiegelglas muß das Reflexbild im Spiegel gleich scharf mit dem wirklichen Bild ohne Okularverstellung erscheinen.

Sollte man jedoch zufällig bereits im Besitze eines ausprobierten, möglichst vollkommenen, ebenen Glasstückes sein, so kann man dasselbe als Probeglas für die Prüfung der weiteren auszusuchenden Abfallgläser benützen, indem man das Probeglas auf die zu untersuchende Glasfläche leicht preßt. Es zeigen sich dann die bekannten Newtonschen Farbenstreifen, die aber in ihrem Verlaufe vollkommen konzentrisch sein müssen, wenn die Fläche ganz eben ist. Behufs deutlicherer Wahrnehmung dieser Erscheinung ist es empfehlenswert, beide Gläser auf einer schwarzen Unterlage aus Tuch oder Papier zu halten. Unebenheiten und sonstige Fehler der Fläche zeigen sich bei dieser Probe sofort durch Unregelmäßigkeiten in den Farbenringen.

Hat man nun ein geeignetes Stück Glas gefunden, so kann man dasselbe entweder bei einem Glaser in eine elliptische Form von der erforderlichen Größe abschleifen lassen, oder man kann selbst mit Hilfe eines Schlüsselbartes die Ränder des Spiegelglases derart vorsichtig abzwicken, daß man ungefähr eine elliptische Form erhält. Zum Schluß schleift man die Ränder auf einem Schleifstein oder auf einem gewöhnlichen Stein mit feuchtem Schmirgel glatt, wobei es ratsam ist, auf beiden Glasseiten zuerst eine dünne Holzplatte von der richtigen elliptischen Form anzubringen. Nunmehr wird dieser ebene elliptische Fangspiegel ebenso versilbert und die Silberschichte dann poliert wie der parabolische Spiegel.

VI. Anleitung zur Herstellung einer einfachen Reflektor-Montierung.

Nachdem der Amateur die beiden Spiegel versilbert hat, wird er an die Herstellung einer einfachen und praktischen Montierung schreiten. Es soll nun im folgenden versucht werden, dem Amateur zur Selbstherstellung einer solchen Montierung Anleitung zu geben. Es wird hierbei

speziell der Umstand berücksichtigt, daß die herzustellende Montierung mit geringen Auslagen möglich sein soll. Bevor wir nun an den Aufbau der eigentlichen Newtonschen Reflektormontierung gehen, ist es erforderlich, daß wir unsere beiden Spiegel zuerst fassen.

Der große parabolische Spiegel wird am besten in einer runden Holzzelle gefaßt, welche einen ebenen Boden besitzt, an den sich ein Holzrahmen fügt, der innen einige Millimeter höher als die zu fassende Spiegelscheibe sein soll. Der Durchmesser der Bodenplatte ist so bemessen, daß der Spiegel in die Zelle gerade hineingeht, doch noch rund um den Spiegel ein dünner Kartonstreifen eingefügt werden kann. Ehe man den versilberten Spiegel in diese Holzzelle legt, breitet man auf dem Boden derselben runde Tuch- oder Flanellappen in doppelter oder dreifacher Lage aus. Auf dieser weichen Unterlage wird nun die nicht bearbeitete Fläche des Spiegels gelegt, so daß die optische, versilberte Fläche oben frei in der Zelle liegt. Nun schiebt man rund um den Spiegel einen dünnen, ca. 1 Zoll breiten Kartonstreifen in die Zelle, damit der Zwischenraum in derselben ausgefüllt wird. Es sei hier aber darauf aufmerksam gemacht, daß der Spiegel in der Zelle von keiner Seite einen Druck erhalten darf. Nunmehr muß eine Vorkehrung getroffen werden, daß der Spiegel bei senkrechter Lage nicht aus der Holzzelle herausfallen kann. Dies läßt sich nun entweder dadurch erreichen, daß man einen dicken, elastischen Ring aus Messingdraht in die Zelle auf den Spiegel preßt. Natürlich muß in diesem Falle alle Vorsicht angewendet werden, daß die Silberschicht nicht verletzt wird. Oder man bringt mittels kleiner Schrauben an drei bis vier Stellen am Rande des Holzrahmens kleine, schwarzgemachte Metallstücke derart an, daß dieselben ungefähr $^1/_4$ *cm* auf die Spiegelfläche hineinragen, so daß diese kleinen Haken das Herausfallen des Spiegels verhindern. In der Mitte des ca. 2—3 *cm* dicken Holzbodens der Zelle wird von außen eine Öffnung angebracht, in welche man eine größere Schraubenmutter fest einläßt. Diese Schraubenmutter dient uns später dazu, um die Zelle an dem Rohre zu befestigen, worauf wir noch ausführlicher zurückkommen wollen. Wir hätten nun somit den parabolischen Spiegel fertig gefaßt und wollen den kleinen Spiegel ebenfalls fassen.

Für den Fangspiegel bedienen wir uns keiner Holzzelle, sondern fertigen uns aus Zinkblech eine Fassung an, welche in elliptischer Form gerade so groß und tief ist, daß der kleine Fangspiegel hineinpaßt, aber nicht gepreßt wird. Drei bis vier kleine Blechhäkchen, welche, nachdem der Spiegel in die Fassung gelegt ist, am Rande umgebogen werden, halten den Spiegel in der Zelle fest. Es kann nicht schaden, wenn auch in die kleine Zelle unter dem Spiegel eine Tuch- oder Flanellage gebracht wird; ebenso kann am Rande ein dünner Kartonstreifen in die Zelle gefügt werden. Doch soll der Spiegel derart in der Fassung liegen, daß derselbe

einen ganz minimalen Spielraum besitzt, so daß er sich bei starkem Schütteln in der Zelle ein wenig bewegen kann.

An der Bodenplatte der Zelle bringt man außen ein kurzes Stück dicken, aber immerhin noch biegsamen Draht an und von diesem gehen drei Drähte aus, die ihrerseits an einem Blechreifen befestigt werden, welcher nun genau in die Teleskopröhre paßt, und von oben in dieselbe hineingeschoben und genau über der Okularöffnung befestigt wird. Der an der Zelle angebrachte kurze Draht bezweckt, daß bei der Justierung

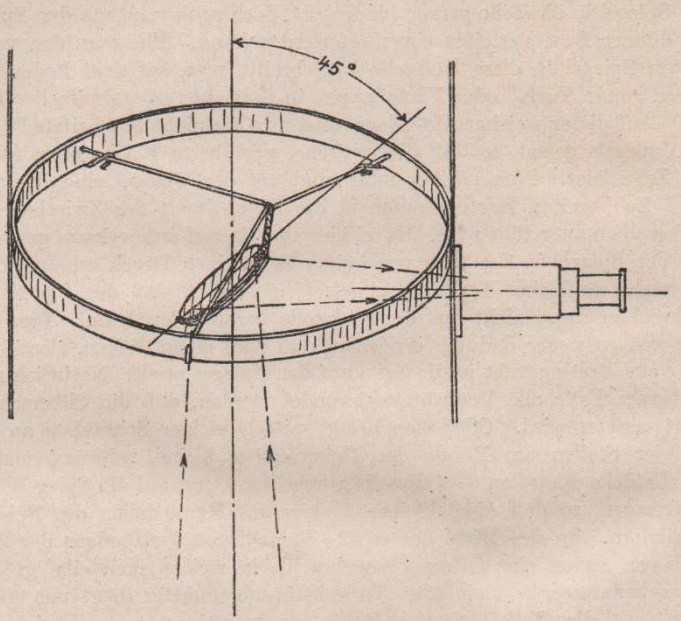


Fig. 45. Fassung und Lage des Fangspiegels.

