DAS

RÄUMLICHE SEHEN

VON

EMANUEL JAESCHE,
DR. MED.

Mit 37 erläuternden Holzschnitten, 2 Steindrucktafeln und 1 Lichtdrucktafel.

STUTTGART.
VERLAG VON FERDINAND ENKE.
1879.

DAS RÄUMLICHE SEHEN

VON

EMANUEL JAESCHE,
DR. MED.

Mit 37 erläuternden Holzschnitten, 2 Steindrucktafeln und 1 Lichtdrucktafel.

STUTTGART.
VERLAG VON FERDINAND ENKE.
1879.

Druck von GEBRÜDET KRÖNER in Stuttgart.

VORWORT.

Die in dieser Abhandlung dargelegte Auffassung vom Sehen schliesst sich nicht durchweg den Ergebnissen an, welche bisher durch die wissenschaftliche Forschung gewonnen wurden. Sie geht von einem anderen Standpunkte aus und kommt auch mehrfach zu anderen Resultaten. Die Rechtfertigung und Auseinandersetzung des besonderen Standpunktes konnte nicht jetzt zugleich gegeben werden, sie bleibt einem umfangreicheren Werke vorbehalten. Aus dem Zusammenhange mit einer Arbeit allgemein wissenschaftlichen Inhaltes erklärt sich denn auch die Form der gegenwärtigen Schrift. Sie ist eben nicht bloss für die kleine Zahl derer berechnet, die sich ganz speciell mit der Lehre vom Sehen beschäftigt haben, — sie sucht einen grösseren Kreis. Daher konnte es nicht umgangen werden, in einer Einleitung einige nothwendige Vorkenntnisse zu geben; desshalb mussten aber auch Vergleiche mit abweichenden Ansichten unterbleiben.

Ich nehme jedoch hiebei Gelegenheit zu erklären, dass ich von der allerhöchsten Achtung vor den ausgezeichneten Leistungen erfüllt bin, für die wir in neuerer Zeit Männern wie Joung, Wheatstone, Joh. Müller, Weber, Meissner, Volkmann, Helmholtz, Donders, v. Graefe, Aubert, Fechner, Brücke, Hering, Wundt und vielen anderen zu danken haben.

Durch meine Behandlung der Frage hoffe ich etwas zum Fortschritte in diesem schwierigen Gebiete der Forschung beitragen zu können. Für das Mangelhafte der Arbeit muss ich um Nachsicht bitten, möge es mehr Befähigten bald gelingen, auf dem angebahnten Wege Vollständigeres und Besseres zu leisten.

Dorpat, den 20. Dec. 1878 (1. Jan. 1879).

DR. E. JAESCHE.

Inhalts-Verzeichniss.

EINLEITUNG.

Seite

Bau des Auges.

Lage und Form 1
Bestandtheile 3
Ernährung 9
Entwickelung 10

Verhalten des Auges zum Licht.

Eigenthümlichkeiten des Lichtes 11
Lichtbrechung im Auge 13
Zerstreuungskreise 14
Die Accommodation 16

Verhalten des Auges zu Gegenständen.

Sehraum und Sehfeld des einzelnen Auges 17
Die Augenbewegungen 18
Blickfeld und Blickraum des einzelnen Auges 19
Die Blickebenen 21
Blickfeld und Blickraum beider Augen 22
Convergenz der Blicklinien 23
Deckpunkte im gemeinsamen Blickfelde 26
Verschiebungen der Deckpunkte 26
Verhalten der Deckpunkte zum Blickraum 31
Verschiedene Bilder jedes Auges 31
Die Augen in ihren Bewegungen mit Kopf und Körper . 34
Aenderungen des Sehwinkels bei Bewegungen der Augen . 36

DAS SEHEN.

Seite

Die Gesichtseindrücke 42
Reizschwelle 43
Reizzuwachs 43
Nachbilder 44
Bedeutung des gelben Fleckes 45
Verschmelzung von Eindrücken 46
Doppelbilder 47
Die Eindrücke von Deckpunkten 48
Veränderungen der Doppelbilder bei Bewegungen der Augen 49
Doppelbilder bei Muskellähmung 52
Gesichtseindrücke bei Bewegungen des Körpers 53
Ein Beispiel als Gesichtsobject 54

Die Gesichtsempfindung.
Die Empfindung muskulöser und nervöser Theile 55
Dauer der Empfindung 57
Einfluss deutlich gesonderter Eindrücke 57
Uebertragung der Empfindung 58

Die Gesichtswahrnehmung.
Wahrnehmung mit einem Auge 60
Wahrnehmung bei räumlichen Bewegungen des Auges . . 63
Tiefenwahrnehmung mit einem Auge 66
Das Wahrnehmen beim Zusammenwirken beider Augen . 67
Tiefenwahrnehmung mittelst beider Augen 68
Wahrnehmung an Nachbildern und bei Verschiebungen des Auges 72
Wahrnehmung am gewählten Beispiele 76
Uebereinstimmung der Bewegungen bei der Wahrnehmung 88

Die Gesichtsvorstellungen.
Vorstellungen der Grösse, Entfernung und Gestalt . . . 89
Aenderungen der Vorstellungen bei räumlichen Bewegungen der Augen 91
Beziehung zwischen Sehwinkel und paralactischem Winkel 95
Die Vorstellung beim Sehen mit beiden Augen 97
Die Vorstellungen in Bezug auf das gewählte Beispiel . . 99

Seite

Die Gesichtsanschauung 103

Zusammenhang der Vorstellungen von Grösse und Entfernung 104

Grösse und Gestalt 107

Zusammenfallen beider Blicklinien 110

Zusammenfallen der Blickebenen 112

Zusammenfallen der Blickfelder 117

Verhalten der horizontalen Blickebenen 121

Die räumliche Anschauung 122

Zusammenhang der räumlichen Anschauung und der willkürlichen Körperbewegungen 124

Anwendung auf das Beispiel 126

EINLEITUNG.

Eine Erkenntniss der Gesetze, denen gemäss das Sehen sich vollzieht, ist nicht möglich ohne genaue Kenntniss des Auges. Dieses ist die Sinnesvorrichtung, vermöge deren das Sehen zu Stande kommt. Hauptsächlich muss also das Verhalten des Gesichtssinnes zum Licht festgestellt sein, und das ist wieder nicht möglich, ohne vorhergehende Ermittelung des Baues und der Thätigkeit des Auges. Die Erforschung dieser Gebiete ist freilich noch nicht abgeschlossen, aber jetzt wenigstens so weit vorgeschritten, um eine recht genügende Grundlage für Feststellung der Hauptgesetze des Sehens darzubieten. Hier kann es ausreichen, nur so viel davon anzuführen, als zum Verständniss des Weiteren unumgänglich nothwendig ist.

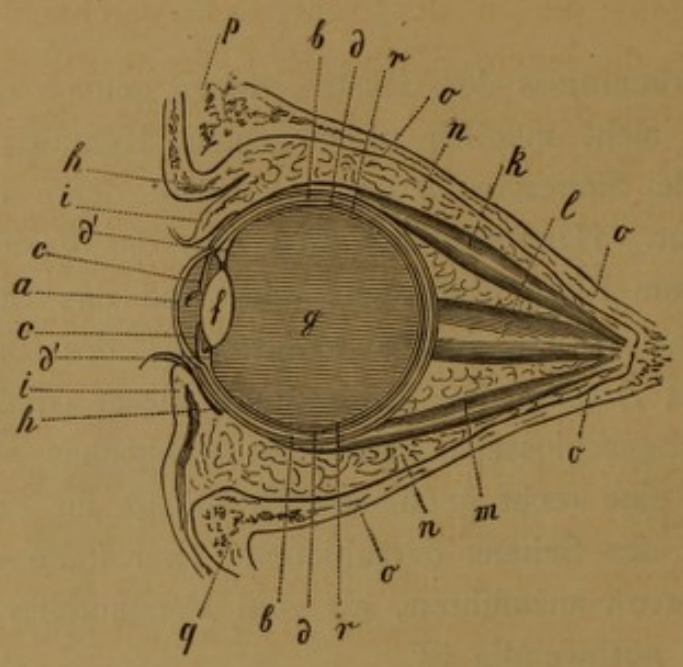
Bau des Auges.

Lage und Form des Auges.

Die Augen sind an erhobener Stelle des Körpers angebracht und können, mit dem Kopfe und ganzen Körper, beliebigen Richtungen nach gekehrt und im Raume fortbewegt werden. — Das menschliche Auge hat eine nahezu kugelige Gestalt und tritt, mit seinem kleineren, vorderem Abschnitte, frei im Antlitze hervor,

während der grössere hintere in der Augenhöhle eingeschlossen ist. Diese, von den Knochen des Kopfes und Gesichts gebildete Höhlung, öffnet sich nach vorn länglich rund, verengt sich aber nach hinten-innen zu trichterförmig. An ihrem hinteren Ende hat sie einige Spalten und Löcher, durch welche Nerven und Blutgefässe eintreten. Die Wände der Höhle liegen dem Augapfel nicht dicht an, zwischen beiden bleibt ringsum Raum, der vorzüglich von Zellgewebe und Fett ausgefüllt ist. So wird das Auge im vorderen Theile der Höhle, durch feste Häute, wie in einer Kapsel, eingebettet erhalten (s. Fig. 1).

Fig. 1.



Senkrechter Durchschnitt des Auges in seiner Höhle (natürliche Grösse).

a Hornhaut. b b Lederhaut. c c Regenbogenhaut. dd Gefässhaut. d'd' Ciliarkörper. e Vordere Kammer. f Linse. g Glaskörper. hh Bindehautsack. i i Lider. k Oberer, l seitlicher, m unterer gerader Augenmuskel. n Fettgewebe. o o Augenhöhlenwand. p Stirnbein. q Wangenbein. r Netzhaut.

Die Lage des Augapfels in seiner Höhle ist somit eine solche, dass er leicht um seinen Mittelpunkt, den verschiedenen Richtungen nach gedreht, aber nicht leicht räumlich verschoben werden kann.

Der Durchmesser des Auges, vom hinteren zum vorderen Pol gemessen, beträgt beim Erwachsenen im Durchschnitt 24 mm (10'''), die übrigen Durchmesser sind um sehr wenig kleiner. Die vordere Wölbung des Augapfels ragt ziemlich genau bis in die Oeffnung

der Augenhöhle vor, so dass das obere Augenlid, beim Herabsenken, sich ihm genau anschmiegt.

Der vorderste Abschnitt des Auges wird von der fast kreisrunden, vollkommen durchsichtigen Hornhaut gebildet, s. Fig. 1 c. Diese nur gegen 1 mm dicke, aber aus festen Fasern gebildete Membran hat an ihrem Grunde einen Durchmesser von 10 bis 11 mm (4‴); sie ist etwas stärker gewölbt als die übrige Wandung und springt mithin etwas vor. — Der hintere, bei weitem grössere Theil der Augenwand, besteht aus der undurchsichtigen, weiss erscheinenden Lederhaut, s. Fig. 1 bb. Sie besteht aus festen Bindegewebsfasern und ist auch gegen 1 mm dick. Ihre vordere Fläche, vom Umfange der Hornhaut an, ist von der dünnen Bindehaut überzogen, die in der Nähe des Augenhöhlenrandes sich umschlägt, um die innere Fläche der Lider auszukleiden. Dadurch kommt, zwischen den Lidern und dem Auge, der Bindehautsack zu Stande, s. Fig. 1 hh. Die Bindehaut ist an der Umschlagstelle gefaltet und nachgiebig, so dass sie das Auge in seinen Bewegungen nicht hindert. Nur am inneren Winkel verstreicht der Bindehautsack und geht hier in den sog. Thränensee über. Die Lider (Fig. 1 ii) bestehen aus Hautverlängerungen, welche ein stützendes Knorpelstück und Muskelfasern enthalten und am freien Rande mit Wimpern besetzt sind. Ihre Muskeln setzen sich bis zum Augenhöhlenrande fort, wo sie zum grössten Theile angeheftet sind und, im Zusammenhange mit andern Bündeln, den Kreismuskel des Auges bilden, der zum Schliessen der Lidspalte dient. Das obere Lid hat ausserdem seinen besonderen Muskel, den Heber desselben.

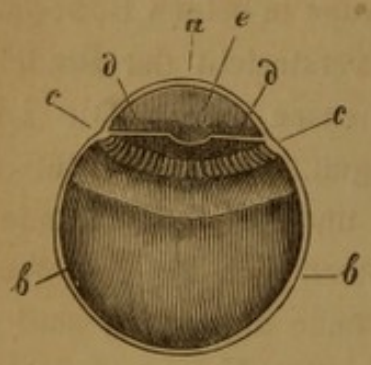
Die ganze Innenfläche der Lederhaut wird von der Gefässhaut ausgekleidet (Fig. 1 dd); sie besteht aus einem mehrschichtigen Maschenwerk von feinen und feinsten Blutgefässen, mit untermischtem Bindegewebe und Pigmentzellen. Ihre Dicke beträgt nur 0,05—0,08 mm. Am Umfange der Hornhaut hört übrigens die Gefässhaut nicht ganz auf, sondern geht auf den Ciliarkörper und die Regenbogenhaut über.

Der Ciliarkörper (Fig. 1 d′d′) ist rund um die Hornhaut, zwischen Leder- und Gefässhaut eingelagert und bildet dadurch eine, in den Innenraum des Auges vorragende ringförmige Erhebung, von 1 mm. Dicke. Sein Hauptbestandtheil machen Muskelfasern

aus, von denen die einen der Länge nach laufen, nach hinten mit der Gefässhaut, nach vorn zu mit dem Leder-Hornhautfalze sehnig verbunden sind; während die andern Fasern, mehr nach innen, an der vorragenden Kante des Ciliarkörpers gelegen, ringförmig verlaufen. Auf dem Ciliarvorsprunge nun nimmt die Gefässhaut eine eigenthümlich gefaltete Beschaffenheit an, so dass gegen 70 Firsten mit engen Zwischenräumen entstehen. Man nennt diese Ciliarfortsätze (s. Fig. 2 cc).

Am Hornhautumfange geht die Gefässhaut auf die Regenbogenhaut über (s. Fig. cc; Fig. 2 dd; Fig. 3 b). Diese ist da, wo Leder- und Hornhaut sich verbinden, mit dem vorderen Rande des Ciliarkörpers rund herum verwachsen und ragt gerade nach innen, in das Auge hinein, so dass sie es, wie ein Schirm, in einen kleinen vorderen und einen, viel grösseren hinteren Abschnitt theilt.

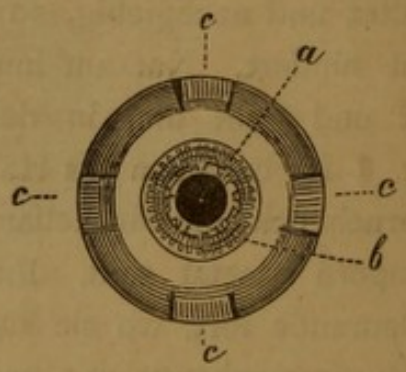
Fig. 2.



Durchschnitt des Augapfels.

a Hornhaut. bb Lederhaut. cc Ciliarkörper mit den Ciliarfortsätzen. dd Regenbogenhaut. e Vordere Kammer.

Fig. 3.



Ansicht des Augapfels von vorn. Die Bindehaut ist entfernt.

a Pupille. b Regenbogenhaut. cc Ansätze der 4 geraden Augenmuskeln.

Der kleinere Abschnitt (Fig. 1 und 2 e), mit der ganz klaren, wässrigen Feuchtigkeit erfüllt, wird vordere Kammer genannt. Die Regenbogenhaut ist zusammengesetzt aus Muskelfasern, Blutgefässen und Bindegewebe. Die Muskelfasern sind theils radienförmig, vom Umfange nach der Mitte zu, theils kreisförmig, um die in der Mitte befindliche Oeffnung angeordnet. Diese, Pupille genannt (Fig. 3 a), stellt ein rundes Loch dar, durch welches die vordere Kammer mit dem hinteren Augapfelabschnitte in Verbindung steht. Die Pupille wird durch Wirkung der radiären Muskelfasern erweitert, durch Wirkung der circulären verkleinert. An

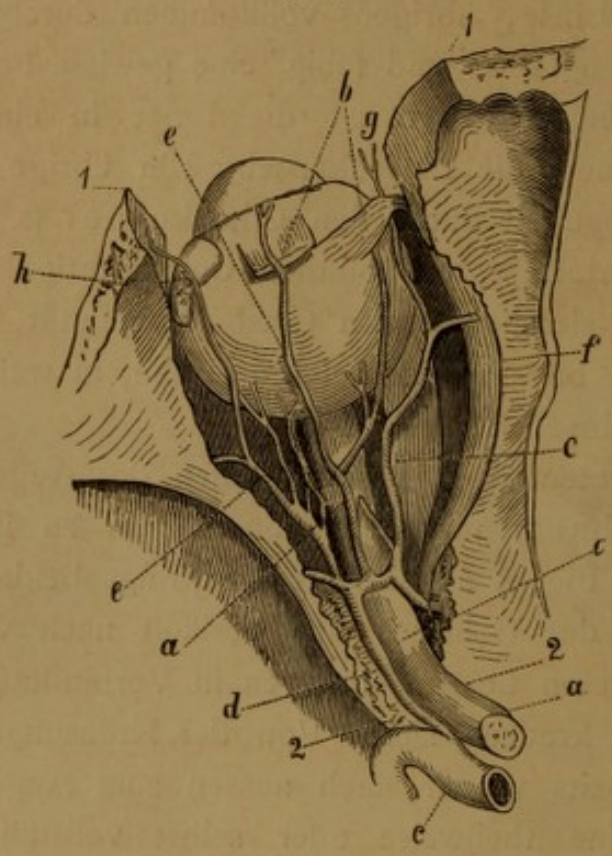
ihrer vorderen Fläche ist die Regenbogenhaut von hellerer, oder dunklerer Färbung, an der hinteren schwarz. — Gleich hinter ihr befindet sich die Linse, die in ihrer Form einer wirklichen Linse ähnelt (s. Fig. 1 f). Sie entspricht, mit ihrer Mitte, gerade der Mitte der Pupille. In ihrer Lage wird sie vorzüglich erhalten durch ein dünnes gefaltetes, elastisches Häutchen, dessen äusserer Rand mit den Ciliarfortsätzen verwachsen ist, während der innere sich an den Umfang der Linse rundum anheftet, es heisst Zinn'sches oder Strahlenbändchen. Der Pupillarrand der Regenbogenhaut liegt der Vorderfläche der Linse an und kann sich auf ihr verschieben. Die Linse, übrigens vollkommen durchsichtig, ist aus Fasern zusammengesetzt und fähig, eine gewisse Formveränderung einzugehen. Eingeschlossen ist die Linse in eine sehr dünne, elastische Glashaut, die Linsenkapsel. Der übrige Innenraum des Auges wird ausgefüllt durch den Glaskörper (s. Fig. 1 g), der eine dünn gallertartige, vollkommen durchsichtige Masse darstellt, aber von einer ziemlich festen Glashaut umhüllt ist. An seiner vorderen Fläche besteht eine seichte Grube, in welche die hintere Wölbung der Linse eingebettet ist.

Zu den wesentlichen Bestandtheilen des Auges gehört dann noch die Netzhaut, mit dem von aussen zu ihr gelangenden Sehnerven (s. Fig. 4 a). Dieser entspringt beiderseits aus dem unteren Theile des Gehirnes und verläuft nach vorn innen. In Folge dessen treten beide Sehnerven in Verbindung mit einander, verflechten und kreuzen sich. Von der Kreuzungsstelle an geht der Nerv jederseits wieder nach aussen zum Auge, nachdem an dieser Stelle eine theilweise oder selbst vollständige Kreuzung stattgefunden hat.

Der Verlauf des Sehnerven in der Augenhöhle ist ein wenig geschlängelt, so dass er bei Bewegungen des Auges nicht gezerrt wird. Zum Auge gelangt, dringt er in das Innere desselben, etwas einwärts vom hinteren Pol. Die ihn umhüllenden bindegewebigen Scheiden gehen in die Lederhaut über, die Sehnervenbündel dringen weiter durch die Gefässhaut und breiten sich, als feinste Fädchen radienartig auseinandergehend, in einer Schicht zwischen Glaskörper und übriger Netzhaut aus. Von innen aus gesehen, zeigt sich das Sehnervenende als runder, 1,5 mm im Durchmesser haltender

Querschnitt, Sehnervenpapille genannt (s. Fig. 5 b). Von dieser Stelle aus gehen die einzelnen Nervenfädchen ungleich weit nach vorn zu, die vordersten reichen bis in die Nähe des Ciliarkörpers. Jeder Nervenfaden biegt schliesslich nach aussen um, und dringt in die Netzhaut, zweifelsohne bis zu ihrer äussersten, der Gefässhaut anliegenden Schicht. Uebrigens findet sich zwischen beiden genannten Membranen noch eine Lage Pigmentzellen, die man auch zur Netzhaut rechnet (s. Fig. 6 a).

Fig. 4.



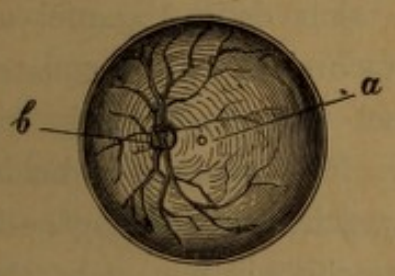
Linker Augapfel in seiner von oben geöffneten Höhle (nach Merkel).

11 Durchsägte Stellen des Stirnbeins. 22 Aufgemeisselte Stelle des Keilbeines. aa Sehnerv, in seiner Scheide. bb Durchschnittene Enden des oberen geraden Augenmuskels. c Hirnschlagader. d Augenarterie. eee Deren äussere Aeste zu Muskeln, Haut und Drüsen. f Bauch des oberen schiefen Augenmuskels; etwas zur Seite geschoben. g Dessen umgeschlagenes Ende nach dem Austritt aus der Rolle. h Thränendrüse.

Die Netzhaut (Fig. 1 r). Ihre äussere, angedeutete Schicht wird vom Sinnesepithelium gebildet, welches eigenthümlich umgewandelte Hautzellen darstellt. Man unterscheidet zwei Arten derselben, die Stäbchen (Fig. 6 b) und Zapfen (b′) genannt werden. Beide haben noch einen zusammengesetzten Bau und stehen untermengt; an

ihrer Aussenseite, wo sie an das Pigmentepithel stossen, sind die Stäbchen roth gefärbt, bleichen aber im Lichte rasch. Die ganze Netzhaut hat am hinteren Pol nur eine Dicke von 0,3 mm und wird nach vorne hin selbst dünner, aber auch im übrigen zeigt sie noch einen recht complicirten Bau. An das Sinnesepithel stösst die Schicht der äusseren Körner und darauf folgen, weiter nach innen, noch die Zwischenkörner, — die innere Körnerschicht, die innere granulirte Schicht, die Lage grosser Ganglienzellen und dann die Schicht der Sehnervenfasern, welche gegen den Glaskörper zu mit einer dünnen Glashaut bedeckt ist (s. Fig. 6 c, d, e, f, g, h, i).

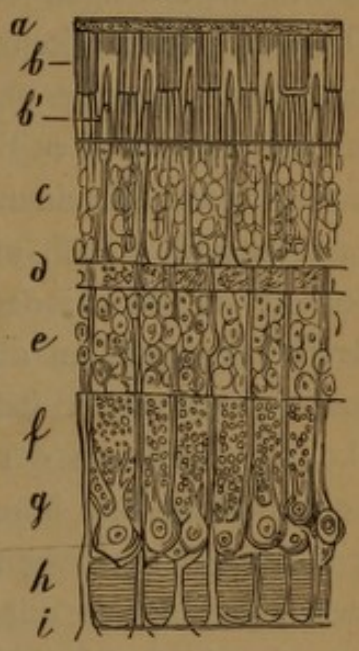
Fig. 5.



Rückseite des durchschnittenen Augapfels von Innen.

a Gelber Fleck der Netzhaut. b Sehnervenpapille mit den Arterien und Venen der Netzhaut.

Fig. 6.



Querschnitt der Netzhaut, (stark vergrössert).

a Pigmentepithel. b Stäbchen. b' Zäpfchen. c Aeussere Körnerschicht. d Aeussere granulirte Schicht. e Innere Körnerschicht. f Innere granulirte Schicht. g Ganglienzellenschicht. h Nervenfaserschicht. i Begrenzungshaut.

Die Bedeutung dieser geschichteten Gebilde hat noch nicht endgültig festgestellt werden können, doch ist sicher anzunehmen, dass die feinsten Endfasern des Sehnerven mit den Nervenzellen der Netzhaut in Verbindung stehen und schliesslich an der Stäbchen- und Zapfenschicht enden. Die nervösen Elemente der Netzhaut werden gestützt und in ihrer Lage erhalten durch ein besondersartiges, sie einhüllendes Bindegewebe, das theilweis deutlich als Stützfasern

hervortritt. Die Stelle der Netzhaut, welche dem hinteren Pol des Auges entspricht, zeichnet sich übrigens durch Eigenthümlichkeiten im Baue aus und wird als gelber Fleck bezeichnet, in dessen Mitte sich ein Centralgrübchen befindet. Hier fehlen die inneren Schichten der Netzhaut, bis auf die Endglieder, und diese sind nur durch die dicht neben einander stehenden Zapfen vertreten (s. Fig. 5 a). Im frischen Zustande ist die Netzhaut ganz durchsichtig und alles Licht, das durch die Pupille ins Auge tritt, kann bis zum Sinnesepithel vordringen.

Schliesslich sind noch die, das Auge bewegenden äussern Muskeln, die zur Ernährung dienenden Blutgefässe, verschiedene Nerven und die drüsigen Organe kurz zu erwähnen.

Die äusseren Muskeln sind 6 an Zahl, deren 4, als gerade (ein oberer, ein unterer und zwei seitliche) bezeichnet, von dem sehnigen Gewebe an der Spitze der Augenhöhle herkommen und nach vorn, etwas auseinander weichend, sich dem Augapfel anschmiegen (s. Fig. 1 k, l, m). Nach Ueberschreitung des Aequators durchbohren sie die bindegewebige Kapsel und setzen sich, mit ihren breiten Sehnen, an die Lederhaut (s. Fig. 3 c c). Die beiden schiefen Augenmuskeln haben einen abweichenden Verlauf: der obere kommt auch von der Spitze der Augenhöhle her, geht aber durch einen Ring am inneren oberen Winkel des Augenhöhlenrandes, Rolle genannt, wendet sich dann wieder nach hinten und verwächst oben-hinten mit der Aussenwand (s. Fig. 4 f und g). Der untere schiefe Muskel kommt vom unteren-vorderen Rande der Augenhöhle her und geht, um den unteren Theil des Augapfels, zu dessen hinterer Wand.

Die Arterien, welche Blut dem Auge und seiner Umgebung zuführen, kommen mit einem Hauptstamme, der Augenarterie, von der inneren Hirnarterie (s. Fig. 4 e und d). Ein Ast der Augenarterie dringt in das Innere des Sehnerven und breitet sich, bis zur Papille gelangt, mit fortgehenden Theilungen in der Netzhaut aus (s. Fig. 5). Die feinsten Arterien gehen endlich in Haargefässe und dann in Venen über, die sich wieder zu stärkeren Stämmchen vereinigen und schliesslich, als Netzhautvene, im Sehnerven das Auge verlassen. So hat die Netzhaut ihr abgesondertes Gefässsystem. — Die übrigen Aeste der Augenarterie ver-

theilen sich an die Muskeln, die Augenhäute, Lider und Drüsen, allein die Hornhaut empfängt keine, die Blutgefässe gehen nur bis an ihren Rand (s. Fig. 4 e e).

Zu den Muskeln, Häuten und Drüsen des Auges treten besondere Nerven. Der gemeinschaftliche Augenmuskelnerv versorgt 4 der äusseren Muskeln, sowie den Heber des Oberlides, den Ciliar- und den Schliessmuskel der Pupille. Der äussere gerade und der obere schiefe erhalten je einen besonderen Hirnnerven, den abziehenden und den Roll-Nerven. Als Empfindungsnerv dient der Augenast des fünften Hirnnerven, der sich in viele Aeste spaltet. Ferner treten Zweige des sympathischen Nerven zum Auge, vorzüglich auch zu den Längsfasern des Ciliarmuskels und der Regenbogenhaut. Aus einigen Aestchen des sympathischen Nerven, des sensiblen Augennerven und des Augenmuskelnerven, setzt sich ein kleiner Ganglienknoten, das Ciliarganglion, zusammen. Es liegt in der Augenhöhle, neben dem Sehnerven, und von ihm aus gehen wieder feine Nervenfäden zum Auge und vertheilen sich vielfach in ihm. Von Drüsen ist zu erwähnen, dass die Bindehaut und die Lider, besonders das obere, recht zahlreich solche enthalten, welche einen fettigen Stoff liefern, der die Oberfläche des Auges schlüpfrig erhält. Die Thränen liefert eine ziemlich grosse Drüse, die zwischen Auge und oberer-äusserer Wand der Augenhöhle gelegen ist (s. Fig. 4 h), ihre Ausführungsgänge münden im Bindehautsack. Abgeführt werden die Thränen durch die sog. Thränenwege, welche mit feinen Kanälchen an den inneren Winkeln der Lider anfangen, dann ein weiteres, halb von Knochen umschlossenes Säckchen bilden und, mit einem wieder etwas verengten Gange, in die Nase münden.

Ernährung des Auges.

Durch die Wirkung der Nerven und Gefässe kommt die regelmässige Ernährung des Auges zu Stande, die Abfuhr verbrauchter Stoffe und ihr Ersatz. Gerade das Auge erweist die Wichtigkeit eines ungestörten Verlaufes dieser Vorgänge. Wenige Augenblicke nach Hemmung der Blutzufuhr zur Netzhaut erlischt ihre Fähigkeit zur Aufnahme von Lichteindrücken und, bleibt jene

dauernd unterbrochen, so tritt unfehlbar völlige Blindheit des betroffenen Auges ein. Der ganz flüssige und halbflüssige Inhalt des Auges steht unter ziemlich hohem, von der Wand ausgeübtem Druck: sticht man die vordere Kammer an, so spritzt das in ihr enthaltene Wasser im Strahl hervor, aus einer Wunde der Lederhaut quillt Glaskörpermasse heraus. Jede dauernde Störung der Ernährung wirkt nachtheilig auf die Spannung und Wölbung des Auges und damit auch auf seine Thätigkeit. In einem krankhaften Zustande (Glaukom-grüner Staar), wo die regelmässige Abfuhr von Feuchtigkeit aus dem Auge behindert ist, während die Absonderung fortdauert, kann der Inhalt durch letztere so sehr anwachsen, dass der Augapfel steinhart wird und der vom hohen Druck belastete Sehnerv erlahmt, atrophirt und Erblindung eintritt. In manchen anderen Krankheiten wird dagegen das Auge zu weich, schrumpft, verfällt der Schwindsucht.

Entwickelung des Auges.

Es erübrigt nur noch wenige Worte über die Entwickelung des Auges zu sagen. Die Anlage desselben tritt schon früh im Keime hervor, als ein Theil des Markrohres. Zuerst erscheinen, am Kopfende desselben, zwei seitliche Erhebungen, die sog. primären Augenblasen, aus welchen Netzhaut und Sehnerv hervorgehen. Durch bald erfolgende Einstülpung der vorderen Wand dieser bläschenartigen Erhebung, durch Hineinwachsen des Hautüberzuges in die Einstülpungshöhle, durch Abschluss dieser, bei Weiterentwickelung der Theile in ihrem Innern, entstehen Linse und Glaskörper. Umwachsen wird die Augenblase dann von einem Abschnitte des mittleren Keimblattes, aus dessen, nach innen gekehrtem, Theile die Gefässhaut mit Ciliarkörper und Regenbogenhaut entsteht, während aus seinem äusseren Theile Leder- und Hornhaut hervorgehen. Die Blutgefässe wuchern später in das Auge hinein, durch einen an der unteren Seite der Augenblase offen gebliebenen Spalt. Die fortgehende Ausbildung der einzelnen Theile steht im Zusammenhang mit der Entwickelung des ganzen Kopfes.

Das vollendete Auge stellt ein sehr zusammengesetztes, und

wunderbar auch in den kleinsten Theilen ausgearbeitetes, Glied des Körpers dar. Von niederen Ordnungen der Thiere, hinauf bis zum Menschen, findet eine fortlaufende Reihe immer höher entwickelter Stufen des Sehorganes statt.

Verhalten des Auges zum Licht.

Nach den nothwendigsten Angaben über den Bau des Auges, seine Entstehungs- und Ernährungsweise, sind die hauptsächlichsten Gesetze für sein Verhalten zum Lichte anzuführen. Dabei können einige Bemerkungen über das Licht selbst nicht wohl umgangen werden.

Eigenthümlichkeiten des Lichtes.

Das Licht kann weiss oder farbig sein. Die Untersuchung der Farben und ihrer Bedeutung für das Sehen hat viele werthvolle Arbeiten entstehen lassen, hier dürfen wir aber auf die diesen Gegenstand betreffenden Thatsachen und Fragen nicht eingehen.

Das Licht wird angenommen als zusammengesetzt aus einzelnen geradlinig fortlaufenden Lichtstrahlen. Der einzelne Lichtstrahl besteht in einer Bewegung des unwägbaren Aethers, dessen kleinste Theilchen als senkrecht zu der Ebene des Strahles schwingend gedacht werden müssen. Die Schwingungen der Aethertheilchen sind unendlich gering, gehen ganz ungemein rasch vor sich und setzen sich sehr geschwinde, von den einen Theilchen auf die nächst liegenden, fort. Der Aether ist überall verbreitet und durchdringt auch alle Körper.

Treffen Strahlen, die von einer Lichtquelle ausgehen, auf Körper, so können sie in denselben entweder ganz gehemmt, verschluckt werden; oder die Strahlen können durch die Körper hindurchgehen und sich jenseit weiter fortpflanzen; oder drittens, die Lichtstrahlen werden von Körpern zurückgeworfen, ohne in dieselben einzudringen. Selten zeigt sich bei einem Körper nur eine der angegebenen Beziehungen zum Licht, meist alle drei, nur in verschiedenem Grade.

Zurückgeworfen werden Lichtstrahlen unter demselben Winkel, unter dem sie auf den Körper fallen. Lichtstrahlen, die durch

einen Körper hindurchgehen, können ihn unter bestimmten Bedingungen geradlinig durchsetzen und auch, nach dem Austritt, in derselben Richtung fortgehen. Meist aber wird der Gang der in einen Körper tretenden Lichtstrahlen geändert, sie unterliegen einer Ablenkung und gehen, auch nach dem Austritt, in veränderter Richtung fort.

Von einer Lichtquelle ausgehende Strahlen breiten sich nach allen Seiten gleichmässig aus, bis sie auf ein Hinderniss stossen. Die Menge von Lichtstrahlen, für den gleichen Raum, nimmt dabei mit Entfernung von ihrer Quelle ab und zwar im Quadrat der Entfernung; d. h. wenn auf eine Fläche gewisser Grösse, in bestimmter Entfernung von der Lichtquelle, ein Lichtbündel bestimmter Stärke fällt, so gelangt bis zu einer Fläche von derselben Grösse, aber in doppelter Entfernung, ein Bündel, dessen Licht vier Mal schwächer ist, das also vier Mal weniger Lichtstrahlen enthält. Die aus grösserer Entfernung kommenden Strahlen sind für das Auge als parallele, die von einer näheren Quelle ausgehenden als divergente zu betrachten. Werden Lichtstrahlen von einem Körper zurückgeworfen, so hängt die Art der Zurückstrahlung von der Beschaffenheit des Körpers ab. Ist die Oberfläche desselben vollkommen glatt, dann wird von jedem Punkte auch nur ein Strahl in einer bestimmten Richtung zurückgeworfen; man nennt das regelmässige Reflexion. Ist die Oberfläche des Körpers mehr oder weniger rauh, wie das ziemlich bei allen Körpern der Fall ist, so entsteht eine unregelmässige Reflexion. Der Körper bietet nämlich dann sehr kleine, neben einander gelegene, aber verschieden gerichtete Flächen dar, welche alle die auf sie fallenden Lichtstrahlen verschiedenen Richtungen nach zurückwerfen. Die unregelmässige Reflexion vermittelt die Sichtbarkeit der Gegenstände; je weniger Licht ein Körper zurückwirft, desto dunkler erscheint er. Von einer Oberfläche, die viel Licht unregelmässig zurückstrahlt, sagt man, sie sei hell beleuchtet; eine solche, die viel Licht regelmässig zurückstrahlt, nennt man eine spiegelnde.

In Bezug auf das Verhalten des Auges zum Licht ist daran zu erinnern, dass in der Thierwelt sich darin bedeutende Verschiedenheiten zeigen; wir haben uns hier auf das menschliche Auge zu beschränken.

Lichtbrechung im Auge.

Lichtstrahlen, die das Auge treffen, unterliegen allen drei oben erwähnten Einflüssen: ein Theil von ihnen wird verschluckt, ein Theil zurückgeworfen und nur ein, verhältnissmässig nicht grosser, Theil dringt tiefer ins Innere des Auges ein.

Verschluckt werden die eindringenden Lichtstrahlen vorzüglich von der Pigmentschicht der Netzhaut; zurückgeworfen werden Strahlen besonders von Hornhaut und Linse. Die für das Sehen verwerthbaren Strahlen müssen durch die sog. brechenden Medien, d. i. Hornhaut, Kammerwasser, Linse und Glaskörper, und dann durch die inneren Schichten der Netzhaut, bis zum Sinnesepithel vordringen. Lichtstrahlen, welche die brechenden Medien durchsetzen, erleiden in vielen Fällen Ablenkungen von ihrem ursprünglichen Gange. In der Dioptrik hat man darüber sehr genaue Beobachtungen und Berechnungen angestellt. Hier brauchen wir nicht näher darauf einzugehen, müssen aber doch die wichtigsten einschlagenden Gesetze anführen.

Das Lichtbündel, welches von einem Punkte in das Auge gelangt, hat eine kegelförmige Gestalt; die Basis des Lichtkegels wird durch die Weite der Pupille bestimmt. Der Strahl des Bündels, der durch die Mitte der Pupille geht, wird als Axenstrahl bezeichnet.

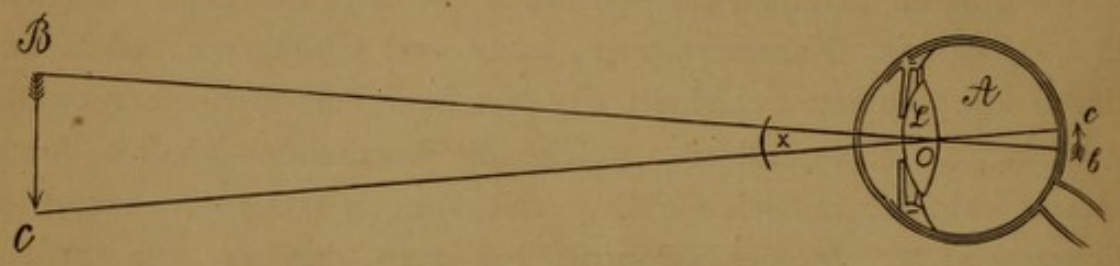
Von einem der Mitte der Pupille gerade gegenüber liegenden Punkte geht der Axenstrahl in ganz unveränderter Richtung bis zur Netzhaut. Dasselbe lässt sich ebenfalls, wenn auch nicht ganz zutreffend, für die Axenstrahlen annehmen, die von Punkten herkommen, welche der Pupille nicht gerade gegenüberliegen. Dagegen werden die übrigen Strahlen jedes Lichtkegels, bei ihrem Gange durch Hornhaut und Linse, so gebrochen, dass sie sich alle dem Axenstrahl zuwenden. Sie vereinigen sich schliesslich mit einander und mit dem Axenstrahle, können aber auch nach der Kreuzung mit diesem noch weiter fortgehen. Den Punkt, in welchem sich alle Strahlen eines Lichtkegels vereinigen, nennt man Bildpunkt, in Bezug auf den Punkt, von welchem sie ausgehen.

Alle von den einzelnen Punkten eines Gegenstandes in das

Auge dringenden Lichtbündel können nun so zur Vereinigung kommen, dass sie auf der Netzhaut ein zusammenhängendes Bild des Gegenstandes zu Stande bringen*). Die von den Punkten des Gegenstandes, zu den entsprechenden Punkten des Bildes, angenommenen geraden Linien bezeichnet man als Richtungslinien. Sie kreuzen sich in einem Punkte, der in der Linse liegt und Kreuzungspunkt der Richtungslinien genannt wird.

Dieser Kreuzung halber ist das Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut ein umgekehrtes (s. Fig. 7).

Fig. 7.



In Fig. 7 bezeichnet L die Linse des Auges, A, O den Kreuzungspunkt der Richtungslinien, Bb und Cc sind die von den Endpunkten des Pfeiles ausgehenden Richtungslinien, durch welche Lage und Grösse des Bildes auf der Netzhaut, bc, angedeutet wird. Den Winkel, welchen zwei Richtungslinien an ihrem Kreuzungspunkte in der Linse einschliessen, nennt man Gesichts- oder Sehwinkel (s. Fig. 7 x). Er bezieht sich immer auf die Punkte im Raume, von denen die Richtungslinien herkommen, und seine Grösse steht zu der Grösse des Netzhautbildes in geradem Verhältniss.

Zerstreuungskreise.

Damit das Bild eines Gegenstandes als Deutliches zum Bewusstsein kommen könne, muss es in die Stäbchenschicht der Netzhaut fallen. Das heisst, es müssen den einzelnen Punkten der Oberfläche des Gegenstandes gleich viele, gleich geordnete und

*) Nur Strahlen der Lichtkegel, die von einem im vorderen Brennpunkte des Auges, oder noch näher befindlichen Gegenstande herkommen, vereinigen sich nicht wieder im Auge, sie gehen durch die brechenden Medien in paralleler, oder selbst divergirender Richtung.

von einander getrennte Bildpunkte in der Stäbchenschicht entsprechen. Fällt die Wiedervereinigung der Lichtbündel nicht in diese Schicht, sondern diesseit oder jenseit derselben, dann werden in der Stäbchenschicht selbst, statt der Bildpunkte, eben so viele Durchschnitte der Lichtbündel gebildet. Solche Lichtbündeldurchschnitte nennt man Zerstreuungskreise. Sie greifen in einander über und machen, dass die Deutlichkeit des Bildes verwischt wird (s. Fig. 8 und 9).

In Fig. 8 sind zwei Lichtbündel angegeben, die von den Punkten a und b divergent in das Auge treten; sie werden durch Hornhaut und Linse so gebrochen, dass sie sich wieder einander

Fig. 8.

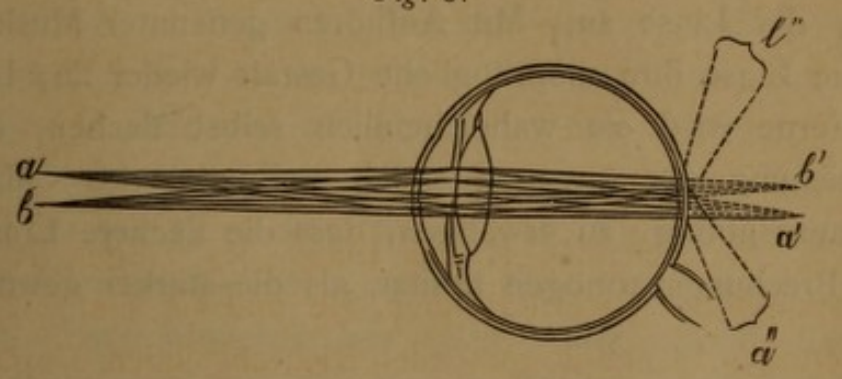
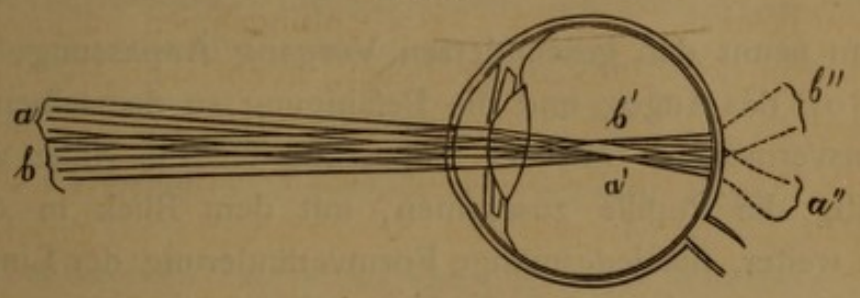


Fig. 9.



zuneigen, aber doch erst in den jenseit des Auges liegenden Punkten a′ und b′ zur Wiedervereinigung kommen würden. In Folge davon bilden sich auf der Netzhaut Zerstreuungskreise, die in einander übergreifen, sie sind durch die gestrichelten Linien a″ und b″ bezeichnet. — In Fig. 9 sind zwei Lichtbündel mit parallelen Strahlen angenommen und mit a und b bezeichnet; sie werden so stark gebrochen, dass sie schon innerhalb des Glaskörpers zur Vereinigung kommen, an den Punkten a′ und b′ und von da wieder auseinandergehend, auf der Netzhaut die Zerstreuungskreise a″ und b″ geben, die sich theilweise decken.

