



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Handbuch der Physik zur Selbstbelehrung für jedermann

Spiller, Philipp

Berlin, 1866

Zweiter Abschnitt. Vom Lichte.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-73841](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-73841)

stücken verwenden, wie es in der Oper „Acidor“ mit Ambossen geschehen ist, so muß man für jeden zu gebrauchenden Ton eine besondere Masse aufstellen. Dieses musikalische Mittel schmeckt weniger nach Kunst, als nach Effekthascherei!

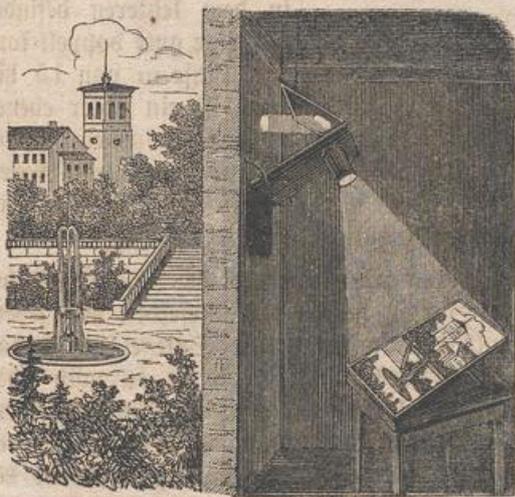
Zweiter Abschnitt.

Vom Lichte.

Die Betrachtungen, welche wir aus der Lehre vom Lichte noch anzuführen haben, beziehen sich zwar auch auf Erscheinungen, welche ihren letzten Grund in Schwingungen haben, bieten aber übrigens in ihrer Anwendung so vieles Abweichende von der vergleichenden Theorie dar, daß wir ihnen einen besonderen Platz anweisen. Wir wollen zunächst eine Reihe interessanter und nützlicher optischer Instrumente anführen, bei welchen theils die Strahlenbrechung, theils die Zurückwerfung, theils beide Anwendung gefunden haben.

Optische Instrumente.

Die Camera obscura oder dunkle Kammer haben wir zwar schon früher (Bd. II. S. 21) erwähnt, aber die in ihr ohne Anwendung von Gläsern sich zeigenden Bilder entbehren der nöthigen Schärfe,



(Fig. 329.)

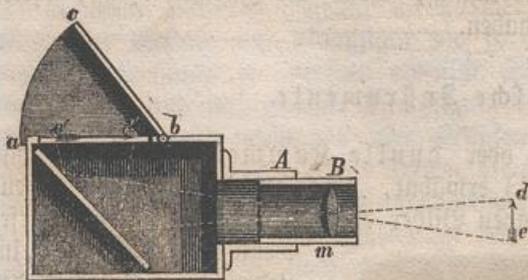
wenn die Oeffnung im Laden zu groß, und der nöthigen Deutlichkeit, wenn die Oeffnung zu klein ist und leiden jedenfalls an beiden Mängeln ohne Anwendung von achromatischen Gläsern.

Fig. 329 zeigt links eine Landschaft, rechts ein verfinstertes Zimmer mit einer kreisrunden Oeffnung an einer Seitenwand oben, durch welche von den gut beleuchteten äußeren Gegenständen Lichtstrahlen auf einen so geneigten

ebenen Spiegel fallen, daß der Lichtstrahlensylinder nach untenhin auf eine doppelt konvexe achromatische Linse in einer innerhalb geschwärzten Röhre fällt. Die durchgegangenen Lichtstrahlen werden dann unten im Zimmer mit einem weißen Schirme so aufgefangen, daß sie, wenigstens die mittelsten, lothrecht auf ihn fallen. Die Entfernung des Schirmes richtet sich nach der Brennweite der Linse. Es ist natürlich, daß sich in keinem Falle weder die allzunahen, noch die allzuentfernten Gegenstände deutlich abbilden können, weil der Vereinigungspunkt der von einem Punkte ausgehenden Strahlen im ersten Falle vor den Schirm, im zweiten hinter denselben fällt. Da von jedem Punkte des Gegenstandes eine Menge Lichtstrahlen durch die nicht mehr so kleine Oeffnung gehen, so sind die Bilder nicht mehr so lichtschwach, da die Linse die sämtlichen Strahlen wieder vereinigt.

Das Bild zeigt die natürlichen Farben der Gegenstände und wegen der Neigung des Spiegels die durch die Zeichnung hinreichend deutlich angegebene richtige Lage derselben.

Da die Bilder der Gegenstände treu wiedergegeben sind, so dachte man bald auf Mittel, dieselben leicht abzeichnen zu können. Wir wollen zu diesem Zwecke zwei Apparate angeben.



(Fig. 330.)

Fig. 330 zeigt einen viereckigen innerhalb geschwärzten Kasten; durch die Mitte der einen Seitenwand geht ein zylinderförmiges Rohr A, in welchem ein zweites B verschiebbar angebracht ist; in dem letzteren befindet sich eine gute doppelt konvexe Linse m von 15 bis

30 Zoll Brennweite; im Hintergrunde des Kastens ist ein guter ebener Spiegel unter einem Winkel von 45° gegen die Wände geneigt angebracht; die obere Decke ist über dem Spiegel mit einer matt geschliffenen Glasplatte ab unterbrochen und über derselben ist noch ein dunkler Schirm cb, um das äußere Licht abzuhalten.

Gehen von einem Gegenstande cd außerhalb des Kastens Lichtstrahlen divergirend auf die Linse m, so sammelt sie dieselben von jedem Punkte zu einem Bilde innerhalb des Kastens; der Spiegel macht das Bild des lothrechten Gegenstandes horizontal und wirft es nach oben in dieser Lage auf die Glastafel. Soll es hier ganz deutlich erscheinen, so muß man die Stellung des Schiebers B nach der Entfernung des Gegenstandes einrichten: ist er nahe, so liegt der Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen zu weit entfernt, als daß auf ab ein deutliches Bild er-

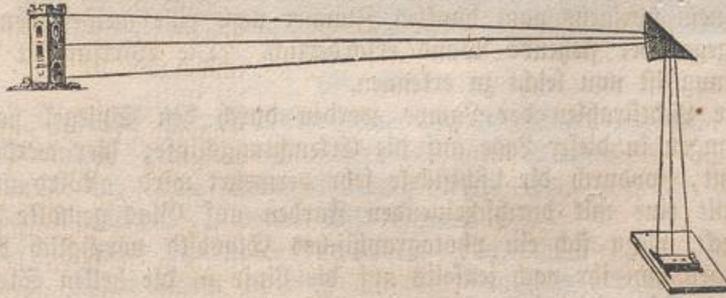
scheinen könnte und man muß den Schieber herausziehen; liegt der Gegenstand entfernt, so schiebt man ihn hinein.

Man kann das Bild zwar auf die matte Glastafel zeichnen, aber auch auf ein durchscheinendes Papier, welches man darauf gelegt hat. Um fremdes Licht noch besser abzuhalten, kann der Zeichner sich und den Apparat mit Ausnahme der Röhre mit einer undurchsichtigen Hülle umgeben.



(Fig. 331.)

Für den Landschaftszeichner ist der tragbare Apparat (Fig. 331) ganz bequem. Ein dreifüßiges Gestell, welches sich zusammenlegen läßt, ist umgeben mit einem undurchsichtigen Vorhange und so hoch und weit, daß darin auf einem Feldstuhle der Zeichner und der Tisch mit dem Brette zum Zeichnen Platz findet. Oben ist an dem Gestelle ein Zylinder mit einem in Fig. 332 dargestellten dreiseitigen Glaskörper, dessen eine Seite konvex geschliffen und dem Gegenstande, z. B. einem Thurme, zugewendet ist; die dadurch gesammelten Strahlen werden auf der ebenen Hinterfläche gänz-

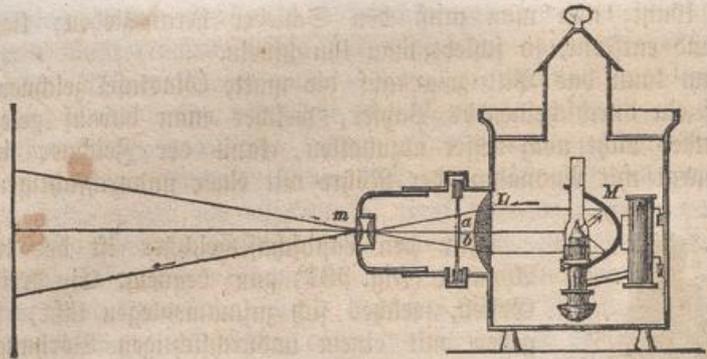


(Fig. 332.)

lich nach unten zurückgeworfen und fallen nach einem zweiten Durchgange auf den Tisch. Dieses Glasprisma verbindet also die Wirkungen der Linse und des Spiegels im vorigen Apparate.

Seit Erfindung der Photographie hat die Anwendung der angeführten Apparate zwar einen gewaltigen Stoß erlitten; da aber photographische Aufnahmen immer einer Menge von Vorbereitungen und Vorrichtungen bedürfen, deren Transport oft allzu umständlich ist, so dürfen sie der Vergessenheit noch nicht übergeben werden.

Die Zauberlaterne. Laterna magica. In Fig. 333 ist der senkrechte Durchschnitt des Apparates dargestellt. Die eine Seite eines Blechkastens enthält eine Thür, die Decke ist von einem oben bedeckten Schornsteine durchbrochen; im Inneren befindet sich eine helleuchtende



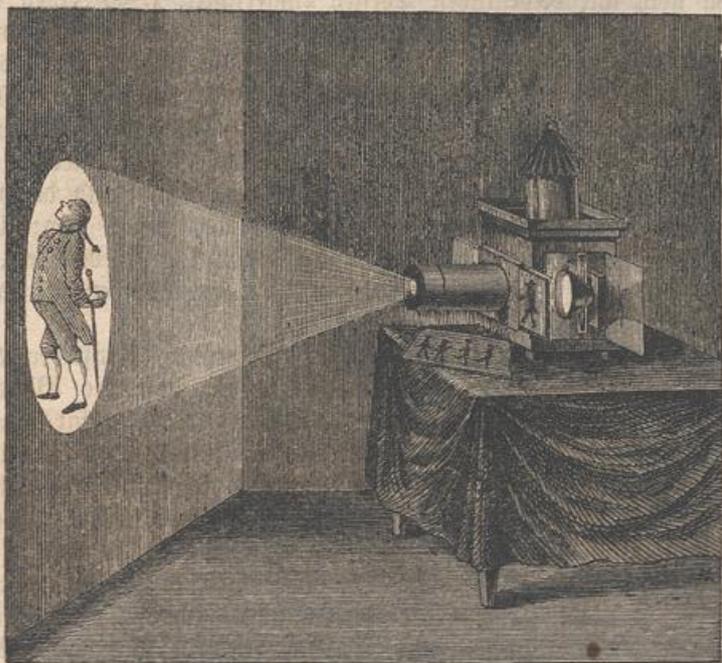
(Fig. 333.)

Lampe unter dem Schornsteine, hinter ihr ein parabolischer Spiegel M, in dessen Brennpunkte die Flamme ist; in der gegenüberliegenden Wand des Kastens ist eine plankonvexe Linse L, an welche sich ein zylindrisches Rohr mit einem Spalte in der Nähe dieser Linse und einem verschiebbaren Vordertheile schließt, worin zwei plankonkave Linsen zu einer starken Vergrößerung angebracht sind, welche einander die erhabene Seite zuwenden. Eine bikonvexe Linse ist auch brauchbar. Zur Darstellung der Bilder ist in einem übrigens ganz dunklen Zimmer noch eine weiße, dem Apparate gegenüber stehende Wand erforderlich. Die Wirksamkeit dieser Vorrichtung ist nun leicht zu erkennen.

Die Lichtstrahlen der Lampe werden durch den Spiegel parallel und gelangen in dieser Lage auf die Erleuchtungslinse; hier werden sie konvergent, wodurch die Lichtstärke sehr vermehrt wird. Wird nun in den Spalt eine mit durchscheinenden Farben auf Glas gemalte Figur *ab* gesteckt, wozu sich ein photographisches Glasbild vorzüglich eignet, so gelangen von ihr nach jenseits auf die Linse *m* die hellen Strahlen derselben. Ist *ab* in der Nähe des Hauptbrennpunktes der Linse *m*, aber noch außerhalb der Brennweite, so entsteht jenseits, also außerhalb des Apparates, davon ein Bild, welches um so größer ist, je weiter die Wand sich befindet; es wird aber nur in einer gewissen Entfernung die nöthige Deutlichkeit haben.

Fig. 334 zeigt denselben Apparat während seines Gebrauches, wobei die Seitenthür geöffnet ist, um das Innere zu sehen. Aus Versehen ist aber die hineinzusteckende Zeichnung in die aufrechte Lage gebracht; sie muß vielmehr verkehrt hineingesteckt werden, damit das Bild auf der Wand grade erscheine.

Um bei der Darstellung die Wirkung auffällender zu machen, bringt man den Apparat im Rücken der Zuschauer versteckt an und schließt die Oeffnung des Rohres mit einer aus zwei beweglichen Theilen bestehenden Blende, die durch einen Griff sehr allmählig von der Mitte aus geöffnet und nach der Mitte hin geschlossen werden kann. So hat



(Fig. 334.)

man es in seiner Gewalt, die Bilder auf der Wand aus dem Dunkel bei allmählicher Zunahme des Lichtes bis zur vollkommenen Deutlichkeit hervortreten und dann wieder allmählig verschwinden zu lassen, um während der Dunkelheit ein neues Bild einzuschieben.

Die sogen. Phantasmagorien bieten noch einen besonderen Reiz dar. Man bringt nämlich an dem beweglichen Röhrenstücke eine gezahnte Stange an, um durch eine Schraube ohne Ende die Vergrößerungslinse dem hineingesteckten Gegenstande nähern oder sie von ihm entfernen zu können; außerdem ruhen die Beine des Gestelles auf umwickelten Rädchen, damit der ganze Apparat der Wand ohne Geräusch mehr oder weniger genähert werden kann. Zuerst schiebt man die Linse heraus und bringt die übrigens versteckte Laterne der Wand so nahe, daß ein klares Bild auf ihr erscheint. Dann schraubt man die Linse allmählig hinein und entfernt gleichzeitig die Laterne. Dieses hat die Folge, daß das Bild auf der Wand sich allmählig vergrößert und daß es in dem Zuschauer die auffallende Täuschung hervorbringt, als ob die im Bilde dargestellte Person sich ihm nähere. Durch kleine mit dem Apparate vollführte Schwankungen kann man die Täuschung des Laufens nachahmen, um den Erfolg noch wirksamer zu machen. Schraubt man ein ganzes Stück plötzlich hinein, so tritt die Figur wie mit einem Sprunge dem Beschauer entgegen. Hat man die Figur in der Laterne

außerdem noch mit beweglichen Theilen eingerichtet, z. B. einen Mann, welcher mit einem Stocke schlägt, wenn man seinen beweglichen Arm an einem Drahte zieht, oder einen Schmied, welcher glühendes Eisen hämmert; so dienen solche Darstellungen zu nicht geringer Belustigung. Schraubt man dann die vordere Linse allmählig heraus und schiebt man die Laterne der Wand näher, so entfernt sich die Figur wieder.

Statt daß die Zuschauer sich zwischen der Wand und der Laterne befinden, kann die Wand zwischen Zuschauer und Laterne sein; sie muß aber für diesen Fall aus einem durchscheinenden Stoffe bestehen, wozu sich feiner und dichter Shirting, welchen man gut angefeuchtet erhalten muß, sehr eignet.

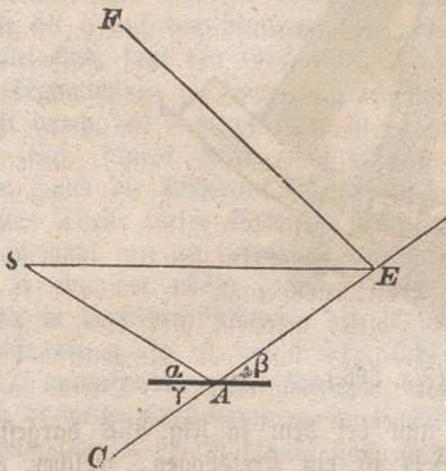
Das Polyorama enthält zwei Laternen in demselben Kasten, welche so gestellt sind oder sich so stellen lassen, daß die Bilder von beiden auf dieselbe Stelle des Schirmes fallen. Man zeigt nun beide Bilder nicht gleichzeitig, sondern hintereinander; indem man nämlich das erste allmählig abblendet, so daß es immer trüber und nebelartiger wird, öffnet man die Blende vor dem zweiten und läßt es, nachdem jenes verschwunden ist, immer deutlicher erscheinen, bis es in voller Klarheit jenes ersetzt. Weil diese Bilder gewissermaßen in einem Nebel in einander übergehen, heißt die Vorrichtung auch ein Nebelbilderapparat. Die Beleuchtung der Objekte geschieht hier durch Anwendung des drummondschen Kalklichtes statt der Lampe und durch eine mehr kugelförmige Linse statt des Hohlspiegels. Dieses außerordentlich starke Licht erhält man, wenn man einen feinen angezündeten Strahl von Knallgas (2 Maß Wasserstoff mit 1 Maß Sauerstoff) auf einen durch ein Uhrwerk gedrehten Zylinder aus ungelöschtem Kalle gehen läßt. Um Explosionen zu vermeiden, hat man die beiden Gasarten in abgesonderten Behältern einem Drucke ausgesetzt und vereinigt die beiden Luftstrahle erst gegen das Ende einer engen Röhre.

