Die Auswahl der Brillen geschieht mittelst geordneter Sammlungen von Brillengläsern, sogenannter Brillenkästen. In den älteren derselben entspricht die Nummer des Brillenglases entweder der empirisch ermittelten Brennweite in Zollen, oder bei biconvexen auf beiden Seiten auf derselben Schale geschliffenen Gläsern dem Radius der Oberfläche in Zollen. Beides kommt auf dasselbe hinaus unter der Voraussetzung, dass der Brechungsindex des Glases gleich 1·5 ist, denn wir haben bei Vernachlässigung der Dicke der Gläser $\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$, worin $F$ die Brennweite ist, $n$ der Brechungsindex, $r_1$ der Radius der vorderen und $r_2$ der Radius der hinteren Oberfläche des Glases, also $\frac{1}{F} = \left(\frac{3}{2} - 1\right)\frac{2}{r}$, woraus $F = r$ folgt. Für die hellsten Strahlen des Spectrums ist aber $n$ thatsächlich etwas grösser, etwa 1·528 bis 1·530. In neuerer Zeit hat man Brillenkästen, in denen die Nummer des Glases die Anzahl sogenannter Dioptrien anzeigt, welche ihm zukommt. Eine Linse von 1 Meter Brennweite hat eine Dioptrie, eine Linse von $^1/_2$ Meter Brennweite zwei Dioptrien, eine Linse von $\frac{1}{n}$ Meter Brennweite $n$ Dioptrien. Will man die alte Bezeichnung in die neue überführen, so dividirt man 40 durch die alte Brillenkastennummer des Glases und erhält dann die Anzahl von Dioptrien, welche ihr zukommen. Z. B. das Glas ist alt mit 8 bezeichnet, es hat 5 Dioptrien.

## Vergrösserungsmittel für die Nähe und Ferne.

### Lupe, Dissectionsbrille und einfaches Mikroskop.

Wir haben gesehen, wie man den Refractionsanomalien des Auges nachhelfen, wie man sie compensiren kann. Nun gibt es aber für jedes Auge, auch das kurzsichtige, eine gewisse Nähe, in welcher es überhaupt nicht mehr deutlich sehen kann, und doch würden wir, wenn wir den Gegenstand noch näher bringen könnten, von ihm ein noch grösseres Netzhautbild haben. Wir würden ihn vergrössert sehen und würden Einzelheiten an ihm erkennen, die wir mit freiem Auge nicht mehr unterscheiden. Zu diesem Zwecke legen wir eine Sammellinse vor das Auge und nennen diese eine Lupe. Diese verschafft uns ein grösseres Bild, erstens weil wir den Gegenstand näher vor das Auge bringen können, und zweitens weil die Sammellinse mit unserem Auge ein neues optisches System bildet, in welchem der hintere Knotenpunkt weiter nach vorn liegt, als er früher in unserem Auge lag.

Da sich eine solche Lupe von einem Convexbrillenglase nur durch die kürzere Brennweite unterscheidet, so würden wir auch vor jedes der beiden Augen eine Lupe legen können, wenn wir die M. recti interni stark genug zu contrahiren vermöchten, um damit noch einfach zu sehen. Das gelingt aber nur, wenn wir die Lupen prismatisch machen. Wir schleifen ein Glas, gross genug, um zwei Brillengläser zu geben, auf der einen Seite convex, so dass es eine Brennweite von 6 bis 7 Zoll bekommt, schneiden es in zwei symmetrische Stücke und setzen diese mit der convexen Seite dem Auge zugewendet und mit dem dicken Rande

gegen die Nase gekehrt in ein Brillengestell, dem wir zwei seitliche Schirme geben, um das seitlich einfallende Licht abzuhalten. Eine solche Brille, die sich für anatomische Arbeiten sehr gut eignet, heisst eine Dissectionsbrille.

