

XVIII.

Ueber die

Wirkung punktförmiger Diaphragmen auf das Sehen (sammt Zusatz).

[*Wiener akadem. Sitzungsberichte 1854 u. 1855 (Physiologische Studien).*]

(Hierzu Fig. 3, 4 auf Taf. 11, Fig. 5 auf Taf. 12, Fig. 1, 2, 5 auf Taf. 14 und Fig. 6 u. 7 auf Taf. 15).

Bringt man ganz nahe vor das Auge ein Kartenblatt oder ein Stück dünnen Bleches, in welchem eine sehr feine, punktförmige Oeffnung angebracht ist, so wird 1. ein nur sehr kleiner Theil der Lichtstrahlen, welche von den, vor dem Auge gelegenen Objecten herkommen, durch die feine Oeffnung in das Auge gelangen, während der übrige Theil der Strahlen durch den undurchsichtigen Schirm abgehalten wird, und 2. erleiden die durchgelassenen Strahlen eine Dispersion durch die Ablenkung, welche der Rand der Oeffnung auf die an ihm vorbeistreichenden Strahlen ausübt.

Die am Ende von Nr. XVII erwähnten Wirkungen der feinen Löchelchen im Kartenblatte auf den Accommodationszustand und das Netzhautbild erklären sich aus der Verkleinerung der in das Auge gelangenden Strahlenkegel und aus der Dispersion der Strahlen am Rande der Oeffnung. Im Folgenden soll diese Erklärung ausgeführt werden, doch will ich vorher die zu betrachtenden Erscheinungen genauer angeben, welche man beim Sehen durch feine Oeffnungen wahrnimmt.

A. Beim Sehen durch eine feine Oeffnung wächst die Vereinigungsweite der Lichtstrahlen, das Löchelchen wirkt wie eine concave Brille oder Zerstreungsglas.

B. Die Undeutlichkeit der Bilder von Gegenständen, welche nicht in der Accommodationslinie i. e. S. liegen, wird sehr vermindert, wenn man durch ein feines Löchelchen sieht.

C. Accommodirt man für die Ferne, und richtet seine Aufmerksamkeit auf ein sehr nahes Object, oder nähert ein Object dem Auge bis über den Nahepunkt, so dass das Auge nothwendig für einen entfernteren Punkt accommodirt ist, so erscheint dieses Object undeutlich, schiebt man nun ohne sonst etwas zu ändern, ein durchstochenes Kartenblatt zwischen das Object und das Auge, und sieht dann durch das Löchelchen nach dem Object, so erscheint dasselbe relativ deutlich, zwar lichts wach, aber vergrössert.

D. Kehrt man die Bedingungen um, accommodirt man also für die Nähe, und richtet die Aufmerksamkeit auf ein fernes Object, so wird dieses undeutlich erscheinen. Schiebt man nun wieder das Kartenblatt mit dem Löchelchen vor das Auge, so sieht man jenes Object mit relativer Deutlichkeit, aber verkleinert.

Je näher der Accommodationspunkt dem Auge liegt, desto auffallender tritt *caeteris paribus* die Verkleinerung des Bildes hervor. Wenn man, während das Auge durch das Löchelchen nach fernen Objecten sieht, abwechselnd für die Nähe und dann für die Ferne accommodirt und sämtliche Accommodationszustände stetig durchläuft, so bemerkt man, dass die gesehenen Objecte in Bewegung gerathen, sich dem Auge nähern und von demselben sich entfernen.

Und zwar in dem Maasse, als sich der Accommodationspunkt dem Auge nähert, verkleinern sich die fernen Objecte und weichen zugleich zurück. Rückt man hingegen den Accommodationspunkt wieder nach seiner alten Stelle, oder gar noch weiter vom Auge ab, so scheinen die Objecte sich wieder dem Auge zu nähern und grösser zu werden.

Es giebt wohl noch mancherlei andere Erscheinungen, welche beim Sehen durch punktförmige Diaphragmen zu beobachten sind, allein ich beschränke mich auf die Besprechung der hervorgehobenen Thatsachen, da dieselben für uns von Wichtigkeit sind.

Ad A. Wenn die Zerstreung des durch das Löchelchen tretenden Strahlenkegels auch nur unbedeutend ist, so ist dieselbe doch vorhanden, und muss eine, wenn auch unbedeutende Vergrösserung der Vereinigungsweite der Lichtstrahlen bedingen, da die stärker divergirenden Strahlen des zerstreuten Lichtkegels von einem näher gelegenen Punkte zu kommen scheinen, welchem, nach bekannten Gesetzen, eine grössere Vereinigungsweite entspricht.

Dieser Umstand kann nicht ganz ohne Einfluss auf den Accommodationszustand bleiben, und es ergiebt sich hieraus, dass die Bestimmung der Accommodationsverhältnisse eines Auges, welches dabei durch ein feines Löchelchen sieht, nicht vollkommen richtig ausfallen kann.

