

ken ist. Der Grund liegt wohl in dem Salzgehalt des Wassers der hiesigen Wasserleitung und darin, daß es immer etwas Eisenrost aus der Röhrenleitung enthält. Möglich bleibt es also immerhin, daß reineres Wasser, wie es z. B. in Berggegenden vorkommt, günstigere Resultate giebt.

Die Polarisation brachte dabei die Ablenkung sehr bald auf  $0^\circ$ , und wird sich auch wohl durch Vermehrung der durchgeflossenen Wassermengen nicht vermindern lassen. Die Stromstärke war nicht merklich geändert, nachdem das Wasser 4 Tage lang durch den Apparat geflossen war, theilweise ohne daß die Platinelektroden in metallischer Verbindung gewesen waren.

Ein Apparat, der statt Schwefelblumen Quarzsand enthält, gab noch schwächere Ströme und im übrigen dieselben Resultate.

Berlin, den 18. April 1860.

---

#### IV. *Zur Theorie des Sehens*<sup>1)</sup>; von Dr. F. v. Recklinghausen.

---

Der Act des Sehens besteht nicht bloß darin, daß die Veränderungen der Licht percipirenden Netzhautelemente (der Stäbchen) zum Bewußtseyn kommen. sondern daß gleichzeitig Ursachen dieser Veränderungen nach ganz bestimmten Richtungslinien in der Außenwelt aufgesucht werden. Beide Theile des Sehactes sind so innig mit einander verschmolzen, daß sogar Gesichtswahrnehmungen, welche nicht durch optische Erscheinungen veranlaßt werden, elektrische, subjective etc., ohne eine solche Lokalisation nicht existiren, daß also eine Trennung letzterer

1) Die nachfolgenden Zeilen sind im Wesentlichen ein Auszug aus einem detaillirteren Aufsatz in v. Gräfe's Archiv für Ophthalmologie Bd. V, S. 127.

von dem Bewußtwerden als durchaus unstatthaft zu bezeichnen ist. Ob diese innige Verknüpfung durch unsere Organisation gegeben ist, oder erst durch die Erfahrung gewonnen wird, soll hier nicht erörtert werden, wir wollen uns vielmehr nur mit dem Modus jener Lokalisation beschäftigen.

Bekanntlich hat Volkmann den Satz aufgestellt, daß sich die geraden Richtungslinien, auf welchen die gesehenen Körper aufgesucht werden, im Auge annähernd, sämmtlich in *einem* Punkte, dem sogenannten Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen, schneiden, jede derselben also bestimmt ist durch den afficirten Punkt der Retina und diesen Kreuzungspunkt. Letzterer ist gelegen zwischen den beiden Helmholtz'schen Knotenpunkten des Auges, also etwa 7<sup>mm</sup> hinter der Hornhaut. Die Richtungslinien dieser Lokalisation fielen somit annähernd zusammen mit den Richtungsstrahlen der von unserem Auge aufgefangenen Lichtkegel, aber natürlich nur dann, wenn letztere ungebrochene, gerade Linien bilden. Für gewöhnlich würde also jede Richtungslinie der Lokalisation den Licht gebenden Punkt im Raume treffen, und hieraus sich eine volle Identität der reellen Form und Lage eines Objectes mit unserer Vorstellung von demselben ergeben. Eine Abweichung würde erst eintreten in Fällen, wo die optischen Medien unseres Auges eine Dislokation der Richtungsstrahlen der Lichtkegel, also eine Verzerrung der Bilder veranlassen. Jene Abweichung müßte aber alsdann mit dieser construirbaren Verzerrung übereinstimmen, wenn die Richtungslinien der Lokalisation wirklich die angeführten Eigenschaften besäßen. Ich habe daher die beobachteten Verzerrungen mit den berechneten verglichen und bin zu folgenden Resultaten gekommen.

---

Die Verbindungsgerade der Kreuzungspunkte beider Augen, die *Grundlinie* (2d) hat wegen der geringen Entfernung jener von den Drehpunkten bei den verschiedenen Augenstellungen einen nahezu constanten Werth (bei mir

$\approx 64^{\text{mm}}$ ). Die Ebene, welche durch den Fixationspunkt und diese Grundlinie bestimmt ist, heisst die *Visirebene*, in ihr die Verbindungslinie des Fixationspunktes mit dem Mittelpunkt der Grundlinie die *Medianlinie* ( $f$ ), die in dieser Linie auf der Visirebene senkrechte Ebene die *Medianebene* und endlich der Winkel zwischen der Medianlinie und der Gesichtslinie eines Auges der *Convergenzwinkel* ( $\varphi$ ).

Betrachtet man nun mit einem Auge ein rechtwinkliges Kreuz unter scharfer Fixation seines Mittelpunktes in den verschiedensten Lagen zur Gesichtslinie aus kleiner Entfernung, so sieht man dasselbe fast in keiner Stellung rechtwinklig, sondern neben einer schwachen Krümmung der Kreuzschenkel in ihren excentrischen Theilen eine ziemlich beträchtliche Winkelverziehung. Letztere ist der Art, dass dem rechten Auge allein, wenn die Medianlinie auf der Ebene des Kreuzes senkrecht steht, der Winkel des nach rechts und oben gelegenen Quadranten grösser als  $90^\circ$  erscheint; bei dieser Lage des Kreuzes treten rechte Winkel erst auf, wenn man es um seinen Mittelpunkt in seiner Ebene um  $30-45^\circ$  dreht.

Diese Winkelverziehung würde sich nun erklären lassen aus der von Helmholtz <sup>1)</sup> nachgewiesenen mangelhaften Centrirung des Auges. Eine geradlinige optische Axe wie bei optischen Instrumenten existirt nicht. Das Analogon derselben, die *Gesichtslinie*, d. h. derjenige Strahl des im Punkte des directen Sehens vereinigten Strahlenbüschels, welcher die geringste Abweichung von einer Geraden zeigt, trifft die Hornhaut nicht in ihrem Scheitel, sondern in einem mehr nach der Nase gelegenen Punkte. Da nun die Hornhaut nahezu einem Ellipsoid, welches durch Umdrehung einer Ellipse um die grosse Axe erzeugt ist, entspricht, diese Axe aber die Linsenaxe so schneidet, dass der Krümmungsmittelpunkt des Hornhautscheitels auf der Nasenseite der Linsenaxe liegt, so kann auch der Krümmungsradius des Eintrittspunktes der Gesichtslinie nicht mit der Linsenaxe zusammenfallen. Hieraus folgt alsdann, dass die

1) Archiv für Ophthalmologie Bd. I, S. 2.

Gesichtslinie eine Lage zwischen beiden haben, also an ihrer Durchtrittsstelle auf der Hornhaut, resp. auf der Tangentialebene an diesen Punkt nicht senkrecht stehen, sondern hier eine Brechung erleiden muß. Diese Verhältnisse werden eine Verziehung der obigen Kreuzwinkel in derselben Weise herbeiführen, wie eine zur Kreuzebene geneigte planparallele oder prismatische Glasplatte. Berechnen wir daher die Größe der Neigung, welche eine zwischen Luft und Hornhautsubstanz gelegene Ebene gegen das Kreuz, resp. die Gesichtslinie haben müßte, um jene Verziehung darauf *allein* zurückzuführen, so wird die Constanz der Werthe für verschiedene Stellungen des Kreuzes die Richtigkeit dieser Rückführung beweisen.

