mir, daß der Maximum-Durchmesser anfangs mit dem Concentrationsgrade zunahm, doch nur bis zu einer gewissen Gränze und darauf wieder abnahm. Ich habe mir vorgenommen, dieß näher zu untersuchen.

**VI. Die Statik der Netzhaut und die pseudoskopischen Erscheinungen;
von Dr. Hermann Scheffler.**

In der »*physiologischen Optik*«, welche ich vor Kurzem veröffentlicht habe, sind auch die Grundlagen nachgewiesen, auf welchen die optischen *Täuschungen* in Beziehung auf die Größe, Form, Lichtstärke, Farbe und die sonstigen optischen Eigenschaften der Objecte beruhen. Eine interessante Klasse hieher gehöriger Erscheinungen sind die zuerst von Zöllner beobachteten und später von Hering und Kundt vervollständigten *pseudoskopischen Erscheinungen*, welche sich im Jahrgange 1860 und 1861 dieser *Annalen* beschrieben finden. Die Erklärung dieser Erscheinungen ist sehr verschiedenartig versucht worden. Zöllner glaubt, die Täuschung sey *psychischen* Ursprungs; Hering und Kundt haben eine besondere Theorie (die Sehentheorie) auf die Hypothese gegründet, daß das Auge die Größe eines Winkels nicht nach dem Bogen, sondern nach der *Sehne* schätze; Bacaloglo (*Pogg. Ann.* Jahrgang 1861) schreibt der Vergleichung der Sehnenwinkel für die verschiedenen Theile einer Figur eine besondere Wirkung zu; Aubert bekennt in dem neusten Werke über die Physiologie der Netzhaut, S. 272, indem er alle diese Erklärungen verwirft, daß er keine Erklärung von dem Phänomen zu geben wisse. Aus diesen Umständen kann man schließen, daß eine befriedigende Erklärung der fraglichen Erscheinungen noch nicht vorliegt, und daß eine Zurück-

führung derselben auf positive physiologische Vorgänge erwünscht sey.

Die Empfindung, welche mit der Erschütterung eines *Stäbchens* durch einen einfallenden Lichtstrahl verbunden ist, also die Empfindung der *Stellung des afficirten Stäbchens*, ist die Grundlage für unser Urtheil über die *Richtung des Lichtstrahles* oder der nach dem leuchtenden Objecte führenden Visirlinie (§. 18 und 22 der physiologischen Optik). Für die *scheinbare Richtung* ist also zunächst die *Richtung der Axe* des getroffenen Stäbchens maafsgebend.

Hieraus folgt, daß Alles, was die *Richtung* eines Stäbchens um einen bestimmten *Winkel* ändert, die *scheinbare* Richtung des auf dieses Stäbchen fallenden Lichtstrahles *um denselben Winkel* ändert. Eine solche Aenderung der Richtung eines Stäbchens tritt ein, wenn die *Netzhaut* an der Stelle dieses Stäbchens ihre *Krümmung* ändert, während das Stäbchen *normal* darauf stehen bleibt; sie kann aber auch durch selbständige *Ueberneigung* des Stäbchens oder durch *Abweichung von der Normalen* der Netzhaut hergebracht werden.

Außerdem wird die Richtung eines Stäbchens durch *Verschiebung* in der Netzhaut verändert (§. 21 der physiologischen Optik).

Erwägt man, daß durch Verschiebung der Netzhaut ein Stäbchen, dessen *natürliche* Lage einem von dem Netzhautbilde des Objectes abweichenden Ort einnimmt, in dieses Bild eintritt, so folgt, daß das Object dem *verrückten* Stäbchen in derjenigen Richtung erscheint, welche der *natürlichen* Stellung dieses Stäbchens in der Netzhaut entspricht. Hiernach knüpft sich also bei gegebener Convergenz der Augenaxen eine bestimmte scheinbare *Richtung* an die Affection eines bestimmten *individuellen Stäbchens*, mag dieses Stäbchen sich in *normaler Stellung* auf der Netzhaut nach innen oder nach außen verschieben.

Eine Hauptveranlassung zur Verschiebung der Stäbchen ist das Streben nach *Einfachsehen*. Aus diesem Streben entspringt im Allgemeinen nur eine Verschiebung der Stäbchen *nach innen* oder *nach außen*. Wenngleich hiernach

Verschiebungen *nach oben, nach unten* oder in einer *beliebigen Richtung* nicht so häufig inducirt werden und die Netzhaut auch in Folge dieser Ungewohnheit keine so große Beweglichkeit in den von der horizontalen Richtung abweichenden Richtungen besitzt; so kommen doch auch solche Verschiebungen vor. Wir müssen annehmen, daß Verschiebungen in verticaler Richtung auch Abweichungen der scheinbaren Richtung in *verticaler Ebene* nach sich ziehen, daß überhaupt irgend eine Bewegung eines Stäbchens um den Mittelpunkt des Auges eine Drehung der scheinbaren Richtung des auf dieses Stäbchen fallenden Strahles gegen die ohne Verschiebung der Stäbchen stattfindende Richtung nach *entgegengesetzter Seite* nach sich zieht; so daß ein Strahl immer in derjenigen Richtung zu liegen scheint, welche das getroffene Stäbchen anzeigt, wenn man sich dasselbe in seine Ruhelage versetzt und dort afficirt denkt.

Außer dieser aus dem Streben nach Vereinigung der Doppelbilder entstehenden und einem Principe des Sehens dienenden Verschiebung der Stäbchen kann eine solche auch aus anderen Affectionen hervorgehen. Wenn diese Affectionen nicht dem normalen Verlaufe der Sehtätigkeiten entsprechen, bilden sie *Störungen* desselben und die daraus entspringenden Abweichungen der scheinbaren Richtung verleihen den Objecten eine *falsche Form*, führen also *optische Täuschungen* herbei, welche man unter dem Namen der *pseudoskopischen* Erscheinungen begreift.

In §. 48 der physiologischen Optik habe ich bereits den Einfluß untersucht, welchen die Affection der Netzhaut in einzelnen *Punkten* und *Linien* auf deren *Krümmung* und demzufolge auf die *Richtung* der Stäbchen äußert, und die daraus sich ergebenden Täuschungen über die Form der Objecte abgeleitet. Gegenwärtig wollen wir uns damit beschäftigen, die aus solchen Affectionen entspringenden *Verschiebungen der Stäbchen* und die hiermit *zusammenhängenden* Täuschungen zu ermitteln.