Wenn die Brennweite der Lupe bis zu einem gewissen Grade verkürzt wird, so wird die sphärische Aberration immer auffälliger und verdirbt das Bild immer mehr. Wir ziehen es für solche Fälle vor, zwei Sammellinsen miteinander zu combiniren, und nennen ein solches Instrument eine Doppellupe, ein Doublet. Wir können auch drei Sammellinsen in solchen Krümmungen und solcher Reihenfolge miteinander verbinden, dass die sphärische Aberration auf ein Minimum reducirt wird, dass eine sogenannte aplanatische Combination entsteht. Da wir jetzt stärkere Vergrösserungen erzielen und das Instrument nicht mehr gut aus freier Hand handhaben können, bringen wir es in ein Stativ, so dass es durch einen Trieb nach aufwärts und abwärts bewegt werden kann; wir verbinden es ferner mit einem Tische und einem Beleuchtungsspiegel und nennen das Ganze ein einfaches Mikroskop. Ein einfaches Mikroskop unterscheidet sich im Wesentlichen von einer Lupe nur durch die kürzere Brennweite und durch die Art der Montirung, dadurch, dass es mit einem eigenen Arbeitstischchen und einem Beleuchtungsspiegel versehen ist.

## Das zusammengesetzte Mikroskop und das Keppler'sche oder astronomische Fernrohr.

Anders verhält es sich mit dem zusammengesetzten Mikroskope, dessen wir uns bei unseren Arbeiten so vielfältig bedienen. Bei diesem wird erst durch das Objectiv ein umgekehrtes Luftbild entworfen, und dieses sehen wir mit der Ocularlinse an. Im Principe ist also das zusammengesetzte Mikroskop ebenso gebaut wie ein astronomisches oder Keppler'sches Fernrohr. Beim astronomischen Fernrohre in einfachster Form hat man eine Objectivlinse, die ein umgekehrtes Bild liefert, und eine Ocularlinse, durch welche man dieses Bild vergrössert und ansieht. Da ich aber mit dem Mikroskope sehr nahe Gegenstände betrachte, von denen ich ein umgekehrtes Luftbild haben will, das grösser ist als das Object selbst, muss ich mit meinem Objecte sehr nahe an das Objectiv heranrücken, und dieses muss eine sehr kurze Brennweite haben. Ich reiche deshalb mit einer Objectivlinse nicht aus, ich muss eine Reihe von Objectivlinsen hintereinander aufstellen, und so entsteht dann das gewöhnliche, aus drei Linsen bestehende Objectiv des Mikroskops. Ich sage, das Objectiv besteht gewöhnlich aus drei Linsen. Dies ist aber eigentlich nicht richtig. Ich hätte sagen sollen aus vier Linsen: denn es ist eine Linse, die zum Objectiv gehört, weil sie zwischen Objectiv und umgekehrtem Luftbild liegt, vom Objectiv weggenommen und mit dem Ocular vereinigt worden. Es ist nämlich zweckmässiger, durch die Objectivlinsen des Mikroskops die Strahlen noch nicht zur Vereinigung kommen zu lassen, sondern sie nur im Rohre des Mikroskops hinaufzuleiten und noch eine vierte Sammellinse im Oculare, das heisst durch die Messingfassung mit der eigentlichen Ocularlinse verbunden, anzubringen, die man mit dem Namen des Collectivs bezeichnet, und die erst die Vereinigung der Strahlen zu einem umgekehrten Luftbilde zu Stande bringt. Dieses umgekehrte

Bild, welches grösser ist als das Object, weil es weiter vom hinteren Knotenpunkte entfernt ist als das Object vom vorderen Knotenpunkte, wird noch einmal durch eine Lupe, durch die eigentliche Ocularlinse vergrössert und so angesehen. Das zusammengesetzte Mikroskop ist also ein astronomisches Fernrohr von sehr kurzer Brennweite, und das astronomische Fernrohr ist ein Mikroskop, dessen Objectiv eine sehr grosse Brennweite hat.

Die weiteren Verbesserungen und Vervollkommnungen des Mikroskops haben sich einerseits darauf bezogen, dass man die Objectivlinsen des Mikroskops achromatisch gemacht hat, indem man Flintglaslinsen mit Crownglaslinsen combinirte, und andererseits bestanden sie darin, dass man die sogenannten aplanatischen Combinationen einführte und verbesserte, das heisst, dass man Linsencombinationen zusammenstellte, bei welchen durch die Art der Zusammenordnung die sphärische Aberration, die Abweichung wegen der Kugelgestalt der Oberflächen, auf ein möglichst kleines Mass zurückgeführt wurde.