Ad B. Das auffallende Deutlicherwerden stark zerstreuter Bilder durch die Anwendung punktförmiger Diaphragmen erklärt sich durch die bedeutende Verkleinerung der Zerstreuungskreise, von deren Grösse ja die Undeutlichkeit der Bilder hauptsächlich abhängt. Da das kleine Löchelchen nur den kleinsten Theil des einfallenden Strahlenkegels in das Auge gelangen lässt, so kann unter übrigens gleichen Umständen auch nur der kleinste Theil des Zerstreuungskreises übrig bleiben. Wird nun auch durch die Dispersion der Strahlen, am Rande des Löchelchens, der Durchmesser der Zerstreuungskreise wieder etwas vergrössert, immer bleibt der gegenwärtige Durchmesser der Zerstreuungskreise gegen den früheren, welchen dieselben ohne das punktförmige Diaphragma hatten und haben würden, noch bedeutend klein und das Bild daher relativ deutlich.

Ein mit einem durchlöcherten Kartenblatt armirtes Auge verlängert aus diesem Grunde alle seine Accommodationslinien i. e. S., und ändert daher seine ursprünglichen Accommodationsverhältnisse wesentlich.

Ad C. Die Grösse, in welcher wir einen Gegenstand sehen, hängt von mehreren Momenten ab, und ist keine unmittelbare Wahrnehmung. Unter übrigens gleichen Umständen steht die gesehene Grösse des Objectes in geradem Verhältnisse zu der Grösse des Netzhautbildchens. Deshalb wollen wir zunächst untersuchen, welche Dimensionen das Netzhautbildchen unter den oben vorausgesetzten Umständen haben wird.

Das Auge ist für die Ferne accommodirt, die Vereinigungsweiten der Lichtstrahlen, welche von nahen Objecten kommen, fallen somit hinter die Netzhaut. Steht der Gegenstand in der vorderen Focalebene, so sind die Vereinigungsweiten unendlich weit hinter der Retina gelegen, d. h. dann laufen die Strahlen der einzelnen Lichtkegel im Glaskörper parallel. Befindet sich der Gegenstand zwischen dem vorderen Brennpunkt und der Oberfläche der Cornea, so werden die Vereinigungsweiten negativ, d. h. es divergiren die im Glaskörper verlaufenden Strahlen der einzelnen Lichtkegel, und schneiden sich virtuell in einem vor der Linse gelegenen Punkte. Das Bild des Objectes wird aus sehr grossen Zerstreuungskreisen zusammengesetzt, und muss daher sehr undeutlich erscheinen.

Die Umrisse dieses zerstreuten Bildes haben aber viel grössere Dimensionen als die Umrisse des entsprechenden Objectes. Denkt man sich nun das durchlöcherte Kartenblatt zwischen Object und Auge geschoben, so werden die Zerstreuungskreise auf ein Minimum reducirt, indem das Kartenblatt die grössere Menge der Strahlen der ein-

zelen Lichtkegel auffängt. Die Strahlen, welche durchgelassen werden, sind aber jene, welche sich in den äussersten Lichtkegeln an dem Theile der Peripherie befinden, welcher zunächst an der optischen Axe liegt.

Das Object erscheint daher in einem relativ deutlichen und vergrösserten Bilde, welches jedoch lichtschwach ist.

In Fig. 3 und 4 (Taf. 11) soll diese schon von HENLE gegebene Erklärung der Vergrösserung versinnlicht werden; für die Fälle, wo der Gegenstand in oder vor der vorderen Focalebene steht. HENLE hat in MÜLLER's Physiologie, S. 340, die Construction für den Fall gegeben, wo das Object hinter der vorderen Focalebene liegt, und die Strahlen im Glaskörper divergirend verlaufen.

Nach dieser Construction, welche immer ein ähnliches Resultat giebt, wenn nur die Differenz zwischen den Entfernungen des Objectes und des Accommodationspunktes eine bedeutende Grösse erreicht, begreift man vollständig die bedeutende Vergrösserung des Bildes. Um aber eine möglichst vollständige Erklärung des Phänomens zu geben, müssen wir noch auf ein subjectives Moment, welches hierbei thätig ist, Rücksicht nehmen. Ich meine die Schätzung der Grösse eines und desselben Stückes der Netzhaut, beim Sehen in der Ferne und der Nähe. Bekanntlich erscheint uns dieselbe Stelle der Netzhaut beim Blick in die Ferne ungleich grösser, als sie uns erscheint, wenn wir das Auge für die Nähe accommodiren. Hiervon kann man sich leicht überzeugen, wenn man sich ein kräftiges Blendungsbild erzeugt, und dann bei geschlossenem oder offenem Auge abwechselnd für die Ferne und für die Nähe accommodirt.

Das Moment kommt nun bei der Vergrösserung des Bildes in Betracht. Das Auge ist in unserem Versuche nach der Voraussetzung für die Ferne eingerichtet. Der dem Auge nahe gerückte, durch das Löchelchen betrachtete Gegenstand müsste uns also selbst in dem Falle, dass sein Retinabildchen dieselbe Grösse hätte, oder gar um ein Bestimmtes kleiner geworden wäre, als es ist, wenn uns der Gegenstand in seiner natürlichen Grösse erscheint, noch vergrössert vorkommen. Da nun aber unter den angegebenen Umständen das Retinabild überdies aus optischen Gründen objectiv grösser ist, so muss uns die Vergrösserung des Objectes um so bedeutender scheinen.