Bei diesen Untersuchungen gehe ich von dem Satze

aus (welchen ich in einem nächstens erscheinenden Supplemente zur physiologischen Optik näher begründen werde), daß sich bei dem Bestreben, *mehrere Punkte oder eine Reihe von Punkten zu fixiren oder in ihren gegenseitigen räumlichen Verhältnissen aufzufassen, eine Tendenz zu gegenseitiger Annäherung und in Folge dessen auch wirklich eine gegenseitige Annäherung mit entsprechender Spannung in der Stäbchenmasse erzeugt.*

Die Annäherung zwischen den fixirenden Stäbchen wird um so erheblicher, je mehr derselben in einer Linie afficirt werden; sie wird also am stärksten, wenn sich die Lichtpunkte zu einem zusammenhängenden Linienzuge aneinander reihen.

Sehen wir den vorstehenden Satz als die Grundlage für die *Statik der Netzhaut* an, so ergeben sich daraus zuvörderst folgende Verschiebungen der Stäbchenschicht und pseudoskopischen Erscheinungen.

Wenn die beiden Objectpunkte *a, b* die Stäbchen *c, d*, afficiren (Fig. 12 Taf. II), so drängen sich die Stäbchen in der Linie *cd* zusammen und es treten die entfernteren Stäbchen *c', d'* in die Lichtstrahlen *ac, bd* ein. In Folge dessen erscheinen die Objecte bei *a', b'* also weiter auseinander, als sie sind.

Je mehr Punkte zwischen a und b das Auge afficiren, desto länger erscheint die Strecke ab. Hiermit ist die Beobachtung erklärt, welche Hering in Poggendorff's Annalen beschrieben hat. Außerdem geht daraus hervor, daß *eine gerade Linie ab verlängert erscheint.*

Wenn die leuchtenden Punkte *im Kreise* liegen, wird die Zusammendrängung der Stäbchen nicht ohne Verkleinerung des Radius des afficirten Netzhautkreises möglich seyn. Es werden also Stäbchen, welche einem größern Netzhautkreise angehören, in die Lichtstrahlen eintreten und die Täuschung eines *vergrößerten Kreises* hervorbringen.

Wenn die beiden sich durchschneidenden leuchtenden Linien *ab, de* (Fig. 13 Taf. II) das Netzhautbild *gk, ik* ha-

ben, so werden die Stäbchen in der Linie gh und ik für sich auf einander drängen. Wird nun die Stäbchenlinie gh in Folge besonderer Anstrengung möglichst steif gehalten; so wird der Theil if der Linie ik , indem er gegen den Theil kf derselben Linie drängt, etwas längs der Linie fh *hingleiten*, und ebenso wird das Liniestück kf längs der Linie fg gleiten. In die Stelle der geraden Linie ik der Stäbchenschicht werden also Stäbchen rücken, welche im Ruhezustande die punktirt gezeichnete gebrochene Linie einnehmen. Diefs hat zur Folge, dafs die Linie *de nicht gerade, sondern gebrochen* in der Form $d'c'$, $c''e'$ erscheint, indem die beiden Stücke dc und ec *gegen den spitzen Winkel*, welchen sie mit ab bilden, *zurückrücken*.

Wenn sich die Linie ab nicht durch besondere Kräftigkeit auszeichnet, wird die ihr entsprechende Stäbchenreihe gh sich gegen die Reihe ik in ähnlicher Weise verrücken. Das Resultat hiervon ist, dafs die sich kreuzenden Linien ab , cd (Fig. 14 Taf. II) in der Gestalt der beiden Winkel $a'c'd'$, $b'c''e'$ mit der Verbindungslinie $c'c''$ ihrer Scheitel erscheinen.

Da die Verrückung der einen Stäbchenreihe längs der anderen in der Nähe dieser zweiten Reihe stärker seyn wird, als in weiterem Abstände davon; so wird jenes Liniestück wie $a'c'$ bei c' am meisten von der wahren Richtung ac abweichen, nach a' hin aber sich mehr und mehr der Linie ca nähern. Die Linien acb und dce werden mithin als *Curven* $a'c'c''b'$ und $d'c'c''e'$ erscheinen, deren Winkel bei c' und c'' *größer* ist als der Neigungswinkel der Linien ab , de und welche die gegebenen beiden geraden Linien zu Asymptoten haben.

Hiernach wird eine gerade Linie ab (Fig. 15), welche mehrere Parallellinien durchschneidet, in der Form der Linie $a'b'$ erscheinen.

Wenn die Stäbchenreihe gh , sey es in Folge subjectiver Anstrengung oder starken objectiven Reizes möglichst *steif* gehalten und vor der Zerreißung geschützt ist, werden die Stäbchenreihen if' und kf'' (Fig. 16), welche im Ruhezustande in der geraden Linie ik liegen, indem sie

vermöge des Zusammenrückens der Stäbchen längs der starren Reihe gh gleiten und sich trennen, auf die Reihe gh noch eine besondere Wirkung ausüben. Der Druck nämlich, welcher zwischen den Stäbchen der Reihe if' und $f''k$ herrscht, wird bei der Trennung jener beiden Stücke eine Pressung gegen die Reihe gh in den Punkten f' und f'' hervorbringen, also ein *Kräftepaar* erzeugen, welches die Reihe gh in die Richtung der Pfeile zu *drehen* strebt. In Folge dessen werden die Stäbchen aus der Linie $g'h'$ in die Linie gh eintreten, welche das Netzhautbild der Linie ab (Fig. 13 Taf. II) ist und die Linie ab wird ihre Richtung in die Linie $a'b'$ also so umzuändern scheinen, als wenn sie den Neigungswinkel gegen die Linie de *vergrößern* wollte.