Die Größe der Verziehung habe ich nun gemessen mittels eines Apparates, an dem zwei 100<sup>mm</sup> hohe Pappcylinder über einander geschoben sind, von denen jeder auf dem Rande einen feinen weißen Faden genau diametral eingespannt trägt, so daß sich durch Gleiten des einen Cylinders auf dem andern ein Kreuz mit beliebigen Winkeln, aber *constantem* Mittelpunkt durch die Fäden herstellen läßt. An diesem Kreuz wird nun diejenige Winkelgröße beobachtet, welche erforderlich ist, um rechte Winkel wahrzunehmen. Die Messung der erforderlichen Abweichung ( $\beta$ ) von 90° und die darnach berechnete (s. Note 1) Größe der Schiefstellung der Ebene ( $\gamma$ ) ergab folgende Werthe:

$f =$	80 <sup>mm</sup>	90	100	110	120	130	140	150
$\beta = R$	3° 16'	2° 36'	2° 8'	1° 50'	1° 37'	1° 20'	1° 12'	0° 58'
$L$	3° 59'	3° 5'	2° 27'	2° 13'	1° 50'	1° 24'	1° 11'	0° 57'
$\gamma =$	9° 21'	8° 33'	6° 57'	6° 29'	6° 13'	6° 40'	6° 30'	6° 40'

Die Rückführung der obigen Verziehungen auf die Schiefstellung der Hornhaut muß somit als sehr berechtigt erscheinen <sup>1)</sup>.

1) Eine Vergleichung der Werthe von  $\gamma$  mit objectiven Messungsergebnissen an meinen Augen hoffe ich später liefern zu können. Die Vergleich-

Weiter ergibt nun noch die obige Betrachtungsweise des Kreuzes eine schwache Verkrümmung der einzelnen Schenkel und zwar kehrt der verticale die Concavität nach aufsen, der horizontale nach oben. Diese Erscheinung entspricht der angeführten Thatsache, daß die Gesichtslinie die Hornhaut nicht in ihrem Scheitelpunkt, sondern in einem Punkt durchbohrt, welcher näher der Nase und etwas nach unten zu gelegen ist. Auch die Betrachtung eines Kreises sowohl bei Fixation seines Centrums, als eines Peripheriepunktes giebt eine der Lage des Scheitelpunktes der Kornea entsprechende Verzerrung.

Mit Hülfe von Prismen und Linsen kann man durch eine entsprechende Stellung zu den angeführten Figuren ganz dieselben Verziehungen objectiv zur Anschauung bringen.

Wir kömmen jetzt zur Feststellung der Richtungslinien der Lokalisation für Netzhauptpunkte, welche nicht in so unmittelbarer Nähe des hinteren Endpunktes der Gesichtslinie, des sogenannten *Punktes des directen Sehens*, sondern mehr excentrisch liegen. Leider kann man hier nur wenig excentrische Punkte wählen, da die äußerst rasche Abnahme der Schärfe der Wahrnehmung messende Beobachtungen unmöglich macht. Ferner ist die Berechnung von Verzerrungen durch optische Systeme bei Figuren, welche außerhalb der optischen Axe derselben gelegen sind, zu schwierig, um direct diese Verzerrung mit den beobachteten Objecten vergleichen zu können. Es mußte daher der Umweg eingeschlagen werden, den Theil der beobachteten Verzerrung, welcher durch die Projection allein veranlaßt wird, zu isoliren und diesen mit der leicht zu berechnenden zu vergleichen.

Fixirt man mit beiden Augen den Mittelpunkt eines

chung derselben mit den von Helmholtz gegebenen Größen der Winkel zwischen Gesichtslinie und Hornhautaxe, wie ich sie in meiner früheren Arbeit angeführt habe, beruht auf einem Mißverständniß, welches einige Entschuldigung darin finden mag, daß mir der Aufsatz von Helmholtz nicht zur Disposition stand.

rechtwinkligen Kreuzes, dessen verticaler Schenkel in der Medianebene des Körpers sich befindet, und verschiebt auf letzterem eine Gerade parallel dem horizontalen Schenkel, so kommt man bei einigermaßen geringer Entfernung der Kreuzebene von den Augen sehr bald zu Stellungen, wo stark gekreuzte Doppelbilder jener Geraden auftreten, zugleich bemerkt man eine zunehmende Krümmung derselben, mit der Concavität nach dem fixirten Punkt gerichtet.

In Fig. 1 Taf. II gehört  $ED$  dem rechten,  $FC$  dem linken Auge an. Sperrt man nun die inneren Netzhauthälften ab (durch Verschieben undurchsichtiger Scheiben von außen her), so fallen die entsprechenden Hälften der Geraden ( $BD$  und  $BF$ ) fort, es bleibt der Winkel  $EBC$ ; bei Absperrung der äußeren Netzhauthälften dagegen (durch Aufsetzen einer undurchsichtigen Scheidewand auf die Nase) bleibt ein nach oben schauender Winkel  $FBD$ . Bewegt man nun die Hälften der Geraden um den Punkt  $B$  in einer Richtung, welche der jedesmaligen Dislocation entgegengesetzt ist, so kommt man zu einer Stellung, wo sie parallel dem horizontalen Kreuzschenkel erscheinen. Die hiernach beobachteten Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  sind das Resultat 1) der Projection, herbeigeführt durch die Neigung der Kreuzebene gegen die Tangentialebene der Netzhaut im Punkt des directen Sehens, also abhängig vom  $\angle \varphi$ ; 2) der Verzerrung durch die optischen Begränzungsflächen unseres Auges. Beide Momente wirken für den Winkel  $FBD$  in gleicher, für  $EBC$  in entgegengesetzter Richtung, den Projectionseffect allein bekomme ich also als  $\frac{\alpha + \beta}{2}$ . Die Wirkung des zweiten Moments,  $\frac{\alpha - \beta}{2}$ , kann ich alsdann noch kontrolliren durch Beobachtungen bei einer Stellung, wo  $\varphi = 0^\circ$ , d. h. die Projection unwirksam ist.

Die nach diesen Methoden erhaltenen Resultate ergaben, daß für das *Bereich des deutlichen Sehens* (d. h. für die Punkte eines auf der Netzhaut um den Fußpunkt der Gesichtslinie mit einem Radius von höchstens  $2,5^{\text{mm}}$  ge-

geschlagenen Kreises) die Annahme eines einzigen Kreuzungspunktes der Richtungslinien zuzulassen ist. Für die noch mehr excentrisch gelegenen Punkte ergaben sich Abweichungen; doch bin ich außer Stande anzugeben, wie weit sie auf der sich hier ergebenden Ungenauigkeit der Beobachtungen oder auf der Unregelmäßigkeit der Hornhautfläche beruhen, ob sie daher zu der Annahme mehrerer Kreuzungspunkte berechtigen.

---

Weiter stellt sich nun die Frage: In welchen Punkt der Richtungslinien verlegen wir einen Gesichtseindruck? Hier muß ich einige einleitende Bemerkungen vorausschicken.

Bekanntlich ordnet man sich die Netzhautpunkte in *Meridiane* (Trennungslinien Rüte's), indem man den Punkt des directen Sehens als Pol auffaßt. Jeder Punkt in einem Auge hat einen sogenannten *identischen* Punkt im anderen, d. h. einen Punkt, dessen Erregung in unserem Bewußtseyn mit der des anderen zu einem *einzigsten* Eindruck verschmolzen wird. Hinsichtlich der Lagerung derselben ist bekannt, daß im Allgemeinen die rechte Hälfte der einen Netzhaut der rechten der andern, die linke der linken entspricht. Ferner existiren identische Meridiane, welche bei einer gewissen Augenstellung, den *Primärstellungen* (d. h. beim Blick mit parallelen Gesichtslinien) im Raume parallel stehen, bei den *Sekundärstellungen* (d. h. bei einer Neigung der Visirebene um  $35^\circ$  unter der Horizontalebene des Kopfes und beliebiger Convergenz der Gesichtslinien) so gelagert sind, daß die horizontalen Meridiane sich noch in der Visirebene befinden; bei allen übrigen Stellungen aber, den sogenannten *Tertiärstellungen*, welche mit einer Raddrehung des Auges um die Gesichtslinie als Axe verbunden sind, treten die horizontalen Meridiane in entgegengesetzter Richtung aus der Visirebene und zwar bei Fixation eines Punktes der Medianebene oberhalb —  $35^\circ$  mit

ihren inneren Extremitäten nach oben, unterhalb — 35° nach unten aus (Meißner) <sup>1)</sup>.