Die Leistungen des Apparates sind durch die dabei möglichen Uebergänge, bei denen auch Bewegungsercheinungen vorkommen können, oft höchst angenehm überraschend. In einer schönen Sommerlandschaft ist z. B. eine oberflächliche Wassermühle im besten Gange; die Vegetation bleicht ab und der Herbst ist da; der Winter naht sich, indem es anfängt etwas zu schneen; das Mühlrad fängt an langsamer zu gehen, indem Eis sich zu bilden anfängt, bis es endlich ganz eingeeist still steht und die ganze Landschaft den Winter zeigt, der noch durch einen Schneeschauer veranschaulicht werden kann. So kann eine ganze Reihenfolge von Bildern, welche aufeinander folgende Scenen einer zusammenhängenden Handlung darstellen, einen überraschend täuschenden und angenehmen Erfolg haben. Die oft so prachtvollen Chromatropen werden auch durch einen solchen Apparat hervorgebracht.

Der Sextant ist ein für die Seefahrer unentbehrliches Instrument und leistet überhaupt in allen Fällen, in denen die Größe von

Winkeln in beliebig liegenden Ebenen gemessen werden sollen, die vorzüglichsten Dienste.

Will man die Höhe eines Punktes, z. B. des Sonnenmittelpunktes in einem bestimmten Augenblicke, wie etwa um 12 Uhr, über dem Horizonte auffuchen; so bedarf man bei beschränkter Aussicht eines künstlichen Horizontes (Vd. I. S. 15 u. 167); bei einer freien aber, wie auf dem Meere oder einer weiten Ebene, genügt es, die von unserem Standpunkte nach dem scheinbaren Horizonte gezogene Linie als den horizontalen Schenkel des zu bestimmenden Winkels anzunehmen, dessen zweiter Schenkel nach dem höheren Punkte gerichtet ist.



(Fig. 335).

$SAC = 2\alpha$ ist. Das heißt:

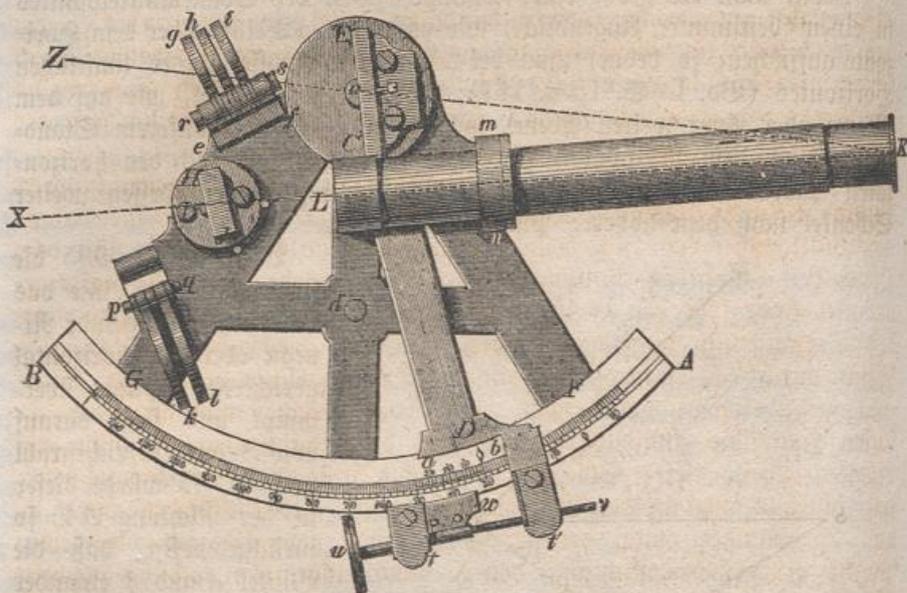
der Winkel, welchen ein auf einen Spiegel fallender Lichtstrahl mit der vom Spiegel ausgehenden Verlängerung des zurückgeworfenen Strahles macht, ist doppelt so groß, als der Neigungswinkel des einfallenden Strahles gegen den Spiegel.

Ist der Spiegel horizontal, so ist der Neigungswinkel zugleich der Höhenwinkel. Wird durch irgend einen Punkt E des zurückgeworfenen Strahles in der Ebene SAE die mit dem auffallenden Strahle SA parallele Linie EF gezogen, so ist der Winkel $FEA = SAC = 2\alpha$. Kame aber bei dieser Beobachtung das Licht von einem sehr entfernten Gegenstande, namentlich von einem Gestirne, wie von der Sonne, so können die ankommenden und aufgefangenen Strahlentheile als parallel angesehen werden und es ist hier gleichgiltig, ob wir den zu beobachtenden Höhenpunkt in S oder in F annehmen. In diesem Falle gilt also die Behauptung:

der von dem leuchtenden Punkte F unmittelbar ankommende Strahl FE macht mit dem vom Spiegel zurückgeworfenen

Wäre in Fig. 335 die stark gezeichnete Linie das horizontale spiegelnde Niveau oder ein horizontal gerichteter Spiegel überhaupt und fiele darauf von S aus ein Lichtstrahl nach A, so würde dieser in der Richtung AE so zurückgeworfen, daß die Winkel α und β einander gleich sind. Wird EA von A an nach C verlängert, so sind die Winkel γ , β und α einander gleich, so daß Winkel

AE einen Winkel FEA, welcher dem doppelten Höhenwinkel gleich ist.



(Fig. 336.)

Diese Betrachtung findet nun bei dem in Fig. 336 dargestellten Sextanten ihre Anwendung. AB ist ein Kreisbogen, welcher etwas mehr als 60 Grade (Ueberscheidung) enthält, die halbirt sind, so daß die 60 Grade 120 numerirte gleiche Theile enthalten; drei vom Mittelpunkte c des zugehörigen Kreises ausgehende Speichen tragen ihn; um c als Ase ist eine kreisrunde Scheibe parallel der Ebene des Ausschnittes drehbar, auf welcher lothrecht ein Spiegel EC befestigt ist. Die Scheibe wird durch einen nach dem Bogen gehenden Schenkel, welchen man Alchidade nennt, gedreht. Die Alchidade läßt sich durch eine Bremsvorrichtung w so an den Bogen drücken, daß sie mit einiger Reibung an ihm hinschleift, um den an ihr befindlichen zur genaueren Messung dienenden Nonius ab anfänglich nur ungefähr und dann mittelst der in den beiden Armen t und t' gehenden Mikrometerschraube u v ganz genau einzustellen. An der Speiche cG ist ein kleinerer Spiegel HJ befestigt, von dessen oberen Hälfte die Spiegelbelegung beseitigt worden ist, so daß man durch das klare Glas an der Gränze des Spiegels einen entfernten Gegenstand unmittelbar und zugleich das von dem ersten Spiegel auf den zweiten geworfene und auch von ihm wieder reflektirte Bild deutlich sehen kann.

Auf der Speiche cF ist diesem Spiegel gegenüber ein Ring mn, durch welchen ein Fernrohr LK gesteckt ist, welches dazu dient, diese beiden

Bilder zu beobachten und sich durch eine auf der Rückseite der Speiche cF angebrachte Schraube etwas heben und senken läßt. Außerdem sind zu beiden Seiten des kleinen Spiegels auf der Speiche cG einige Blendgläser angebracht: das Gewinde rs trägt ein dunkelrothes g, ein grünes h und ein mattrothes i; das Gewinde pq ein mattrothes k und ein grünes l; außerdem läßt sich vor K ein schwarzes Sonnenglas schieben. Zur Handhabung des Instrumentes ist auf der Rückseite der Mittelspeiche bei d ein abwärts gehender Griff.

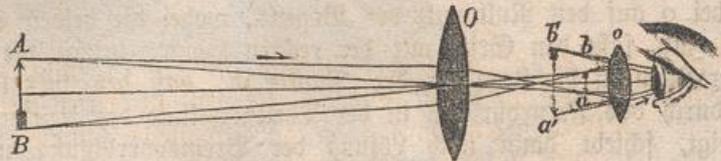
Will man nun mit dem Instrumente die Winkelentfernung zweier Punkte X und Z messen, welche mit dem Auge bei K in einer Ebene von willkürlicher Lage sich befinden, so stellt man die Alhidade mit dem Pfeile bei o auf den Nullpunkt des Bogens, wobei die beiden Spiegel parallel sind, faßt den Griff mit der rechten Hand, bringt die Ebene des Sextanten in die Lage der drei Punkte so, daß der links liegende Punkt durch das Fernrohr sich in der Theilungslinie des kleinen Spiegels zeigt, schiebt dann nach Lösung der Bremsvorrichtung mit der linken Hand die Alhidade so weit fort, bis man den Punkt Z in dem belegten Theile dieses Spiegels sieht; nun stellt man die Bremse fester und schraubt nur an der Mikrometerschraube, bis die beiden Punkte X und Z einander völlig decken. Sieht man von K aus die beiden Punkte in derselben Richtung, den X unmittelbar, den Z durch doppelte Zurückwerfung, so ist der Winkel ZKX eigentlich der, welchen die von Z ausgehenden zwei Strahlen, nämlich der unmittelbare und der durch doppelte Zurückwerfung in K bilden, also gleich dem doppelten Drehungswinkel der Alhidade oder dem doppelten Winkel, welchen die Spiegel jetzt bilden. Man muß also den auf dem Bogen des Sextanten abgelesenen Winkel verdoppeln, um die Winkelentfernung der Punkte X und Z für den Standpunkt K zu erhalten. Da die halben Grade mit den ganzen Zahlen bezeichnet sind, so gibt die abgelesene Zahl den gesuchten Winkel ohne Rechnung.

Um einen Höhenwinkel eines sehr entfernten Gegenstandes zu bestimmen, läßt man durch einen künstlichen Horizont das Spiegelbild des Höhenpunktes unmittelbar durch das Glas und Fernrohr gehen und bringt dann das zweite, durch die doppelte Zurückwerfung erhaltene, mit ihm zum Decken. Der vom Instrumente abgelesene Winkel ist aber der doppelte Höhenwinkel (nämlich FEA in Fig. 335) und muß noch durch 2 dividirt werden.

Das astronomische Fernrohr. Durch angemessene Zusammensetzung von zwei oder mehreren Linsen oder von Linsen und Spiegeln hat man eine Reihe von Instrumenten hergestellt, durch welche man im Stande ist, entweder sehr entfernte und uns deshalb gar nicht mehr oder nur sehr undeutlich erkennbare Gegenstände gleichsam in größere Nähe zu rücken und dadurch wahrnehmbar zu machen oder auch zwar sehr nahe, aber wegen ihrer Kleinheit für unser Auge ganz oder fast

ganz verschwindende Gegenstände noch und deutlicher erscheinen zu lassen. Diese heißen im Allgemeinen Teleskope, diese Mikroskope.

Die astronomischen Fernrohre gehören zu den Teleskopen, mit welchen man in die weitesten Entfernungen, nämlich in die des unendlichen Himmelsraumes zu sehen und die dort vorhandenen Körper und die Erscheinungen an ihnen zu erforschen beabsichtigt. Damit sie zweckentsprechend seien, müssen sie den Gegenstand stark vergrößern und die Helligkeit wenig vermindern. Daraus ergibt sich, daß sie aus nur wenigen Bestandtheilen zusammengesetzt sein dürfen, damit das Licht von seinem Wege nicht oft und durch verschiedene Mittel abgelenkt werde.



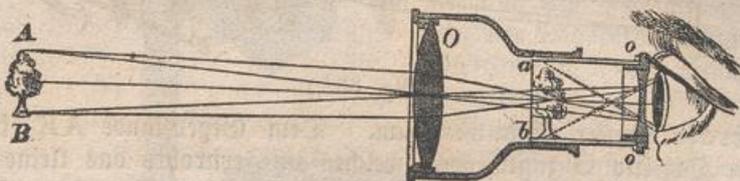
(Fig. 337.)

Fig. 337 stellt das Schema des Instrumentes dar. AB ist ein entfernter Gegenstand; von ihm gelangen die Lichtstrahlen auf eine biconvexe achromatische und nach Schliß und Beschaffenheit fehlerfreie Linse von möglichst großem Durchmesser und möglichst großer Brennweite; diese dem Objekte zugewendete Linse O, die Objektivlinse, erzeugt von AB ein verkehrtes physisches Bild ab; dieses Bild wird mittelst einer kleineren biconvexen Linse o, dem Augenglas oder der Okularlinse betrachtet, indem man dieselbe wie ein Leseglas anwendet, d. h. ab innerhalb seiner Brennweite legt. Die Strahlen von ab gelangen durch die Brechung mittelst der Okularlinse konvergierend in das Auge und erzeugen ein größeres Bild a'b', als wenn die Strahlen vom Gegenstande AB selbst kämen. Weil der Sehwinkel von a'b' ein größerer, als der von AB ist, glauben wir den Gegenstand in eine größere Nähe versetzt und sagen, je nach der Beschaffenheit des Instrumentes, es nähere sehr oder wenig.

Um fremdes Licht abzuhalten, werden die Gläser in ein innerhalb geschwärztes Rohr parallel eingefügt. Außerdem, daß man die Randstrahlen des Objektivglases abblendet, schaltet man an der Stelle, wo das Bild entsteht, noch eine Blende ein. — Die Lichtstärke würde, wenn die Gläser nicht einiges Licht vernichteten, sovielman die beim Sehen mit bloßem Auge übertreffen, wie oft der Durchmesser der Pupille in dem des abgeblendeten Objektivs enthalten ist.

Die Vergrößerung ist gleich der Brennweite des Objektivs, getheilt durch die des Okulars. Stark vergrößernde Instrumente sind sehr lang. Der Refraktor zu Dorpat vergrößert 700 mal. Gegenwärtig ist das Teleskop von Lord Rosse das bedeutendste. — Das berühmte 40-

füßige Teleskop von Herschel hatte im Hintergrunde einen schief gestellten Hohlspiegel, welcher die Strahlen des Gestirns zu einem Bilde vereinigte, welches durch eine bikonvexe Linse an der Vorderseite betrachtet wurde.



(Fig. 338.)

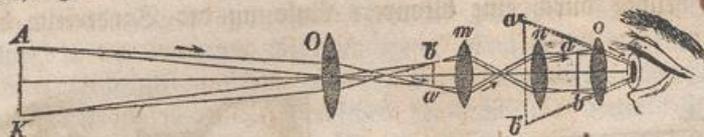
Das Theaterperspektiv. In Fig. 338 ist O eine bikonvexe Objektivlinse, welche in ihrem Brennpunkte ein verkehrtes Bild des Gegenstandes AB bewirken würde. Ehe aber dasselbe zustande kommt, werden die konvergent ankommenden Strahlen durch eine bikonkave Linse oo aufgefangen und dadurch so divergent gemacht, daß sie erst rückwärts verlängert zu einem Bilde ab sich vereinigen, welches dadurch die Stellung des Objektes erlangt und unter einem größeren Gesichtswinkel, als dieses erscheint. Die Entfernung der beiden Gläser ist beinahe dem Unterschiede ihrer Brennweiten gleich und die Stärke der Vergrößerung ist auch gleich dem Quotienten der Brennweiten.

Dieses Instrument hat zwar den Vorzug, daß es die Gegenstände in ihrer unveränderten Lage zeigt, aber es ist zu bedeutenderen Vergrößerungen unfähig, weil die vom Objektivglase gebrochenen Strahlen schon vor ihrer Vereinigung, also an einem Orte, an welchem sie noch einen größeren Raum einnehmen, von dem Okulare müssen aufgefangen werden und, damit letzteres dieses thue, muß es selbst größer sein und eine größere Brennweite haben; so daß es weniger stark vergrößert. Das Instrument hat aber den Vorzug, daß es ziemlich kurz sein kann und dabei 20 bis 30 mal vergrößert. Das Okulare ist in einem verschiebbaren Einsatze, damit Kurzsichtige es dem Objekte näher bringen, Weitsichtige entfernen können.

Es gibt eine leichte und interessante Methode, jedes astronomische, den Gegenstand umgekehrt zeigende Fernrohr, augenblicklich in ein terrestrisches oder Erdfernrohr mit gradem Bilde zu verwandeln. Von dem im Fernrohre vorhandenen verkehrten Bilde läßt man die Strahlen durch ein gleichschenkliges rechtwinkliges Prisma so gehen, daß sie auf der Innenseite der dritten ungleichen Prismenfläche gänzlich zurückgeworfen werden, wodurch das Bild umgekehrt wird, wie durch einen horizontal über unser Auge gehaltenen Spiegel.

Weil bei diesem Fernrohre das Gesichtsfeld oder die durch dasselbe erblickte Fläche nicht bedeutend sein kann, so hat man für die Fernsichten

auf der Erdoberfläche auf andere Zusammensetzungen Bedacht genommen. Eine solche gibt



(Fig. 339.)