Die Ablenkung der Linie $a'b'$ von ab wird durch das Moment des in den Punkten f' und f'' (Fig. 16) wirkenden Kräftepaares bedingt seyn. Bezeichnet p die Spannung zwischen den Stäbchen der Reihe ik , und α den Neigungswinkel der sich kreuzenden Linien ab und ed ; so wird man den normalen Druck der Reihe if' und kf'' gegen die Reihe gh nahezu gleich $p \sin \alpha$, und die Entfernung $f'f''$, um welchen die beiden Stücke der Reihe ik auseinander-rücken, nahezu der Componente $p \cos \alpha$ proportional setzen können. Hiernach wird das gesuchte Moment nahezu dem Producte $p \sin \alpha \cdot p \cos \alpha$ oder der Gröfse $p^2 \sin \alpha \cos \alpha$ oder $p^2 \sin 2\alpha$ proportional seyn. Da diese Gröfse für $\alpha = 45^\circ$ ein Maximum erreicht; so folgt, daß die pseudoskopische Ablenkung der Linie ab durch die Linie de ein von dem *Neigungswinkel* der letzteren abhängiges *Maximum* besitzt und daß der diesem Maximum entsprechende Winkel ungefähr den Werth von 45° hat.

Nimmt man die Sachen genau und erwägt, daß, wenn man sich eine elastische Linie längs des Zuges $if'f''k$ denkt, welche sich bei f' und f'' allmählich umbiegt, die Wirkung der Stäbchen dieser Reihe gegen die Reihe gh in einem Winkel erfolgen wird, welcher *größer* ist als α . Angenommen, dieser Winkel sey $= n\alpha$, worin $n > 1$ ist. Als-

dann wird das Moment des fraglichen Kräftepaares proportional $p^2 \sin n\alpha \cos n\alpha$ oder proportional $p^2 \sin 2n\alpha$ seyn; das Maximum wird also für $2n\alpha = 90^\circ$ oder für $\alpha = \frac{45^\circ}{n}$ eintreten. Setzt man $n = 1,5$, so wird $\alpha = 30^\circ$, wie es nach den sogleich anzuführenden Beobachtungen der Wirklichkeit entspricht.

Wenngleich die pseudoskopische Ablenkung der Linie ab , welche im *Zusammenhange* bleibt, ein Maximum hat für einen bestimmten Neigungswinkel der durchkreuzenden Linie de , welche *zerrissen* wird; so hat doch die Verschiebung $c'c''$ der beiden Theile der letzteren Linie, welche proportional zu $p \cos n\alpha$ ist, kein Maximum für jenen Winkel, sondern wird nm so gröfser, je kleiner der Neigungswinkel α wird. Von der Gröfse dieser Verschiebung und zugleich von dem Neigungswinkel α selbst hängt der Winkel q ab, um welchen in Fig. 11 Taf. II die Stücke der Linie ab zwischen den Parallelen von ihrer wahren Richtung abgelenkt erscheinen. Diese Ablenkung wird für einen gewissen Werth des Winkels α , welchen wir jedoch hier auf sich beruhen lassen, ein Maximum haben, d. h. weder eine die Parallelen ganz *steil*, noch eine dieselben ganz *flach*, sondern eine die Parallelen unter einem *bestimmten* Winkel durchschneidende Linie ab wird in den *Zwischenstücken* am meisten abgelenkt erscheinen.

Hieraus folgt, dafs eine gerade Linie ab (Fig. 17), welche concentrische Kreise durchschneidet, in der Form $a'b'$ gekrümmt erscheint. Denn indem sich die Kreislinien bei der Durchneidung der geraden Linie ab auf dieser nach Fig. 16 verschieben, erzeugen sie zugleich durch die entstehenden Kräftepaare eine Drehung der zwischen ihnen liegenden Stücke dieser geraden Linie und zwar an einer bestimmten Stelle am stärksten. Betrachtet man nun ab wie eine elastische materielle Linie; so muß sich dieselbe unter der Wirkung der gedachten Kräftepaare in der Form $a'b'$ krümmen. Dieser Einfluß macht sich sogar geltend, wenn die Gerade nur einen einzigen Kreis schneidet, ja sogar, wenn

sie den Kreis nur *berührt*, weil *sichtbare Linien* doch immer eine gewisse *Dicke* haben und die Berührung solcher *Objecte* nach Fig. 18 Taf. II den Charakter einer Durchschneidung an sich trägt, außerdem aber die durch Verschiebung erzeugte Spannung zwischen den Stäbchen wegen des Zusammenhanges der Netzhaut selbst auf einige Entfernung von den gespannten Reihen hin wirkt.

Was die Ablenkung der von einer Geraden durchschnittenen Kreislinien betrifft; so leuchtet ein, daß dieselben indem sie sich an der Durchschnitsstelle steiler gegen die Gerade stellen, *stärker gekrümmt* erscheinen werden.

Wir gehen jetzt zur Erklärung der von Zöllner beobachteten und in Poggendorff's Annalen 1860 beschriebenen pseudoskopischen Erscheinungen über.

Werden in Fig. 19 mehrere starke Parallellinien, welche wir *Streifen* nennen wollen, von feineren und ziemlich nahe liegenden kurzen Parallelen, welche wir *Striche* nennen wollen, schräg und zwar der erste, dritte, fünfte Streifen von links nach rechts, der zweite, vierte, sechste Streifen dagegen von rechts nach links durchschnitten, so müssen nach Vorstehendem folgende optische Täuschungen entstehen.

Die *Querstriche* erscheinen nach Fig. 20 längs der Streifen *verschoben*. Die Längestreifen, deren correspondirende Netzhautlinien von ebenso vielen gleich starken Kräftepaaren angegriffen werden, als Querstriche vorhanden sind, erscheinen nicht mehr parallel, sondern so gegeneinander *geneigt*, daß sie die Querstriche *steiler* durchdringen. Die pseudoskopische Ablenkung der Streifen muß für eine gewisse Neigung der Striche ein Maximum werden: dasselbe entspricht der Neigung von 30° . Die Täuschung findet so gut beim monocularen, wie beim binocularen Blicke statt.

Ich füge jetzt den früheren Betrachtungen über die Verschiebung der Stäbchen hinzu, daß die *Beweglichkeit* der Stäbchenschicht nicht in allen *Richtungen* der Netzhaut gleich groß ist, daß dieselbe von dem *Accommodationszustande* des Auges und von dem *Wettstreite* der correspon-

direnden Stäbchen des anderen Auges mit abhängt (Ueber das Wesen des *Wettstreites* vergl. §. 13 der physiologischen Optik).