Diese identischen Meridiane geben uns nur einen Ort für die Lage der identischen Punkte, die Auffindung eines zweiten wird sie vollständig bestimmen. Untersuchen wir nun, ob nicht den zweiten Ort der identischen Punkte Kreise bilden, welche mit gleichen Radien um die Punkte des directen Sehens geschlagen sind. Die Richtungsstrahlen je eines solchen Kreises würden den Mantel eines geraden Doppelkegels bilden und auf einer Ebene, welche im Fixationspunkt auf der Medianlinie des Körpers senkrecht, also zur Axe des Kegels, zur Gesichtslinie, geneigt ist, eine Ellipse abschneiden; die beiden Ellipsen aber, welche durch die Richtungskegel zweier identischen Kreise hergestellt werden, müßten sich nicht einander decken, sondern in der Richtung der großen Axe so über einander geschoben seyn, daß in Fig. 2 Taf. II die Ellipse mit der großen Axe *BC* dem rechten, die mit *DE* dem linken Auge angehören und die im Fixationspunkt *A* errichtete Senkrechte *FG* jede in zwei Theile theilen würde, von denen der kleinere je der inneren, der größere je der äußeren Netzhauthälfte entspräche. Ist diese Lagerungsweise der identischen Punkte wirklich vorhanden, so muß ein reeller Kreis mit dem Durchmesser *FG*, welcher in einer Stellung senkrecht auf der Medianlinie mit seinem Mittelpunkt beobachtet wird, zwei jenen Ellipsen ähnliche, aber in entgegengesetzter Richtung über einander geschobene Doppelbilder darbieten: ferner müssen zwei gleiche Kreise, von denen jeder auf der Gesichtslinie annähernd senkrecht steht, zu einem Kreise verschmolzen werden, da bei dieser Stellung die Ursache jener Verziehung, die Projection, aufgehoben wird. Das Erstere ist ziemlich leicht zu constatiren, das Zweite aber einer genauen Experimentation nicht zugänglich, da die unwillkürliche Verrückung des Fixationspunktes, wie wir sie weiter unten noch kennen lernen werden, eine scharfe Beobachtung von Doppelbildern und demgemäß eine scharfe

1) Beiträge zur Physiologie des Sehorgans.



Messung der erforderlichen Stellung der gleichen Kreise verhindert. Ein kleiner Umweg führt hier zum Ziele. Da wir Längendimensionen in *allen* Meridianen schätzen nach der Größe der von den Bildern bedeckten Netzhautstrecke, also  $AF$  gleich  $AB$  gleich  $AC$ , so muß bei Absperrung der inneren Netzhauthälften (der Theile  $AD$  und  $AC$ ) der reelle Kreis  $AF$  in horizontaler Richtung bedeutend zusammengeschoben, bei Absperrung der äußeren Netzhauthälften ( $AB$  und  $AE$ ), wenn die Verschiebung der Ellipsen hinreichend groß, horizontal verlängert erscheinen. Dieses findet wirklich statt, zugleich nimmt man wahr, daß die  $F$  und  $G$  zunächst gelegenen Theile des Kreises nicht eine continuirliche Curve, sondern einen Winkel bilden, wie es die Figur leicht begreifen läßt. Weiter muß der Kreis bei einer Knickung seiner Ebene in der Linie  $FG$  als ein Kreis erscheinen, sobald jede Hälfte auf der Gesichtslinie im Fixationspunkt senkrecht steht; die hierzu erforderlichen Flächenwinkel müssen bei Absperrung der äußeren Netzhauthälften die Convexität, bei Absperrung der inneren die Concavität dem Beobachter zukehren, stets aber  $2\varphi$  zu  $180^\circ$  suppliren. Die Identität der bei beiden Modi für dasselbe  $\varphi$  erforderlichen Winkel ergibt alsdann einen Schluß auf die Lagerung der identischen Punkte.

$f =$	70	80	90	100	120	150	175	200
Absperrung d. innern Hälften	130°	137°	141°	145°	147°	151°	161°	167°
d. äußern Hälften	129°	137°	140°	144°	148°			
$180^\circ - 2\varphi$	131°	136°	141°	146°	150°	156°	159°	162°

Hiernach ist folgender Satz erwiesen: *die identischen Netzhautpunkte sind bestimmt 1) durch die identischen (in den Sekundärstellungen um gleiche Winkel gegen die Visirebene geneigten) Meridiane und 2) durch die identischen (um die beiden Punkte des directen Sehens mit gleichen*

Radien geschlagenen) *Kreise*. Beide Netzhäute sind congruent, nicht symmetrisch.

Es wird uns nun leicht seyn, die Punkte des Raumes aufzusuchen, deren Richtungsstrahlen bei einer bestimmten Fixation identische Punkte treffen, also nur einen einzigen Eindruck, d. i. keine Doppelbilder veranlassen. In einem solchen Punkte müßten sich die Richtungslinien zweier identischen Punkte schneiden, hierzu also beide Linien *in einer Ebene liegen*. Da nun bei einer Sekundärstellung beide horizontalen Meridiane in der Visirebene gelegen sind, so giebt es für sämtliche identischen Punkte derselben Durchschnittspunkte ihrer Richtungslinien, und zwar gelegen auf einer durch den Fixationspunkt und die beiden Kreuzungspunkte der Richtungslinien bestimmten Kreislinie. J. Müller. Zur Feststellung der Möglichkeit solcher Durchschnittspunkte für die übrigen Meridiane stelle Fig. 3 Taf. II eine Sekundärstellung dar, wo  $K$  und  $K'$  die Kreuzungspunkte,  $Z$  und  $Z'$  die Punkte des directen Sehens,  $ST$  und  $QR$  die in der Visirebene  $AKK'$  befindlichen horizontalen Meridiane,  $OP$  und  $MN$  zwei beliebige identische, also um gleiche Winkel  $\alpha$  gegen die Visirebene geneigte Meridiane bezeichnen. Sind nun  $MK$  und  $OK'$  Richtungsstrahlen eines und desselben Raumpunktes, liegen sie also mit  $KK'$  in einer und derselben Ebene, so ergiebt sich das Verhältniß ihrer Winkel ( $\xi$  und  $\xi'$ ) mit den Gesichtslinien  $KZ$  und  $K'Z'$  nach der Formel (s. Note II):

$$\cotg \xi' = \cotg \xi + 2 \operatorname{tg} \varphi \cos \alpha.$$

Da nun nach unserer Feststellung für identische Punkte  $\xi = \xi'$  seyn muß, so kann diese Formel nur erfüllt werden, wenn  $\varphi = 0$  oder  $\alpha = 90^\circ$ , d. h. Durchschnittspunkte der Richtungslinien identischer Netzhautpunkte im Raume existiren für *alle* Netzhautpunkte in der Primärstellung, in den Sekundärstellungen nur für die verticalen und horizontalen, endlich in den Tertiärstellungen nur für die verticalen Meridiane.

Der Inbegriff sämtlicher Punkte des Raumes; welche ihre Richtungsstrahlen in identische Netzhautpunkte sich

einsenken lassen, der *Horropter*, bildet daher bei einer Primärstellung eine Ebene, bei einer Sekundärstellung giebt es nur eine senkrechte gerade, und horizontale kreisförmige Horopterlinie, in einer Tertiärstellung bleibt nur erstere übrig. Eine physiologische Bedeutung dieses Horopters ist nicht bekannt.