Vergrössert man künstlich die Brennweite des Auges, so tritt die Vergrösserung, welche begreiflicher Weise unter gewöhnlichen Umständen nur für relativ nahe Objecte stattfinden kann, selbst für entferntere Gegenstände ein, wie folgender Versuch lehrt.

Ich brachte das Auge unter Wasser, indem ich das von mir beschriebene Orthoskop (Nr. VII) anwendete, und blickte durch die mehr als Zoll dicke, das Auge umspülende Wasserschicht nach dem mehr als 4 Klaftern entfernten Fenster. Da das Auge, welches durch die Wasserschicht der optischen Wirkung der Cornea beraubt war, ungeheuer weitsichtig wurde, so konnte ich in dieser Entfernung Nichts deutlich wahrnehmen.

Brachte ich nun aber ein durchbohrtes Kartenblatt vor das Auge, so erschien mir das Fenster zwar schattenhaft und sehr lichtschwach, aber ungemein vergrössert, und mit ziemlich scharfen Umrissen.

Ad D. In diesem Falle lässt sich durch die Betrachtung der optischen Verhältnisse eine objective Verkleinerung des Retinabildchens, und zugleich der in demselben Sinne wirkende Einfluss des schon im vorigen Falle erörterten subjectiven Momentes nachweisen, so dass die Erklärung des Phänomens keinem Zweifel unterliegt.

Da das Auge für die Nähe accommodirt ist, so muss das Bild eines entfernten Objectes vor die Netzhaut fallen (vergl. Taf. 12, Fig. 5). Das Löchelchen des Kartenblattes, welches vor das Auge geschoben wird, bedingt auch hier durch Verkleinerung der Zerstreungskreise eine grössere Klarheit des Bildes, welches in dem Maasse sich verkleinert, als die Vereinigungsweiten der Lichtstrahlen, durch das Accommodiren für die Nähe weiter vor die Retina fallen, indem dann die durchgelassenen Lichtstrahlen, welche von den äussersten Punkten *a* und *b* des Objectes ausgehen, stärker convergiren. Das Bild wird also in der That objectiv kleiner, und hierzu kommt noch die schon oben erörterte Schätzung der Grösse des Retinabildchens, welche, da das Auge für die Nähe accommodirt wird, das Bildchen noch kleiner erscheinen lässt. Warum mit dem Kleinerwerden des Bildes der Gegenstand zugleich in der Dimension der Tiefe sich zu entfernen scheint, bin ich genügend zu erklären nicht im Stande, glaube aber, dass, da eine stetige Verkleinerung des Seh winkels, sowohl durch stetiges Verkleinern des Objectes, als durch stetiges Entfernen desselben hervorgebracht werden kann, der Verstand durch ein noch nicht näher zu bezeichnendes Moment bestimmt wird, das Phänomen in der letzteren Weise auszudeuten und anzuschauen. Wir haben hier den merkwürdigen Fall, dass eine stereoskopische Anschauung durch ein einziges Auge vermittelt wird.

Je kleiner das Löchelchen ist, welches man bei den beschriebenen und erklärten Versuchen anwendet, desto lichtärmer und desto schärfer begrenzt wird das Retinabildchen erscheinen.

Will man die objective Vergrösserung des Retinabildchens im

ersten, die Verkleinerung des Retinabildchens im zweiten Falle auf einen möglichst hohen Grad bringen, so muss man, abgesehen von dem schon oben erwähnten Verhältnisse, zwischen der Entfernung des Accommodationspunktes und des Objectes noch die Stellung des durchbohrten Kartenblattes reguliren. Eine genauere Betrachtung der gegebenen Constructionen (Fig. 3, 4 und 5), wird zu der Einsicht führen, dass die Oeffnung des Kartenblattes an dem Punkte stehen muss, wo sich die Strahlen ac und bd kreuzen, wenn in beiden Fällen der grösste Werth erreicht werden soll, denn diese Strahlen sind es, welche den gewünschten grössten und kleinsten Umriss des Retinabildchens verzeichnen. Das Experiment bestätigt meine Angabe. Nähert man das durchbohrte Kartenblatt so weit als möglich der Cornea, so kann man sicher sein, dass das Löchelchen nicht an dem von mir bezeichneten Platze, dem Durchkreuzungspunkte der Strahlen ac und bd steht, und es zeigt der Versuch, dass die Vergrösserung im ersten, die Verkleinerung im zweiten Falle bei weitem nicht so bedeutend ausfällt, als wenn das Kartenblatt etwas von der Cornea abgerückt wird. Dies gilt besonders für den zweiten Fall, da der angegebene Durchkreuzungspunkt für Strahlen, die von entfernten Objecten kommen, viel weiter vom Auge abliegt als für Strahlen, die nahe Objecte aussenden.