Am wenigsten beweglich scheint die Netzhaut in *verticaler* und in *horizontaler* Richtung zu seyn; in ersterer jedoch noch etwas weniger als in letzterer: am größten ist ihre Beweglichkeit in *schrägen* Richtungen und es muß eine der Neigung von 45° naheliegende Richtung geben, in welcher die Beweglichkeit ein *Maximum* erreicht. Demzufolge erscheint die pseudoskopische Ablenkung der Streifen am schwächsten, wenn sie vertical stehen, etwas stärker, wenn sie horizontal laufen, am stärksten jedoch, wenn sie sich etwa unter einen Winkel von 45° neigen.

Interessant ist die Wirkung des *Wettstreites*. Wenn man beim binocularen Anblicke der Fig. 19 Taf. II die Augen auf einen näheren Punkt convergiren läßt, so daß das rechte Doppelbild des ersten Streifens auf das linke Doppelbild des zweiten Streifens fällt, so werden *correspondirende* Stäbchen der beiden Augen durch die Querstriche nach *entgegengesetzten* Seiten abgelenkt. Diefß hat zur Folge, daß sie *gar nicht abgelenkt* werden, sondern *parallel* erscheinen. An der Stelle der Querstriche sieht man keine vollständigen Kreuze, sondern theils Striche, welche von rechts nach links, theils solche, welche von links nach rechts laufen, theils abgebrochene Stücke der einen, theils abgebrochene Stücke der anderen Art, wie es dem Effecte des *Wettstreites* vollkommen entspricht.

Nimmt man den Convergenzpunkt der Augen so nahe, daß sich die Doppelbilder des ersten und dritten Streifens, welche einander gleich sind, decken, so entsteht wieder die pseudoskopische Ablenkung.

Wenn man das Auge auf einen hinreichend *nahen* Punkt *accommodirt*, hört die pseudoskopische Ablenkung der Streifen auf: ich nehme daher an, daß durch Accommodation auf die *Nähe* die Beweglichkeit der Stäbchen *vermindert* wird. Berücksichtigt man hierbei noch, daß sich bei jeder falschen Accommodation die Aufmerksamkeit auf das Object

vermindert und daß die Details desselben undeutlicher und demzufolge *weniger effectvoll* werden; so leuchtet ein, daß mit der Naheaccommodation eine erhebliche Verminderung der pseudoskopischen Ablenkung verbunden seyn muß. Wenn man das Auge auf einen hinreichend *entfernten* Punkt accommodirt, z. B. indem man in die Figur ein Loch macht und durch dieses Loch auf ein entfernteres Object blickt, wird die pseudoskopische Ablenkung *ebenfals schwächer*, jedoch nicht in dem Maasse, wie bei der Accommodation auf die Nähe: ich nehme daher an, daß zwar die Beweglichkeit der Stäbchenschicht mit der Accommodation auf die Ferne zunimmt, daß jedoch der entgegengesetzte Effect der verminderten Aufmerksamkeit und Deutlichkeit überwiegt, so daß trotz der größeren Beweglichkeit der Stäbchenschicht, eine schwächere Ablenkung zu Stande kommt, welche indessen immer größer bleiben wird, als die durch Naheaccommodation erzeugte.

Wenn man die Fig. 11 Taf. II dem Auge hinreichend *nähert* oder von dem Auge hinreichend *entfernt*; so verliert sich die pseudoskopische Ablenkung allmählich bis zum endlichen Verschwinden, weil die Querstriche sowohl bei der genügenden Annäherung in Folge ungenauer Accommodation, als auch bei der genügenden Entfernung in Folge der Abnahme ihrer Intensität und ihres Netzhautbildes immer mehr und mehr ihre ablenkende Wirkung einbüßen.

Die mit der Veränderung der Accommodation verbundene Variabilität der Beweglichkeit der Stäbchenschicht erzeugt gewisse pseudoskopische *Bewegungen*, auf welche noch nicht aufmerksam gemacht worden ist. Indem man beim monocularen Anblicke der Fig. 19 mit *vertical* stehenden Streifen mittelst des *rechten* Auges dieses Auge *entfernter* accommodirt, rücken die Querstriche am ersten und dritten Streifen *abwärts* und am zweiten und vierten Streifen *aufwärts*; indem man das rechte Auge *näher* accommodirt, rücken die Querstriche am ersten und dritten Streifen *aufwärts* und am zweiten und vierten Streifen *abwärts*. Beim monocularen Blicke mit dem *linken* Auge ergeben sich die entgegengesetzten Bewegungen.

Hält man die Figur so, daß die Streifen *horizontal* liegen, so erzeugt eine Veränderung der Accommodation diese Bewegung der Querstriche *nicht*. Wohl aber er giebt sich jetzt ein sehr lebendiges *Laufen der Querstriche*, wenn man die Figur mit sehr *hochgehobenem* oder mit sehr *tief gesenktem Kopfe* monocular oder binocular anblickt. Betrachtet man mit sehr gehobenem Kopfe, also von oben herab, indem man die Figur so vor sich hält, daß der Streifen *ab* oben und *gh* unten liegt; so laufen die Querstriche, indem man den Kopf höher hebt, so, wie wenn ihre *unteren* Stücke an den Streifen ausglitten, also wie die Pfeile bei *b, d, f, h* anzeigen. Betrachtet man dagegen mit sehr tief gesenktem Kopfe, also von unten herauf; so laufen die Querstriche, indem man den Kopf tiefer senkt, so, wie wenn ihre *oberen* Stücke an den Streifen ausglitten, also wie die Pfeile bei *a, c, e, g* andeuten.

Um die Querstriche bei *verticaler* Lage der Längestreifen ohne Accommodationsveränderung in Bewegung zu bringen, muß man den Blick stark *seitwärts* wenden. Betrachtet man die Fig. 19 Taf. II mit einem oder mit beiden Augen, so verrücken sich die Querstriche nach den Pfeilen *a, c, e, g*, wenn man die Nase weit nach rechts dreht; und sie verrücken sich nach den Pfeilen *b, d, f, h*, wenn man die Nase weit nach links dreht.