Wir wollen nun nach dieser Feststellung der Lage der identischen Punkte Ebenen, bestimmt durch die Gesichtslinie und je einen Meridian, *Richtungsebenen* und solche einander zugehörige in beiden Augen identische Richtungsebenen nennen. Bei der Fixation irgend eines Punktes werden sich stets je zwei identische Richtungsebenen schneiden, die sämmtlichen geraden Durchschnittslinien derselben eine nach der Augenstellung verschiedene, aber leicht bestimmbare Lage zu einander haben. Jeder Punkt dieser Durchschnittslinien muß seine Bilder in beiden Augen auf identische Meridiane werfen, aber nicht auf identische Punkte, die Dislocation beider Bilder im gemeinschaftlichen Gesichtsfeld kann somit nur in der Richtung der Durchschnittslinien selbst statt finden. Die Doppelbilder einer geraden Linie, welche in dieser Durchschnittslinie gelegen ist, müssen also genau über einander geschoben erscheinen und sich zum Theil decken, ohne daß eine seitliche Dislocation im Geringsten vorhanden ist. Die sich nicht deckenden Theile werden nur schwierig zur Wahrnehmung kommen können, da sie einerseits excentrischen Theilen der Netzhaut entsprechen, andererseits von einem und demselben Object herrühren. Somit wird es wahrscheinlich, daß wir gerade Linien, welche sich in der erwähnten Lage befinden, als einfach gesehene auffassen und diese Lage von allen übrigen im Raume unterscheiden. Da wir es ferner bei der Betrachtung von Gegenständen sehr selten mit Punkten, dagegen fast stets mit geraden Linien zu thun haben, so müssen demgemäß die Durchschnittslinien identischer Richtungsebenen für eine solche Betrachtung einen gewissen Werth besitzen.

Bezeichnen in Fig. 4 Taf. II *K* und *K'* die Kreuzungs-

punkte beider Augen, welche in *einer Tertiärstellung nach oben* einen Punkt (diesseits der Ebene der Zeichnung) in der Medianlinie der Art fixiren mögen, daß diese auf der Ebene der Zeichnung in  $M$  senkrecht steht, so werden die (identischen) verticalen Richtungsebenen letztere in  $KC$  und  $K'C$  schneiden und diese Durchschnittslinien mit einander einen Winkel  $= 2\xi$ , gleich dem doppelten Winkel der Raddrehung eines jeden Auges, bilden. Die Richtungsebenen zweier anderer identischer Meridiane, welche gegen die verticalen je um den beliebigen Winkel  $\alpha$  geneigt sind, werden durch die Ebene der Zeichnung in Geraden durchtreten, welche *annähernd* mit  $KC$  und  $K'C$  gleiche Winkel  $\alpha$  bilden;  $KD$  und  $K'D$  müssen aber alsdann, da noch  $\angle K'EC = KED$ , ebenfalls einen Winkel  $= 2\xi$  einschließen. Die Durchschnittspunkte sämtlicher Durchschnittslinien identischer Richtungsebenen mit der Ebene  $KCK'$  liegen also auf einer Kreislinie, bestimmt durch die Grundlinie  $KK'$  als Sehne und den Peripheriewinkel  $2\xi$ . Diese Kreislinie ist nun offenbar ein Ort der Durchschnittslinien von je zwei identischen Richtungsebenen im Raume, den zweiten Ort bildet der Fixationspunkt, *jene Durchschnittslinien bilden somit den Mantel eines schiefen kreisförmigen Doppelkegels, dessen Spitze im Fixationspunkt gelegen, dessen Höhe gleich der Länge der Medianlinie ( $f$ ) und dessen Basis durch den eben bezeichneten Kreis gegeben ist.*

Lassen wir an unserm Doppelkegelmantel aus später anzuführenden Gründen die dem Bogen  $KC'K'$  entsprechenden Theile unberücksichtigt, so bleiben zwei gekrümmte Flächen übrig, von denen bei einer Tertiärstellung nach oben die oberhalb der Visirebene gelegene sich jenseits einer im Fixationspunkt auf der Visirebene Senkrechten erstrecken und dem Beobachter ihre Convexität zukehren, während die unterhalb der Visirebene befindliche, diesseits jener Senkrechten gelegen, mit ihrer Concavität nach dem Beobachter schauen wird. Für eine Tertiärstellung nach unten muß das Entgegengesetzte stattfinden; die oberhalb der Visirebene gelegene Fläche muß diesseits jener Senk-

rechten ihre Concavität, die unterhalb jenseits der Senkrechten ihre Convexität dem Beobachter zuwenden. Da der Winkel der Raddrehung abnimmt, je mehr man sich der Sekundärstellung nähert, so muß hiermit auch die Stärke der Krümmung, wie die Abweichung von der Verticalen abnehmen; endlich *in der Sekundärstellung selbst die Fläche der Durchschnittslinien eine Ebene seyn, welche auf der Medianlinie im Fixationspunkt senkrecht steht.*

Betrachtet man nun einen Stern, dessen Strahlen *in einer Ebene* liegen, mit scharfer Fixation seines Mittelpunktes in einer Tertiärstellung nach oben, so scheinen die oberhalb der Horizontalen gelegenen Halbstrahlen eine concave, die unterhalb gelegenen eine convexe Fläche zu bilden; führt man den Stern in eine Sekundärstellung, so erscheint er eben; führt man ihn hierauf in eine Tertiärstellung nach unten, so bilden die Halbstrahlen über der Horizontalen eine convexe, die unterhalb gelegenen eine concave Fläche. Steht hierbei die Medianlinie auf der Ebene des Sterns senkrecht, so erscheint der verticale obere Halbstrahl bei einer Tertiärstellung nach oben dem Beobachter zu-, bei einer Tertiärstellung nach unten von dem Beobachter abgeneigt. Neigt man den Stern gegen die Visirebene um die horizontalen Halbstrahlen, so bleiben die Verkrümmungen in gleicher Weise fortbestehen. Biegt man dagegen die Halbstrahlen im Mittelpunkt zu dieser Dislokation in entgegengesetzter Richtung, so kann man eine scheinbare Ebene herbeiführen und zwar bei einer Tertiärstellung nach oben durch Producirung einer oberhalb der Horizontalen convexen, unterhalb derselben concaven Fläche; umgekehrt für eine Tertiärstellung nach unten. Wir sehen also einen Stern eben, wenn wir die Strahlen eine jener Fläche der Durchschnittslinien ähnliche Fläche einnehmen lassen, ferner einen ebenen Stern eine Dislocation in entgegengesetzter Richtung darbieten.

Befestigt man auf einem geraden, dünnen Stab einen anderen senkrecht und dreht ersteren um letzteren als Axe während einer Fixation des Fußpunktes in einer Tertiär-

stellung, so beobachtet man eine der obigen Verziehung des ebenen Sterneſ entsprechende Dislocation des gedrehten Stabes, besonders dann, wenn die Axe sich in der Verlängerung der Medianlinie befindet.

Dieses Experiment führt zur Nachweisung der Identität der construirten und der beobachteten Flächen. Ein starker Holzständer  $AB$  (Fig. 5 Taf. II), senkrecht auf dem viereckigen Fußbrett, trägt eine senkrechte Durchbohrung, in welcher sich die starke Eisenstange  $DC$  mit Angabe ihrer Drehung an einer in  $D$  angebrachten Kreistheilung drehen läßt, die dünne Drahtstange  $EF$  ist in  $C$  mittelst eines Charniergelenks, also nur beweglich in der Ebene  $DEF$ , angebracht, schwarz angestrichen und auf ihr ein feiner weißer Faden der Länge nach ausgespannt. Der ganze Apparat wird durch Neigung des Fußbrettes gegen den Horizont in eine solche Lage gebracht, daß sich  $C$  in einer starken Tertiärstellung nach oben bequem fixiren kann und der Neigungswinkel des Apparates genau mit der Erhebung meiner Visirebene über die Horizontalebene des Kopfes übereinstimmt; hierzu müssen sich  $DC$  genau in der Verlängerungslinie der Medianlinie, ihre Doppelbilder in der Visirebene befinden. Der Stab  $EF$  wird in eine solche Lage gebracht, daß er senkrecht auf der Medianlinie erscheint, die Messung des Winkels  $ECD$  ( $\mu$ ) bei verschiedenen Drehungswinkeln um die Axe  $CD$  ( $\nu$ ) ergiebt die gesuchte Abweichung von der auf der Medianlinie senkrechten Ebene. (S. d. Note III).