die Richtung des Fangspiegels durch Biegung des Drahtes verändert werden kann. Obzwar der Draht biegsam sein soll, so darf derselbe doch nicht zu dünn genommen werden, damit die einmal gegebene richtige Neigung des Spiegels auch erhalten bleibt. Aus Fig. 45 ist die Fassungsart und Lage des Fangspiegels ersichtlich. Der Spiegel ist zur Rohrachse 45 Grad geneigt, so daß die vom großen Spiegel kommenden Strahlen auf den Fangspiegel auffallen und dieser dann das Licht in die seitlich am Rohr angebrachte Okularöffnung reflektiert.

Nachdem die beiden Spiegel auf diese Weise gefaßt sind, müssen wir an die Herstellung des Stativs und des Rohres gehen. Fig. 46 zeigt uns eine einfache Montierung für einen 6-zölligen Spiegel. Dieselbe besteht

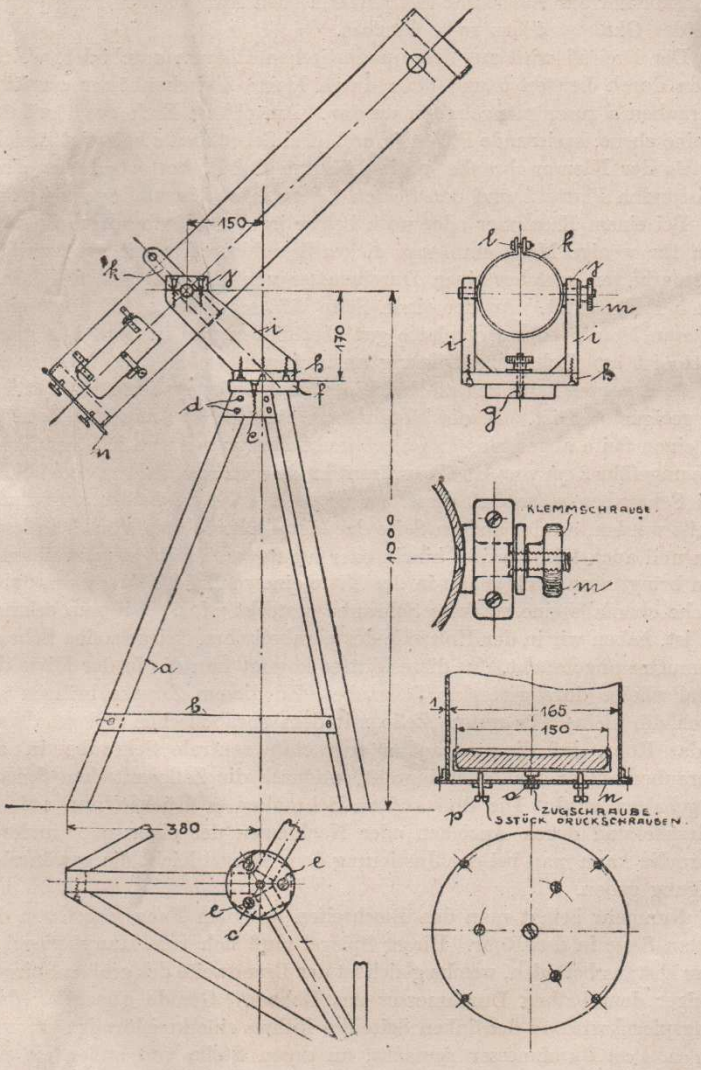


Fig. 46. Einfache Newtonsche Reflektor-Montierung für einen 6zölligen Spiegel.

1. aus einem Dreifuß mit kreisrunder Platte, 2. aus einer auf letzterer drehbaren Gabel mit Lagerung für das Reflektorrohr und 3. aus dem

Reflektorrohr zur Aufnahme des parabolischen Spiegels, des Fangspiegels und des Okularstutzens resp. Okulars.

Der Dreifuß wird aus drei quadratischen Hölzern *a* gebildet, welche unten durch Leisten *b* und oben durch kleine Zwischenhölzer *c* mittels Schrauben *d* zusammengehalten werden. Am oberen Ende des Dreifußes ist eine ebene, kreisrunde Platte *f* durch drei Schrauben *e* befestigt, welche mittels der Klemmschraube *g* die hölzerne Gabel, bestehend aus einer kreisrunden Platte *h* und den beiden Seitenteilen *i* samt Lagern *j* trägt.

Bei einem Klempner oder noch besser in einer Blechrohrfabrik kann man für wenige Mark ein 1 *mm* dickes Eisenblechrohr mit geschweißter Naht erhalten, welches einen Durchmesser von 165 *mm* und eine Länge von 5 Fuß besitzt. An der einen Seite läßt man dieses Rohr mit einer dickeren Metall- oder Holzplatte gut abschließen und in der Nähe dieser Platte ist am Rohr eine Öffnung anzubringen, welche auch wieder geschlossen werden kann, so daß ein kleines, nach außen zu öffnendes Türchen am geeignetsten ist. In die Metallplatte, mit welcher also das Rohr an der einen Seite abgeschlossen ist, schraubt man von außen in einer Kreislinie ungefähr 2 *cm* vom Rande entfernt in gleichen Abständen voneinander drei Schrauben *p*, so daß dieselben mit den Spitzen, welche aber flachgefeilt werden, an der andern Seite der Metallscheibe zum Vorschein kommen und auch leicht weiter hinein oder herausgeschraubt werden können. Nun bringt man noch genau in der Mitte eine zentrale Öffnung an, durch welche ebenfalls eine stärkere Schraube gesteckt wird. Wie nun erinnerlich ist, haben wir in der Holzzelle des parabolischen Spiegels eine Schraubenmutter angebracht. In diese Mutter kommt nun die in der Mitte der Metallscheibe durchgesteckte Schraube. Zu diesem Zwecke bringen wir durch die kleine Tür unsere Zelle mit dem parabolischen Spiegel derart in das Rohr, daß die von außen angesetzte zentrale Schraube in die Schraubenmutter der Zelle eingreift, wodurch die Zelle mit dem Spiegel festgehalten wird. Die drei andern Schrauben *p* drücken nun auf die Holzzelle und durch Anziehen oder Nachlassen der einen oder anderen Schraube kann man bei der Justierung dem Spiegel leicht die gewünschte Neigung geben.

Nunmehr bringt man den Blechreifen mit dem Fangspiegel von der andern Seite in das Rohr. Dieser Spiegel muß sich vom Hauptspiegel in einer Distanz befinden, welche gleich ist der Brennweite des großen Spiegels weniger dem halben Durchmesser des Rohres. Gerade gegenüber dem Fangspiegel wird an der linken Seite des Rohres eine kreisförmige Öffnung von ca. 4 *cm* Durchmesser gemacht, an deren Stelle von außen ein ein- und ausziehbarer Okularstutzen angebracht wird, welcher dann weiter mit einem Okular versehen ist. Vorteilhaft ist es, wenn der Okularstutzen mit einem Trieb ausgestattet ist. Will man jedoch sparen, so kann man auch einfach zwei verschiebbare Messingrohre ineinander stecken.