Auch *mechanischer Druck* oder vielmehr mechanische *Drehung* des Auges durch äußeren Druck erzeugt ein Gleiten der Querstriche. Drückt man das Auge so, daß es in einer auf den Längestreifen normal stehenden Ebene rollt, so laufen die Querstriche längs den Längestreifen, also normal zur Drehungsebene des Auges, und zwar nach den Pfeilen *a, c, e, g*, wenn sich die Augenaxe in der Richtung des Pfeiles *A* dreht, und nach den Pfeilen *b, d, f, h*, wenn sich die Augenaxe in der Richtung des Pfeiles *B* dreht.

Zur Erklärung dieser pseudoskopischen Bewegungen sey *ab, cd* (Fig. 21 Taf. II) das *Netzhautbild* zweier Längestreifen und in diesem Streifen seyen zwei Stäbchenreihen

starr an ihren Ort gefesselt. Wird jetzt die gesamte Stäbchenmasse der Netzhaut in der Richtung des Pfeiles *B* gedrängt; so werden Stäbchen, welche in einer schrägen Linie wie *ik* zusammenhaften, längs *ab* in der Richtung des Pfeiles *b* gleiten, während Stäbchen, welche in der Linie *lm* zusammenhaften, längs *dc* in der Richtung des Pfeiles *d*, also in entgegengesetzter Richtung gleiten. In Folge dieser Bewegungen treten die Stäbchen *i'k'* und *l'm'* an die Stelle von *ik* und *lm*. Wird die Stäbchenmasse in der Richtung des Pfeiles *A* gedrängt; so kehren sich Bewegungen nach den Pfeilen *a, c* um.

Diese Bewegungen der Stäbchenreihen *ik, lm* haben entsprechende scheinbare Gleitbewegungen der Querstriche an den Zöllner'schen Streifen zur Folge. Der Eintritt der Stäbchen *i'k'* in das Lichtbild *ik* hat die Wirkung, wie wenn sich das dem Bilde *ik* entsprechende Object an den Ort des dem Bilde *i'k'* entsprechenden Objectes bewegte. Diese Bewegung ist der Richtung *ii'* entgegengesetzt, also der Richtung *ii* oder der Gleitbewegung der Stäbchen *ik* längs *ab*, wie sie der Pfeil *b* angiebt, gleich. Den Bewegungen in der Netzhaut, welche durch die Pfeile *a, b, c, d* ... angegeben sind und welche durch die Schubkräfte *A* oder *B* erzeugt werden, entsprechen daher *scheinbare Bewegungen*, welche in Fig. 19 Taf. II mit den gleichnamigen Pfeilen *a, b, c, d* ... angedeutet sind. Da nun die letzteren scheinbaren Bewegungen bei der Drehung der Augenaxe nach den Pfeilen *A, B* erzeugt werden, so müssen mit diesen Drehungen der *Augenaxe* die durch die gleichnamigen Buchstaben *A, B* in Fig. 21 Taf. II angedeuteten Tendenzen zur *Verschiebung der Stäbchen* verbunden seyn.

Das ganze Bewegungsphänomen erklärt sich hiernach durch die Annahme, daß wenn sich das Auge nach irgend einer Seite, also in der beliebigen Richtung des Pfeiles *C* in Fig. 22 vermöge der Wirkung der *Augenmuskeln* dreht und zwar bis an die Gränze, welche diese Muskeln zulassen, die *Netzhaut etwas zurückbleibt*, sich also nach dem Pfeile *C'* in der Kugelschale verschiebt. Diese Annahme

ist deshalb sehr plausibel, weil bei starken Drehungen der *starke Sehnerv*, in welchem die Fasern der Netzhaut zusammenfließen, einen Widerstand erzeugen wird, welcher die Netzhaut etwas zurückhält.

Würde nun das Auge, indem es eine feste Stellung zu behaupten sucht, durch einen äußeren mechanischen Druck aus dieser Lage getrieben, so daß seine Axe sich in der Richtung des Pfeiles *A* in Fig. 23 und 19 dreht; so muß, weil jetzt die *Augenmuskeln* entgegengesetzt wirken, eine Verschiebung der Netzhaut nach der Richtung des Pfeiles *A'* erfolgen.

Hierdurch sind alle diejenigen vorstehenden Bewegungen erklärt, welche auf einer starken Drehung des Auges durch die *Augenmuskeln* oder durch *äußeren Druck* beruhen. Hinsichtlich der mit *Nahe- und Fernaccommodation* verbundenen Bewegungen brauchen wir dann nur noch die mit der letzteren Annahme harmonisirende Hypothese hinzuzufügen, daß bei der *Naheaccommodation*, wo sich das Auge nach innen dreht, eine Verschiebung der Netzhaut nach innen (Fig. 22) und daß bei der *Fernaccommodation*, wo sich das Auge nach außen dreht, eine Verschiebung der Netzhaut nach außen stattfindet.

Ich erlaube mir jetzt, einige auf der Verschiebung der Stäbchen beruhenden *stereoskopischen Täuschungen* zu besprechen. In Fig. 24 Taf. II ist eine *Zickzacklinie abcde* parallel mit sich selbst mehrmals übereinander gezeichnet. Wenn man diese Figur vertical hält, so erscheint sie *eben*.

Sowie man dieselbe aber *nach hinten* überneigt, erscheint *ch* als vorspringender, *bg* und *di* als zurückspringender Rücken, und die Täuschung verstärkt sich, je flacher die Ebene der Figur gehalten wird, wiewohl sich die scheinbare Erhöhung und Vertiefung der Rücken vermindert. Neigt man die Figur *nach vorn* über, so erscheint *ch* als zurückspringender, *bg* und *di* als vorspringender Rücken. Allgemein, wenn man der Ebene der Figur irgend eine beliebige Richtung und Stellung im Raume giebt, so erscheinen die Linie *bg*, *di* als erhobene Rücken

und die Linien *ch* als vertiefte Rinnen, sobald die Linie *fghik* weiter vom Auge entfernt ist, als die Linie *abcde*, und umgekehrt erscheinen die Linien *bg*, *di* als vertiefte Rinnen und die Linien *ch* als erhobene Rücken, sobald die Linie *fghik* dem Auge näher liegt, als die Linie *abcde*.