Das normale Auge ist im Ruhezustande so eingerichtet, dass parallele Strahlen, also solche, die von fernen Gegenständen kommen, sich gerade in der Netzhaut vereinigen. Bei der Kleinheit des Pupillendurchmessers kann übrigens die Divergenz der Strahlen schon vernachlässigt werden, wenn sie von Punkten herkommen, die über fünf Fuss vom Auge entfernt sind. Divergente Lichtstrahlen würden immer erst hinter der Netzhaut sich vereinigen, wenn es nicht im Auge selbst eine Vorrichtung gäbe, durch welche die Brechung verstärkt werden kann. Dazu dient der sog. Ciliarmuskel und das Linsensystem. Zieht sich der innere, ringförmige Theil des Ciliarmuskels zusammen, so werden Aufhängeband der Linse und Linsenkapsel entspannt, und in Folge dessen nimmt die Wölbung der Linse zu. Mit Aufhören genannter Muskelwirkung nimmt die Linse ihre ursprüngliche Gestalt wieder an; beim Blick in die Ferne wird sie wahrscheinlich selbst flacher, durch Zusammenziehung der äusseren radiären Bündel des Ciliarmuskels. Es ist kaum nöthig, zu erwähnen, dass die flachere Linse ein geringeres Brechungsvermögen besitzt, als die stärker gewölbte.

Die Accommodation.

Man nennt den geschilderten Vorgang Anpassung, Accommodation des Auges, und die Befähigung zu demselben Accommodationsvermögen. Mit der Anpassung für die Nähe zieht sich gleichzeitig die Pupille zusammen, mit dem Blick in die Ferne wird sie weiter, die jedesmalige Formveränderung der Linse nimmt eine gewisse, messbare Zeit in Anspruch.

Im jugendlichen Alter reicht die Accommodation aus, um Lichtstrahlen, die von ganz nahen Gegenständen kommen, auf der Netzhaut vereinigen zu können, selbst solche, die von einem nur zwei Zoll vom Auge entfernten Punkte divergirend ausgehen. Mit den Jahren aber nimmt das Accommodationsvermögen immer mehr ab, im höheren Alter muss es durch Brillengläser gewöhnlich ersetzt werden.

Verhältniss des Auges zu den sichtbaren Gegenständen.

Die Netzhaut des Auges wird durch Licht in eine bestimmte Art von Erregung versetzt. Dabei ist es im Ganzen einerlei, ob das Licht von einer selbst leuchtenden Quelle ausgeht, oder nur von beleuchteten Gegenständen zurückgeworfen wird. Das einwirkende Licht kann aber verschieden beschaffen sein. Erstens kann es sehr verschiedene Abstufungen der Lichtstärke geben, d. h. es kann zur Zeit eine kleinere oder grössere Menge von Licht in's Auge dringen. Zweitens kann ein Lichtreiz verschieden lange andauern und schliesslich ist es möglich, dass unterbrochene Lichteinwirkungen in sehr verschiedenen Zeiträumen auf einander folgen.

Durch verschiedenartige Verbindungen von Stärke, Dauer und Folge des von Gegenständen ausgehenden Lichtes kommt eine unendliche Mannigfaltigkeit in seinen Einwirkungen auf das Auge zu Stande. Hier brauchen wir nicht näher darauf einzugehen; denn bei den weiter zu besprechenden Beziehungen des Auges zu sichtbaren Gegenständen müssen Stärke und Dauer des von diesen kommenden Lichtes als gleichmässig gegeben angenommen werden.

Sehraum und Sehfeld des einzelnen Auges.

Wir betrachten zuerst das einzelne Auge in seinem Verhalten zu vorhandenen Gegenständen. Ferner nehmen wir zunächst an, dass zwar das Auge Bewegungen ausführen kann, aber Kopf und Körper dabei unbeweglich erhalten werden. In solchem Falle bringt die Beschaffenheit des Auges und seiner Umgebung es mit sich, dass ein bestimmt begrenzter Raum vorhanden ist, von dem aus Licht in das Innere des Auges dringen kann. Es wird derselbe als Sehraum des einzelnen Auges bezeichnet. Bei Bewegungen des Auges vergrössert er sich nur ein wenig nach der Seite der Bewegung hin, und verkleinert sich zugleich etwas auf der entgegengesetzten Seite.

Aber auch von den in einem bestimmten Sehraume vorhandenen Punkten werden selbstverständlich nur diejenigen Bildpunkte im Auge hervorbringen, von denen aus Lichtkegel, oder wenigstens ein Theil von den Strahlen des Lichtkegels, bis ins Auge gelangen können. Die Punkte mögen sehr ungleich weit vom Auge abstehen, nur darf nicht einer den anderen verdecken. Die Entfernung der Punkte kommt für das im Raume unbeweglich erhaltene Auge nicht in Betracht, wenn wir von der Accommodation absehen. Darauf hin fasst man alle Punkte eines Sehraumes, von denen zu gleicher Zeit Licht ins Auge bis zur Netzhaut dringen kann, zusammen als Sehfeld. Dasselbe hat eine unregelmässig kreisförmige Gestalt; seine Ausdehnung von oben nach unten beträgt gegen 100°, von innen nach aussen gegen 140°.

Das Auge tritt durch die von ihm selbst ausführbaren Bewegungen in wichtige Beziehung zu seinem Sehfelde. Denn es kommt beim Sehen immer wieder vorzüglich darauf an, in welche Lage zum Sehfelde die Linie gebracht wird, die man vom gelben Flecke der Netzhaut, durch die Mitte der Pupille, gerade nach aussen verlängert annimmt. Man bezeichnet sie als Sehlinie. Ihre Bedeutung für das Wahrnehmen wird später sich herausstellen. Erst müssen wir, der Hauptsache nach, kennen lernen, wie die Bewegungen des Auges vor sich gehen.

Die Augenbewegungen.

Die Bewegungen des Auges bestehen lediglich in Drehungen um einen feststehenden Mittelpunkt, den man auch als Drehpunkt des Auges bezeichnet. Ohne grossen Fehler können wir ihn als mit dem Mittelpunkte des Auges thatsächlich zusammenfallend annehmen. Die Bewegungen erfolgen mit Leichtigkeit, indem der Augapfel in der Augenhöhle, von einer sehnigen Haut und festem Fettgewebe umgeben, gleichsam wie in einem glatten Kugelgelenk eingelagert ist. Bewirkt werden die Drehungen durch die sechs oben kurz beschriebenen Augenmuskeln, vier gerade und zwei schiefe. Einzelne dieser Muskeln können wohl auch allein für sich in Wirkung treten; meist jedoch erfolgen Verkürzungen zweier, oder selbst dreier Muskeln zu gleicher Zeit. Auch befinden sich

alle sechs Muskeln beständig in einem gewissen Zustande der Spannung.

Die Drehungen des Auges müssen angesehen werden als geschehend um feste, durch den Drehpunkt des Auges gelegte Axen. Solcher sind drei anzunehmen:

1) eine Längsaxe, die vom hinteren zum vorderen Pole des Auges geht;

2) eine Queraxe, von einer Seite zur anderen;

3) eine Höhenaxe, die gerade von oben nach unten geht.

Alle drei schneiden sich also im Mittelpunkte des Auges unter rechten Winkeln.

Um Umfang und Richtung der Augenbewegungen von einem bestimmten Punkte aus messen zu können, nimmt man eine Anfangsstellung des Auges an. Es ist die, wo sich Längs- und Queraxe wagerecht über dem Boden befinden, die Höhenaxe lothrecht steht. Von der Anfangsstellung aus wird das Auge, wenn eine Drehung um die Höhenaxe allein vor sich geht, gerade von einer Seite zur anderen gewendet, wobei sich die Längsaxe gleichfalls nach rechts oder links kehrt. Durch Drehung um die Queraxe allein erhält das Auge die Richtung gerade nach oben oder unten, wobei sich die Längsaxe ebenfalls hebt oder senkt. Drehungen um die Längsaxe allein würden sog. Raddrehungen des Auges zu Stande bringen, doch finden solche allein beim gewöhnlichen Sehen gar nicht statt.

Drehungen um Höhen- oder Breitenaxe allein kommen vor, meist aber erfolgen die Bewegungen des Auges der Art, dass Drehungen um zwei oder auch um alle drei Axen sich mit einander verbinden. Vermöge derselben kann die Sehlinie mit grosser Leichtigkeit von den einen Punkten des Sehfeldes auf andere übergeführt werden. Nur in soweit ist diese Fähigkeit beschränkt, als die Sehlinie grossentheils nicht bis an den äussersten Umfang des Sehfeldes hin gewendet werden kann.

Blickfeld des einzelnen Auges.

Alle Punkte nun eines gegebenen Sehfeldes, auf welche die Sehlinie nach einander eingestellt werden kann, fasst man zusammen

als Blickfeld. Wir können dann auch die Sehlinie als Blicklinie bezeichnen und als zusammenfallend mit der Längsaxe des Auges annehmen. Schliesslich ist der Raum, den die Blicklinie vom Auge an bis zu allen gegebenen Blickpunkten durchlaufen kann, als Blickraum aufzufassen. Er ist also von kegelförmiger Gestalt, die Spitze dem Auge zugekehrt.

Die Ausdehnung des Blickfeldes misst man an einer senkrechten oder gekrümmten Fläche, die einige Zoll (8″—12″) vom

Fig. 10.

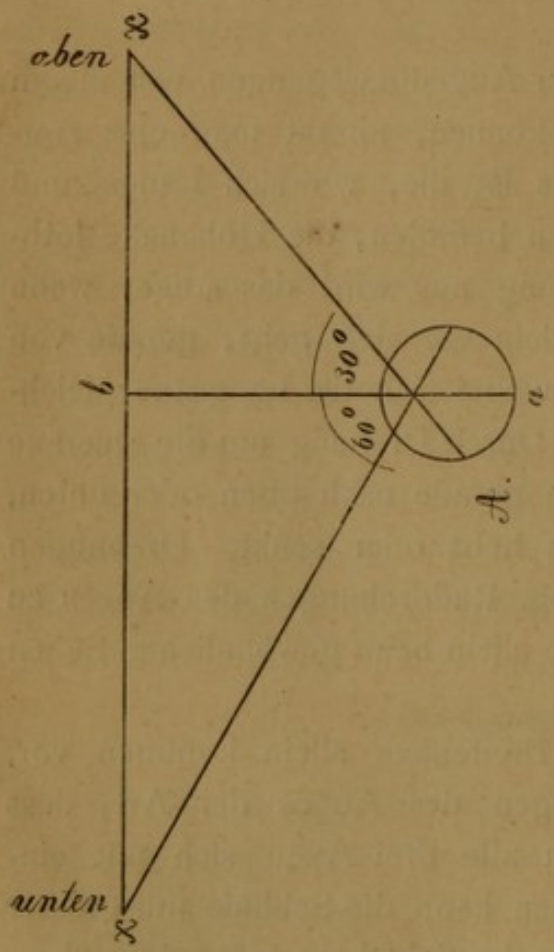
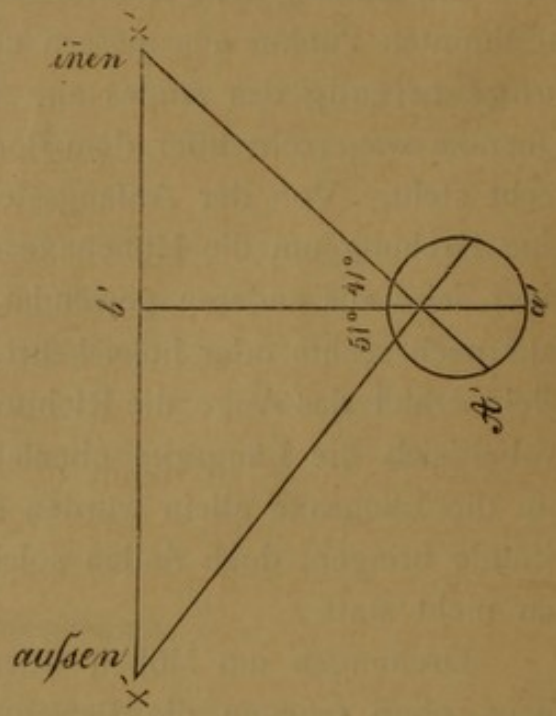


Fig. 11.



Auge entfernt ist; bei der gekrümmten Fläche muss der Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen im Auge mit dem Krümmungsmittelpunkte der Fläche zusammenfallen. Man geht von dem Punkte aus, wo die gerade gerichtete Blicklinie die Fläche trifft, und bemerkt nach allen Seiten hin die äussersten Punkte, bis zu denen hin die Blicklinie gewendet werden kann. Aus der Länge der auf der Fläche gefundenen Linien lassen sich die ihnen zugehörigen Winkel am Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen berechnen.

Die Ausdehnung des Blickfeldes nach oben beträgt im Mittel 30°; nach unten 60° (nach unten-aussen bis 62°); nach innen 41° (wegen des Vorsprunges der Nase), nach aussen 51° (s. Fig. 10 und 11).

In Fig. 10 und 11 bedeutet A und A′ das Auge, xx und x′x′ das Blickfeld, ab und a′b′ die Blicklinien.

Blickebenen.

Um eine bestimmte Eintheilung des Blickfeldes zu gewinnen, ist es zweckmässig zwei durch die Axen des Auges gelegte und bis zum Blickfelde verlängerte Ebenen anzunehmen. Eine durch die Längs- und Queraxe gelegte Ebene nennt man horizontale Meridian- oder Blickebene; die Ebene, welche Höhen- und Längenaxe in sich schliesst, ist als verticale Meridian- oder Blickebene zu bezeichnen. Beide schneiden sich natürlich unter rechten Winkeln und ihre Schnittlinie fällt mit der Blicklinie zusammen. Hebt sich die Blicklinie oder senkt sie sich, so geschieht dasselbe mit der horizontalen Blickebene; wendet sich die Blicklinie nach einer oder der anderen Seite hin, so kehrt sich die verticale Blickebene ebenfalls nach rechts oder links. Befindet sich das Auge in der Anfangsstellung, so trennt die horizontale Blickebene das Blickfeld in eine obere und untere, die verticale Blickebene dasselbe in eine äussere und innere Hälfte. Die Schnittlinien dieser Ebenen mit dem Blickfelde kreuzen sich in dem Mittelpunkte des Blickfeldes unter rechten Winkeln.

Bei Hebung der horizontalen Blickebene rückt auch die Schnittlinie derselben mit dem Blickfelde hinauf, die obere Hälfte des letzteren verkleinert sich, während die untere, dem entsprechend, zunimmt; bei Senkung der Blicklinien verhält es sich umgekehrt. Wendet sich das Auge nach aussen, so rückt auch die Schnittlinie der verticalen Blickebene mit dem Blickfelde nach aussen, die äussere Hälfte des letzteren verkleinert sich, die innere nimmt zu; umgekehrt ist es bei Richtung der Blicklinie nach innen. Wird die Blicklinie auf Punkte des Blickfeldes eingestellt, die in schräger Richtung vom Mittelpunkte liegen, so treten Neigungen der Blickebenen ein: bei Richtung der Blicklinie nach aussen-oben, oder

nach innen-unten geht das innere Ende der horizontalen Blickebene nach oben, das äussere nach unten und folglich das obere Ende der verticalen Blickebene nach aussen, ihr unteres Ende nach innen. Bei Richtung der Blicklinie nach innen-oben oder nach aussen-unten findet das Umgekehrte statt, die innere Seite der horizontalen Blickebene neigt nach unten, die obere Hälfte der verticalen Blickebene nach innen hin. Gleiche Neigungen zeigen dann auch die Schnittlinien der Blickebenen mit dem Blickfelde*).

Sehfeld und Sehraum, Blickfeld und Blickraum beider Augen.

Einer weiteren Beachtung bedarf das Verhalten beider Augen zu dem von gegebenen Gegenständen ausgehenden Lichte.

Die Augen sind beim Menschen so gestellt, dass Sehraum und Sehfeld beider Augen zum grössten Theile zusammenfallen; nur nach aussen bleibt jederseits ein Theil derselben, der dem einzelnen Auge allein angehört. Beide Augen übersehen einen Halbkreis von 200° Ausdehnung. Befinden sich die Augen in der Anfangsstellung, so fallen die nach innen verlängerten Queraxen derselben zusammen; die gerade Linie, welche die Mittelpunkte beider Augen verbindet, nennt man Grundlinie. Die Länge derselben ist nach Alter und Eigenthümlichkeit der Kopfbildung verschieden, schwankt zwischen 50 mm und 72 mm und beträgt im Mittel 58 mm bis 60 mm.

Zur Eintheilung des gemeinsamen Sehraumes und Sehfeldes denkt man sich eine gerade Linie, von der Mitte der Grundlinie zum Mittelpunkte des Sehfeldes gezogen, und bezeichnet sie als Mittellinie. Eine durch die Mittellinie gelegte, die Grundlinie unter rechten Winkeln schneidende Ebene nennt man Mittelebene; sie theilt Sehraum und Sehfeld in eine rechte und eine linke Hälfte.

Der gemeinsame Blickraum ist der Inbegriff aller Punkte eines gemeinsamen Sehraumes, auf welche sich beide Blicklinien gleichzeitig einstellen können, so dass sie sich zur Zeit gerade in

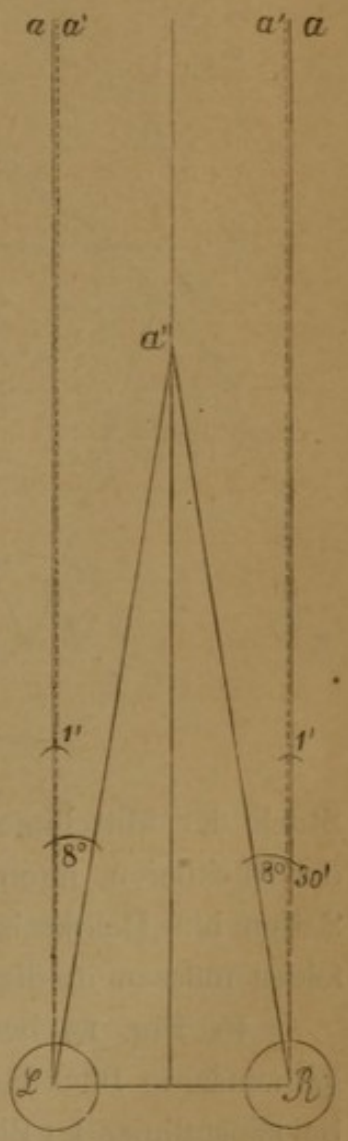
*) Diese Auffassung ist der bisher angenommenen gerade entgegengesetzt.

einem Punkte schneiden. Der gemeinsame Blickraum hat einen viel geringeren Umfang als der Sehraum; die Blicklinien können nicht beide zusammen auf stark seitlich gelegene Punkte eingestellt werden, zumal wenn diese sich nahe vor den Augen befinden.

Convergenz der Blicklinien.

Um in sehr entfernten Punkten zusammenzutreffen, nehmen die Blicklinien eine fast vollkommen parallele Lage zu einander an; sind die Punkte den Augen näher gerückt, so muss eine merkliche Neigung der Blicklinien gegen einander eintreten. Man nennt diesen Vorgang Convergenz, und den Winkel, den die Blicklinie dabei mit ihrer Anfangsstellung macht, Convergenzwinkel. Die Grösse desselben hängt ab von dem Abstande der beiden Augenmittelpunkte und der Entfernung des Punktes, auf den die Blicklinien eingestellt sind. Bei einer Länge der Grundlinie von 60 mm beträgt der Convergenzwinkel für einen Punkt auf 345 Fuss (103 m) Abstand, bei gleicher Stellung der Blicklinien für eine jede derselben nur eine Winkelminute (1′;) und darüber hinaus hat der Winkel für das gewöhnliche Sehen keine Bedeutung mehr. Ist der Kreuzungspunkt der Bildlinien 8 Zoll (20 cm) von der Mitte der Grundlinie entfernt, dann ist der Convergenzwinkel gleich 8° 30′.

Fig. 12.



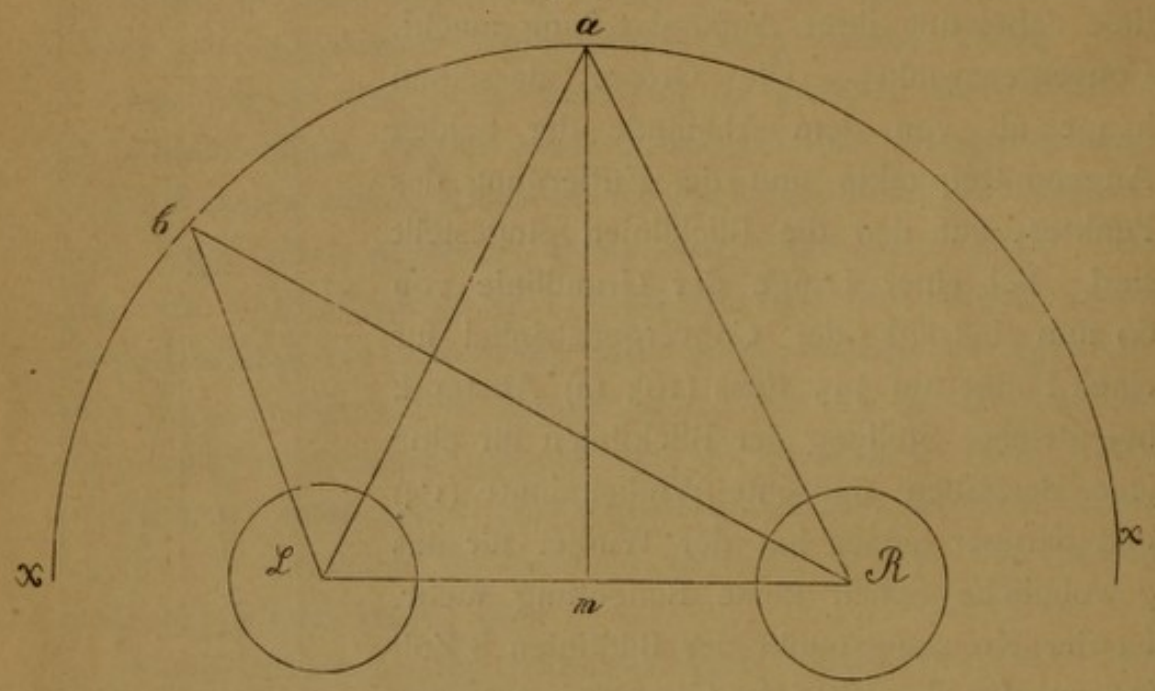
In Fig. 12 sind, leichterer Darstellung halber, die Verhältnisse in der Hälfte des wirklichen Masses dargestellt, die Grundlinie 30 mm lang, der nächste Convergenzpunkt auf (10 cm) 4″ = a″. R und L bedeuten die Augen, Ra und La die geradeaus gerichteten Blicklinien, Ra′ und La′ die Einstellung derselben auf einen 345 Fuss entfernten Punkt, Ra″ und La″ ihre Kreuzung auf 4 Zoll.

Schneiden sich die Blicklinien in irgend einem Punkte der

Mittelebene, dann sind ihre Convergenzwinkel gleich, schneiden sie sich seitlich von derselben, so sind sie ungleich; um so viel der eine grösser wird, ist der andere kleiner. Die Blicklinien können aus einer beliebigen Stellung übrigens in der Weise gehoben oder gesenkt werden, dass ihre Convergenzwinkel die nämlichen bleiben.

Alle Punkte nun im gemeinsamen Blickraum, die so neben einander liegen, dass die Blicklinien, bei gleichem Grade der Summe ihrer Convergenzwinkel, sich in ihnen schneiden können, fasst man zusammen mit dem Ausdruck gemeinsames Blickfeld. Es lässt sich für jeden Grad der Convergenz leicht so finden, dass man das

Fig. 13.



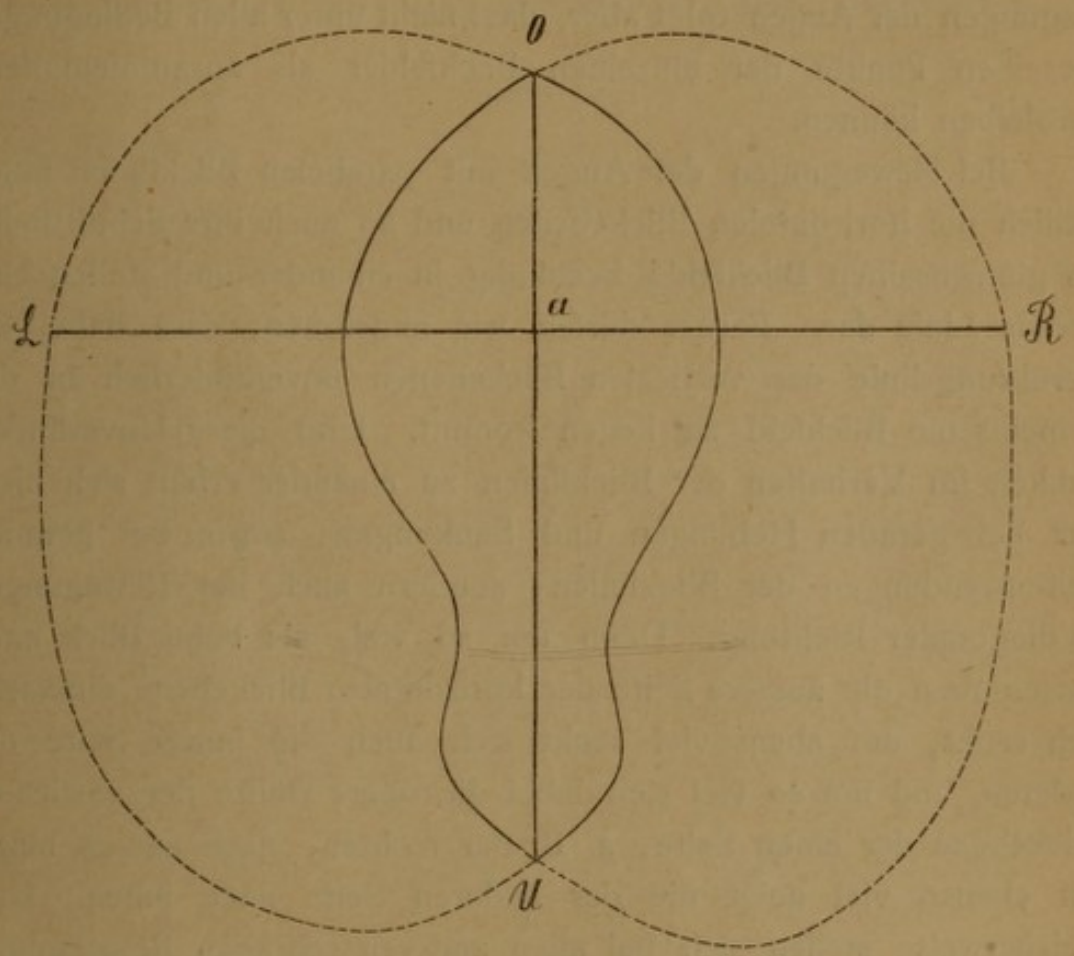
Stück der Mittellinie, von der Grundlinie bis zum Schnittpunkte der Blicklinien, nimmt und damit, als mit einem Radius, nach allen Seiten hin Halbkreise zieht. Alle Punkte des gemeinsamen Blickfeldes müssen in diese Halbkreise fallen (s. Fig. 13).

In Fig. 13 bedeuten R und L die beiden Augen, xx das gemeinsame Blickfeld, das mit dem Radius m a beschrieben ist; bei Einstellung der Blicklinien auf verschiedene Punkte desselben bleibt sich die Summe beider Convergenzwinkel gleich: $\sphericalangle LRa + \sphericalangle RLa = \sphericalangle LRb + \sphericalangle RLb$. Je näher den Augen, eine um so stärker gekrümmte Kugelfläche stellt das gemeinsame Blickfeld dar, auf

grossem Abstande, für das gewöhnliche Sehen wenigstens schon jenseit 300 Fuss, kann es als ebene Fläche angesehen werden.

Das gemeinsame Blickfeld hat eine beschränkte Ausdehnung und unregelmässige Gestalt, nur nach oben und unten reicht es ziemlich so weit, wie jedes einzelne Blickfeld für sich. Bei zu starken seitlichen Wendungen bleibt die eine Blicklinie in ihrer Bewegung hinter der anderen zurück (s. Fig. 14).

Fig. 14.



In Fig. 14 bedeuten die seitlichen gestrichelten Linien die äusseren Grenzen der einzelnen Blickfelder, die ausgezogenen Linien ihre Grenzen nach innen, die zugleich Form und verhältnissmässige Grösse des gemeinsamen Blickfeldes umschreiben.

R L bezeichnet die Schnittlinie der vereinigten horizontalen Blickebenen, O U die gemeinsame Schnittlinie der verticalen Blickebenen mit dem Blickfelde, a den gemeinsamen Blickpunkt.

Deckpunkte im gemeinsamen Blickfelde.

Ein Blick auf Fig. 14 zeigt schon, dass die einzelnen Blickfelder der Art zusammenfallen, dass ein Theil der äusseren Hälfte des einen Blickfeldes mit einem gleich grossen Theile der inneren Hälfte des anderen sich deckt. Es müssen also zwei Punkte der einzelnen Felder immer zu einem Punkte des gemeinsamen Feldes zusammenfallen, man nennt solche Deckpunkte. Aus den früher angegebenen Aenderungen in der Lage der Blickebenen bei Bewegungen der Augen folgt aber, dass nicht unter allen Bedingungen dieselben Punkte der einzelnen Blickfelder als zusammenfallend verbleiben können.

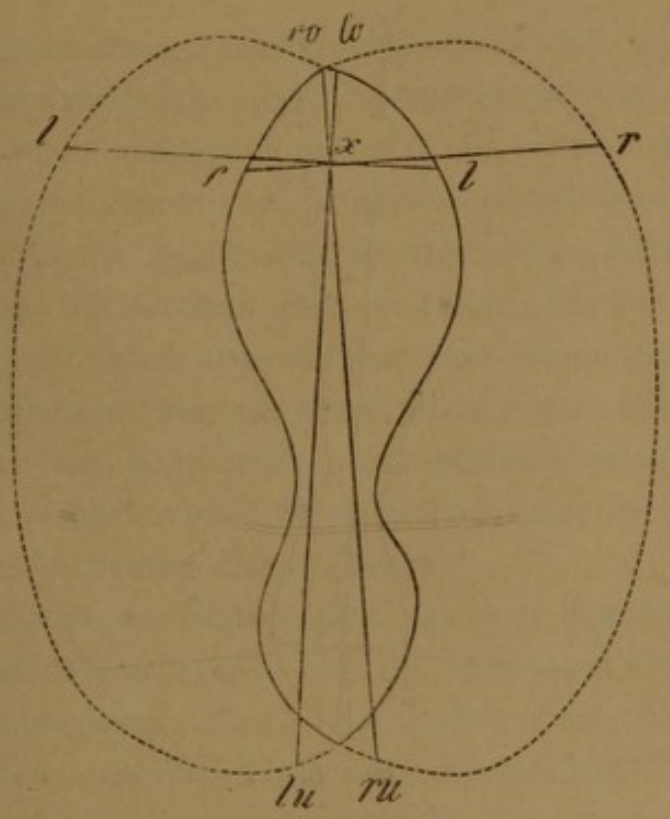
Bei Bewegungen der Augen mit parallelen Blicklinien fallen freilich die horizontalen Blickebenen und so auch ihre Schnittlinien im gemeinsamen Blickfelde beständig in einander und stellen eine gerade Linie dar. Ferner dürfen wir annehmen, dass dabei die Berührungslinie der verticalen Blickebenen unveränderlich in das gemeinsame Blickfeld zu liegen kommt. Und diese Unveränderlichkeit im Verhalten der Blicklinien zu einander erhält sich nicht nur bei geraden Hebungen und Senkungen, sowie bei geraden Seitenwendungen der Blicklinien, sondern auch bei Bewegungen in diagonaler Richtung. Denn um so viel, als beim Blick nach aussen-oben die äussere Seite der horizontalen Blickebene einerseits sich senkt, um ebensoviel senkt sich auch die innere Seite der anderen, und um so viel sich dabei die obere Hälfte der verticalen Blickebene der einen Seite, z. B. der rechten, nach aussen neigt, um ebenso viel neigt die der anderen Seite nach innen. Und gleicherweise stellen sich bei allen anderen schrägen Bewegungen der Augen entsprechende Neigungen der Blickebenen ein. Es bleiben also dabei die Punkte der einzelnen Blickfelder, die zu Deckpunkten zusammenfallen, unverändert als solche bestehen.

Verschiebungen der Deckpunkte.

Dieses Verhältniss ändert sich aber sogleich, wenn, mit Hebung und Senkung der Blicklinien, ein merklicher Grad von Convergenz eintritt. Dann trennen sich die horizontalen Blickebenen von ein-

ander und bilden mit dem Blickfelde Schnittlinien, die sich im Blickpunkte unter spitzen Winkeln schneiden. Bei Hebung der Blicklinien gehen sie ein wenig von oben-aussen nach innen-unten, bei Senkung der Blicklinien von oben-innen nach unten-aussen. Und da die verticalen Blickebenen, beim Blick nach innen-oben, mit ihren oberen Enden nach innen neigen, so werden die Schnittlinien derselben, mit dem Blickfelde, ebenfalls getrennte Linien darstellen, die sich im Blickpunkte kreuzen. Die Schnittlinie der rechten Blickebene wird von links oben nach rechts unten, die der linken, von rechts oben nach links unten gehen. Beim Blick nach

Fig. 15.



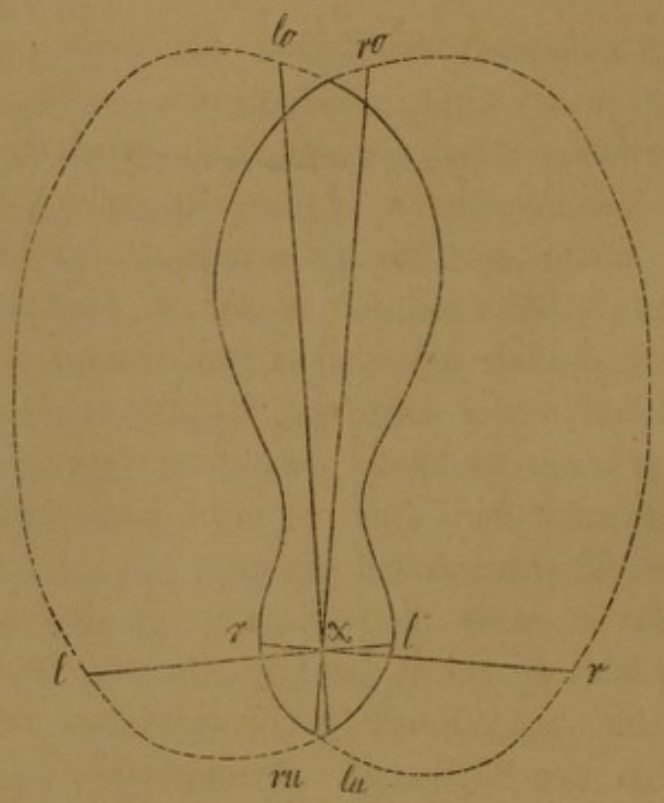
unten tritt die Trennung in umgekehrter Weise ein, die rechte Schnittlinie geht von rechts oben nach links unten, die linke von links oben nach rechts unten (s. Fig. 15 und 16).

Fig. 15 stellt die Kreuzung der Schnittlinien der Blickebenen mit dem gemeinsamen Blickfelde dar bei Convergenz nach oben, Fig. 16 dasselbe bei Convergenz nach unten, (vergl. Fig. 14). r r und l l bezeichnen die Schnittlinien der rechten und der linken horizontalen Blickebene, je mit dem einzelnen Blickfelde: r o r u und l o l u die Schnittlinien der verticalen Blickebenen.

Der Winkel, unter dem die Kreuzung der Schnittlinien der Blickebenen erfolgt, kann offenbar bis zu einigen Winkelgraden zunehmen; doch nur wenn sich eine starke Convergenz mit starker Senkung oder Hebung der Blicklinien verbindet.

Diese Kreuzung der Schnittlinien der Blickebenen bedeutet nun nichts anderes, als eine gewisse Verschiebung der einzelnen Blickfelder über einander: kommt zur Convergenz Hebung der Blicklinien, so rücken die beiden oberen Hälften, kommt Senkung dazu, die beiden unteren Hälften der Felder ein wenig übereinander. In ersterem Falle, bei Hebung, werden oberhalb des Kreuzungs-

Fig. 16.



punktes (der mit dem Blickpunkt zusammenfällt), zwischen den auseinanderweichenden Schnittlinien der Blickebenen, Theile zusammenfallen, die vordem zu den äusseren Hälften der einzelnen Felder gehörten und unterhalb des Kreuzungspunktes solche, die vordem den inneren Hälften der einzelnen angehörten. Bei Senkung der Blicklinien wird gerade das Umgekehrte stattfinden. Fig. 15 zeigt, dass in dem dreieckigen Raume r o x l o Theile der äusseren Hälften der einzelnen Blickfelder, in r o x l u Theile ihrer inneren Hälften zur Deckung gekommen sind. Fig. 16 weist aus, dass

im Dreieck lo x ro Theile der inneren Hälften, und in ru x lu Theile der äusseren Hälften zusammenfallen. Folglich müssen bei diesen Verschiebungen, der Blickfelder über einander, vordem bestehende Deckpunkte auseinanderweichen und wiederum neue Punkte zur Deckung kommen.

Ferner ist ersichtlich, dass zwischen den auseinanderweichenden Schnittlinien der horizontalen Blickebenen je ein oberer und ein unterer Blickfeldtheil zusammenfallen, während sich sonst obere mit der oberen und untere mit der unteren Hälfte gerade decken.

Verhalten der Deckpunkte zum Blickraum.

In dem gemeinsamen Blickraume kann eine unendliche Zahl gemeinsamer Blickfelder als möglich gedacht werden; aber zur Zeit ist immer nur eines wirklich vorhanden, in grösserem oder geringerem Abstande von den Augen, je nach der Stellung der Blicklinien. Fallen nun in einem gegebenen gemeinsamen Blickfelde je ein Punkt des einen Blickraumes mit je einem Punkte des anderen zusammen, so ist es klar, dass diesseit und jenseit desselben keine zwei anderen Punkte der einzelnen Blickräume Deckpunkte sein können. Jeder, vor oder hinter dem gemeinsamen Blickfelde gelegene wirkliche Punkt, wird eine ungleiche Lage in Bezug auf die Blickebenen der einzelnen Augen haben.

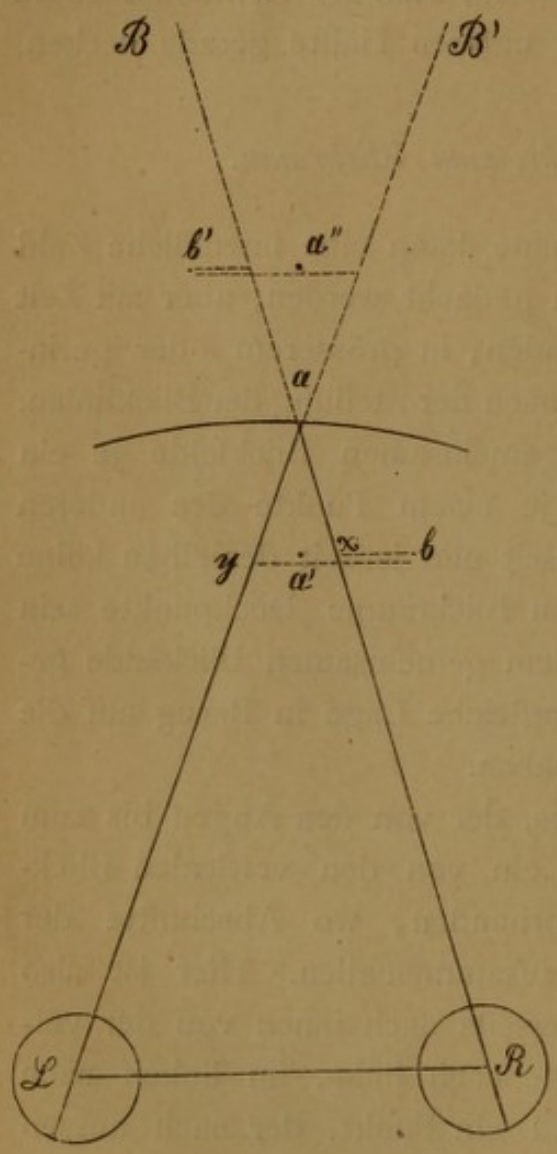
In dem Theile des Blickraumes, der von den Augen bis zum gemeinsamen Blickfelde reicht, ist ein von den verticalen Blickebenen eingeschlossener Raum vorhanden, wo Abschnitte der inneren Hälften der Blickräume zusammenfallen. Hier ist also ein wirklich gegebener Punkt beiderseits nach innen von der verticalen Blickebene, im rechten Felde nach links, im linken nach rechts von derselben gelegen. Und ein Punkt, der nach aussen von einer der verticalen Blickebenen liegt, findet sich freilich auf der gleichen Seite von beiden, rechts oder links, aber immer in ungleichem Abstande von jeder (s. Fig. 17).

Denken wir uns die verticalen Blickebenen über ein gemeinsames Blickfeld hinaus verlängert, nachdem sie sich in demselben gekreuzt haben, so wird jenseit der Kreuzung zwischen ihnen ein Raum gegeben sein, wo Abschnitte der äusseren Hälften der ein-

zelnen Blickräume zusammenfallen. Nach aussen von der einzelnen Blickebene werden dann Punkte zwar in gleicher Richtung von beiden, nach rechts oder nach links hin, aber auch wieder in ungleichen Abständen von ihnen sich befinden (s. Fig. 17).

Sind in Fig. 17 R und L die beiden Augen, deren Blicklinien RB und LB′ sich in a schneiden, so wird der diesseit des Schnittpunktes gegebene Punkt a′ jederseits nach innen von den durch Ra und La gehenden verticalen Blickebenen liegen; der Punkt b befindet sich in gleicher Richtung von ihnen, d. i. von beiden nach rechts hin, aber in einem um so viel grösseren Abstande von La, als von Ra, um wie viel der Abstand yb grösser ist als der Abstand xb.

Fig. 17.



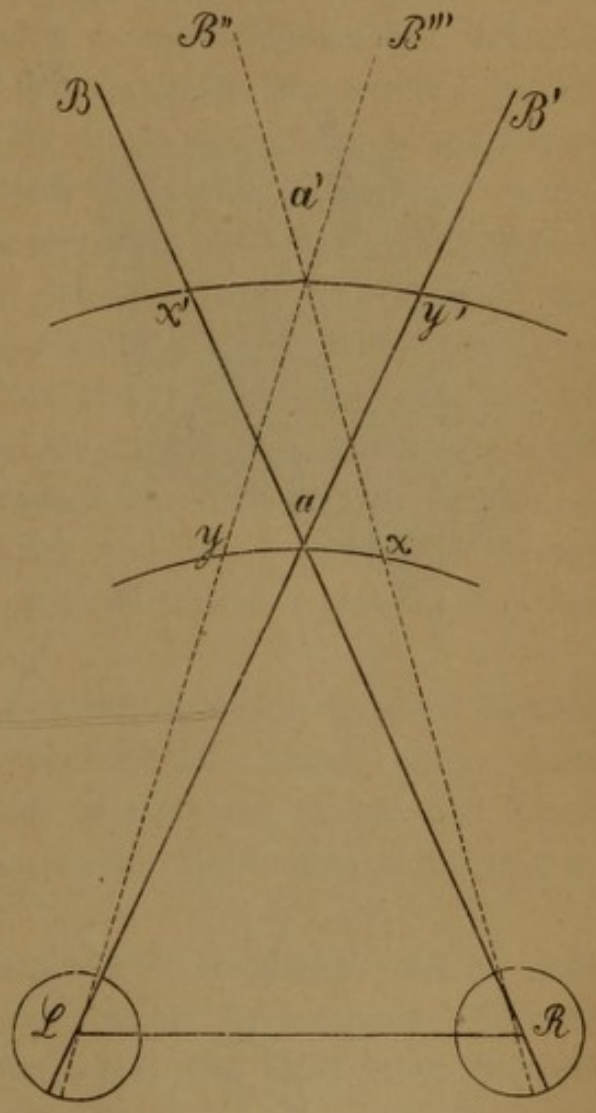
Die gestrichelten Linien bedeuten die über das gemeinsame Blickfeld hinaus verlängerten Blicklinien; ein jenseit des Schnittpunktes gegebener Punkt a″ befindet sich jederseits nach aussen von der verticalen Blickebene, und ein Punkt b′ ist zwar von beiden nach links hin gelegen, aber der durch RB gehenden Ebene näher, als der durch LB gehenden.

Es ist somit auch klar, dass beim Uebergange der Blicklinien von einem näheren auf ein ferneres Blickfeld die Punkte, die in ersterem als Deckpunkte zusammenfielen, je nach aussen auseinanderweichen. Beim Uebergange dagegen von einem entfernteren zu einem näheren Felde weichen die gewesenen Deckpunkte je nach innen von einander ab. Folglich rückt ein im Raume wirklich gegebener fester Punkt, auf den die Blicklinien eingestellt waren, in ersterem Falle je nach innen von der verti-

calen Blickebene, im zweiten Falle aber je nach aussen von ihr ab (s. Fig. 18).