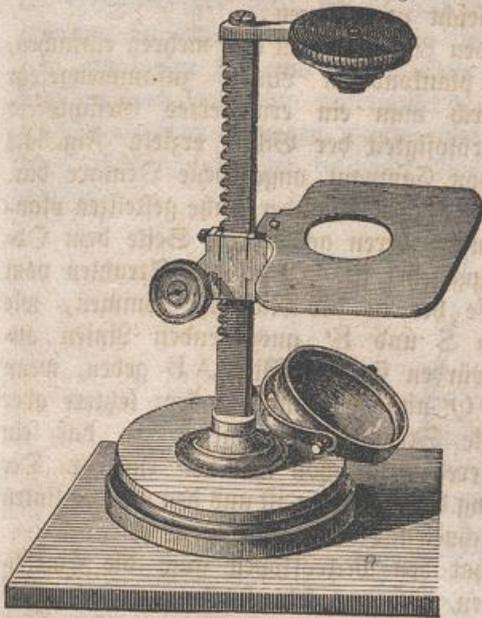
das Erdfernrohr (Fig. 339) an. Dem Gegenstande AK ist das größere Objektiv O zugewendet, welches im Fernrohre das kleine umgekehrte Bild $a'b'$ hervorbringt; eine zweite Linse m fängt die gekreuzten Strahlen auf, sie werden aber erst durch eine dritte n so gebrochen, daß von dem ersten Bilde $a'b'$ ein zweites ab entsteht, welches die Lage des Gegenstandes hat. Dieses zweite Bild wird endlich durch das Okulare o wie durch eine Loupe vergrößert in der Lage $a''b''$ dargestellt.

Soll das Instrument einigermaßen stark vergrößern, so muß es, wie das astronomische auch ziemlich lang sein. Deshalb macht man ein Rohr, welches aus mehreren Einschlebestücken besteht. Die drei Okulargläser haben eine bestimmte Entfernung von einander und befinden sich daher in demselben Rohre befestigt. Die durch die Verschiebung zu bewirkende Abänderung der Entfernung der Okulargläser vom Objektivglase ist auch nothwendig theils wegen der verschiedenen Entfernung der zu betrachtenden Objekte, theils wegen der Beschaffenheit unseres Auges.

Das Mikroskop. Wir haben eine Sehnsucht nicht nur in die Ferne, ja in die unendlichen Fernen des Himmelsraumes zu schauen, sondern auch wissen zu wollen, wie das außerordentlich Kleine gestaltet ist, wie es sich regt und wie es lebt, und was die Natur so klein gestaltet hat, daß es sich unserem bloßen Auge völlig entzieht. Die Instrumente, welche dieses zu leisten uns befähigen, haben in der neueren Zeit die Naturbeschreibung, die Anatomie und Physiologie in einem außerordentlichen Grade gefördert, zu den herrlichsten Aufschlüssen über die Vergangenheit und Gegenwart unseres Erdkörpers geführt und die Geheimnisse der organischen Thätigkeit zu entschleiern vermocht.

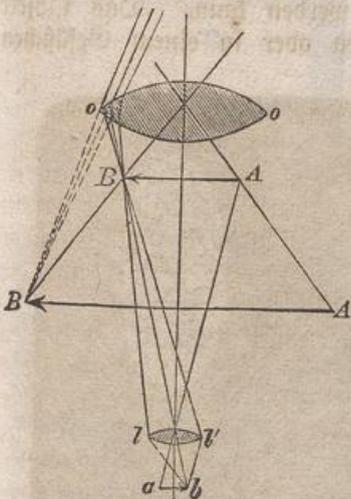
Wenn wir einen Gegenstand dem Auge näher bringen, so können wir ihn und seine Theile wohl besser erkennen, aber es gibt für jedes Auge eine Gränze für diese Annäherung, einen Nahepunkt, über welche hinaus wieder eine größere Undeutlichkeit eintritt. Diese Gränze liegt für die Kurzsichtigen dem Auge näher, als für die Weitsichtigen. Weil nun bei der Annäherung des Gegenstandes der Gesichtswinkel oder die scheinbare Größe (Vd. II., S. 23) wächst, so sind jene eher im Stande, kleine Gegenstände noch zu erkennen, als diese. Um aber unter allen Umständen das Auge zu befähigen, auch innerhalb des Nahepunktes noch deutlich zu erkennen, dienen die Mikroskope.

Einfache Mikroskope sind schon die früher erwähnten Lesegläser und Loupen (Bd. II., S. 74). Da aber für sehr starke Vergrößerungen die Linsen einen sehr kleinen Krümmungsradius haben, also selbst sehr klein sein müssen, so bringt man sie zur bequemeren Handhabung,



(Fig. 340.)

wie in Fig. 340 ersichtlich ist, in einer besonderen Fassung oben an einer gezahnten Stange an; unterhalb ist mittelst eines gezahnten Rades ein durchbrochenes Tischchen beweglich, um den zu betrachtenden Gegenstand auf eine klare Glasplatte zu legen. Da endlich zum deutlichen Erkennen eine gute Beleuchtung erforderlich ist, so befindet sich unten am Gestelle ein in einem Bügel drehbarer Spiegel, von welchem man das Tages- oder Lampenlicht auf den Gegenstand zurückwerfen läßt. Statt einer einfachen Linse kann man zwei plankonvexe anwenden, die man mit den erhabenen Flächen dicht aneinander legt.

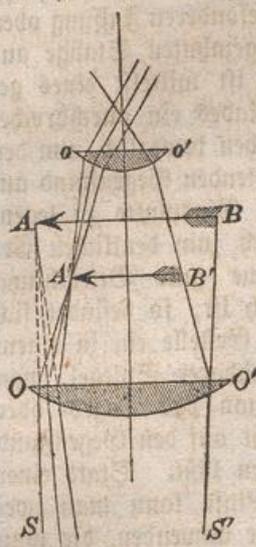


(Fig. 341.)

Das zusammengesetzte Mikroskop besteht, wie das astronomische Fernrohr, aus zwei bikonvexen Linsen (Fig. 341), die aber in umgekehrter Ordnung angewendet werden, indem die kleinere ll' die Objektivlinse und die größere oo die Okularlinse ist. Beide befinden sich natürlich in einem innerhalb geschwärzten Rohre.

Legt man unter die kleine möglichst scharfe Sammellinse ll' einen Gegenstand ab außerhalb der Brennweite, aber in die Nähe des Brennpunktes, so entsteht von ihm ein umgekehrtes und stark vergrößertes auf der anderen Seite der Linse, also im Instrumente liegendes Bild, welches hier das der Linse oo näher liegende AB ist. Dieses erste Bild wird nun durch die Linse oo wie durch eine Loupe betrachtet, indem es innerhalb ihrer Brennweite gebracht worden ist, und nun entsteht ein neues wiederum ver-

größertes Bild auf derselben Seite der Linse, wie es das darunter gezeichnete AB darstellt. In das über der Okularlinse oo befindliche Auge des Beobachters gelangen nur von dem letzten Bilde die Strahlen, so daß man den Gegenstand umgekehrt sieht. Der Gang der Strahlen ist aus der Zeichnung leicht zu erkennen.

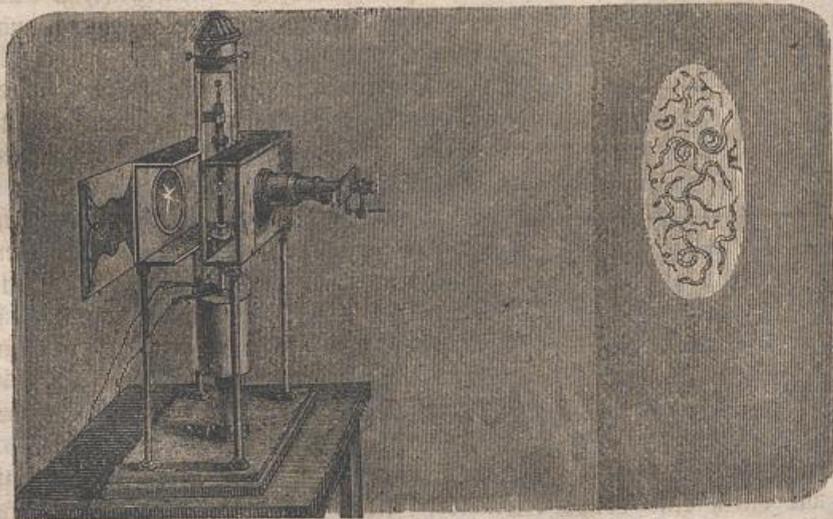


(Fig. 342.)

Die beiden Linsen können aus mehreren einfachen, namentlich plankonvergen Linsen zusammengesetzt sein, wodurch man ein erweitertes Gesichtsfeld und die Farblosigkeit der Bilder erzielt. Fig. 342 stellt das von Campani angegebene Okulare dar. Es besteht aus zwei einander nahe gestellten plankonvergen Linsen, deren gekrümmte Seite dem Objektivglase zugekehrt ist. Wenn die Strahlen vom Objektivglase her in der Richtung kommen, wie es die von S und S' ausgehenden Linien angeben, so würden sie das Bild AB geben, wenn die Linse OO' nicht vorhanden wäre; letztere aber vereinigt die Strahlen noch mehr, so daß ein etwas kleineres Bild schon in A'B' entsteht. Der weitere Gang der Strahlen ist aus den auf der linken Seite gezeichneten Linien deutlich zu erkennen.

Man hat den Mikroskopen auch die Einrichtung gegeben, daß das sehr stark vergrößerte Bild

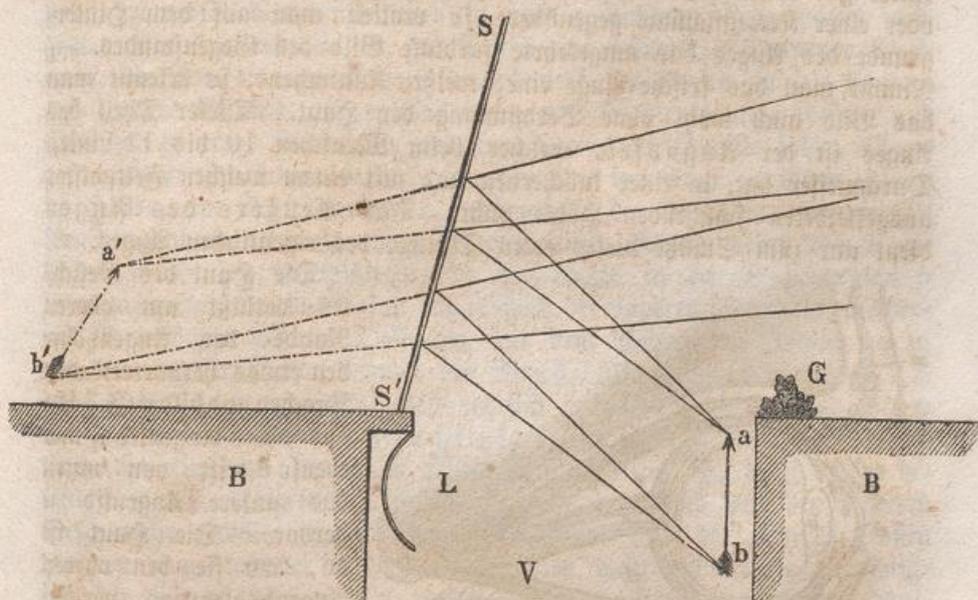
auf einer weißen Wand aufgefangen und einem größeren Zuschauerkreise sichtbar gemacht werden kann. Das Objekt befindet sich dann zwischen zwei Glasplatten oder in einem Gefäßchen



(Fig. 343.)

mit ebenen Wänden und muß sehr stark beleuchtet werden. Je nach der Beleuchtung heißt das Instrument ein Sonnenmikroskop, ein elektrisches Mikroskop oder Hydrooxygengas-Mikroskop. — Die Fig. 343 stellt eines der zweiten Art dar, wobei sich auf der Wand ein Wassertropfen zeigt, in welchem uns ein reges Leben von Infusions-thierchen in Erstaunen zu setzen vermag.

Es lassen sich aus Linsen, ebenen und Hohlspiegeln noch mancherlei nützliche und angenehm unterhaltende Apparate zusammensetzen, aber die bisherigen Betrachtungen werden ausreichend sein, um in den verschiedenen Fällen sich eine deutliche Vorstellung von ihrer Wirksamkeit zu machen.



(Fig. 344.)

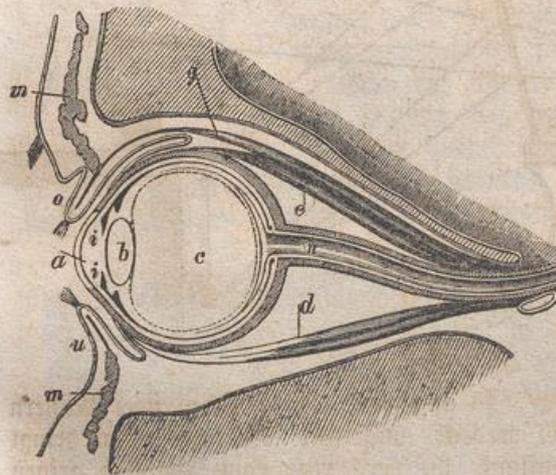
Wenn z. B., wie in Fig 344 angedeutet ist, zwischen zwei Mauern B und B ein Hohlspiegel L verdeckt aufgestellt wird und man bringt einen gut erleuchteten Gegenstand in verkehrter Lage zwischen seinen Brennpunkt und Krümmungsmittelpunkt, so entsteht von ihm in größerer Entfernung ein aufrechtes Luftbild ab; dieses kann als Objekt für einen außerhalb der zwei Wände aufgestellten ebenen Spiegel SS' dienen, welcher ein neues Bild a'b' erzeugt, dessen Strahlen ein auch außerhalb und jenseits befindliches Auge treffen können.

Vom Auge.

Das Auge ist ein so außerordentlich wichtiger Theil unseres Organismus, daß es gerechtfertigt erscheinen wird, wenn wir den Bau

dieses optischen Instrumentes und seinen vielfachen Berrichtungen eine größere Aufmerksamkeit schenken. Wir werden dabei auch veranlaßt sein, Einiges zur Erhaltung der Gesundheit dieses wunderbaren Organes, welches uns die Welt mit ihren Wundern und ihrer Pracht erschließt, anzuführen.

Die Hauptwirkung des Auges ist wesentlich die einer dunklen Kammer. Nimmt man nämlich ein Auge eines frisch geschlachteten Kindes, verdünnt man mit einem scharfen Messer vorsichtig auf der hinteren Seite desselben die äußere undurchsichtige Haut und hält man, nachdem dieses in einem hinreichenden Maße geschehen ist, das Auge einem gut beleuchteten oder leuchtenden Gegenstande, z. B. einem Fenster oder einer Kerzenflamme gegenüber; so erblickt man auf dem Hintergrunde des Auges das umgekehrte farblose Bild des Gegenstandes. — Nimmt man das frische Auge eines weißen Kaninchens, so erkennt man das Bild auch wohl ohne Verdünnung der Haut. Dieser Theil des Auges ist der Augapfel, welcher beim Menschen 10 bis 11 Linien Durchmesser hat, in einer knöchernen und mit einem weichen Fettpolster ausgekleideten schützenden Höhle ruht. Das Äußere des Auges dient nur zum Schutze dieses edlen Theiles, des eigentlichen Auges.



(Fig. 345.)

Schweiß, Staub u. a. abzuhalten. Beide Augenlider können durch eine im Umkreise der Augenhöhle liegende Muskelfaserschicht m, an welche sich die zarten schwarz gezeichneten Knorpelplättchen schließen, bis zur Berührung genähert werden; der vom Hintergrunde des Auges nach dem oberen Lide kommende Muskel g dient durch sein Verkürzen dieses wieder zu heben. Die innere Seite der Lider ist schleimig, steht mit der zarten und durchsichtigen Haut, welche den vorderen Theil des Augapfels überzieht, durch ein Häutchen in Verbindung und reinigt bei dem Blinken das Auge. Außerdem sind noch zahlreiche Drüsen vorhanden,

Die Haut des Gesichtes verläßt am oberen Rande der Augenhöhle den etwas hervortretenden Knochen und bildet (F. 345) das obere Augenlid o und ebenso tritt von unten das untere Augenlid u hervor. Die Haut ist da, wo sie den oberen Augenhöhlenrand verläßt und ringsum an ihrem Rande mit Haaren besetzt, welches die Augenbrauen und Augenwimpern sind, um durch sie

welche die gelbliche Augenbutter absondern, und nach den inneren Winkeln die Thränenwarzen.