In neuerer Zeit ist noch ein wesentlicher Fortschritt gemacht worden. Amici liess die unterste Objectivlinse in Flüssigkeit eintauchen, sie nicht mehr durch Luft, sondern durch eine tropfbare Flüssigkeit von dem Objecte getrennt sein. Es werden hiedurch wesentliche Vortheile erzielt, indem zwei sehr starke Reflexionen, die gerade bei starken Vergrösserungen nachtheilig wirken, die Reflexion der Strahlen beim Austritte aus dem Deckglase und beim Eintritte in die erste Objectivlinse, in viel schwächere Reflexionen verwandelt werden, da statt der Luft ein stärker brechendes Medium zwischen Deckglas und Objectivlinse eingeschoben wurde, was natürlich auch einen entsprechenden Einfluss auf die beiden gleichzeitig mit den Reflexionen stattfindenden Brechungen ausübte. Amici wendete zu diesem Zwecke Oel und Wasser an, Oel, weil es einen höheren Brechungsindex hat, Wasser, weil es sich bequemer anwenden lässt. Der alltägliche Usus hat sich für Wasser entschieden, weil das Oel das Arbeiten sehr erschwert. Wir bringen bei den starken Vergrösserungen, bei unseren sogenannten Immersionssystemen oder Tauchlinsen, die namentlich durch die Anstrengungen von Hartnak zu immer grösserer und grösserer Vollkommenheit gebracht worden sind, einen Wassertropfen unten auf die Objectivlinse und schrauben sie dann herunter, so dass dieser Wassertropfen auch das Deckglas benetzt. Auf diese Weise sind Vergrösserungen erzielt worden von einer Vortrefflichkeit und Lichtstärke, wie sie früher niemals erreicht wurden.

## Galilei'sches Fernrohr und Chevalier's Lupe.

Ausser dem astronomischen Fernrohre gibt es noch ein anderes, das sogenannte Galilei'sche Fernrohr. Galilei ist aber nicht der eigentliche Erfinder desselben. Der eigentliche Erfinder ist ein holländischer Brillenmacher, Hans Lippershey. Sehr bald nach ihm erfand es selbstständig ein zweiter Holländer, Metius; Galilei hörte nun von den Wirkungen dieser Fernröhre, ohne ihre Construction zu kennen, und fand dann diese selbstständig.

Wir haben schon früher gesehen, dass wir uns durch ein sehr dickes convex-concaves Brillenglas deutliche Bilder verschaffen können, indem wir

die Strahlen zusammenbrechen und dann durch die hintere Oberfläche wieder divergirend herausgehen lassen, so dass sie jetzt auf der Netzhaut zur Vereinigung kommen. Wir haben das damals nur für Kurzsichtige angewendet: dasselbe Princip lässt sich aber für jedes Auge anwenden. Hierauf beruht ein kleines Instrument, welches man mit dem Namen des Steinheil'schen Conus zu bezeichnen pflegt. Es entsteht, wenn man sich eine jener dicken convex-concaven Glaslinsen in der Axe noch mehr verlängert denkt, es sei ein Glaskegel, der vorn eine convexe und hinten eine concave Fläche hat. Die Strahlen werden in demselben zusammengebrochen und werden durch die hintere Fläche so divergirend gemacht, dass sie in das Auge hineingelangen, wie Strahlen, die aus der Entfernung des deutlichen Sehens zum Auge gelangt sind. Dies ist nun auch das Princip des Galilei'schen Fernrohres, nur mit dem Unterschiede, dass der Conus mit seinen beiden Flächen in zwei Gläser zerlegt ist, in eine Sammellinse, durch welche die Strahlen, die von dem entfernten Gegenstande kommen, convergirend gemacht werden, und eine Zerstreuungslinse, durch welche sie so weit divergirend gemacht werden, dass sie in der Ebene der Netzhaut zur Vereinigung kommen. Man kann bekanntlich die Divergenz der hier austretenden Strahlen und somit die Einstellung eines solchen Fernrohres für die Nähe und für die Ferne damit reguliren, dass man die Zerstreuungslinse von der Sammellinse entfernt oder derselben nähert. Da die beiden Linsen mit dem optischen Apparate des Auges ein System bilden, in welchem der hintere Knotenpunkt viel weiter nach vorn liegt als im Auge allein, so gibt eine solche Combination ein vergrössertes Bild. Während das Galilei'sche Fernrohr für astronomische Zwecke nicht mehr in Gebrauch ist, dient es uns noch allgemein unter der Form des Operngückers.