Beim Uebergange der Blicklinien RB und LB′ von dem Blickfelde, wo sie sich in a schneiden, zu dem Felde, wo sie sich in a′ schneiden, bleibt der Punkt a jederseits nach innen von den Blickebenen, die von RB nach RB″ und von LB′ nach LB‴ auseinanderweichen, zurück und die sich in a deckenden Punkte der einzelnen Blickfelder rücken dabei im rechten Blickfelde nach x, im linken nach y hin. Beim Uebergange der Blicklinien von a′ nach a verhält es sich gerade umgekehrt: der Punkt a bleibt dann nach aussen von der einzelnen Blickebene zurück, die Deckpunkte in a′ weichen je nach x′ und y′ auseinander. Dasselbe gilt aber nicht nur für die Punkte, auf welche die Blicklinien eingestellt waren, sondern ebenso für alle übrigen Deckpunkte des gemeinsamen Blickfeldes: beim Fernersehen rücken sie je nach aussen von einander ab, beim Nähersehen je nach innen hin.

Fig. 18.



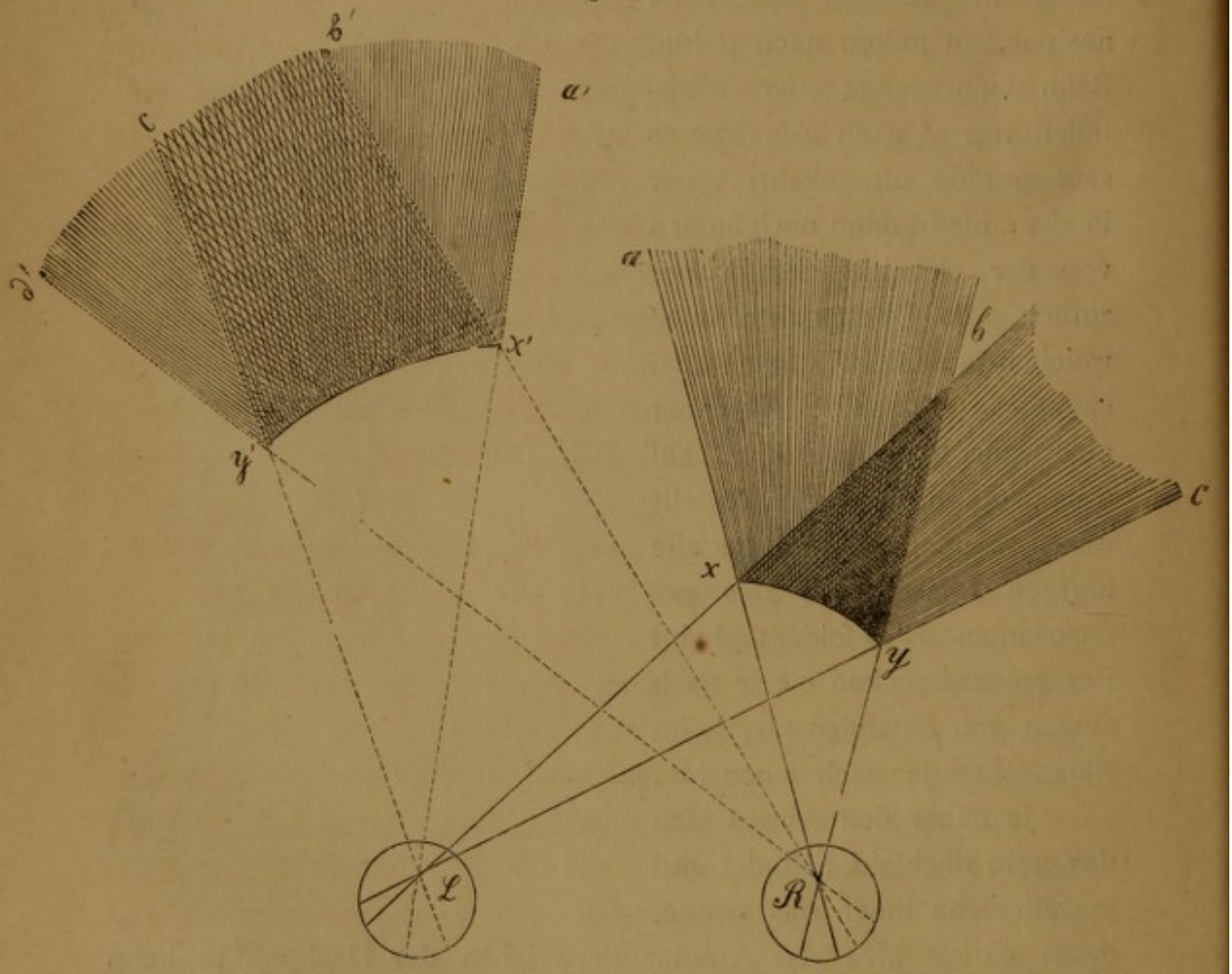
Je näher den Augen sich das erste Blickfeld befindet und je weiter von ihnen das zweite, desto stärker wird das Auseinanderweichen der Deckpunkte beim Uebergange der Blicklinien von einem Felde zum anderen.

Ein weiteres Verhalten des gemeinsamen Blickraumes zu den Augen besteht darin, dass es Punkte in demselben geben kann, die für ein Auge da sind, während sie für das andere Auge nicht vorhanden sind. Am leichtesten werden wir uns dieses Verhalten anschaulich machen, wenn wir die Blicklinien an mehreren, belie-

bigen Stellen des Blickraumes zur Kreuzung gebracht denken und an jeder von den gewesenen Kreuzungsstellen, einen begrenzten Flächenabschnitt als ständig verbleibend annehmen. Solche Flächenabschnitte werden mehrfach für das eine Auge Theile des Blickraumes verdecken, welche sie für das andere Auge unverdeckt belassen (s. Fig. 19).

In Fig. 19 sind z. B. zwei Flächenabschnitte im Blickraum angenommen, die mit xy und x'y' im Durchschnitt angedeutet

Fig. 19.



sind; R und L bedeuten die Augen. In diesem Falle wird durch die Fläche xy für beide Augen ein Theil des gemeinsamen Blickraumes verdeckt werden, der (auch im Durchschnitt) durch die doppelt schraffirte Stelle xyb bezeichnet ist. Zugleich ist aber für das rechte Auge noch ein Theil verdeckt, der von x anfängt, je weiter vom Auge, desto breiter wird, und von den Linien xa

und xb, wenn man sie in den Blickraum verlängert annimmt, seitlich begrenzt wird. Für das linke Auge bleibt der Theil verdeckt, der von y an durch die in den Blickraum fortgesetzten Linien, yb und yc, begrenzt wird. Der Flächenabschnitt x′y′ verdeckt gleichermassen für beide Augen einen Theil des gemeinsamen Blickraumes, dessen Umfang doppelt gestrichelt durch x′ b′ c′ y′ angedeutet ist, während für das rechte Auge ein Theil verschlossen ist, dessen Anfang in y′ sichtbar gemacht ist und der, breiter werdend, von den Linien y′c′ und y′d eingeschlossen ist, während für das linke Auge ein Theil unzugänglich ist, welcher breiter werdend, eine Ausdehnung hat, die durch die verlängert gedachten Linien x′a′ und x′b′ bezeichnet wird. Im vorliegenden Falle würden die Linien x′b′ und y′c′ ebenfalls weiterhin zur Schneidung kommen und von da ab, weiter hinaus, gäbe es dann keinen Theil des Blickraumes mehr, der durch die Fläche x′y′ für beide Augen zugleich verdeckt wäre. Nehmen wir aber Flächenabschnitte an, die breiter sind als der Abstand der Augenmittelpunkte von einander, dann kommen die an ihren Rändern vorübergehenden Richtungslinien nicht zur Kreuzung, und der von einer solchen Fläche für beide Augen verdeckte Theil des Blickraumes reicht von der Fläche ab unendlich weit.

Selbstverständlich richtet sich die Ausdehnung eines Theiles des gemeinsamen Blickraumes, der für die Augen durch einen Flächenabschnitt verdeckt wird, nicht nur nach Grösse und Form des letzteren, sondern auch nach seiner Entfernung und Lage in Bezug auf die Augen.

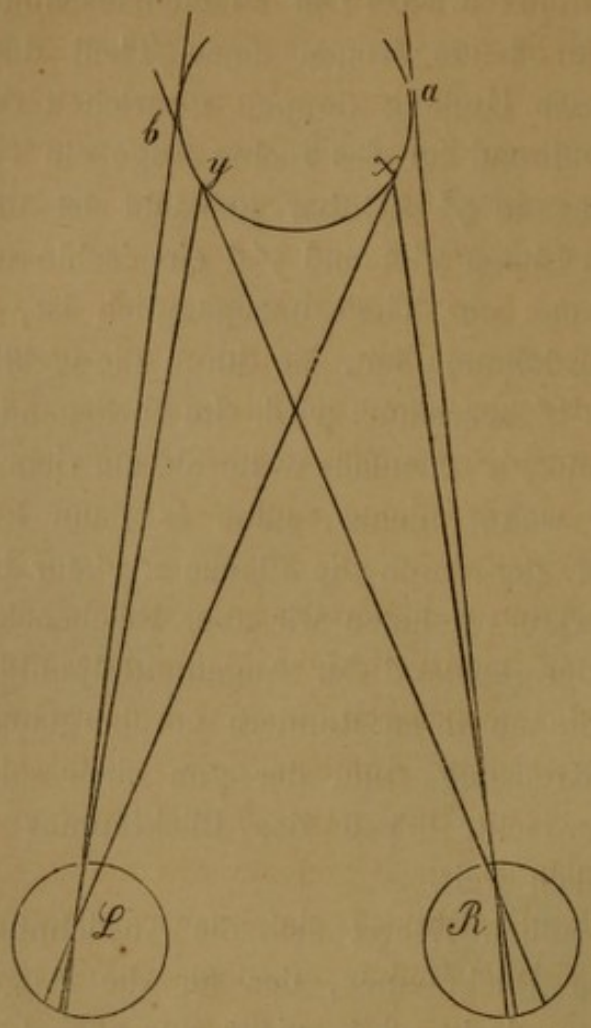
Wir wollen hier nur noch den Fall erwähnen, wo in dem gemeinsamen Blickraume ein oder mehre gekrümmte Flächenabschnitte gegeben sind, der Art, dass ein Theil einer solchen Fläche dem einen Auge zugänglich, für das andere aber verdeckt ist (s. Fig. 20).

---

*) Den Winkel, den die beiden Blicklinien bilden, wenn sie am Rande eines gemeinsamen Blickfeldes, sich kreuzend, in den Blickraum verlängert gedacht werden, könnte man als paralactischen Winkel beim binoculären Sehen bezeichnen. Seine Schenkel schliessen immer einen Theil des Blickraumes ein, der einem Auge zugänglich, für das andere aber verdeckt ist.

In Fig. 20 ist z. B. die gekrümmte Fläche ab angenommen, von der die mittlere Parthie zwischen x und y beiden Augen zu-

Fig. 20.



gänglich ist, während der Theil xa für das rechte Auge frei, für das linke aber verdeckt, der Theil yb dagegen für das linke Auge frei, für das rechte aber verdeckt ist.

Die Augen in ihren Bewegungen mit Kopf und Körper.

Bewegungen des Kopfes, sowie des ganzen Körpers, verursachen Lagenveränderungen der Augen und damit auch Aenderungen im Verhältniss dieser zur Aussenwelt.

Bewegungen des Kopfes und Körpers.

Der Kopf ist, ähnlich wie das Auge um drei Axen, drehbar, wenn auch kein ganz fester Drehpunkt für ihn besteht. Als Axen für denselben sind anzunehmen: 1) eine Längenaxe, die von der

Stirn, oberhalb der Nase, zum Hinterhaupt gehend, gedacht wird; 2) eine Queraxe, von einer Schläfe zur anderen reichend; 3) eine Höhenaxe, vom Scheitel zur Grundfläche des Schädels gerichtet. Diese Axen müssen auch als unter rechten Winkeln sich schneidend angenommen werden.

Dreht sich der Kopf um die Längsaxe, so wird er nach einer oder nach der anderen Seite hin geneigt; um die Queraxe wird er nach vorn geneigt, oder nach hinten zurückgelegt; um die Höhenaxe ist er nach rechts oder nach links drehbar. Bei aufrechtem Kopfe und Körper werden somit die Augen, durch Drehung um die Höhennaxe allein, beide in derselben Ebene, gerade nach einer Seite hin gekehrt; bei Drehung um die Queraxe neigen die Augen herunter, oder richten sich hinauf; bei Drehung um die Längsaxe wird das eine Auge nach unten, das andere nach oben gekehrt.

Diese drei Arten der Bewegungen der Augen mit dem Kopfe können sich nun in mannigfaltiger Weise mit einander verbinden, wobei fortlaufend Aenderungen, sowohl in dem Grade der Drehung, als auch in der Art ihrer Aufeinanderfolge, stattfinden können.

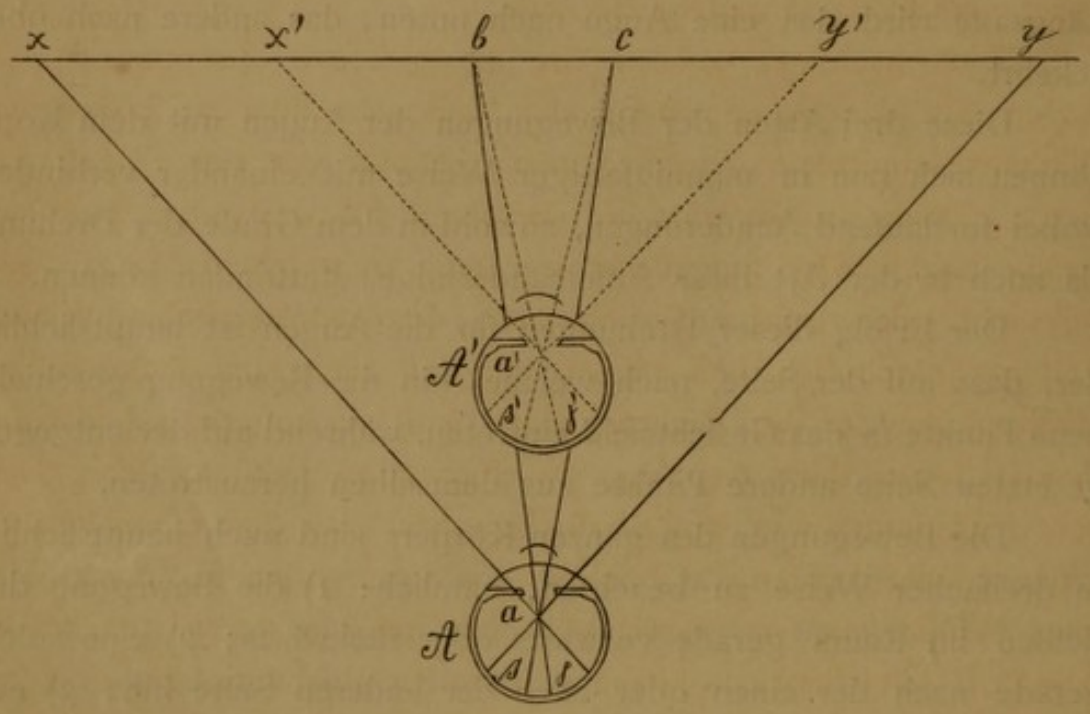
Der Erfolg dieser Drehungen für die Augen ist hauptsächlich der, dass auf der Seite, nach welcher hin die Bewegung geschieht, neue Punkte in das Gesichtsfeld eintreten, während auf der entgegengesetzten Seite andere Punkte aus demselben heraustreten.

Die Bewegungen des ganzen Körpers sind auch hauptsächlich in dreifacher Weise zu beachten, nämlich: 1) die Bewegung desselben im Raum gerade vorwärts oder rückwärts; 2) eine solche gerade nach der einen oder nach der anderen Seite hin; 3) eine Bewegung gerade abwärts und wieder aufwärts. Diese drei können sich auch in mannigfaltiger Weise mit einander verbinden. Die Drehung des Körpers um seine Längsaxe hat denselben Erfolg, wie die gleiche Bewegung des Kopfes. Bei diesen Bewegungen erfolgen mehrfache Veränderungen der im Sehraume gegebenen Punkte; wir wollen davon nur die für das Sehen wichtigsten hervorheben.

Aenderung des Sehwinkels bei räumlichen Bewegungen der Augen.

Findet eine Vorbewegung des Körpers statt, durch welche eine Annäherung des Auges an zwei getrennte Punkte des Sehfeldes hervorgebracht wird, so vergrössert sich der Sehwinkel für den Abstand dieser Punkte von einander, d. h. die von diesen Punkten ausgehenden Richtungsstrahlen bilden mit einander, am Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen im Auge, einen grösseren Winkel. Bei Entfernung des Auges von den Punkten nimmt der Sehwinkel ab. Selbstverständlich kann Zunahme oder Abnahme desselben

Fig. 21.



gleichzeitig für mehrere vorhandene Punkte stattfinden, und ausserdem für einige Punkte in schwächerem, für andere in stärkerem Grade. Das bestimmt sich nach der Entfernung der Punkte vom Auge.

Die Vorbewegung bringt es ferner mit sich, dass fortwährend Punkte aus dem Sehfelde über den Umfang desselben hinaus verschwinden, während die Rückbewegung ein Hereintreten neuer Punkte von dort aus bedingt (s. Fig. 21).

In Fig. 21 ist eine Vorbewegung des Auges von A nach A′ angenommen und das Sehfeld xy, der bequemeren Darstellung wegen, dem Auge so nahe gerückt. Für die Stellung A setzen

wir die horizontale Ausdehnung des Sehfeldes = xy und dann ergeben die zwei Punkte b und c einen Sehwinkel = bac. Beim Vorrücken des Auges nach A′ verkleinert sich das Sehfeld jederseits um die Abschnitte xx′ und yy′, während der Sehwinkel für den Abstand der Punkte b und c von einander = ba′c zunimmt. Entsprechend dem grösseren Winkel ist denn auch der Abstand der beiden Bildpunkte in A′ = $\beta'\gamma'$ grösser, als der Abstand der Punkte $\beta\gamma$ in A.

Bei räumlicher Verschiebung des Auges gerade nach einer Seite hin, sowie gerade auf- oder abwärts, treten auf der Seite, wohin die Bewegung geht, neue Punkte in das Sehfeld ein und es vergrössert sich der Sehwinkel für zwei daselbst gelegene, getrennte Punkte; auf der Seite, von wo die Bewegung des Auges ausgeht, findet gerade das Umgekehrte statt.

Noch wichtiger werden die angegebenen Bewegungen der Augen für das Sehen, wenn der Blickraum Punkte, Linien und Flächenabschnitte in verschiedenem Abstande von den Augen darbietet. Dann können einzelne derselben für das Auge bald verdeckt, bald wieder aufgedeckt werden. In welchem Masse dieses geschieht, das bestimmt sich nach dem paralactischen Winkel. Ziehen wir nämlich von einem Auge zu einem im Blickraum gegebenen Punkte die Richtungslinie und verlängern sie darüber hinaus, führen dann das Auge in eine andere Stellung über, und ziehen wiederum von ihm die Richtungslinie zu demselben Punkte; schliessen die beiden am Punkte sich kreuzenden Richtungslinien einen Winkel ein, so bezeichnet man ihn als paralactischen Winkel. Gleicherweise lassen sich die Richtungslinien bis zu einem Punkte an einer Linie, oder am Rande eines Flächenabschnittes ziehen und weiter verlängert denken (s. Fig. 22 und 23).

Nehmen wir die Schenkel eines paralactischen Winkels fortgehend an, bis zu zwei im Blickraum vorhandenen Punkten, so steht der lineäre Abstand dieser von einander in geradem Verhältniss zu der Grösse des Winkels, wenn die Schenkel des Winkels gleich lang sind. Danach kann auch die lineäre Ausdehnung eines ferneren Flächenabschnittes, der bei räumlicher Verschiebung des Auges aufgedeckt, oder aber verdeckt wird, bestimmt werden (s. Fig. 22 und 23).

In Fig. 22 bedeuten A, A′, A″ dasselbe Auge in verschiedenen Stellungen bei räumlicher Verschiebung in derselben Horizontalebene, ab und xz′ zwei im Durchschnitt dargestellte senkrechte Flächenabschnitte. Beim Uebergange des Auges von A gerade vorwärts nach A′ geht die am Rande des näheren Flächenabschnittes vorbeistreichende Richtungslinie oaz in die Lage o′ay über und beschreibt dabei den paralactischen Winkel zay; der lineäre Abstand der Punkte z und y wird durch die Linien zy″ angegeben. Am anderen Ende der Fläche kommt die Richtungslinie oby′ in die Lage o′bz′, bildet den Winkel y′bz′, und der lineäre Abstand von y′ und z′ wird durch die gerade Linie y′z″ bezeichnet. Beim Uebergange des Auges, seitwärts nach A″ hin, geht die Richtungslinie oaz in die Lage o″ax über, wobei der paralactische Winkel xaz entsteht, der lineäre Abstand der Punkte z und x wird durch die gerade Linie zx″ angegeben. Die Richtungslinie oby′ wird bei der erwähnten Bewegung nach o″bx′ übergeführt, so dass der Abstand von y′ und x′ durch die Linie x′y‴ angedeutet wird und der paralactische Winkel x′by′ entsteht.

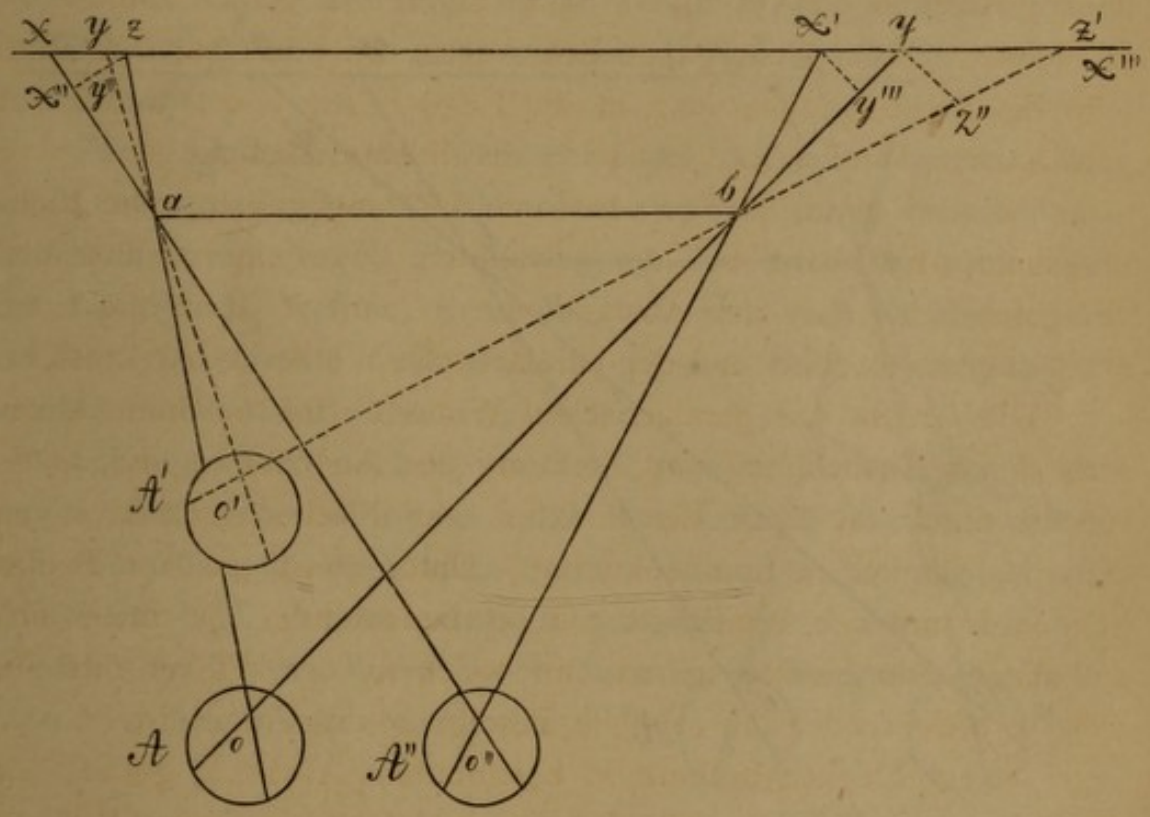
Die Grösse des paralactischen Winkels wird bestimmt einerseits durch Ausdehnung und Richtung der Augenbewegung, andererseits durch die Lage des Punktes oder Flächenabschnittes, an dem der Winkel zu Stande kommt. Unter sonst gleichen Bedingungen nimmt der Winkel zu um so bedeutender, je mehr sich das Auge dem Punkte nähert, an welchem der Winkel entsteht, oder je bedeutender die seitliche Bewegung des Auges ist.

Ist ein Flächenabschnitt in bestimmtem Abstande gerade vor den Augen gegeben, so fällt die Grösse des paralactischen Winkels verschieden aus, je nachdem der Rand der Fläche, an welcher er gebildet wird, sich näher oder ferner von der Mitte des Blickfeldes befindet. Am Flächenrande, welcher der Mitte des Blickfeldes näher liegt, ist bei Vorbewegung des Auges der Winkel kleiner, als wie er zu gleicher Zeit am ferneren Rande beschrieben wird (s. Fig. 22 und 23, Winkel zay kleiner als Winkel y′bz′). Umgekehrt verhält es sich bei der Seitenbewegung der Auges, da ist, bei gleicher Ausdehnung der Bewegung, am näheren Flächenrande der paralactische Winkel grösser, als er am ferneren Rande ausfällt (s. Fig. 22 und 23, Winkel xaz grösser als Winkel x′by′).

Die lineäre Ausdehnung eines ferneren Flächenabschnittes, die durch einen paralactischen Winkel gemessen wird, hängt einestheils ab von der Grösse dieses Winkels, anderntheils von der Entfernung des Flächenabschnittes von dem Punkte, an welchem der Winkel sich bildet. Entsprechend der Zunahme dieser Entfernung wächst auch die lineäre Ausdehnung des Flächenabschnittes, wenn die Schenkel des paralactischen Winkels einander gleich bleiben.

Wenn am Rande eines Flächenabschnittes ein paralactischer Winkel entsteht, so können, ihm entsprechend, im ferneren Theile

Fig. 22.



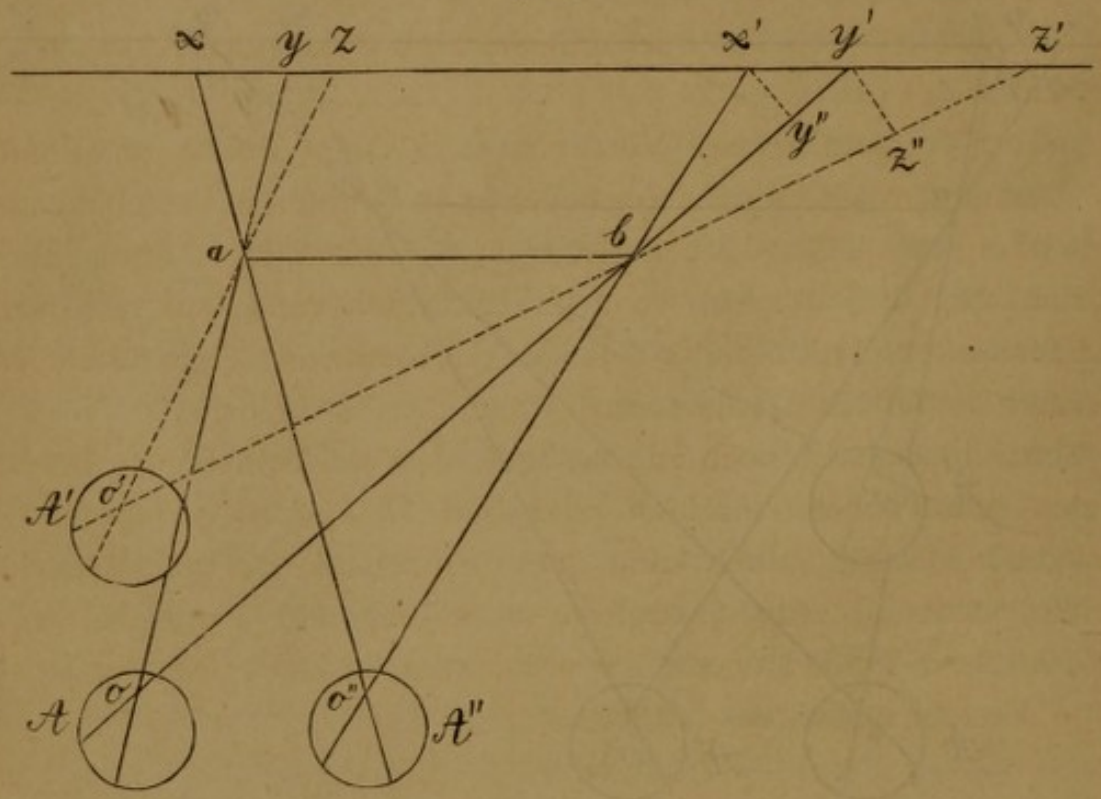
des Blickraumes Punkte, Linien und Flächenabschnitte aufgedeckt, oder im Gegentheil verdeckt werden. An dem Flächenrande, welcher dem Auge zugekehrt ist, findet bei Vorbewegung des Auges ein Aufdecken von ferneren Punkten statt, an dem vom Auge abgewendeten Rande ein Verdecken (s. Fig. 22 und 23). Die seitliche Bewegung bedingt ein Aufdecken von ferneren Punkten an dem Rande des Flächenabschnittes, zu welchem hin die Bewegung des Auges stattfindet, ein Verdecken hingegen an dem Rande, von welchem her die Bewegung ausgeht (s. Fig. 22 und 23).

In Fig. 23 ist die Bezeichnung wie in Fig. 22. In Fig. 22

tritt hervor wie an beiden vom Auge abgewendeten Rändern des Flächenabschnittes ab, beim Vorrücken des Auges von A nach A′, die Theile der ferneren Fläche von z bis y und von y′ bis z′ verdeckt werden. In Fig. 23 ist dargestellt, dass bei der gleichen Augenbewegung an dem zugekehrten Rande, bei a, ein Theil der ferneren Fläche, von y bis z, aufgedeckt, am entgegengesetzten Rande, bei b, dagegen ein Theil derselben, von y′ bis z′, verdeckt wird.

Geht die Bewegung des Auges von A nach A″, so wird an

Fig. 23.



dem Rande des Flächenabschnittes, wohin die Bewegung geht, bei b, ein Theil der ferneren Fläche aufgedeckt, von y′ bis x′, an dem Rande, von wo die Bewegung ausgeht, bei a, ein Theil zugedeckt, von y bis x.

Bei Zunahme oder Abnahme eines paralactischen Winkels kann also der Punkt, an welchem der Winkel sich bildet, mit einer ganzen Reihe fernerer, im Sehfelde jedoch neben einander liegender Punkte zur Deckung kommen; je mehr er sich neuen Punkten nähert, desto mehr entfernt er sich von denen, mit welchen er vordem zusammenfiel.

Beim Uebergange der Richtungslinie (die wir hier passender Weise als mit der Blicklinie des Auges zusammenfallend annehmen können) von oaz nach o'ay (Fig. 22), oder von oay nach o'az (Fig. 23), kann Punkt a mit mehreren zwischen y und z gelegenen Punkten nach einander zur Deckung kommen. Je mehr Punkt a sich z nähert, desto mehr entfernt er sich von y, und umgekehrt, je mehr er sich y nähert, um so mehr entfernt er sich von z. Und so findet ein entsprechendes Einandernäherrücken oder Voneinanderabrücken der näheren Punkte (a und b) von den entfernteren (x, x', y' u. s. w.) auch für die übrigen räumlichen Verschiebungen des Auges statt (Fig. 22 und 23), je nachdem die Bewegung von A nach A' und A'' oder umgekehrt, von A' oder A'' nach A hin stattfindet.

Die Verhältnisse des Verdeckt- oder Aufgedecktwerdens und des Zusammenrückens oder Abrückens von Punkten in verschiedener Entfernung vom Auge, bei Bewegung des letzteren, kann aber sehr mannigfaltig werden, wenn im Blickraum viele Punkte, Linien und Flächenabschnitte hinter einander gegeben sind; doch brauchen wir hier darauf nicht näher einzugehen.

Schliesslich ist noch zu erwähnen, dass bei Betheiligung beider Augen, statt eines einzelnen, das hier Gesagte der Hauptsache nach ebenfalls gilt; doch kann unter Umständen der paralactische Winkel für beide Augen ungleich ausfallen, und kann das Aufgedeckt- und Verdecktwerden von Punkten im Blickraum für jedes Auge Verschiedenheiten darbieten.

DAS SEHEN.

Nachdem das Nothwendigste über die Einrichtung des Auges, sein Verhalten zum Licht und zu gegebenen Gegenständen angeführt worden, muss nun das Sehen gesetzlich bestimmt werden. Zu festen Gesetzen für das Sehen werden wir aber nur kommen, wenn wir es als Theil des seelischen Seins auffassen. Die daran sich weiterhin knüpfenden geistigen Thätigkeiten und Zustände, wie das Schliessen und Urtheile, kommen hier nicht in Betracht. Wir wollen also suchen die bei Erforschung des Sehens sich ergebenden Thatsachen, als dem seelischen Sein des Einzelnen zugehörig zu ordnen. Dann wird es sich ergeben, ob aus einer solchen Zusammenstellung Gesetze abgeleitet werden können, welche die Erscheinungen in ihrem Zusammenhange zu erklären vermögen.

Demgemäss ist festzustellen, welcher Art die Eindrücke sind, die das Auge empfängt; in welcher Weise durch diese Eindrücke die Empfindung angeregt wird; wie die, durch letztere in Beziehung zu einander gebrachten, Gesichtseindrücke mittelst des Wahrnehmens zusammengefasst werden, so dass daraus einzelne Vorstellungen und die gesammte Gesichtsanschauung hervorgeht.

Wir müssen jedoch gleich beifügen, dass eine vollständige Lösung dieser Aufgabe noch lange nicht möglich sein wird und auch hier nicht beabsichtigt ist. Es soll nur ein erster Versuch gemacht werden, auf dem angegebenen Wege der Lösung um Etwas näher zu kommen.

Die Gesichtseindrücke.

Das Licht ist der eigentliche Reiz für das Auge, den Gesichtssinn. Die einzelne, zum Bewusstsein kommende und als Erscheinung aufgefasste Lichteinwirkung bezeichnen wir als Gesichtseindruck.

Als Gesetz für die Sinneseindrücke überhaupt stellen wir fest, dass sie als etwas ausserhalb Gegebenes, Gegenwärtiges sich dem

Bewusstsein aufdrängen. Es wird sich nun fragen, in welcher Weise Lichtreize als Gesichtseindrücke aufgefasst werden.

Reizschwelle.

Die Empfänglichkeit des Auges für Licht ist gross; doch ist es nicht leicht, die geringste Menge Licht zu bestimmen, durch welche es in Erregung versetzt wird, die sog. Reizschwelle.

Um mittelst Versuches das schwächste Licht zu bestimmen, das im Stande ist, einen Lichteindruck hervorzurufen, muss sich das Auge zuvor längere Zeit in vollkommener Dunkelheit befunden haben. Dennoch können Täuschungen, sog. subjective Lichterscheinungen, durch Zerrung der Muskeln eintreten. Ferner ist die Erregbarkeit der Netzhaut bedeutenden Schwankungen unterworfen. Hatte seit längerer Zeit kein Licht eingewirkt, dann ist sie am grössesten, durch jede Reizung wird sie um etwas abgeschwächt. Jede Herabsetzung der Erregbarkeit beruht auf Ermüdung, die ja allen Sinnesvorrichtungen und überhaupt allen nervösen Bildungen eigenthümlich ist. Die Ermüdung der Netzhaut ist auch, entsprechend dem allgemeinen Gesetze, am bedeutendsten nach der Einwirkung starker und anhaltender Reize. Fanden solche statt, dann ist das Auge einige Zeit über gegen weiter folgende Reize abgestumpft. Die Wirkung hellen Lichtes ist übrigens auch sehr verschieden danach, ob es von einer kleineren oder grösseren Fläche ausstrahlt. Setzen wir das Auge bestimmtem, mässigem Lichte aus, dann lässt sich ermitteln, um wie viel dieses verstärkt werden muss, damit ein Unterschied gegenüber dem schon vorhandenen Eindrucke zum Bewusstsein kommen könne.

Reizzuwachs.

Man hat zu dem Zwecke das ganze Sehfeld, oder einen Theil desselben, in Licht bestimmter Stärke gebracht und dann dieses allmälig vermehrt, bis der neue Eindruck erhöhter Helligkeit hervortrat. Es hat sich dabei ergeben, dass zu solchem Erfolge das vorhandene Licht um den hundertsten Theil seiner ursprünglichen Stärke ver-

mehrt werden müsse. Man bezeichnet diese Grösse als eben messbaren Reizzuwachs.

Soll aber ein neuer Eindruck hervorgerufen werden, der noch ein Mal so stark ist, als der gerade vorhandene, dann muss die Lichtstärke des beleuchteten Theiles des Sehfeldes im Quadrat zunehmen. Wäre also z. B. ein Eindruck vorhanden, dessen Grösse wir gleich 3 setzen, und er wäre hervorgebracht durch eine Stelle im Sehfelde, deren Lichtstärke sich mit 5 ausdrücken liesse; soll nun der Eindruck um das Doppelte verstärkt werden, also auf die Grösse 6 gebracht werden, so muss die Stärke der Beleuchtung um ihr Vielfaches vermehrt, d. i. auf 25 erhoben werden.

Wird übrigens die Helligkeit zu gross, dann haben die beiden eben angeführten Regeln keine feste Geltung mehr; die Ermüdung wirkt störend.

Nachbilder.

Besonders wichtig für die Beziehung des Lichtreizes zur Netzhaut ist der Umstand, dass mit Aufhebung des Reizes nicht auch sogleich der bewirkte Eindruck schwindet, sondern dass letzterer den ersteren noch einige Zeit überdauert. Man nennt diese Nachwirkung ein Nachbild.

Die Lebhaftigkeit und Dauer eines Nachbildes hängt vorzüglich von der Stärke und Dauer des bewirkenden Reizes ab und steht zu diesen ziemlich in geradem Verhältniss. Um die hieher gehörigen Erscheinungen zu prüfen fixirt man verschieden helle und gefärbte Gegenstände einige Zeit über, schliesst dann die Augen und beschattet sie.

Beim gewöhnlichen Sehen werden die Nachbilder nicht bemerkt, da die neu eintretenden Eindrücke sie verdecken; aber durch grosse Lebhaftigkeit können sie wohl störend werden. Desshalb lassen sich gleich nach der Einwirkung starken Lichtes Gegenstände, besonders feinere, nicht mehr so deutlich erkennen. Bei geeigneten Versuchen mit den Nachbildern, zumal gefärbter Flächen, lassen sich die Erscheinungen an denselben beobachten. Wird eine Stelle der Netzhaut, oder eine Reihe neben einander liegender Stellen derselben, von rasch auf einander folgenden Lichtwirkungen

getroffen, so vermischen sich die Nachbilder. So z. B. bei sehr schnell auf einander folgenden electrischen Funken können die einzelnen nicht mehr unterschieden werden, es tritt wohl nur noch ein leichtes Schwanken in der Lichtstärke ein. Eine runde, in eine Anzahl gleich grosser, abwechselnd weisser und schwarzer Felder, getheilte Papp- oder Holzscheibe bringt, genügend rasch (über 30 Mal in der Secunde) umgedreht, den Eindruck einer gleichmässigen grauen Fläche hervor. Eine glühende Kohle, schnell im Kreise geschwungen, hinterlässt den Eindruck eines feurigen Reifens.

Eine unendliche Menge von Gesichtseindrücken kommt noch zu Stande durch Verschiedenheiten in der Farbe des Lichtes; hier aber soll, wie gesagt, dieses Gebiet nicht berührt werden. Auch muss von der Verschiedenheit der Eindrücke abgesehen werden, die durch Bewegungen von Gegenständen hervorgerufen werden. Hier wollen wir nur die Gesichtseindrücke betrachten, die in einem bestimmten Sehfelde uns zum Bewusstsein kommen können, so wie die Veränderungen dieser Eindrücke, in Folge von Bewegungen der Augen.

Bedeutung des gelben Fleckes.

Von grösster Wichtigkeit für das Sehen ist der Umstand, dass auch trotz gleichbleibender Stärke und Dauer der Beleuchtung, fort und fort Aenderungen der Gesichtseindrücke eintreten können. Es beruht darauf, dass ein und derselbe Lichtreiz einen stärkeren Eindruck hervorbringt, wenn er den gelben Fleck der Netzhaut trifft und einen schwächeren, wenn er eine von demselben entfernte Stelle der Netzhaut berührt. An bestimmter Stelle im gegebenen Sehfelde ist also der Eindruck am lebhaftesten, wenn sich die Blicklinie dahin richtet.

Die Unterscheidung kleinster, nahe bei einander stehender Punkte ist denn auch am schärfsten, wenn die Blicklinie sich genau auf sie einstellt. So werden bei heller Beleuchtung noch Punkte als getrennte erkannt, wenn der Abstand zwischen ihnen nicht grösser ist als 0,088 mm (0,035‴). Diese Grösse entspricht dem Sehwinkel von einer Winkelminute, wenn sich der Kreuzungspunkt der Lichtstrahlen im Auge auf 20 cm (8″) Abstand von den

Punkten befindet. Zweifelsohne besteht ein Verhältniss zwischen dieser Grösse und dem Durchmesser der einzelnen Glieder des Sinnesepitheliums, welche bestimmt sind die Sinnesreize aufzunehmen; doch ist dieses Verhältniss noch nicht endgültig festgestellt.

Sollen Punkte, die sich in einiger Entfernung vom Blickpunkte befinden, noch getrennte Eindrücke hervorbringen, so muss der Abstand zwischen ihnen verhältnissmässig grösser sein.

Auf die Unterscheidung einzelner Punkte ist auch die Accommodation von Einfluss; mangelt die Einrichtung für nahe gelegene Punkte, so verschmelzen die Eindrücke in Folge der Zerstreuungskreise. Ist das Auge für nahe Gegenstände eingerichtet, so ist wiederum die Unterscheidung für bei einander gelegene entferntere Punkte vermindert.

Unterschiede in den Eindrücken finden auch dadurch statt, dass die Reizempfänglichkeit der inneren Netzhauthälfte um ein Merkliches grösser ist als die der äusseren Hälfte.

Eindrücke beider Augen.

Prüfen wir die Gesichtseindrücke, wie sie sich beim Sehen mit beiden Augen herausstellen, so ergiebt sich, dass eine beleuchtete Fläche heller erscheint, wenn sie mit beiden Augen, als wenn sie nur mit einem betrachtet wird. Ferner zeigt es sich, dass Punkte, von denen gleichzeitig Licht in beide Augen gelangt, bald einen einfachen, bald hingegen einen zwiefachen Eindruck hervorbringen.

Als Hauptregel bei der Verschmelzung von Eindrücken steht fest, dass unter normalen Verhältnissen die beiden Blickpunkte einen einfachen Eindruck vermitteln. Also werden zwei Eindrücke, die gleichzeitig die Mittelpunkte beider gelben Flecke treffen, im Bewusstsein als ein Eindruck aufgefasst. Beim gewöhnlichen Sehen werden ja auch gar keine Doppelbilder bemerkt. — Besonders deutlich lässt sich die Richtigkeit der Thatsache mittelst des Stereoscopes darthun; bringt man auf einem weissen Blatte zwei schwarze Punkte an, in einer Entfernung von einander, die dem

Abstande der Augenmittelpunkte entspricht (es seien 60 mm), legt das Blatt ins Stereoscop und schaut mit beiden Augen hinein, so gewahrt man nur einen Punkt. Durch die prismatischen Gläser des Apparates werden bekanntlich die von beiden Punkten herkommenden Lichtstrahlen nach aussen abgelenkt, in dem Grade, dass sie von einem in der Mitte des Blickfeldes gelegenen Punkte herzukommen scheinen. Auf diesen Punkt stellen sich nun die Blicklinien ein und die Verschmelzung findet statt.

Es liegt darauf hin nahe zu vermuthen, dass nicht nur beide Blickpunkte, sondern auch alle übrigen Deckpunkte des gemeinsamen Blickfeldes einen einfachen Eindruck vermitteln. In der That, bringt man auf dem Blatte im Stereoscop neben die beiden in 60 mm Abstand von einander befindlichen Punkte noch zwei andere in gleicher Richtung und Entfernung an (z. B. auf 5 bis 10 mm nach rechts hin — oder nach links hin), so erscheinen auch diese Punkte mit einander verschmolzen: statt vier Punkten sieht man nur zwei.

Doppelbilder.

Hatte man dagegen die zwei neu hinzugefügten Punkte in entgegengesetzter Richtung angebracht, d. h. den einen derselben so weit nach rechts, wie den andern nach links, dann verschmelzen sie nicht, man sieht drei Punkte; denn von den zwei hinzugekommenen Punkten fällt der eine immer in die rechte, der andere in die linke Hälfte des gemeinsamen Blickfeldes. Derselbe Erfolg lässt sich beim Sehen mit blossem Auge erzielen: halten wir nicht weit vor den Augen zwei feine Stäbchen senkrecht neben einander und richten den Blick bald auf das eine, bald auf das andere, so sehen wir immer nur zwei Stäbchen. Blicken wir aber eines derselben fest an und führen das andere so, dass es vor oder hinter jenes zu stehen kommt, so erscheint uns dieses nicht fixirte Stäbchen sogleich zwiefach, im sog. Doppelbilde. Wir sehen also drei Stäbchen, in der Mitte das fixirte, und seitlich je ein Halbbild des anderen.