Der Augapfel wird zunächst umschlossen von einer weißen und ziemlich harten Haut, der undurchsichtigen Hornhaut, welche nach vorn stärker gewölbt und durchsichtig ist und deshalb die durchsichtige Hornhaut heißt. Jene ist in der Zeichnung dunkel schraffirt und diese mit a bezeichnet. Innerhalb der weißen Haut liegt eine mit vielen zarten und dunkel gefärbten Zellen versehene andere Haut, die Aderhaut, welche sich erst vorn an der durchsichtigen Hornhaut von jener ablöst und als Regenbogenhaut oder Iris *i* mit verschiedener Färbung bei verschiedenen Menschen in ebener Richtung ausgespannt fortgeht. Die Iris enthält in der Mitte eine schwarz erscheinende Oeffnung, die Pupille, und theilt das Innere des Auges in die vordere und hintere Kammer; sie enthält kreis- und strahlenförmige Fasern und ist daher zu einer Verengung und Erweiterung der Pupille fähig. Senes geschieht im Dunkeln, um mehr Lichtstrahlen ins Auge zu lassen, dieses im Hellen, um Licht abzuhalten. Innerhalb der Aderhaut, bis an die Regenbogenhaut reichend, liegt die aus feinen Nerven bestehende Netzhaut, welche sich im Hintergrunde des Auges in den Sehnerven *n* zusammenzieht, um durch eine etwas nach der inneren Seite der knöchernen Augenhöhle liegende Oeffnung mit dem Gehirn in Verbindung zu treten. In der Vorderkammer des Auges, also zwischen der Iris und der durchsichtigen Hornhaut, befindet sich eine durchsichtige etwas salzige Flüssigkeit, die wässrige Feuchtigkeit; hinter der Iris nach innen liegt die ringsum durch ein feines Häutchen an die Augenkapsel befestigte Krystalllinse *b*, welche ziemlich hart und auf der hinteren Seite mehr gewölbt ist, als auf der vorderen. In der ziemlich großen hinteren Augenkammer *c* befindet sich eine mehr gallertartige Feuchtigkeit, die Glasfeuchtigkeit, welche von einer zarten durchsichtigen Haut, die in der Zeichnung punktiert ist, eingeschlossen wird.

Die durch die Krümmungsmittelpunkte der Krystalllinse und die Mitte der Pupille gehende grade Linie heißt die Augenaxe; bei ihrer Verlängerung trifft sie eine etwas verdünnte und gelblich gefärbte Stelle von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{2}$ Linie Durchmesser, den gelben Fleck der Netzhaut, welche das Sehen vorzüglich vermittelt. Es zeigen sich hier äußerst zarte, glasartige und palisadenartig nebeneinander gestellte Stäbchen, die sich am gelben Flecke flaschenförmig verdicken und Zapfen heißen. Die Stelle, an welcher der Sehnerv eintritt und welche etwas seitwärts vom gelben Flecke nach innen liegt, ist für das Sehen völlig ungeeignet und heißt deshalb der dunkle Punkt oder das Zentralloch.

Die Beweglichkeit des Auges wird durch sechs in der Augenhöhle liegende Muskeln, vier grade und zwei schiefe, erreicht; jene entspringen am Umfange des Zentralloches, der eine *e* läuft über, ein anderer *d* geht unter dem Augapfel hin, und je einer zu den beiden Seiten des-

selben, so daß sie den Augapfel nach allen vier Seiten wenden können. Das Schielen rührt meistens von der Verkürzung eines derselben her; wird er von dem Augapfel etwas abgelöst, so ist es gehoben, denn er wächst dahinter bald wieder an. Man kann das Schielen auch erzeugen und wieder beseitigen, wie es an Gänsen versucht worden ist. Die Muskeln können sogar die künstlichen Augen in Bewegung setzen, welche man den natürlichen täuschend nachzuahmen versteht. — Nachdem wir den Bau des Auges kennen gelernt haben, gehen wir zu seinen Ver- richtungen über. Von den das Auge treffenden Lichtstrahlen können nur die, welche die durchsichtige Hornhaut treffen, ins Innere gelangen. Weil diese konvex gekrümmt und wie auch die wässrige Feuchtigkeit ein dichteres Mittel, als die Luft ist, werden die Strahlen zur Augenaxe gebrochen. Die Aderhaut hält die Randstrahlen ab und wirkt wie eine Blende, so daß in und durch die Pupille nur die mittelsten (zentralen) Strahlen auf die Krystalllinse gelangen. Durch diese werden sie nicht nur sehr stark gebrochen, sondern auch wegen ihrer schichtenförmigen Bildung und eigenthümlicher Gestalt farblos (achromatisch) gemacht. Nachdem sie noch die Glasfeuchtigkeit durchgegangen sind, bildet sich auf der Netzhaut das umgekehrte Bild des äußeren Gegenstandes. Die Glasfeuchtigkeit hält die Krystalllinse in einer solchen Entfernung von der Netzhaut, daß diese im Brennpunkte des Auges bleibt. Die schwärzliche Aderhaut vernichtet die etwa im Auge noch zerstreut eindrin- genden und im Innern vorkommenden Strahlen, damit das Bild recht scharf werde.

Die Ueberzeugung davon, daß die Stellen, in welchen die beiden Sehnerven in die Augen treten, für das Sehen unempfindlich sind, ist leicht zu erhalten. Macht man auf weißem Papier zwei etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll von einander entfernte schwarze Punkte und sieht man, indem man sie den Augen in gewisser Entfernung parallel hält, entweder bloß mit dem rechten Auge den links liegenden Punkt oder bloß mit dem linken Auge den rechts befindlichen Punkt an, so verschwindet der andere Punkt dem sehenden Auge, wenn man sie beide in der angenommenen Lage vor- über führt. Das Bild des verschwundenen Punktes erscheint hierbei grade auf dem Zentralloche.

So wie man mit gesunden Ohren die außerhalb derselben erregten Schallschwingungen nicht hört, wenn man nicht seine Aufmerksamkeit darauf richtet, ebenso sieht man mit offenen gesunden Augen einen Gegenstand unter denselben Bedingungen nicht. In beiden Fällen werden die Nerven durch einen von außen kommenden Bewegungszustand selbst in Bewegung gesetzt: in jenem durch die Schwingungen irdischer Kör- per; in diesem durch Aetherschwingungen, welche die Organe auch er- greifen. Aber ohne daß von diesen wie auch von den anderen Nerven, z. B. denen des Tastsinnes, eine zu unserem Gehirn bewusste Vermitte- lung stattfindet, haben wir keine Empfindung von Schall, Licht, Wärme,

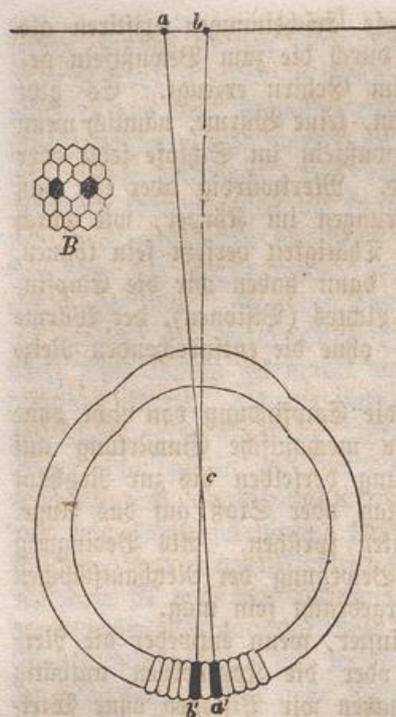
ja von den Körpern überhaupt, oder diese Erscheinungen existiren als solche nicht außer uns, sondern werden durch die zum Bewußtsein gelangende Erregung unserer Nerven erst im Gehirn erzeugt. Es gibt also in zwei Fällen keinen Schall, kein Licht, keine Wärme, nämlich wenn entweder die Aufmerksamkeit und das Bewußtsein im Schlafe fehlt oder wenn die Nerven krank und unthätig sind. Merkwürdig aber ist, daß die Nerven durch eigenthümliche Veränderungen im Körper, wie durch allzugroßen Blutandrang, in eine solche Thätigkeit versetzt sein können, wie durch eine Erregung von außen und dann haben wir die Empfindungen des Schalles (Ohrenklingen), des Lichtes (Visionen), der Wärme oder Kälte (Fieberhitze und Kälte) auch ohne die entsprechenden Reize von außen.

Funkensehen. Aber wir können die Empfindung von Licht ohne eine äußere Quelle auch durch eine rein mechanische Einwirkung auf den Augapfel und durch die Fortpflanzung derselben bis zur Netzhaut erlangen, wie durch einen heftigen Schlag oder Stoß auf das Auge. Wir sehen dann gewissermaßen Funken sprühen. Als Bedingung der Lichtempfindung ist also allein die Bewegung der Netzhautstäbchen anzusehen, gleichgiltig, wie dieselbe hervorgebracht sein mag.

Die Welt wäre also lautlos und finster, wenn entweder die Nerven der betreffenden Organe krankhaft oder die Kopfnerven unthätig wären. Sind letztere allein thätig, so haben wir Visionen ohne Wirklichkeit. — Aus solchen und ähnlichen Betrachtungen haben Naturphilosophen die Existenz des Stoffes überhaupt in Abrede gestellt; dieser Ansicht widerspricht aber die Wirklichkeit allzusehr, als daß wir ihr blinden Glauben schenken könnten.

Daß wir, ungeachtet das Netzhautbildchen verkehrt ist, den Gegenstand doch in der richtigen Lage wahrnehmen, liegt darin, daß wir dieses Bild nicht sehen, sondern empfinden. Wir versetzen den Ort, von welchem Lichtstrahlen ausgehen, stets nach der Richtung hin, in welcher die Netzhaut unmittelbar getroffen wird. Die unten eintreffenden Strahlen kommen von oben, die oben eintreffenden von unten u. s. w., da die Lichtstrahlen innerhalb des Auges einander durchschneiden

Gränze des Sehens. Das auf der Netzhaut entstehende Bildchen steht in räumlicher Hinsicht in genauer Beziehung zu der Entfernung und Größe des äußeren Gegenstandes und die Menge der von dem Bildchen eingenommenen Stäbchen und Zapfen steht wieder mit der zum Bewußtsein gelangenden Erregung im genauesten Zusammenhange. Dieses läßt sich aus Fig. 346 entnehmen, wo im Hintergrunde des Auges ein vergrößerter Theil des gelben Fleckes mit seinen mosaikartig geordneten Zapfen im Querschnitte und seitwärts bei B in der Vorderansicht dargestellt ist. Jedes Stäbchen wirkt für sich wie eine Taste und der Nerv telegraphirt den empfangenen Eindruck an das Gehirn, wo er auf eine uns völlig unbekannt Weise zu unserem Bewußt-



(Fig. 346.)

sein gelangt. Sollen nun zwei äußere Punkte *a* und *b* in uns abgesonderte Eindrücke hervorbringen, so müssen die von ihnen ausgehenden und im Auge bei *c* unter dem Schwinkel *acb* einander durchschneidenden Strahlen auch auf zwei besondere Zapfen *a'* und *b'* eintreffen. Bedeuten *a* und *b* zwei Punkte und entfernt man sich von ihnen, so treten sie, indem der Schwinkel abnimmt, endlich dicht aneinander und dann werden auch *a'* und *b'* nebeneinander liegen. Wird aber der Winkel kleiner als 1 Sekunde, so fallen die Punkte scheinbar aufeinander und wir empfangen auch nur von einem Zapfen eine optische Nachricht.

Bisweilen erscheinen uns selbst ganz nahe und nicht etwa von Dünsten umgebene Gegenstände, wie z. B. eine Kerzenflamme, selbst bei übrigens gefunden Augen von farbigen Kreisen mit Wiederholung der Farbenfolge

von Roth zu Blau umgeben. Dies liegt nur daran, daß die Oberfläche des Auges nicht ganz rein, sondern schleimig ist, wie es öfters der Fall ist, wenn man die Augenlider lange geschlossen hat. Die Folge der Farben ist entgegengesetzt der beim Regenbogen.

Das Binokularsehen. Ferner ist bemerkenswerth, daß wir, wenn die Augen gesund sind, einen einzeln uns vorgehaltenen Gegenstand auch nur einzeln sehen, obwohl beim Sehen mit beiden Augen oder dem Binokularsehen in jedem der beiden Augen ein Netzhautbildchen entsteht. In diesem Falle sind die Verlängerungen der Augenachsen stets nach dem betrachteten Punkte gerichtet. Man erkennt dieses sehr leicht, wenn man den Punkt den Augen allmählig näher bringt, daran, daß der Winkel, welchen die verlängerten Augenachsen bilden, immer größer wird, damit das Bild auf den gelben Fleck der Netzhaut beider Augen treffe. Wenn man die Netzhäute beider Augen so aufeinander legen könnte, daß die Mitten der gelben Flecke zusammenfielen, so könnten die beiden Bilder zum Decken gebracht werden. Es sind also die gleichgelegenen Nervenpartien auf beiden Netzhäuten nur die Verzweigungen eines gemeinschaftlichen zum Gehirne führenden Nervenstammes. Daß wir mit beiden gleich gefunden Augen einen Gegenstand deutlicher erkennen, als bloß mit dem einen Auge, ist ebenso natürlich, als wie wir

mit beiden Ohren gleichzeitig besser hören, als mit dem einen. Wenn wir auch mit den beiden Ohren nach zwei entgegengesetzten Seiten hören, so erscheint uns ein einfacher Schall nicht als ein doppelter, ebenso wenig, als ein Gegenstand, welchen wir mit beiden Händen bei geschlossenen Augen umfassen, doppelt wird. Es ist ein großes Glück, daß uns die Verletzung des einen Auges noch nicht blind macht. — Aber auch wenn wir den Augen mehre Gegenstände gleichzeitig gegenüber halten, erscheint uns dann keiner von ihnen doppelt, wenn wir nur einen derselben aufmerksam betrachten. Die neben diesem befindlichen haben zwar jeder auch ihre Netzhautbildchen, aber diese Bilder folgen in beiden Augen in derselben Ordnung aufeinander oder haben eine symmetrische Lage, wenn auch von den Mitteln aus in umgekehrter Aufeinanderfolge. Daß die anderen Gegenstände weniger deutlich erscheinen, ist natürlich, weil ihre Bilder nicht auf den gelben Fleck fallen.

Es ist nun leicht einzusehen, daß wir unter Umständen nicht blos mit beiden Augen oder beim Binokularsehen, sondern selbst schon mit einem Auge einen einzelnen Gegenstand doppelt sehen können, nämlich wenn sich im ersten Falle von ihm auf unsymmetrischen Stellen der beiden Augen die Bilder gestalten oder wenn sich auf dem einen Auge zwei Bilder erzeugen.

Ein einzelner Gegenstand erscheint, mit beiden Augen betrachtet, doppelt, wenn man die Augenaxen in eine unnatürliche Lage gegeneinander bringt, mag es nun sein, daß man zu schielen sich zwingt oder daß man auf das eine Auge einen Seitendruck ausübt. Ferner, wenn man von zwei ungleich weit entfernten Punkten nur den einen scharf ansieht und den anderen nur nebenbei beachtet. Der letztere, mag es nun der nähere oder der entferntere sein, erscheint dann jedesmal doppelt. Ist der entfernte Punkt der fixirte, so erscheint der nähere dem rechten Auge links, dem linken Auge rechts; ist der nähere Punkt der fixirte, so erblickt das rechte Auge den Punkt rechts auch rechts, das linke Auge den Punkt links auch links von dem näheren Punkte. In beiden Fällen kann man sich davon überzeugen, wenn man abwechselnd das rechte und das linke Auge schließt. Im ersten Falle liegt das Netzhautbild des entfernteren Punktes im rechten Auge rechts, im linken Auge links von der Mitte. — Der erwähnte Versuch läßt sich leicht anstellen, wenn man in der Entfernung von etwa 8 Schritten ein brennendes Licht und vor ihm ein dunkles Stäbchen 8 bis 10 Zolle von den Augen entfernt aufstellt.

Wenn man den Scheitel eines nur wenig geöffneten Zirkels zwischen die beiden Augen anlegt und den Zirkel etwas herabneigt, so sieht man jeden der beiden Schenkel mit jedem Auge, also vier Schenkel, wenn nicht etwa die Nase einen derselben verdeckt, und die beiden mittleren können zum Kreuzen gebracht werden. — Einen ähnlichen Versuch kann

man mit einem weißen Bande anstellen, welches man um den Hals legt und zu einem Winkel anspannt.

Mit einem Auge sieht man einen Gegenstand doppelt, wenn man durch zwei in einer Entfernung von etwa $\frac{1}{2}$ Linien auf einem steifen Papiere angebrachte ganz kleine Oeffnungen, welche man dem Auge sehr nahe hält, auf einen jenseits des Papieres entweder allzunahel oder allzufern gehaltenen kleinen Körper, z. B. eine Stecknadel, sieht. Wird die Nadel allzunahel gehalten, so durchkreuzen die durch die Oeffnungen gegangenen feinen Strahlenbündel erst hinter der Netzhaut; wird sie allzufern gehalten, schon vor ihr, so daß in jedem Falle auf ihr zwei, wenn auch nicht ganz scharfe Bilder entstehen. Es gibt aber jenseits des Papieres eine Stelle, in welcher die Nadel nur einfach erscheint, weil nur ein Bild auf der Netzhaut entsteht und ihre Entfernung vom Auge ist die Weite des deutlichen Sehens.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich, daß symmetrisch gelegene Stäbchen oder Zapfen der Netzhaut eine gemeinschaftliche Nervenverbindung mit dem Gehirne haben müssen, unsymmetrisch gelegene aber verschiedene. Die Anatomie des Auges ergibt auch die Anzahl der Nervenfasern des Sehnervens viel geringer, als die der Stäbchen und Zapfen auf beiden Augen. — Mit den Gefühlsnerven hat es eine ähnliche Verwandtschaft. Die an den Berührungsstellen zweier benachbarten Finger in ihrer natürlichen Lage (die rechte Seite des einen und die linke des anderen) befindlichen Nerven sind die Ausläufer desselben Stammes; aber die an den beiden äußeren Seiten derselben zwei Finger nicht. Rollt man daher ein einzelnes Kügelchen, z. B. eine kleine Erbse, im ersten Falle zwischen den beiden Fingern, so fühlt man auch nur eines; kreuzt man aber die Finger, so daß das Kügelchen beim Rollen die beiden äußeren Seiten der Finger gleichzeitig berührt, so fühlt man in überraschender Weise das eine Kügelchen doppelt.