Die Ungenauigkeit des Verfahrens, welches wir oben zur Bestimmung der beiden Accommodationslinien (Nr. XVII) brauchten, leuchtet aus dem über die Verkleinerung der Netzhautbildchen Gesagten von selbst ein.

Wie die geringe Grösse der Oeffnung der Pupille diese Versuche stören kann, ergibt sich leicht aus der Betrachtung der mitgetheilten Constructionen.

Die Beschattung des Auges durch das Kartenblatt ist der Erweiterung der Pupille und dem Gelingen der Versuche förderlich.

Zusatz.

a) Ich habe oben die Beobachtung mitgetheilt, dass, wenn man durch ein feines Löchelchen entfernte Gegenstände fixirt und dabei für die Nähe accommodirt, dieselben auffallend kleiner werden und zugleich in der Dimension der Tiefe deutlich zurückweichen; dann aber wieder grösser werdend hervortreten, wenn man für die Ferne accommodirt.

Die Bedingungen des Kleinerwerdens der entfernten Gegenstände durch die Accommodation für die Nähe glaube ich in obiger Abhandlung erschöpfend erörtert zu haben und weiss daher in dieser Bezieh-

ung nichts hinzuzufügen. Wenn ich trotzdem auf die mitgetheilte Beobachtung zurückkomme, so geschieht dies, um durch die allseitige Erörterung der Bedingungen des Versuches jenes Moment aufzufinden, welches den Verstand bestimmt, die stetige Verkleinerung der Bilder, welche sowohl durch allmähliches sich Verkleinern der Objecte, als durch allmähliches Entfernen derselben in der Dimension der Tiefe, hervorgebracht sein könnte, gerade nur in der letzteren Weise auszudeuten und anzuschauen. In der Vergrößerung und Verkleinerung des Gesichtswinkels, unter welchem die Objecte erscheinen, kann man offenbar die Erklärung dieser Thatsache nicht finden, denn man begriffe dann nicht, warum gerade die zweite und nicht vielmehr die erste Möglichkeit der Auffassung Wirklichkeit wird. Die Veränderung der Grösse des Gesichtswinkels bedingt an und für sich keine scheinbare Verrückung der gesehenen Objecte in der Dimension der Tiefe. Erst wenn gewisse andere Momente hinzukommen oder wegfallen, erhält die Veränderung des Gesichtswinkels in der Anschauung eine bestimmte Deutung und bestimmten Werth. Unser Urtheil über die Entfernung eines Gegenstandes in der Dimension der Tiefe, wird bekanntlich wesentlich durch den Convergenzwinkel der Sehaxen und durch den Zustand des Accommodationsapparates, ferner in zweiter Linie auch durch die relative Lichtstärke und »vielleicht« durch die verschiedene Grösse der Zerstreungskreise, unter welchen die Gegenstände erscheinen, bestimmt. ¹⁾

Was die Art angeht, in welcher diese Momente unser Urtheil bestimmen, so gilt, unter übrigens gleichen Umständen Folgendes.

Ad 1. Je stärker die Augenaxen convergiren müssen, um auf einem Gegenstande einzuschneiden, desto näher erscheint uns derselbe und umgekehrt.

Ad 2. Die Gegenstände erscheinen uns um so näher, je grösser die Anstrengungen sind welche die Muskeln des Einrichtungsapparates machen müssen, um das Auge für divergirende Strahlen, d. h. für die Nähe zu accommodiren und das Bild deutlich zu entwerfen, und vice versa. Ich erinnere hier namentlich an die scheinbare Entfernung oder Näherung eines auf der Retina vorhandenen Blendungsbildes, je nachdem das Auge für die Ferne oder die Nähe accommodirt wird.

Ad 3. Nach LUDWIG gewinnt die Lichtstärke nur »jenseits der deutlichen Sehweite und in Abständen, in welchen die Gegenstände mit fast parallelen Strahlen aufgefasst werden, Einfluss auf die

¹⁾ Vgl. LUDWIG: Lehrbuch der Physiologie des Menschen. 1853, Bd. I, S. 253.

Schätzung der Entfernung, keinesfalls aber innerhalb der deutlichen Sehweite«. Dies scheint mir jedoch unrichtig zu sein, indem es dann unbegreiflich wäre, auf welche Art Maler auf der Leinwandfläche durch Vertheilung von Licht und Schatten plastisch hervortretende Relieffiguren zu Stande bringen könnten u. s. w. Uebrigens hat CRAMER einige Versuche angegeben, welche LUDWIG'S Behauptung widerlegen, indem sie beweisen, dass auch innerhalb der deutlichen Sehweite lichtstärkere Gegenstände näher, lichtschwächere entfernter zu stehen scheinen. CRAMER¹⁾ fand nämlich, dass die Projection einer stereometrischen Figur, welche man nach NECKER'S Bemerkung in doppelter Weise auffassen kann²⁾ sich in einer bestimmten Weise der Vorstellung aufdringt, wenn der Theil der Figur, welcher hervortreten soll lichtstärker gezeichnet ist als der Theil, welcher zurücktreten soll.