Wird das nicht fixirte Stäbchen den Augen näher gehalten als das andere, so erscheint es im gekreuzten Doppelbilde, d. h.

das linke Halbbild gehört dem rechten, das rechte Halbbild dem linken Auge an. Hält man das nicht fixirte Stäbchen ferner als dasjenige, auf welches beide Blicklinien eingestellt sind, so stellt sich ein gleichnamiges Doppelbild ein; jedes Halbbild kommt dem Auge zu, auf dessen Seite es gelegen ist. Eine genügende Erklärung dieser Erscheinung kann erst später gegeben werden.

Eine genauere Untersuchung ergiebt jedoch, dass nicht alle Deckpunkte des gemeinsamen Blickfeldes, wie wir dasselbe oben bestimmt haben (s. Fig. 13 und 14), wirklich einfach und alle, nicht in demselben zusammenfallenden Punkte der einzelnen Blickfelder, doppelt erscheinen.

Aendern wir zu dem Zweck den Versuch mit Doppelbildern ein wenig ab: hängen wir einen Faden senkrecht auf und stellen uns nicht weit von demselben auf, so dass er, bei geradeaus gerichteten Blicklinien, in die Mittelebene zu liegen kommt. Es erscheinen sogleich zwei Fäden, jedem Auge gegenüber einer; aber auffälliger Weise sind die Halbbilder nicht senkrecht einander parallel, sondern divergirend, etwas nach oben-aussen geneigt. Woher kommt das? Wir können die Erklärung dafür erst später geben; zunächst aber gestattet uns das Stereoscop wenigstens diese Erscheinung mit dem Verhalten der Deckpunkte in Zusammenhang zu bringen.

Zeichnen wir auf ein Blatt, im Abstande der Augenmittelpunkte, zwei senkrechte Reihen von Punkten, oder einfacher, gleich zwei feine schwarze Linien, und vom unteren Ende einer jeden derselben, unter einem Winkel von ungefähr 2° aufsteigend, eine Linie von anderer Farbe, z. B. roth (s. Taf. I Fig. 1). Bringen wir dieses Blatt in das Stereoscop, so können wir folgende Erscheinungen beobachten. Am leichtesten zeigt sich die, wo zwei divergirende Linien auftreten, welche durch Zusammenfallen je einer schwarzen und rothen Linie entstanden sind (s. Taf. 1 Fig. II *a*). Aber durch geringe Divergenzstellung der Blicklinien kann auch ein Bild hervorgerufen werden, wo sich in der Mitte eine gerade rothe Linie darstellt, von der aus jederseits divergirend eine schwarze Linie aufsteigt (s. Taf. I Fig. II *b*). Ja es lässt sich noch eine dritte Ansicht gewinnen bei Uebergang der Blicklinien zu etwas mehr Convergenz, so zwar, dass in der Mitte eine senkrechte schwarze Linie auf-

taucht und von ihrem unteren Ende divergirend die rothen Linien ausgehen (s. Fig. 25 *c*).

Fig. 25 *a* zeigt das Auffällige, dass je eine senkrechte und eine nach aussen geneigte Linie, die rechte rothe mit der linken schwarzen und umgekehrt, verschmolzen sind. Daraus geht schon hervor, dass auch Punkte, die nicht Deckpunkte sind, dennoch unter Umständen einen einfachen Eindruck hervorbringen können. Noch auffallender ist in Fig. 25 b das Verschmelzen der beiden rothen divergirenden Linien zu einer geraden und dagegen auftretende Divergenz der beiden senkrechten schwarzen Linien. Das erweist, wie nicht nur getrennte Punkte (in den rothen Linien) einfach, sondern auch Deckpunkte (in der schwarzen Linie) doppelt erscheinen können. Gerade das Bild, das man am ehesten erwarten sollte, nämlich das Zusammenfallen beider senkrechten schwarzen Linien, kommt bei diesem Versuche am wenigsten leicht zu Stande.

Vergleichen wir nun die vermittelst des Stereoscopes gewonnene Erfahrung mit dem beim Sehen mit blossem Auge auftretenden Doppelbilde, so ergiebt sich eine gewisse Uebereinstimmung. In beiden angeführten Versuchen zeigte es sich, dass eine gerade Linie, die mit der Schnittlinie der verticalen Blickebenen im gemeinsamen Blickfelde zusammenfällt, oder ihr gleich gerichtet ist, in geneigtem Doppelbilde erscheinen kann. Nur ist im Stereoscop ein gemeinsames Blickfeld künstlich geschaffen, so dass zwei den Augen gerade gegenüberliegende Linien in der Mitte dieses Blickfeldes zusammentreffen. Beim Versuche mit blossen Augen ist dagegen das gemeinsame Blickfeld wirklich in weite Ferne gerückt, so dass eine seiner Mittellinie entsprechende senkrechte (der Faden) in gekreuztem Doppelbilde erscheint. Wir werden, wie gesagt, später hierauf zurückweisen.

Veränderungen der Doppelbilder bei Bewegungen der Augen.

In Bezug auf das Voneinanderabrücken der Deckpunkte bei Verschiebung der einzelnen Blickfelder über einander hin, in Folge von Hebung und Senkung der Blicklinien mit gleichzeitiger Convergenz, ergiebt die Beobachtung Folgendes: gewesene Deckpunkte

können einen einfachen Eindruck geben auch nach dem Abrücken von einander.

Um dieses darzuthun, wollen wir wieder den Versuch mit dem senkrechten Faden aufnehmen. Werden die Blicklinien aus der Anfangsstellung zu mässiger Convergenz gebracht, so dass sie in der Horizontlinie bleiben und sich jenseit des Fadens schneiden, dann rücken beide Halbbilder desselben näher gegen einander, während ihre Convergenz unverändert bleibt. Kommt aber Hebung oder Senkung der Blicklinien hinzu, so zeigt sich eine Veränderung in der Divergenz. Bei Hebung mit Convergenz stellen sich anfänglich die Halbbilder parallel zu einander, und bei fortgesetzter Hebung convergiren sie selbst schliesslich nach oben zu. Wie erklärt sich das?

Bei Hebung der Blicklinien mit Convergenz neigen die oberen Hälften der verticalen Blickebenen je nach innen zu, folglich rücken auch die Punkte in der oberen Hälfte des einzelnen Blickfeldes dabei nach innen hin, je mehr nach oben zu, desto stärker. Das Doppelbild des Fadens ist gekreuzt, jedes Halbbild liegt in der inneren Hälfte des einzelnen Blickfeldes. Die nach innen herüberrückenden Punkte der oberen Hälfte jedes Blickfeldes nähern sich also dem entsprechenden Halbbilde, das selbst seine Lage unverändert beibehält. Und in der dabei stattfindenden Trennung der vorher bestehenden Deckpunkte muss nun der Grund für die veränderte Neigung der Halbbilder gesucht werden. — Am leichtesten wird das Hervortreten bei einer graphischen Darstellung des Verhältnisses. In Taf. I Fig. III stellt die mittlere, rothe Linie, die Schnittlinie der verticalen Blickebenen im gemeinsamen Blickfelde dar, die seitlichen schwarzen Linien bedeuten das Doppelbild des schwarzen Fadens: in A sieht man das Verhältniss der Linien für den Fall, wo die Blicklinien sich in der Horizontebene befinden, mit mässiger Convergenz jenseit des Fadens; in B ist die veränderte Lage der Schnittlinien der verticalen Blickebenen bei Hebung der Blicklinien mit Convergenz angegeben. Das rothe Kreuzchen in A bezeichnet zwei Striche der einzelnen Blickfelder, die bei der angegebenen Stellung der Blicklinien zusammenfallen; die nebenbei liegenden schwarzen Punkte sind zwei getrennte Punkte der einzelnen Blickfelder, der rechte Punkt dem rechten, der linke Punkt

dem linken Felde zugehörig. In B ist dargestellt, wie in Folge der hinzugekommenen Hebung der Blicklinien die Deckpunkte im rothen Kreuzchen je nach innen von einander abgerückt sind, in dem Grade, dass sich die schwarzen Pünktchen gerade zu einem Deckpunkt vereinigen.

Würden nun die, durch Uebereinanderschieben der Blickfelder neu entstehenden Deckpunkte (wie der schwarze in der Zeichnung), einen einfachen Eindruck vermitteln, so könnte keine Aenderung in der Lage des Doppelbildes des Fadens eintreten, es würde seine Divergenz unverändert bestehen bleiben. Nur wenn die auseinanderrückenden Deckpunkte (wie die rothen Strichlein) trotzdem als Deckpunkte aufgefasst werden, kann eine Aenderung in der Neigung des Doppelbildes zu Stande kommen. Denn durch Hinüberrücken der Punkte in der oberen Hälfte des einzelnen Blickfeldes nach innen zu, rücken sie ja dem auf der inneren Hälfte (Seite) des Feldes befindlichen Halbbilde näher: xR nähert sich der Linie rr, xL der Linie ll. Werden dennoch xR und xL als sich deckende Linien aufgefasst, so muss der Abstand der Linien rr und ll nach oben zu vermindert erscheinen, sie gehen in parallele Stellung über, schliesslich selbst in Convergenz nach oben zu.

Die volle Erklärung der ganzen Erscheinung wird sich später herausstellen, hier sollte nur gezeigt werden, dass die wirklichen Deckpunkte beider Blickfelder erst durch Beobachtung ermittelt werden müssen. Uebrigens wird es zweckmässig sein, die übrigen zugehörigen Thatsachen des beschriebenen Versuches hier auch gleich anzureihen.

Werden die jenseit des Fadens convergirenden Blicklinien gesenkt, so tritt zunehmende Divergenz des Doppelbildes nach oben hin ein. Bei dieser Stellung der Blicklinien erfolgt eben ein Auseinandergehen der verticalen Blickebenen, mit den oberen Hälften je nach aussen zu. Bringt man dagegen die Blicklinien zur Kreuzung vor dem Faden, dann tritt, wie zu erwarten, eine der früheren entgegengesetzte Schiefstellung des Doppelbildes auf — es convergirt nun nach oben zu. Und da die Halbbilder jederseits auf die äussere Hälfte des Blickfeldes zu liegen kommen, so sind sie gleichnamige. Hebung der Blicklinien mit gleichbleibender Convergenz vor dem Faden, bringt Abnahme der Convergenz des

Doppelbildes und schliesslich Divergenz nach oben zu mit sich. Neigung der Blicklinien vermehrt die Convergenz des Doppelbildes.

In Fig. IV Taf. II soll das Verhältniss bei Hebung der Blicklinien, mit Convergenz vor dem Faden, anschaulich gemacht werden. Die Bezeichnungen sind wie in Fig. III r r und l l sind die gleichnamigen, nach oben zu convergirenden Halbbilder des Fadens.

Wenn zwei von einander abrückende Deckpunkte, wie der im Kreuzungspunkte der rothen Striche gelegene, trotzdem fortfahren nur einen einfachen Eindruck zu vermitteln, dann ist es möglich, dass der Abstand von ihnen bis zu den zugehörigen Doppelbildern vergrössert erscheint, diese letzteren also weniger convergent sich darstellen.

Beim Sehen mit gesunden Augen stellen sich immer beide Blicklinien auf denselben Punkt im Blickraum ein und Doppelbilder werden nicht bemerkt. Wie störend ihr Auftreten werden kann, das zeigt sich erst bei krankhaften Zuständen, am häufigsten bei Lähmungen der Augenmuskeln. Es ereignet sich nämlich nicht ganz selten, dass der äussere gerade, oder der obere schiefe Augenmuskel einzeln von diesem Uebel befallen werden, während die übrigen vier äusseren Muskel meist gleichzeitig erkranken. Wird bei vorhandener Lähmung (unvollständiger oder vollständiger) der Blick nach Seite des betroffenen Muskels hin gewendet, so führt das gesunde Auge die geforderte Bewegung vollkommen aus, aber das kranke nicht; dieses bleibt mit seiner Drehung hinter jenem zurück. Ist z. B. der äussere gerade Muskel des linken Auges erkrankt und ein fixirender Gegenstand wird auf die linke Seite des gemeinsamen Blickfeldes hinübergeführt, so kann wohl die rechte Blicklinie dem Gegenstande folgen, die linke dagegen kann nicht genügend nach aussen gekehrt werden, um den Gegenstand in Fixation zu behalten. In Folge davon tritt ein Doppelbild des Gegenstandes auf. Die Blicklinien kommen zur Kreuzung vor dem Gegenstande, die Halbbilder sind mithin gekreuzte. Es ergiebt sich dabei, dass solche Doppelbilder, zumal wenn sie nahe bei einander stehen, ungemein störend für das Sehen werden. Der Erkrankte kann nicht unterscheiden, wie es sich mit den beiden Bildern in Bezug auf seinen Körper verhält, er kommt leicht in Verwirrung, besonders beim Greifen und Gehen.

Für die Eindrücke beim Sehen mit beiden Augen ist noch

daran zu erinnern, dass eines der Augen Eindrücke erhalten kann, die dem anderen nicht zugeführt werden. Wir haben schon oben gezeigt (Seite 32 und 34, Fig. 19 und 20), wie durch das Vorhandensein von Flächenabschnitten im Blickraum einzelne Theile derselben für das eine Auge aufgedeckt, für das andere aber verdeckt sein können. Auf welche Theile des einzelnen Blickfeldes jedoch solche Punkte, die ihm allein zugänglich sind, fallen, das hängt, ausser der Lage der Flächenabschnitte in Bezug auf die Augen, auch noch von der jedesmaligen Stellung der Blicklinien ab.

Gesichtseindrücke bei Bewegungen des Körpers.

Was die Aenderungen der Gesichtseindrücke bei Bewegungen der Augen mit Kopf und Körper anbetrifft, so hängen diese mit Aenderungen des Sehwinkels und des paralactischen Winkels zusammen. Wir brauchen das hier nicht nochmals näher auseinanderzusetzen, sondern können auf das in der Einleitung darüber Gesagte zurückweisen (s. Fig. 21, 22, 23). Der Vorgang besteht immer wieder 1) im Auftreten neuer Punkte im Sehfelde und im Verschwinden bisher vorhandener; 2) in Verschiebungen der im Sehfelde gegebenen Punkte in Bezug zu einander.

Rücken im Sehfelde vorhandene Punkte von einander ab, so können vielfach neue Punkte zwischen ihnen zum Vorschein kommen; rücken Punkte gegen einander zu, so verschwinden oft Punkte, die sich vorher zwischen ihnen befanden. Wird das ganze Sehfeld seitlich fortbewegt, so treten auf der Seite, wohin die Bewegung geschieht, neue Punkte auf, während auf der entgegengesetzten Seite andere heraustreten.

Wie aber bei diesen Aenderungen einzelne Punkte als gesonderte Eindrücke zum Bewusstsein kommen, das hängt nicht bloss von ihrem Auftreten im Sehfelde, oder ihrem Schwinden aus demselben ab, sondern auch davon, ob und in welcher Art sich die Blicklinien ihnen zuwenden.

Die in einem Sehfelde zur Zeit gegebenen Punkte, welche zu Eindrücken verwerthet werden, können in unendlich mannigfaltiger Weise angeordnet sein. Welchen Gesetzen gemäss sie zusammengefasst werden, das soll den Inhalt der weiteren Betrachtung aus-

machen. Aber zu leichterer Verständigung wird es nicht unpassend sein, eine bestimmte Gruppirung auszuwählen und als Beispiel hinzustellen.

Ein Beispiel.

Wir wollen Punkte annehmen, die zu geraden Linien angeordnet sind. Es seien auf der ebenen Bodenfläche gerade verlaufende Längs- und Querlinien, die sich in gleichen Abständen von einander befinden und sich unter rechten Winkeln schneiden; ferner seien auf den Schnittpunkten eines Theiles dieser Linien Höhenlinien senkrecht aufgerichtet. Die Linien seien deutlich genug, d. h. jede von ihnen enthalte eine genügende Zahl Punkte, die sich durch ausreichenden Unterschied in der Lichtstärke von der Bodenfläche abheben, um auch auf grössere Entfernung hin sichtbar zu sein.

Der Abstand zwischen den Längs- und Breitenlinien sei überall gleich fünf Fuss.

Wie werden die Eindrücke beschaffen sein, die ein fünf Fuss über der Bodenfläche befindliches Auge von den so angeordneten drei Linienarten erhält. Wie verhalten sich die Eindrücke zum Blickfelde des einzelnen Auges; wie zum gemeinsamen Blickfelde beider Augen, wie werden sie sich verändern bei räumlichen Verschiebungen der Augen?

Diese Fragen einigermassen zu beantworten, wollen wir aber erst versuchen, bei Untersuchung der Weise, in welcher die Gesichtseindrücke überhaupt mit einander zusammengefasst werden.

Die Gesichtsempfindung.

Die Gesichtseindrücke sind, wie alle Sinneseindrücke, mit einer gewissen Empfindung verbunden, die sich als angenehme oder unangenehme in mannigfachen Abstufungen äussert. Im Allgemeinen bringt das Licht, als der dem Auge angepasste Reiz, eine angenehme Empfindung hervor; nur ein zu starkes oder mässiges, aber zu anhaltend einwirkendes Licht wird unangenehm.

Durch längere Ruhe wird die Empfindlichkeit des Auges ge-

steigert. Beim Heraustreten ans helle Licht nach längerem Aufenthalt in einem ganz dunklen Raume, fühlen wir uns schmerzhaft geblendet. Fortdauernde Einwirkung von Licht, ohne Unterbrechung durch Lidschluss, durch Schlaf, ruft eine ungemein unangenehme Ermüdung hervor. Der Sehsinn theilt eben auch das mit den übrigen Sinnen, dass die Anregung seiner Thätigkeit angenehm, übermässige Erregung unangenehm empfunden wird. Die mit Uebermass der Thätigkeit verbundene Ermüdung kann rascher oder langsamer erfolgen, das Endergebniss scheint in beiden Fällen das gleiche zu sein. Bei dem Sehsinn ist es aber wichtig, eine zweifache Ermüdung zu unterscheiden.

Empfindung musculöser und nervöser Theile.

In den Augen findet nämlich, mehr als bei anderen Sinnen*), ein beständiges und sehr inniges Zusammenwirken einer nervösen Vorrichtung und eines besonderen Muskelapparates statt. Dieser, wie jene, können getrennt der Ermüdung unterliegen, aber natürlich auch beide gleichzeitig. In wie weit sich im gegebenen Falle Nerven und Muskeln an der Ermüdung betheiligen, wird freilich nicht immer leicht sein zu entscheiden.

Für die Netzhaut und die Ciliarnerven ist zur angenehmen Empfindung Abwechslung in der Lichtstärke erforderlich, und zwar ein nicht zu jäher und rascher Wechsel. Für die Muskeln wird eine angenehme Empfindung bedingt durch ihre mässige Anspannung, und ebenfalls durch einen Wechsel in der Thätigkeit, der durch abwechselnde Verkürzungen und Ausdehnungen einzelner Muskeln und Muskelgruppen zu Stande kommt. Durch die gewöhnlichen Augenbewegungen beim Sehen nach verschiedenen Richtungen hin, geschieht daher dem Bedürfniss der nervösen sowohl als der muskulösen Theile Genüge. Denn die gegen Lichteindrücke empfindlichste Stelle der Netzhaut, der gelbe Fleck, wird dabei auf verschieden stark beleuchtete Stellen des Sehfeldes abwechselnd eingestellt.

Tritt aber nun der Fall ein, dass plötzlich die Augen sehr

*) Ausgenommen wohl den Tastsinn.

starkem Licht ausgesetzt werden, oder mässigem, jedoch zu lange dauerndem Lichte, bei normaler Thätigkeit ihrer Muskeln, dann wird mit Recht die nachfolgende Ermüdung lediglich dem Ciliarnerven und der Netzhaut zugeschrieben. Ist dagegen das in's Auge dringende Licht ganz gemässigt und es findet auch hinreichender Wechsel in den Lichteindrücken statt, aber die Augen befinden sich längere Zeit hindurch in einer Stellung, welche nur mit fortdauernd starker Anspannung eines oder einiger der Augenmuskeln erzwungen werden kann, so hat die Ermüdung gewiss ihren Sitz in letzteren.

Diesen Fall hat man so häufig Gelegenheit zu beobachten, meist bei Personen, die sich lange fortgesetzten Beschäftigungen mit feinen Gegenständen hingegeben haben, oft noch bei ungünstiger Beleuchtung. Hier ist es vorzüglich die mit dem Nahesehen verbundene übermässige Anspannung beider inneren geraden und der Accommodationsmuskeln, welche, je länger desto mehr unangenehme Empfindungen, schliesslich bis zu lebhaftem Schmerz sich steigernd, hervorruft. Werden den Augen genügende Pausen bei der Arbeit gewährt, oder wird diese für mehrere Tage ganz ausgesetzt, dann schweigen die krankhaften Erscheinungen. Am häufigsten pflegt ein solches Augenleiden sich einzustellen bei Uebersichtigkeit, in Folge zu flachen Baues der Augen, wo besonders die Accommodation in Anspruch genommen wird, und dann auch in dem in mehrfacher Beziehung entgegengesetzten krankhaften Zustande, d. i. bei Kurzsichtigkeit, durch zunehmenden Langbau des Auges, wo mit der Convergenz vorzüglich die inneren geraden Muskeln zu sehr angestrengt werden.

Ist die Empfindlichkeit des Auges krankhaft gesteigert, dann können auch schon unbedeutende Reize sehr unangenehme Empfindungen wecken. Es ereignen sich Fälle, wo das gewöhnliche Tageslicht nicht mehr vertragen und andere, wo das blosse Fixiren von Gegenständen schon unangenehm empfunden wird. Sehr gewöhnlich verbinden sich aber diese krankhaften Zustände mit einander.

Die Lichtstärke wird bis zu einem gewissen Grade für das Auge durch die Regenbogenhaut geregelt. In hellem Lichte zieht sich der Ringmuskel zusammen, verengt die Pupille und lässt

weniger Lichtstrahlen eindringen. Je mehr im Dunkeln, desto mehr erweitert sich die Pupille und gewährt den Lichtstrahlen einen freieren Zugang zur Netzhaut. Bei künstlich oder krankhaft erweiterter Pupille fühlt man sich in hellem Lichte stark geblendet.

Dauer der Empfindung.

Mit dem Aufhören eines zu starken Reizes hört die im Auge erzeugte unangenehme Empfindung nicht auch sogleich auf. Wie lange sie darauf noch fortdauert, das hängt einerseits von dem Grade der Empfindlichkeit des Auges ab, und andererseits von dem Grade und der Dauer des Reizes. War der Reiz heftig, dauerte aber nur kurze Zeit, dann pflegt die unangenehme Empfindung anfänglich rasch und dann immer langsamer abzunehmen; nach Aufhören eines mässigen anhaltenderen Reizes ist die Abnahme der Empfindung eine mehr allmälige. Den Einfluss farbigen Lichtes auf die Empfindung können wir hier nicht zur Sprache bringen.

Es ist aber nicht bloss Stärke und Dauer der das Auge betreffenden Reize, welche die Empfindung in ihm beeinflussen, sondern auch ihre Folge. Eine übermässig rasche Aufeinanderfolge von Lichteindrücken ist dem Auge unangenehm, — um so mehr, je greller die einzelnen sind. Schon das rasche Hin- und Herfahren mit den ausgebreiteten Fingern vor den gegen das helle Fenster gerichteten Augen wird bald unangenehm. Auch hier ist ein Mittelmass in den Pausen zwischen den einzelnen Reizeinwirkungen das den Augen angenehmste.

Wir wollen übrigens nicht unerwähnt lassen, dass schon die mehr oder weniger deutliche Auffassung der einzelnen dargebotenen Eindrücke, unmittelbar auf die Empfindung zu wirken scheint. Es wird angenehmer empfunden, wenn die einzelnen Eindrücke deutlich hervortreten, als wenn sie sich gegenseitig verwischen. Doch macht sich in den hieher gehörigen Fällen auch der Einfluss schon ausgebildeter Vorstellungen geltend. Aber wenn wir, beispielsweise, dem Kurzsichtigen zum ersten Mal eine passende Concavbrille aufsetzen, so ist der angenehme Eindruck, den er dabei durch das Deutlichsehen in die Ferne empfängt, wenigstens unab-

hängig von Betheiligung der Muskeln, denn die Muskeln befinden sich hier im Zustande der Ruhe und nur die Zerstreuungskreise auf der Netzhaut werden durch die Brille aufgehoben. Und selbst den Uebersichtigen und Weitsichtigen bringt die richtige Convexbrille mit dem Deutlichsehen der näheren Gegenstände unmittelbar eine angenehme Empfindung, offenbar noch ehe die Accommodation ihren Einfluss ausüben konnte.

Hieher gehört auch die unangenehme Empfindung, die durch Doppelbilder hervorgerufen wird, um so mehr, je näher sich dieselben dem Blickpunkte befinden. Offenbar liegt hierin auch der treibende Grund, dass beide Blicklinien schon so frühe, beim Säuglinge, lernen sich auf dieselben Punkte einzustellen und immer gemeinsame Bewegungen auszuführen.

Uebertragung der Empfindung.

Wenn wir oben eine unangehme Empfindung, die von der Netzhaut und den Ciliarnerven ausgeht, von einer solchen unterscheiden, die ihren Sitz in den Augenmuskeln hat, so soll damit nicht gesagt sein, dass die Netzhaut unmittelbar dem Bewusstsein eine Empfindung vermittele. Zweifelsohne findet von der Netzhaut aus erst eine Uebertragung der stattgefundenen Erregung auf Empfindungsnerven statt. Letztere sind in dem Ciliarnervensystem und weiterhin hauptsächlich im ersten Aste des fünften Hirnnerven gegeben.

Von der Netzhaut aus findet leicht eine Miterregung von Empfindungsnerven statt. Das zeigt sich schon in der leichten Verbreitung eines durch Licht gesetzten stärkeren Reizes auf die das Auge umgebenden Theile. Ausser den Empfindungsnerven werden aber auch leicht Muskel und Gefässnerven dabei in Thätigkeit versetzt. Einwirkung plötzlichen starken Lichtes ruft nicht nur Blendung, selbst Schmerz hervor, es zieht sich auch die Pupille unwillkürlich zusammen und die Augenlider schliessen sich, ja öfter tritt Niesen ein. Ferner stellen sich dabei leicht Thränenabsonderung und Röthung der Bindehaut des Auges ein. Es sind übrigens in diesem Gebiete manche Fragen offen, die noch einer tieferen wissenschaftlichen Erforschung bedürfen. So liese sich z. B. be-

haupten, dass die Uebertragung eines Reizes von der Netzhaut auf Empfindungsnerven gar nicht stattfinde, sondern dass das Licht unmittelbar auf letztere einwirke. Dann wäre anzunehmen, dass zu starke Lichtreize direct unangenehm empfunden werden. Und die Reflexbewegungen, welche sie auslösen, wie Pupillenverengerung und Lidschluss, müssten dann eintreten gerade zum Schutze der Netzhaut. Denn diese selbst empfindet eben nichts vom Licht, könnte aber sehr wohl, durch zu starke Einwirkung desselben, in ihrem Bau, in ihrer chemischen Zasammensetzung unwiderbringlich vernichtet werden.

Was schliesslich die sich im Auge vertheilenden sympathischen Nervenfasern anbetrifft, so ist es wenigstens sehr unwahrscheinlich, dass sie durch das Licht unmittelbar berührt werden sollten, oder dass eine Erregungsübertragung von der Netzhaut aus auf sie stattfindet. Am meisten hat die Annahme für sich, es finde eine Uebertragung der Erregung von den Empfindungsnerven auf sie statt.

Wir wollen hier nur kurz erwähnen, dass einzelne Farben, zumal die Zusammenstellung mancher grellen Farben, unangenehme Empfindungen hervorrufen. So kann man z. B. ein Schachbrett, mit hellrothen und grünen Feldern, nicht lange ansehen.

In Bezug auf das Sehen mit beiden Augen ist nur noch hinzuzufügen, dass dadurch die Empfindung, ebenso wie der Eindruck, verstärkt wird, im Vergleich zum Sehen mit nur einem Auge. Eine sehr lebhafte Empfindung in dem einen kann sich aber auch auf das andere Auge fortsetzen. Bei starkem Schmerz, heftiger Entzündung des einen Auges, pflegt das andere empfindlicher als gewöhnlich zu sein; es ist dann oft zum Sehen wenig tauglich, wird leicht geblendet und thränt bald. Längere Zeit anhaltende entzündliche Reizung eines Auges, besonders wenn sie ihren Sitz im Ciliarkörper und der Regenbogenhaut hat, mit lebhafteren Schmerzen verbunden, überträgt sich leicht auch auf das andere Auge. Um der Entwickelung einer solchen sympathischen Entzündung vorzubeugen, giebt es kein sichereres Mittel, als die Leitung der Empfindungsnerven des ursprünglich erkrankten Auges, mittelst Durchschneidung aufzuheben. Doch muss zu diesem Mittel schon zeitig, bei den ersten Vorboten der Erkrankung des zweiten Auges, gegriffen werden.

Die Gesichtswahrnehmung.

Mittels der Wahrnehmung werden die durch die Empfindung in Beziehung zu einander gebrachten Gesichtseindrücke zusammengefasst. Die Vereinigung muss immer einem bestimmten Verhältnisse gemäss stattfinden. Denn durch Wahrnehmung kommt das Bewusstsein der Verhältnisse von Sinneseindrücken zu Stande. Die Verhältnisse aber, denen nach vorhandene Eindrücke aufgefasst werden können, sind in der Beschaffenheit dieser selbst gegeben. In der Weise haben wir das Hauptgesetz für die Wahrnehmung festgestellt.

Hier kommt es darauf an, die wichtigsten Verhältnisse auszumitteln, denen nach Gesichtseindrücke zusammengefasst werden. Das wären zunächst wiederum die Verhältnisse von Dauer, Stärke und Folge; doch die sollen gerade hier unberücksichtigt bleiben, und ebensowenig können hier die Veränderungen betrachtet werden, welchen die Eindrücke durch Bewegung der Gegenstände unterliegen.

Wir wollen nur die Verhältnisse der Gesichtseindrücke zu bestimmen suchen, die sich durch Bewegungen der Augen, für sich und mit Kopf und Körper, ergeben. Gleichbleibende Lage der vorhandenen Gegenstände und gleichmässig fortbestehende Beleuchtung müssen wir voraussetzen. Das sind die gewöhnlich vorhandenen Bedingungen, unter denen das Sehen zu Stande kommt. Dabei untersuchen wir zuerst wieder die Wahrnehmung, wie sie sich bei Thätigkeit des einzelnen Auges äussert, ohne Bewegung von Kopf und Körper, dann die Wahrnehmung unter Beihülfe letzterer und schliesslich die Wahrnehmung mit beiden Augen zugleich.

Wahrnehmung mit einem Auge.

Wir haben also ein bestimmtes Seh- und Blickfeld gegeben und dürfen darin vertheilt beliebige Punkte annehmen, von denen aus hinreichend deutliche Eindrücke dem Auge zukommen können. Von den im Sehfelde vorhandenen Punkten wird nun immer derjenige am deutlichsten hervortreten, auf welchen sich gerade die

Blicklinie richtet. Der jeweilige Blickpunkt kann aber auch wegen eintretender Ermüdung an Deutlichkeit gegen andere Punkte des Sehfeldes zurücktreten. Die angenehme Empfindung beim Wechsel der Eindrücke regt an zur Ueberführung der Blicklinie auf einen anderen Punkt, der eben in irgend einer Beziehung einen lebhafteren Eindruck vermittelt. Das kann geschehen z. B. dadurch, dass an einer vom Blickpunkt entfernteren, im Ganzen gleichmässig beleuchteten Stelle, ein oder einige Punkte vorzüglich hell hervortreten.

Durch die Empfindung geleitet, wird nun die Blicklinie der Art von den einen Punkten auf andere übergeführt, dass sie auf einzelnen genügende Zeit ruhen bleibt, um sie als gesonderte Eindrücke ins Bewusstsein aufzunehmen. Und durch dieses bewusste Hinübergleiten des Blickpunktes auf die verschiedenen Theile des Blickfeldes entsteht die Wahrnehmung eines Verhältnisses der in demselben gegebenen Punkte zu einander. Die im Umfange des Sehfeldes vorhandenen Punkte, welche die Blicklinie nicht mehr erreichen kann, entgehen dabei nicht der Wahrnehmung; nur ihre Beziehung zu den anderen Punkten kann, ohne räumliche Verschiebung des Auges, nicht in genügendem Masse aufgefasst werden.

In den Grenzen des Blickfeldes kann die Blicklinie von irgend einem Punkte aus beliebig auf andere übergeführt werden, nach innen, aussen, oben, untenhin oder nach aussen-oben, unten-innen u. s. f. Und das dabei stattfindende Fortrücken des Blickpunktes, bald nach dieser, bald nach jener Seite hin, bedingt die Wahrnehmung einer gewissen Richtung.

Es kommt zum Bewusstsein, dass sich Punkte in derselben oder in anderer Richtung befinden. Wird weiter die Blicklinie in einer gewissen Richtung hin und dann wieder zurückgeführt, so gleitet der Blickpunkt über dieselben Punkte hin. Und durch diese wiederholte Bewegung befestigt sich in uns die Wahrnehmung einer bestimmten Richtung. Ist eine Reihe von Punkten da, deren Richtung wahrgenommen wird, so ist es übrigens nicht nothwendig, dass die Blicklinie auf jedem einzelnen so lange verweile, um getrennte Eindrücke aufzunehmen; es genügt, wenn sie vom ersten auf den letzten Punkt hinüberspringt und von den dazwischen liegenden nur ein einziger Eindruck vermittelt wird. Die Anfangsstellung des Auges hat für die Wahrnehmung der Richtung wohl

nur in der Beziehung einen gewissen Vorzug, dass von ihr aus die Bewegungen der Blicklinie, den verschiedensten Richtungen nach, am vollständigsten und freiesten erfolgt.

Durch das Ueberführen der Blicklinie von einem Punkte auf andere, die von ersterem als getrennte gegeben sind, entsteht ferner die Wahrnehmung eines gewissen Abstandes.

Wird die Blicklinie von einem Punkte aus in gerader Richtung auf weitere Punkte fortgeführt, so bildet sich leicht die Wahrnehmung einer Zunahme des Abstandes vom Ausgangspunkte ab. Der Abstand wird immer als grösserer oder kleinerer aufgefasst. Nun ist, im Verlaufe derselben Punktreihe, die Wahrnehmung eines gleichbleibenden Abstandes zwischen den einzelnen Punkten, oder eines zunehmenden oder abnehmenden Abstandes möglich. Dabei kann die Zunahme oder Abnahme des Abstandes eine gleichmässige oder ungleichmässige sein. Ferner kann das Verhältniss eines Abstandes gegebener Punkte nicht nur an und für sich, sondern auch den verschiedenen Richtungen nach, wahrgenommen werden. In jeder verschieden gerichteten Punktreihe können wiederum die erwähnten Unterschiede hervortreten. Auch in Bezug auf den Abstand gilt dasselbe, dass die Wahrnehmung sicherer wird, wenn die Blicklinie mehrmals nach einander denselben Weg zurücklegt.

Die Auffassung der Richtung und des Abstandes der im Sehfelde gegebenen Punkte schliesst schon die eines dritten Verhältnisses ein, nämlich die ihrer Lage.

Da die im einzelnen Sehfelde gegebenen Punkte, ohnerachtet des verschiedenen Abstandes vom Auge, als neben einander befindlich sich darstellen, so sind Verschiedenheiten in ihrer Lage eben abhängig von Unterschieden in ihrer Richtung und ihrem Abstande. Die Punkte können über oder unter, oder seitlich von einander gelegen sein, sie können eine Lage haben ganz neben, oder getrennt von einander. Ferner können Verschiedenheiten der Lage nach mehreren Seiten hin wahrgenommen werden.

Für Punkte, auf welche die Blicklinie nicht unmittelbar eingestellt wird, bei sog. indirectem Sehen, kann freilich auch eine gewisse Wahrnehmung ihrer Richtung, Abstand und Lage stattfinden, aber immer nur in mangelhafterem Grade.

Wahrnehmung bei räumlichen Bewegungen des Auges.

Bei Bewegungen des Auges, mit Kopf und Körper, stellen sich Aenderungen in der Wahrnehmung ein, die sich auf alle drei genannten Verhältnisse beziehen. Die Aenderungen in den Eindrücken bei diesen Bewegungen wurden schon oben angeführt. Für die Wahrnehmung ergiebt sich daraus, dass 1) neue Punkte auftauchen und zu den schon vorhandenen in Verhältniss treten, während bisher vorhandene verschwinden; 2) vorhandene Punkte in gewissen Richtungen gegen einander zu-, oder von einander abrücken, ihr Abstand dabei grösser oder kleiner wird und sich folglich auch ihre gegenseitige Lage ändert.

Selbstverständlich hat auch die Art und Weise, wie die Punkte im Sehraum vorliegen, Einfluss auf die Wahrnehmung. Setzen wir zunächst Punkte, die alle in derselben gleich weit vom Auge befindlichen Ebene gegeben sind.

Findet in diesem Falle eine Bewegung gerade vorwärts gegen das Sehfeld statt, dann erscheinen in dem mittleren Theile desselben neue Punkte, während an seiner äusseren Grenze bisher vorhandene über den Rand hinaustreten. Denn der Sehwinkel nimmt zu für Punkte, die der Nähe halber als verschmolzen erschienen, so dass sie nun als getrennte unterschieden werden können. Somit vergrössert sich der Abstand für die im Blickfelde gegebenen Punkte, sie rücken in verschiedenen Richtungen nach dem Umfange desselben hin und ihre gegenseitige Lage ändert sich (s. Fig. 21). Die Bewegung gerade rückwärts hat für die Wahrnehmung den umgekehrten Erfolg. Geht die Bewegung des Auges nach einer Seite hin, dann entspricht auf dieser Seite das Verhalten, was den Sehwinkel anbetrifft, demjenigen, wie wir es bei der Vorbewegung angaben; auf der Seite, von wo die Bewegung ausgeht, dagegen ist das Verhalten gleich dem bei Rückwärtsbewegung des Auges. Drehung des Auges, mit dem Kopfe oder ganzen Körper, hat nur den Erfolg der Verschiebung des Sehfeldes, nach der Seite der Drehung hin, wobei hier neue Punkte erscheinen, während auf der entgegengesetzten Seite vorhandene verschwinden.

Anders verhält es sich, wenn ein Sehfeld, wie es in Wirklichkeit immer der Fall ist, mit Punkten, Linien, Flächenabschnitten in verschiedenen Entfernungen hinter einander gegeben ist. Wir haben schon oben der paralactischen Verschiebung von Punkten und Flächenabschnitten, bei Bewegung des Auges mit dem Körper, erwähnt und können hier darauf hinweisen (s. Fig. 22 und 23).

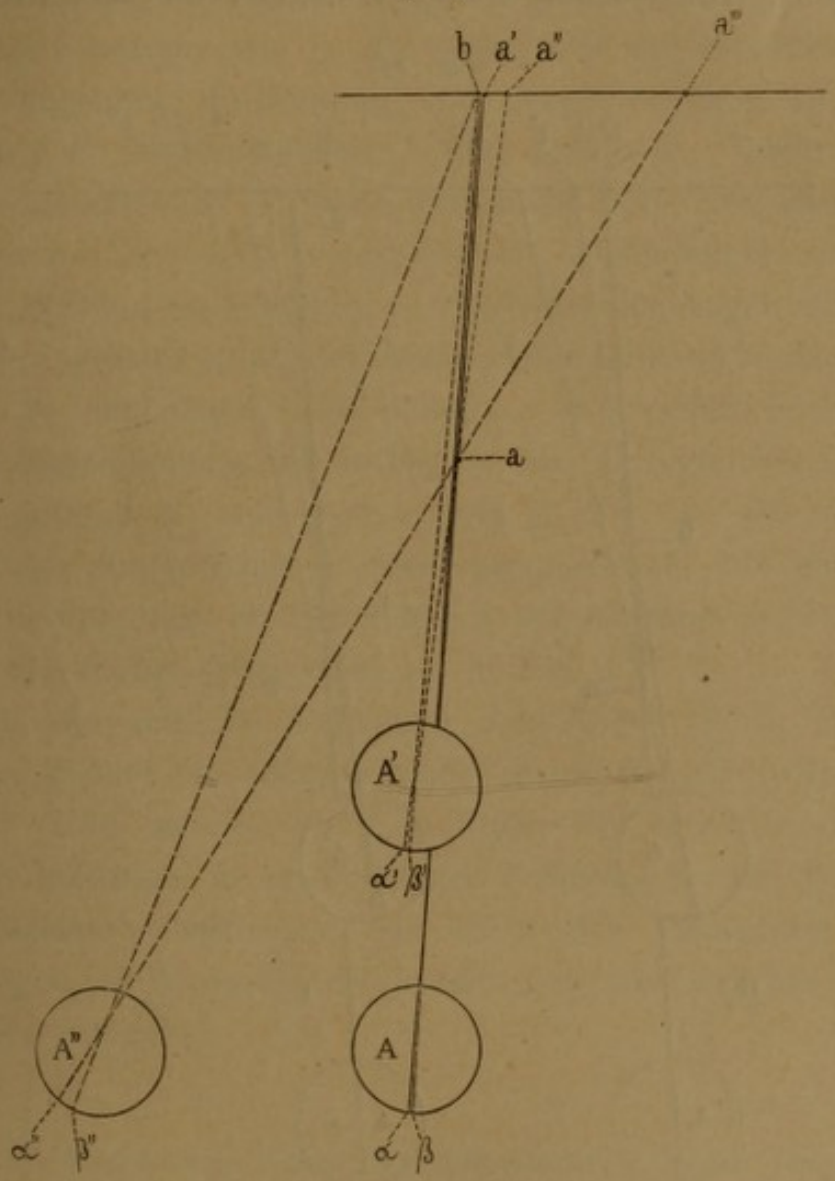
Das gerade Vorrücken des Auges bewirkt ein Abrücken der diesem näheren Punkte von den entfernteren, wenn letztere der Mitte des Sehfeldes näher liegen als erstere; ein Näherrücken dagegen, wenn die entfernteren Punkte mehr zum Umfange des Sehfeldes hin sich befinden, als die dem Auge näheren. Zwischen den sich von einander entfernenden Punkten können allmälig neue zum Vorschein kommen. Geht die Bewegung des Auges gerade nach einer Seite hin, dann rücken die näheren Punkte nach der dieser Bewegung entgegengesetzten Seite zu. Findet die Bewegung nach rechts statt, so vermindert sich der Abstand zwischen einem näheren Punkte und einem ferneren, wenn letzterer nach links von ersterem gelegen ist, und es vergrössert sich der Abstand zwischen ihnen, wenn der fernere Punkt nach rechts vom näheren sich befindet. Umgekehrt verhält es sich, wenn die Bewegung des Auges nach links hin geschieht.

Vergleichen wir nun die angegebenen Bewegungen der Augen im Raume, so ergiebt sich eine bestimmte Uebereinstimmung zwischen ihnen, in Bezug auf die Verschiebungen von Punkten verschiedener Entfernung im Sehfelde. Für die Verschiebung der Punkte in der rechten Hälfte des Sehfeldes stimmt die Bewegung des Auges gerade nach vorn überein mit der seitlichen Bewegung nach links, und für die Punkte in der linken Hälfte, die Bewegung nach vorn mit der seitlichen Bewegung nach rechts hin (s. Fig. 22, 23 und 24).

Sind in Fig. 24 zwei Punkte, a und b, in verschiedener Entfernung vom Auge A gegeben, aber beide in der rechten Hälfte des Sehraumes desselben, dann werden sie sich in dem Sehfelde SS dicht neben einander, an den Stellen b und a′ darstellen und ihre Bildpunkte auf der Netzhaut, in α und β haben. Wenn dann das Auge in gerader Richtung von A nach A′ vorrückt, so wird der Punkt a′ sich im Sehfelde nach a″ hin bewegen, also von

b nach rechts hin abrücken und sein Bildpunkt von β' nach α' gehen. Einem dritten Punkte im Sehfelde, c ist a″, also auch a, damit näher gerückt. Und dieselbe Verschiebung des Punktes a im Sehfelde, nur in verhältnissmässig stärkerem Grade, findet statt, wenn das Auge, statt vorwärts, eine gleich ausgedehnte Bewegung gerade

Fig. 24.