Das Sehen mit beiden Augen dient wesentlich zur Unterstützung unseres Urtheils über die wahren Entfernungen der Gegenstände. Wenn wir bei einer gewissen Größe der Netzhautbilder die Augenaxen in eine sehr konvergente Stellung bringen müssen, um einen Gegenstand deutlich zu erkennen, so werden wir ihn für näher halten, als wenn bei seinem Anblicke die Augenaxen in einer mehr parallelen Lage sich befinden. Welche andere Umstände noch einwirken zur Beurtheilung der wahren Entfernung und Größe der Gegenstände, ist früher schon erwähnt worden. (Vergl. Bd. II., S. 22).

Von besonderem Interesse sind bei dem Binokularsehen die stereoskopischen Erscheinungen. Wenn wir auf eine vor uns ausgebreitete nahe Landschaft hinstarren, so befähigt uns die Verschiedenheit der scheinbaren Größe von den Gegenständen, deren wahre uns aus der Erfahrung bekannt ist, ferner der verschiedenen Grad der Helligkeit, mit welcher sie uns erscheinen und die Vertheilung der Schatten sowohl bei

verschiedenen, als an einzelnen Körpern zu dem Urtheile über die verschiedene Lage und die Gestalt der Gegenstände; es treten die einzelnen als selbstständig vor den anderen wirklich körperlich oder plastisch hervor. Mangeln uns jene Kennzeichen, so erscheint vor uns ein auf eine einzige Fläche ausgespanntes Gemälde. Will der Maler auf einer Ebene uns ein landschaftliches oder anderes Gemälde täuschend vorführen, so hat er mit der größten Sorgfalt auf jene Merkmale der Perspektive zu achten.

Wenn wir bei derselben Stellung des Kopfes einen nicht sehr entfernten Gegenstand abwechselnd mit nur dem einen Auge ansehen, so zeigen sich zwei verschiedene Ansichten: das linke Auge sieht einen Theil der linken Seite, welcher dem rechten verdeckt ist und umgekehrt. Wenn man nun zwei solche Ansichten photographisch, also ganz treu, aufnimmt und sie nebeneinander jedem Auge die zu ihm gehörige zum Anblicke getrennt darbietet; so zeigt sich in der überraschendsten Weise das ganze Bild vollkommen plastisch, sobald es gelungen ist, beide Bilder beim Anblicke zum Decken zu bringen. Dies gelingt zwei vollkommen gleich beschaffenen und gesunden Augen sehr leicht; sowie aber die beiden Augen irgend eine Verschiedenheit darbieten, kostet es einige Zeit und Anstrengung, ehe das Bild plastisch aus dem Grunde gleichsam hervorz wächst. — Die beiden in der That verschiedenen Netzhautbilder werden zu einem Ganzen zusammengesetzt und als solches zu unserem Bewußtsein gebracht. — Wie die beiden Bilder einzeln zu den beiden Augen gelangen, ob durch Linsen, Spiegel oder Prismen ist vollkommen gleichgiltig. Es reichen sogar zwei Oeffnungen in einem Papiere hin, wenn sie die Entfernung der beiden Augen von einander und etwa 2,3 Linien Durchmesser haben. Man nähert das Blatt Papier, während man die Doppelzeichnung ansieht, so weit, bis beide Oeffnungen in eine und beide Bilder in eines verschwimmen und dann erscheint das Reliefbild.

Hierher gehört noch eine ganze Reihe recht interessanter Beobachtungen, welche auch einen praktischen Nutzen gewähren. Wir wissen, daß die Kalkspathkrystalle in ihrer natürlichen Form das Licht doppelt brechen, oder daß es dieselben mit einer zweifachen Geschwindigkeit durchgeht. Betrachtet man eine ebene Zeichnung unter dem Krystalle nur mit einem Auge darüber, so erscheint das Doppelbild in einer Ebene; betrachtet man sie mit beiden Augen, so erscheinen die beiden Bilder in verschiedenen Ebenen. Fertigt man nun z. B. eine Druckschrift an, wie sie sich binokular durch einen Kalkspath gezeigt hat, und betrachtet man durch ein Stereoskop, in welchem auf der einen Seite das Original, auf der anderen die Ansicht derselben durch den Krystall liegt, beide Schriften; so zeigt sich die überraschende Erscheinung, daß entweder die einzelnen Zeilen oder die einzelnen Worte derselben Zeile, ja selbst die einzelnen Buchstaben desselben Wortes in ganz verschieden entfernten Flächen erscheinen. Wenn also mit doppelten Textzeilen mehre Worte in einer

Zeile hintereinander, auf dem einen Bilde in etwas größeren Abständen, als auf dem anderen gedruckt sind, so zeigen die Worte im Stereoskope sich treppenförmig. Ist also in den beiden Zeichnungen nicht die absolute Uebereinstimmung, so zeigt diesen Mangel das Stereoskop. — Auf diese Weise kann man eine falsche Banknote leicht von einer ächten, einen Nachdruck vom Originale leicht unterscheiden, denn die geringste Verschiedenheit zeigt sich sofort im Stereoskope. — Ja, wenn sogar mit demselben Prägestempel aus verschiedenen Metallen und Metalllegirungen Münzen geprägt werden, so kann man dies im Stereoskope erkennen, indem sich beim Decken entweder in der Münze eine kesselförmige Vertiefung oder eine ähnliche Erhabenheit zeigt. Die Gepräge haben nämlich nicht gleiche Tiefe wegen der ungleichen Härte der Metalle. — Man kann ferner untersuchen, ob die Theilung zweier Maßstäbe absolut dieselbe und genau ist. — Auch sogar für die Astronomie erwächst daraus ein Nutzen. Wenn man die Stellung zweier einen Doppelstern bildenden Sterne stereoskopisch aufgenommen hat, so läßt sich aus einer späteren Aufnahme, welche scheinbar dieselbe Stellung zeigt, durch die stereoskopische Betrachtung beider Aufnahmen erkennen, ob sie auch wirklich dieselbe ist.

Man hat endlich auch teleskopische und mikroskopische Stereoskope konstruirt, um mit jenen entfernte Gegenstände (Landschaften), mit diesen nahe und kleine Gegenstände plastisch zu sehen. Bei jenen müssen die Objektivgläser der beiden Teleskope 4 Fuß und darüber entfernt, bei diesen ganz nahe und gegen das Objekt hin gerichtet sein; bei beiden haben die Okulare die Entfernung der beiden Augen.

Es ist übrigens noch bemerkenswerth, daß man in derselben Ebene befindliche und verschieden gefärbte Dinge auch ohne alle Hilfsmittel in verschiedenen Ebenen sehen kann. Es ist mir selbst, freilich bei einiger Anstrengung der Augen, wiederholt gelungen, bei dem grauen durchscheinenden Zeuge mit schwarzen Kreuzen und Punkten, welches zur Fensterrolle diente, in einer Entfernung von etwa 3 Fuß die schwarze Zeichnung gegen $1\frac{1}{2}$ Fuß tiefer liegend zu erblicken, als das Gewebe, auf welchem sie war.

Beim Sehen ist stets die Absicht, deutlich zu sehen. Das deutliche Sehen hängt bei gesunden Augen von der Stärke der Beleuchtung, von der Entfernung des Gegenstandes und von der Dauer des Lichteindrucks ab. Wir wollen diese drei Umstände etwas näher untersuchen.

1) Lichtstärke. Damit ein Körper uns deutlich sichtbar sei, ist nothwendig, daß er für den jedesmaligen Zustand des Auges einen hinreichenden Grad der Lichtstärke habe, mag es nun eigenes oder zurückgeworfenes Licht sein, und daß diese in einem gewissen Grade die der umgebenden Körper übertreffe. Bei unbedecktem Himmel sehen wir in der Nacht selbst sehr kleine und lichtschwache Sterne, während wir sie bei Sonnenschein nicht zu erkennen vermögen, es sei denn, daß wir das

Sonnenlicht durch besondere Mittel von unserem Auge abhalten, wie wenn wir uns in einem tiefen und finsternen Schachte befinden oder durch ein langes und innerhalb geschwärztes Rohr sehen. Eine Flamme von Spiritus oder von Wasserstoffgas verschwindet bei hellem Tageslichte meist ganz für unser Auge, ist aber im Finstern sehr gut sichtbar. Je stärker der Kontrast zweier gleichzeitig auf unser Auge wirkenden Lichtquellen ist, desto weniger können wir das schwächere Licht wahrnehmen. Aber auch die Verschiedenheit der Farbe und der mit ihr verbundene Grad der Helligkeit erleichtert uns die Wahrnehmung verschiedener Gegenstände.

Durch den Kontrast der Lichtstärke werden Gegenstände nicht bloss deutlich, sondern überhaupt sichtbar: die hellen Fixsterne mit ihrem so außerordentlich kleinen Durchmesser treten aus dem dunklen Weltraume, die Umrisse eines Gebirges aus dem hellen Himmel hervor; ein feines schwarzes Haar mit einem Gesichtswinkel von kaum 2 Sekunden wird vor einem hellen, ein feiner glänzender Silberdraht vor einem schwarzen Hintergrunde sichtbar.

Dazu kommt noch eine bewunderungswürdige Fähigkeit des Auges, sich für außerordentlich verschiedene Lichtstärken einzurichten. Nach vorgenommenen Messungen ist das Mondlicht 300000mal schwächer, als das der Sonne und dennoch erkennt man Gegenstände nicht nur auch bei jenem, sondern bei noch viel schwächerem Lichte. Tritt man freilich aus dem Finstern in das grellste Tageslicht, so ist das Auge geblendet und erkennt ebensowenig die Gegenstände, wie wenn man aus dem Tageslichte in einen nur matt erleuchteten Raum kommt. In beiden Fällen aber darf man dem Auge nur die nöthige Zeit gönnen, damit es sich für den neuen Lichtreiz einrichtet. Bei starkem Lichte zieht die Pupille sich sehr zusammen, damit nur wenige Strahlen ins Auge gelangen; bei schwachem erweitert sich dieselbe, um viele Strahlen in das Innere zu lassen. Für den letzten Fall erkennt man auch in ziemlich dunklen Kellerräumen die Gegenstände nach und nach und es scheint heller zu werden, obwohl es thätlich nicht der Fall ist. Das Auge der Thiere, welche ein Nachtleben führen, hat eine große Pupille.

Es gibt endlich nicht bloss wissenschaftlich, sondern auch optisch lichtschene Menschen, welche das gewöhnliche Tageslicht schon so sehr blendet, daß sie meistens nur abends und bei sehr schwacher Beleuchtung deutlich sehen können. Es sind dies die Albinos und Katerlaken. Jene sind weiß, diese braun mit weißen Flecken. Ihren rothen Augen fehlt das dunkle Pigment der Aderhaut.

2) Entfernung des Gegenstandes. Ist ein Gegenstand dem Auge allzu nahe, so treffen die von ihm ausgehenden Strahlen so sehr divergent, daß das Auge nicht im Stande ist, sie durch seine Brechung schon auf die Netzhaut zu einem Bilde zu vereinigen, sondern sie treffen einander erst hinter der Netzhaut. Ist der Gegenstand allzufern, so

kommen die Strahlen zu wenig divergent auf das Auge, vereinigen sich zu einem Bilde schon vor der Netzhaut und gehen dann wieder auseinander. In beiden Fällen entsteht auf der Netzhaut ein Zerstreuungskreis, welcher zwar die Empfindung von einem vorhandenen Gegenstande veranlaßt, ihn aber in seinen Theilen nicht genau erkennen läßt. Der oben angeführte Versuch mit den beiden kleinen einander ganz nahen Oeffnungen in einem Papierblatte zeigte uns schon, in welcher Entfernung ein Gegenstand dem Auge vorgehalten werden muß, damit die von ihm ausgehenden Strahlen nach der Brechung im Auge einander gerade auf der Netzhaut schneiden; sie beträgt für gesunde Augen 9 bis 10 Zoll, wobei der Sehwinkel des gut beleuchteten Gegenstandes mindestens 30 Sekunden sein muß.

Da die rothen Strahlen die geringste, die blauen die größte Brechbarkeit besitzen, so ist nach ihrer Brechung durch das Auge ihr Sammelpunkt nicht derselbe, auch wenn sie dasselbe unter einerlei Winkel treffen: die blauen Strahlen treffen einander früher, als die rothen. Wenn man daher ein Gitter von weißen Linien auf schwarzem Grunde durch ein blaues Glas ansieht, es allmählig so weit entfernt, daß es durch das Zusammenlaufen der Linien als Fleck erscheint und dann statt des blauen Glases bei gleichbleibender Entfernung ein rothes Glas vorhält; so erscheint das Gitter wieder und verschwindet erst in größerer Entfernung. Die deutliche Sehweite für das rothe Licht ist also größer, als die für das blaue und wenn man das Mittel zwischen ihnen nimmt, so bekommt man die für das weiße Licht. Eine zur genaueren Bestimmung geeignete Vorrichtung heißt ein Optometer. — In der deutlichen Sehweite muß demnach eine röthliche Kerzenflamme durch ein violettees Glas ohne Saum, d. h.: die rothe Flamme muß so groß, als die violette erscheinen. — Sieht man durch zwei kleine einander nahe Oeffnungen auf einen gut beleuchteten schmalen Gegenstand (einen feinen Spalt), so erkennt man denselben für rothe Strahlen bei einer größeren Entfernung als einfach, als für blaue Strahlen.

Wenn auch jedes gesunde Auge für das deutliche Sehen eines Gegenstandes eine gewisse Entfernung als die ihm am meisten zusagende verlangt, so ist es doch fähig, sich einer etwas kleineren oder größeren Entfernung anzupassen oder zu akkomodiren, indem sich für die näheren Gegenstände die Krystalllinse vorn etwas mehr abrundet, für die entfernteren etwas abflacht, damit in jenem Falle die Brechung vermehrt, in diesem vermindert werde. Dabei bemerkt man, daß die Pupille während der scharfen Betrachtung eines nahen Gegenstandes sich zusammenzieht, bei der eines entfernten sich erweitert, damit jedenfalls die zur Erzeugung des deutlichen Bildes nöthige Menge von Strahlen in das Auge trete und namentlich die in der Nähe der Aze liegenden. — Ein deutliches Sehen entweder eines ganz nahen oder eines sehr entfernten Gegenstandes ist ohne Akkomodation des Auges nur dann möglich, wenn

man durch eine einzige ganz feine Oeffnung, welche man dem Auge nahe hält, sieht; denn dann können von jedem Gegenstande nur wenige und sich in den beiden Fällen auch wenig von einander entfernende Strahlen durch die Pupille dringen. Es ist natürlich, daß der entfernte Gegenstand wenig hell und der nahe vergrößert erscheint, weil der Sehwinkel ein großer ist. — Bei dieser Gelegenheit mag noch erwähnt werden, daß man ein Schattenbild bemerkt, wenn man zwischen das Auge und eine feine Oeffnung in einem Kartenblatte einen kleinen Gegenstand, z. B. einen Stecknadelpfopf, bringt und jenseits eine Lichtquelle hat, wie etwa den heiteren Himmel oder eine Flamme. Man verlegt dieses Schattenbild jenseits der Oeffnung, sieht es in umgekehrter Stellung und entgegengesetzter Bewegung, wenn die Nadel bewegt wird.

Eigenthümlich ist es, daß das Anpassungsvermögen nicht für alle Richtungen gleich ist. Macht man auf eine schwarze Tafel ein Kreuz aus einer horizontalen und einer gleichstarken lothrechten Linie und entfernt man sich von der Tafel, so verschwindet den meisten Menschen die lothrechte Linie früher, als die horizontale, also ist das Anpassungsvermögen für lothrechte Gegenstände unvollkommener, als für vertikale.