»Meer in het oogvallend, sagt CRAMER³⁾, dat het meest lichtsterke zich als het naastbij zijnde aan ons voordoet, zien wij dit nog aan het volgen Fig. 5, *a*, *b* (vergl. Fig. 5, Taf. 14), zij een korte glazen cilinder. Men kan nu bij deze figuur naar willekeur de opening *a* als de voorste en *b* als de achterste beschouwen, of ook wel omgekeerd *b* als de voorste opening — waar men inziet — aanmerken, en *a* als de achterste — waardoor men weêz uitziet.

Zoodra echter de cirkels ongelijk van lichtsterkte zijn, zoo als bij Fig. 6 en 7 (vergl. 6 und 7, Taf. 15), dringt sich de lichte cirkel in onze voorstelling onwillekeurig als de voorste opening van den cilinder aan ons op, men kan bij Fig. 6 alleen tot de opening *a* in-en door de opening *b* uitzien, terwijl juist het omgekeerde met Fig. 7 plaats heeft.«

So richtig im Ganzen CRAMER'S interessante Beobachtung ist, so geht derselbe doch entschieden zu weit, wenn er glaubt, dass man in Fig. 6 nur durch die Oeffnung *a* hinein, durch die Oeffnung *b* hinaus schauen kann. Mir gelingt es wenigstens stets, nach Willkür in Fig. 6 die Stellung des Glaseylinders auch so aufzufassen, dass ich durch die Oeffnung *b* hinein, durch die Oeffnung *a* hinauszuschauen meine, ob schon sich allerdings eine grössere Anstrengung dabei fühlbar macht, als bei Betrachtung der Fig. 5. Diese Anstrengung rührt offenbar daher, dass der lichtschwächere Cirkel als der nähere, der lichtstärkere

¹ CRAMER: Bijdrage tot de Verklaring der zoogenaamde Irradiatie-Verschynselen. Nederl. Lancet, 1854; 3. Serie, 3. Jaarg.

² Eigentlich kann man sie in 3 facher Weise: 1. als ebene Zeichnung, und dann noch in doppelter Weise als körperliche Figur auffassen.

³ A. a. O. S. 17.

aber, als der entferntere aufgefasst werden soll. Denn beschaut man Fig. 6 und 7 ganz unbefangen, so wird sich einem die von CRAMER angegebene Auffassung immer von selbst aufdringen, woraus eben der Einfluss der relativen Lichtstärke auf die Schätzung der Entfernung auch innerhalb der deutlichen Sehweite ersichtlich wird: und dieser Einfluss muss im Falle, dass der lichtschwächere Cirkel als der nähere aufgefasst werden soll, überwunden werden.

Schliesslich bemerke ich noch beiläufig, dass man Fig. 5 am leichtesten als ebene Zeichnung auffasst, indem bei jeder der beiden anderen Auffassungen der eine der Kreise als der vordere, der andere als der hintere betrachtet werden soll, obschon der erstere eben so lichtstark ist, als der letztere.

Ad. 4. Was die Grösse der Zerstreungskreise, als bestimmendes Moment für die Auffassung der Dimension der Tiefe anbelangt, so fand ich bei LUDWIG a. a. O. keine hinreichend bestimmten und detaillirten Angaben.

Ich sah mich genöthigt den Gegenstand selbst genauer zu verfolgen. Es wird sich zeigen, dass es gerade dieses Moment ist, welches in unserem Falle besonders thätig und wirksam auftritt. Das Wachsen und Abnehmen der Zerstreungskreise bringt, nach meinen Beobachtungen hinsichtlich der Beurtheilung der Entfernung des betreffenden Gegenstandes, entgegengesetzte Wirkungen hervor, je nachdem der Gegenstand diesseits oder jenseits des Accommodationspunktes liegt.

Betrachte ich monocular eine wohlpolirte Nadel in beliebiger Entfernung und accommodire mein Auge für die Nähe, so dass der Accommodationspunkt näher an das Auge rückt und die Nadel immer weiter jenseits desselben zu stehen kommt, so scheint die Nadel in dem Maasse als sie in Zerstreungskreise zerfährt, in der Dimension der Tiefe zurückzuweichen. Die Nadel scheint jedoch in dem Maasse wieder hervorzutreten, als ihre Umriss sich aus dem schwindenden Nebel der Zerstreungskreise durch die entgegengesetzte Accommodationsthätigkeit wieder schärfer herausheben.

Hält man die Nadel näher ans Auge und accommodirt für die Ferne, wobei die Nadel diesseits des Accommodationspunktes zu liegen kommt, so findet mit dem Wachsthum der Zerstreungskreise kein Zurückweichen des zerstreuten Bildes vom Auge, sondern im Gegentheil eine scheinbare Näherung desselben zum Auge statt, während mit der Abnahme der Zerstreungskreise die Nadel statt wie früher hervorzutreten, auf ihren alten Platz zurückrückt.

Nach dem Gesagten halte ich mich für berechtigt, folgenden

Satz auszusprechen: Ein diesseits des Accommodationspunktes befindlicher Gegenstand wird um so näher, ein jenseits des Accommodationspunktes befindlicher um so entfernter erscheinen, je grösser die Zerstreuungskreise sind, welche an ihm wahrgenommen werden.