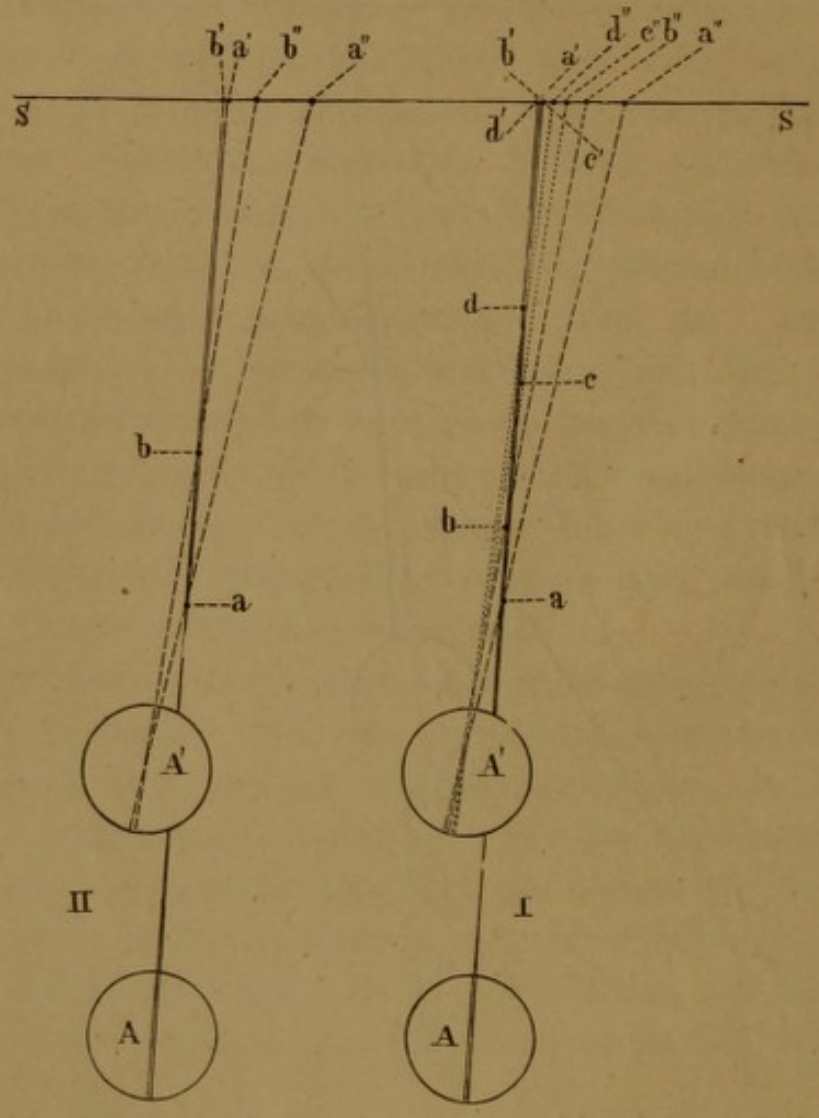


nach der linken Seite hin ausführt, von A nach A″. Würde die seitliche Bewegung des Auges, im vorgeführten Falle, nicht nach links, sondern nach rechts hin angenommen, oder wären die Punkte a und b nicht auf der rechten, sondern auf der linken Seite des Sehraums gelegen, dann würde auch die Verschiebung des Punktes a, von b ab, sich im Sehfelde nicht als gleichnamige, sondern als entgegengesetzte herausgestellt haben.

Tiefenwahrnehmung mit einem Auge.

Bei der Vorwärtsbewegung des Auges drängt es sich unmittelbar der Wahrnehmung auf, dass die Punkte, welche eher nach dem Umfange des Sehfeldes zu und über die Grenzen desselben hinausrücken, vor solchen Punkten liegen, die ihre Stellung im

Fig. 25.



Sehfelde gar nicht oder nur sehr wenig verändern. Es bildet sich somit nothwendig die Wahrnehmung von Richtung und Abstand der Tiefe nach, einer Lage vor oder hinter einander aus. Und die gleiche Wahrnehmung wird dann auch gewonnen bei seitlichen Bewegungen des Auges, durch die eben angegebenen Verschiebungen der Punkte im Sehfelde. Dabei wird die Ausdehnung der seitlichen Verschiebung der Punkte zu einem Masse für die Aus-

dehnung ihres Abstandes der Tiefe nach. Denn, sind mehrere Punkte gerade hinter einander gegeben, so ist das seitliche Auseinanderweichen für entfernter von einander befindliche Punkte bedeutender, als für einander näher stehende und, bei gleichem Abstande der Punkte von einander, bedeutender für solche, die den Augen näher stehen, als für entferntere (s. Fig. 26).

In Fig. 25 I bedeutet A das Auge, a und b, c und d sind Punkte im Sehraume von A, die gleich weit von einander abstehen, aber in ungleicher Entfernung vom Auge; so dass die Punkte a und c in a′c′ zusammenfallen; b und d in b′d′. Rückt das Auge gerade vorwärts nach A′, dann verschiebt sich der Punkt aa′ nach a″, bb′ nach b″, cc′ nach c″, dd′ nach d″. Dabei zeigt es sich deutlich, dass der Abstand im Sehfelde, = a″b″, der den Augen näher gelegenen Punkte, grösser ist als der Abstand der ferneren Punkte, = c″d″. In Fig. 25 sind auch zwei Punkte, in gleicher Richtung vom Auge A angenommen, wie in Fig. I, und a in gleicher Entfernung, aber b doppelt so weit von a, wie in Fig. I. Bei der Vorbewegung des Auges nach A′ rückt aa′ nach a″, bb′ nach b″ und es tritt hervor, dass im Sehfelde SS der Abstand der Punkte a″b″ um ein Merkliches grösser ist, als in Fig. I.

Für die seitliche Bewegung des Auges würde die gleiche Lage der Punkte ein entsprechendes Ergebniss ihrer Verschiebung ergeben. Und nehmen wir, an Stelle der einzelnen Punkte, im Sehraum beliebige, in verschiedener Entfernung vom Auge befindliche Flächenabschnitte an, so bleibt das Verhältniss der Verschiebungen im Wesentlichen dasselbe; es wird sich nur dann mehr um Linien handeln.

Wahrnehmung beim Zusammenwirken beider Augen.

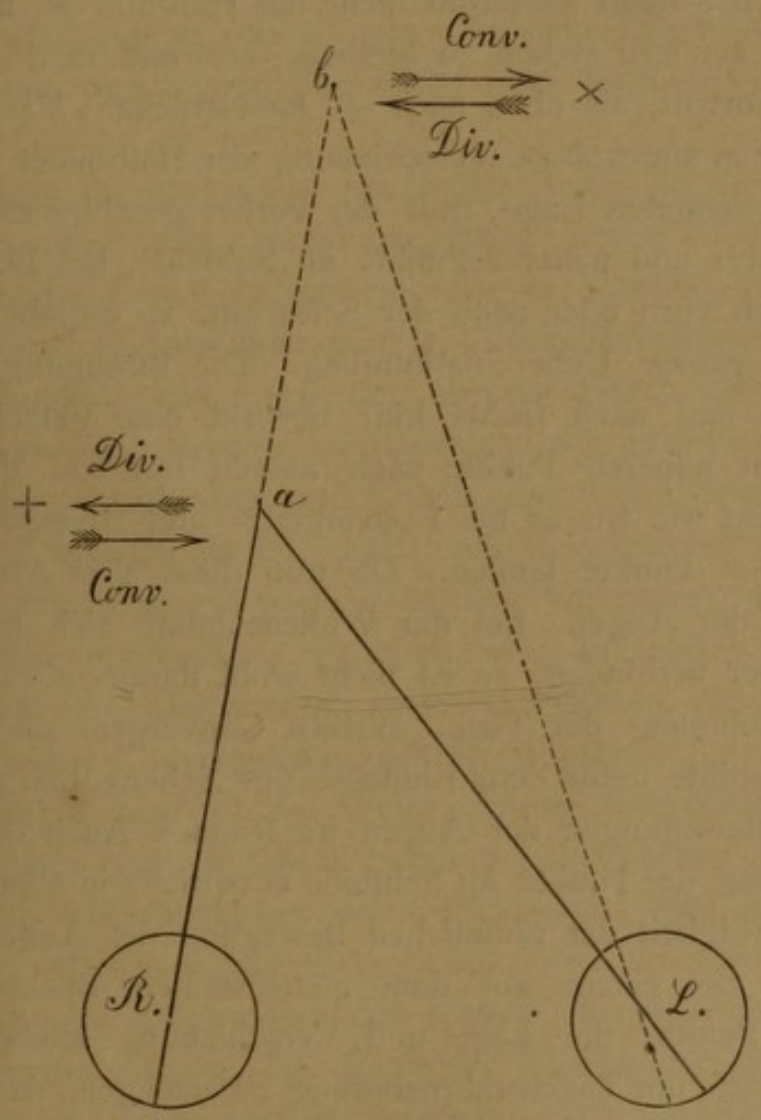
Die Verwendung beider Augen beim Sehen hat noch weiteren bemerkenswerthen Einfluss auf die Wahrnehmung. Nur in dem Falle, dass alle sich darbietenden Punkte in einem gemeinsamen, weit entfernten Blickfelde liegen, finden fortdauernd gleich grosse und gleichgerichtete Bewegungen der Blicklinien statt, oder die Unterschiede in den Bewegungen sind so klein, dass sie vernachlässigt werden dürfen. Mit eintretender Convergenz und Divergenz

werden die Bewegungen der Blicklinien mannigfaltiger und führen zu Aenderungen in der Wahrnehmung. Solche können stattfinden: 1) beim Uebergange der Blicklinien von einem gemeinsamen Blickfelde zu einem anderen, 2) bei gewissen Bewegungen derselben in demselben gemeinsamen Blickfelde. Was ersteres anbetrifft, so können wir zurückweisen auf das früher Gesagte, wo das Verhalten von Punkten im Blickraum zu verschiedenen gemeinsamen Blickfeldern angedeutet wurde. Es ergab sich dabei zunächst, dass bei Convergenz auf ein näheres Blickfeld, in diesem gekreuzte Doppelbilder, bei Divergenz auf ein ferneres Blickfeld, in letzterem gleichnamige Doppelbilder zur Verschmelzung kommen. Dieses Auseinanderweichen und Wiederzusammentreten von Punkten im Blickraum fordert aber die Beachtung in ganz besonderem Masse heraus; denn die Convergenz- und Divergenzbewegungen der Blicklinien sind für sich allein schon im Stande, eine Tiefenwahrnehmung zu vermitteln. Wir wollen desshalb hier genauer zusehen, wie es sich mit den Verschiebungen der Halbbilder beim Hinein- und Herausrücken des gemeinsamen Blickfeldes verhält. Dabei ist zu bemerken, dass vorzugsweise auf die Punkte Rücksicht zu nehmen ist, welche sich zur Zeit in dem von beiden verticalen Blickebenen eingeschlossenen Raume befinden, denn die sind immer und immer wieder massgebend für die Wahrnehmung. Die Abweichungen im Verhalten sind auch für die in den übrigen Theilen des Blickraumes enthaltenen Punkte, in Bezug auf die anzugebenden Vorgänge, nicht so sehr bedeutungsvoll.

Findet Convergenzbewegung von einem entfernteren, aber der Mittelebene näheren Punkte zu einem dem Auge näheren und mehr seitlich gelegenen Punkte statt, dann zeigt sich folgende Verschiebung der auftretenden Halbbilder. Das gleichnamige Halbbild der Seite, auf welcher der nahe Punkt liegt, bleibt stehen oder verschiebt sich nur unbedeutend, das gleichnamige, entgegengesetzte Halbbild dagegen verschiebt sich in stärkerem Grade nach der anderen Seite hin. Und was nun dabei die Wahrnehmung vorzüglich beeinflusst, das ist das Abrücken des letzteren Halbbildes von dem Punkte, auf welchen die Blicklinien sich einstellen. Erfolgt Divergenzbewegung, vom nahen seitlichen auf den ferneren mittleren Punkt, dann bleibt wiederum das auftauchende Halbbild

des Auges, auf dessen Seite der nahe Punkt liegt, an seiner Stelle oder rückt nur wenig fort, während das Bild des entgegengesetzten Auges stark, in gekreuzter Richtung, von ihm abweicht. Und dabei tritt wiederum besonders das Abrücken des letzteren Halbbildes, nach aussen zu von dem fernen Punkte, auf welchen die Blicklinien sich richten, hervor (s. Fig. 26).

Fig. 26.



In Fig. 26 sind mit R und L die beiden Augen bezeichnet, a ist ein näherer Punkt, seitlich gelegen, b ein fernerer Punkt in der Mittelebene. Bei der Convergenz von b nach a bleibt das linke Halbbild von b an seiner Stelle, während das rechte nach × sich verschiebt. Mit Divergenz von a nach b bleibt ebenso das linke Halbbild von a stehen, während das rechte nach + hinüberrückt. In beiden Fällen aber findet der Eindruck statt,

als ob der nähere Punkt nach aussen hin von dem ferneren abrückt.

Man kann sich davon überzeugen, wenn man Versuche anstellt, indem man z. B. zwei Stäbchen in die Lage von a und b bringt. Bei Convergenz von b auf a wird nicht der Eindruck gewonnen, als ob das Halbbild + nach a hin sich verschiebe, sondern umgekehrt, a scheint nach + zu rücken. Und bei Divergenz von a auf b scheint wiederum nicht das Halbbild × nach ba hinzurücken, sondern stehen zu bleiben, während merklich der Eindruck hervortritt, als ob a nach + hinausrücke. Vergleichen wir nun die eben angegebene Verschiebung der Halbbilder von Punkten in der bezeichneten Lage, mit der vorher geschilderten Verschiebung fernerer und näherer Punkte im Sehfelde, bei Bewegung der Augen nach vorn oder nach der Seite hin, so ergiebt sich in der That eine grosse Uebereinstimmung. Die Bewegung der Augen nach vorn und nach rechts hin, bewirkt eine Verschiebung der linksseitigen näheren Punkte nach aussen hin von den ferneren, ganz ebenso wie wir es bei Convergenz- und Divergenzbewegung auf dieselben Punkte fanden. Da nun diese drei Arten von Bewegungen der Augen, bei der Wahrnehmung sich fort und fort mit einander verbinden, so ist nicht wohl daran zu zweifeln, dass die Wahrnehmung der Tiefe, mittelst Convergenz und Divergenz, sich herausbilde unter dem Einflusse des Sehens bei geraden und seitlichen Bewegungen der Augen im Raum. Auch das Mass der Verschiebung der Punkte im Sehfelde entspricht in allen drei Fällen der Ausgiebigkeit der räumlichen Bewegung der Augen.

Dass bei einem aus dem gemeinsamen Blickfelde heraustretenden Punkte die Lage und Verschiebung seiner Halbbilder schon genügt, um Tiefenwahrnehmung zu erzeugen, das wird durch das Stereoscop bestätigt. Bieten wir in letzterem jedem Auge zwei Punkte dar, von denen einer dem Blickpunkte des geradeaus gerichteten Auges entspricht, der andere etwas nach innen von ihm gelegen ist, beiderseits gleich weit. Werden die beiden, im Abstande der Grundlinie befindlichen Punkte verschmolzen, so erscheinen die beiden anderen unvereinigt und den Augen näher stehend; bringt man beide letzteren durch Convergenz zur Deckung, so treten erstere auseinander und erscheinen entfernter. Setzt man

beiderseits den zweiten Punkt weiter nach innen vom ersten, so wächst dem entsprechend der Tiefenabstand.

Die Wahrnehmung von Tiefenunterschieden reicht freilich nicht über eine gewisse Entfernung hinaus. Wird der paralactische Winkel bei räumlicher Verschiebung der Augen oder der Winkel bei den Convergenz- und Divergenzbewegungen so klein, dass er unter eine Winkelminute fällt, dann wenigstens, wenn nicht schon früher, hört die Tiefenunterscheidung auf. Bei einem Abstande der Augenmittelpunkte von 60 mm wird die Tiefenwahrnehmung aufhören, wenn der nähere Punkt über 350 Fuss von den Augen abgerückt ist.

In Bezug auf das Sehen mit beiden Augen ist zweitens noch zu beachten, dass durch die Verschiebung beider Blickfelder über einander hin, bei Convergenzbewegungen mit Hebung und Senkung der Blicklinien, Aenderungen in der Tiefenwahrnehmung eintreten müssen. Durch Verschiebung der oberen Hälften der Blickfelder, je nach innen hin, werden die Abstände der gekreuzten Doppelbilder kleiner, wenn auch die Convergenz bei Hebung aus der Horizontlinie dieselbe bleibt; und durch Verschiebung der unteren Hälften der Blickfelder, je nach innen, bei Convergenz mit Senkung, muss dasselbe stattfinden. Folglich wird in beiden Fällen der Tiefenabstand für gleich weit entfernte Punkte, kleiner wahrgenommen, als bei Convergenz in der Horizontlinie.

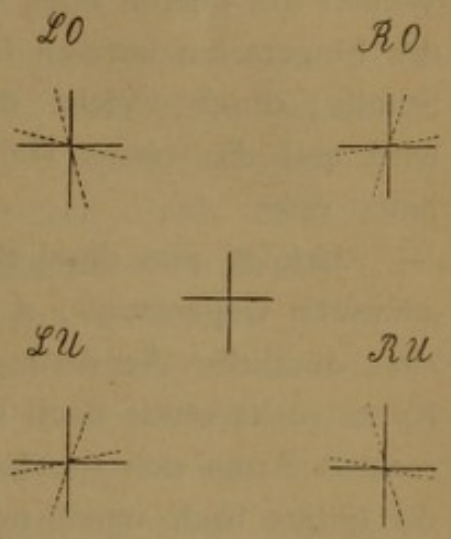
Wir haben also für die Wahrnehmung festgestellt, dass ein Zusammenfassen der in einem Sehraume gegebenen Punkte und Linien durch Hinüberführen des Blickpunktes über dieselben erreicht wird. Als massgebend erschien dabei der Zusammenhang zwischen den Verschiebungen der Punkte im Blickfelde und den Bewegungen der Augen. Die Lage der Blickpunkte auf der Netzhaut kommt gar nicht zum Bewusstsein. Das ist eine Thatsache, die wir schon anderwärts erhärtert haben, aber es dürfte nicht überflüssig sein Erscheinungen anzuführen, welche gerade für das Auge die Wahrheit derselben darthun. Es eignen sich hiezu unter Anderem Versuche mit Nachbildern.

Wahrnehmung an Nachbildern und bei Verschiebungen des Auges.

Mit Nachbild bezeichnet man den nach Aufhebung eines gewissen Lichtreizes auf die Netzhaut noch eine Weile zurückbleibenden Eindruck. Zu leichterer Beobachtung des letzteren wählt man zweckmässig ein Band oder einen Streifen Papier von lebhafter Farbe, die auf weissem oder grauem Grunde angebracht werden. Die eine bis zwei Minuten lang fortgesetzte Fixirung eines solchen Streifens liefert ein deutliches Nachbild in der complimentären Farbe, das wohl über eine Minute dauern kann. War der Streifen dunkelroth, so ist das Nachbild grünlich und heller. Es lässt sich bei geschlossenem und auch bei geöffnetem Auge beobachten, und in letzterem Falle mit vorhandenen Gegenständen oder besonders vorbereiteten Vorrichtungen vergleichen. Folgende Versuche damit werden genügen zum Beweise der Wahrheit des angegebenen Thatbestandes. Man bringe einen farbigen Streifen nicht zu weit vom Auge senkrecht an, so dass die geradeaus gerichtete Blicklinie seine Mitte trifft. Das darauf bei leichter Seitwärtswendung des Auges erscheinende Nachbild bleibt senkrecht und eben so bei Hebung oder Senkung des Auges. Wird aber letzteres nach aussen-oben gedreht, so neigt das Nachbild ebenfalls mit seinem oberen Ende nach aussen, und das Gleiche findet statt bei Drehung des Auges nach unten-innen; findet dagegen Drehung des Auges nach oben-innen, oder unten-aussen statt, dann stellt sich das Nachbild mit seinem oberen Ende ein wenig nach innen. Am deutlichsten tritt das hervor, wenn man das Nachbild mit vertical auf der Beobachtungsebene gezogenen Linien vergleicht. — Nehmen wir statt des senkrechten Streifens einen wagrecht ausgespannten, so bleibt das Nachbild bei geraden Hebungen und Seitwärtswendungen wagrecht; bei schrägen Hebungen und Senkungen der Blicklinie stellt sich eine geringe Schiefstellung des Nachbildes ein, beim Blick nach oben-aussen mit dem inneren Ende nach unten, und ebenso beim Blick nach unten-innen; dagegen mit dem inneren Ende nach oben, wenn der Blick nach

oben-innen oder unten-aussen hingewendet wird. Durch Vergleich mit horizontal gezogenen Linien der Beobachtungsebene wird die Schiefstellung deutlicher. Der senkrechte und der wagrechte Streifen geben also bei schrägen Hebungen und Senkungen des Auges Nachbilder mit entgegengesetzter Neigung (s. Fig. 27).

Fig. 27.



In Fig. 27 stellen die ausgezogenen Kreuze in den Ecken des Blickfeldes senkrecht sich schneidende gerade Linien dar. Die punktirten Kreuze bedeuten die vom Kreuze in der Mitte aus auf jene entworfenen Nachbilder.

Wie soll man sich diese Erscheinung erklären? Zur Lösung der Frage wollen wir zunächst sehen, wie es sich mit den Nachbildern bei geschlossenem Auge verhält. Entwickelt man in erwähnter Weise (immer mit unbeweglich festgestelltem Kopfe) ein Nachbild des Kreuzes in der Mitte des Blickfeldes, schliesst dann das Auge und bewegt es, so folgt das Nachbild freilich den Bewegungen des Auges, jedoch nicht in ganz entsprechendem Masse, es bleibt vielfach hinter der neuen Stellung der Blicklinie um Einiges zurück. Schräge Stellungen des Auges bewirken ebenfalls Schiefstellung des Kreuzes, aber in der Weise, dass die Arme desselben in rechtwinkliger Lage zu einander verbleiben, oder mitunter ein wagerechter Arm von einem etwas geneigten senkrechten geschnitten erscheint. Die Neigung des senkrechten Armes entspricht der bei offenem Auge. Schon hieraus geht hervor, wie die Schiefstellung des Nachbildes, bei schrägen Bewegungen des Auges, nicht abhängen kann von den dabei stattfindenden Raddrehungen, also nicht von der Lage des Bildes auf der Netzhaut.

Noch deutlicher tritt das hervor, wenn wir dem Auge unwillkürliche Bewegungen ertheilen.

Durch Druck mit dem Finger lassen sich Drehungen des Auges nach mehrfachen Richtungen hin erzielen. Führen wir nun solche aus, nachdem ein Nachbild im Auge entwickelt worden und darauf dasselbe geschlossen ist, so findet keine Verschiebung des

Nachbildes statt. Von den Veränderungen in der Lage des Netzhautbildes kommt nichts zum Bewusstsein. Sehen wir desshalb zu, wie es steht mit den unwillkürlichen Bewegungen des Auges, wenn dasselbe geöffnet ist.

Am leichtesten und für die Beobachtung passendsten lässt sich eine Verschiebung des Augapfels durch Druck am äusseren Winkel des oberen oder unteren Lides ausführen. Durch Anlegen des Fingers am unteren Lide kommt am ehesten eine Drehung zu Stande, durch welche die Blicklinie nach oben-aussen gerichtet wird und die obere Hälfte der verticalen Blickebene sich nach innen neigt.

Erfolgt nun diese Bewegung, während das Auge einen bestimmten Gegenstand, z. B. das rothe Kreuz fixirt, so zeigt sich eine deutliche Aenderung der Lage des letzteren. Das ganze Kreuz rückt etwas nach innen-unten hin und neigt mit dem senkrechten Arme sich so, dass sich dessen obere Hälfte nach aussen, die untere nach innen richtet. Durch Druck mit dem Finger am äusseren Theile des oberen Lides bewirkt man leicht eine Drehung des Auges, bei welcher die Blicklinie sich nach unten-aussen kehrt und die verticale Blickebene mit dem oberen Ende nach aussen neigt. Das fixirte Kreuz rückt dabei nach innen-oben und zeigt zugleich starke Neigung mit dem oberen senkrechten Arme nach innen. Durch Druck Bewegungen des Auges nach innen zu erzielen, ist ebenfalls möglich, aber doch nicht so leicht und bequem für die Beobachtung. Führt man sie aus, so treten Verschiebungen des fixirten Gegenstandes nach aussen ein, mit entsprechenden Neigungen der Arme. Drehungen des Auges vom inneren Winkel aus sind auch ausführbar, aber ebenso unbequem für den Versuch. Deutlicher noch tritt die ganze Erscheinung hervor, wenn man beide Augen auf das Kreuz einstellt und dann die Drehung des einen durch Druck vornimmt. Wir wollen die beiden erwähnten Fälle hier in der Weise durch eine Zeichnung anschaulich machen; es wird damit das Verhalten auch für andere Fälle verständlicher werden (s. Taf. II).

In Taf. II Fig. V ist die Lage des Kreuzes im Blickfelde angegeben, wenn das linke Auge durch Fingerdruck bewegt wird. Bei richtiger Einstellung beider Augen fallen rv und lv zusammen. In

A ist mit lv′ und lh′ die Lage des verticalen und des horizontalen Meridianes bezeichnet, im Falle, wo die Blicklinie nach aussen-oben, und der verticale Meridian, mit seinem oberen Ende nach innen gekehrt wird. Das rothe Kreuz erscheint dann diesem Auge in der Lage lv und lh. In B ist der Fall angenommen, wo die Blicklinie durch Druck nach aussen-unten und die obere Hälfte des verticalen Meridianes nach aussen gekehrt wird; mit lv′ und lh′ ist die dann erfolgende Lage der Meridiane, und mit lv und lh die Lage des Kreuzes im Blickfelde für das linke Auge angegeben.

Nun ist wohl soviel klar, dass die vorgeführte Erscheinung nur stattfinden kann, wenn die durch äusseren Druck erfolgte Veränderung der Lage der Blicklinie, der Meridiane und damit der ganzen Netzhaut, gar nicht zum Bewusstsein kommt. Werden lv′ und lh′, trotz der Verschiebung, als mit rv und rh zusammenfallend aufgefasst, dann muss das Kreuz für das unwillkürlich gedrehte Auge, die entgegengesetzte Verschiebung lh und lv zeigen. Eine vollständige Erklärung dieser Erscheinung kann erst später nachfolgen; hier wollen wir nur hervorheben, wie diese Thatsache an sich genügt, um darzuthun, dass eine Verschiebung des Nachbildes im geschlossenen Auge bei unwillkürlichen Bewegungen desselben nicht stattfinden kann. Es sind also nur willkürlich ausgeführte Bewegungen des Auges, durch welche eine Aenderung in der Lage des Nachbildes zu Stande kommt.

In den angeführten Thatsachen finden wir aber auch eine Erklärung für die auffallende Verzerrung des Nachbildes, im Vergleich mit den auf der Beobachtungsebene senkrecht und wagerecht gezogenen Linien. Diese erscheinen dem Auge ja auch in den Ecken des Blickfeldes als senkrecht und wagerecht verlaufende, obgleich sie dem Auge sich nicht so darbieten. Die senkrechten Seitenlinien neigen mit den oberen und unteren Enden ein wenig gegen die Mittellinie des Sehfeldes hin; die oberen und unteren wagerechten Linien neigen mit ihren beiden Enden der wagerechten Mittellinie zu. So stellen sie sich eigentlich dem Auge dar und schneiden sich damit also auch unter spitzen Winkeln. Wie es kommt, dass sie trotzdem als senkrechte und wagerechte, unter rechten Winkeln sich schneidende Linien, vom Auge aufgefasst werden, das kann sich erst später herausstellen. Ist dem aber so,

dann ist es klar, warum das erwähnte Nachbild, im Vergleich mit ihnen, verzerrt erscheint. Das Nachbild folgt wohl den Bewegungen der Blicklinien nach den Ecken des Blickfeldes hin, aber die dabei stattfindende Raddrehung der Netzhaut erfolgt ja unwillkürlich und kommt gar nicht zum Bewusstsein. Somit könnte das Nachbild denn auch bei schrägen Hebungen und Senkungen der Blicklinie seine anfängliche Gestalt mit senkrechten und horizontalen Armen beibehalten. Wird es aber auf die Stelle eines anderen Kreuzes entworfen, das sich in verzogener Form darbietet, aber dennoch rechtwinkelig erscheint, dann muss das Nachbild im Gegentheil als ungleichwinklig erscheinen.

In Taf. II Fig. VI ist das Verhalten des Nachbildes zum ausgezogenen Kreuze bei schrägen Stellungen der Blicklinie dargestellt. A bezeichnet das Verhalten bei Hebung der linken Blicklinie nach aussen und Senkung derselben nach innen (oder Hebung der rechten Blicklinie nach innen und Senkung derselben nach aussen); B bezeichnet dasselbe bei Hebung der linken Blicklinie nach innen und Senkung nach aussen (oder Hebung der rechten nach aussen und ihrer Senkung nach innen hin).

x′x′ bedeutet die Verschiebung, welche das ausgezogene Kreuz in den Ecken des Blickfeldes darbietet, xx die Form und Lage, in der es dem Auge erscheint. Der senkrechte Arm des Nachbildes yy sollte an die Stelle von xx fallen, da aber x′x′ diese Lage einnimmt, so muss yy nach der anderen Seite hin verschoben erscheinen. Ebenso müsste der horizontale Arm yy in die Lage des horizontalen xx treten, erscheint aber des angegebenen Grundes wegen nach der entgegengesetzten Seite von x′x′ hin verlegt.

Dieses Verhalten gehört übrigens in das Gebiet der Anschauung und kann erst bei Darlegung desselben seine eigentliche Erklärung finden.

Wahrnehmung am gewählten Beispiele.

Um den Vorgang der Wahrnehmung anschaulicher zu machen, wollen wir ihn noch an dem oben angedeuteten Beispiele zu erläutern suchen.

Es frägt sich also, wie sich die Wahrnehmung zu den in der

ebenen Bodenfläche rechtwinkelig sich schneidenden, geraden Längs-, Breiten- und Höhenlinien verhält. Das Auge befinde sich in fünf Fuss Höhe, gerade über dem Durchschnittspunkte einer Längs- und Breitenlinie, der Abstand der Linien von einander betrage auch fünf Fuss. Höhenlinien seien nicht auf allen Längslinien vorhanden; die, über welcher sich gerade das Auge befindet, habe deren keine, wohl aber die ihr nächstliegenden und einige weiterliegende, seitliche. Ueber der Bodenfläche wölbe sich eine Schichte zerstreuter lichter Wolken.

Zunächst ist auch hier das Wahrnehmen bei festgestelltem Kopf und Körper mittelst eines Auges zu betrachten. Wir haben dann ein festbegrenztes Sehfeld: die untere Hälfte desselben wird von den Längs- und Breitenlinien, sowie von den unteren Enden der Höhenlinien eingenommen; in die obere Hälfte ragen die oberen Enden der Höhenlinien hinein, während sie im Uebrigen mit Wolken bedeckt erscheint. Den Punkt auf der Bodenfläche, der lothrecht unter dem Mittelpunkte des Auges liegt, nennen wir den Fusspunkt, er fällt, nach unserer Annahme, mit dem Schnittpunkte einer Längs- und Breitenlinie zusammen, und diese beiden lassen sich als Hauptlängs- und Hauptbreitenlinie bezeichnen, die übrigen Bodenlinien als Nebenlängs- und -Breitenlinien.

Befindet sich das Auge zuerst in der Anfangsstellung, wird aber dann über die der Blicklinie zugänglichen Theile der gegebenen Linien hinübergeführt, so kann es zu folgenden Wahrnehmungen kommen: die Hauptlängslinie stellt sich dar als vom Fusspunkte aus gerade aufsteigend bis zum Mittelpunkte des Blickfeldes. Die Nebenlängslinien neigen, des abnehmenden Sehwinkels halber, der Hauptlinie zu und sind ebenfalls auf den Mittelpunkt des Blickfeldes hin gerichtet. Nehmen wir den Sehwinkel für zwei eben noch unterscheidbare Punkte in grösserer Entfernung zu einer Winkelminute an, dann wird die erste Neben- mit der Hauptlängslinie in 17,190 Fuss Abstand vom Auge zusammenzustossen scheinen; da aber der Sehwinkel für solche Entfernungen fünf Minuten nicht übersteigen wird, so lässt sich der Punkt, wo beide Linien mit einander für das Auge zusammenfliessen, annähernd auf 3440 Fuss Abstand verlegen. Gleicherweise muss die zweite Nebenlängslinie mit der ersten, die dritte mit der zweiten und so

fort zu verschmelzen scheinen, je mehr seitlich, desto früher, ehe sie den Mittelpunkt erreichen. Letzteres geschieht ebenfalls des zu den Seiten hin mehr und mehr abnehmenden Sehwinkels wegen, und aus gleichem Grunde muss sich der Abstand zwischen zwei Seitenlinien überhaupt nach den Seiten hin allmälig verkleinern. Dabei nehmen die Längslinien eine Richtung an, die sich fortgehend mehr der wagerechten nähert, und schliesslich verschmelzen die letzten Längslinien für das Auge in ihrer ganzen Ausdehnung. Sie stossen damit beiderseits in einer wagrechten Linie zusammen, die durch den Mittelpunkt des Blickfeldes geht und den Horizont darstellt.

Die Hauptbreitenlinie ist für das einzelne Auge nur in ihrer äusseren Ausdehnung seitlich sichtbar und auch dann erst deutlicher, wenn das Auge ganz nach aussen gewendet wird. Die Blicklinie kann ohne Drehung des Kopfes nicht auf sie eingestellt werden, doch ist die Bestimmung ihrer Richtung und Lage von Wichtigkeit. Es muss sich die Hauptbreitenlinie als vom Fusspunkte aus nach der Horizontlinie seitlich aufsteigend darstellen. Der Punkt, in welchem sie letztere berührt, liegt ganz am äusseren Rande des Sehfeldes. Der entsprechende Punkt auf der entgegengesetzten Seite, sowie die ganze innere Hälfte der Hauptbreitenlinie bleibt dem beobachtenden Auge verdeckt und wäre nur dem anderen sichtbar. Nach dem Vereinigungspunkte der Hauptbreitenmit der Horizontlinie, müssen denn auch jederseits die übrigen Breitenlinien hinziehen. Sie nehmen die untere Hälfte des Sehfeldes ein, liegen eine über der andern, und schneiden sich mit den Längslinien. Der Abstand zwischen je zwei Breitenlinien vermindert sich desto mehr, je näher dem Horizont zu, so dass die letzten, noch ehe sie diesen erreichen, in ihrer ganzen Ausdehnung verschmolzen erscheinen.

Die Höhenlinien stellen sich als Linien dar, die das Sehfeld in der Richtung von oben nach unten durchziehen. Diese Richtung ist aber keine vollkommen gerade, denn die Höhenlinien müssen mit ihrem in der oberen Hälfte des Sehfeldes gelegenen Theile einer senkrechten zuneigen, die das Sehfeld halbirt und über dasselbe hinaus unendlich verlängert gedacht wird; mit ihrem in der unteren Hälfte des Sehfeldes befindlichen Abschnitte neigen sie ebenso dieser nach

unten hin verlängerten Linie zu. Der Grund davon ist auch hier der mit der Entfernung vom Auge abnehmende Sehwinkel für den Abstand zweier Höhenlinien von einander. Daher müssen auch die gegen den seitlichen Umfang des Sehfeldes hin gelegenen Linien eine stärkere Neigung darbieten, als die der Mitte desselben näher befindlichen. Aus dem gleichen Grunde wird der Abstand zwischen je zwei neben einander auf derselben Längslinie stehenden Höhenlinien nach der Mitte des Sehfeldes hin allmälig abnehmen. Sie rücken näher aneinander und verschmelzen endlich für das Auge, noch ehe sie die Mitte erreicht haben.

Nehmen wir die Höhenlinien von begrenzter Ausdehnung an, z. B. so hoch, dass die dem Auge nächsten gerade bis zum oberen Rande des Sehfeldes reichen, dann werden die ferneren eine kleinere Ausdehnung im Sehfelde darbieten.

Die auf einer und derselben Längslinie befindlichen Höhenlinien werden, nach dem Mittelpunkte des Sehfeldes zu, immer kürzer und noch vor demselben stellen sich die allerletzten nur als Punkte dar. Zugleich nimmt die Ausdehnung der Höhenlinien verhältnissmässig ab, je mehr seitlich die Längslinien gelegen sind, auf denen sie sich befinden.

Die Winkel, unter denen die drei Arten von Linien sich berühren oder schneiden, bieten sehr verschiedene Masse dem Auge dar. Die Winkel, welche die Hauptlängslinie mit den sie schneidenden Breitenlinien macht, sind nach oben, gegen die Mitte des Sehfeldes hin, etwas kleiner, nach dem unteren Rande desselben hin etwas grösser, als ein rechter. Nach dem Horizont zu gleicht sich jedoch der Unterschied zwischen diesen Winkeln aus und geht schliesslich in das Gegentheil über. Die Nebenlängslinien schneiden sich aber mit den Breitenlinien unter folgenden Winkeln: die nach oben-innen und nach unten-aussen gerichteten sind kleiner, während die nach oben-aussen und unten-innen gerichteten grösser als ein rechter sind. Je weiter nach den Seiten des Sehfeldes hinauf, desto spitzer werden erstere Winkel und desto stumpfer letztere. Die Höhenlinien bilden mit den beiden anderen Arten von Linien Winkel, die sehr verschieden ausfallen, je nach der Lage der Linien im Sehfelde. Die Winkel der Höhenlinien mit den Längslinien, von welchen sie ausgehen, sind nach oben-innen zu kleiner, nach

unten-aussen zu grösser als ein rechter. Dieser Unterschied zwischen beiden ist am grössten für die der Hauptlängslinie näheren Linien, nach den Seiten hin gleicht er sich mehr und mehr aus. Die Winkel, welche die Höhenlinien mit den Breitenlinien bilden, von denen sie ausgehen, bieten sich als rechte dar, oder weichen nur unbedeutend davon ab. Ausserdem schneiden die Höhenlinien grossentheils noch eine bedeutendere oder geringere Zahl von Längs- und Breitenlinien. Die dadurch entstehenden Winkel nähern sich für die Längslinien umsomehr einem rechten Winkel, je weiter diese Linien nach dem Horizonte zu liegen.

Was die in der oberen Hälfte des Sehfeldes gegebenen Wolken anbetrifft, so werden die Abstände zwischen den einzelnen, wenn wir sie in Wirklichkeit gleich gross annehmen, mit der Entfernung vom Auge gleichfalls abnehmen. Desshalb werden die Wolken überall nach dem Horizonte hin als zusammengedrängt sich darstellen und einigermassen in Reihen angeordnet erscheinen. Um uns eine deutlichere Vorstellung von Richtung, Abstand und Lage der drei Arten von Linien im Sehfelde zu machen, können wir ein beliebiges Sehfeld annehmen und darin die Linien hineinzeichnen, ganz so wie sie sich dem Auge darbieten. Dazu wäre eine Berechnung der Richtung und Lage der Linien für dieses Sehfeld zu machen und dabei die Winkel zu bestimmen, unter denen sie sich schneiden. In Ermangelung dessen müssen wir uns mit einer Zeichnung begnügen, die wenigstens annähernd diese Verhältnisse wiedergiebt*). Wir können uns zu dem Behuf z. B. eine ebene, ganz durchsichtige Glasplatte, auf 5 Fuss vom Mittelpunkte des Auges senkrecht aufgestellt, denken und auf ihr, soweit es angeht, das Blickfeld für das beobachtende Auge verzeichnen. Wenn wir annehmen, dass die Blicklinie desselben auf eine ausreichende Zahl von Punkten jeder Längs-, Höhen- und Breitenlinie nach einander eingestellt wird und dabei jedesmal die Stelle, wo die Blicklinie die Tafel durchsetzt, mit einem Punkte bezeichnet bleibt, so brauchten nur letztere durch Linien verbunden

---

*) Eine Berechnung der Richtung der Linien und der Winkel, unter denen sie sich schneiden, hat keiner von den Mathematikern, mit denen ich darüber gesprochen, übernehmen wollen, mir selbst fehlt die Kenntniss dazu.

zu werden, um die gesuchte Projection zu liefern. Der untere Rand des so gewonnenen Blickfeldes würde mit der ersten Nebenbreitenlinie zusammenfallen. Die beigefügte Photographie kann es erleichtern, sich eine solche Projectionszeichnung vorzustellen; nur ist sie für die Betrachtung mit beiden Augen im gewöhnlichen Prismen-Stereoscope eingerichtet und ausserdem eben nicht fehlerfrei. Ob eine entsprechende Zeichnung sich nach den bestehenden Regeln der Perspective vollkommen richtig herstellen liesse, das kann ich nicht beurtheilen.

Tritt eine räumliche Verschiebung des Auges aus seiner anfänglichen Stellung ein, so erfolgt damit eine Aenderung in dem Verhalten der im Sehfelde gegebenen Linien. Zu ausreichender Wahrnehmung der Aenderungen wird zugleich aber auch die Blicklinie in Bewegung gesetzt.

Bei Verschiebung des Auges durch kreisförmige Drehung des Kopfes oder Körpers ergiebt sich die Wahrnehmung gleicher Vertheilung der Linien nach den Seiten hin. Die Horizontlinie bewahrt dieselbe Richtung im fortschreitenden Sehfelde, die Breiten- und Längslinien steigen zunächst jederseits schräg zu ihr hinauf; hat aber die Drehung vom Ausgangspunkt an 90° erreicht, dann sind die früheren Breitenlinien zu Längslinien geworden und umgekehrt. Auf der Seite, wohin die Bewegung geschieht, treten neue Linien auf, auf der entgegengesetzten verschwinden bisher vorhandene.

Drehung des Auges mit dem Kopfe gerade nach oben bedingt das Wahrnehmen einer weiteren Ausdehnung des Himmelsgewölbes mit seinen Wolken nach oben hin — während die Bodenfläche mit ihren Linien mehr und mehr entschwindet. Drehung nach unten lässt dagegen die Fortsetzung der Linien bis an den Fusspunkt und darüber hinaus wahrnehmen. Bei Wendung des Kopfes nach einer Seite und unten hin kann der Blick bequem über die Hauptbreiten und die benachbarten Nebenbreitenlinien hingleiten. Dabei fällt die Convergenz derselben nach dem Berührungspunkte der Hauptbreitenlinie mit dem Horizonte auf. Dieser muss auch auf ungefähr 3400 Fuss Abstand vom Auge angenommen werden. Wird aber der Blick auf die erste Neben-

breitenlinie gerichtet, so erscheint diese als wagerecht durch das Sehfeld verlaufende Linie, während die Hauptbreitenlinie sich zu ihr convergirend verhält. Geht der Blick auf die zweite Nebenbreitenlinie über, so neigen beide anderen dieser zu, und das geht so weiter fort, bei allmäliger Einstellung der Blicklinien auf die weiteren Nebenlinien bis zum Horizont hin. Um auf diesen Punkt nicht wieder zurückzukommen, wollen wir hier gleich anführen, dass, wenn beide Augen geöffnet und gesenkt sind, und die Aufmerksamkeit auf die Hauptbreiten und die erste Nebenlinie gelenkt ist, erstere beiderseits stark gegen letztere geneigt erscheint, so dass es den Eindruck macht, als träfen ihre beiden Seitenhälften unter den Füssen in einem stumpfen Winkel mit einander zusammen.

In Bezug auf die Bewegung gerade vorwärts ist hauptsächlich Folgendes zu beachten. So lange die Blicklinie dabei geradeaus gerichtet ist, machen sich Aenderungen in der Wahrnehmung nur wenig bemerklich; das geschieht aber sogleich, wenn die Blicklinie ausgiebig bewegt wird. Ist dieselbe auf einen näher gelegenen Punkt einer Längslinie gerichtet und bleibt, auch beim Vorrücken auf denselben eingestellt, so muss sie gesenkt werden bis der Punkt über den unteren Rand des Blickfeldes hinausrückt. Von den Breiten- und Höhenlinien sind es die dem Umfange des letzteren nächsten, die — und zwar in ihrer ganzen Ausdehnung — eine nach der anderen verschwinden; die Breitenlinien treten über den unteren, die Höhenlinien jederseits über den seitlichen Rand hinaus.

Hieraus geht am unmittelbarsten, statt der Wahrnehmung einer Lage der Linien bloss über und neben einander im Sehfelde, die Wahrnehmung ihrer Lage auch hinter einander und ihrer Richtung in die Tiefe hervor.

Wird die Aufmerksamkeit auf den Abstand zweier Längs- oder Breiten- oder Höhenlinien von einander gerichtet, so drängt sich der Wahrnehmung die Zunahme desselben beim Vorrücken auf. Gegen den Horizont hin verliert sich die Zunahme, für die dem Auge nächsten Linien wächst sie bedeutend an. Dabei ändert sich denn auch beständig in etwas die Richtung der Linien; weil eben der Abstand zunimmt, so rücken die unteren Abschnitte der Längslinien merklich von der Hauptlängslinie ab, nach der Seite

des Sehfeldes hin, während gegen den Mittelpunkt zu diese Verschiebung sich verliert. An den Breitenlinien ist es der mittlere Theil, der rascher dem unteren Rande des Sehfeldes sich nähert, als das zum Horizont hinreichende Ende. Die Höhenlinien lassen nur eine kleine Aenderung in der Krümmung wahrnehmen. Dagegen tritt bei den Höhenlinien die Zunahme der Ausdehnung bei der Annäherung des Auges hervor und auch hier wächst die Höhe bei den nächst heranrückenden rasch an, während sie bei den entfernten unbemerklich wird. Die Höhenlinien bieten ferner eine paralactische Verschiebung im Verhältniss zu den ferner befindlichen Linien dar, in um so stärkerem Grade, je näher die in's Auge gefassten Höhenlinien sind und je ferner die anderen. Erstere rücken über diese seitlich nach dem Umfange des Sehfeldes zu.

Die erwähnten Verschiebungen der Linien im Sehfelde beim Vorrücken des Auges bedingen denn auch selbstverständlich Aenderungen in dem scheinbaren Verhalten der Winkel, d. h. ebenfalls wieder in den Schnittpunkten der den Augen näheren Linien. Der spitze Winkel, den die Höhenlinie mit der Längslinie bildet, von welcher sie ausgeht, wird beim Heranrücken immer stumpfer und nähert sich einem rechten in dem Augenblicke, wo die Höhenlinie über den Rand des Sehfeldes hinausrückt. Der Winkel, den dieselbe Höhenlinie mit der Breitenlinie macht, von welcher sie ausgeht, wird dagegen spitzer, erstere nähert sich letzterer dabei in ihrer ganzen Ausdehnung, um ganz mit ihr zusammenzufallen in dem Augenblicke, wo beide über den Rand des Sehfeldes hinaus verschwinden. Die Winkel, welche Längs- und Breitenlinien mit einander machen, nähern sich beim Heranrücken dem Auge zu mehr einem rechten.