Es gibt für jeden Menschen einen gewissen Nahepunkt und einen gewissen Fernpunkt, über welche hinaus jeder Gegenstand undeutlich wird und bleibt. Das Anpassungsvermögen hat also seine Grenzen. Die Weite des deutlichen Sehens liegt in ihrer Mitte. Liegen diese beiden Punkte dem Auge sehr nahe, also näher als die mittlere Sehweite, so ist das Auge kurzsichtig; liegen sie entfernt, so ist es weitsichtig. Wer das Anpassungsvermögen durch einseitigen Gebrauch vernachlässigt, dessen Auge fällt leicht in einen der beiden Fehler. Der Gensenjäger wird leicht fernsichtig, der Kartenzeichner leicht kurzsichtig; jener kann also zu nahe, dieser zu entfernte Gegenstände nicht mehr erkennen; bei jenem sind die lichtbrechenden Theile des Auges zu flach, bei diesem zu erhaben gebildet; bei jenem entsteht von den zu nahe gehaltenen Gegenständen das Bild hinter der Netzhaut, bei diesem vor ihr; jener verlangt eine allzugroße Entfernung, dieser eine allzugroße Annäherung des Gegenstandes, wenn das Bild sich auf der Netzhaut selbst bilden soll. Dem Weitsichtigen ist der Fernpunkt zu weit, dem Kurzsichtigen zu nahe.

Diesen Fehlern des Auges begegnet man durch Brillen. Da das Auge des Weitsichtigen die Lichtstrahlen zu wenig bricht, so müssen ihm konvexe Brillengläser, also Sammelgläser, vorgehalten werden, damit in der Entfernung der deutlichen Sehweite das Bild grade auf die Netzhaut komme. Das Auge des Kurzsichtigen bricht zu stark, es bedarf also zur Erreichung desselben Zweckes eines konkaven oder eines zerstreuenden Glases. Einem durchsehenden Auge zeigen konvexe Gläser die Bilder in größerer und konkave in kleinerer Entfernung und so will sie ja beziehungsweise der Weit- und der Kurzsichtige haben.

Einem gesunden Auge sind Brillen nachtheilig, denn konvexe machen es weitsichtig, konkave aber kurzsichtig. Ebenso sind Vornetten und Nasenklemmer verwerflich, weil sie das Auge zu einer allzuhäufigen Anpassung zwingen und es auf diese Weise abschwächen. Dagegen sind gut gewählte, nicht zu scharfe Brillen geeignet, nicht nur in der angemessenen Entfernung deutlich zu sehen, sondern auch Verschlimmerungen, welche durch fortwährende Anstrengungen des Auges eintreten würden, vorzubeugen, ja unter Umständen zu heilen. Die Weitsichtigen schonen durch die Brille das Auge beim Nahesehen, die Kurzsichtigen beim Weitsehen.

Wenn man unter dem Gebrauche der Brille eine gedruckte Schrift von 1 Linie Buchstabenhöhe in einer Entfernung von 10 bis 12 Zoll anhaltend ohne Ermüdung des Auges und ohne daß sie kleiner oder größer erscheint, lesen kann, so dürfte im Allgemeinen die Brille passend sein. Dabei muß ihr Glas ganz rein sein, die krummen Flächen müssen ihre erhabensten und tiefsten Stellen genau in der Mitte der Gläser haben oder sie müssen, wie man sagt, gut zentriert sein; das Gestell muß den Gläsern eine so feste Lage vor den Augen geben, daß die Mittelpunkte der Gläser vor der Mitte der Augen liegen. Ovale Gläser sind für das Sehen in die Ferne geeignet, weil man leicht unter und über ihnen hinweg sehen kann, wenn man einen ganz nahen Gegenstand ansehen will; für Weitsichtige aber sind runde Gläser geeignet. — Wenn Augen ein zu starkes Licht nicht vertragen können, so wendet man Schutzbrillen an, welche aus weißen oder blauen ebenen Gläsern bestehen. Sind konvexe oder konkave Gläser farbig, so sind die dünneren Stellen heller, als die dickeren, was für das Auge nicht gut ist. Man sucht diesem Uebelstande durch die isochromatischen Gläser, welche aus gefärbten und ungefärbten zusammengesetzt sind, zu begegnen.

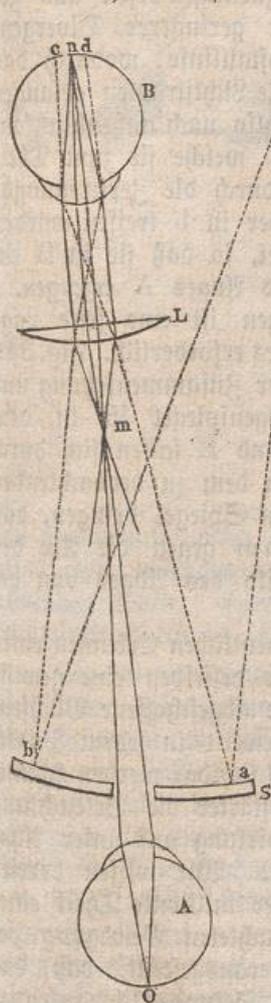
Da die Strahlenbrechung aus Wasser in das Auge schwächer ist, als aus der Luft; so muß man, um unter dem Wasser auch mit sonst gesunden Augen deutlich zu sehen, eine Konvexlinse von etwa $\frac{1}{2}$ Zoll Brennweite anwenden. Die Krystalllinse im Auge der Fische ist daher fast kugelförmig.

Wenn die Kapsel der Krystalllinse oder sie selbst oder auch beide eine Trübung erfahren, welche theils von dem Gesundheitszustande des ganzen Körpers herrühren, theils aber auch eine Folge mangelhafter Ernährung desselben sein kann; so heißt diese Krankheit der graue Staar. Die Heilung besteht entweder in der Herausnahme, oder in der Verschiebung oder der Zerstörung der Linse. Der Genesene muß sich dann als Ersatz für die Krystalllinse einer Staarbrille, d. h. einer Brille mit stark konvexen Gläsern bedienen. Der schwarze Staar dagegen ist wohl unheilbar, weil er in einer völligen Unthätigkeit der Netzhaut besteht, welche entweder ein organischer Fehler ist, oder durch verschiedene Umstände herbeigeführt werden kann. Häufig geht

Erblindung die Erscheinung der sogen. fliegenden Mücken (*mouches volantes*) voran, welche aber auch sonst vorkommt.

Da es noch viele andere Krankheiten des Auges gibt, so hat man sich bemüht, Mittel aufzufinden, um in das Innere desselben zu sehen. So wie es einen Ohrenspiegel gibt, welcher gestattet, bis an das Trommelfell zu sehen, so hat man auch einen Augenspiegel erfunden, welcher aber zusammengesetzter ist.

Wir können wohl auch ohne alle Hilfsmittel durch die durchsichtige Hornhaut und die Pupille in das Innere des Auges sehen, aber es erscheint uns schwarz, theils weil die Aderhaut die auf sie gekommenen Strahlen größtentheils vernichtet, theils weil die aus dem Auge tretenden Strahlen denselben Weg verfolgen, wie die eingetretenen, so daß



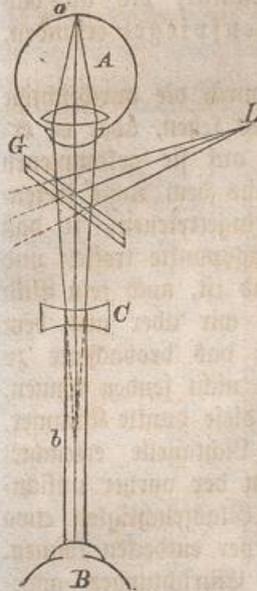
(Fig. 347.)

Spiller, *Physik*. II.

sie einander im Ausgangspunkte treffen und dort, wo der Gegenstand ist, auch sein Bild erzeugen würden. Da wir aber aus dem beobachtenden Auge in das beobachtete zu dessen Erleuchtung Licht nicht senden können, so muß sein Inneres, diese dunkle Kammer, durch eine besondere Lichtquelle erleuchtet werden, wodurch wir in der vorher unsichtbaren Krystalllinse und Glasfeuchtigkeit etwa vorhandene fremde Körper entdecken können. Man hat verschiedene Einrichtungen angewendet.

In Fig. 347 ist in F eine Lichtflamme, die Strahlen, wie Fa und Fb, gelangen auf einen Hohlspiegel S, welcher sie konvergent macht; durch eine plankonvexe Linse L werden sie noch konvergenter, so daß sie einander jenseits derselben schneiden und wenn nun das zu beobachtende Auge B so gestellt wird, daß die auf dasselbe divergent auffallenden Strahlen in ihm parallel werden; so wird sein Inneres stark erleuchtet. Wenn nun selbstständig Lichtstrahlen von jedem Punkte, wie von n, divergirend ausgehen, so bricht sie das Auge selbst schon, daß sie parallel werden können, die Linse L wird sie dann in ihrem Brennpunkte m zwar sammeln und dort ein Bild erzeugen, dieses aber kann man, ohne die vom Spiegel ankommenden Beleuchtungsstrahlen abzuhalten, nicht beobachten, sondern muß sie weiterfort und durch die Oeffnung

des Spiegels gehen lassen, um sie diesseits desselben mit dem beobachtenden Auge, auf welches sie divergirend ankommen, aufzufangen und so in *o* zu sehen, was in der Richtung nach *n* im Auge ist. Was von dem Punkte *n* gilt auch von anderen Punkten.

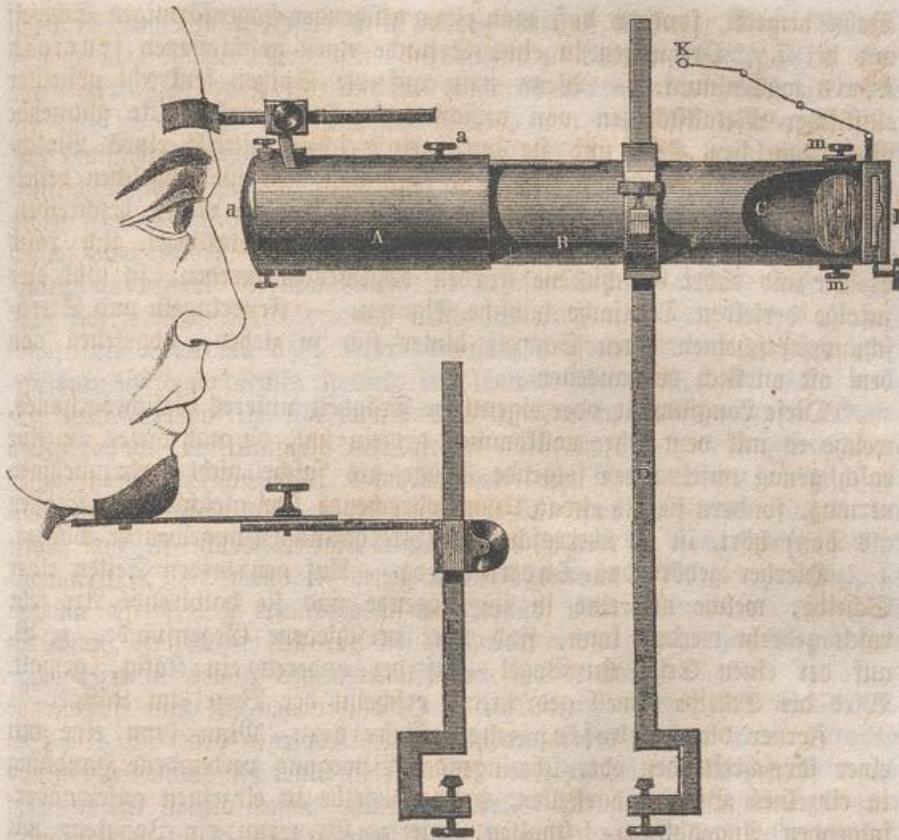


(Fig. 348.)

Fig. 348 stellt eine veränderte Einrichtung dar, bei welcher *L* ein Licht, *G* eine gut geschliffene Glasplatte, *C* eine bikonkave Linse, *A* das zu beobachtende Auge und *B* das des Beobachters ist. Die von *L* auf die Glasplatte divergirend ankommenden Strahlen gehen theils mit derselben Divergenz jenseits fort, wie die punktirten Linien andeuten, theils werden sie zurückgeworfen und gelangen in das Auge mit geringerer Divergenz namentlich jenseits der Krystalllinse, wodurch das Innere erleuchtet wird. Die Lichtstrahlen gelangen nun auf demselben Wege, also nach außen hin konvergent, zurück zur Platte, welche sie zum Theil durchläßt; dann gehen sie durch die Zerstreuungslinse früher, als sie einander in *b* treffen würden und werden dadurch parallel, so daß sie in *B* ein Bild von dem Inneren des Auges *A* erzeugen.

Zu diesen Beobachtungen ist eine feste Lage des Auges und ganzen Kopfes erforderlich. Fig. 349 zeigt einen Apparat in seiner Zusammensetzung und zur Beobachtung geeignet. Der eigentliche Augenspiegel ist in dem Rohre *dl* eingeschlossen; seine beiden Theile *A* und *B* lassen sich durch die Stellschraube *a* in eine solche Entfernung von dem zu beobachtenden Auge und dem in der Durchbrechung vorhandenen Spiegel bringen, daß in dem letzteren, welcher durch die Schrauben *mm* gegen die Ase des Rohres angemessen gestellt werden kann, das Bild des Auges von der Seite her sichtbar ist.

3) Dauer des Lichteindrucks. Zum deutlichen Erkennen eines Gegenstandes gehört bei einer gewissen Lichtstärke desselben eine gewisse Dauer des Lichteindrucks auf unser Auge. Eine abgeschossene Bleikugeln sendet wenig Licht von sich aus und verweilt in jedem Punkte ihrer Bahn eine allzukurze Zeit, als daß sie uns sichtbar werden könnte. Je mehr aber ein Körper selbst leuchtet oder je stärker die Beleuchtung desselben ist, desto kürzere Zeit braucht die Einwirkung auf unser Auge zu sein, um einen bewußten Eindruck zu machen. Wir wissen bereits (Bd. II., S. 35), daß beim elektrischen Funken der millionte Theil einer Sekunde vollkommen ausreicht. Aus der beobachteten Bewegung der Fixsterne und der Sternenbedeckung hat sich herausgestellt, daß das Auge verschiedener Astronomen einer bis zu $\frac{1}{4}$ Sekunde schwankenden Zeit bedarf, um sich eines Lichteindrucks bewußt zu werden. — Wird



(Fig. 349.)

ein Speichenrad rasch genug gedreht, so kann man die einzelnen Speichen nicht mehr erkennen und ebensowenig die einzelnen Schwingungen einer tönenden Saite. Hier ist bei einer nicht allzuraschen Bewegung der Lichteindruck ein zu schwacher.

So wie einerseits das Auge einer bestimmten, wenn auch unter Umständen äußerst kurzen Zeit bedarf, um einen Eindruck zum Bewußtsein gelangen zu lassen, so verliert es auch andererseits die einmal empfangene Lichtempfindung nicht sofort, wenn auch die wirkende Ursache aufgehört hat, sondern behält sie eine, wenn auch kurze Zeit fest, und zwar in einem dunklen Raume etwa $\frac{1}{2}$, in einem hellen $\frac{1}{6}$ Sekunde, im Mittel höchstens etwa 0,34 Sekunden in abnehmender Folge von Weiß, Gelb, Roth, Blau. — Daraus ist erklärlich, daß die Umrisse eines Körpers verschwinden, wenn er in 1 Sekunde bei der Drehung in einem Kreise einen Bogen von etwa 200° , daß er bei mehr als 365° Drehung selbst verschwindet und daß man eine im Kreise rasch genug gedrehte glühende Kohle nicht in den einzelnen Punkten ihrer

Bahn bemerkt, sondern daß man einen glühenden bogenförmigen Schweiß und bei $7\frac{1}{2}$ Drehungen in einer Sekunde einen geschlossenen feurigen Kreis wahrnimmt. — Wenn man auf die Spitzen senkrecht gestellter elastischer Metallstäbchen von verschiedener Form und Dicke glänzende Metallkugeln steckt und sie durch Aufstreichen mittelst eines Violinbogens zum Tönen bringt; so sieht man von dem im Kugeln reflektirten Lichtpunkte hübsche verschieden geformte krumme Linien beschreiben. Dies ist das Kaleidophon. — Wenn Feuerwerkskörper sich rasch drehen und dabei verschiedene Farben angewendet werden, so gibt dies zufolge derselben Thatsache hübsche Figuren. — Feuerkugeln und Sternschnuppen scheinen einen Schweiß hinter sich zu ziehen, abgesehen von dem oft wirklich vorhandenen.

Diese Langsamkeit oder eigentliche Trägheit unseres Gesichtes, welche es mit dem Ohre vollkommen gemein hat, da auch dieses einzelne rasch genug aufeinander folgende Stöße als solche nicht wahrzunehmen vermag, sondern sie als etwas Ununterbrochenes (bei gleichzeitigen Stößen als Ton) hört, ist zu überraschenden Unterhaltungen angewendet worden.

Hierher gehört das Thaumatrop. Auf den beiden Seiten einer Scheibe, welche um eine in ihr liegende und sie halbirende Axe sehr rasch gedreht werden kann, sind zwei verschiedene Gegenstände, z. B. auf der einen Seite ein Vogel, auf der anderen ein Käfig, gemalt. Wird die Scheibe schnell gedreht, so erscheint der Vogel im Käfig.