$v =$	0°		15°		30°		45°	
	Beob- achtet	Berechnet Ellipse	Beob- achtet	Berechnet Ellipse	Beob- achtet	Berechnet Ellipse	Beob- achtet	Berechnet Ellipse
$f = 100$ + 30°	78° 51'	78° 47'	77° 55'	78° 30'	76° 50'	76° 50'	72° 52'	73° 42'
$f = 120$ + 20°	81° 31'	81° 52'	81° 37'	80° 21'	77° 31'	80° 29'	73° 54'	78° 14'
$f = 130$ + 20°	82° 54'	81° 56'	81° 44'	82° 4'	81° 37'	79° 18'	72° 52'	78° 23'

$v =$	60°		70°		80°	
	Beob- achtet	Berechnet Ellipse	Beob- achtet	Berechnet Ellipse	Beob- achtet	Berechnet Ellipse
$f = 100$ + 30°	65° 22'	67° 10'	66° 50'	61° 19'	51° 8'	38° 56'
$f = 120$ + 20°	67° 20'	73° 44'	73° 37'	64° 29'	54°	49° 41'
$f = 130$ + 20°	68° 64'	73° 37'	73° 47'	65° 53'	57° 53'	47° 27'

Die Zusammenstellungen der Berechnungen für Ellipse und Kreis ergibt, daß die Annahme einer kreisförmigen Basis, also eine sehr einfache Rechnung, unseren Anforderungen vollkommen genügt. Was nun die Beobachtungen betrifft, so können die Werthe, wenn  $\nu$   $70^\circ$  überschreitet, wegen der starken Dislocation und der Schwierigkeit der Beobachtung nicht in Betracht kommen. Die übrigen Unterschiede zwischen Beobachtung und Berechnung, selbst die von  $6^\circ$  sind zu gering, um Zweifel an einer fast vollständigen Uebereinstimmung der berechneten und beobachteten Flächen zuzulassen.

Hiernach sind also folgende Sätze bewiesen: *Wir sehen gerade Linien mit beiden Augen nur dann senkrecht auf der Medianebene unseres Körpers, wenn sie liegen in der Fläche der Durchschnittslinien identischer Richtungsebenen.*

Auf diese Fläche, für welche ich den Namen *Normalfläche* vorgeschlagen habe, beziehen wir nun zufolge des obigen Experimentes die im Raum außerhalb derselben gelegenen Punkte mittelst unserer Hilfsmittel zur Beurtheilung der Tiefendistance. Setzen wir letztere nicht in Thätigkeit oder bieten die Objecte uns keine Anhaltspunkte, so verlegen wir diese einfach in die Normalfläche. Beobachtet man vor einem dunklen Hintergrunde drei verschieden farbige kleine Objecte *A, B, C* in der Stellung Fig. 6 Taf. II bei scharfer Fixation von *B*, so nimmt man bei Verrückung von *A* oder *C* eine seitliche lineäre Fortbewegung ihrer Doppelbilder wahr. Eine genaue Betrachtung ergibt aber ein Fortrücken derselben auf einer und derselben Linie *ED*; bei einem bestimmten Größenverhältniß von *AB, BC* und *f* deckt sich je ein Doppelbild von *A* und *C*, sie fallen sogar vollkommen in einander. Dieses findet statt, wenn die Bilder von *A* und *C* möglichst auf identische Netzhautpunkte fallen. Die Beobachtung der hierzu erforderlichen Größen von *AB, BC* und *f* würde sogar zu einer Bestimmung der Normalflächen führen, wenn man nicht zu große Objecte *A* und *C* und zu wenig excentrische Netzhautpunkte wählen müßte, um das Decken der Doppelbilder



wahrzunehmen. Doch ergaben sich bei gleichbleibenden Gröſsen von  $AB$  und  $AC$  in Sekundär- und Tertiärstellungen Differenzen von  $f$ , welche mehrere Centimeter betrug.

Die oben aufgeworfene Frage beantwortet sich also folgendermaßen: *Wir lokalisieren einen Gesichtseindruck beim Sehen mit zwei Augen auf den Richtungslinien in die Durchschnittspunkte derselben mit der jeweiligen Normalfläche, wenn Mittel zur Beurtheilung der Tiefe fehlen; im entgegengesetzten Falle in Punkte diesselts oder jenseits der Normalfläche, entsprechend der Gröſſe dieser Mittel.* Beim Sehen mit einem Auge dient wahrscheinlich die durch die Erfahrung bekannte Normalfläche ebenfalls zur Norm.

---

Diese Betrachtung führt zu der weiteren Frage: Welches sind unsere Mittel, um die Objecte auf die Normalflächen zu beziehen, um also die Tiefe zu beurtheilen?

Bekanntlich hat Brücke <sup>1)</sup> für den körperlichen Effect des Stereoskops die Erklärung gegeben, daß er beruhe auf einer Reihe von Veränderungen des Convergenzwinkels unserer Gesichtslinien, mittelst deren wir vorher existirende Doppelbilder zu einfachen machen und den Objecten dann in Bezug auf früher einfach gesehene eine andere Tiefendistanz im Raume anweisen. Wir würden also bei den beiden stereoskopischen Bildern Fig. 7 Taf. II in dem gemeinschaftlichen Bilde zwischen den einander correspondirenden Mittelpunkten  $A$  und  $A'$  und zwei anderen correspondirenden Punkten  $B$  und  $B'$  nur dann eine Tiefendifferenz wahrnehmen, wenn  $BB' \leq AA'$ . Dann müssen sich aber folgende Erscheinungen einstellen:

1) Der entgegengesetzte körperliche Effect muß eintreten, wenn wir die Zeichnungen mit einander vertauschen. War früher  $BB' > AA'$ , so wird es jetzt  $< AA'$ , der entsprechende Punkt im gemeinschaftlichen Bilde liegt jetzt somit diesselts des Mittelpunktes, wenn er früher jenseits

1) Müller's Archiv 1841.

Poggendorff's Annal. Bd. CX.

lag. Die einfachen stereoskopischen Zeichnungen lassen diesen pseudoskopischen Effect leicht hervortreten. Dove<sup>1)</sup>. Bei den complicirteren treten noch die übrigen Mittel zum körperlichen Sehen (besonders Perspective und Beleuchtung) mit in Thätigkeit und wirken dieser Pseudoskopie entgegen; doch lassen *freie* Gegenstände, bei denen die Wirkung letzterer Mittel fehlt (auf Zeichnungen einer Strafe z. B. eine frei hängende Laterne) nach dem Umtausch der Bilder ebenfalls diese Differenz des Effectes wahrnehmen.

2) Verringern oder vermehren wir in unseren Zeichnungen während der Beobachtung die relative Differenz von  $AA'$  und  $BB'$ , so werden wir successive andere Tiefendistanzen, also Bewegungserscheinungen in der Tiefe bekommen. Hiernach erklären sich die von Dove<sup>2)</sup> und Halske<sup>3)</sup> gemachten Experimente. Nimmt man zum Stereoskopiren zwei Kreise mit radiär gestellten Pfeilen und dreht dieselben um ihre fixirten Mittelpunkte in entgegengesetzter Richtung, so scheint das gemeinschaftliche Bild des Pfeiles in der Medianebene unseres Körpers zu schwingen.

3) Die gewöhnlichen stereoskopischen Zeichnungen werden für eine Convergenzstellung unserer Augen auf einem fernen Punkt aufgenommen, so daß einer Entfernung correspondirender Punkte  $BB'$ , größer als  $AA'$ , eine Verkleinerung des Convergenzwinkels entspricht, also dem Punkte  $B$  eine größere Entfernung als  $A$  zugemessen wird, wenn wir das gemeinschaftliche Bild durch eine Convergenzstellung auf einen Punkt jenseits der Ebene der Zeichnungen produciren. Rufen wir dagegen durch Einstellung unserer Gesichtslinien auf einen Punkt diesseits dieser Ebene ein gemeinschaftliches Bild hervor, so wird dieselbe Distanz  $BB'$  eine Vergrößerung des Convergenzwinkels im Gegensatz zu  $AA'$  verlangen, der Punkt  $B$  also näher als  $A$  erscheinen. Es begreift sich daher, daß wir nach dieser zweiten Methode einen pseudoskopischen Effect wie in 1) be-

1) Pogg. Ann. Bd. 83, S. 185.