Ehe man die Spiegel in das Rohr bringt, muß dasselbe innen ganz mattschwarz gestrichen werden; ebenso auch alle Teile der Fangspiegelfassung. Am besten geschieht dies mit einer spirituösen Lösung aus Schellack und Kienruß.

Nachdem die beiden Spiegel und der Okularstutzen montiert sind, sucht man die Schwerpunktlage des Rohres. An dieser Stelle erhält das Rohr eine mit zwei runden Zapfen versehene Schelle *k*, die mit der Klemmschraube *l* angezogen wird. Ferner ist einer der Zapfen als Klemmschraube *m* ausgebildet. Um dem ganzen Instrument ein hübsches Aussehen zu

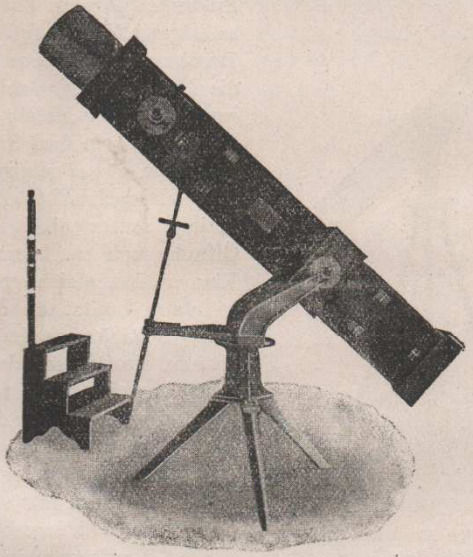


Fig. 47. 10zöllige Spiegelmontierung mit viereckigem Holztubus.

verleihen, kann man den Ständer mit brauner Ölfarbe streichen, während das Rohr mit weißer oder hellgrauer Emailfarbe versehen wird.

Es sei noch darauf aufmerksam gemacht, daß das Rohr etwas größer im Durchmesser sein soll, als die Fassung des großen Spiegels, damit man letzteren bequem in das Rohr montieren kann. Bei Nichtgebrauch des Instrumentes empfiehlt es sich, den Spiegel mit einer Lage reiner Watte zuzudecken und außerdem zum Schutze das Rohr oben mit einem Blechdeckel zu schließen.

An Stelle des Metallrohres kann auch ebensogut ein vier- oder sechseckiges Holzrohr verwendet werden, wie dies aus der Abbildung Fig. 47 ersichtlich ist. Ein solches Holzrohr wird einfach aus vier geraden Brettern zusammengefügt. Die Abbildung stellt eine einfache Montierung eines

10-zölligen Spiegels dar. Der Dreifuß ist aus Gußeisen und ebenso die Gabel, auf welcher das Holzrohr mit zwei Stahlzapfen ruht. Am Ende des Rohres ist ein kurzes Aluminiumrohr eingefügt, welches als sogenannte Taukappe dient.

Eine andere einfache Montierung zeigt uns Fig. 48. Ein Bankbeamter, welcher Mitglied der Astronomischen Gesellschaft „Flammarion" in Luzern ist und in dieser Vereinigung für Freunde der Himmelskunde durch die vom Autor abgehaltenen Vorträge über die Herstellung von Teleskopspiegeln veranlaßt wurde, sich ein Spiegelteleskop zu bauen, hat seinen selbstgeschliffenen Spiegel von 5 Zoll Durchmesser so montiert, wie dies die Photographie zeigt. In einer runden, glatten Metallplatte sind ziemlich am Rande drei Stück 1 *m* lange und oben etwas gebogene dicke Gasrohre eingeschraubt. Die runde Platte besitzt ferner eine zentrale runde Öffnung von ca. 2 *cm* Durchmesser. Eine zweite, gleich große glatte Metallplatte besitzt an der einen Seite einen zentralen runden Zapfen, welcher in die Öffnung der ersten Platte gesteckt wird und sich in dieser leicht drehen läßt. Auf der oberen Platte ist aus starkem Winkeleisen eine Gabel mit einer Schelle angebracht, in welch letzterer das Rohr in der Schwerpunktlage befestigt ist. Die ganze Montierung ist mit wenigen Franken hergestellt, ist jedoch nicht so stabil als die zuerst beschriebene Montierung und eignet sich daher mehr für kleinere Spiegel bis höchstens 5 Zoll Durchmesser.

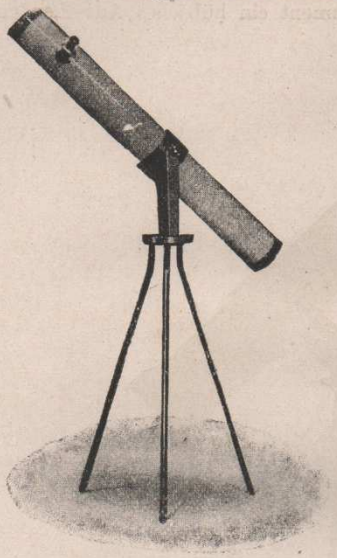


Fig. 48. Billige Newtonsche Amateur Montierung für kleinere Spiegel.

Natürlich läßt sich auch leicht eine parallaktische Montierung herstellen. Es würde jedoch hier zu weit führen, wollte man die verschiedenen Montierungstypen ausführlich beschreiben. Es muß daher dem Amateur überlassen werden, sich nach eigenen Ideen seine Montierung zu vervollkommnen, wobei der Autor allerdings mit Vergnügen auf Anfrage jedem Liebhaber der Himmelskunde mit Rat beistehen wird.

VII. Die Justierung des Teleskopspiegel.

Nicht nur bei selbsterzeugten Spiegeln, sondern auch bei käuflich erworbenen Reflektoren muß der Amateur imstande sein, die beiden Spiegel einer Newtonschen Konstruktion (diese kommt bei Amateuren hauptsächlich in Betracht) richtig einzujustieren, d. h. sie gegenseitig in eine solche Lage zu bringen, daß ein richtiges, optisch unverzerrtes Bild entsteht.