Ferner die stroboskopischen Scheiben. Man kann eine mit einer fortschreitenden oder schwingenden Bewegung verbundene Handlung in einzelnen Bildern darstellen, welche dieselbe in einzelnen aufeinanderfolgenden Augenblicken festhalten, wie z. B. wenn ein Jongleur mit zwei oder mehren Kugeln spielt. Man kann den Kreislauf eines Spieles in etwa 10 aufeinanderfolgende Abschnitte, in denen der Spieler und seine Hand, sowie die Kugeln eine verschiedene Lage haben, dargestellt zerlegen. Wenn nun diese Darstellungen von einem Auge hinreichend rasch hintereinander gesehen werden, so verbindet es dieselben in einer überraschend täuschenden Weise zu der vollständigen Handlung. Auf eine ähnliche Weise kann man darstellen, wie ein Turner das Bockspringen u. s. w. übt.

Die Vorrichtung zur Hervorbringung dieser Erscheinungen ist ganz einfach. Eine Scheibe von steifem Pappdeckel und etwa 10 Zoll Durchmesser ist drehbar um eine durch ihre Mitte senkrecht gehende Axe und ihr parallel ist ein Spiegel. Auf der dem Spiegel zugewendeten Seite der Scheibe sind am Umfange in gleichen Abständen die Bilder und der Rand hat Ausschnitte oder Oeffnungen in ebenfalls gleichen Entfernungen, um durch sie die gedrehten Spiegelbilder anzusehen.

Hat die Scheibe 10 Oeffnungen und sieht man durch eine derselben, so erblickt man ihr Spiegelbild grade gegenüber; da aber auch bei der Drehung der Scheibe dieses stets der Fall ist, so scheinen alle

10 Oeffnungen ungeachtet der Drehung still zu stehen. Sind nun auf der anderen Seite unter den Oeffnungen z. B. 11 Räder gleich vertheilt gezeichnet, so daß, wenn das erste Rad unter der ersten Oeffnung ist, das zweite um $\frac{1}{11}$, das dritte um $\frac{2}{11}$ u. s. w., das eilfte um $\frac{10}{11}$ des Umfanges gegen die Oeffnungen voransteht, wenn man nach rechts und zurücksteht, wenn man nach links dreht; so ist in Wirklichkeit nach einer Umdrehung das erste Bild grade wieder unter der ersten Oeffnung, aber wegen der Dauer des Lichteindruckes hält man jedes grade gegenüberstehende für das vorige. Nun ist bei der Drehung nach rechts das zweite Rad um $\frac{1}{11}$, das dritte um $\frac{2}{11}$ u. s. w., das eilfte um $\frac{10}{11}$, das erste um $\frac{11}{11}$ oder den ganzen Zwischenraum zwischen zwei Oeffnungen nach rechts gerückt und somit scheint es, als habe nach 10 Umdrehungen der Scheibe das erste Rad in fortschreitender Bewegung den ganzen Umfang durchlaufen. — Es läßt sich aber außerdem dem Rade noch eine scheinbare Drehung um seine Aze ertheilen, wenn man seine Speichen so zeichnet, daß die eines jeden folgenden Rades um einen gewissen Antheil seines Umfanges gegen die des vorangehenden zurückstehen. — Sind bei 10 Randöffnungen nur 9 Räder gezeichnet, so ist die Bewegung der Räder rückgängig; wären für 10 Oeffnungen 5 Räder, so ständen die ersteren still und müßten lichtschwächer erscheinen, weil zu zwei Oeffnungen nur ein Rad gehört.

Eine nicht weniger interessante Erscheinung bietet das Anorthoskop dar. Auf derselben Drehungsaxe befinden sich zwei parallele Scheiben, welche sich mit gleicher oder verschiedener Geschwindigkeit entgegengesetzt drehen lassen; die eine Scheibe hat in gleichen Entfernungen Ausschnitte, durch welche man sehen kann, und auf der anderen sind verzerrte Zeichnungen. Hat die erste Scheibe 4 Ausschnitte, wird die zweite 4 mal schneller entgegengesetzt gedreht und ist die verzerrte Zeichnung so gemacht, daß je zwei Punkte in derselben Kreislinie 5 mal weiter von einander abstehen, als in dem richtigen Bilde; so zeigt sich das richtige Bild stillstehend 5 mal, indem jeder Punkt der bemalten Scheibe 5 mal schneller geht, als der entsprechende der vorderen Scheibe. — Die zweite Scheibe kann transparent sein und muß dann durch ein dahinter gestelltes Licht erleuchtet werden.

Ähnliche Erscheinungen zeigen sich an gedrehten Speichenrädern. Wird ein Rad mit graden Speichen vor einem Gitter mit graden Stäben gedreht, so erscheinen die Speichen gekrümmt. — Dreht man zwei Räder mit gleicher Speichenzahl um dieselbe Aze gleich schnell, aber entgegengesetzt, so erscheint ein feststehendes Rad mit so vielen Speichen, als die beiden Räder zusammen besitzen. — Durch Abänderung der Speichenzahl und Geschwindigkeit läßt die Erscheinung sich sehr abändern.

Sieht man durch eine gedrehte Scheibe mit Einschnitten auf einen an einem Faden im Kreise geschwungenen Körper, so scheint derselbe zu ruhen, so

daß man seine Gestalt wahrnehmen kann. Auf diese Weise ist es möglich, eine abgeschossene Kanonenkugel fliegen zu sehen.

Werden von einem dunklen Hintergrunde zwei helle krumme Linien in parallelen Ebenen nach derselben Richtung so gedreht, daß die Geschwindigkeit der einen ein genaues Vielfache von der der anderen ist; so entsteht das ruhende Bild einer ruhenden dritten krummen Linie, welche dunkler erscheint, als der Grund.

Eine recht angenehme Ueberraschung gewähren die Erscheinungen, wenn zwei kreisförmige Glasscheiben, auf denen durchscheinende buntfarbige krumme Linien gemalt sind, in parallelen Ebenen entgegengesetzt gedreht werden und man bringt die Bilder zum Decken. Es zeigen sich dann neben den Gestaltveränderungen die herrlichsten Farbewandlungen, weshalb eine dazu geeignete Vorrichtung, als welche der früher erwähnte Nebelbilderapparat sich vorzüglich eignet, ein Chromatrop heißt.

Darstellung des Weiß. Wenn man die sieben Regenbogenfarben durch eine Konverkluse in ihrem Brennpunkte vereint beobachtet, so hat man ein weißes Bild. Ob man nun diese Vereinigung außerhalb des Auges oder in ihm zufolge der Andauer des Lichteindrucks vornimmt, ist für den Erfolg gleichgiltig. Das bunte Farbenspektrum erscheint uns also weiß, wenn es hinreichend rasch innerhalb enger Grenzen so in Schwingung versetzt wird, daß die Stelle einer Farbe schnell hintereinander durch die übrigen eingenommen wird. — Der Versuch kann auch durch einen Kreisel gemacht werden, auf dessen Ebene die sieben Regenbogenfarben möglichst treu und in verhältnißmäßiger Lichtstärke aufgemalt sind, indem man den Kreisel in rasche Drehung versetzt. Seine Oberfläche zeigt dann sich annähernd weiß gefärbt. — Keines Weiß entsteht deshalb nicht, weil es nie gelingt, die 7 Naturfarben ganz treu und in der richtigen Lichtstärke nachzuahmen.

Wenn es auch scheint, als ob der Blitz eines Gewitters aus ununterbrochenen Linien bestände, so läßt sich doch durch den gedrehten Farbenkreisel nachweisen, daß er aus einer Menge von einzelnen getrennten Funken, welche eine Folge einer großen Menge schnell aufeinander folgender Entladungen sind, zusammengesetzt ist.

Kommen aus einer kleinen Oeffnung sehr rasch hintereinander einzelne Tropfen, so scheint es bei ihrem Fallen, daß ein ununterbrochener Strahl herabfällt. Ob das eine oder das andere stattfindet, läßt sich nach dem Obigen ermitteln.

Der absichtlich hervorgebrachte Schwindel beruht ebenfalls auf der Trägheit unseres Auges oder auf der Unfähigkeit, Eindrücke sofort zum Bewußtsein zu bringen und die empfangenen sofort zu verlieren, wenn die wirkende Ursache aufgehört hat.

Wenn wir etwa eine Minute lang mit ruhigem Auge einen ruhenden Punkt über einer gleichmäßig in einerlei Richtung bewegten Fläche,

auf welcher sich verschiedene Objekte bemerklich machen, scharf ansehen und dann auf einen bestimmten Punkt einer ruhenden Fläche sehen, worauf auch einzelne Punkte bemerkbar sind; so scheint diese in entgegengesetzter Richtung sich zu bewegen. Für den Erfolg ist es aber einerlei, ob sich das Bild im Auge oder dieses selbst bewegt und dies gibt dann, wenn wir uns rasch um uns selbst oder im Tanze drehen, sogar bei geschlossenen Augen, die Erscheinung des Schwindels. Hören wir auch auf uns zu drehen, so scheinen doch die äußeren Gegenstände sich noch entgegengesetzt zu drehen. Unser Auge ist während der eigenen schnellen Drehung nicht fähig, sich von den ihm sichtbaren Gegenständen eine klare Vorstellung zu machen, so daß Alles undeutlich verschwimmt und sich verwirrt, was einen widrigen Eindruck auf die Nerven macht, welcher sogar Uebelbefinden erzeugen kann.

Eine weitere Folge der Beschaffenheit unseres Gesichtorganes sind die Blendungsbilder. Hat man ein Lampen- oder Kerzenlicht anhaltend und starr angesehen, so bleibt die Flamme für unsere Wahrnehmung noch einige Zeit, wenn auch das Licht ausgelöscht und es ringsum finster ist oder die Augen geschlossen werden, aber nicht blos an der früheren Stelle, sondern nach allen Richtungen, nach welchen wir den Kopf wenden. Haben wir die Sonne angesehen, was öfters zu thun allerdings nicht anzurathen ist, so ist die Wirkung auffallender. Die Nerventhätigkeit währet noch fort, wie eine angeschlagene Saite nachklingt, wenn auch die wirkende Ursache schon aufgehört hat. — Hat man ein gut beleuchtetes Fenster mit seinem Kreuze einige Zeit starr angesehen, schließt dann das Auge schnell und wendet es auf eine schwarze Wand, so sieht man auf dieser ein helles Nachbild des Fensters mit dunklem Kreuze. Ist aber die Wand nur eine schwächer erleuchtete, so sieht man ein dunkles Fenster mit hellen Sprossen, weil die Stellen der Netzhaut, die das dunkle Kreuz zeigten, weniger von dem Lichte gereizt waren, also für ein schwächeres Licht noch hinreichende Empfänglichkeit haben. Außer diesen Blendungsbildern sind noch die farbigen Nachbilder bemerkenswerth, welche wir aber erst in der Farbenharmonie erwähnen können.

Die Irradiation. Der Lichtreiz beschränkt sich nicht blos auf die unmittelbar getroffenen Stellen der Netzhaut, sondern geht noch ein wenig darüber hinaus, besonders bei starkem Lichte und längerer Dauer der Einwirkung. Deshalb erscheint ein weißer Strich auf schwarzem Grunde breiter, als er wirklich ist und als ein gleich starker schwarzer auf hellem Grunde. Deshalb ist es auch nicht möglich, einen schwarzen und einen weißen (überhaupt einen dunklen und einen hellen) Gegenstand in ihrer richtigen Größe zugleich zu sehen. Auch hier muß das Auge sich erst einrichten: die Pupille erweitert sich beim dunklen, verengt sich beim hellen Gegenstande. — Obwohl der Durchmesser der Fixsterne weit kleiner ist, als 1 Sekunde, so sind sie uns doch leichter

bemerkbar, als manche Planeten, deren scheinbarer Durchmesser größer ist. — Daraus ist auch die Erscheinung erklärlich, daß kurz vor und nach dem Neumonde der schmale erleuchtete sichelförmige Theil zu einer größeren Kugel zu gehören scheint, als der Theil uns erwarten läßt, welcher durch die von der Erde zurückgeworfenen Strahlen matt erleuchtet wird. — Mit abnehmender Lichtstärke vermindert sich die Irration. Da nun die Fernröhre uns die Gegenstände um so lichtschwächer zeigen, je stärker sie vergrößern, so folgt daraus die für den ersten Augenblick auffällige Thatsache, daß der scheinbare Durchmesser der Fixsterne um so kleiner erscheint, je stärker das Fernrohr vergrößert.

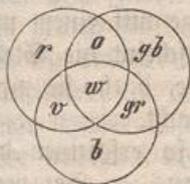
Farbensinn. Wie beim Sehen des Lichtes überhaupt, so sind bei der Wahrnehmung der Farben drei Vorgänge bemerkenswerth: die Schwingungen des Aethers, die dadurch angeregten Veränderungen in den Nerven unseres Auges und die durch letztere in unserem Bewußtsein eingetretene Veränderung. Beim Anblicke verschiedener Farben werden wir uns aber niemals der Thatsache bewußt, daß sie durch Wellen verschiedener Dimensionen bei verschiedenen Schwingungszahlen hervorgebracht sind. Eine Farbe läßt sich daher auch nicht beschreiben, sondern man muß sie sehen. Der Blinde kann keine Vorstellung von den Farben haben. Ich erinnere mich, daß ein Blinder die rothe Farbe mit dem schmetternden Tone einer Trompete verglich; aber die Anhaltspunkte für eine wissenschaftliche Vergleichung der musikalischen Töne mit den Farbentönen sind zu lose, als daß dadurch etwas gewonnen würde.

So wie das Gehör verschiedener Menschen eine verschiedene Empfänglichkeit besitzt für die Unterscheidung verschiedener Töne, ebenso und meist in einem höheren Grade ist es bei den Farben. Indes sind Musikalischtaube, d. h. solche, welchen die Unterscheidung der Tonhöhen mangelt, wohl seltener, als Farbenblinde, d. h. solche, welche die verschiedenen Farben nicht unterscheiden können. Manche nehmen an den Farben nur die verschiedenen Grade der Helligkeit wahr, nicht die Farben selbst; Andere sehen z. B. im Regenbogen oder im Spektrum einer Flamme nur Gelb und Blau. Das lichtstarke Gelb wird am besten erkannt, die anderen Farben bilden zu ihm einen gemeinschaftlichen Gegensatz, namentlich das lichtschwache Roth.

Höchst auffallend ist, daß manche Farben, wie Blau und Roth oder Grün und Blau von Einzelnen als gleich angesehen werden. Es müssen also diese Farben ungeachtet ihrer Verschiedenheit doch etwas Uebereinstimmendes haben, so daß das Auge nicht jene, sondern nur dieses wahrnimmt. Wie es bei den Tönen solche gab, welche, wenn sie gleichzeitig hervorgebracht wurden, dem Ohre nicht nur eine angenehme Befriedigung gewährten, sondern selbst einen neuen dritten wieder mit ihnen übereinstimmenden Ton erzeugten, ebenso gibt es harmonische und zusammengesetzte Farben. So wie ein Ton einen zweiten zu einem Kombinationstone ergänzte, so ergänzen auch Farben einander

zu einer neuen Farbe. Um die Farbenercheinungen in Betreff der Thätigkeit des Auges richtig beurtheilen zu können, müssen wir darüber Einiges anführen.

Mischfarben. Wir wissen bereits, daß die sämtlichen Farben des Sonnenspektrums bei ihrer Vereinigung, sie mag nun in objektiver oder in subjektiver Weise (Band II., S. 198) geschehen, Weiß geben. Vereintigt man zwei Farben des Spektrums, zwischen denen nur eine fehlt, so entsteht diese ausgelassene Zwischenfarbe: Roth und Gelb geben Orange, Gelb und Blau geben Grün, Indigo und Roth geben Violett. Grün mit Roth gibt Blau, mit Violett aber



(Fig. 350.)

Gelb. Zur bildlichen Darstellung der Farbenverbindung ist Fig. 350 geeignet, wobei die einander deckenden Theile der drei Kreise, welche die Farben Roth, Gelb, Blau tragen, mit den Anfangsbuchstaben der Mischfarben bezeichnet sind. Die drei Farben Roth, Gelb, Blau sind als die Grundfarben des Spektrums anzusehen, weil sie in ihrer Verbindung annähernd ebenfalls Weiß geben.

Ergänzungsfarben. Wenn zwei Farben eine Mischfarbe geben, so heißt die eine von ihnen die Ergänzungsfarbe der anderen zu dieser dritten. Wir können aber auch aus dem Farbenspektrum die eine Farbe auslassen und alle übrigen zu einer Mischfarbe verbinden und dann ist die ausgelassene Farbe die Ergänzungsfarbe zu der erhaltenen Mischfarbe. Läßt man z. B. Roth aus, so gibt der übrige Theil des Spektrums einen bläulichen Farbenton; daher geben Roth und Blau auch Weiß und jede ist die Ergänzungsfarbe der anderen zu Weiß. So ergänzen einander Grün und ein ins Rothe gehendes Violett, Orange und Blau, Violett und Gelb.