Zieht man durch die parallelen Querlinien *ab*, *fg* und *bc*, *gh* usw. parallel zu *af* Länglinien nach Figur 25, so verlieren dieselben bei der Ueberneigung der Fläche ihre pseudoskopische Ablenkung und erscheinen um so besser *parallel*, je mehr die Querlinien *geneigte Ebenen* zu bilden scheinen.

Wir sehen, pseudoskopische Ablenkung in der Ebene der Figur und pseudostereoskopische Abweichung von der Ebene dieser Figur stehen einander entgegen. Die Erklärung beider Effecte liegt in Folgendem.

Wenn *abcde* in Fig. 26 das Netzhautbild einer Zickzacklinie ist, so werden die darin liegenden Stäbchen nach Obigem längs der Linie *ab*, *bc*, *cd*, *de* zusammenrücken. Eine solche Zusammenrückung wird, da die jenseits *a* und *e* liegende Stäbchenmasse, besonders bei *paralleler Wiederholung der Zickzacklinie* einen gewissen *Widerstand* leistet, eine Abweichung der Stäbchenreihe *abcde* in die Lage *a'b'c'd'e'* zur Folge haben, wobei sich die einzelnen Strecken verkürzen, ohne die Endpunkte *a* und *e* so wesentlich zu verrücken, wie es ohne den Widerstand bei *a* und *e* geschehen würde. Die Stäbchen verschieben sich also in der Richtung der Pfeile, d. h. *gegen die Spitzen des Zickzacks im Netzhautbilde*. Die Figur *a'b'c'd'e'* hat *stumpferen Winkel*, als die Figur *abcde*: da aber in Folge dieser Verückung Stäbchen, welche auf der entgegengesetzten Seite des Netzhautbildes *abcde* liegen, in dasselbe hineinrücken; so wird das Zickzack mit *spitzeren Winkeln* erscheinen, als es wirklich hat. Letzteres gilt jedoch nur für den Fall, daß die Sehlinie normal auf der Ebene der Figur steht: sobald sich diese Ebene gegen die Sehlinie *neigt*, combinirt sich mit der eben bezeichneten Verschiebung der Stäb-

chen ein zweiter Effect, welcher folgendes Gesetz zur Grundlage hat.

Die Beweglichkeit der Stäbchen ist um so gröfser, je schlaffer die Accommodation ist, sie ist daher gröfser bei der Fernaccommodation, als bei der Naheaccommodation. Wenn das Auge von Lichtstrahlen getroffen wird, welche aus verschiedenen Entfernungen stammen, so ist, weil sich jede Nervenfaser für sich zu accommodiren strebt, die Beweglichkeit an denjenigen Stellen gröfser, wo die Lichtbilder der entfernteren Objecte liegen, als in den Stellen der Lichtbilder der näheren Objecte.

Halten wir nun die Ebene der Figur 24 normal zur Sehlinie, so sind von einem Zickzack wie *fghik* alle Punkte gleichweit vom Auge entfernt; es findet also in allen Ecken *g*, *h*, *i* eine gleiche Beweglichkeit der entsprechenden Stäbchen statt und es liegt kein Grund zu stereoskopischer Täuschung vor. Neigen wir aber die Ebene der Figur gegen die Sehlinie so, dafs sich das Zickzack *fghik* weiter entfernt, als das Zickzack *abode*; so liegt jede Ecke wie *g*, *i* vom Auge *entfernter*, als jede Ecke wie *h*; es findet also in den Ecken *g* eine gröfsere Beweglichkeit der Stäbchen statt, als in den Ecken *h*. Da sich im Netzhautbilde die Stäbchen gegen die Spitzen der Zickzacke bewegen, so tritt für die Ecke *g* ein weiter über dieselbe hinaus liegendes Stäbchen in das Netzhautbild ein, als für die Ecke *h*. Dieses weiter über die Ecke *g* des Netzhautbildes hinaus liegende Stäbchen entspricht aber einer Visirlinie, welche die Ebene der Figur jenseits *g*, etwa in *g'* trifft. Da nun das Auge in diesem Stäbchen auf die Entfernung des Punktes *g*, nicht auf die Entfernung des weiter entfernt liegenden Punktes *g'* accommodirt ist, so erscheint der Punkt *g* zwar in der Richtung, in welcher der Punkt *g'* liegt, aber in der Entfernung des Punktes *g*, mithin vor der Ebene der Figur, wie es durch Fig. 27 Taf. II erläutert ist. Hieraus folgt, dafs *bg* einen *erhobenen Rücken* zu bilden scheint. Die Punkte *h* erscheinen aus dem nämlichen Grunde *hinter* der Ebene der Figur; die Linie *oh*

erscheint also als *vertiefte Rinne*. Neigt man dagegen die Ebene der Figur so, daß sich das Zickzack *fg h i k* dem Auge nähert, so tritt das Umgekehrte ein, die Linien *bg* erscheinen als Rinnen und die Linien *ch* als Rücken.

Was nun den Widerstreit zwischen diesem pseudostereoskopischen Erscheinungen und der pseudoskopischen Ablenkung der Zöllner'schen Linien bei geneigter Lage der Ebene der Figur betrifft, so verschieben sich, wenn Fig. 28 Taf. II das Netzhautbild unserer Zickzackfigur mit Zöllner'schen Linien darstellt, die Stäbchen gegen die *Längestreifen* parallel zu den Pfeilen und *trennen* sich dabei an den Längestreifen, so daß also *abc* die Lage *a'b'c'* annimmt. Diese Bewegung waltet um so mehr vor, je mehr die geraden Längestreifen dominieren und demzufolge *steife Stäbchenreihen* bilden. Wenn die *Zickzackfigur* dominiert, findet keine Parallelverschiebung der kurzen Querreihen zwischen den Längestreifen, sondern eine *Drehung* derselben dergestalt statt, daß an den Längestreifen *keine Trennung* stattfindet, folglich *abc* in die Lage *ab''c* übergeht. Durch jene Trennung der Querreihen an den Längestreifen sind aber allein die Kräftepaare bedingt, welche die Längestreifen drehen und deren pseudoskopische Ablenkung erzeugen. Je mehr also die Zickzacke zur Geltung kommen, desto mehr wird die Ablenkung der Längestreifen erschwert, desto mehr tritt dieselbe mithin gegen den stereoskopischen Effect zurück. Zur größeren Geltung gelangen die Zickzacke aber durch die *Neigung* ihrer Ebene gegen die Sehlinie in solchen Richtungen, wo die Zickzacke am einen Ende sich nähern und die am anderen Ende sich entfernen, weil sich hierdurch das Netzhautbild der Längestreifen *verkürzt*, während das der Zickzacke nahezu dieselbe *Ausdehnung* behält.