Zu diesem Behufe beginne man mit der Justierung des kleinen, ebenen Fangspiegels, welcher Bewegungen in drei senkrecht aufeinander stehenden Ebenen zulassen muß. Auch bei der primitivsten, selbsthergestellten Montierung läßt sich dies leicht erreichen, wenn die Spiegelfassung selbst nur auf einen einfachen, biegsamen Draht angelötet ist, da ja in diesem Falle der Draht nach jeder Richtung geneigt oder gebogen werden kann. Bessere Fangspiegelmontierungen besitzen für diesen Zweck geeignete Rektifizierschrauben (Druck- und Zugschrauben). Der kleine Spiegel ruht gewöhnlich auf einem Arm, in manchen Instrumenten auch auf drei dünnen, federnden Armen oder dünnen Drähten. Die richtige Stellung des kleinen ebenen Spiegels läßt sich kurz dahin zusammenfassen, daß derselbe unter 45 Grad geneigt, genau in der Mitte des Spiegelrohres und möglichst genau gegenüber der runden Okularöffnung stehen muß. Um dies rasch zu erreichen, decke man auf den Hauptspiegel einen runden, weißen Karton, der mit dem Umfang des parabolischen Spiegels genau übereinstimmt. Auf die Mitte des Kartons klebe man ein kleines, schwarzes, rundes Papier, wie aus Fig. 49 ersichtlich ist. In die Okularöffnung schiebe man einen Okularstutzen ohne Okular, versehe aber den Stutzen vorne mit einer Schlußplatte, die in der Mitte eine möglichst kleine, runde Öffnung besitzt, die als Sehloch an Stelle des Okulars verwendet wird. Man kann hierzu am einfachsten die Schutzkappe eines Okulars abschrauben und gebrauchen. Beim Durchsehen erblickt man nun am kleinen Fangspiegel die weiße Kartonscheibe mit dem schwarzen zentralen Fleck; das ganze Bild wird jedoch wahrscheinlich nicht konzentrisch sein, sondern nach der einen oder andern Richtung verschoben oder verkürzt erscheinen. Man verändere nun die Neigung des kleinen Spiegels mittels der Korrektionsschrauben oder durch Neigung und Biegung des Drahtarmes so lange, bis die Kartonscheibe mit dem schwarzen zentralen Fleck zugleich, mit dem

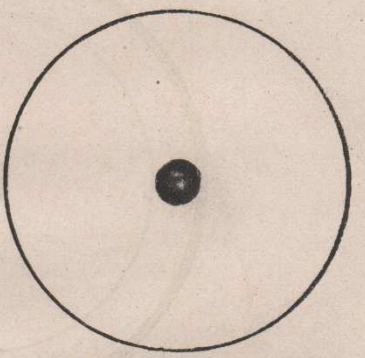


Fig. 49. Weiße Kartonscheibe mit schwarzem Kreis in der Mitte zur Justierung des Fangspiegels.

Rahmenrande des kleinen Spiegels kreisrund und konzentrisch erscheint, wie Fig. 50 zeigt. Hiermit befindet sich der kleine Spiegel ein für allemal in der richtigen Lage.

Nun schreitet man zur Justierung des Hauptspiegels. Derselbe muß für diesen Zweck an seiner Rückseite drei Korrektionsschrauben besitzen, welche eine Neigung des Spiegels nach verschiedenen Richtungen zulassen. Um die notwendige Stellung des Spiegels zu beurteilen, entferne man nunmehr den weißen Karton vollständig aus dem Rohr und blicke durch die Okularstutzenöffnung (ohne Okular wie bisher) in den kleinen Fangspiegel. Man wird da das doppelte Reflexbild des großen und kleinen Spiegels erblicken. Das Bild des kleinen Spiegels repräsentiert sich als ein kleinerer

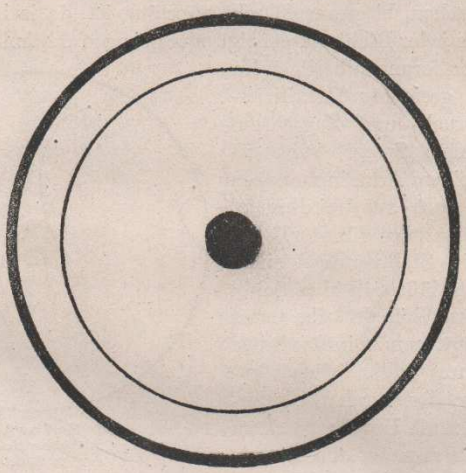


Fig. 50. Anblick der reflektierten Kartonscheibe bei richtiger Justierung des kleinen Fangspiegels.

dunkler, runder Fleck auf heller Spiegelfläche. Gleichzeitig bemerkt man in der Mitte des Spiegels die kleine Augenöffnung, durch welche man durchsieht. Es wird sich nun aber auch hier zeigen, daß dieses dunkle Reflexbild des kleinen Spiegels sich nicht in der Mitte befindet, sondern nach der einen oder andern Richtung verschoben, und nicht rund sondern oval erscheint. Fig. 51 stellt eine solche falsche Stellung dar. Man verändert nun die Neigung des Hauptspiegels durch seine drei Korrektionsschrauben so lange, bis das Reflexbild des kleinen Spiegels genau in der Mitte des Hauptspiegels und vollkommen rund erscheint, wie aus Fig. 52 ersichtlich ist. Bei diesen Justierungsarbeiten ist es vorteilhaft, wenn eine zweite Person an den Schrauben des großen Spiegels dreht, während die andere Person am Okularstutzen beobachtet. Den Beweis, ob die Spiegel richtig justiert sind, erhält man nunmehr durch Einstellung des Spiegelteleskops

auf den Polarstern. Bei korrekter Spiegellage muß der Stern bei ungefähr 100-maliger Okularvergrößerung als kleine scharfe Scheibe, umgeben von wenigen konzentrischen Beugungsringen erscheinen. Diese Beugungsringe kann man deutlicher machen, wenn man das Okular ein wenig innerhalb oder außerhalb des Brennpunktes verschiebt. Fig. 53a stellt das Brenn-

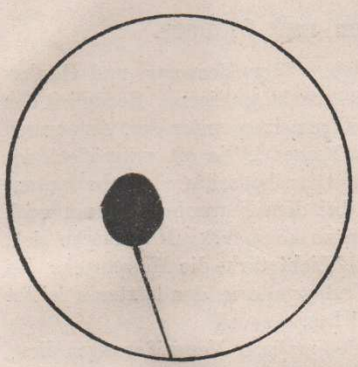


Fig. 51. Reflexbild bei falscher Stellung des parabolischen Spiegels.

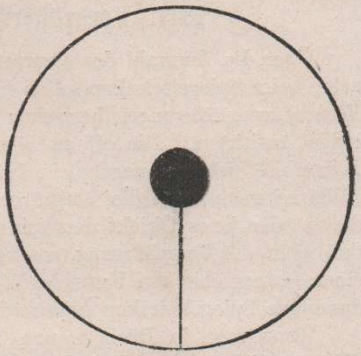


Fig. 52. Reflexbild bei richtiger Stellung des parabolischen Spiegels.

punktbild bei richtiger Einstellung dar; Fig. 53b zeigt dasselbe Bild außerhalb des Brennpunktes, während Fig. 53c die falsche Einstellung darstellt.