Es liegt nun nicht im Principe des Galilei'schen Fernrohres, dass man es nur für grosse Entfernungen anwenden könnte. Wenn man die Brennweite des Objectivs verkürzt, kann man es auch für geringere Entfernungen benützen. Die Brennweite wird dadurch verkürzt, dass man statt einer Sammellinse zwei nimmt. Nun werden Strahlen, die von verhältnissmässig nahe liegenden Gegenständen kommen, durch diese beiden Linsen so weit convergirend gemacht, dass sie, durch die Zerstreuungslinse wieder divergirend gemacht, so austreten, dass sie sich auf der Netzhaut vereinigen. Dann erhält man wieder ein vergrössertes Bild. Diese Lupe, die nach dem Principe des Galilei'schen Fernrohres construirt ist, hat vor der gewöhnlichen einen wesentlichen Vortheil, den, dass sie einen viel grösseren Objectabstand gibt. Bei der gewöhnlichen Lupe muss man sich dem Gegenstande sehr nähern, bei dieser Lupe ist das nicht nöthig. Eine solche Lupe dient also erstens zu anatomischen Präparationen, um Objecte zu untersuchen, die sich unter Wasser befinden, zur Untersuchung von Hautkranken, zur Untersuchung der Iris und dergleichen mehr, kurz überall, wo man sich nicht so unmittelbar den Gegenständen nähern kann oder will, wie dies bei der gewöhnlichen Lupe nothwendig ist. Sie wurde von Chevalier erfunden, kam aber wieder in Vergessenheit, so dass erst, als sie von Neuem erfunden und in Gebrauch gekommen war, Harting in seinem Werke über das Mikroskop nachwies, dass sie Chevalier bereits bekannt gewesen.

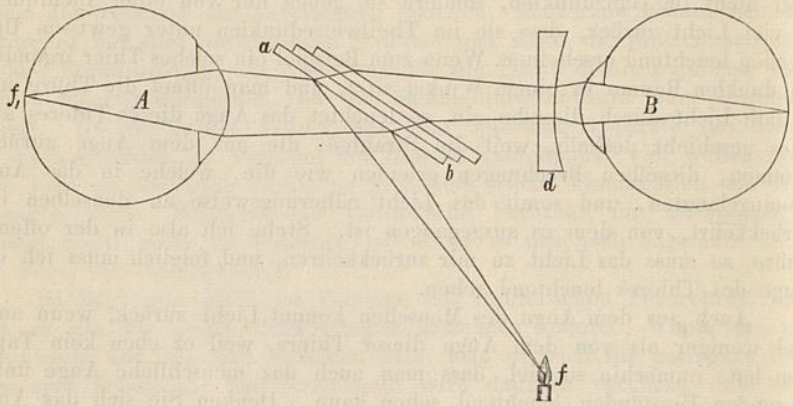
## Die Augenspiegel.

Wir haben also gesehen, dass man sich deutliche Netzhautbilder verschaffen kann, erstens von Gegenständen, die zu klein sind, als dass man sie deutlich sehen könnte, und zweitens von Gegenständen, die zu entfernt sind, um ein hinreichend grosses Netzhautbild zu geben. Wir können uns jetzt noch die Frage vorlegen: Wie können wir in das Auge eines Andern hineinsehen? Wenn wir das Auge eines Andern ansehen, so sehen wir bekanntlich durch die Pupille einen schwarzen Grund, aber wir sehen nichts auf diesem Grunde. Das hat zweierlei Ursachen. Erstens sehen wir nichts auf diesem Grunde, weil die Netzhaut mit ihren Gefässen und die Chorioidea, die wir sehen sollten, nicht in der Entfernung des deutlichen Sehens sind, und zweitens sehen wir nichts, weil der Augengrund nicht hinreichend beleuchtet ist. Die Beleuchtung können wir uns verschaffen. Es wird keineswegs alles Licht im Auge absorbirt; es ist bekannt, dass die Augen derjenigen Thiere, die ein Tapetum haben, wie die Hunde und die Katzen, angeblich im Dunklen leuchten. Sie leuchten aber nicht im Ganzdunklen, sondern sie geben nur von einer Lichtquelle so viel Licht zurück, dass sie im Theilweisedunklen unter gewissen Umständen leuchtend erscheinen. Wenn zum Beispiel ein solches Thier irgendwo im dunklen Raume in einem Winkel sitzt, und man öffnet die Thüre und es fällt Licht durch dieselbe ein, so leuchtet das Auge dieses Thieres auf. Dies geschieht deshalb, weil die Strahlen, die aus dem Auge zurückkommen, dieselben Brechungen erleiden wie die, welche in das Auge hineingelangten, und somit das Licht näherungsweise an denselben Ort zurückkehrt, von dem es ausgegangen ist. Stehe ich also in der offenen Thüre, so muss das Licht zu mir zurückkehren, und folglich muss ich das Auge des Thieres leuchtend sehen.