Es kann hier nicht in der Absicht liegen, alle Aenderungen in dem Verhalten der Linien bei Bewegungen des Auges bis in's Einzelne und ganz genau zu ermitteln. Wir wollen nur zeigen wie es sich der Wahrnehmung aufdrängt, dass die fernen, dem Horizonte näheren Linien, bei der Vorbewegung unverändert beharren, während die dem Auge näheren fort und fort sich verschieben. Dabei gehen die Verschiebungen der Linien immer wieder in der gleichen Weise vor sich und lassen dieselben Wahr-

nehmungen sich gleichmässig wiederholen. Daraus müssen sich bestimmte Gesetze für das Sehen ergeben.

Desshalb wollen wir nur kurz noch des Ergebnisses der Bewegung des Auges gerade nach einer Seite hin erwähnen und es mit dem Angeführten vergleichen. Ist der Blick dabei auf den näher gelegenen Abschnitt der Hauptlängslinie gerichtet, so tritt die Verschiebung desselben nach der Richtung hin auf, die der Bewegung des Auges entgegengesetzt ist, während gegen den Horizont zu die Lage der Linie dieselbe bleibt. Zugleich weisst jede nächste Längslinie, zu welcher hin die Bewegung geht, die umgekehrte Drehung auf, mit dem unteren Ende dem Auge zu; für die ferneren Linien nimmt diese Verschiebung immer mehr ab. Dabei wächst der Abstand zwischen zwei näher rückenden Längslinien bis zu dem Augenblick, wo sich das Auge in der Mitte zwischen beiden befindet, um dann wieder abzunehmen. Und auch an den Breitenlinien macht sich die Zunahme des Abstandes zwischen je zweien, entsprechend der Annäherung des Auges bemerkbar. Das Verhalten der Höhenlinien wird durch die Verschiebung der Längslinien, auf denen sie stehen, bestimmt; kommt eine der letzteren dem Auge nahe, so rücken die auf ihr befindlichen Höhenlinien näher an einander, bis die erste alle übrigen verdeckt, — weiterhin gehen sie wieder auseinander. Die Winkel der Höhenlinie mit der Längslinie werden dabei immer kleiner bis Null. Die Winkel dagegen, welche die Längslinie mit den Breitenlinien macht, nehmen beim Näherrücken zu.

Es wiederholt sich also auch bei der seitlichen Bewegung des Auges die Wahrnehmung der starken Verschiebung der den Augen näheren Linien, während die entfernten Abschnitte derselben sich unbeweglich verhalten. Und für die Lage der Linien hinter einander, für ihre Richtung, ihren Abstand der Tiefe nach, ist vorzüglich die paralactische Verschiebung der Höhenlinien massgebend. Sie heben scharf das Verhalten der anderen Linien, auf denen sie stehen, hervor.

Werden beide Augen in Gebrauch gezogen, so gelten für ihre räumlichen Bewegungen dieselben Regeln in Bezug auf Verschiebungen der Linien im Sehfelde. Ausserdem ist aber der Einfluss des Sehens mit beiden Augen auf die Wahrnehmung bei

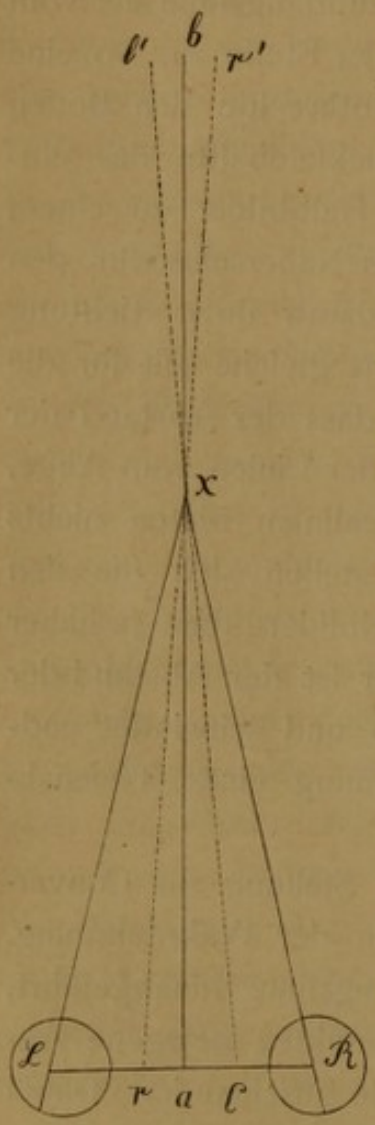
feststehendem Kopfe und Körper zu betrachten. Die Augen befinden sich bei fünf Fuss Höhe über der Bodenfläche in solcher Stellung, dass die Grundlinie wagerecht gerade über der Hauptbreitenlinie und ihr Mittelpunkt genau über der Hauptlängslinie steht.

Sind die Augen geradeaus gerichtet, so liegt das gemeinsame Blickfeld in grossem Abstande von ihnen und die Blicklinien treffen in dem Punkte zusammen, wo die Hauptlängslinie den Horizont berührt. Diese selbst muss daher in gekreuztem Doppelbilde erscheinen; denn jedem Auge stellt sich die Hauptlängslinie als vom Blickpunkte schräg herabsteigend dar, nach der Stelle zu, wo eine vom Mittelpunkte der Grundlinie gefällte lothrechte den Boden berührt, — sie liegt also in der inneren Blickfeldhälfte des einzelnen Auges. Werden nun die beiden Halbbilder zu einem Bilde vereinigt, so muss die Auffassung des Näherseins für den unteren Abschnitt der Hauptlängslinie und damit ihrer Richtung vom Auge gerade in die Tiefe eintreten. Das gleiche gilt für die Nebenlängslinien, nur mit dem Unterschiede, dass der Abstand der gekreuzten Doppelbilder, mit der Entfernung der Linien vom Auge, nach den Seiten hin, abnimmt. Die Breitenlinien bieten nichts besonderes dar; von den Höhenlinien aber stellen sich die den Augen näheren ebenfalls in gekreuzten Doppelbildern dar. Je näher die Linien den Augen sind, desto bedeutender ist der Abstand der Halbbilder, mit der Entfernung nimmt er ab und schwindet endlich ganz. Damit tritt denn die Wahrnehmung eines Tiefenabstandes auch für die Höhenlinien ein.

Gehen die Augen aus der anfänglichen Stellung zur Convergenz über, so folgen daraus Aenderungen in der Wahrnehmung. Werden die Blicklinien entlang der Hauptlängslinie hinabgeführt, so tritt der jenseit des jeweiligen Fixationspunktes gelegene Abschnitt der Linie in gleichnamigem Doppelbilde auseinander. Dabei ist aber nicht zu vergessen, dass durch die Convergenz der Blicklinien mit Senkung eine Neigung der verticalen Blickebene des einzelnen Auges je nach aussen hin bedingt wird. Käme diese Wirkung allein in Betracht, dann müsste im Gegentheil der oberhalb des Fixationspunktes gelegene Theil der Hauptlängslinie in gekreuztem Doppelbilde auseinandergehen. Denn wir haben oben gezeigt, dass die Deckpunkte, die gewöhnlich in die Schnittlinie

der verticalen Blickebenen fallen, auch nach ihrem Auseinanderweichen noch als einfache Punkte aufgefasst werden und desshalb die neu entstandenen Deckpunkte dem einzelnen Auge je nach innen verschoben erscheinen. Verhält sich die Sache in dieser Weise, dann drängt sich die Frage auf, ob sich wohl beide Wirkungen einander dem Grade nach entsprechen. Stellte sich nämlich das Auseinanderweichen der gleichnamigen Halbbilder des ferneren Abschnittes der Hauptlängslinie (das von der Convergenz abhängt) ebenso stark heraus, als das Auseinanderweichen der Deckpunkte (bedingt durch Divergenz der verticalen Blickebenen nach oben zu), dann werden sich diese Wirkungen gegenseitig aufheben. Und dann können, beim Herabrücken der Blicklinien der Hauptlängslinie entlang, von ihrem jenseit des Fixationspunktes gelegenen Theile gar keine Doppelbilder zur Wahrnehmung kommen. Zugleich wird aber auch dabei, aus demselben Grunde, die Divergenz des gekreuzten Doppelbildes vom näheren Theile der Linie abnehmen (s. Fig. 28).

Fig. 28.



In Fig. 28 bedeuten R und L die beiden Augen, a b die Hauptlängslinie, R x und L x die convergirenden Blicklinien; r x und l x die gekreuzten Halbbilder von a x; x r' und x l' die gleichnamigen Halbbilder von x b. Zugleich können die Linien r r' und l l' die Durchschnitte der, mit ihren oberen Hälften nach aussen abgewichenen, verticalen Blickebenen mit einem, in x aufgerichtet gedachten, gemeinsamen Blickfelde bezeichnen. Die Linien r x und x r', sowie l x und x l', fallen nicht mit den die verticalen Blickebenen bezeichnenden Linien R x und L x zusammen, weil die Augen R und L in fünf Fuss Höhe über a b angenommen sind. Das hier Angeführte wird übrigens klarer werden, wenn wir später nochmals darauf zurückkommen.

Das für die Hauptlängslinie auseinandergesetzte Verhalten

muss natürlich seine Geltung auch für die Nebenlinien haben. Nur kommt hier die ungleiche Lage der Halbbilder in Betracht, und, je weiter seitlich die Linien gelegen sind, desto mehr verliert sich hier die Bedeutung der Doppelbilder.

In Bezug auf die Höhenlinien macht sich die Convergenz der Blicklinien ebenfalls besonders bemerklich, sowie ihr Wechsel mit Divergenz. Werden näherstehende Höhenlinien fixirt, so treten die ferneren in gleichnamigen Doppelbildern aus einander, richtet sich der Blick auf entferntere, so bieten die näheren gekreuzte Doppelbilder dar. Durch Verschmelzung bald der einen, bald der anderen mit den dabei stattfindenden Verschiebungen der Halbbilder, wird unmittelbar die Wahrnehmung einer Tiefenerstreckung der Höhenlinien gewonnen, und der Abstand der Halbbilder wird zum Masse des Tiefenabstandes.

Dann kommt aber für die Wahrnehmung des Verhaltens der näheren Höhenlinien, bei Convergenz mit gleichzeitiger Hebung oder Senkung der Blicklinien, vielleicht auch die Neigung der verticalen Blickebenen in Betracht. Richtet sich der Blick auf den oberen Theil einer nahen Höhenlinie, so kreuzen sich die Schnittlinien der verticalen Blickebenen im gemeinsamen Blickfelde nach oben zu vom Blickpunkte, und divergiren nach unten von demselben. Werden sie trotzdem als zusammenfallend aufgefasst, dann muss der obere Abschnitt der Höhenlinie in gleichnamigen Halbbildern auseinanderweichen, und desshalb vom Auge ab etwas in die Tiefe geneigt erscheinen; der unterhalb des Blickpunktes befindliche Abschnitt der Linie dagegen wird in gekreuztem Doppelbilde sich darstellen und mithin dem Auge zugeneigt erscheinen. Wendet sich der Blick auf den unteren Theil einer nahen Höhenlinie, so findet das Umgekehrte statt: der grössere, oberhalb des Fixationspunktes gelegene Abschnitt der Linie giebt gekreuzte Halbbilder und muss desshalb als näher wahrgenommen werden, während der kleinere, nach unten hin reichende Abschnitt, in Folge gleichnamigen Doppelbildes, ferner erscheint.

Uebereinstimmung der Bewegungen bei der Wahrnehmung.

Schliesslich wollen wir nur noch darauf hinweisen, wie die verschiedenen Bewegungen, welche die Augen zum Zwecke der Wahrnehmung auszuführen haben, in bestimmtem Verhältniss zu einander stehen. Und das Verhältniss erstreckt sich sowohl auf das zeitliche, als auf das räumliche Mass. Denn alle Sinneseindrücke nehmen ja eine gewisse Zeit in Anspruch, wenn sie sich als gesonderte geltend machen sollen. Beim Sehen werden beide Blicklinien über die wahrzunehmenden Punkte und Linien hinübergeführt. Zur Einstellung der Blicklinien auf verschiedene Theile des Blickfeldes gesellt sich vielfach Convergenz- und Divergenzbewegung, und diese und jene müssen beständig mit einander Schritt halten. Beide bedürfen zweifelsohne für grössere Raumstrecken auch längerer Zeitmasse; es handelt sich dabei einestheils um deutliche Auffassung einzelner Punkte, anderentheils um genaue Verschmelzung der Doppelbilder. Dazu kommt dann häufig noch Anspannung und wieder Entspannung der Accommodation. Und diese verlangt vielleicht, durch die dabei stattfindende Formveränderung der Linse, längere Zeitmasse, als für die Einstellung der Blicklinien und die Convergenzvorgänge unbedingt nöthig wäre. Wie eng aber diese Bewegungen zusammenhängen, zeigt sich darin, dass sich, bis zu einem gewissen Grade in zwingender Weise, Convergenz mit Anspannung der Accommodation und Divergenz mit ihrer Entspannung verbindet. Werden nun zu den angeführten Vorgängen noch räumliche Bewegungen der Augen hinzugezogen, so müssen auch diese sich jenen anbequemen. Zu rasche Bewegungen des Kopfes und Körpers machen jede genauere Wahrnehmung unmöglich, zu langsame sind ihr nicht förderlich.

Das Wahrnehmen wird zwar allmälig, aber doch im Ganzen ziemlich rasch erlernt. Bei dem neugeborenen Kinde findet es, in den ersten Wochen wenigstens, noch nicht statt, die accommodativen und Convergenzbewegungen fehlen noch. Gegen Ende des zweiten Monates stellen sich jedoch öfter, wenigstens für Augenblicke, Convergenzbewegungen ein. Die Wahrnehmung der Tiefe entwickelt sich später und langsamer, sie bleibt um so mehr zurück, je weniger sie geübt wird.

Die Gesichtsvorstellungen.

Die durch die Empfindung in Beziehung zu einander gebrachten und mittelst Wahrnehmung vereinigten Gesichtseindrücke bilden Gesichtsvorstellungen.

Wir haben anderweitig festgestellt, dass die Sinneseindrücke in der Weise, wie sie durch Wahrnehmung vereinigt worden, dem Bewusstsein verbleiben können. Sie werden im Gedächtniss aufbewahrt und treten gelegentlich wieder in der Erinnerung hervor. Die so gewonnenen Zustände des Bewusstseins bezeichnen wir als Vorstellungen.

Da das Wahrnehmen durch Unterschiede im Verhalten der Dinge bestimmt wird, so enthalten auch die Vorstellungen ein Bewusstsein von der Beschaffenheit ausserhalb gegebener Gegenstände. Und wir haben hier zunächst die allgemeinsten Verhältnisse der Beschaffenheit der Dinge, wie sie aus den Gesichtswahrnehmungen hervorgehen, zu ermitteln. Diese sind nun die der Grösse, der Entfernung und Gestalt.

Vorstellung der Grösse, Entfernung und Gestalt.

Wird eine Mehrzahl von Punkten zusammengefasst, als in gewissem Abstande von einander befindlich, so entsteht dadurch die Vorstellung der Grösse. Freilich tritt bei Wahrnehmung des Abstandes auch immer die Wahrnehmung der Richtung und der Lage der vereinigten Punkte hinzu. Demnach wird die Grösse näher bestimmt als Vorstellung einer Ausdehnung der Höhe, der Breite und der Länge, oder Tiefe nach. Es kann der Fall sein, dass die Grösse einer, zweier, oder selbst allen drei Richtungen nach gleich ist; es können in anderen Fällen aber auch grosse Verschiedenheiten in der Ausdehnung den einzelnen Richtungen nach bestehen. Ausserdem schliesst die Vorstellung der Grösse auch die Wahrnehmung der Lage der zusammengefassten Punkte im Blickraum mit ein, ob sie, ausserdem neben einander, auch über und unter einander, vor und hinter einander gegeben sind.

Dieses Bewusstsein der Lage zusammengefasster Punkte giebt denn auch am unmittelbarsten die Vorstellung der Entfernung.

Die einzelnen mit einander vereinigten Punkte können in gleicher oder auch in sehr verschiedener Entfernung von einander und vom Auge sich befinden und vorgestellt werden. Es liegt der Vorstellung der Entfernung aber ebensowohl die Wahrnehmung des Abstandes der Punkte von einander und ihrer Richtung gegen einander zu Grunde. Denn die durch die Lage bedingte Entfernung schliesst ja immer bestimmte Abstände und auch bestimmte Richtungen mit ein.

Dagegen steht die Wahrnehmung der Richtung oder Richtungen, denen gemäss eine Mehrzahl von Punkten zusammengefasst wird, in nächster Beziehung zur Vorstellung der Gestalt.

Dabei kann eine Richtung vorwiegen, es können aber auch zwei, oder alle drei Richtungen bei der Vorstellung vertreten sein. Zum Zustandekommen der Vorstellung von der Gestalt wirkt übrigens wiederum die Wahrnehmung des Abstandes und der Lage der vereinigten Punkte mit.

Ein jeder Gegenstand also, der vom Bewusstsein als solcher aufgefasst wird, bietet die Möglichkeit des Zustandekommens der genannten drei Vorstellungsweisen. Sie hängen eng mit einander zusammen, sie entstehen aber gesondert und können auch gesondert bestehen.

Welche von den zur Zeit dargebotenen Punkten gerade zur Vorstellung eines Gegenstandes zusammengefasst werden, das hängt von den Umständen ab, unter denen das Wahrnehmen vor sich geht. Es kommt hiebei vorzüglich darauf an, in welcher Gruppirung die vorhandenen Punkte sich darbieten. Aus einer grösseren Anzahl gegebener Punkte können immer wieder einzelne als in engerer Verbindung stehend zusammengefasst und von den anderen gesondert werden. Schon ein Punkt mag als einzelner Gegenstand gelten, meist sind mehrere Punkte zu einem Ganzen vereinigt: bilden sie eine ununterbrochene Reihe, so stellen sie eine Linie dar, mehrere Linien, oder eine gekrümmte, umschliessen eine Fläche.

Nehmen wir das einzelne im Raum festgebannte Auge, so sind es nur die im dann bestehenden Blickfelde vorhandenen Punkte,

die zu gewissen Gegenständen zusammengefasst werden können. Allerdings ist auch da schon eine grosse Mannigfaltigkeit derselben möglich. Es können einzelne Punkte, Linien, Flächen gesondert vorgestellt, es können aber auch wieder mehrere von ihnen zu einer weiteren Vorstellung vereinigt werden. Wählen wir z. B. einen zusammengesetzteren Gegenstand, wie einen Baum, so können durch Ueberführen der Blicklinien über die Theile desselben sehr verschiedene Vorstellungen gewonnen werden. Jedes einzelne sichtbare Blatt lässt sich als gesonderter Gegenstand fassen und ebenso jeder Zweig; alle Blätter und Zweige können zusammen ein Ganzes in der Vorstellung bilden, so aber auch der Stamm für sich, und schliesslich ist eben der ganze Baum als eine Vorstellung möglich. Die einzelnen genannten Vorstellungen treten gemäss der Wahrnehmung einzeln auf, nach einander, nie gleichzeitig; die engeren können mit einander aber in einer allgemeineren Vorstellung aufgehen.

Aenderungen der Vorstellung bei räumlichen Bewegungen der Augen.

In dem feststehenden Sehfelde des einzelnen Auges ist jedoch, wie aus dem früher Erwähnten hervorgeht, die Vorstellungsweise eine beschränkte: Grösse, Entfernung und Gestalt sind nur nach zwei Richtungen des Raumes bestimmt, nur in der Fläche des Sehfeldes gegeben. Erst durch die Verschiebungen der Punkte und Linien bei räumlichen Bewegungen des Auges vervollständigen sich die Vorstellungen durch die Wahrnehmung der Tiefenausdehnung. Es treten für unser Bewusstsein Aenderungen sowohl in dem Verhalten der vorgestellten Gegenstände zu einander, als auch in dem Verhalten der Theile des einzelnen Gegenstandes ein. Die Verschiebungen von Punkten und Linien, die in ungleichem Abstande vom Auge sich befinden, können nämlich bewirken, dass einzelne von ihnen, die vorher ununterbrochen zusammenhingen, sich trennen; zweitens, dass neue Punkte und Linien hervortreten. In Folge davon werden vielfach Theile, die zu einem Gegenstande zusammengefasst waren, auseinander fallen und zu getrennten Gegenständen gehörig sich darstellen. Andererseits können neue auftauchen, oder es schliessen sich neue Punkte und Linien an die

vorhandenen an und vervollständigen die Vorstellung der schon bestehenden Gegenstände.

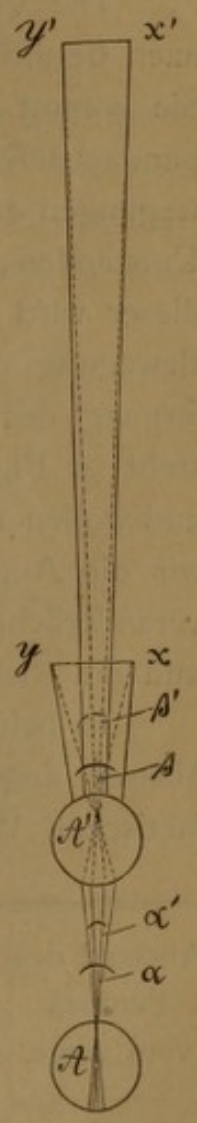
In Folge räumlicher Bewegungen der Augen treten aber auch Aenderungen in der Vorstellung von Grösse, Entfernung und Gestalt auf. Begründet sind sie in den Abweichungen, denen dabei der Sehwinkel und die paralactischen Winkel unterliegen.

Was den Sehwinkel anbetrifft, so hat er, als Mass für die Grösse eines Gegenstandes, eigentlich nur Geltung für ein Blickfeld, welches so beschaffen ist, dass alle in demselben gelegenen Punkte sich gleich weit vom Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen befinden. Je näher dem Auge, eine desto stärker gekrümmte Fläche wird ein solches Blickfeld darstellen; als Krümmungshalbmesser desselben muss man die Blicklinie (vom Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen bis zum Mittelpunkte des Blickfeldes gezogen) nehmen. In der That ist der geringere oder umfangreichere Abschnitt einer solchen Fläche, den ein Gegenstand einnimmt, bestimmend für seine Ausdehnung in dieser Fläche. Durch Hinüberführen der Blicklinie über die Punkte und Linien, die der Gegenstand in der Fläche darbietet, wird, entsprechend dem geringeren oder bedeutenderen Sehwinkel, den sie dabei beschreibt, eine bestimmte Vorstellung von der Grösse des Gegenstandes gewonnen. Und sind mehrere Gegenstände in derselben Fläche gegeben, so lassen sich recht genau die Unterschiede in ihrer Grösse auffassen, entsprechend der Grösse der zugehörigen Sehwinkel.

Für die Vorstellung der verhältnissmässigen Grösse von Gegenständen, die ungleich weit vom Auge abstehen, ist der Sehwinkel allein nicht massgebend, da ja zu demselben Winkel, mit zunehmender Länge seiner Schenkel, eine immer grössere Sehne gehört. Es muss also die Vorstellung der Entfernung der betreffenden Gegenstände von einander hinzukommen, damit der Sehwinkel, unter dem sie sich darstellen, ein Mass für ihre verhältnissmässige Grösse abgeben kann. Wenn sich nun das Auge einem Gegenstande bestimmter wirklicher Grösse nähert, so vergrössert sich der Sehwinkel für denselben, bei Entfernung des Auges vom Gegenstande verkleinert er sich. Aber die Aenderung des Sehwinkels ist keine gleichmässige: bei gleich grosser räumlicher Bewegung des Auges ist die Zunahme desselben für einen gleich grossen

Gegenstand um so bedeutender, je näher dieser sich zum Auge befindet. Fig. 29 soll die Zunahme des Sehwinkels bei gleicher räumlicher Bewegung des Auges und gleicher Grössenausdehnung, aber verschiedener Entfernung letzterer vom Auge veranschaulichen. Es ist eine Vorbewegung des Auges von 3 Fuss angenommen; das ist eine Bewegung, wie sie sich leicht durch einmaliges Vorschieben des Körpers bei blossem Vorsetzen eines Fusses erreichen lässt, und die gerade genügenden Zeitraum zum Zustandekommen einer Wahrnehmung darbietet.

Fig. 29.



In Fig. 29 bedeutet A das Auge, A′ dasselbe um 3 Fuss gerade vorwärts gerückt, xy eine Linie im Blickfelde des Auges, deren Mitte sich 5 Fuss vom Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen in A und 2 Fuss von diesem Punkte in A′ befindet; xy ist 1 Fuss lang und x′y′ bezeichnet eine ganz gleiche Linie in 100 Fuss Entfernung von A und 97 Fuss von A′. α bedeuted den Sehwinkel für A in Bezug auf xy, α' den Winkel in Bezug auf x′y′. β und β' bedeuten die entsprechenden Winkel für A′.

In beifolgender Tabelle sind einige Werthe für die Abnahme des Sehwinkels angegeben, wenn bei gleicher räumlicher Vorbewegung des Auges von 3 Fuss eine gleich lange Linie von einem Fuss in verschiedene Entfernung hinausgerückt ist. Die Vorstellung der Grösse von Gegenständen, die sich in geringem Abstande vom Auge befinden, ändert sich also bei den zum Behufe des Sehens gewöhnlich verwendeten Bewegungen der Augen in sehr bedeutendem Grade.

Abstand des Auges von der Linie.	Sehwinkel.	Abstand des Auges von der Linie.	Sehwinkel.	Unterschied im Sehwinkel.
5 Fuss.	11° 28′ 42″	2 Fuss.	28° 57′ 18″	17° 28′ 36″
25 »	2° 17′ 31″	22 »	2° 36′ 16″	0° 18′ 45″
100 »	0° 34′ 22″	97 »	0° 35′ 24″	0° 1′ 2″

Mit zunehmender Entfernung der Gegenstände nimmt diese Aenderung der Grössenvorstellung rasch ab und wird schon jenseit 100 Fuss unmerklich. Die ungleiche Zunahme des Sehwinkels gilt aber nicht bloss für verschieden weit entfernte Gegenstände, sondern ebenso für einzelne Linien und Flächen eines und desselben Gegenstandes, wenn sie sich in ungleichem Abstande vom Auge befinden.

Die Vorstellung der Entfernung von Gegenständen der Tiefe nach beruht auf der Vorstellung hinter einander gelegener Punkte. Sie kommt zu Stande, wie oben gezeigt, durch Wahrnehmung der paralactischen Verschiebung sichtbarer Punkte, bei räumlichen Bewegungen der Augen. Die Verschiebung hängt, unter sonst gleichen Umständen, ab von der Grösse des paralactischen Winkels; aber dieser wird wieder bestimmt durch Ausdehnung und Richtung der Bewegung des Auges einerseits, und andererseits durch die Entfernung des Punktes oder der Linie, an welchem der Winkel entsteht (s. Fig. 22). Genauer können wir hier darauf nicht eingehen, und wollen nur ein Beispiel anführen, um das zu erläutern. Setzen wir die Augenbewegung wiederum zu 3 Fuss, dann bleiben als veränderliche Grössen nur die Entfernung des Punktes vom Auge und die Richtung der Augenbewegung.

In beifolgender Tabelle sind bestimmte Unterschiede in diesen Massen angegeben und dabei die zugehörigen Werthe des paralactischen Winkels.

Abstand des Punktes vom Auge.	Bewegung des Auges um drei Fuss.			
	Vorwärts und seitlich um			Seitlich um
	20°	45°	65°	90°
3 Fuss.	80°	67° 30′	57° 30′	45°
30 »	2° 9′ 41″	4° 21′ 2″	5° 24′ 23″	5° 42′ 38″
90 »	0° 40′ 52″	1° 22′ 58″	1° 44′ 18″	1° 54′ 32″
300 »	0° 11′ 52″	0° 24′ 28″	0° 31′ 17″	0° 34′ 22″
1800 »	0° 1′ 57″	0° 4′ 3″	0° 5′ 11″	0° 5′ 43″

Aus den hier angegebenen Werthen geht hervor, dass der paralactische Winkel bei den zum Sehen gewöhnlich angewendeten Augenbewegungen noch auf 1800 Fuss Entfernung das Wahrnehmen

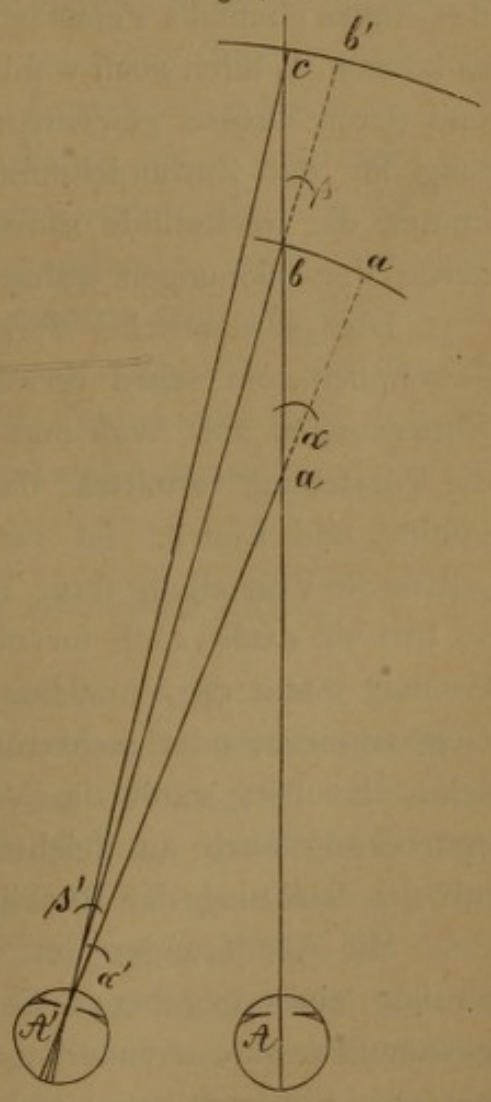
der Verschiebung von Punkten im Sehfelde ermöglicht. Die Bewegung des Auges gerade seitwärts ergiebt für bedeutendere Entfernungen den grössten Winkel.

Selbstverständlich tritt bei Bewegung des Auges in entgegengesetzter Richtung auch eine entgegengesetzte Verschiebung der Punkte ein: rückten sie bei der ersten Bewegung von einander ab, so rücken sie bei der entgegengesetzten wieder einander zu.

Beziehung zwischen paralactischem und Sehwinkel.

Durch die Bewegungen des Auges müssen aber der Sehwinkel und die paralactischen Winkel in Beziehung zu einander kommen. Durch die paralactische Annäherung oder Entfernung von Punkten im Sehfelde wird ja der Grössenabstand derselben verändert. Ein unmittelbares Mass für die stattfindenden Grössenunterschiede kann freilich der Sehwinkel nicht abgeben, da die Schenkel desselben immer ungleiche sind; das ist aber möglich wenn die betreffenden Punkte auf ein Blickfeld bezogen werden, dessen Punkte alle gleich weit vom Auge entfernt sind, oder wenn, zur Wahrnehmung des Abstandes der Punkte, die Vorstellung von ihrer Entfernung der Tiefe nach hinzukommt. Es bildet sich damit die Vorstellung von einer Grössenausdehnung der Tiefe nach. Und sind mehrere Punkte hinter einander gegeben, so fällt die bedeutendere paralactische Verschiebung mit der Zunahme des Abstandes, die durch den Sehwinkel gemessen wird, zusammen (s. Fig. 30).

Fig. 30.



In Fig. 30 bedeutet A ein Auge, A' dasselbe gerade nach einer Seite hin fortbewegt; a, b, c sind 3 Punkte, die in gleichen Abständen gerade hinter einander, in der Richtung der Blicklinie von A liegen.

$\sphericalangle \alpha$ ist der paralactische Winkel der Verschiebung des Punktes a nach a′ hin, wenn er auf das Blickfeld bezogen wird, dessen Radius die Blicklinie von A′ bis b abgiebt; $\sphericalangle \beta$ ist der paralactische Winkel der Verschiebung des Punktes b nach b′ hin, wenn er auf das Blickfeld bezogen wird, dessen Radius die Blicklinie von A′ bis c ist. $\sphericalangle \alpha'$ ist der Sehwinkel für den Grössenabstand b a′ oder für die Linie a b, wenn eine bestimmte Vorstellung von der Tiefenausdehnung derselben gewonnen ist. $\sphericalangle \beta'$ ist der Sehwinkel für den Abstand c b′, oder für die Linie b c, sobald die Vorstellung ihrer Tiefenerstreckung zu Stande gekommen ist. $\sphericalangle \alpha$ ist grösser als $\sphericalangle \beta$, und ebenso $\sphericalangle \alpha'$ grösser als $\sphericalangle \beta'$.

Es kann natürlich, ausser den in der Richtung eines Richtungsstrahles des Auges liegenden Punkten, noch eine unbegrenzte Zahl von Punkten im Sehfelde vorhanden sein, die bei der Bewegung des Auges ebenfalls Verschiebungen gegen einander aufweisen; und es können dadurch auch wohl Vorstellungen über ihre Tiefenabstände und deren Grösse gewonnen werden. Von hervorragender Bedeutung für das Zustandekommen deutlicher Vorstellungen ist aber immer die wechselnde Einstellung der Blicklinie auf die Punkte, deren Verschiebungen wahrgenommen werden sollen.

Die paralactische Verschiebung von Punkten hört bei den gewöhnlich zum Sehen verwendeten Augenbewegungen für grössere Entfernungen auf. Was nun für eine bedeutende Tiefenerstreckung die Vorstellung vermittelt, das sind in gleicher Richtung fortlaufende Punkte und Linien. Ist für den näheren Theil einer Reihe derselben die Vorstellung ihrer Tiefenausdehnung zu Stande gekommen, so tritt sie damit auch für die ganze Reihe, bis an deren Ende ein. Es mag damit die Vorstellung eines einzigen weithin ausgedehnten Gegenstandes, oder mehrerer hinter einander gelegener verbunden sein. Es tritt somit die Vorstellung einer fortgehenden Tiefenerstreckung auch am leichtesten ein für Linien, deren Richtung mit der Richtung der Blicklinie annähernd übereinstimmt.

Mit Aenderungen der Vorstellung von der Grösse und Entfernung eines gegebenen Gegenstandes wird sich denn auch für gewöhnlich eine Aenderung der Vorstellung seiner Gestalt verbinden. Sie kann nur ausbleiben, wenn die Vergrösserung so vor sich geht, dass sie nach allen Richtungen gleichmässig stattfindet;

das wäre aber nur möglich, wenn die den Gegenstand zusammensetzenden Punkte und Linien fortwährend in einem Sehfelde verblieben, dessen Punkte alle gleich weit vom Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen abstehen. Da das sich kaum jemals verwirklicht, so finden bei Bewegungen des Auges beständig ungleichmässige Vergrösserungen und Verkleinerungen der Theile eines Gegenstandes und damit Aenderungen seiner Gestalt statt. Eine solche verbindet sich auch nothwendig mit der Vorstellung der Tiefenausdehnung. Es kommt damit das sogenannte körperliche Sehen zu Stande, die Vorstellung der Ausdehnung eines Gegenstandes den drei Richtungen der Höhe, Breite und Tiefe nach. Schliesslich gilt für die Gestalt dasselbe, was schon für die Grösse und Entfernung gesagt worden, dass die Aenderungen bei Bewegungen des Auges für die näheren Theile eines Gegenstandes (unter sonst gleichen Bedingungen) bedeutender ausfallen, als für die entfernteren Theile. Sind mehrere Gegenstände hinter einander gegeben, so bleibt für die weit entfernten eben auch die Vorstellung der Gestalt unverändert.

Vermöge der Leistung eines Auges also, wenn mit ihm räumliche Bewegungen ausgeführt werden, entwickeln sich die Vorstellungen einer Ausdehnung von Gegenständen nicht nur nach oben und unten, nach den Seiten hin, sondern auch der Tiefe nach. Und die Tiefenausdehnung wird wiederum nicht nur gerade ausgehend, sondern auch nach oben, nach unten und nach den verschiedenen seitlichen Richtungen fortgehend vorgestellt.

Die Vorstellung beim Sehen mit beiden Augen.

Durch das Zusammenwirken beider Augen aber kommen diese Vorstellungen zu Stande auch ohne Beihülfe körperlicher Bewegungen. Zur blossen Wahrnehmung der Lage eines Punktes im gemeinsamen Blickfelde, durch Einstellung der Blicklinien auf denselben bewirkt, gesellt sich zugleich die Wahrnehmung seines Abstandes durch Verschmelzung des Doppelbildes. Es ist damit die Vorstellung einer bestimmten Entfernung des Punktes von anderen Punkten im Blickraum gegeben. Gleiten nun die Blicklinien über die Punkte und Linien, die zu einem Gegenstande zusammen-

gefasst werden, hinüber, so geht daraus die Vorstellung auch seiner Grösse und Gestalt hervor. Ein Punkt wird in der Vorstellung an der Stelle des Raumes gleichsam festgehalten, wo die beiden Blicklinien sich in ihm kreuzten und er einfach erschien. Die verschieden entfernten Punkte eines Gegenstandes geben demgemäss in ihrer Gesammtheit die Vorstellung eines Körpers. Die Doppelbilder aller übrigen ausserhalb des jeweiligen gemeinsamen Blickfeldes gelegenen Punkte kommen eben für gewöhnlich nicht zum Bewusstsein. Um sie zu bemerken, muss die Aufmerksamkeit besonders darauf hingeleitet werden. Blicken wir z. B. auf eine Fläche und dann am Rande derselben vorüber nach einem Punkte, der ferner liegt, und nur dem einen Auge zugänglich, dem anderen durch die Fläche verdeckt ist, und wenden schliesslich den Blick weiter ab, so werden beide, der Rand der Fläche und der fernere Gegenstand, in richtigem Abstande vorgestellt, ohne dass wir ein Doppelbild bemerkt hätten. Halten wir aber die Blicklinien auf den ferneren Gegenstand einige Zeit eingestellt, so pflegt schon nach wenigen Secunden das Doppelbild des Flächenrandes aufzutauchen und den Gegenstand für das ihn allein sehende Auge zu verschleiern oder selbst ganz zu verdecken. Je weiter ein Doppelbild vom Blickpunkte abliegt, desto weniger leicht ist es zu bemerken. Halten wir ein schmales kurzes Lineal vor beide Augen, mit einem Ende demselben zugekehrt, so können wir, je nach der Richtung der Blicklinien, dasselbe bald im gekreuzten, bald im gleichnamigen oder auch im halbgekreuzten, halb gleichnamigen Doppelbilde sehen. Je weiter wir die Blicklinien vom Lineal abwenden, desto schwieriger wird es, das Doppelbild wahrzunehmen.

Die Bedeutung der Doppelbilder für das körperliche Sehen wurde durch die Erfindung des Stereoscopes zu klarer Anschauung gebracht. Die stereoscopische Zeichnung für das einzelne Auge muss dem Halbbilde entsprechen, welches das Auge in Wirklichkeit von dem betreffenden Gegenstande bei einer bestimmten Entfernung empfangen würde (s. die Lichtdrucktafel).

Die Vorstellungen in Bezug auf das gewählte Beispiel.

Wenden wir uns zu dem oben ausgeführten Beispiele der drei Arten rechtwinkelig sich schneidender Linien auf der ebenen Bodenfläche, so müssen wir jetzt zusehen, zu welchen Vorstellungen dieselben Veranlassung geben. Doch können hier nur die hauptsächlichsten davon angedeutet werden.

Was sich der Vorstellung darbietet, das sind immer wieder Punkte, Linien, und von diesen umgrenzte Flächen. In Bezug auf Entfernung, Grösse und Gestalt können sie aber einzeln für sich oder in mannigfaltiger Vereinigung mit einander aufgefasst werden. Zunächst gilt es auch hier festzustellen, wie sich's verhält, wenn nur ein im Raume feststehendes Auge vorhanden ist.

Bei der Wahrnehmung wurde schon hervorgehoben, dass ursprünglich die Längslinien nur aufgefasst werden können als vom unteren und seitlichen Umfange nach der Mitte des Sehfeldes hinziehende und hier zusammengedrängte Linien. Die Breitenlinien erscheinen als quer, von einer Seite des Sehfeldes zur anderen, hinüberlaufende und gegen die ganze Horizontlinie hin einander, bis zur Verschmelzung, genäherte Linien. Von den Höhenlinien kann jede einzeln für sich als gerade Linie begrenzter Ausdehnung vorgestellt werden, welche, von oben nach unten ziehend, mehrere der anderen, Längs- und Breitenlinien, unter verschiedenen Winkeln schneidet. Dann können die Höhenlinien auch vereinigt aufgefasst werden, als Reihen von Linien, die nach dem Mittelpunkte des Sehfeldes einander mehr und mehr genähert sind und stetig kleiner werden.

Ferner lassen die verschiedenen Arten von Linien sich mit einander zu Vorstellungen vereinigen. Die Längs- und Breitenlinien in ihrer Kreuzung geben Veranlassung zu verschiedenen Vorstellungen schon dadurch, dass die Winkel, unter denen sie sich schneiden, zur Mitte des Sehfeldes hin stumpfer sind, und nach den Seiten zu immer spitzer sich darstellen. Die Höhenlinien, in ihrer Verbindung mit den Längslinien hingegen, bieten im mittleren Theile des Sehfeldes spitzere, und nach den Seiten hin immer stumpfere Winkel dar. Höhen- und Breitenlinien können in ihrer fast rechtwinkeligen Kreuzung aufgefasst werden.

Dann treten auch Abschnitte des Sehfeldes, die von Stücken der verschiedenen Linien umschlossen sind, zu gesonderten Vorstellungen zusammen. Sie stellen sich dar als Flächen von sehr verschiedener Grösse und Gestalt. In Bezug auf diese Flächen muss es sich der Vorstellung aufdrängen, dass sie im unteren Theile des Sehfeldes von grösserer Ausdehnung sind, als gegen die Horizontlinie hin; ferner, dass die Flächen auf der einen Seite, rechts, denen auf der anderen, linken Seite, gelegenen in Grösse und Gestalt entsprechen.

Schliesslich ist es möglich, dass ein grosser Theil des Sehfeldes, eine Hälfte desselben, ja das ganze, als eine Vorstellung aufgefasst wird. Es ist dann die Vorstellung einer grösseren Fläche, die von verschieden gerichteten Linien durchzogen ist, oder aus mehreren kleineren, verschieden gestalteten Flächen zusammengesetzt erscheint. Dabei müssen die Wolkenschichten in der oberen Hälfte des Sehfeldes als nach der Horizontlinie hin zusammengedrängt sich darstellen.

Wenn wir die photographische Zeichnung mit blossem Auge betrachten, so werden wir uns darüber Rechenschaft geben können, wie mannigfaltig die Vorstellungen sind, die sich aus den gegebenen Linien gewinnen lassen. Man muss nur dabei von dem perspectivischen Eindrucke des Ganzen absehen und die Aufmerksamkeit nur auf die Linien für sich und ihre Verbindungen und Kreuzungen lenken.

Denken wir uns nun das Auge mit Kopf und Körper räumlich bewegt, so treten alsbald Aenderungen in den Beziehungen der Linien zu einander ein. Wir haben oben gezeigt, wie eine Bewegung des Auges um 3 Fuss vor oder seitwärts schon genügt, um auf eine recht weite Strecke hin Verschiebungen der Linien bemerklich zu machen. Zur bloss flächenhaften Ausbreitung kommt die Vorstellung der Tiefenausdehnung hinzu.

Am ehesten heben sich die Längslinien, zumal die mittleren, als geradeaus in die Ferne verlaufende Linien hervor. Damit hängt dann auch schon die Auffassung der Breitenlinien als hinter einander gelegener Linien zusammen. Das vorzüglichste Mittel für das Zustandekommen von Vorstellungen der Tiefe ist aber immer in den Höhenlinien gegeben. Bei Besprechung der Wahrnehmung geschah

ihrer Verschiebungen gegen einander und den anderen Linien gegenüber Erwähnung. Es wurde dort hervorgehoben, wie bei bestimmten räumlichen Bewegungen des Auges in einem Theile des Sehfeldes ein Näherrücken der Höhenlinien gegen einander zu stattfindet, in einem anderen Theile des Sehfeldes aber zugleich eine Verminderung der Abstände. Es wurde ferner darauf hingewiesen, wie sich eine paralactische Verschiebung der Höhenlinien über die Längs- und Breitenlinien hin bemerklich macht, und wie eine gemeinsame Verschiebung von Höhenlinien mit der Längslinie, auf welcher sie stehen, stattfindet. Durch alle diese Verschiebungen wird nicht nur eine Vorstellung von der Erstreckung der Höhenlinien der Tiefe nach und von ihrer aufrechten Stellung, sondern auch zugleich ein Mass für die Grösse dieses Tiefenabstandes gewonnen.

Dabei nimmt die Annäherung der Linien gegen einander, oder ihre Entfernung von einander, ganz gleichmässig mit ihrer wachsenden Entfernung ab.