Die besser montierten Spiegelteleskope haben selbstverständlich auch einen sogenannten Sucher, das ist ein kleines Linsenfernrohr, welches in der Nähe des Okularstutzens, am besten oberhalb desselben, mit Korrektionsschrauben angebracht ist, um dadurch eine Auffindung der Objekte

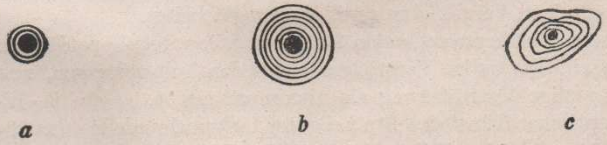


Fig. 53. Überprüfung der Justierung an einem Stern.

zu erleichtern. Dieses Sucherfernrohr besitzt bei kleiner Vergrößerung (ca. 6—10mal) ein großes Gesichtsfeld und trägt im Fokus seines Okulars ein sogenanntes Fadenkreuz. Ein Objekt, das in die Mitte des Fadenkreuzes gebracht wird, soll nun auch gleichzeitig in der Mitte des Hauptrohres erscheinen. Die Übereinstimmung der beiden Gesichtsfelder läßt sich schon am Tage leicht bewerkstelligen, da das Sucherfernrohr für diesen Zweck mit den erforderlichen Korrektionsschrauben versehen ist. Man suche z. B. die Spitze eines Blitzableiters oder eines sonst entfernten Gegenstandes (abends macht man dasselbe mit einem Stern, Planeten oder dem

Monde) in die Mitte des Gesichtsfeldes des Hauptrohres zu bringen und gleichzeitig verändere man die Lage des Suchers so lange, bis das gleiche Objekt am Kreuzungspunkt des Fadens im Sucherfernrohr erscheint. Dann sind beide Fernrohre in genauer Übereinstimmung.

VIII. Vergrößerungen und Okulare.

Über die Auswahl der anzuwendenden Vergrößerungen und Okulararten beim Spiegelteleskop sollen einige Ratschläge dienen. Bezüglich den Fernrohrvergrößerungen herrschen im allgemeinen unter den Amateuren irrige Ansichten. Die oft zu hörende Frage: „Wie oft vergrößert das Fernrohr?“ ist von vornherein falsch. Dieselbe sollte vielmehr lauten: „Wie schwach kann die Vergrößerung bei dem Fernrohr sein, um noch dieses oder jenes Objekt deutlich sehen zu können?“ Man merke sich, daß nicht die Vergrößerung, sondern die Lichtstärke die Hauptsache bei einem astronomischen Fernrohr ist. Und gerade in der letzteren leistet das kurze Spiegelteleskop Außerordentliches.

Wenn man in Büchern von 3—6000-maligen Vergrößerungen liest, die angeblich erfolgreich benutzt wurden, so staunt man als Kenner der einschlägigen Verhältnisse nicht wenig über solche Behauptungen. Demgegenüber sei betont, daß an den meisten Sternwarten mit einer 300-maligen Vergrößerung durchschnittlich gearbeitet wird, und daß man selbst bei großen Instrumenten selten über eine 500-malige Vergrößerung hinausgeht. Es ist bei großen Öffnungen hie und da auch möglich, eine 1000-malige Vergrößerung anzuwenden, jedoch in unseren Klimaten gewiß nur äußerst selten. Aber auch an den Riesenfernrohren der südlicheren Zonen wird, wenigstens auf Planeten und dem Monde, selten mit einer stärkeren als 1000-maligen Vergrößerung mit Erfolg gearbeitet.

Unsere selbstherzustellenden 6-zölligen Spiegelteleskope dürften kaum mehr als eine 30-malige Vergrößerung auf den Zoll vertragen, was somit eine 180-malige Vergrößerung als Maximum ergibt. Gute 8—12-zöllige Spiegel optischer Künstler sollen bei guter Luft noch tadellos eine 50-malige Vergrößerung auf den Zoll zulassen, wodurch folgende Maximalvergrößerungen zustande kommen: 8-zölliger Spiegel 400, 10-zölliger Spiegel 500 und 12-zölliger Spiegel 600. Spiegel und ebenso Objektive, welche eine 100-malige Vergrößerung auf jeden Zoll bei guter Luft gestatten, dürften nur wenige in der Welt existieren.

Die angeführten Maximalvergrößerungen sind auch mehr als hinreichend und können nicht einmal bei jeder Luft und an jedem beliebigen Objekte angewendet werden. Starke Vergrößerungen vertragen der Mond, Saturn und Doppelsterne. Mittlere Vergrößerungen erfordern Jupiter, Venus, Mars und die meisten andern Objekte. Bei Nebel und Sternhaufen wählt man mit Vorteil eine schwache Vergrößerung mit großem Gesichts-

feld. Erfahrung und Übung werden alsbald zum richtigen Lehrmeister in der Auswahl der in jedem Falle geeigneten Vergrößerung.

Es gibt verschiedene Okulartypen, die gebraucht werden können. Sämtliche Okulare zerfallen in zwei Hauptklassen und verschiedene Unterarten. 1. Das Huygenssche oder negative Okular älterer Konstruktion, welches für Spiegelteleskope weniger geeignet ist. Hingegen gibt es davon eine Unterart, das sogenannte Mittenzweysche Okular, welches ein großes Gesichtsfeld besitzt und gut achromatisch ist. Diese Mittenzweyschen Okulare seien für Durchschnittsarbeiten bestens empfohlen. 2. Der Ramsdensche oder positive Okulartypus. Diese Konstruktion wirkt wie eine Lupe und kann im Brennpunkte ein Fadenkreuz oder eine Mikrometervorrichtung angebracht werden. Im allgemeinen sind diese Okulare für Spiegelteleskope weniger anzuraten, da sie nicht streng achromatisch sind. Aber auch von diesen Okularen gibt es achromatische Konstruktionstypen, welche in Verbindung mit einem Spiegelteleskop vorzügliches leisten; allerdings sind diese Okulare wesentlich teurer als die Mittenzweyschen*). Im Durchschnitt dürfte ein Amateur mit drei Okularen auslangen.

1. Ein schwaches Okular mit großem Gesichtsfeld für Nebel und Sternhaufen.
2. Ein mittelstarkes Okular für Planeten- und Mondbeobachtungen.
3. Ein starkes Okular für Doppelsterne.

Die zu wählenden Okularbrennweiten richten sich nach der Brennweite des Hauptspiegels und ebenso die zu erzielenden Vergrößerungen. Eine bekannte Formel lautet $V = \frac{F}{f}$ d. h. die Vergrößerung wird gefunden, wenn man die Brennweite (Fokus) des Hauptspiegels durch die Brennweite des Okulars dividiert. Nehmen wir z. B. an, der Spiegel hätte eine Brennweite von 5 Fuß, so wird ein Okular von 1 Zoll Brennweite eine 60-malige, von ½ Zoll eine 120-malige und von ⅓ Zoll eine 180-malige Vergrößerung ergeben; dies wären auch die geeigneten Vergrößerungen für einen guten 6-zölligen selbsthergestellten Spiegel von 5 Fuß Brennweite.

IX. Gebrauch der Blenden (Diaphragmen).

Den Spiegelfernrohren werden in der Regel zwei bis drei Blenden beigegeben; das sind runde, schwarze Metall- oder Kartonscheiben, die in der Mitte kreisförmig ausgeschnitten sind. Dieselben dienen dazu, um die Öffnung des Fernrohres zu reduzieren und den jeweiligen Luftverhältnissen anzupassen. Man verwende nur bei exquisit guter Luft die volle

*) Verfasser gibt auf Anfrage gerne eingehende Auskunft über alle Okulartypen und eventuell auch Anleitung zur Selbstherstellung derselben.