2) l. c. und 106, S. 655.

3) Pogg. Ann. Bd. 100, S. 657.

kommen, den richtigen Effect aber dann, wenn wir die Bilder vertauschen.

4) Stellen wir die Bilder auf den Kopf, so kann in den betrachteten Verhältnissen keine Aenderung eintreten. Drehen wir dagegen jedes der beiden um  $90^\circ$  nach derselben Richtung um seinen Mittelpunkt, so muß der magische Effect ganz schwinden: die einander zugehörigen Punkte werden jetzt die Lage  $B_1, B_2$  (Fig. 7 Taf. II), also noch eine verticale Verschiebung eingenommen haben; da wir nun nicht die Fähigkeit besitzen, verticale Doppelbilder zu vereinigen, so fehlt uns das früher angewandte Mittel zur Beurtheilung der Tiefe. Auch dieß bestätigen am besten einfache stereoskopische Zeichnungen z. B. jene Kreise mit radiär gestellten Pfeilen. Aber auch die complicirtesten Zeichnungen zeigen bei einer solchen Drehung um  $90^\circ$  das vollkommene Schwinden des magischen Effectes des Stereokops, trotzdem man auch hier scheinbare Einfachheit im gemeinschaftlichen Bilde ohne störende Doppelbilder vor sich zu haben glaubt; letzteres erscheint wie eine gewöhnliche Zeichnung, wie jedes einzelne stereoskopische Bild für sich. Drehen wir die Bilder um fernere  $90^\circ$  in derselben Richtung, so tritt der körperliche Effect wieder hervor, aber pseudoskopisch, da  $B_3, B_4 > AA'$ .

5) Endlich muß ein stereoskopischer Effect bei Zeichnungen, in deren gemeinschaftlichem Bilde gerade Linien sich genau über einander schieben, erzielt werden dadurch, daß ich auf die doppelt gesehenen Endpunkte derselben beide Gesichtslinien einrichte, sie dadurch zur deutlichen Wahrnehmung bringe und vereinige. Bringt man zwei ungleich lange horizontal gestellte Gerade auf einer Ebene zu einem gemeinschaftlichen Bilde zur Vereinigung, so erscheint dasselbe schräg durch die Ebene hindurchgesteckt. Nimmt man zwei Gerade von gleicher Länge, so sollte allerdings durch Vereinigung der *symmetrisch* gelegenen Endpunkte eine stereoskopische Anschauung ebenfalls erzielt werden; bis jetzt aber kann ich die Neigung, die identisch

gelegenen Endpunkte zu combiniren, nicht hinreichend überwinden.

Die Existenz von Größendifferenzen in den stereoskopischen Zeichnungen nach Art des Unterschiedes zwischen  $BB'$  und  $AA'$  kann man durch directe Messung leicht nachweisen.

Diese zahlreichen Thatsachen beweisen ganz evident die Richtigkeit der obigen Theorie von Brücke. In Bezug auf das am häufigsten, auch noch in neuester Zeit von Panum<sup>1)</sup> dagegen geltend gemachte Experiment von Dove, welcher selbst bei der eminent kurzen Beleuchtung durch den elektrischen Funken einen stereoskopischen Effect beobachtete, ist zu bemerken, daß vorläufig die Beweiskräftigkeit noch zu demonstriren ist. Complicirte Zeichnungen, wie sie wahrscheinlich genommen wurden, können natürlich nichts beweisen, da hier noch die unten anzuführenden Momente zur Wahrnehmung des Körperlichen mit in Wirksamkeit treten.

Nachdem uns somit die große, bereits früher bekannte Wichtigkeit der Veränderungen der Convergenzwinkel für die körperliche Anschauung entgegengetreten, will ich noch hinzufügen, daß diese Veränderungen für sich allein zur Producirung eines körperlichen Effectes nicht genügen; es gehört dazu gleichzeitig noch die Existenz von wahrnehmbaren Doppelbildern und die Möglichkeit, sie zu einfachen zu vereinigen. Wie wichtig zunächst jene sind, beweist folgendes Experiment. Spannt man vor einem weißen Hintergrunde drei hinreichend lange schwarze Fäden parallel so auf, daß der mittlere sich 5 bis 8<sup>mm</sup> hinter oder vor der Ebene der beiden äußeren, etwa um 10<sup>mm</sup> von einander entfernten befindet, und betrachtet sie in einer solchen Lage, daß sie parallel der Medianebene des Körpers stehen, so nimmt man eine bedeutende Tiefendistanz wahr; diese verschwindet indess gänzlich oder fast gänzlich, wenn man die Fäden um 90° dreht, also senkrecht auf die Medianebene stellt. Mag man bei der letzteren Stellung irgend

1) Physiol. Untersuch. über das Sehen mit zwei Augen.

lich der Projection auf unsere Netzhaut zwei reelle Lagen eines rechten Winkels (resp. Kreises), eine diesseits, die andere jenseits der Normalebene. Demgemäß müssen wir auch bei bloßer Anwendung der Perspective eine Verlegung in beide Lagen möglich machen, ja ohne Hinzuziehung neuer Mittel zwischen beiden nicht entscheiden können. Um dieses zu bestätigen, brauche ich nur an die bekannte Erfahrung zu erinnern, daß wir rein stereometrische Zeichnungen stets in einer doppelten Weise körperlich sehen können. Ein Würfel z. B. erscheint uns bald aus der Ebene der Zeichnung hervorzuragen, bald sich hinter dieselbe zu erstrecken. Ziehen wir eine Lage vor, so sind noch andere Momente zur Beurtheilung des Körperlichen mit in Wirksamkeit. Am deutlichsten beobachtet man begreiflicherweise die Doppelsinnigkeit bei der Ausschließung eines Auges. Hierbei kann man auch am bequemsten Bewegungserscheinungen in der Tiefe mittelst der Perspective beobachten, so z. B. durch successive Veränderungen der Winkel in den Zeichnungen.

Ein drittes wichtiges Moment bildet die *Beleuchtung* oder die Vertheilung und Intensität von Licht und Schatten, und muß ich hier der Behauptung Ludwig's <sup>1)</sup> entgegenreten, daß »sie keinesfalls einen Einfluß gewinnt innerhalb der deutlichen Sehweite.« Mir ist es möglich zu pseudoskopiren durch bloße Veränderung der Beleuchtung. Verschaffe ich mir ein gemeinschaftliches Bild von zwei neben einander gelegenen, gleichgeformten Uhrschaalen, schneide durch eine Scheidewand die directe Beleuchtung von einer mir gegenüber befindlichen Lichtquelle ab, beleuchte aber beide durch einen vor meine Brust gehaltenen Spiegel, so erscheint mir das gemeinschaftliche Bild convex, wenn mir die Schaaen ihre Concavität, concav, wenn ihre Convexität zukehren.

Fernere Mittel zur Beurtheilung der Tiefe sind alsdann die Accomodation (Czermak) und die relative Gröfse des Netzhautbildes; weiter kommen noch manche andere

1) Lehrbuch der Physiologie 2. Auflage.

welchen Faden fixiren, immer erscheinen die Doppelbilder je eines der beiden anderen über einander geschoben, ihre Wahrnehmung ist also unmöglich; in der ersten Stellung zeigen sie dagegen einen bedeutenden seitlichen Abstand. Die Richtigkeit dieser Erklärung erweist sich dadurch, daß der angegebene Unterschied zwischen den beiden Stellungen verschwindet, wenn man auf den Fäden einzelne Punkte markirt (etwa durch Aufkleben kleiner Papierstückchen); die Doppelbilder der letzteren gelangen natürlich in allen Stellungen leicht zur Wahrnehmung. — Da uns die Möglichkeit fehlt, unseren Gesichtslinien eine verticale Divergenz zu geben, die eine nach oben, die andere nach unten aus der Visirebene zu entfernen, so können wir vertical verschobene Doppelbilder nicht zur Vereinigung bringen, sondern nur solche mit horizontaler Verschiebung. Diese zweite Anforderung an die Doppelbilder ergibt sich schon aus den Experimenten unter 4); man überzeugt sich am leichtesten davon bei der stereoskopischen Betrachtung einfacher Zeichnungen, so der obigen Kreise mit radiär gestellten Pfeilen oder auch nicht schattirter, stereoskopischer Zeichnungen eines Cylinders.

