 ©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Über die Grenzen des telestereoskopischen Sehens

Dr. phil. **Friedrich Wächter.**

(Mit 5 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 22. October 1896.)

Seit etwa zwei Jahren werden von der bekannten optischen Firma Carl Zeiss in Jena sogenannte Relieffernrohre in den Handel gebracht, welche anstatt der bisher üblichen — aus zwei galileischen Fernrohren bestehenden — Feldstecher vielfache Verwendung finden. Bei diesen Zeiss'schen Instrumenten sind zwei Prismenfernrohre derartig zu einem Binocle zusammengefügt, dass der gegenseitige Abstand der Mittelpunkte der beiden Ocularlinsen zwischen 57 und 85 *mm* variirt werden kann und sich somit dem natürlichen Abstande der beiden Augen des Beobachters anpassen lässt, während die durch Spiegelung, respective durch totale Reflexion in die beiden Objectivlinsen eintretenden optischen Axen — je nach Grösse des Instrumentes — einen Abstand von 340—420 *mm* haben.

Diese Einrichtung entspricht sonach dem Princip des Helmholtz'schen Telestereoskopes und ermöglicht ein stereoskopisches Sehen auf grössere Distanzen, als dies mit freiem Auge möglich ist. Bei dem Studium der mir wiederholt vorgelegten Frage: bis zu welchen Grenzen mit diesen Zeiss'schen Relieffernrohren noch stereoskopische Wahrnehmungen möglich seien, gelangte ich zu nachstehenden Resultaten, welche in Anbetracht ihres allgemein wissenschaftlichen Charakters Gegenstand der vorliegenden Publication sein sollen.

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Bevor man die Frage erörtert, welches die mit einem bestimmten Instrumente erreichbare Grenzdistanz für stereoskopische Wahrnehmung sei, wird man wohl zuerst untersuchen müssen, welche gleiche Grenzdistanz für das unbewaffnete menschliche Auge gegeben ist?

Die Fachliteratur über das binoculare Sehen ist eine sehr umfangreiche und hat insbesonders H. v. Helmholtz in seinem Handbuch der physiologischen Optik diesen Gegenstand in eingehendster Weise behandelt.

In Bezug auf die Grenzdistanz des stereoskopischen Sehens mit freiem Auge gelangte v. Helmholtz[1] zu dem nachstehenden Satze:

»Die Vergleichung der Netzhautbilder beider Augen zum Zweck des stereoskopischen Sehens geschieht mit derselben Genauigkeit, mit welcher die kleinsten Abstände von ein und demselben Auge gesehen werden.«

Dieser Satz wurde aus einem eigens hiezu angestellten Experimente abgeleitet, bei welchem drei Nadeln in Entfernungen von je 12 *mm* von einander aufgestellt waren und aus einer Entfernung von 340 *mm* darauf hin beurtheilt wurden, ob sich dieselben genau in derselben Ebene befanden oder nicht.

Um auf Grund dieses Satzes für einen gegebenen Fall einen Grenzwerth bestimmen zu können, ist jedoch eine nähere Interpretation und eine Zahlenangabe erforderlich; v. Helmholtz stellt diesbezüglich für das Gesetz der stereoskopischen Tiefenwahrnehmung die Formel auf:

$$\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r} > \frac{1}{f},$$

worin ρ die Distanz des näher gelegenen Punktes, r die Distanz eines entfernteren Punktes und f eine Constante ist, welche die Genauigkeit der Wahrnehmung bestimmt. Diese Constante f fand v. Helmholtz aus dem vorerwähnten Versuche mit den Nadeln $= 240\ m$.

Bei näherer Betrachtung dieser Formel erkennt man, dass bei kleinen Distanzen schon ein geringer Unterschied von r

[1] Handbuch der physiologischen Optik. Leipzig, 1887, S. 645.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

und ρ eine stereoskopische Wahrnehmung der Tiefendimension ermöglicht, während für grössere Distanzen diese Unterschiede rapid zunehmen. Für $f = 240\ m$ und $\rho = 5\ m$ erhält man beispielsweise (wenn als Grenzwerth $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r} = \frac{1}{f}$ gesetzt wird) $r = 5{\cdot}1\ m$, also nur um $^1/_{50}$ grösser als ρ, während für $\rho = 200\ m$ r schon $1205\ m$ oder circa $6 \times \rho$ wird, d. h. also in Worten ausgedrückt, ein $5\ m$ weit entfernter Gegenstand muss in der Sehrichtung eine Tiefenausdehnung von $0{\cdot}1\ m$ haben, um stereoskopisch wahrnehmbar zu sein, während ein $200\ m$ weit entfernter Gegenstand eine Tiefenausdehnung von $1205\ m$ haben müsste.

Wie schon erwähnt, hat v. Helmholtz die obige, als Maass der Genauigkeit dienende Zahl $f = 240$ aus einem Versuche mit Nadeln ermittelt. Nun ist aber bekannt, dass glitzernde Gegenstände, wie Nadeln, Glassplitter u. dergl. unter einem viel geringeren Gesichtswinkel noch sichtbar sind als andere weniger gut reflectirende Objecte. Bei Untersuchung der Frage, auf welche Grenzdistanzen man mit Fernrohren noch stereoskopische Wahrnehmungen machen könne, kommen aber im Allgemeinen nicht glitzernde Gegenstände in Betracht, sondern Objecte von minderen Helligkeits- und Farbencontrasten, wie Dächer und Mauern, Wälder und Wiesen oder Fels- und Gebirgspartien in allen Abstufungen von grün, blau, grauer Farbe. Um daher einen, diesen Verhältnissen besser anpassenden Mittelwerth der Zahl f bestimmen zu können, habe ich nachstehende einfache Versuche ausgeführt.