Öffnung und blende sonst leicht ab. Leider zeigt es sich oft genug, daß man z. B. bei 10 Zoll Öffnung infolge starker Luftunruhe nur schlechte, verschwommene Bilder erhält, während eine Abblendung auf 6 Zoll sofort die Luftunruhe bei der Beobachtung mäßigt und leidlich gute Bilder erzielen läßt.

In der Regel ist aber der Effekt der Blenden bei einem Spiegelteleskop geringer als bei einem gleichgroßen Refraktor. Ein 10-Zöller erhält gewöhnlich eine 9-, 8- und 6-zöllige Blende; ein 8-Zöller eine 6- und 4-zöllige Blende; ein 6-Zöller eine 5-zöllige und ein 5-Zöller gar keine Blende.

X. Über die zweckmäßige Aufstellung eines Spiegelteleskops.

Wie schon in der Einleitung bemerkt, besitzen gerade die Spiegelteleskope gegenüber gleichgroßen Refraktoren den Vorteil, daß sie infolge ihrer Kürze, geringen Höhe und sonstiger Kompendiosität die Unterbringung und Aufstellung in einem speziell erbauten Observatorium nicht benötigen. Während man bei einem Refraktor höchstens bis zu einer Öffnung von 4 Zoll gehen kann, wenn das Instrument noch transportabel sein soll, um eventuell auch noch von einem Fenster, Balkon oder einer Terrasse gebraucht zu werden, so kann man unter den gleichen Verhältnissen azimutal montierte Spiegelteleskope selbst bis zu einer Öffnung von 10 Zoll benützen. Ein azimutal montierter 5-zölliger Refraktor ist zum Hin- und Herstellen schon zu schwer; bei einem azimutal montierten 10-zölligen Reflektor lassen sich hingegen an den Füßen leicht eiserne Rollen anbringen, so daß das Instrument bequem hin- und hergerollt werden kann.

Ist aber ein Reflektor oder auch Refraktor parallaktisch montiert und mit Kreisen versehen und soll diese parallaktische Aufstellung auch ihrem Zweck dienen, dann muß ein für allemal von jedem Verstellen abgesehen und für eine fixe Aufstellung unter geeigneter Bedeckung gesorgt werden*). In einem solchen Falle muß der Amateur entweder am Dachboden oder auf einer erhöhten Terrasse oder noch besser in einem Garten mit freier Aussicht (wenigstens der Süden muß vom Zenit bis zum Horizont möglichst frei sein) einen geeigneten Platz suchen, wo er sein Instrument fix aufstellt und es mit einem leichten, aus Holz bestehenden Oberbau versieht. Der letztere muß aber ein mechanisch drehbares Dach mit entsprechend freizulegender Öffnung besitzen. Leider sind solche Amateurobservatorien am Kontinent noch fast unbekannt, während sie in England vielfach verbreitet sind und dort äußerst praktisch und für billiges Geld selbst von bauunkundigen Leuten hergestellt werden. Zum Nutzen

*) Leichtfaßliche Anleitung zur richtigen Aufstellung parallaktischer Fernrohre enthält das im gleichen Verlage erschienene Werk des Autors „Einführung in die Astronomie und Astrophysik für Amateurastronomen“.

des strebsamen Amateurs will der Verfasser dieses Werk nun damit beschließen, daß er die Beschreibung eines solchen englischen Amateurobservatoriums und eine leichtfaßliche Anleitung zu dessen Herstellung angliedert.

Anhang.

Anleitung zur Herstellung eines billigen und praktischen Garten-Observatoriums.

Ehe wir an die Erbauung eines Amateur-Gartenobservatoriums schreiten, müssen wir vor allem auf unserem Bauplatz eine genaue Nord-Süd-Linie (Meridianlinie) bestimmen und dieselbe sodann deutlich auf dem Erdboden mit Kalk bezeichnen. Nunmehr kann der Grundriß zu unserem Gebäude am Boden errichtet werden.

Es hängt von der Größe des Instrumentes und auch von dem verfügbaren Platze ab, welchen Durchmesser wir unserem Observatorium geben. Nachdem wir uns bezüglich der Größe geeinigt haben, ziehen wir am Boden abermals mit Kalk einen Kreis, dessen Durchmesser mit der beabsichtigten Observatoriumgröße identisch ist, also z. B. einen Durchmesser von 10 engl. Fuß besitzt.

Der Unterbau des Observatoriums besteht aus zehn Wänden, welche von zehn Pfosten festgehalten werden, und müssen wir an unserem Kreise diejenigen Stellen bestimmen, an denen die einzelnen Pfosten zu stehen kommen. Zu diesem Behufe multiplizieren wir den halben Kreisdurchmesser mit 0,618, was als Produkt die Größe der Pfostenabstände voneinander ergibt. Wenn wir bei unserem 10-füßigen Observatorium diese Rechnung ausführen, so finden wir, daß die jeweiligen Pfostenabstände 37,08 Zoll betragen. Wir nehmen nun einen Stab von der gefundenen Länge und markieren denselben genau in der Mitte. Sodann legen wir die Stabspitzen derartig an den Kreis, daß die Stabmitte durch unsere bezeichnete Meridianlinie an der Südseite geschnitten wird. An den Stellen, wo die beiden Stabspitzen den Kreis berühren, treiben wir kleine Holzkeile in den Boden. Diese beiden Keile bezeichnen uns die Plätze, an denen die beiden Türpfosten zu stehen kommen. An einem dieser Holzkeile legen wir die eine Stabspitze in der Weise an, daß die andere Stabspitze die Kreislinie ebenfalls wieder trifft, und treiben auch an dieser Stelle einen Keil in den Boden. Auf diese Art gehen wir mit unserem Stab den ganzen Kreis entlang, wobei mit weiteren Keilen die Stellen aller Pfosten markiert werden. Bei der letzten Messung soll natürlich die Stabspitze genau den Platz treffen, an welchem wir bereits einen Keil für den Türpfosten eingetrieben hatten. Sofern dies nicht der Fall ist,

müssen wir die sich ergebende Differenz gleichmäßig auf alle Keilabstände verteilen.

Die Pfosten bestehen aus Eichenholz und können nach Belieben rund oder viereckig gewählt werden, doch sollen alle von gleicher Dimension sein und einen Durchmesser von etwa 4 Zoll besitzen; ihre Länge hängt von der Höhe unserer Fernrohrmontierung ab. Wir nehmen an, daß die Pfosten 6 engl. Fuß aus dem Erdboden herausragen sollen, in welchem Falle dieselben eine Länge von 8 Fuß besitzen müssen, da die Pfosten 2 Fuß tief in den Erdboden eingelassen werden. Ehe letzteres geschieht, sind die Pfosten an einem Ende 2 Fuß lang zu verkohlen und gut einzuteeren, um dieselben im Erdboden gegen Fäulnis möglichst zu schützen. Nun werden an der Außenseite der Keile Gruben für die Pfosten gegraben und in diese die letzteren genau senkrecht gebracht, wobei mit Vorteil ein Senkblei (Schnur mit Gewicht) verwendet wird. Da die oberen Enden sämtlicher Pfosten genau in einer horizontalen Ebene liegen müssen, so lassen wir im Mittelpunkte unseres Kreises provisorisch ebenfalls einen Pfosten ein, der oben mit einem drehbaren, genau horizontalen Arm versehen ist. Den letzteren drehen wir nun rund, so daß er dabei auf die Enden der Pfosten kommt, wodurch wir mit Leichtigkeit ersehen, ob der eine oder andere Pfosten vielleicht noch tiefer in den Boden getrieben werden muß.