Auf das Auge wirken Ergänzungsfarben in ähnlicher Weise angenehm, wie harmonische Töne, welche gleichzeitig oder hintereinander hervorgebracht werden. Daher spricht man auch von einer Farbenharmonie. Disharmonische und grelle Farben beleidigen das feine empfindende Auge ebensosehr, wie disharmonische und scharfe Töne das Ohr. Es wird also z. B. ein rothes Tuch auf einem grünen Kleide, goldorangefarbene Fränzigen an einer blauen Drapperie ganz angenehm sein.

Die angenehme Wirkung liegt in beiden Fällen darin, daß die Schwingungen nicht einander verworren durchkreuzen, sondern häufig miteinander in gleichen Richtungen laufen. Weil die Schwingungen der Ergänzungsfarben in so vielen Punkten übereinstimmen, ist der Farbenblinde nicht im Stande, die Ergänzungsfarben von einander zu unterscheiden: Blau und Roth sind ihm dieselbe Farbe.

Interessant sind noch die Erscheinungen, welche mit gesunden Augen wahrgenommen werden, wenn man eine lebhaftete Farbe anhaltend ange-

sehen hat und dann das Auge entweder auf eine weiße Fläche oder auf eine andere Farbe wendet; es erscheinen dann farbige Nachbilder oder Kontrastbilder.

Farbige Nachbilder. Da das Auge beim Anblicke einer bestimmten Farbe zu gleichartigen Schwingungen angeregt wird, so muß es, wenn ihm die objektiv dargebotene Farbe nach längerem Anblicke entzogen und nur noch weiß vorgehalten wird, ehe es in die Ruhelage zurückkommt, die zu Weiß ergänzenden Schwingungen subjektiv empfinden oder es ist für die erste Farbe abgestumpft und erkennt aus dem Weiß nur noch die Ergänzungsfarbe. Hat man ein lebhaft rothes Band auf weißem, gut beleuchtetem Papiere anhaltend angesehen und zieht man dann das Band schnell fort oder bedeckt man das Auge mit einem undurchsichtigen Gegenstande oder schließt dasselbe, so erscheint die Stelle grün. Die Erscheinung ist also offenbar eine subjektive, d. h. sie wird nicht außerhalb des Auges, sondern in ihm hervorgebracht.

Nimmt man eine grüne Brille von den Augen, so erscheinen die Gegenstände roth, Gelb gibt Violett, Orange gibt Blau. — Hat man ein rothes Bild auf gelbem Grunde starr betrachtet und sieht dann auf eine weiße Fläche, so erscheint ein grünes Bild auf blauem Grunde.

Kontrastfarben. Man kann die Versuche auch dahin abändern, daß man Weiß auf einem farbigen Grunde ansieht und dann das Weiß dem Auge entzieht. Weil dann kontrastirende subjektive Farben entstehen, nennt man die zum Vorschein kommende die Kontrastfarbe. Weiß auf rothem Grund erscheint also grün, Grün erscheint roth, Blau wird Orange und Orange wird bläulich. — Ein weißer Streifen Papier auf buntem Glase mit weißer Belegung auf der Rückseite zeigt die ergänzende Kontrastfarbe sehr schön.

Wenn man durch das Diploskop, d. h. mit jedem Auge durch eine besondere Röhre auf zwei verschiedene Farben, welche halbkreisförmig auf eine drehbare Scheibe gemalt sind, bis zur Abstumpfung der Augen sieht, und es ist dem einen Auge Roth, dem anderen Grün dargeboten worden; so verwechseln die Augen bei der Drehung die beiden Farben. Bemerkenswerth ist hierbei noch, daß man die Anzahl der Drehungen in einer gewissen Zeit ermitteln kann, wenn man beide Augen zugleich auf die gedrehte Scheibe richtet und vor sie parallel einen dunklen Stab hält, welcher den Augen abwechselnd die eine und die andere Farbe zeitweise entzieht, wodurch die andere um so lebhafter hervortritt. Auf diese Weise zeigen sich Speichen, welche bei vergrößerter Drehungsgeschwindigkeit mehr und mehr auseinander treten und zählbar werden.

Es gibt bei jeder einzelnen Farbe verschiedene Grade der Helligkeit, d. h. jede einzelne bestimmte Farbe kann auf unser Auge einen verschieden kräftigen Eindruck machen, wie ein bestimmter Ton auf unser Gehör. Wie hier die vermehrte Weite der Schwingungen die Stärke des Tones vermehrt, so dort den Grad der Helligkeit der betreffenden

Farbe. Die Gesamtwirkung einer Farbe hängt also gewiß von ihrem durch die Schwingungszahl bestimmten Tone und von der durch die Schwingungswerte hervorgebrachten Helligkeit ab. Wenn nun auch im Spektrum die Schwingungszahl von Roth nach dem Violett wächst, so doch nicht die Helligkeit. Will man die absolute Helligkeit verschiedenfarbiger Körper untersuchen, so müssen sie derselben abnehmenden Beleuchtung ausgesetzt sein. Betrachtet man z. B. die auf schwarzem Grunde mit weißen Linien ausgeführte Projektion eines Körpers durch das Stereoskop, während man vor das eine Auge ein blaues, vor das andere ein rothes Glas hält; so erscheint das Relief in der Mischfarbe, wenn jene Farben einfache waren und alle Kanten zeigen parallele Linien mit beiden Farben. Bei abnehmender Tageshelle verschwinden allmählich die rothen Linien und dann auch das Relief, während die blaue Projektion für das betreffende Auge noch bleibt. Wenn man jetzt zwei rothe Gläser vor die beiden Augen bringt, so sieht man nichts mehr, aber mit zwei blauen tritt das Relief wieder hervor. Obwohl Roth heller ist, als Blau, so zeigt es doch weniger Kraft.

Unser Auge legt aber bei der Beurtheilung der Helligkeit nicht einen absoluten, sondern nur einen relativen Maßstab an. Jenachdem man in einen mäßig erleuchteten Raum aus dem Hellen oder dem Finstern kommt, wird man ihn dunkel oder hell finden (vergl. Bd. II., S. 107). Einen grauen Streifen auf weißem Grunde hält man für dunkler, und auf schwarzem für heller, als er wirklich ist und ein weißer Streifen erscheint neben einer grauen Fläche heller, als ohne sie. — Durch den Kontrast der Helligkeit können sogar die Ergänzungsfarben erscheinen, z. B. ein grauer Streifen Papier erscheint auf einer blauen Unterlage gelb, auf einer hellgrünen aber röthlich. Solche Betrachtungen sind bei der Erzielung der Farbenharmonie im praktischen Leben ebenfalls zu berücksichtigen.

Farbige Schatten. Nur dann, wenn ein dunkler Körper von einfarbigem Lichte beschienen wird, gleichgiltig, welcher Farbe es angehört, ist sein Schatten schwarz. Wird der Körper aber von zwei verschiedenfarbigen Lichtquellen so beleuchtet, daß zwei Schatten entstehen, so sind sie beide farbig, weil jeder Schatten von dem anderen Lichte beschienen wird, wobei es noch darauf ankommt, ob die auffangende Wand weiß oder farbig ist.

Das Mondlicht ist bläulich, das Kerzenlicht röthlich-gelb. Der auf einer weißen Wand vom Monde beleuchtete Schatten ist bläulich, der von der Kerze beleuchtete röthlich-gelb. — Läßt man durch ein blaues und daneben befindliches gelbes Glas weißes Licht gehen, so ist der Schatten von jenem gelb, von diesem blau gefärbt durch das andere Licht. — Der von dem blauen Himmel beleuchtete Schatten vom weißen Sonnenlichte ist blau; würde der Schatten durch die Farbe eines Zimmers erleuchtet, so würde er die betreffende Farbe tragen. — So ist

am Tage bei nur mäßig bedecktem Himmel der Schatten einer Stearin-kerze auf weißem Grunde blau; aber auf einem gelben Grunde ist er grün, bildet also mit dem Gelb die Kombinationsfarbe. — Kommt durch ein Fenster grünes, durch das zweite weißes Licht in die Stube, so ist der vom grünen Lichte beleuchtete Schatten, den das weiße Licht wirft, auf dem weißen Grunde roth; das Auge ergänzt also die dem Grün zu Weiß fehlende Farbe. — Läßt man dagegen in ein verfinstertes Zimmer durch Oeffnungen in einem Laden weißes und grünes Licht kommen, so ist der von dem weißen erleuchtete Schatten des anderen roth gefärbt, während der Schatten des weißen Körpers grün ist.

Endlich ist noch als subjektive Farbenerscheinung das sogen. Abklingen der Farben zu erwähnen. Wenn man ein weißes von der Sonne erleuchtetes Papier auf schwarzem Grunde starr angesehen hat und wendet das geschlossene Auge schnell auf eine dunkle Wand, so geht das anfängliche Weiß in Orange, Roth, Violett, Grünlichblau über und verschwindet endlich im Dunkel; wendet man das Auge aber auf eine helle Wand, so erscheinen und verschwinden die Farben in umgekehrter Ordnung, wobei der Uebergang aus einer Farbe in die andere stets vom Rande aus beginnt. Der Grund liegt in der verschiedenen Kraft der in dem weißen Lichte enthaltenen Lichtstrahlen, indem die schwächsten auch am frühesten die Einwirkung auf das Auge verlieren.

Chemische Wirkungen des Lichtes.

Alle chemischen Erscheinungen sind eine Folge der Atombewegungen der verschiedenen Stoffe, indem dieselben zufolge ihrer eigenthümlichen Gestalten entweder zu einander oder von einander gehen und so beziehungsweise chemische Verbindungen oder Trennungen bewirken. Da nun der Weltäther in seiner außerordentlichen Zartheit alle Stoffe bis auf ihre Atome durchdringt, so werden seine Bewegungen auch die der Atome einleiten und zwar um so mehr, je stärker sie selbst sind.

Läßt man das Farbenspektrum des weißen Sonnenlichtes auf einen Papierstreifen gelangen, welcher mit Chlor Silber überzogen ist; so zeigt sich eine nach dem Violett hin wachsende schwärzende Wirkung und sie ist sogar darüber hinaus am größten, wogegen sie beim Roth verschwindet, selbst wenn man diese Strahlen durch eine Linse sammelt. — Ist indeß durch stärker wirkendes Licht eine chemische Verbindung oder Zersetzung eingeleitet, so kann sie durch schwächeres fortgesetzt werden, gleichwie bei der chemischen Harmonika die Schwingungen der Luftsäule sich anregen lassen durch andere, so daß der Ton in jener entstand, wenn derselbe Ton äußerlich hervorgebracht wurde (Vgl. Bd. II. S. 136). Befinden sich in einer weißen Glasröhre Chlorgas und Wasserstoffgas, so bleiben sie unter dem Einflusse des rothen Lichtes unverbunden; ist aber durch violetttes Licht die Verbindung eingeleitet, so ist das gelbe

und rothe im Stande, sie fortzuführen. Im Finstern bleiben die Gase unverbunden, im Tageslicht geschieht die Vereinigung allmählich, aber beim Sonnenlichte plötzlich unter einer Explosion. Das Produkt ist Salzsäuregas. — Die Schwärzung des Chlorsilbers erfolgt nicht unter dem Einflusse des Lichtes aus zwei Quellen, wenn und wo Interferenz eintritt. Dies ist der deutlichste Beweis davon, daß das Licht nur wegen seiner Schwingungen geeignet ist, chemisch zu wirken und daß die chemischen Erscheinungen wesentlich auch Bewegungsercheinungen sind.

Es ist natürlich, daß zu jeder bestimmten chemischen Veränderung auch eine bestimmte Kraft erforderlich ist und daß, wenn die Veränderung bewirkt worden, diese Kraft vernichtet ist. Die Bestätigung davon zeigt sich recht auffallend darin, daß dem weißen Lichte, wenn es durch einen Körper gegangen ist und ihn dabei verändert hat, diejenigen Strahlen fehlen, welche die Veränderung erzeugt haben und welche man bloß durch die betreffenden einfarbigen Strahlen hervorbringen konnte.

Wenn auch die durch Körper dringenden Lichtstrahlen nicht die chemische Natur des Körpers verändern, so rufen sie in ihnen doch schwingende Bewegungen hervor, welche die Farbe des Körpers abändern. Dies zeigen die Erscheinungen der Fluoreszenz. Wenn man nämlich gewisse Körper, wie den Flußspath oder eine wässrige Lösung von schwefelsaurem Chinin, durch die verschiedenen Farben des Spektrums führt, so werden die Farben desselben vom Roth an unverändert durchgelassen; so wie man aber an die Gränze des Violetten und darüber hinaus kommt in den scheinbar dunklen Raum, so zeigen sich jene Körper leuchtend, aber mit einer Farbe von geringerer Brechbarkeit: ultraviolette Strahlen zeigen sich in ihnen als himmelblau, die grünen werden roth. Es findet also durch diese Körper eine Verminderung der Schwingungszahl oder eine Vergrößerung der Wellenlängen statt und das Licht ist nicht etwa ein zurückgeworfenes oder polarisirtes.

Die Lösungen in Alkohol von dem grünen Farbestoffe der Pflanzenblätter zeigen blutrothe Fluoreszenz, die braune Farbe des Wasseraufgusses auf grüne Kastanienschalen zeigt einen bläulichen Schimmer.

Viele Farben der Körper werden durch das weiße Licht verändert, manche werden dunkler, andere heller und manche ganz zerstört.

Die verbindenden und zersetzenden Wirkungen zeigen sich noch in vielen Fällen. Wir wollen noch einige davon anführen. Bringt man einen Zweig mit frischen grünen Blättern unter eine weiße Glasglocke, welche Wasser mit Kohlensäure enthält; so wird diese unter dem Einflusse des Sonnenlichtes dem Wasser entzogen und an den Blättern bildet sich Sauerstoff, welcher in den oberen Theil der Glocke steigt. — Auch aus oxydirten Körpern wird der Sauerstoff durch das Sonnenlicht ausgeschieden: das Chlorgas im Chlornasser entzieht dem Wasser seinen Wasserstoff, bildet mit ihm Salzsäure und der Sauerstoff entweicht. — Die wasserhelle konzentrirte Salpetersäure verliert den Sauer-

stoff zum Theil, so daß sie in Untersalpetersäure übergeht und wird dabei gelb. — Phosphor verliert seine Durchsichtigkeit. — Will man die chemische Umwandlung und Farbenveränderung verhindern, so muß man solche Körper im Finstern aufbewahren und die Gläser mit schwarzem Papier umgeben.

Auch die Wärme bringt, wie wir schon beim Stahle kennen gelernt haben, Farbumwandlungen hervor, was ein Zeichen eines gewissen Verwandtschaftsgrades von Licht und Wärme ist. — Das strohgelbe salpetrigsaure Gas wird beim Erhitzen in Glasröhren blutroth und dann schwarz. — Zinnober, Mennige, rothes Quecksilberoxyd ändern beim Erhitzen auch die Farbe, bekommen sie aber beim Erkalten wieder. — Selbst Reduktionen und Niederschläge werden durch Licht hervorgebracht: so bei Gold aus manchen seiner Auflösungen.

Wird eine polirte Silberplatte im Dunkeln über Jod-Chlor oder Brom-Jod gehalten, bis sie goldgelb aussieht, dann dem Tages- oder Sonnenlichte ausgesetzt, so wird sie nach und nach schwarz, später aber grünlichgelb und dann hellstahlgrau. Dies ist eine Folge der Ausscheidung des Silbers aus der Verbindung und bildet die chemische Grundlage der Photographie, welche eine der herrlichsten und folgenreichsten Erfindungen der Neuzeit ist und bereits ihre mannigfaltigste Anwendung gefunden hat.

Unter den für die Naturwissenschaften wichtigen Leistungen erwähnen wir noch die Darstellung mikroskopischer Körper in großem Maßstabe, ebenso der verschiedenen Lichtspektra, des elektrischen Funkens. — Skulpturen, geschichtliche und geographische Dokumente u. a. werden aufstreueste wiedergegeben.

Die physikalische Grundlage bildet die dunkle Kammer (Camera obscura). An der Vorderfläche eines innerhalb geschwärzten Kastens befindet sich ein zylinderförmiges und verschiebbares Rohr mit den achromatischen Linsen zur Erzeugung des Bildes von einem Gegenstande, aus der Hinterfläche desselben ragt ein anderer verschiebbarer Kasten hervor, welcher hinten einen Falz hat, um eine mattgeschliffene Glastafel und dann die photographische Platte einzuschieben. Der ganze Apparat wird so eingestellt, daß bei zerstreutem Tageslichte auf der Glastafel ein scharfes Bild entsteht, welches man nach Beseitigung eines Schiebers von hinten betrachten kann, wobei man zur Abhaltung fremden Lichtes seinen Kopf und den Apparat mit einer dunklen Decke überhängt. Hat sich ein scharfes Bild gezeigelt, so bringt man statt der Glastafel die im Finstern präparirte photographische Platte in den Apparat. Die Bilder sind negativ, wenn die Schatten des Objektes hell und die Lichter dunkel geworden sind. Die auf Glasplatten fixirten negativen Bilder dienen zur Anfertigung beliebig vieler positiver Bilder, wobei photographisch präparirte Tafeln unter die Glasplatten gelegt und dem direkten Sonnenlichte ausgesetzt werden. Da die von den Körpern ausgehenden farbigen