Wir haben nun zu untersuchen, welche besondere Combination der erörterten vier, unser Urtheil bestimmenden Elemente in dem oben angeführten Versuche wirksam sind.

Die durch ein Löchelchen betrachteten entfernten Gegenstände scheinen in der Dimension der Tiefe zurückzuweichen, während:

1. der Convergenzwinkel der Augenaxen grösser wird, indem sich das geschlossene Auge bei der Accommodation für die Nähe nach einwärts dreht;
2. der optische Apparat für die Nähe eingerichtet wird;
3. die sich verkleinernden Bildchen lichtschwächer, und
4. zugleich, durch die Vergrösserung der Zerstreuungskreise, undeutlicher werden.

Kehren sich die aufgezählten Bedingungen um, so folgt unabänderlich die entgegengesetzte Auffassung der Verhältnisse — die sich vergrössernden Gegenstände scheinen an den Beobachter näher heranzutreten.

Sehen wir nun zu, in welcher Art die einzelnen Elemente, welche unser Urtheil über die Dimension der Tiefe bestimmen, thätig sind, so werden wir zunächst die Vergrösserung des Convergenzwinkels, welche ohnedies ein Nähertreten und nicht ein Zurückweichen der Gegenstände zur Folge haben müsste, in unserem Falle als bedeutungslos und wirksam erklären müssen, da nur mit Einem Auge gesehen wird.

Die Accommodation für die Nähe, welche *caeteris paribus* eine Verkleinerung und Näherung des gesehenen Gegenstandes bedingt, wirkt in der einen Richtung, hinsichtlich der Verkleinerung der Objecte, welche factisch eintritt (vergl. die vorstehende Abhandlung), ungehindert, wird aber in der andern Richtung ihres bestimmenden Einflusses — hinsichtlich der scheinbaren Näherung des Objectes, welche hier gerade in das Gegentheil umschlägt, durch andere gleich anzugebende Momente überwogen und vollständig gebunden.

Diese anderen entgegengesetzt wirkenden Momente, welche uns bestimmen, die sich verkleinernden Gegenstände zugleich als zurückweichend aufzufassen, sind die Abnahme der Lichtstärke und die Zunahme, d. h. Vergrösserung der Zerstreuungs-

kreise, welche letztere, da sie hier, bei jenseits des Accommodationspunktes gelegenen Objecten (vergl. oben ad 4) auftritt, ein scheinbares Zurückweichen derselben bedingt.

Da beim Accommodiren des Auges für die Ferne alle erörterten Umstände sich umkehren, so hat es keine Schwierigkeit einzusehen, dass auch unser Urtheil über die Richtung der scheinbaren Bewegung in der Dimension der Tiefe in entgegengesetzter Weise ausfällt.

Dass die erörterte Erscheinung wirklich durch die angegebenen Momente bedingt wird, und nicht etwa eine nur durch die schnelle Veränderung des Gesichtswinkels, unter welchem die Objecte erscheinen, gesetzte Täuschung ist — obschon ich die Möglichkeit einer solchen Täuschung nicht absolut leugnen will, — ersieht man leicht daraus, dass kaum eine Spur des scheinbaren Vor- und Zurücktretens bemerkt wird, wenn man den Versuch so einrichtet, dass alle jene Momente, welche nach unserer Meinung die Erscheinung bedingen, wegbleiben.

α) Ich zeichnete auf eine sogenannte STAMPFER'sche Wunderscheibe eine Reihe von Kreisen, deren Durchmesser nach der einen Seite immer kleiner und kleiner genommen wurden, bis die Reihe endlich mit einem Punkte schloss. Betrachtete ich nun diese Zeichnung durch die mit Spalten versehene Durchsichtsscheibe, so erschienen mir, je nachdem ich nach rechts oder nach links drehte, Kreise, die zu Punkten zusammenschrumpften oder Punkte, die sich zu Kreisen ausdehnten — ich konnte jedoch nichts von einem Hervor- oder Zurücktreten der Kreise und Punkte bemerken.

β) Betrachtet man einen verticalen nach unten an Dicke zunehmenden Strich durch ein feines Löchelchen, indem man denselben in gleichbleibender Entfernung senkrecht auf- und abschiebt, so dass das von dem Strich gesehene Stück stetig an Grösse ab- und zunimmt, so müsste, wenn die Vergrößerung und Verkleinerung des Gesichtswinkels, unter welchem die Objecte erscheinen, das Vor- und Zurücktreten in die Dimension der Tiefe wesentlich bedingte, der Strich sich zu nähern und zu entfernen scheinen. Dies habe ich jedoch nicht beobachten können, sondern der Strich schien mir einfach dicker und dünner zu werden, ohne seine scheinbare Entfernung zu ändern.

b) Bei dem Versuche, wo man einen nahe an das Auge gehaltenen Gegenstand durch das feine Löchelchen im Kartenblatte bedeutend vergrössert sieht, wenn das Auge für eine grössere Entfernung accommodirt ist, habe ich bei willkürlicher Veränderung des Accommodationszustandes nur Spuren einer solchen Bewegung der Gegenstände

in der Dimension der Tiefe und eines solchen Grössenwechsels derselben wahrnehmen können.