Nachdem die Pfosten gleich hoch errichtet sind, bringen wir auf ihren oberen Enden einen Holzring in der Weise an, daß wir Holzplanken von 1 Zoll Dicke und 6 Zoll Breite auf die Pfosten nageln; das eine Ende der Planke ruht auf einem Pfosten bis zu dessen Mitte und das andere Plankenende in gleicher Weise am Nachbarpfosten. Wo die jeweiligen Planken in der Pfostenmitte zusammentreffen, beschneiden wir die ersteren zum richtigen Winkel, so daß die Enden genau aneinander passen und sämtliche Planken zu einem Ringe vereinigt sind, auf welchem das Dach rollt.

Die Wände unseres Observatoriums bestehen aus dachziegelartig aneinander genagelten dünnen Holzbrettern. Dieselben werden jeweils von innen zwischen zwei Pfosten angebracht, indem man oben beginnt und der Reihenfolge nach bis zum Boden fortfährt.

Nun schreiten wir zur Ausführung des Fußbodens. In der Mitte des Observatoriums graben wir nach Entfernung des provisorisch aufgestellten Pfostens eine Grube von der Form und Größe der Grundplatte unseres Fernrohres. Sodann füllen wir diese Grube wieder mit Kies und Mörtel an und bringen darüber einen flachen Stein, dessen obere Fläche genau horizontal liegen soll und 1 Fuß vom ursprünglichen Erdbodenniveau erhöht ist. Auf diesen Stein kommt nach Fertigstellung des ganzen Observatoriums die Grundplatte unseres Teleskops.

Jetzt legen wir 6 Zoll über dem Erdboden einen Holzboden in der Weise, daß wir zwischen den verschiedenen Pfosten kleine Holzstümpfe

in die Erde treiben, auf welche Fußbodendielen genagelt werden, die 5 Zoll breit und 2 Zoll dick sind. Beim Anbringen der Dielen ist speziell darauf zu achten, daß dieselben den zentralen Stein nirgends berühren, weshalb man beim Legen der Mitteldielen in der Nähe des Steines ebenfalls Holzstümpfe in den Erdboden einläßt, auf welchen die Mitteldielen gestützt werden. Wir erreichen hierdurch den großen Vorteil, daß beim Gehen des Beobachters das Instrument absolut nicht erschüttert wird.

Zwischen den beiden ersten Pfosten, welche wir bereits als Türpfosten bezeichnet hatten, nageln wir keine Bretter, sondern bringen eine sperrbare, nach außen zu öffnende Holztüre an. Man kann auch nach Belieben an einigen Wänden kleine Fenster anbringen.

Hiermit hätten wir den Unterbau unseres Observatoriums vollendet und schreiten nun zur Ausführung des drehbaren Daches. Dasselbe hat eine konische Form, besteht aus einem Holzgerippe, welches mit wasserdichtem Segeltuch überzogen ist; an der einen Seite befindet sich eine über den Zenit hinüberragende Spaltöffnung (Dachklappen), die sich nach außen wie ein Fenster öffnen läßt.

Zuerst wird ein Holzring gemacht, der im Durchmesser etwas größer als der Ring auf den Pfosten ist. Zu diesem Zwecke nimmt man aus trockenem Holz 6 Zoll breite, gleich lange Segmente eines Kreises und zwar so viele Stücke, daß man damit genau zwei Kreisringe des erforderlichen Durchmessers machen kann. Auf ganz glatter Unterlage werden sodann diese Segmente in zwei Schichten zusammengefügt und genagelt, wobei besonders darauf zu achten ist, daß dieser Holzring genau rund und ganz horizontal wird. Auf diesen Ring wird nun das Dachgerippe montiert, wozu wir in unserem Falle 20 Dachsparren aus Holz benötigen, welche 7—9 Fuß lang sind. 18 Dachsparren werden 2×1 Zoll dick gewählt, während 2 Stück, welche 9 Fuß lang sind, 2×2 Zoll dick sein sollen, da an letzteren die beiden Dachklappen befestigt werden. Die Dachspitze (First) besteht aus einem Dachsparren, welcher an seinen beiden Enden zwei halbe Holzzylinder besitzt, in denen die Dachsparren zusammentreffen und daselbst gut befestigt werden. Die andern Enden der Dachsparren werden in gleichen Abständen voneinander mit dem Holzring gut verbunden. Man stellt das Dachgerippe am einfachsten in folgender Weise zusammen: Auf einer provisorischen erhöhten Unterstützung legt man zuerst die Dachspitze (verkürzte Dachsparre mit Holzzylindern) und befestigt rechtwinklig zu dieser in jedem Zylinder eine der beiden dickeren, 9 Fuß langen Dachsparren, deren andere Enden auf dem Holzringe befestigt werden. Der Dachfirst kommt nicht in die erhöhte Mitte des Ringes, sondern 1 Fuß exzentrisch zu liegen. Wie bereits erwähnt, werden an diesen beiden dickeren Dachsparren die zwei Dachklappen angebracht, so daß unser Observatorium eine Spaltöffnung erhält, die 1 Fuß über den Zenit hinausgeht. Nun bringt man gerade gegenüber diesen Dachsparren

zwei kürzere in gleicher Weise am Ringe und in den Holzzylindern an und fährt dann nach links und rechts mit der Fixierung der weiteren Dachsparren in gleichen Abständen fort; auch von der Mitte des Dachfirstes wird an der kürzeren Seite eine Dachsparre zum Ring geleitet. Die Anbringung der Dachsparren kann mit Nägeln oder Schrauben geschehen; der Dauerhaftigkeit halber empfiehlt es sich jedoch, die Verbindungen mit Winkeleisen vorzunehmen. Die Dachsparren müssen jeweils nach Erfordernis verkürzt werden, so daß dieselben nicht über den Ring hinausragen. Die beiden dickeren Dachsparren sollen eine viereckige Spaltöffnung ergeben, die 3 Fuß breit und ungefähr $8^1/_2$ Fuß lang ist.

Um die Art der Klapptüren zu verstehen, stelle man sich ein gewöhnliches Fenster mit zwei Flügeln vor, die sich nach außen öffnen lassen und dann dadurch fixiert werden, daß die unten an jedem Flügel angebrachten Eisenstangen in Ringschrauben gesteckt werden. Nach gleichem Prinzipe fertigen wir uns aus Holzleisten zwei gleichgroße viereckige Holzrahmen an und befestigen dieselben mit je drei Scharnieren an die dicken Dachsparren. Um diesen Holzrahmen größere Festigkeit zu verleihen, bringt man noch in jedem zwei Querleisten an. Es ist darauf zu achten, daß die beiden Dachklappenrahmen genau in die Öffnung der Dachsparren passen, so daß beim Schließen derselben sowohl in der Mitte, wo sie zusammentreffen, als auch an denjenigen Stellen, wo sie die Dachsparren, Ring und Dachspitze berühren, kein zu großer Spielraum entsteht. Den Scharnieren entlang nagelt man einen Streifen Segeltuch und überzieht dann von außen die beiden Holzrahmen mit Segeltuch; an der Stelle, wo sich die Dachklappen treffen, wird auf einer Klappe von außen eine dünne, 4 Zoll breite Holzlatte geschraubt, worüber ebenfalls nochmals Segeltuch genagelt wird, um wasserdicht zu sein. Am oberen Rande erhalten die Klappen eine Zinkborde, welche so gebogen ist, daß beim Schließen ein gleicher Zinkstreifen auf der andern Seite der Dachspitze übergreift, damit von oben keine Feuchtigkeit eindringen kann. Diese Metallborde wird auf das Segeltuch genagelt.