Das Hauptergebniss für die Vorstellung bei der räumlichen Bewegung des Auges in Bezug auf die Längs-, Breiten- und Höhenlinien besteht also in Folgendem: Für die dem Auge näher befindlichen Linien finden beständig Veränderungen in den Vorstellungen von ihrem Verhalten statt, mit zunehmender Entfernung der Linien werden diese Aenderungen aber immer geringer und hören endlich ganz auf. Je nach der Richtung der Bewegung des Auges betreffen die Aenderungen der Vorstellung bald mehr die eine Art der Linien, bald mehr eine andere: bald erfolgt eine Aenderung im Verhalten der Linien gleichmässig auf beiden Seiten des Sehraumes, bald dagegen für jede Seite in einem anderen Sinne. Dabei finden die Aenderungen in der Vorstellung jedoch in der Weise statt, dass sie sich immer in gleichmässiger Art wiederholen. Mit einer bestimmten Richtung und Ausdehnung der Bewegung des Auges ist auch immer ein bestimmtes Mass der Aenderung verbunden. Und folglich ist denn ebenfalls bei jeder Stellung des Auges, für jeden Theil des Blickraumes in der Vorstellung eine bestimmte Entfernung, Grösse und Gestalt der Linien, sowie der von ihnen eingeschlossenen Flächen gegeben. Befindet sich z. B. das Auge gerade über dem Schnittpunkte der Hauptbreitenlinie mit der Hauptlängslinie, dann findet in der Vorstellung eine ganz

gleichmässige Abnahme der Grössenabstände zwischen den Linien nach dem Horizonte zu statt. Auch die Gestalt der von den Linien eingeschlossenen Flächen ist rechts ganz dieselbe wie links. Und beim Vorrücken des Auges, gerade über die Längslinie hin, bleibt im Ganzen die gleiche Vorstellung bestehen; verschieben sich auch dabei beständig Linien, und verschwinden Linien fort und fort ganz aus dem Sehfelde, so treten dafür auch immer wieder andere Linien in die Lage der früheren ein. Geben wir dagegen dem Auge eine Stellung dicht neben einer mit Höhenlinien besetzten Längslinie in der Mitte zwischen zwei Breitenlinien, so bietet sich ihm eine andere Vorstellung dar. Auf der einen Seite zunächst die Reihe eng an einander gedrängter und bald verschmelzender Höhenlinien, auf der anderen Seite eine Reihe von Höhenlinien, in weiteren Abständen von einander, so dass sie erst nahe dem Horizonte mit einander, und mit den letzten Linien der ersteren Reihe verschmelzen. Die von Längs- und Breitenlinien umgrenzten Flächen von verzogener Gestalt mit ungleichmässigen Winkeln. Bewegt sich aber nun das Auge nach einer oder der anderen Seite hin, so fangen die Verschiedenheiten der Grösse und Gestalt der Linien und Flächen wieder an sich auszugleichen. Und das Nämliche findet statt für alle übrigen räumlichen Bewegungen des Auges. Da mit jeder Stellung des Auges sich eben ihr zukommende Vorstellungen von Entfernung, Grösse und Gestalt verbinden, so muss sich im Bewusstsein ein nothwendiger Zusammenhang zwischen gewissen Stellungen des Auges, und gewissen Vorstellungen von den Verhältnissen der Linien festsetzen. Und bestimmte Aenderungen der Vorstellungen werden immer zu bestimmten Aenderungen der Stellung des Auges in Beziehung gebracht.

Kommen beide Augen gleichzeitig zur Verwendung, so wird dadurch unmittelbar eine Vorstellung von der Tiefenerstreckung der Linien gewonnen. Die beiden Blicklinien brauchen nur zu dem Zwecke auf mehre der in verschiedener Entfernung gegebenen Linien eingestellt zu werden. Die Breitenlinien kommen dabei, wie gesagt, nicht in Betracht, schon mehr die Längslinien und in noch höherem Grade die Höhenlinien. Diese geben eben fort und fort Veranlassung zum Auftreten und zur Wiederverschmelzung von Doppelbildern, bald gekreuzten, bald gleichnamigen.

Welche von den Linien als eine Vorstellung ausmachend aufgefasst werden, das hängt mit von der Richtung der Blicklinie ab. Sollen mehrere Linien zusammengefasst werden, dann müssen die Blicklinien nach einander auf dieselben eingestellt werden. Eine Vorstellung von der Ausdehnung der Linien bis zum Horizont kann nicht gewonnen werden, wenn die Blicklinien auf einen näheren Punkt gerichtet sind, sie müssen zu dem Zweck auf die Horizontlinie selbst eingestellt werden.

Die beigefügte photographische Zeichnung ist für ein paar Augen berechnet, die sich gerade über dem Kreuzungspunkt der Hauptlängs- und Hauptbreitenlinie befinden, der Art, dass der Mittelpunkt der Grundlinie senkrecht über diesem Kreuzungspunkte steht. Die Blicklinien sollen bei Betrachtung der Zeichnung im Stereoscop richtig eingestellt werden; dann fallen in der That die gekreuzten Halbbilder der Längs- und Höhenlinien zusammen, und diese werden als gerade in die Tiefe sich erstreckend vorgestellt.

Die Gesichtsanschauung.

Die in Vorstellungen zusammengefassten Gesichtseindrücke werden zum Ganzen einer Anschauung vereinigt.

Die Anschauung überhaupt umfasst das Bewusstsein vom Verhalten der Aussenwelt zum Einzelwesen, und die Gesichtsanschauung vermittelt am vollständigsten das Bewusstsein von einer räumlichen Anordnung gegebener Dinge.

Da die sich darbietenden Gegenstände als in bestimmter Grösse, Entfernung und Gestalt vorgestellt werden, so ist damit ein gewisses räumliches Verhalten derselben zur vorstellenden Person und zu einander gegeben. In diesem Verhältniss werden denn auch die Gegenstände als Raum erfüllendes Ganzes zusammengefasst und im Bewusstsein erhalten. Es geht daraus hervor, dass Grösse, Entfernung und Gestalt eines Gegenstandes in nothwendigem Zusammenhange mit dem Orte stehen, den er im Raume einnimmt. Die Bewegungen der Augen für sich und mit dem Körper bringen zwar fortwährend Aenderungen in den genannten Vorstellungen mit sich, aber auch diese Aenderungen zeigen etwas

Beständiges und wiederholen sich immer wieder in der gleichen Weise. Aendert sich der Ort, den ein Gegenstand im Raume inne hatte, so ändert sich eben in entsprechender Weise die Vorstellung seiner Grösse, Entfernung und Gestalt. Der Zusammenhang dieser Vorstellungsweisen wird dadurch ein so nothwendiger, dass eine Aenderung in der Vorstellung von der Entfernung eines Gegenstandes eine Aenderung der Vorstellung seiner Grösse nach sich zieht und umgekehrt. Und dadurch wird denn auch oft gleichzeitig eine Vorstellungsänderung der Gestalt bewirkt.

Zusammenhang der Vorstellungen von Grösse und Entfernung.

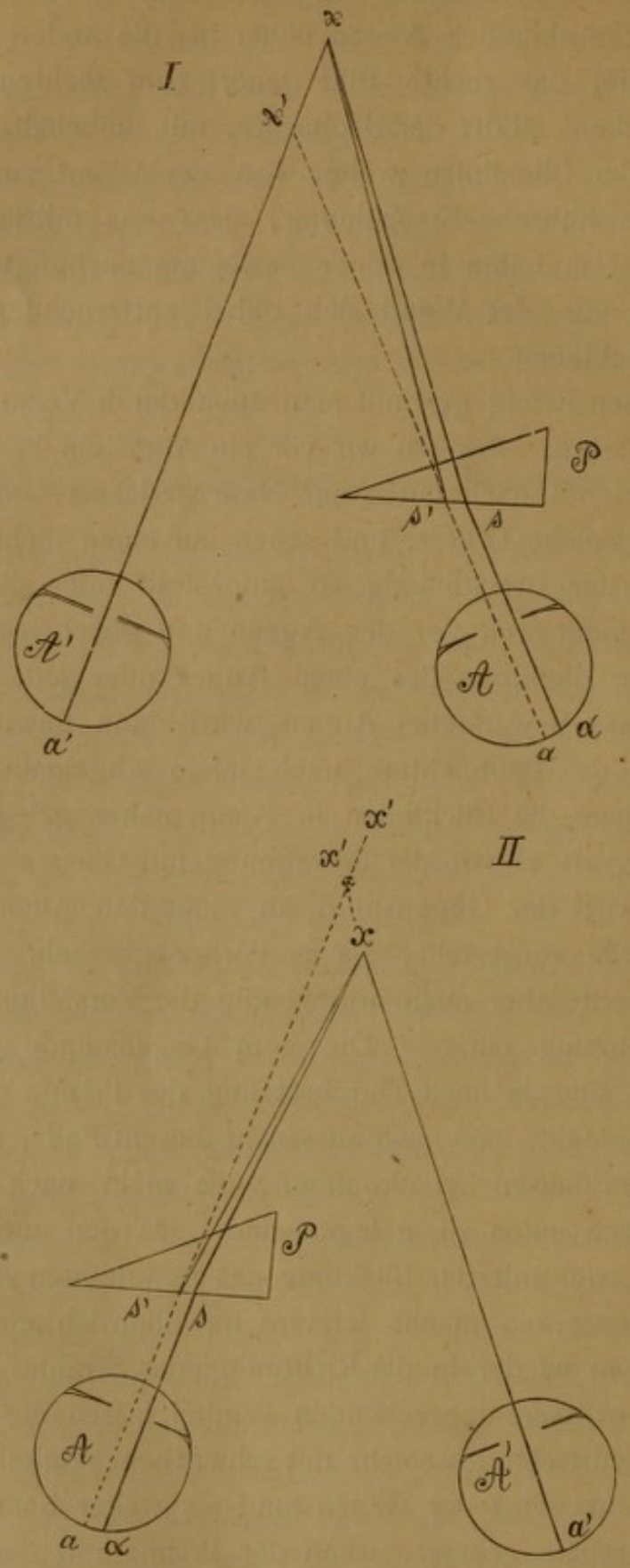
Die Grösse, in der ein Nachbild vorgestellt wird, hängt von der Entfernung ab, in die es versetzt erscheint. Betrachten wir einen farbigen Streifen oder Kreis so lange bis ein genügendes Nachbild desselben entwickelt ist und wenden den Blick ein wenig seitwärts, so erhalten wir auf derselben gleich weiten Grundfläche das Nachbild in gleicher Grösse mit dem Gegenstande. Richten wir aber den Blick über die erste Fläche hinaus auf eine entferntere Fläche, so erscheint das Nachbild auf dieser projicirt und entsprechend der Entfernung vergrössert, während es, auf eine nähere Fläche entworfen, verkleinert hervortritt. Das gleiche Ergebniss stellt sich bei folgendem Versuche ein: bringt man an einer senkrechten Wand in einiger Entfernung von den Augen zwei gleich grosse, deutlich hervortretende Flächen, z. B. Papierblättchen, so an, dass jedes dem Mittelpunkte je eines Auges gerade gegenüber sich befindet, so lassen sich leicht folgende Erscheinungen hervorrufen: Ist die rechte Blicklinie auf das rechte, die linke Blicklinie auf das linke Blättchen gerichtet, so erscheinen drei Blättchen; davon gehört das linke Bild dem rechten Auge, das rechte Bild dem linken zu, während das mittlere durch Verschmelzung eines rechten und eines linken Bildes entstanden ist. Werden darauf die Blicklinien zur Kreuzung gebracht in der Weise, dass die rechte sich auf das linke Blättchen, die linke auf das rechte einstellt, so bieten sich zwar auch drei Bilder dar, aber das mittlere von ihnen ist deutlich den Augen näher gerückt und kleiner als die seitlichen. Das Verschmelzungsbild wird nämlich in diesem

Falle an der Kreuzungsstelle der Blicklinien befindlich aufgefasst und erscheint mithin den Augen näher als die anderen Bilder und kleiner als sie; das rechte Bild gehört zum rechten Auge, das linke zum linken. Tritt der Beobachter mit Beibehaltung derselben Einstellung der Blicklinien weiter von der Wand zurück, so gewahrt er die hübsche Erscheinung, dass das mittlere Blättchen weiter abrückt und ihm in seiner Bewegung nachfolgt, — es folgt ja eben der von der Wand sich dabei entfernenden Kreuzungsstelle der Blicklinien.

Denselben Erfolg gewinnt man auch durch Versuche mit prismatischen Gläsern. Bringen wir vor ein Auge ein Prisma, mit der brechenden Kante nach innen zur Nase gerichtet, oder auch vor beide Augen solche Gläser, und sehen auf einen nicht zu grossen Gegenstand, der zweckmässig so aufgestellt oder gehalten wird, dass er sich nicht weit vor den Augen und gleichweit von beiden befindet. Die Blicklinie des einen Auges oder jedes der beiden mit dem Glase bewaffneten Augen wird dann unwillkürlich und ohne Wissen des Beobachters nach innen abgelenkt. In Folge dessen kommen die Blicklinien in einem näher gelegenen Punkte zur Kreuzung, als es vor der Bewaffnung mit Gläsern der Fall war und mithin wird der Gegenstand an einer den Augen näher befindlichen Stelle vorgestellt, als es vorher geschah. Mit letzterer Erscheinung tritt aber auch nothwendig die Vorstellung geringerer Grössenausdehnung ein. — Die vom Gegenstande ausgehenden Lichtstrahlen sind ja nach Durchsetzung des Prisma gegen dessen Basis hin abgelenkt, also nach aussen in diesem Falle, und scheinen desshalb von Punkten herzukommen, die mehr nach der anderen Seite, also nach innen zu, gelegen sind. Da nun auch der Strahl abgelenkt ist, der mit der Blicklinie des bewaffneten Auges zusammenfallen müsste, so macht letztere unwillkürlich eine Bewegung nach innen, um wieder in die Richtung jenes Strahles zu gelangen. Prismen mit grösserem brechenden Winkel lassen die Erscheinung auffälliger hervortreten als solche mit schwachem Winkel (s. Fig. 31 I).

Umgekehrt wird der Gegenstand als weiter befindlich vorgestellt und desshalb grösser, wenn das Prisma mit der brechenden Kante nach aussen gerichtet, vor das Auge gebracht wird (s. Fig. 31 II).

Fig. 31.



In Fig. 31 I und II bedeuten A und A′ die beiden Augen, xa′ die Blicklinie des unbewaffneten Auges und zugleich den

Axenstrahl des Lichtbündels, das vom Punkte x des Gegenstandes in dieses Auge fällt; $x\beta$ ist der Axenstrahl, der von x aus in das andere Auge zum gelben Flecke dringen sollte, aber durch das Prisma P nach α hin abgelenkt wird. Die Blicklinie dieses bewaffneten Auges stellt sich desshalb in die Lage $a\beta'x'$, wo sie mit dem von x auf β' gerichteten Strahle, der aber zum gelben Fleck in a hin abgelenkt wird, zusammenfällt. Der Punkt x wird folglich als in x' befindlich vorgestellt; und das Gleiche gilt für alle übrigen durch das Prisma gesehenen Punkte des Gegenstandes.

Die angeführten Versuche beweisen, dass die Vorstellung von der Grösse eines Gegenstandes in bestimmter Abhängigkeit von der Vorstellung seiner Entfernung im Sehraume steht. Aber auch die umgekehrte Beziehung ist vorhanden und lässt sich leicht erweisen; es genügt dazu ein einfaches Fernrohr, ein Opernglas. Sieht man durch dasselbe auf die gewöhnliche Weise, so erscheinen die betrachteten Gegenstände vergrössert und damit auch den Augen näher gerückt. Kehrt man dagegen das Fernrohr um, so erscheinen die gesehenen Gegenstände verkleinert und desshalb verhältnissmässig ferner gelegen. Auf gleiche Weise wirken convexe und concave Brillengläser, wenn sie die Bilder der durch sie betrachteten Gegenstände auf der Netzhaut in merklichem Grade verändern. Convexe Gläser lassen die Gegenstände, wenn grösser so auch näher, concave Gläser, wenn kleiner so auch entfernter, erscheinen.

Grösse und Gestalt.

Mit einer Aenderung der Vorstellung von der Grösse eines Gegenstandes verbindet sich denn auch oft eine Aenderung der Vorstellung von seiner Gestalt. Entspricht die Ausdehnung und die Richtung der Begrenzungslinien einer Fläche nach der scheinbaren Vergrösserung nicht mehr der Ausdehnung und Richtung, wie sie vordem bestand, so muss eine Aenderung in der Vorstellung von der Gestalt der Fläche eintreten. Und das Gleiche kann geschehen in Folge einer scheinbaren Verkleinerung. Betrachten wir z. B. durch ein Opernglas von oben herab eine in geringer Entfernung befindliche, quadratische Fläche (eine so geformte Tischplatte oder ein so zugeschnittenes Blatt Papier auf dem Fussboden), so erscheint

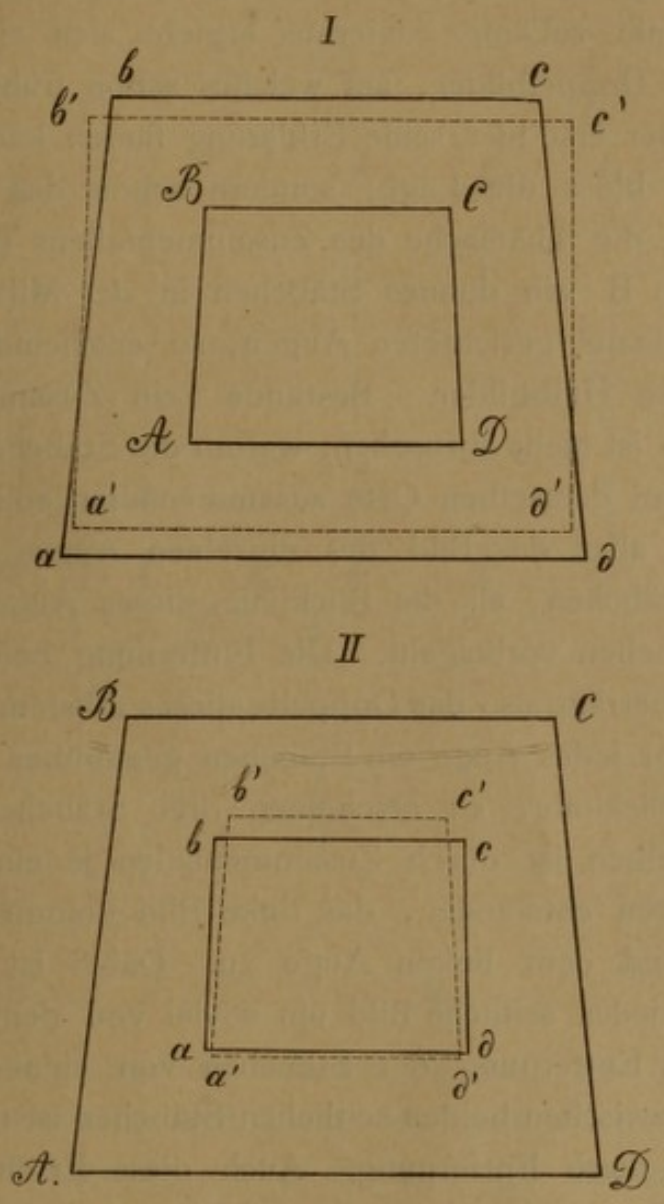
sie vergrössert, zugleich aber auch breiter und kürzer als vorher. Durch das Fernrohr wird jedoch nur die Grösse des Netzhautbildes vom Gegenstande, nicht seine Form geändert. Befände sich an Stelle der scheinbar vergrösserten eine wirklich grössere Fläche von gleicher Form wie die gegebene, so müsste sie eine der scheinbaren gerade entgegengesetzte Formveränderung zeigen. Die seitlichen Begrenzungslinien der wirklich grösseren Fläche müssten vorn weiter von einander abstehen und nach hinten zu stärker gegen einander geneigt sein, als es bei der bloss grösser vorgestellten Fläche der Fall ist. Mithin würde die vordere Begrenzungslinie der wirklich grösseren Fläche auch grösser sein und ihre hintere Begrenzungslinie kleiner sein, als sie in der vergrössert vorgestellten Fläche erscheinen. Und folglich würde der Tiefenabstand dieser beiden Begrenzungslinien auch bedeutender sein als es in der durch das Fernrohr vergrösserten Fläche der Fall ist (s. Fig. 32 I). — Wird die Fläche hingegen durch das umgekehrte Fernrohr betrachtet und dadurch verkleinert, so scheint sie zugleich länger und schmäler zu werden. Denn eine wirklich kleinere Fläche an derselben Stelle müsste von Seitenlinien begrenzt sein, die weniger stark nach hinten convergiren; der Grössenunterschied zwischen der vorderen und hinteren Grenzlinie wäre geringer und folglich würde auch der Tiefenabstand zwischen beiden letzteren Linien als geringer vorgestellt werden (Fig. 32 II).

In Fig. 32 I stellt ABCD Grösse und Gestalt einer quadratischen Fläche dar, wie sie den Augen in einer gewissen Entfernung sich darstellt; abcd soll Grösse und Gestalt angeben, die eine lineär doppelt so grosse quadratische Fläche an derselben Stelle haben würde, die gestrichelten Linien a′b′c′d′ dagegen die vorgestellte Grösse und Gestalt bei Betrachtung der gegebenen Fläche durch ein dieselbe lineär doppelt vergrösserndes Fernrohr — immer mit Beibehaltung derselben Stellung des Auges.

Fig. 32 II zeigt den umgekehrten Fall: ABCD stellt eine Fläche dar, die bei Betrachtung durch das umgekehrte Fernrohr ungefähr in Grösse und Gestalt von a′b′c′d′ erscheint, während eine wirklich an derselben Stelle befindliche, um die Hälfte lineär kleinere Fläche sich der Vorstellung kürzer und breiter, wie mit abcd angedeutet, darbieten müsste.

Desshalb erscheinen auch in einer photographischen Aufnahme bei den von einem Punkte aus aufgenommenen, in ihrem Tiefenabstande dargestellten Gegenständen die Verhältnisse der Grösse, Entfernung und Gestalt nicht in der Weise, wie sie mit dem blossen Auge angeschaut werden. Und das um so weniger, je

Fig. 32.



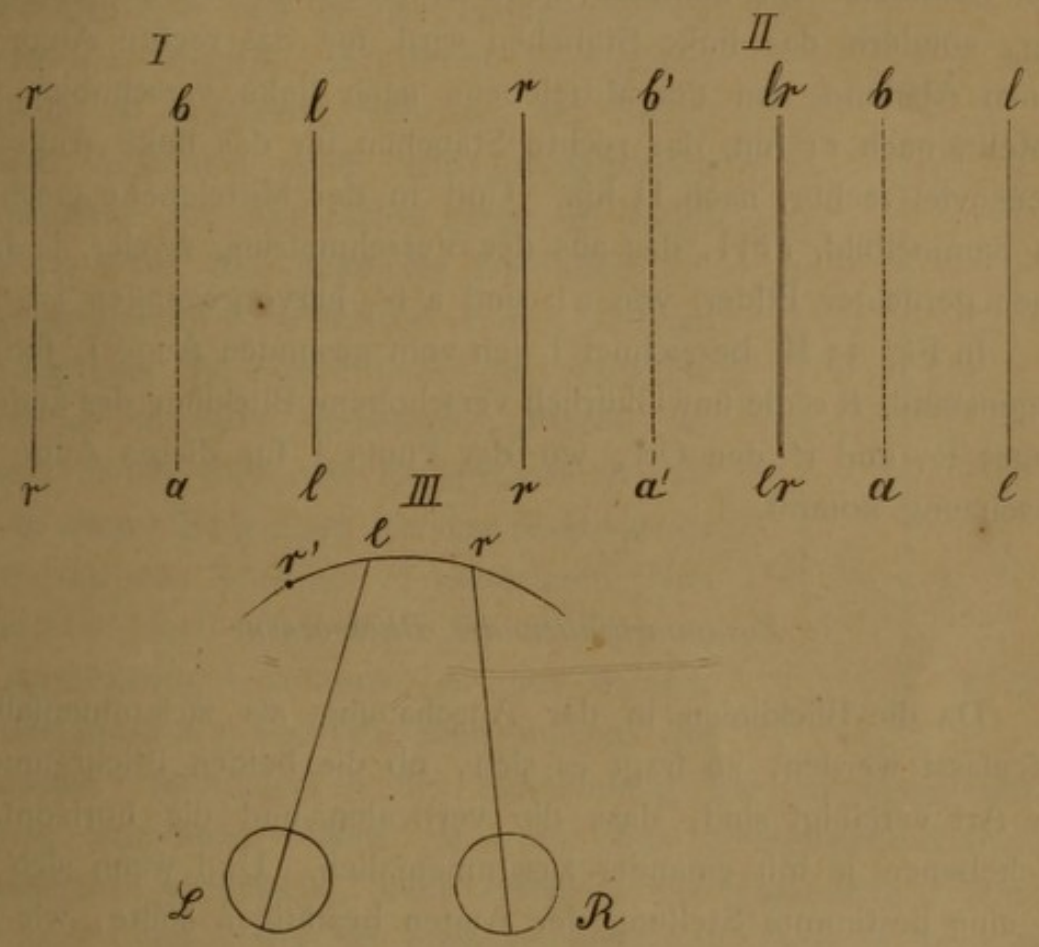
näher den Augen die nächsten Gegenstände und je weiter von ihnen die entfernteren sich befinden. Die Abnahme der Grösse mit der Entfernung ist in dem photographischen Bilde zu bedeutend; denn sie erfolgt ja lediglich gemäss der Abnahme des Sehwinkels. Durch die Vorstellung der Grösse werden aber auch die der Entfernung und Gestalt beeinflusst.

Zusammenfallen beider Blicklinien.

In Bezug auf die Anschauung bei Verwendung beider Augen ist noch Folgendes zu merken. Da bei jeder Stellung der Blicklinien die beiden Blickpunkte zusammenfallen, so decken sich in der Anschauung die Blickfelder der Art, als ob ihnen nur eine einzige Blicklinie zukäme. Hieraus ergiebt sich ein Gesetz über die Lage der Doppelbilder, auf welches schon früher hingedeutet wurde, das aber erst hier seine Erklärung finden kann. Uebrigens beweist nicht bloss die Lage, sondern schon das Auftreten von Doppelbildern die Thatsache des Zusammenfallens der Blicklinien. Halten wir z. B. ein dünnes Stäbchen in der Mittelebene, nahe vor den geradeaus gerichteten Augen, so erscheinen gleich zwei, d. i. gekreuzte Halbbilder. Bestände kein Zusammenfallen der Blicklinien, so ist nicht abzusehen, warum die Stäbchenbilder beider Augen nicht an demselben Orte zusammenfallen sollten. In Wirklichkeit steht aber das Bild des einzelnen Auges so weit nach innen vom Stäbchen, als die Blicklinie dieses Auges nach aussen von dem Stäbchen vorbeigeht. Die Entfernung beider Halbbilder von einander beträgt also das Doppelte dieses Abstandes s. Fig. 33 I. Halten wir vor jedes Auge ein Stäbchen gegenüber der geradeaus gerichteten Blicklinie, so erscheinen drei Stäbchenbilder. Das mittlere derselben ist durch Zusammenfallen je eines Bildes der einzelnen Augen entstanden, das linke Bild kommt dem rechten, das rechte Bild dem linken Auge zu. Dabei ist aber wohl zu merken, dass jedes seitliche Bild um soviel von dem mittleren absteht, als die Entfernung der Stäbchen von einander ausmacht; der Abstand zwischen beiden seitlichen Stäbchen ist folglich doppelt so gross als diese Entfernung. Auch diese Erscheinung erklärt sich einfach daraus, dass in der Anschauung beide Blicklinien, von den Augen ab bis zum Horizont, zusammenfallen. Desshalb eben verschmelzen die den gelben Fleck deckenden Bilder beider Augen zu einem in der Mittelebene gelegenen Sammelbilde; das dem rechten Auge gegenüber liegende Stäbchen wird für das linke Auge nach rechts verschoben, das dem linken Auge gegenüber befindliche für das rechte Auge nach links. Dabei bleibt jedoch die Vor-

stellung des Abstandes der beiden Stäbchen von einander bestehen, so dass das linke Stäbchen um diesen ganzen Abstand, vom mittleren Bilde nach links, das rechte Stäbchen, um eben so viel von da, nach rechts hin versetzt erscheint (s. Fig. 33 II). Aus diesem Verhalten erklärt sich auch das Auftreten der Doppelbilder, bei Lähmungen von Augenmuskeln und bei unwillkürlichen Drehungen eines Auges z. B. durch Fingerdruck. In beiden Fällen besteht,

Fig. 33.



trotz der Abweichung, die Anschauung fort, als ob beide Blicklinien zusammenfielen und beide Blickpunkte sich in dem, das Doppelbild bedingenden, von einem Auge fixirten Gegenstande decken. So weit nun die abgelenkte Blicklinie nach der einen Seite von dem Gegenstande abgewichen ist, um so viel muss das Bild des Gegenstandes nach der anderen Seite hin verschoben erscheinen (s. Fig. 33 III).

In Fig. 33 sind die Verhältnisse der Doppelbilder graphisch veranschaulicht.

In Fig. 33 I bedeutet die gestrichelte Linie in der Mitte, a b

das in der Mittelebene befindliche Stäbchen bei geradeaus gerichteten Blicklinien. Es kommt nicht an seinem wirklichen Orte zur Vorstellung, sondern verschoben, für das rechte Auge links hin, nach r r, für das linke Auge nach rechts hin, nach l l. Der Abstand der Halbbilder von einander wird doppelt so gross vorgestellt, als der Abstand der einzelnen Blicklinie vom Stäbchen.

In Fig. 33 II bezeichnen die gestrichelten Linien a b und a′ b′ zwei Stäbchen, die sich den geradeaus gerichteten Blicklinien gegenüber befinden. Sie kommen nicht an diesen Stellen zur Anschauung, sondern das linke Stäbchen wird für das rechte Auge um seinen Abstand von der Mittelebene nach links verschoben vorgestellt, nach r r hin, das rechte Stäbchen für das linke Auge um ebensoviel rechts, nach l l hin. Und in der Mittelebene erscheint ein Sammelbild, r r l l, das aus der Verschmelzung zweier, je nach innen gerückter Bilder, von a b und a′ b′, hervorgegangen ist.

In Fig. 33 III bezeichnet l den vom gesunden Auge L fixirten Gegenstand, R r die unwillkürlich verschobene Blicklinie des anderen Auges R, und r′ den Ort, wo der Punkt l für dieses Auge zur Anschaung kommt.

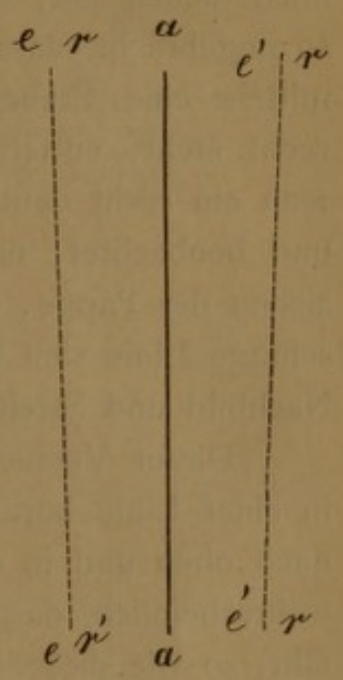
Zusammenfallen der Blickebenen.

Da die Blicklinien in der Anschauung als zusammenfallend aufgefasst werden, so fragt es sich, ob die beiden Blickräume in der Art vereinigt sind, dass die verticalen und die horizontalen Blickebenen je mit einander zusammenfallen. Und wenn sich das für eine bestimmte Stellung der Augen bestätigen sollte, wie verhält sich's dann bei den anderen Stellungen, wo Drehungen der Blickebenen eintreten? Um hierauf antworten zu können, greifen wir auf einen früher angeführten Versuch zurück: es wurde hervorgehoben, wie eine senkrechte, in die Mittelebene gebrachte Linie bei Betrachtung mit beiden in der Anfangsstellung befindlichen Augen in gekreuztem Doppelbilde erscheint, mit nach oben divergirenden Halbbildern. Die schräge Richtung letzterer ist der Art, als ob sie am Fussboden mit einander zusammentreffen. Diese Erscheinung beweist, dass die verticalen Blickebenen sich nicht in einer senkrechten Linie berühren, denn dann müssten füglich die

Halbbilder einander und der Linie selbst parallel sein. Ihre Divergenz ist nur erklärlich bei der Annahme, dass die verticalen Blickebenen nach oben zu divergiren, wenn die Augen sich in der Anfangsstellung sich befinden. Werden die verticalen Blickebenen in dieser Lage als zusammenfallend aufgefasst, dann freilich muss das gekreuzte Doppelbild der Linie nach oben zu auseinanderweichend erscheinen, während es nach unten zu verschmilzt (s. Fig. 34).

In Fig. 34 bedeutet a a die senkrechte Linie in 2—3 Fuss Entfernung von den in der Anfangsstellung befindlichen Augen, in deren Mittelebene gelegen; sie erscheint nicht an der Stelle, sondern in einem nach oben divergirenden Doppelbilde: für das rechte Auge im Halbbilde r′r′, für das linke im Halbbilde l′l′. Beide letzteren gestrichelten Linien können aber zugleich die Schnittlinien der verticalen Blickebene mit der senkrechten Fläche bedeuten, in der die Linie a a gelegen ist; sie sind in dieser Bedeutung für das rechte Auge mit r r, für das linke mit l l bezeichnet. Nun ist so viel klar: fallen diese Schnittlinien in der Anschauung zusammen, so dass sie sich mit der Linie a a decken, dann müssen die gekreuzten Halbbilder in der Anschauung die entgegengesetzte Neigung annehmen. Wird die nach oben divergirende Linie r r als senkrecht vorgestellt, dann erscheint das Halbbild r′r′ seinerseits nach oben-aussen hin auszuweichen, und eben so ist es mit den Linien l l und l′l′.

Fig. 34.



Frägt es sich nun, wo die Berührungslinie der verticalen Blickebenen in der Anschauung hin versetzt ist, so müssen wir genau bestimmen, wo die gekreuzten Halbbilder sich berühren. Zu dem Zweck wird es genügen, den eben besprochenen Versuch nur ein wenig zu vervollständigen. Bei geradeaus gerichteten Augen lassen sich die unteren Abschnitte der Linien nicht übersehen. Ziehen wir aber noch eine Linie von dem Punkte, wo die Linie den Boden berührt, schräg hinauf bis zu dem Punkte, wo die eine

Blicklinie die senkrechte Ebene trifft, so kann diese als Mass dienen. Fällt das gekreuzte Halbbild in seiner Richtung mit dieser Linie zusammen, dann müssen beide Halbbilder gerade in der Bodenfläche verschmelzen. Um darüber zu entscheiden, können wir folgendermassen verfahren: statt der senkrechten Linie setzen wir einen rothen Streifen Papier auf einem länglichen Stück fester Pappe, das vom Fixationspunkte ein paar Fuss herabreicht und unten, in seiner Mitte, um einen Stift drehbar ist. Die Pappe deckt einen Bogen Papier, auf welchem die schräge Linie, die als Mass dienen soll, deutlich aufgezeichnet ist; die Pappe wird aber so angebracht, dass sie mit Leichtigkeit durch einen Gehülfen oder mittelst eines Stäbchens aus der Lage, wo der rothe Streifen senkrecht steht, entfernt werden kann. Zur Beobachtung entwickelt man ein recht deutliches gekreuztes Doppelbild des rothen Streifens und beobachtet, nach Schluss eines Auges und raschem Hinwegziehen der Pappe, die Richtung des Nachbildes der Seite, wo die schräge Linie sich befindet. Es zeigt sich dann in der That, dass Nachbild und Streifen in ihrer Richtung zusammenfallen.

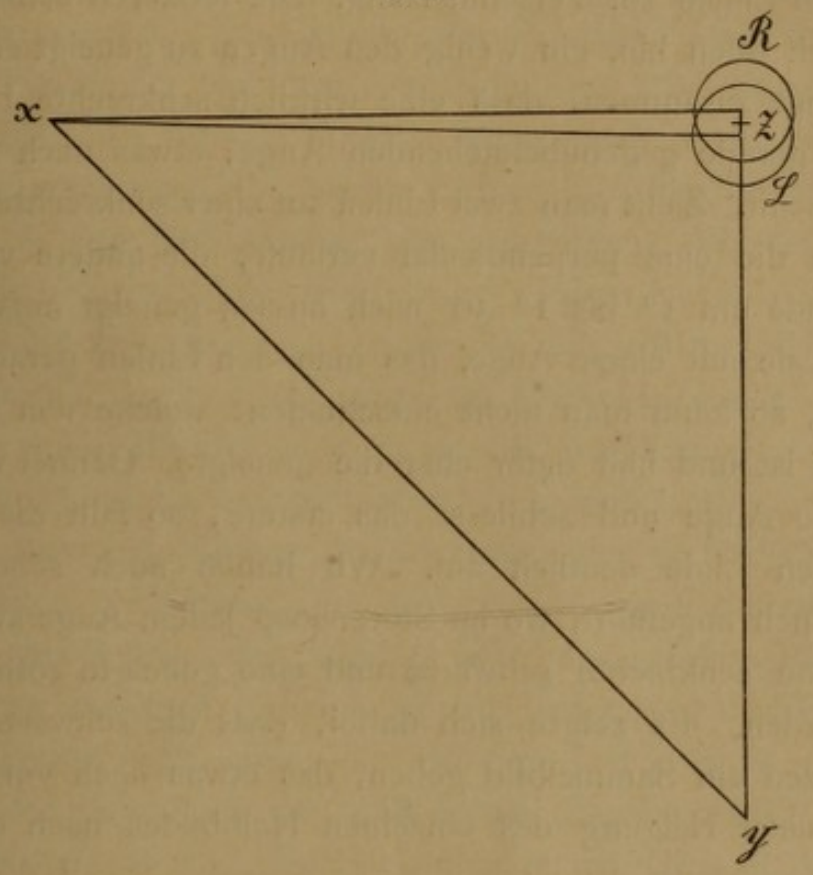
Dieser Versuch erweist, dass die verticalen Blickebenen sich in einer Linie berühren müssen, die von der Bodenfläche schräg nach oben und in die Tiefe aufsteigt. Und damit wird es höchst wahrscheinlich, dass diese Berührungslinie in die Bodenfläche selbst fällt, so wie diese sich der Wahrnehmung darbietet. Die ebene Oberfläche der Erde stellt sich den Augen, wie angeführt, dar als Fläche, die von den Füssen bis zur Horizontlinie aufsteigt und die ganze untere Hälfte des Sehfeldes einnimmt. In der Anfangsstellung der Augen schneidet die Mittelebene diese Fläche in einer geraden Linie, die von dem Punkte, wo beide Blicklinien zusammenzutreffen scheinen, gerade herab steigt zu dem Punkte, der senkrecht unter dem Mittelpunkte der Grundlinie liegt. Diese Linie nun fällt mit der Berührungslinie der verticalen Blickebenen zusammen (s. Fig. 35).

In Fig. 35 bedeuten R und L die beiden Augen, etwas schräg von oben herab angesehen; R x die rechte, L x die linke Blicklinie; x y bedeutet die Schnittlinie der senkrechten Mittelebene mit der ebenen Bodenfläche, welche von y, das senkrecht unter dem Mittelpunkte der Grundlinie z liegt, gerade nach x, dass in der Horizont-

linie gelegen ist, hinaufsteigt; R x y und L x y bezeichnen zugleich die beiden verticalen Blickebenen, die in der Linie x y zusammenstossen.

Diese Auffassung zeigt sich auch als übereinstimmend mit den übrigen Erscheinungen. Ziehen wir nämlich eine Linie, oder spannen wir einen Faden von dem Punkte der Bodenfläche, der senkrecht unter dem Mittelpunkte der Grundlinie liegt, unter 45° aufsteigend bis zur Horizontlinie, und betrachten ihn mit parallel

Fig. 35.



gerichteten Blicklinien. Die dann auftretenden gekreuzten Halbbilder sind einander gleichlaufend. Eine Linie dagegen, die mit der Schnittlinie der Mittelebene und Bodenfläche zusammenfällt, also in letzterer selbst gelegen ist, erscheint bei Betrachtung mit gleichgerichteten Blicklinien in gekreuzten Halbbildern, die gegen die Augen zu divergiren, von ihnen ab convergiren. Und ebenso erscheint jede andere gerade Linie, die in der Richtung der Mittelebene der Oberfläche parallel läuft.

Der Winkel, unter welchen die verticalen Blickebenen zusammenstossen, unterliegt natürlich individuellen Unterschieden; denn

er ist abhängig von der Länge der Grundlinie und der Höhe derselben über der Bodenfläche. Je bedeutender jene, und je geringer diese, desto grösser muss der Winkel ausfallen und umgekehrt; bei einer Grundlinie von 60 mm Länge und einer Höhe derselben von 5′ über der Bodenfläche, beträgt derselbe 2° 17′ 29,40″; die einzelne Blickebene scheint dann nur 1° 8′ 44,75″ von der senkrechten abzuweichen *). Beim Uebergange der Blicklinien von ferneren auf näher gelegene Punkte des Blickraumes kommen somit immer wieder ein wenig nach oben divergirende Doppelbilder von senkrechten Linien zur Verschmelzung. Die letzteren selbst müssen daher, nach oben hin, ein wenig den Augen zu geneigt erscheinen. Damit hängt zusammen, dass eine wirklich senkrechte Linie dem einzelnen, gerade gegenüberstehenden Auge, etwas nach innen geneigt erscheint. Zieht man zwei Linien auf einer senkrechten Fläche, von denen die eine perpendicular verläuft, die andere von ihrem unteren Ende um 1° bis 1° 30′ nach aussen geneigt aufsteigt und betrachtet sie mit einem Auge, das man den Linien gerade gegenüber stellt, so kann man nicht entscheiden, welche von ihnen die senkrechte ist und hält dafür eher die geneigte. Oeffnet man dann das andere Auge und schliesst das erstere, so fällt die Neigung der schiefen Linie deutlich auf. Wir haben auch schon früher einen Versuch angeführt, wo im Stereoscop jedem Auge zwei solche Linien, eine senkrechte schwarze und eine geneigte rothe, dargeboten wurden. Es zeigte sich dabei, dass die schwarzen Linien verschmolzen ein Sammelbild geben, das etwas nach vorn geneigt ist, was einer Neigung des einzelnen Halbbildes nach innenoben entspricht.

Dass die Berührungslinie der verticalen Blickebenen die angegebene Lage hat, das ist offenbare Folge der Erfahrung. Die häufigste gemeinsame Bewegung beider Blicklinien ist die, von der Bodenfläche vor den Füssen zum Horizont und wieder zurück, entlang der Mittellinie oder anderer, ihr mehr oder weniger gleichlaufender Linien. Dabei werden die Blicklinien beständig als zu-

*) Dieser Winkel ist von verschiedenen Beobachtern sehr verschieden angegeben worden, selbst bis zu 5° und 6°; ob ausser den genannten individuellen Eigenthümlichkeiten auch die Beobachtungsweise dabei von Einfluss war, muss zunächst unentschieden bleiben.

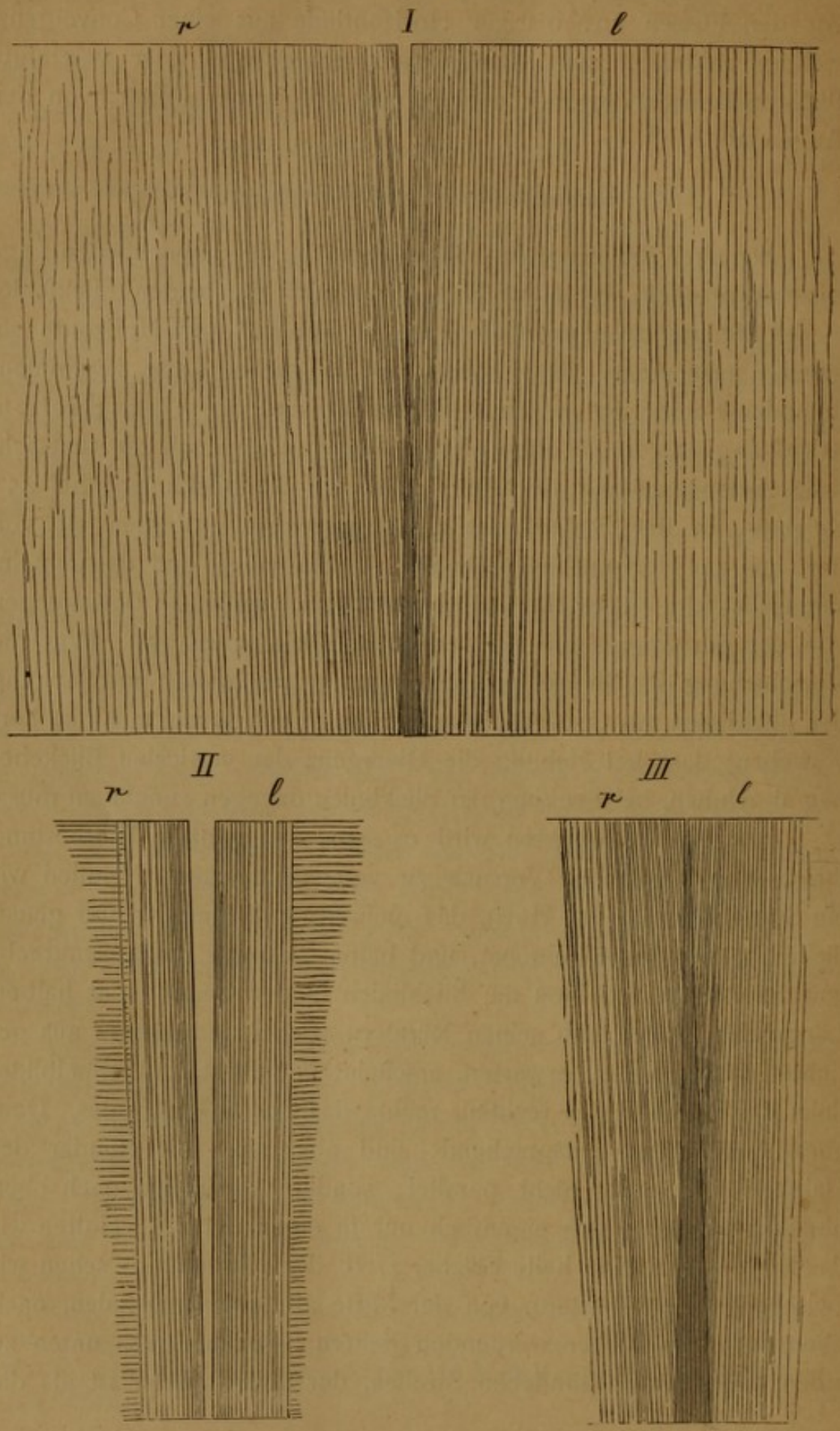
sammenfallend aufgefasst, während sie doch von der Bodenfläche vor den Füssen an, bis zur Horizontlinie aus einer Convergenzstellung allmälig zum Parallelismus übergehen. Der vereinigte Blickpunkt rückt zugleich auch hinauf und immer weiter, von den Augen ab.