Neigt man die Ebene der Figur so, daß alle Zickzacke *gleiche Entfernung* vom Auge behalten, indem man also die Linien *af* (Fig. 24) *normal zur Sehlinie* erhält, so behalten die Längestreifen ihre natürliche Ausdehnung im

Netzhautbilde; außerdem findet auf die einzelnen Theile eines Zickzackes nicht mehr die frühere Argumentation Anwendung, indem sich alsdann die von einer Ecke wie *g* ausgehenden Theile *gf* und *gh* nicht in gleicher Weise vom Auge entfernen, sondern *gf* sich nähert, während *gh* sich entfernt. Demzufolge erscheint die Zickzackfigur in diesem Falle nicht *stereoskopisch* und die Längestreifen behalten ihre pseudoskopische *Ablenkung*.

Indem sich die Stäbchen aus irgend einer Ursache *verschieben*, ändert sich auch mehr oder weniger ihre *Neigung* gegen die Netzhaut und die *Krümmung* der letzteren Haut. Hierin liegt eine Unterstützung der pseudoskopischen Erscheinungen, welche ich in §. 48 der physiologischen Optik betrachtet habe.

Außerdem ist mit dieser Verschiebung eine Veränderung der Wirkung der Stäbchen auf den Accommodationszustand der *Linse*, insbesondere auf die *Aberration* und die allgemeine *Zerstreuung* des Lichtes in den Durchgangsrichtungen, welche von den betreffenden Stäbchen beherrscht worden, verbunden. Hieraus entspringen die in §. 56 der physiologischen Optik beschriebenen *Irradiationserscheinungen* und *Lichtsäume* in gemusterten Flächen, deren stärkere und schwächere Entwicklung mit der fraglichen Affection der Stäbchen im innigsten Zusammenhange stehen.

Die stärkere und schwächere Zerstreuung des Lichtes ruft außerdem eine Täuschung über die *Helligkeit* des Objectes in gewissen Linien hervor oder erzeugt *pseudoskopische Lichter* und *Schatten*. Solche Zustände bieten zuweilen kein sehr stabiles Gleichgewicht dar, indem sich die Stäbchen unter mancherlei Einflüssen hin und her bewegen. Hieraus entspringt das *Wallen und Strahlen* gemusterter Flächen, wie es z. B. eine mit engen concentrischen Kreisen bezogene Fläche zeigt.

Schließlich sind neben den schon vorhin bezeichneten pseudoskopischen *Bewegungen* noch diejenigen zu erwähnen, welche daraus entstehen, daß Stäbchen, welche längere Zeit in einem abnormen Spannungs- oder Bewegungszu-

stande erhalten sind, in diesem Zustande noch eine Zeit lang nach dem Erlöschen der objectiven Ursache verharren, während sie gleichzeitig von anderen Objecten bestrahlt werden. Hieraus entspringen *Nachwirkungen*, welche den *Nachbildern* in Folge starker Intensitätswirkung analog sind. Wenn man z. B. lange und angestrengt auf eine bewegte Fläche, etwa auf einen Fluß gesehen hat, und alsdann den Blick auf eine feste Fläche wendet, ohne dieselbe jedoch scharf zu fixiren; so scheint diese Fläche in eine der früheren entgegengesetzte Bewegung zu gerathen. Mit der Bewegung des Lichtstrahles auf der Netzhaut ist nämlich die Neigung jedes berührten Stäbchens zum *Nachfolgen* verbunden. Vermöge der Fixation wird das wirkliche Nachfolgen verhütet, indem beim Fortrücken des Strahles das benachbarte Stäbchen die Fixation aufnimmt und in dem früher getroffenen Stäbchen nur die *Tendenz* zum Nachfolgen zurückläßt. Hört nun die Bewegung des Lichtstrahles auf, so dauert doch die Neigung der Stäbchen zur Fortrückung in der früheren Bewegungsrichtung des Netzhautbildes fort und gelangt jetzt auch zur Ausführung, wenn diese Stäbchen in Folge einer gewissen Ermüdung des Auges nicht durch scharfe Fixation an das neue Object gefesselt werden können. So wie sich aber die Stäbchen in dieser Richtung verschieben, tritt in einem späteren Momente ein rückwärts liegendes Stäbchen in einen vorderen Platz oder in das Netzhautbild des neuen Objectes, dieses Object scheint also in entgegengesetzter Richtung des früheren Objectes zu wandern.

Wenn irgend Etwas geeignet ist, die viel verbreitete Ansicht, daß das räumliche Sehen wesentlich auf *Ueberlegung* und auf *Erfahrung* beruhe, zu widerlegen, so sind es die im Vorstehenden betrachteten pseudoskopischen Erscheinungen. Wir *kennen* die *Unwahrheit* der Erscheinung, unser *Verstand* sagt uns, daß das Object eine ganz andere Gestalt habe, aber das Auge kümmert sich um keine Reflexion und keine Abstraction; es *sieht* nicht auf Grund *intellektueller*, sondern auf Grund *sensueller* Processe und zeigt uns demzufolge das Object genau nach Maßgabe

der *physiologischen Affectionen*. Dieselbe pseudoskopische Erscheinung in Beziehung auf *Form*, *Entfernung* und *Bewegung* stellt sich *jedem* Auge, sowohl dem Auge des klügsten Denkers, als dem Auge des dümmsten Idioten dar; sie entsteht auch *sofort* und ganz *bestimmt* beim Anblicke der Figur, bedarf also keiner *Erfahrung* und keiner *Uebung* zu ihrer Verwirklichung.