Die Zwischenräume der verschiedenen Dachsparren werden nun von außen ebenfalls mit wasserdichtem Segeltuch bespannt, indem man die richtig zugeschnittenen Stücke gut annagelt. Wo das Segeltuch auf den Dachsparren aufliegt, schraubt man noch dünne, 1 Zoll breite Holzleisten darüber. Man muß auch darauf sehen, daß das Segeltuch an den unteren Seiten gut über den Ringrand hinunterreicht. Von innen bringen wir an jeder Dachklappe eine dünnere, runde Eisenstange an, so daß dieselben bei der Beobachtung in kleine Ringschrauben eingehakt werden. Um anderseits bei Nichtgebrauch des Observatoriums die Dachklappen gut schließen zu können, kann man von innen einen eisernen Querstab anbringen, welcher in Eisenhaken gesteckt wird, die sich an den beiden dicken Dachsparren und an den Dachklappen befinden.

Somit wäre auch unser Dach vollendet, und müssen wir dasselbe auf dem Unterbau drehbar anbringen. Zu diesem Behufe kauft man in einer Eisenhandlung 20 Stück sogenannte Schieberollen, je größer desto besser, und befestigt davon 10 Stück auf dem Holzringe des Unterbaues in der Weise, daß man über jeden Pfosten eine Rolle einläßt, die genau horizontal liegt und deren Achse radial zum Kreisringe steht. Diese 10 Rollen tragen das Dach und werden deshalb als sogenannte Tragrollen bezeichnet. Die für die Befestigung erforderlichen Vertiefungen müssen mit einem Stemmeisen schön gleichmäßig ausgemeiselt werden. Die andern 10 Rollen werden in Holzleisten mit senkrecht stehender Achse eingelassen und die Holzleisten sodann von innen an jedem Pfosten oben derart angeschraubt, daß die Rollen senkrecht nach außen zu stehen kommen. Diese Rollen verhindern, daß das Dach seitlich herausrollen kann und stellen die sogenannten Leitrollen dar. Der Dachring kann an den beiden Flächen, mit denen er in Berührung der Rollen kommt, mit Zinkblech glatt bekleidet werden, doch ist dies nicht absolut erforderlich. Nachdem alle Rollen gut geölt sind, hebt man das Dach auf den Unterbau und dasselbe läßt sich leicht nach links oder rechts rollen. Am oberen Ring bringen wir innen eine senkrecht herunterragende runde Holzstange von 1 Meter Länge an, welche eine praktische Handhabe für die Dachdrehung ergibt. Der Dachring erhält außen eine Zinkborde, um die Öffnung zwischen den beiden Ringen gegen Nässe zu schützen. Zur Verschönerung kann man nach Belieben am Dache zwei Spitzen anbringen.

Obzwar ein starker Sturm das Dach kaum abheben wird, so empfiehlt es sich doch, vorsichtshalber innen an vier Dachsparren in der Ringnähe kreuzweise Ringschrauben mit herunterhängenden kurzen Schlingen anzubringen. Hierzu befestigt man korrespondierende Haken an vier Pfosten ebenfalls in der Ringnähe. Bei Nichtgebrauch des Observatoriums hängt man die Stricke einfach in die Haken ein, wodurch ein Abheben des Daches völlig ausgeschlossen ist.

Zum Schluß streicht man alle äußeren Holzteile mit brauner Ölfarbe dreimal an. Für die inneren Teile dürfte ein ein- bis zweimaliger Anstrich genügen. Alle Zinkteile des Observatoriums werden ebenso grün gestrichen. Gewöhnliches Segeltuch kann man für unsere Zwecke wasserdicht präparieren, indem man es gut mit gekochtem Leinöl sättigt und sodann außen mit hellgrauer Ölfarbe dreimal bestreicht. Wir erhalten auf diese Weise ein hübsches und sehr praktisches Beobachtungshaus, das so manchem kostbaren Observatorium aus Steinmauern und eiserner Kuppel für Beobachtungszwecke vorzuziehen ist. Der Autor kennt verschiedene englische Amateurastronomen, welche sich solche Gartenobservatorien allein verfertigt haben. Aber auch die Ausführung durch einen Schreiner ist nach der hier gegebenen Anleitung leicht möglich, und wird in einem solchen Falle das komplette Observatorium höchstens auf 400 Mark zu stehen kommen.

Es sei noch speziell darauf aufmerksam gemacht, daß diesem Observatorium sehr leicht ein Meridianraum zur Zeitbestimmung angegliedert werden kann. In diesem Falle läßt man an der West- oder Ostseite die beiden mittleren Wände frei und baut in der Breite dieser beiden Wände einen quadratischen Raum bei, indem man zwei weitere Pfosten in den Erdboden einläßt und dieselben mittels Bretter in gewohnter Weise miteinander verbindet. In der Mitte des Raumes wird an der Südseite ein möglichst hoch hinaufragendes Fenster angebracht. Die Pfosten werden oben mit Holzbrettern dachartig flach bedeckt und darauf nagelt man ein Stück wasserdichtes Segeltuch. Gegenüber dem Fenster stellen wir unser kleines Passage-Instrument auf und können so bequem unsere Beobachtungen durchführen. Um ein solches kleines Passage-Instrument möglichst stabil aufzustellen, kaufe man in einer großen Eisenhandlung ein sogenanntes Wasserrohr aus Gußeisen, welches ungefähr 8 Mark kostet. Dasselbe hat einen Durchmesser von 16 *cm* und ist 1,60 *m* lang. An dem einen Ende befindet sich ein erweiterter Ansatz. Dieses Rohr läßt man je nach Bedürfnis 50—70 *cm* tief in den Erdboden ein, so daß die breitere Seite nach oben kommt. Auf diese läßt man eine dicke Gußplatte befestigen und sieht darauf, daß diese Fläche ganz horizontal liegt. Nun wird das Passage-Instrument darauf fix montiert. Man hat auf diese Weise eine billige und äußerst stabile Aufstellung. Das Rohr streicht man mit weißer Emailfarbe und die Platte und den erweiterten Rohrteil mit schwarzem Emaillack, so daß die Säule sehr hübsch aussieht.

Die beigefügten Abbildungen über den Observatoriumbau werden zum Verständnis der Beschreibung beitragen.

Indem der Verfasser den Lesern recht viel Erfolg wünscht, hofft er mit diesem Werke vielen Liebhabern der Himmelskunde ein neues Arbeitsgebiet eröffnet und viel Anregung geboten zu haben.

Druck von Oskar Leiner in Leipzig. 39188