Zusammenfallen der Blickfelder.

Da aber die verticalen Blickebenen in der angegebenen Lage zusammentreffen, so ist es klar, dass auch die beiden Blickfelder in der Stellung zusammenfallen, wo sie um 45° zum Horizonte hin geneigt erscheinen. Das heisst, die in dieser Lage zusammenfallenden Punkte der einzelnen Blickfelder sind die eigentlichen, ursprünglichen Deckpunkte. Somit wäre auch die thatsächliche Anfangsstellung der Augen die, wo die Blicklinien, bei 45° Neigung, in der Bodenfläche zusammentreffen. Werden sie von dort aus zur Horizontlinie gehoben, so bleiben sie auf das gemeinsame Blickfeld eingestellt und ebenso bei den seitlichen Bewegungen von der Berührungslinie der verticalen Blickebenen aus. Was die Verschiebung der Blickfelder über einander, bei Hebung und Senkung der Blicklinien mit Convergenz anbetrifft, so wollen wir nur kurz hervorheben, dass bei Hebung die Divergenz der verticalen Blickebenen abnehmen, bei Senkung der Blicklinien dagegen zunehmen muss.

Am zweckmässigsten wird es sein, den ganzen Thatbestand durch einen einfachen Versuch zu veranschaulichen: Nehmen wir ein Stück Pappe (oder Holz), das mehrere Zoll lang ist und genau die Breite der Grundlinie hat, und halten dasselbe dicht, senkrecht vor die Augen, so dass die Blicklinien in der Gegend der halben Länge des Blattes, an seinen Rändern vorbei und gerade aus gerichtet sind. Wie zu erwarten, erscheint das Blatt im Doppelbilde, links das Halbbild des rechten, rechts das des linken Auges. Dem eben Angeführten entsprechend, sind aber auch die Ränder der Halbbilder einander nicht parallel, sondern divergiren nach oben hin und berühren sich eigentlich nur in einem Punkte. Halten wir das Blatt gegen eine helle Fläche, z. B. den Himmel, so sehen wir zwischen beiden Blättern, von der Mitte an, einen schmalen, nach oben zu etwas breiter werdenden lichten Streifen, nach unten zu einen umgekehrten ähnlichen Streifen, der aber dunkler ist als die

Fig. 36.



Halbbilder. Die Halbbilder divergiren also nach oben zu und sind nach unten hin etwas über einander geschoben (Fig. 36 I).

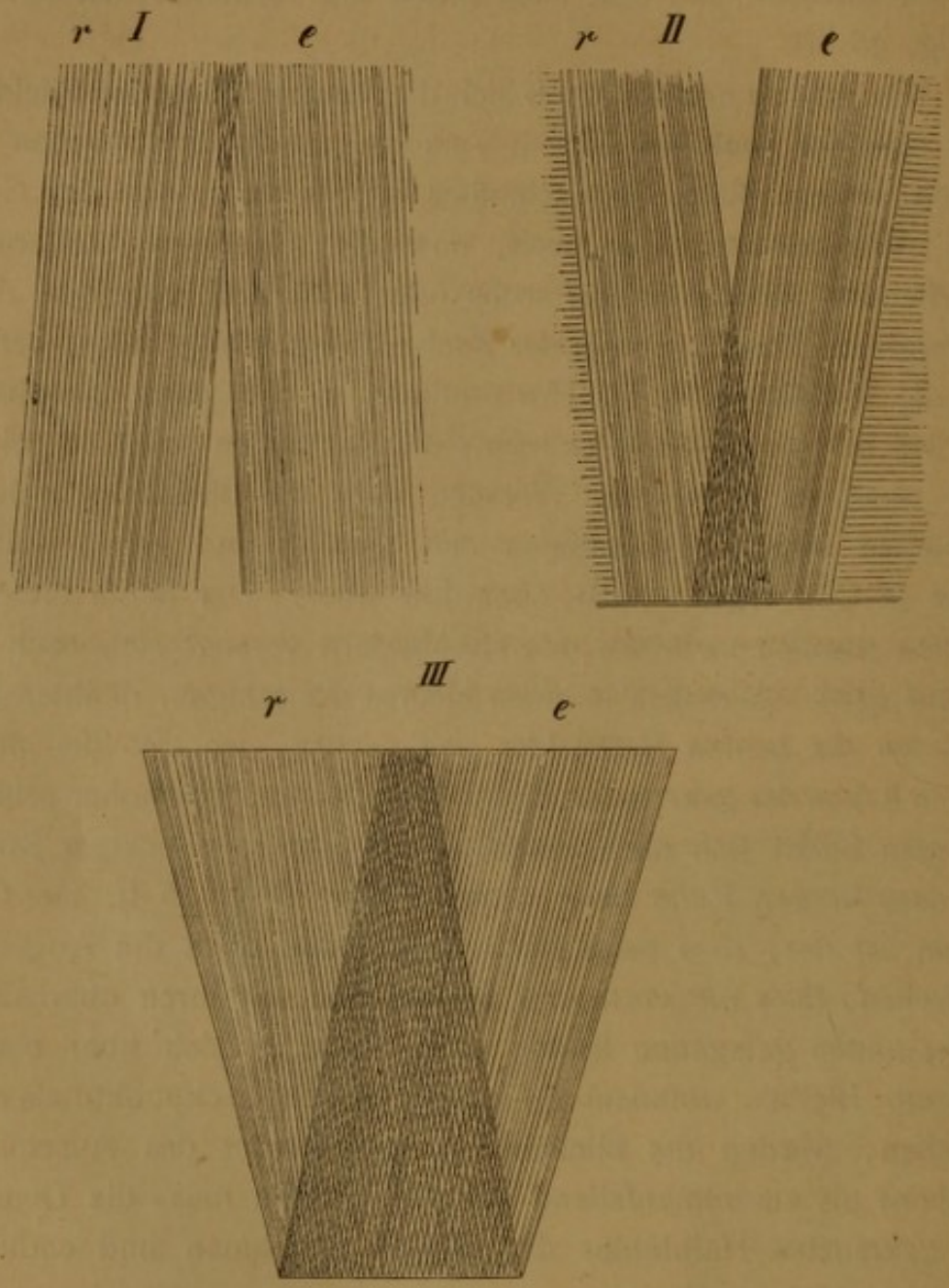
Durch Hebung der geradeaus gerichteten Blicklinien scheint der lichte Streifen nach oben zu etwas breiter zu werden, wie es Fig. 36 II darstellt, während bei Senkung derselben der dunkle Streifen zunimmt und sich nach unten hin verbreitert darstellt, wie in Fig. 36 III.

Um nun zu ermitteln, ob sich die Verschiebung der Blickfelder über einander auch bei diesem Versuche anschaulich machen lässt, wählen wir ein Blatt, das schmäler ist als die Länge der Grundlinie. Wir nehmen es so breit, dass die an seinen Rändern vorbeigehenden Blicklinien auf sechs oder acht Zoll von den Augen convergiren. Das Ergebniss der Beobachtung ist folgendes; befinden sich die Blicklinien in der Horizontlinie, so tritt ganz dasselbe Bild ein, wie bei parallelen Blicklinien; die Randlinien scheinen gekreuzt nach oben zu divergiren. Werden aber die Blicklinien gehoben, so stellen sich die Randlinien erst parallel und gehen weiterhin selbst in Convergenz nach oben hin über. Der lichte dreieckige Streifen nämlich zwischen den Halbbildern verengt sich nach oben zu und geht schliesslich in einen kleinen dreieckigen, dunklen Raum über, wo die beiden Halbbilder sich decken, wo also die inneren-oberen Ecken der gekreuzten Bilder über einander geschoben scheinen. Dagegen bildet sich nach unten zu ein lichter dreieckiger Streifen, mit dem breiten Ende nach unten gekehrt (Fig. 36 I). Der Grund hievon ist der, dass beim Blick nach innen-oben die Augen sich so drehen, dass die verticalen Blickebenen mit ihren oberhalb des Blickpunktes gelegenen Enden nach innen zu sich über einander kreuzen. Bleiben trotzdem die ursprünglichen Deckpunkte als solche bestehen, werden die Blickebenen ohngeachtet des Auseinanderweichens als zusammenfallend aufgefasst, dann muss die Divergenz der gekreuzten Halbbilder des Blattes abnehmen und endlich in Convergenz übergehen.

Ganz diesem Gesetze entsprechend verhält sich die Sache umgekehrt bei Senkung der Blicklinien mit Convergenz. Halten wir dasselbe Blättchen tiefer, so z. B., dass sein oberer Rand die Nasenspitze berührt, so wird die Divergenz der Randlinien des Blattes viel bedeutender nach oben zu, während sie nach unten zu

stark über einander gekreuzt erscheinen (Fig. 37 II); und senkt man das Blatt noch tiefer, so zeigt sich auch ein noch auffälligeres Uebereinanderschieben der Halbbilder, nach unten hin zunehmend, wie es in Fig. 37 III dargestellt ist.

Fig. 37.



Da nämlich die verticalen, Blickebenen bei stärkerer Convergenz und Senkung der Blicklinien, sich nach unten zu über einander kreuzen und dennoch fortgehend als zusammenfallend aufgefasst werden, so muss die Convergenz der gekreuzten Halbbilder nach unten zu noch vermehrt erscheinen. Damit hängt wohl auch die

auffällige Verschmälerung des Halbbildes nach unten zu in Verbindung.

Wird schliesslich das Blatt aus der senkrechten Stellung mit seinem oberen Rande um 45° geneigt und somit in die Lage gebracht, die wir als die ursprüngliche des gemeinsamen Blickfeldes bezeichneten, so stellen sich in der That die Ränder der gekreuzten Halbbilder des Blattes einander parallel und berühren sich gleichmässig.

Der Sicherheit halber können wir übrigens noch Controlversuche anstellen mit einem Blatte, das breiter ist und einen Ausschnitt gerade von der Breite des vordem gebrauchten Blattes hat. Nehmen wir ein solches in der Art vor die Augen, dass die Blicklinien gerade an den Rändern des Ausschnittes vorbeigehen, so lassen sich Erscheinungen hervorrufen, die das Angeführte bestätigen, obgleich oder weil sie in gewisser Beziehung gerade das Umgekehrte von dem, im eben beschriebenen Versuche beobachteten zeigen. Man sieht dann nämlich die Ränder des Ausschnittes nach oben zu übereinander gekreuzt, so dass nach oben ein schmaler, dreieckiger, dunklerer, nach unten hin ein solcher lichter Streifen erscheint. Bei Hebung der Blicklinien wird ersterer etwas breiter, bei Senkung derselben letzterer. Neigung des Blattes um 45° bringt die Ränder in Parallelstellung.

Verhalten der horizontalen Blickebenen.

Ob und wie weit die Verschiebung der horizontalen Blickebenen von Bedeutung ist, wollen wir hier nicht genauer untersuchen; jedenfalls kann der Einfluss derselben auf das räumliche Sehen nicht sehr gross sein. Dass die Richtung horizontaler Linien in Abhängigkeit von der Richtung verticaler Linien, mit denen sie verbunden sind, stehen kann, das scheint folgende Beobachtung zu beweisen. Convergirt man stark für die Nähe und beobachtet dabei auf grösserem Abstande befindliche, senkrechte und wagerechte, sich kreuzende Linien, so zeigt sich Folgendes: die senkrechten Linien convergiren nach oben zu, die wagerechten erscheinen aber auffälliger Weise auch verändert, sie sind jederseits mit ihren äusseren Enden etwas gehoben, so dass sie in der Mitte des Blickfeldes

unter stumpfen Winkeln zusammentreffen. Am deutlichsten tritt das hervor, wenn man die innere Hälfte jedes Sehfeldes durch ein Blatt, von 40 mm Breite ohngefähr, verdeckt und an dessen Rändern vorbei einen schmalen Gegenstand fixirt, indem man zugleich auf die fernen Linien achtet. Letztere können auf einen grossen Bogen Papier gezeichnet und damit an der gegenüberliegenden Wand angebracht werden. Die in gleichnamigen Doppelbildern auftauchenden senkrechten Linien convergiren, wie nachgewiesen, in Folge von Divergenz der verticalen Blickebenen; die wagerechten Linien erscheinen aber offenbar nur desshalb schräge, weil sie sich mit den senkrechten unter rechten Winkeln schneiden. Kommt noch Hebung der Blicklinien hinzu, so vermindert sich die Schiefstellung der Linien, bei Senkung wird sie bedeutender.

Die räumliche Anschauung.

Beim gewöhnlichen Sehen werden die Blicklinien von nächsten Punkten der Bodenfläche allmälig zur Horizontlinie gehoben, oder vom Horizont aus ebenso herabgeführt und führen zugleich mehrfache, gemeinsame Bewegungen nach den Seiten hin aus. Ferner unterliegen die Augen dabei vielfach räumlichen Verschiebungen mit Kopf und Körper. Dadurch kommt es nun zu einer vollständigen Anschauung der den Augen zugänglichen Dinge. Es werden die Gegenstände in ihrer räumlichen Anordnung, vom Standorte des Beobachters aus, nach den verschiedenen Richtungen bis zur Horizontlinie hin, aufgefasst. Bei Einstellung der Blicklinien auf letztere treten alle bis zum Horizont vorhandenen Gegenstände in ihrer verhältnissmässigen Grösse, Entfernung und Gestalt hervor. Sind aber die Blicklinien auf einen näheren Punkt gerichtet, so erstreckt sich die richtige Anschauung der Verhältnisse auch nur bis zu diesem und nicht weiter, d. i. nicht auf die jenseit desselben gelegenen Gegenstände. Diese Erscheinung tritt um so auffälliger hervor, je näher den Augen der Punkt sich befindet, auf welchen die Blicklinien eingestellt sind. Fixiren wir einen nahe vor den Augen gehaltenen kleinen Gegenstand und achten dabei auf die fern gelegenen, so erscheinen uns diese in gleichnamigen Doppelbildern, aber zugleich auch merklich kleiner, als bei directer Be-

trachtung. Die Anschauung der Grössenverhältnisse erstreckt sich eben nur bis zu der Entfernung, in welcher der fixirte Gegenstand vorgestellt wird und eine gleichzeitige Anschauung, der Entfernung und verhältnissmässigen Grösse ferner gelegener Gegenstände, ist damit unverträglich. Nun kommt übrigens noch die eigenthümliche Erscheinung hinzu, dass die kleiner vorgestellten ferneren Gegenstände, eben dieser Verkleinerung wegen, auch noch in grösserer Entfernung befindlich sich darstellen als dann, wenn die Blicklinien sich ihnen zuwenden. Sehr merklich zeigt sich das z. B., wenn man den Finger dicht vor den Augen fixirt und dabei auf Grösse und Entfernung eines vorher direct betrachteten Gegenstandes, einen hervorragenden Thurm, oder den Mond am klaren Himmel achtet.

Die Anschauung, wie sie einmal gewonnen ist, kann im Gedächtniss aufbewahrt bleiben; d. h. die räumliche Anordnung einer gewissen Menge von Gegenständen kann in der Erinnerung wieder hervortreten. Die Gegenstände stellen sich damit alle zusammen, jeder in seiner bestimmten Grösse, Entfernung und Gestalt, im Bewusstsein wieder ein. Bieten sich nun dieselben Dinge später abermals den Blicken dar, so braucht sich der ganze Vorgang der Wahrnehmung nicht zu wiederholen; ist ein Theil der Gegenstände in seinem räumlichen Verhalten erkannt, so ist damit auch augenblicklich das Verhalten aller übrigen zugehörigen Gegenstände gegeben. Wird der zunächst wahrgenommene Gegenstand aber nicht in seiner räumlichen Beziehung wieder erkannt, so tritt auch die ganze Anschauung noch nicht hervor. Ein solches Verkennen der Beziehung schon früher gesehener Gegenstände zu einander erfährt jeder gelegentlich mal, wenn er sich plötzlich unter ungewohnten Bedingungen, in einen sonst ganz bekannten Theil einer Gegend (Stadt oder Land) hinein versetzt findet. Er kann sich dann anfänglich gar nicht zurecht finden, die nächsten Gegenstände nicht wieder erkennen, bis ihm plötzlich der räumliche Zusammenhang aller wieder vor die Seele tritt.

Die Anschauung kann sich übrigens auf eine geringere oder grössere räumliche Ausdehnung erstrecken, so dass sie zur Zeit eine geringere, oder sehr viel bedeutendere Anzahl von Gegenständen umfasst. Aber es gilt auch für sie dasselbe, dass eine der

anderen folgt, dass nie gleichzeitig zwei oder mehrere verschiedene Anschauungen im Bewusstsein gegenwärtig sind.

Zusammenhang der räumlichen Anschauung und der willkürlichen Körperbewegungen.

Wir haben die Hauptgesetze der räumlichen Anschauung und der Vorgänge, durch welche sie zu Stande kommt, zu ermitteln gesucht. Es wurde hervorgehoben, welchen wesentlichen Einfluss dabei die willkürlichen Bewegungen der Augen, für sich allein und dann auch mit Kopf und Körper ausgeführt, haben. Andererseits stehen aber auch alle Handlungen, die auf eine Ortsveränderung des Körpers oder einzelner seiner Theile ausgehen, in beständigem, genauem Zusammenhange mit der räumlichen Anschauung. Das ist vielfach bekannt, bedarf aber auch noch einer eingehenden wissenschaftlichen Untersuchung.

Wie sehr die richtige Erlernung der Fertigkeiten bei Thieren und Menschen, das Laufen, Springen, Fliegen, Schwimmen, das Ergreifen, Halten u. s. w. durch das räumliche Sehen geleitet wird, das tritt ja so sehr hervor beim Wegfall desselben in Folge von Erblindung. Am Blindgeborenen lässt sich erkennen, bis zu welchem Grade eine räumliche Anschauung durch den Tastsinn allein gewonnen werden kann.

Die Blickebenen des Auges hängen mit den, durch die senkrechte und sagittale (Breiten-) Axe des Kopfes gelegten Ebenen so zusammen, dass sie sich fast ausnahmslos in gleichem Sinne und gleichem Grade bewegen. Nur bei sehr raschen Neigungen des Kopfes nach einer Seite hin, bleiben die Ebenen des Auges in ihrer Bewegung ein wenig hinter der des Kopfes zurück. Durch willkürlich ausgeführte räumliche Bewegungen der Augen, mit Kopf und Körper, entsteht daher auch keine bedeutendere Abänderung der Anschauung. Wird dagegen das Auge durch äusserlichen Druck oder Zug in eine veränderte Lage gebracht, so tritt alsbald eine Störung in derselben ein. Wir haben schon oben auf die dabei stattfindenden Verschiebungen der Doppelbilder aufmerksam gemacht (s. S. 74). Wie gross der Einfluss einer solchen unwillkürlichen Verschiebung des Auges, auf die regelmässige Be-

wegung des Körpers ist, das zeigt sich sehr auffällig bei folgendem Versuch: Geht man ziemlich rasch auf ein Ziel los und ertheilt dabei plötzlich einem von beiden Augen durch Fingerdruck eine Drehung nach einer Seite hin, so erfolgt alsbald eine Ablenkung des Körpers vom richtigen Wege nach der Seite ein, nach welcher die Blicklinie gekehrt wurde. Das Halbbild des unwillkürlich abgewichenen Auges erscheint hingegen, wie früher ausgeführt, auf der entgegengesetzten Seite als diejenige, wohin die Blicklinie gedreht wurde. Lenkt man, durch Fingerdruck am äusseren Augenwinkel, die Blicklinie des rechten Auges während des Vorgehens nach aussen ab, so taumelt der Körper ebenfalls nach rechts hin; schiebt man dieses Auge mit dem vorderen Pol nach innen, so geht der Körper unwillkürlich nach links. Noch auffälliger tritt die Erscheinung ein, wenn das Auge so verschoben wird, dass es nicht nur eine Drehung um die Höhen, sondern auch zugleich um die Längsaxe (Blicklinie) macht; ferner auch dann, wenn man beim raschen Vorgehen nur ein Auge offen hat und dasselbe auf die angegebene Weise verschiebt.

Eine Störung des Zusammenhanges von räumlicher Anschauung und Körperbewegung zeigt sich auch wenn Leute Brillen bekommen haben, welche die Vorstellung von der Grösse und damit von der Entfernung der Gegenstände merklich verändern. Der Fussboden, das Pflaster erscheint ihnen anfänglich in ganz ungewohnter Weise und sie fühlen sich im Gehen behindert; auffällig ist das besonders bei Staaroperirten, die eben erst anfangen eine starke Convexbrille zu gebrauchen. Ein Beispiel für den Zusammenhang der Richtung der Augen und der Richtung von auszuführenden Bewegungen besteht auch darin, dass wir einen schmalen, nahe befindlichen Gegenstand, mit dem vorstossenden Finger nicht leicht treffen können, wenn mit Beginn der Bewegung das eine Auge plötzlich geschlossen wird: der Finger geht am Gegenstande vorbei, auf der Seite des offen gebliebenen Auges. Es sollte der Finger durch die Richtung der vereinigten Blicklinien geleitet werden; beim Schliessen des einen Auges kann sich nun die Bewegung des Fingers nicht augenblicklich der alleinigen Richtung des geöffneten Auges anbequemen, sondern neigt unwillkürlich auf dessen Seite hinüber. Wird der Gegenstand in der Richtung der einen

geradeaus gerichteten Blicklinie gehalten, zumal wenn es die des rechten Auges ist, dann geht der Finger nicht fehl, wenn dieses Auge offen bleibt, aber wohl dann, wenn es geschlossen wird. Befindet sich der Gegenstand in der Richtung der Mittelebene, dann pflegt das Fehlstossen bei Verschluss des einen wie des anderen Auges, stattzufinden.

Fälle von Lähmungen der Augenmuskeln geben auch oft Gelegenheit Störungen der Bewegung, in Folge veränderter Anschauung, zu beobachten. Hier dürften wir nur auf das erwähnte Verhalten hinweisen, können aber nicht weiter darauf eingehen.

Auch in Bezug auf die, in dieser kurzen Abhandlung behandelten Fragen harrt noch Vieles der wissenschaftlichen Lösung, aber schon ein kleiner Schritt ihr näher lohnt alle Mühe der Forschung.

Anwendung auf das Beispiel.

Wie verhält sich nun die Anschauung zu den Längs-, Höhen- und Breitenlinien des von uns gewählten Beispieles?

Da die Längslinien gerade aus und die Breitenlinien seitlich in die Tiefe sich erstreckend vorgestellt werden, so geht schon daraus die Anschauung einer allerseits hin gleichmässig ausgebreiteten Bodenfläche hervor. Und noch deutlicher wird diese Auffassung durch die zum Horizonte hinziehenden Reihen aufrecht stehender Höhenlinien; denn die Abstände zwischen diesen Linien sind noch in grösserer Entfernung sichtbar, als das bei den anderen Linien der Fall ist. Durch Bewegung des Auges mit Kopf und Körper, wird die Anschauung einer kreisförmigen Begrenzung der Bodenfläche durch die Horizontlinie bedingt. Sind aber die Blicklinien geradeaus gerichtet, so erscheint der Horizont als gerade Linie, da eben die Anschauung einer Ausdehnung aller Linien in die unbestimmte Ferne vorwaltet. Die Breitenlinien vereinigen sich mit dieser geraden Linie in einem Punkte, der jederseits ungefähr an der äusseren Grenze des einzelnen Blickfeldes zu liegen scheint.

In Folge der Erstreckung der Längs- und Breitenlinien in die unbestimmte Ferne wird in der Anschauung der Widerspruch aufgehoben, der darin liegt, dass diese Linien in ihren einzelnen Ab-

schnitten je einander gleichlaufend vorgestellt werden und dennoch alle gegen den Horizont hin mit einander sich vereinigen.

Die unbegrenzte Verlängerung der Längs- und Breitenlinien hat demnach in der Anschauung auch den Erfolg, dass Entfernung und Grösse einzelner Theile der Linien im umgekehrten Verhältniss zu einander stehen. Nehmen wir mehrere Theile der Linien hinter einander an, die alle einen gleichen Sehwinkel haben, so wird jeder fernere Theil länger erscheinen als der nächst vor ihm liegende, so dass zwischen dem ersten und dem letzten sichtbaren Theile ein ungemein grosser Unterschied in der angeschauten Längenausdehnung bestehen kann. Dagegen müssen hinter einander liegende Linienstücke, deren Sehwinkel in einer bestimmten Proportion abnimmt, als gleich lang erscheinen. Desshalb werden zwei hinter einander liegende Abschnitte der Bodenfläche, die von den nächsten zwei Längslinien und zwei Breitenlinien eingeschlossen sind, als gleich lang und breit in der Anschauung aufgefasst, obgleich der Sehwinkel für jeden weiteren Abschnitt kleiner wird. Damit hängt ferner zusammen, dass die Abstände zwischen je zwei hinter einander auf derselben Längslinie stehenden Höhenlinien als gleich gross aufgefasst werden, ungeachtet die Zwischenräume nach dem Horizont zu, sich unter fort und fort kleiner werdendem Sehwinkel darbieten.

In Folge der Anschauung von der ebenen Ausbreitung der Bodenfläche erscheinen dann auch die seitlichen Reihen der Höhenlinie als auf der gleichen Ebene aufgerichtet. Ihre allmälige Höhenabnahme nach dem Horzionte zu, stimmt überein mit der Anschauung ihrer Forterstreckung in die unbestimmte Entfernung.

Die den Himmel bedeckenden Wolken werden mit parallel gestellten oder selbst etwas divergirenden Blicklinien betrachtet; sie erscheinen nach oben zu hoch über den Höhenlinien gelagert, von dort aber allseitig herabsteigend mit dem Horizonte zu verschmelzen. Die zusammenhängende Wolkenschicht wird somit angeschaut als hochaufsteigendes Gewölbe, das nach dem Horizonte hin sich mehr und mehr verflacht und in die unbestimmte Ferne ausdehnt. Desshalb ist die obere Hälfte des Sehfeldes in der Anschauung auch grösser als die untere Hälfte, welche als flach ausgebreitete Ebene aufgefasst wird.

Eine richtige Anschauung des Verhaltens der gesammten Bodenfläche mit ihren Linien und der darüber gewölbten Wolkendecke wird gewonnen durch Zusammenfassen aller Vorstellungen über diese Theile. Die Vorstellungen kommen zu Stande durch die Wahrnehmung bei Bewegungen der Augen allein und mit dem Körper. Eine vollständige Anschauung der räumlichen Anordnung des Ganzen findet jedoch nur statt, wenn die Augen geradeaus nach dem Horizont hin gerichtet sind. Ist aber einmal das Ganze in der Art in's Bewusstsein aufgenommen, dann wird auch bei Wiederholung der Wahrnehmung jeder einzelne Theil gleich an seiner Stelle in bestimmter Entfernung, Grösse und Gestalt angeschaut.

Die Anschauung in der Weise darzustellen, das ist in der beigefügten stereoscopischen Zeichnung versucht worden. Freilich beansprucht sie keineswegs vollkommen die Anschauung so wiederzugeben, wie sie zwei Augen haben würden, denen in Wirklichkeit bei der angegebenen Stellung eine ebene Bodenfläche mit den beschriebenen Linien geboten wäre. Das könnte nur geschehen, wenn alle anzuwendenden Masse für die Zeichnung durch Rechnung festgestellt wären, und auch dann würde die genaue Ausführung zum Behufe der Betrachtung im Stereoscope nicht ganz leicht sein.

Die Zeichnung, wie sie hier vorliegt, ist dennoch, trotz aller Mangelhaftigkeit, im Stande, die hauptsächlichsten Wirkungen des Sehens mit beiden Augen einigermassen zur Anschauung zu bringen.

Der leichteren Uebersicht halber ist in der Zeichnung nur eine geringe Zahl von Höhenlinien angegeben worden. Der Winkel, unter dem die Hauptlängslinie vom Mittelpunkte des Blickfeldes nach innen-unten herabsteigt, wurde zu 2^0 angenommen. Die beiden Hauptlängslinien bieten also ein gekreuztes Doppelbild dar, mit einer Divergenz von 4^0. Die Nebenlängslinien sind in entsprechender Weise seitlich angeordnet.

Im Stereoscope, bei richtiger Einstellung der Blicklinien, fallen in der That die für jedes Auge berechneten Halbbilder der Zeichnung zu einem Sammelbilde zusammen. Durch Verschmelzung der gekreuzten Halbbilder wird die Anschauung einer Tiefenerstreckung der Linien gewonnen. Mit dieser Auffassung hängt dann weiter Folgendes zusammen: Jedes entferntere Stück einer Längslinie er-

scheint länger als ein gleich grosses näher liegendes Stück derselben, folglich gewinnt die ganze Linie einen mehr gerade gerichteten Verlauf. Daher scheinen denn auch zwei nächste Längslinien einander mehr parallel zu laufen, als es in der mit blossem Auge betrachteten Zeichnung der Fall ist. Aus demselben Grunde erscheint auch der Abstand zwischen zwei Breitenlinien bedeutender, als wie das Verhältniss in der Zeichnung wirklich angenommen ist. Demgemäss wird ferner jeder Abschnitt der Bodenfläche, der von zwei nächsten Längs- und Breitenlinien eingeschlossen ist, als gleichseitige, quadratische Fläche angeschaut, obgleich die Seitenlinien des Abschnittes verhältnissmässig kürzer sind als seine vordere und hintere Begrenzungslinie. Ja in der Zeichnung scheinen diese Flächenabschnitte vielleicht noch zu lang entworfen. Eine genügend richtige Anschauung derselben findet übrigens nur im mittleren Theile des Blickfeldes statt.

Die Tiefenerstreckung der Längslinien, bei Betrachtung im Stereoscope, bestimmt denn auch mit das Verhalten der Höhenlinien, die auf ihnen stehen. Die Abstände zwischen den hinter einander folgenden Höhenlinien erscheinen desshalb bedeutender, als es die Zeichnung thatsächlich ausweist.

Die zusammenfallenden Halbbilder vermitteln im Ganzen also die Anschauung einer weithin ausgedehnten Ebene, die von Längs- und Querlinien durchzogen ist, auf der Reihen von Höhenlinien stehen und über welcher sich ein bewölkter Himmel wölbt.

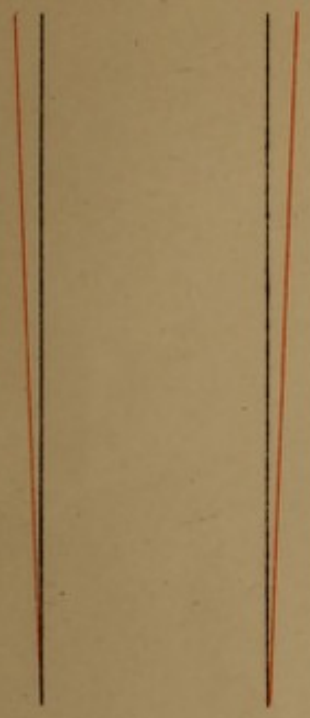
Wer geübt ist, seinen Blicklinien beliebige Stellungen zu geben, kann die Halbbilder mit blossen Augen zur Vereinigung bringen; der darin nicht Geübte mag das Blatt ausschneiden und in das Stereoscop legen.

Nachtrag.

Auf Seite 59 ist versäumt worden gleich anzuführen, dass die Uebertragung von Reizen auf die Empfindungsnerven durch den Sehnerv unzweifelhaft dadurch erwiesen ist, dass sie meist ausbleibt, wenn letzterer verkümmert ist. Es kommen öfter Erblindungen vor, die lediglich davon abhängen, dass der Sehnerv, an

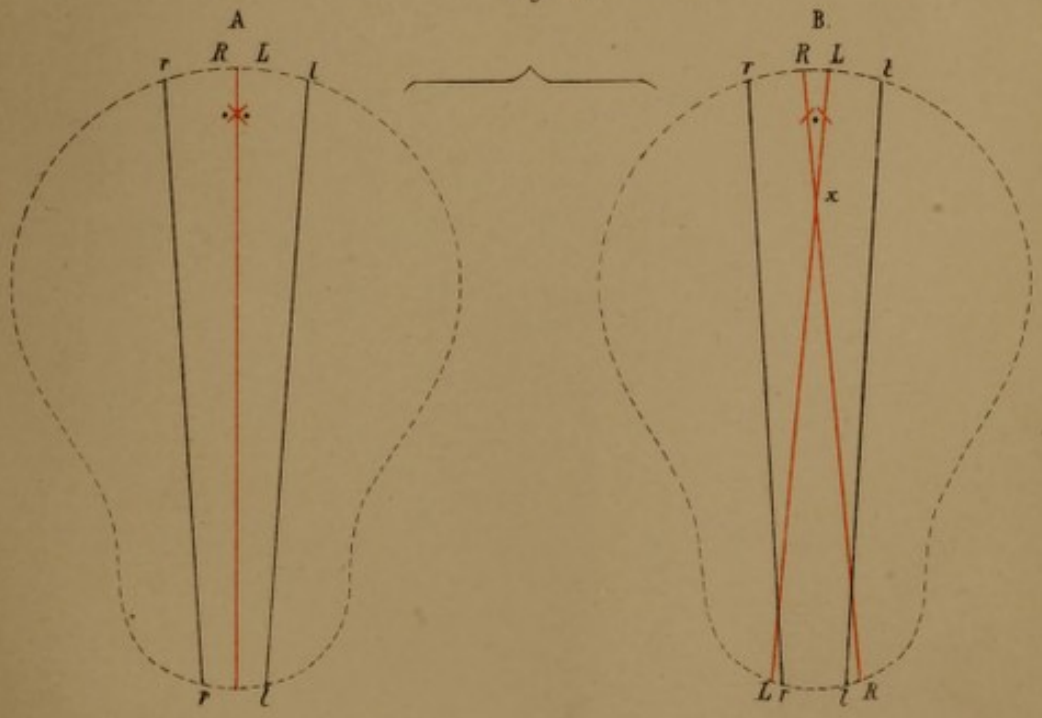
seinem Ursprunge oder im Verlauf, derart erkrankt ist, dass seine Leistungsfähigkeit ganz aufhört (Sehnervatrophie, Amaurose, schwarzer Staar); dann pflegt die Pupille unbeweglich zu verharren, auch wenn helles Licht in's Auge fällt und die übrigen Reflexerscheinungen bleiben gleichfalls aus.

Figur I.

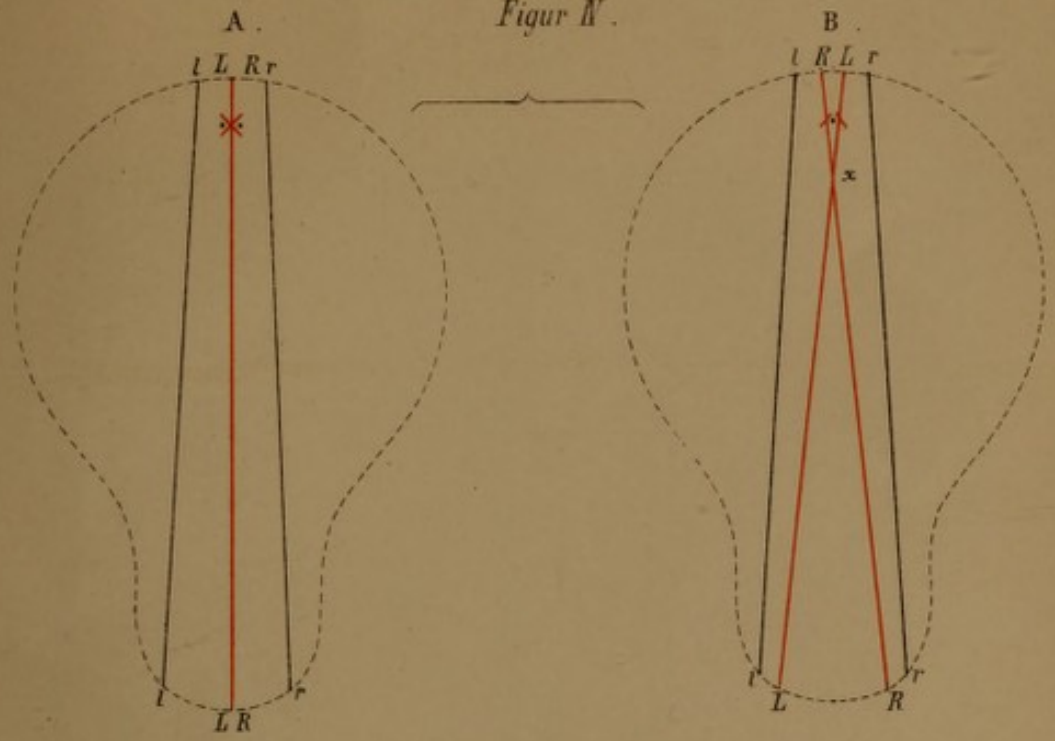


Figur II.

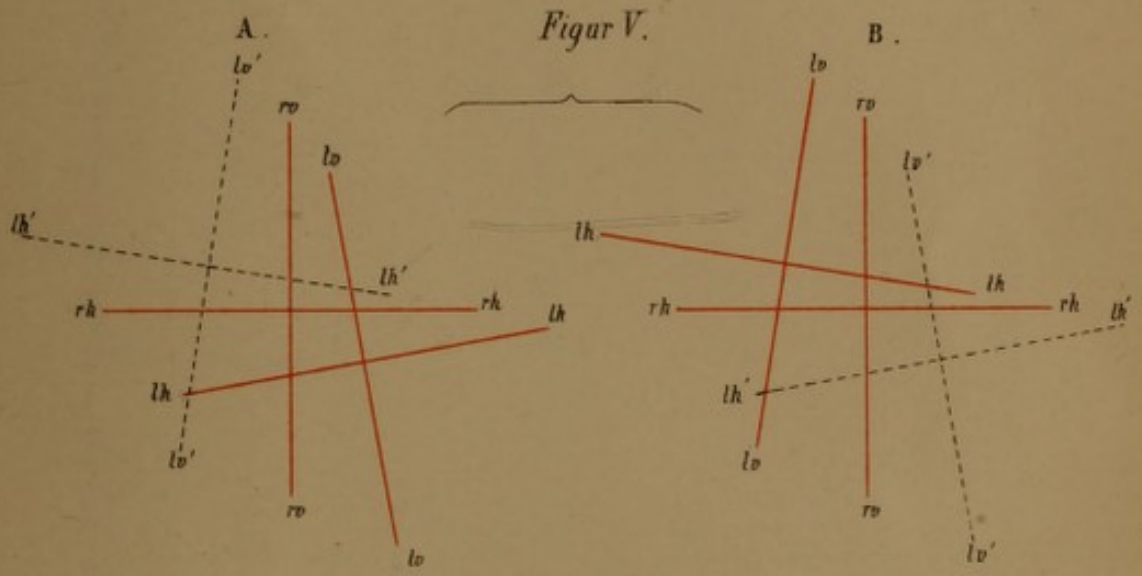
Figur III.



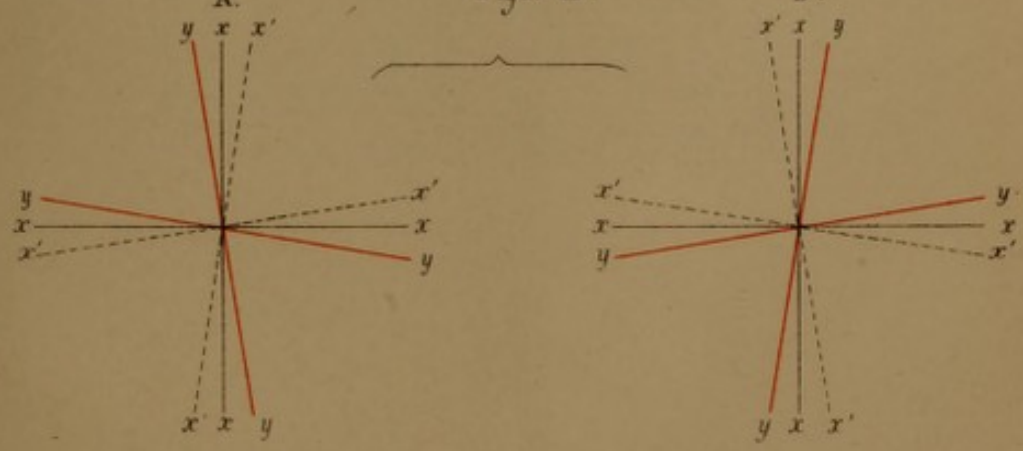
Figur IV.

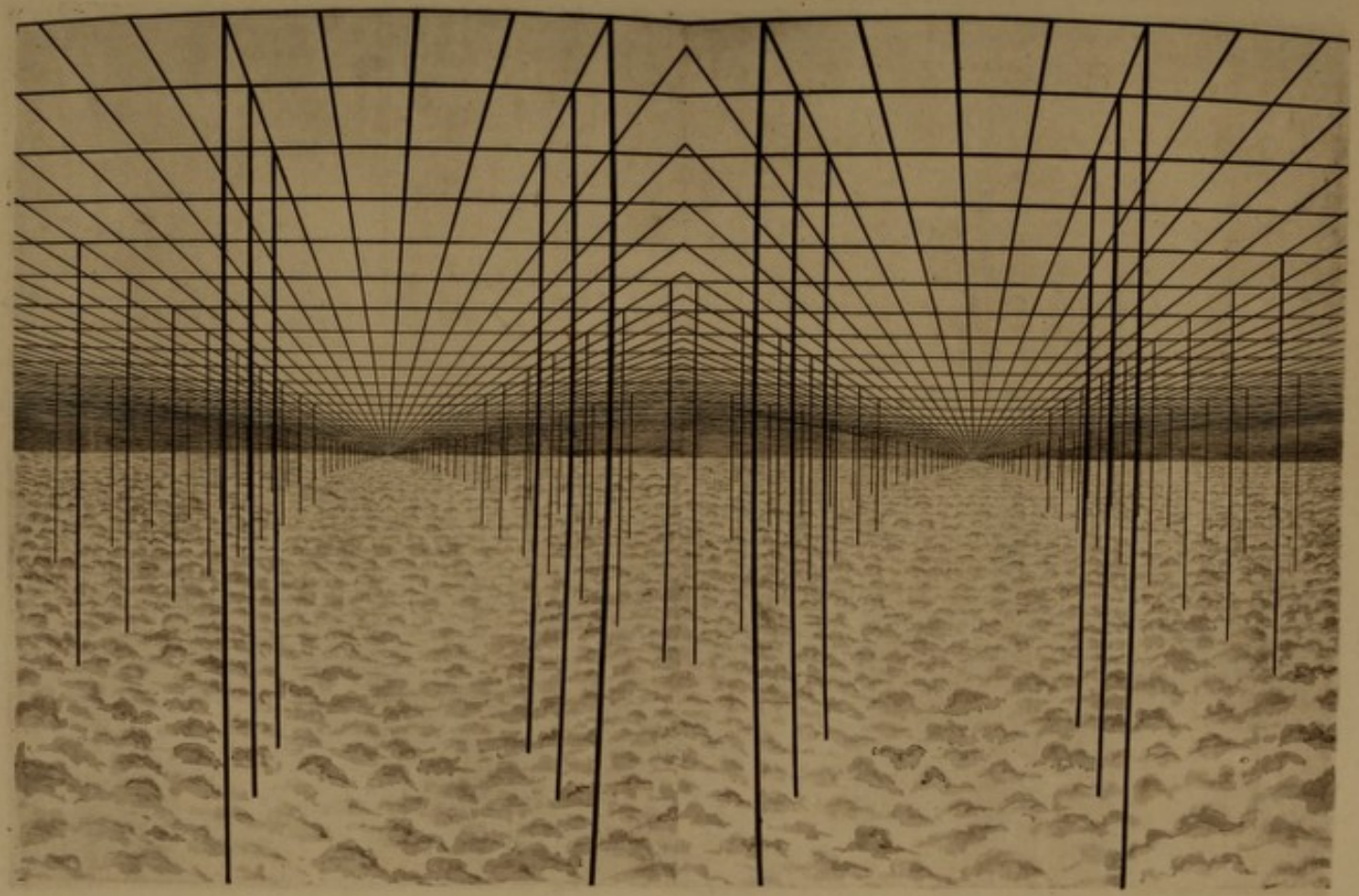


Figur V.



Figur VI.





Druck von Gebrüder Kröner in Stuttgart