Dies kann nicht Wunder nehmen, da unter den obwaltenden Bedingungen die Veränderung des Accommodationszustandes factisch weder eine merkliche Vergrößerung und Verkleinerung der Bilder, noch einen auffallenden Wechsel der Lichtstärke, noch auch eine hinreichende Zu- und Abnahme der Zerstreuungskreise setzt.

Ueberdies wirkt das Moment der relativen Lichtstärke, welches im vorigen Falle (vgl. oben unter a) gleichsinnig mit dem Momente des Wachsthumes der Zerstreuungskreise wirkte, hier demselben entgegen.

Unter den obwaltenden Verhältnissen werden nämlich, wenn man überhaupt Spuren einer Veränderung merkt, beim Accommodiren für die Nähe die sich verkleinernden Bilder lichtstärker und optisch deutlicher, beim Accommodiren für die Ferne hingegen lichtschwächer und optisch undeutlicher.

Da die gesehenen Gegenstände im vorliegenden Falle diesseits des Accommodationspunktes gelegen sind, so ist mit der Verkleinerung der Zerstreuungskreise ein Zurückweichen, mit der Vergrößerung derselben ein Nähertreten, wie man Spuren davon wirklich bei angestregten Accommodationsbewegungen beobachten kann, verknüpft; während die Verhältnisse der Lichtstärke, welche im ersten Falle zu- im zweiten Falle abnimmt, gerade die entgegengesetzte Beurtheilung der Bewegung der Gegenstände in der Dimension der Tiefe verlangen. Die entgegengesetzten Wirkungen dieser beiden Momente heben sich in der Art auf, dass das erstere mit einem geringen Ueberschusse die Oberhand behält und das Urtheil ganz allein bestimmt. Dieser Ueberschuss wird jedoch noch etwas abgeschwächt, indem ein Theil desselben den Einfluss der Accommodationsthätigkeit, die gerade so wie im vorigen Falle (sub a) in entgegengesetztem Sinne wirkt, bindet und unschädlich macht. Da zu den an und für sich unbedeutenden Veränderungen noch solche Hemmungen hinzukommen, so ist es wohl begreiflich, warum die scheinbare Entfernung und Näherung der Gegenstände in dem eben besprochenen Falle weit unbedeutender ausfallen muss, als in dem sub a erörterten Falle; dort hat man es mit fernen, hier mit sehr nahen Gegenständen zu thun.

c) Eine wesentliche Bestätigung erhält der von mir sub a) ad 4 aufgestellte Satz über die Art, in welcher der Grössenwechsel der Zerstreuungskreise unser Urtheil über die Entfernung eines diesseits oder

jenseits des Accommodationspunktes gelegenen Gegenstandes bestimmt, durch die folgenden Versuche und Betrachtungen.

Ich habe schon oben angegeben, dass man bei den Versuchen mit punktförmigen Diaphragmen unter übrigens gleichen Umständen aus rein optischen Gründen eine um so bedeutendere Vergrößerung oder Verkleinerung der betrachteten Gegenstände erzielt, je mehr man die punktförmige Oeffnung des Kartenblattes dem Durchkreuzungspunkte der Strahlen bd und ac nähert (vgl. Fig. 3, 4 und 5 Taf. 11 u. 12). Die bedeutendste Vergrößerung oder Verkleinerung erzielt man natürlich, wenn man die punktförmige Oeffnung mit diesem Durchkreuzungspunkte zusammenfallen lässt. Von der Beugung der Lichtstrahlen am Rande der Oeffnung sehe ich hier vorläufig ganz ab. Wenn man einen Gegenstand nahe vor das Auge bringt, während das Auge für die Ferne accommodirt ist, so dass derselbe diesseits des Accommodationspunktes zu liegen kommt, und dann zwischen Gegenstand und Auge ein durchlöchertes Kartenblatt bringt, so sieht man den Gegenstand, wie bereits erörtert wurde, mehr oder weniger stark vergrößert. Schiebt man nun das durchlöcherte Kartenblatt zwischen dem Auge und dem Gegenstande gleichsam auf der Sehaxe, welche durch das Löchelchen geht, hin und her, so bemerkt man, dass die Vergrößerung merklich zunimmt, wenn das Kartenblatt vom Auge entfernt wird, dass sie hingegen abnimmt, wenn das Kartenblatt dem Auge genähert wird. Dabei habe ich ferner den bemerkenswerthen Umstand beobachtet, dass der Gegenstand in sehr auffallender Weise in Bewegung zu gerathen und zwar während seiner Vergrößerung zugleich gegen die Oeffnung des Kartenblattes heranzutreten, während seiner Verkleinerung hingegen von derselben zurückzuweichen scheint.