Wie das *Denken*, so ist auch das *Sehen* eine selbstständige, unabhängige organische Thätigkeit: der *Verstand* mit seinem materiellen Processe im großen *Gehirne* und das *Gesicht* mit seinem materiellen Processe im *Auge* und im *Sensorium* sind die selbstständigen *Vermögen* und *Organe* für jene Thätigkeiten. Sie *bedingen principiell einander nicht*; aber sie stehen als Eigenschaften eines und desselben einheitlichen Organismus in einem *gesetzlischen Zusammenhange*, in einer *Wachsehwirkung* und gegenseitigen *Beeinflussung*. Die letztere Beziehung zu einander hebt ihre principielle Unabhängigkeit nicht auf; vermöge des Verstandes bilden wir aus den *Gesichtseindrücken Begriffe* und vermöge des Gesichtes kleiden wir reine *Begriffe* in *räumliche Formen*. Der *Raum* ist ein subjectiver Zustand unserer *Sinnlichkeit*, speciell des *Gesichtes*, nicht ein subjectiver Zustand unseres *Denkvermögens*. Wie der Verstand den abstracten *Begriff* in die *Sinneserscheinung*, so trägt das *Auge* die Vorstellung des *Raumes* hinaus in die objective *Wirklichkeit* (vergl. §. 83 der physiologischen Optik.)

Ich beschliesse diese Untersuchungen über die pseudoskopischen Erscheinungen mit der Bemerkung, daß dieselben vorzüglich geeignet sind, Licht über das Wesen der *optischen Täuschungen* und der *Sinnestäuschungen überhaupt* zu verbreiten.

Die meisten Objecte, wie namentlich die optischen und akustischen, wirken nicht *unmittelbar*, sondern durch Vermittlung eines *Mediums*, z. B. der Luft, des Wassers, der Brille, des gefärbten Glases usw. auf unser Sinnesorgan ein. Ein solches Medium kann den objectiven Strahl mo-

difficiren, so daß derselbe in der Weise, wie er das Sinnesorgan trifft, nicht dem normalen Ausgange von dem *wirklichen* Objecte, sondern von dem *scheinbaren* Objecte entspricht. Diese Substitution des scheinbaren Objectes für das wirkliche, wie sie z. B. bei der Fatamorgana in Folge der Spiegelung, bei der Vergrößerung durch die Lupe, bei der Färbung durch ein farbiges Glas usw. eintritt, ist zwar auch eine Täuschung; allein diese Klasse von Erscheinungen, bei welchen nur der *äußere* oder *objective* Proceß *abnorm*, der *innere* oder *subjective* Proceß aber *normal* ist, so daß die *Sinneserscheinung dem physiologischen Sinnesprocesse* adäquat ist, gleichviel, ob diese Erscheinung dem *wirklichen* oder einem andern, *scheinbaren* Objecte entspricht, bietet keine Schwierigkeit der Erklärung dar, sondern nur diejenige Klasse, wo die Erscheinung oder das scheinbare Object dem in das Sinnesorgan eintretenden Strahlensysteme nicht entspricht.

Die gewöhnliche Ansicht geht dahin, daß eine Sinnes-täuschung der letzteren Art, mag sie die Form, die Farbe, die Intensität oder irgend eine Eigenschaft des sinnenfälligen Objectes betreffen, auf einem *psychischen Vorgange*, auf einem *Irrthume der Seele* über den Sinnesproceß, also auf einer *Abnormität zwischen dem geistigen und dem physiologischen Prozesse* beruhe. Ich halte diese Ansicht für entschieden falsch. Außer der vorhin erwähnten abnormen Beeinflussung des *objectiven* Processes durch ein äußeres Medium giebt es eine zweite Art von Abnormitäten, welche auf einer Beeinflussung des Processes durch das *Sinnesorgan selbst*, durch die Linse, durch den Glaskörper, durch die Stäbchen, durch die übrigen Schichten der Netzhaut, durch die Nervenfasern usw., überhaupt durch die Organe, welche den objectiven Proceß in den *physiologischen* umwandeln, und welche zwischen dem äußersten peripherischen Punkte des Sinnesorganes (der Hornhaut) und dem Sensorium liegen, beruht. Dieß ist die Klasse der eigentlichen *Sinnestäuschungen*. Wie eine solche Täuschung auch beschaffen seyn möge, *immer entspricht die Erscheinung dem*

physiologischen Prozesse; es handelt sich dabei nicht um eine Täuschung oder fehlerhafte Thätigkeit der *Seele*, sondern um eine ganz *normale Seelenthätigkeit*, welche nur deshalb eine falsche Vorstellung erweckt, weil der *physiologische Nervenproceß* nicht in normaler Weise dem objectiven Prozesse entspricht. *Die falsche Vorstellung ist immer durch den physiologischen Proceß nach den Gesetzen des Sinnesorganes zu construiren.*

Außer dieser Klasse der eigentlichen *Sinnestäuschungen* kommt die Klasse von Erscheinungen in Betracht, welche überall nicht durch *äußere Objecte* oder *objective Prozesse*, sondern durch *subjective Thätigkeiten* erweckt werden. Hierzu gehören die *Productionen* der *Phantasie*, welche durch die auf *Freiheit* gegründete *Geistesthätigkeit* hervorgerufen werden, und die *subjectiven Sinneserscheinungen*, welche durch *animalische Lebensprocesse* (veranlaßt durch Blut, durch Nerventhätigkeit, durch Stoffwechsel usw.) theils im peripherischen Sinnesorgane (wie die Nachbilder) theils im Sensorium, theils im Gehirne überhaupt, erzeugt werden. Die *Traumgestalten* und die *Visionen in der Krankheit* sind Combinationen dieser letzten beiden Thätigkeiten; der ursprüngliche Erreger ist jedoch die Vitalität oder der animalische Lebensproceß, welcher theils direct auf das Gehirn, also die Seelenthätigkeit, theils direct auf das Sensorium, theils direct auf das Sinnesorgan wirkt. *Im Traume* findet die directe Wirkung vornehmlich auf das *Sinnesorgan*, in der *Krankheit* dagegen vornehmlich auf das *Gehirn* statt. In allen diesen Fällen, wo kein *objectiver* Proceß vorhanden ist, wird meines Erachtens doch immer der sensuelle oder physiologische Proceß, welcher der Erscheinung entspricht, vom Gehirne her im Sensorium und von da aus in der Richtung der sensuellen Nerven bis in das Sinnesorgan (soweit dasselbe vorhanden ist) hervorgerufen, in sofern derselbe nicht schon in einem dem peripherischen Sinnesorgane näher gelegenen Punkte der Nervenleitung erzeugt wird.