Ein anderes bis jetzt in der Physiologie des körperlichen Sehens fast gar nicht berücksichtigtes und dennoch äußerst wichtiges Mittel ist die *Perspective*; die einfache Betrachtung einer stereometrischen Figur beweist die Wichtigkeit derselben. Wir gehen bei der perspectivischen Betrachtung der Körper von der Erfahrung aus, daß an ihnen die geraden Linien factisch meist rechte Winkel, die krummen Linien Kreise bilden. Nehmen wir daher an ihren Bildern auf unserer Netzhaut andere Winkel oder andere Curven wahr, so verlegen wir die betreffenden Linien so weit diesseits oder jenseits unserer Normalebene, als die Abweichung von jenen einfachen Formen verlangt, d. h. in eine solche Lage, von welcher aus die senkrechte Projection eines rechten Winkels oder Kreises auf unsere Netzhaut dieselbe Abweichung ergeben würde. Offenbar entsprechen nun je einer bestimmten Abweichung hinsicht-

Momente von geringerer Wirksamkeit hinzu, so z. B. das Verdecktwerden eines Gegenstandes durch den anderen u. s. w.

Sämmtliche angeführten Mittel können nun in den verschiedensten Combinationen einander unterstützend oder einander hemmend ihre Wirkung äußern. Unser Urtheil wird sich dann nach der Stärke der einzelnen, andererseits nach unserer Aufmerksamkeit auf dieselben, bestimmen lassen. Einen Widerstreit unter ihnen führt vielleicht am passendsten folgendes Experiment vor Augen. Befestigt man auf einer Drahtstange concentrisch gestellte Kreise, und fixirt den gemeinschaftlichen Mittelpunkt mit beiden Augen aus geringer Entfernung in einer Sekundärstellung, so erscheint die Figur wegen der S. 72 angedeuteten Abplattung der Kreise in verticaler Richtung mittels der Perspective als flacher Kegelmantel; diese Krümmung tritt aber weit stärker hervor in einer Tertiärstellung, ja es erscheint jetzt die gerade Drahtstange durch diesen Kegel schief hindurchgesteckt und zwar bei einer Tertiärstellung nach oben mit seiner obern Hälfte diesseits, bei einer Tertiärstellung nach unten jenseits der Fläche des Kegelmantels. Achtet man jetzt scharf auf die Durchschnittspunkte, so beobachtet man nach einiger Zeit eine Knickung der Kreise an diesen Stellen (um der unmittelbaren Deckung an diesen Punkten Rechnung zu tragen).

Eine einfache Betrachtung der Verhältnisse lehrt aber, daß bei der oben besprochenen Verziehung eines ebenen Sternes in einer Tertiärstellung nur ein körperliches Moment zur Wirksamkeit kommt, nämlich die Veränderung der Convergenzwinkel und Vereinigung von Doppelbildern. Sämmtliche Sternstrahlen geben bei scharfer Fixation des Mittelpunktes Doppelbilder und zwar kreuzen sich je zwei Doppelbilder gerade in dem Mittelpunkte. Verrücke ich nun meinen Fixationspunkt auf der Meridianlinie, so werden die Kreuzungspunkte der Doppelbilder nicht mehr in einen einzigen zusammenfallen, sondern sich je auf ihrem zugehörigen Sternstrahl verschieben, und zwar für eine Ter-

tiärstellung nach oben bei Fixation eines Punktes diesseits des Sternmittelpunktes oberhalb, im entgegengesetzten Falle unterhalb der Horizontalen. Diese Kreuzungspunkte stellen dar die Durchschnittspunkte eines jeden Sternstrahles mit den successiv im Raume producirten Normalflächen. Nach S. 33 verlege ich nun die zu *einer* bestimmten Normalfläche gehörigen Durchschnittspunkte in *eine* Ebene, die sämmtlichen successiv gewonnenen Durchschnittspunkte werde ich also versetzen auf eine Fläche, welche eine ungefähr gleiche, aber entgegengesetzte Krümmung besitzt wie eine der producirten Normalflächen. Ist diese Erklärungsweise richtig, so ergeben sich folgende Consequenzen: 1) kann bei irgend welcher Drehung des Sternes um seine Horizontale nie eine wesentlich abweichende Dislokation eintreten, da die successiven Kreuzungspunkte der Doppelbilder ihre relative Lage zu einander in derselben Weise beibehalten; 2) knicke ich den ebenen Stern in dem verticalen Strahl, so werden jetzt zwei Sternstrahlen vollkommen in der ersten Normalfläche liegen, also im Fixationspunkt senkrecht erscheinen, die übrigen Strahlen müssen dann zu beiden Seiten jener beiden wiederum eine der Krümmung der Normalflächen entgegengesetzte Dislokation darbieten.

Ferner begreift sich jetzt leicht, daß eine Verziehung in den horizontalen Sterntheilen nur mit großer Schwierigkeit erlangt werden kann, da die starke Krümmung der horizontalen Theile der Normalflächen eine starke Verrückung des Fixationspunktes verlangen würde, um neue Durchschnittspunkte mit neuen Normalflächen zu produciren; weiter erklärt es sich, daß die  $KCK'$  (Fig. 4 Taf. II) entsprechenden Theile unseres Doppelkegelmantels ganz außer Betracht fallen müssen, da auf diesen Theilen gelegene Punkte ihre Bilder auf *symmetrischen*, nicht identischen Netzhauttheilen entwerfen.

Bei der Betrachtung von Körpern muß die Verrückung des Fixationspunktes auf der Medianlinie denselben großen Effect, dieselbe Wirkungsweise haben. Hierbei werden wir allerdings das Zusammenfallen der Doppelbilder nicht beob-



achten durch die Punkte des directen Sehens, sondern durch excentrisch gelegene Netzhautpunkte. Da aber das Zusammenfallen von Doppelbildern ziemlich scharf beobachtet werden muß, um solche präcisirte Raumvorstellungen zu veranlassen, so werden nur Netzhautpunkte mit geringer Excentricität in Betracht kommen können. Doch wird man begreifen, daß durch Beurtheilung der dem Fixationspunkt zunächst gelegenen Punkte eines Körpers eine scharfe räumliche Vorstellung auch für die entfernteren gewonnen werden kann, wenn wir über die Beziehungen dieser zu jenen auf sonstige Weise schon im Klaren sind; liegen sie z. B. mit jenen in geraden Linien, so ist die scharfe körperliche Auffassung vollkommen gegeben. Mittelst einer geringen Ausdehnung des Bereiches der scharfen Wahrnehmung auf unseren Netzhäuten sind wir also im Stande, große Effecte für die körperliche Anschauung zu erzielen.

Nach allen diesen Betrachtungen muß man wohl die Richtigkeit der oben (S. 81) aufgestellten Principien zur Feststellung der Punkte auf den Richtungslinien, in welche wir die Gesichtseindrücke lokalisiren, zugeben. — Was noch den innigen Zusammenhang, um nicht zu sagen, die Identität der Richtungsstrahlen der Lichtkegel und der Richtungslinien der Lokalisation anbelangt, so sey hier noch gestattet, die Vermuthung auszusprechen, daß wahrscheinlich die Licht percipirenden Elemente der Netzhaut, die Stäbchen, sämmtlich ihre Längsaxe gerichtet haben nach dem Kreuzungspunkt.

---

Zum Schlusse möge es noch erlaubt seyn, einen Ueberblick über die Größe der oben erwähnten Raddrehungen (§) in den Tertiärstellungen bei Fixation eines Punktes in der Medianebene zu geben.