Durch das Hin- und Herschieben des punktförmigen Diaphragma's bringen wir also bei unverändertem Accommodationszustande genau dieselbe Erscheinung der scheinbaren Näherung und Entfernung der Gegenstände hervor, wie sie bei feststehendem Diaphragma durch Veränderung des Accommodationszustandes mit Nothwendigkeit eintritt. Könnten wir für beide Fälle das Vorhandensein der gleichen, unser Urtheil bestimmenden wesentlichen Umstände nachweisen, so würde unser Vertrauen zu der Richtigkeit der ganzen hier mitgetheilten Betrachtungen nicht unbeträchtlich wachsen. Diesen Nachweis nun können wir in der That liefern.

Vergegenwärtigen wir uns zuerst, dass die Näherung des Diaphragma's an das Auge die gleiche Folge hat, wie das Accommodiren des Auges für die Nähe — nämlich das scheinbare

Zurückweichen des Gegenstandes; und dass die Entfernung des Diaphragma's vom Auge die gleiche Folge hat, wie das Accommodiren für die Ferne — nämlich die Näherung des Gegenstandes.

Untersuchen wir nun sofort die Umstände, welche durch das Verschieben des Kartenblattes gesetzt werden, ob es wesentlich dieselben sind, welche unser Urtheil bei der Veränderung des Accommodationszustandes bestimmen. Durch das Entfernen des Kartenblattes vom Auge wird das sich vergrößernde Bild des Gegenstandes zu gleicher Zeit lichtschwächer und undeutlicher, d. h. die Zerstreuungskreise nehmen an Grösse zu. Zuzufolge der Abnahme der Lichtstärke sollte uns zwar der Gegenstand zurückzuweichen scheinen; die Vergrößerung der Zerstreuungskreise bei einem diesseits des Accommodationspunktes gelegenen Gegenstande bestimmt uns aber zur entgegengesetzten Auffassung, und da dieses letztere Moment hier das bedeutendere ist, so überwindet es das erstere und wir beurtheilen die scheinbare Bewegung des Gegenstandes in seinem Sinne — als Näherung.

Schieben wir das Kartenblatt zurück, wodurch es dem Auge genähert wird, so treten die entgegengesetzten Veränderungen an dem sich etwas verkleinernden Bilde ein — es wird lichtstärker und deutlicher, d. h. seine Zerstreuungskreise nehmen an Grösse ab — und die scheinbare Bewegung muss in ihr Gegentheil umschlagen, der Gegenstand scheint zurückzuweichen.

Aus welchem Grunde und in welcher Art das Verschieben des Diaphragma's im ersten Falle eine Vergrößerung, im zweiten eine Verkleinerung der Zerstreuungskreise setzt, ersieht man leicht durch die genauere Betrachtung von Fig. 1 und 2 (Tafel 14). Dass mit der Vergrößerung der Zerstreuungskreise eine Verminderung der Lichtstärke gesetzt wird, lehrt der Augenschein — und versteht sich wohl auch von selbst.

Vergleichen wir jetzt die unser Urtheil über die Dimension der Tiefe bestimmenden Umstände, welche einerseits die Veränderung des Accommodationszustandes bei feststehendem Diaphragma, andererseits die Verschiebung des Diaphragma's bei feststehender Accommodation zur Folge hat, so werden wir finden, dass diese Umstände für beide Fälle wesentlich dieselben sind, mit dem einzigen Unterschiede, dass bei der Verschiebung des Diaphragma's der schädliche Einfluss, welchen die willkürliche Veränderung des Accommodationszustandes ausübt (vgl. oben sub b) wegfällt, wodurch es sich denn, abgesehen von der verschiedenen Grösse der hier und dort gesetzten Veränderungen,

auch zum Theil erklärt, warum die scheinbare Entfernung und Näherung des Gegenstandes bei Verschiebung des Diaphragma's ungleich auffallender und beträchtlicher ist, als bei willkürlicher Veränderung des Accommodationszustandes.

d) Liegt der Gegenstand, wie in dem sub a) betrachteten Falle, weit jenseits des Accommodationspunktes, so sieht man von der Verschiebung des Diaphragma's gar keinen Erfolg, während, wie bereits sub a) erörtert wurde, die Veränderung des Accommodationszustandes eine sehr auffallende scheinbare Bewegung der Gegenstände bedingt. Dass die Verschiebung des Diaphragma's hier keine Wirkung hervorbringt, scheint mir wesentlich darin zu liegen, dass die von fernem Gegenständen kommenden Strahlen zu wenig divergiren, als dass durch den verschiedenen Standpunkt des Diaphragma's eine wahrnehmbare Vergrößerung oder Verkleinerung der Zerstreuungskreise, wie wir eine solche für mehr divergirend auffallende Strahlen in Fig. 1 und 2 (Taf. 14) nachgewiesen haben, bedingt werden könnte. — Das Ausbleiben der Erscheinung unter diesen Umständen liefert uns zugleich einen weiteren Beweis, dass die scheinbare Bewegung der Objecte in der Dimension der Tiefe wesentlich von den angegebenen Momenten und nicht etwa lediglich von dem Grössenwechsel der Gesichtswinkel, unter welchen das Object und das Löchelchen des Kartenblattes erscheinen, abhängt.