Auch aus dem Auge des Menschen kommt Licht zurück, wenn auch viel weniger als von dem Auge dieser Thiere, weil er eben kein Tapetum hat, immerhin so viel, dass man auch das menschliche Auge unter passenden Umständen leuchtend sehen kann. Denken Sie sich das Auge eines Individuums und vor demselben eine Lichtflamme, so wird die Lichtflamme ein Bild auf die Netzhaut werfen, und die Strahlen, die zurückkommen, werden im Allgemeinen den Weg der eingetretenen Strahlen gehen. Wenn sich nun dem zu beobachtenden Auge gegenüber näherungsweise in einer Linie mit der Lichtflamme ein anderes befindet, und man verdeckt diesem die Lichtflamme, so wird ein Theil des Lichtes, das nicht genau denselben Weg zurückgelegt hat, in das beobachtende Auge gelangen, und dieses wird dann das beobachtete Auge leuchten sehen. Ich kann dies aber auch noch anders bewirken. Ich kann ein Planglas, *a b* Figur 51, schief aufstellen, und zur Seite davon eine Lichtquelle, dann wird das Licht von dem Planglase in das beobachtete Auge *A* reflectirt werden, es wird ein Flammenbild *f*, auf der Netzhaut entstehen; das Licht, das von diesem zurückkommt, geht durch das Planglas hindurch und gelangt zum beobachtenden Auge, das sich hinter dem Planglase befindet. Ich kann auch mehrere Platten hintereinander legen, damit die Reflexion stärker wird und eine grössere Menge Lichtes in das beobachtete und somit auch aus demselben in das beobachtende Auge *B* gelangt. Dies war die Beleuchtung, welche Helmholtz, der Erfinder des Augenspiegels,

angewendet hat, und welche in der beistehenden Figur dargestellt ist. Nachdem er so das Innere das Auges beleuchtet hatte, handelte es sich darum, wie er sich ein deutliches Bild von den Gegenständen verschaffte, welche nun beleuchtet im Grunde des Auges zu sehen waren. Denken Sie sich, das beobachtete und das beobachtende Auge seien beide für die unendliche Ferne eingestellt, so sehen Sie leicht ein, dass die Strahlen, die aus dem ersten Auge parallel herauskommen, auf der Netzhaut des andern zur Vereinigung kommen. Zwei Normalaugen, die beide für die unendliche Ferne eingestellt sind, können also das eine auf dem Grunde des andern deutlich sehen. Nun stellt sich aber ein Normalauge dem Beobachter gegenüber selten für die unendliche Ferne, sondern meistens auf eine endliche Ferne ein, so dass also die Strahlen aus Normalaugen und noch mehr aus kurzsichtigen Augen convergirend herauskommen. Ich kann also mit meinem blossen Auge, unter der Voraussetzung, dass es ein Normalauge sei, nur im Grunde des Auges eines Hypermetropen, der

Fig. 51.