$f =$ Negg.	70	80	90	100	110	120	130	150	175	200	230
+ 40°		4° 44'		3° 48'	4° 29'		2° 44'			3°	
+ 30°		3° 25'		2° 47'	2° 26'	2° 15'	2° 3'		2°	1° 40'	0° 56'
+ 20°		2° 26'	3° 4'	2°	1° 51'	1° 48'	1° 45'	1° 51'	1° 22'	1° 1'	0° 50'
+ 10°			1° 57'	1° 16'	0° 59'	0° 44'	0° 38'	1° 30'	0° 29'	0° 56'	0° 35'
Horizont.											0° 20'
— 10°	1° 45'	1° 25'	1° 10'		0° 56'		0° 50'		0° 41'	0° 26'	0° 18'
— 20°				0° 50'			0° 38'	0° 35'		0° 23'	0° 15'
— 30°		0° 44'		0° 20'		0° 23'				0° 15'	0
— 35°	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
— 40°	— 0° 56'		— 0° 50'	— 0° 33'	— 0° 20'	— 0° 18'	— 0° 18'	0	0	0	— 0° 6'
— 50°	— 2° 41'		— 1° 48'	— 1° 34'							— 0° 18'
— 60°				— 2° 12'							— 0° 38'

Note I. Stellt in Fig. 8 Taf. II  $A$  den Kreuzmittelpunkt,  $AC$  den horizontalen Kreuzschenkel,  $ACD$  die Kreuzebene,  $BGF$  die brechende Ebene der Hornhaut,  $AB$  die Gesichtslinie dar, so soll die Ebene  $FBAC$  senkrecht auf  $ADC$ , die Ebene  $GBAD$  senkrecht auf  $BGF$  stehen, dann bildet also  $GBAD$  die Brechungsebene, innerhalb welcher die Linie  $AB$  dem Einfallslot um die Differenz  $\gamma' - \gamma$  nach  $BH$  zugelenkt wird. Bezeichnen wir nun den Winkel, welchen beide Ebenen auf der Kreuzebene abschneiden, mit  $\alpha$  und  $\angle BAC$  mit  $R - \varphi$ , so ergibt das rechtwinklige sphärische Dreieck  $CDE$  (mit  $\angle C = 90^\circ$ ):  $\operatorname{tg} E = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \varphi}$ ; ferner das Dreieck  $GFE$  (mit  $\angle G = 90^\circ$ ):  $\operatorname{tg} GF = \operatorname{tg} E \sin GE$ , endlich das Dreieck  $G FH$  (mit  $\angle G = 90^\circ$ ):

$$\operatorname{tg} H - \operatorname{tg} \alpha' = \frac{\operatorname{tg} GF}{\sin GH} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \varphi} \cdot \frac{\sin GE}{\sin GH}.$$

Da nun  $GE = 90^\circ - \gamma'$  und  $GH = 90^\circ + \gamma$  (der Brechungscoefficient der Hornhaut  $n = 1,336$ ), so folgt

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \varphi} \sqrt{\frac{1 - n^2 \sin^2 \gamma}{1 - \sin^2 \gamma}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

$\alpha'$  bezeichnet den Winkel, um welchen das Kreuz in seiner Ebene zu drehen ist, damit der horizontale Schenkel in die Brechungsebene fällt, somit die Winkelverziehung verschwindet, bei mir  $45^\circ$ ,  $\alpha$  ist alsdann  $= 45^\circ - \frac{\beta}{2}$  und hiermit ist  $\gamma$  zu berechnen.

Note II. Stellt (Fig. 3 Taf. II)  $MKK'O$  eine Ebene dar, so ist in den sphärischen Dreiecken  $DCE$  und  $GFH$   $\angle H = \angle E$ . Da nun  $\angle EC = 90^\circ + \varphi$  und  $\angle HF = 90^\circ - \varphi$ , ferner  $\angle C = \angle F - \alpha$ , so

$$\operatorname{cotg} \xi \cos \varphi = \operatorname{cotg} E \sin \alpha - \sin \varphi \cos \alpha$$

$$\operatorname{cotg} \xi' \cos \varphi = \operatorname{cotg} H \sin \alpha + \sin \varphi \cos \alpha$$

folglich

$$\operatorname{cotg} \xi' = \operatorname{cotg} \xi + 2 \operatorname{tg} \varphi \cos \alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Note III. Um die Berechnung des Kegelmantels genau zu machen, muß ich die Schiefstellung der Hornhäute einerseits und die Neigung der Tangentialebene der Netzhäute gegen eine auf der Medianlinie senkrechte Ebene andererseits berücksichtigen. Suche ich also in einer solchen Ebene die Durchschnittslinien der Richtungsebenen nach ihrem Austritt aus dem Auge, so lege ich am einfachsten jene Ebene wieder durch die beiden Kreuzungspunkte  $K, K'$  (Fig. 9 Taf. II), und in derselben durch den Mittelpunkt der Grundlinie  $M$  ein Coordinatensystem. Dann ergeben sich für die beiden Durchtrittslinien ( $DK$  und  $DK'$ ) identischer Richtungsebenen die Formeln:

$$\left. \begin{aligned} y &= m x + d \\ y &= m_1 x - d \end{aligned} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

In einer Tertiärstellung zeigen nun (nach S. 16) je zwei identische Richtungsebenen nicht dieselbe Neigung gegen die Visirebene, sondern die eine

gleich  $\alpha' + \xi$ , die andere  $\alpha' - \xi$ ; diese Flächenwinkel werden nach dem Austritt aus dem Auge in der auf der Medianlinie senkrechten Ebene Winkel abschneiden, deren Grösse sich aus Formel (1) bestimmt; somit haben die Richtungsconstanten die Werthe:

$$m = \operatorname{tg}(\alpha' - \xi) \cos \varphi \sqrt{\frac{1 - \sin^2 \gamma}{1 - n^2 \sin^2 \gamma}}$$

$$m_1 = \operatorname{tg}(\alpha' + \xi) \cos \varphi \sqrt{\frac{1 - \sin^2 \gamma}{1 - n^2 \sin^2 \gamma}}$$

Setzen wir:

$$\cos \varphi \sqrt{\frac{1 - \sin^2 \gamma}{1 - n^2 \sin^2 \gamma}} = \lambda,$$

so bekommen wir aus (3) als Ort der Durchschnittspunkte von  $DK$  und  $DK'$ :

$$\lambda^2 x^2 - 2d\lambda x \operatorname{ctg} 2\xi + y^2 = d^2 \quad . . . . . (4).$$

Die gesuchte Curve ist also eine Ellipse, deren Mittelpunkt um  $\frac{d \operatorname{ctg} 2\xi}{\lambda}$  von  $M$  absteht, deren kleine Axe  $b = \frac{d}{\sin 2\xi}$ , deren grosse Axe  $a = \frac{d}{\lambda \sin 2\xi}$ .

Um nun mit Hülfe dieser Ellipse den Winkel  $\mu$  zu bestimmen, nehme ich noch den Mittelpunkt der Grundlinie als Scheitel der Ellipse (die wahre Entfernung zwischen beiden beträgt höchstens 3<sup>mm</sup> bei einer grossen Axe  $a$  von 250<sup>mm</sup>); ich habe alsdann mittels der Scheitelgleichung, wenn ich noch  $y = x \operatorname{tg} v$  setze:

$$a^2 y^2 = b^2 (2ax - x^2) = a^2 \operatorname{tg}^2 v x^2$$

$$x = \frac{2ab^2}{a^2 \operatorname{tg}^2 v + b^2}.$$

Da nun  $MD = \frac{x}{\cos v}$ , so ist  $\operatorname{tg} \mu = \frac{MD}{f} = \frac{x}{f \cos v}$  zu berechnen.

Für den Kreis ergibt Fig. 4 Taf. II:

$$MC = \frac{d}{\operatorname{tg} \xi}, \quad MD = MC \cos v,$$

$$\text{also } \operatorname{tg} \mu = \frac{d \cos v}{f \operatorname{tg} \xi}.$$