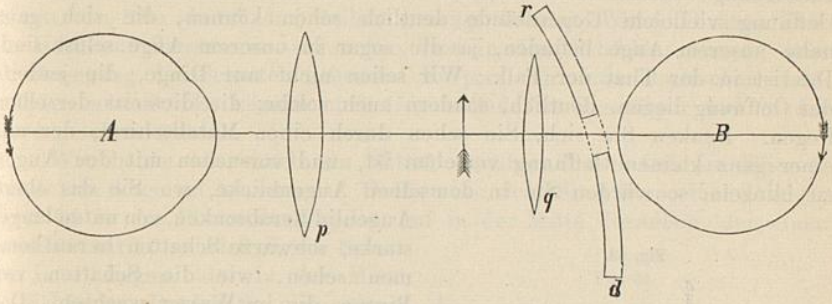



überhaupt auf keine endliche Ferne accommodirt, deutlich sehen. — Sobald das beobachtete Auge anfängt, für eine endliche Entfernung zu accommodiren, kommen die Strahlen convergirend heraus: ich muss also eine Correctionslinse, eine Zerstreuungslinse *d* Figur 51 zwischen mein Auge und das beobachtete einschalten. Dergleichen Correctionslinsen sind nun im Helmholtz'schen Augenspiegel in drehbaren Scheiben angebracht, so dass sie einzeln oder zu zweien vor das Auge gelegt werden können. Dieser Augenspiegel ist also nach dem Principe des Galilei'schen Fernrohres construirt. Die Strahlen kommen aus dem Auge convergirend, wie aus dem Objective eines Galilei'schen Fernrohres, sie werden durch eine Zerstreuungslinse so weit divergirend gemacht, dass sie sich auf der Netzhaut des beobachtenden Auges vereinigen.

Als der Helmholtz'sche Augenspiegel bekannt wurde, sagte sich der verstorbene Augenarzt Ruete: Wenn ich nach dem Principe des Galilei-schen Fernrohres auf dem Grunde des Auges deutlich sehen kann, dann muss ich auch nach dem Principe des astronomischen Fernrohres auf dem Grunde des Auges deutlich sehen können, und construirte nach diesem

Principe einen zweiten Augenspiegel. Denken Sie sich, die Strahlen kommen aus dem Auge *A* Figur 52 parallel oder schwach convergirend heraus, und ich bringe vor dasselbe eine Sammellinse *p*, so werden die Strahlen zusammengebrochen werden, und es wird von dem Netzhautbilde ein umgekehrtes Luftbild (siehe den Pfeil) entworfen werden. Dieses sehe ich durch eine Sammellinse *q* an, welche ich als Ocular vor meine Augen lege. Durch Abändern der Entfernung zwischen diesen beiden Sammellinsen oder ihrer Entfernung vom Auge kann ich mir also ähnlich wie beim Einstellen eines astronomischen Fernrohres immer ein deutliches Bild vom Grunde des Auges verschaffen. Es handelt sich jetzt nur darum: wie beleuchte ich? Dazu hat Ruete folgenden Weg eingeschlagen. Er nimmt einen ziemlich grossen Concavspiegel *d r*, der in der Mitte von einem Loche durchbrochen ist, und stellt demselben gegenüber eine Licht-

Fig. 52.



quelle *f* auf. Das Licht wird durch den Concavspiegel in das Auge *A* reflectirt, und durch die Oeffnung, die in der Mitte des Spiegels angebracht ist, kann dasselbe von dem Auge *B* beobachtet werden. Diese beiden Augenspiegel sind die Vorfahren aller Augenspiegel, die seitdem in grosser Anzahl erfunden worden sind. Die Augenspiegel lassen sich nur immer nach einem von den beiden Principien erfinden, die Ausführung aber lässt sich in mannigfacher Weise variiren. Man kann z. B. einen solchen durchbrochenen Spiegel als Mittel zur Beleuchtung nehmen, und kann das beobachtende Auge mit einer Zerstreuungslinse corrigiren, die vor oder hinter dem Loche des Spiegels angebracht ist. Dann hat man das optische Princip vom Helmholtz'schen Spiegel hergenommen, die Beleuchtung aber nach Ruete eingerichtet. Man kann ferner, wie Hasner gethan hat, Zerstreuungslinsen auf der planen oder convexen Seite mit Spiegelfolie belegen und diese in der Mitte wegnehmen, so dass man hier hindurchsehen kann, und somit diese foliirte Linse als Beleuchtungsapparat und zugleich als Correctionslinse verwenden.