Auf einem entsprechenden Stative wurde ein würfelförmiger oder prismatischer Körper $abcd$ (Fig. 1) so aufgestellt, dass dessen parallele Seitenkanten ab und cd genau senkrecht gegen die Mitte eines langen Tisches T gerichtet waren. Die mit Pfeilen bezeichnete Distanz D betrug bei verschiedenen Versuchen 5, 10 oder 15 m. Brachte der Beobachter seinen Kopf nun in solche Stellung, dass die Sehrichtung der beiden Augen genau in die Verlängerung der Kanten ab und cd fiel, die Augen also die Stellung A_l und A_r hatten, so konnte nur die vordere Fläche des Würfels, welche in der Zeichnung durch bc dargestellt wird, erblickt werden. Es wurde nun ermittelt,

wie weit man den Kopf längs der Tischkante nach rechts oder links bewegen müsse, um mit dem rechten oder linken Auge die Fläche cd, respective ab eben noch wahrnehmen zu können Es sei dies nun in den Punkten s_r und s_l möglich gewesen.

Aus den bekannten Grössen D, $A_r s_r$ und cd, respective $A_l s_l$ und ab, liess sich dann leicht und mit hinlänglicher Genauigkeit bestimmen, welche Grösse der Gesichtswinkel $cs_r d$,

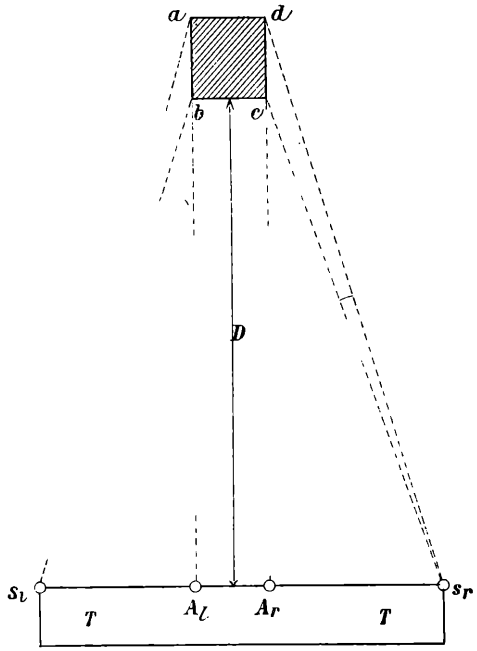

Fig. 1.

respective $bs_l a$ haben muss, damit die Fläche cd oder ab an der äussersten Grenze der Wahrnehmbarkeit sei.

Die zu dem Experimente dienenden Würfel bestanden aus verschiedenem Materiale, und zwar wurden verwendet: ein Würfel aus Sandstein von gelblicher Farbe, ein braun politirter Holzwürfel, ein Holzwürfel in Naturfarbe, ein graublau gestrichener und ein mit laubgrünem Tuche überzogener Würfel, endlich ein schwarz und weiss gestrichener Würfel.

Als Resultat dieser Versuche, welche — wie dies in der Natur der Sache liegt — allerdings nur relative Werthe liefern

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

können, ergaben sich für den kleinsten Sehwinkel $cs_r d$, respective $bs_l a$ nachstehende Zahlen:

Weiss-schwarzer Würfel auf schwarzem Hintergrund	0′ 33″
weissem	1′ 42″
Holzwürfel, naturfarbig, Hintergrund gelbe Mauer	2′ 2″
Sandsteinwürfel, gelblich,	2′ 25″
Holzwürfel, braun polirt,	2′ 49″
Holzwürfel, blaugrau gestrichen, Hintergrund gelbe Mauer	2′ 58″
Würfel mit grünem Tuche, Hintergrund gelbe Mauer	3′ 30″
grüne Wand	2′ 20″

Zugleich machte sich hiebei die bekannte Erscheinung geltend, dass die Grösse jenes Sehwinkels, unter welchem ein bestimmter Gegenstand noch gerade sichtbar ist, nicht nur von der Distanz und der Grösse des Gegenstandes abhängt, sondern auch von der Farbe desselben, der Intensität, mit welcher derselbe beleuchtet wird, dem Reflexionsvermögen seiner Begrenzungsflächen (bei grossen Distanzen auch von der mehr oder minder guten Durchsichtigkeit der Atmosphäre) und endlich insbesondere von dem Contraste zwischen der Farbe des Gegenstandes selbst und seiner Umgebung, sowie jener des Hintergrundes. Je nachdem diese Factoren variiren, erhält man also auch verschiedene Werthe für den Sehwinkel.

Die kleinsten Werthe für diesen Winkel, welchen wir mit α bezeichnen wollen, ergaben sich, wie obige Angaben zeigen, bei Beobachtung des schwarz-weissen Würfels, und zwar bei schwarzer Vorderfläche, weissen Seitenflächen und schwarzem Hintergrund als $\alpha = 0' 33''$; den grössten Werth für $\alpha = 3' 30''$ erhielt man für den allseitig mit grünem Tuch überzogenen Würfel, wenn den Hintergrund eine 80 m weit entferte, gelb getünchte Mauer bildete.

Eliminirt man die für den schwarz-weissen Würfel gefundenen kleinsten Werthe von $\alpha = 0' 33''$ bis $1' 42''$, weil so starke Farbencontraste bei einer Landschaft kaum vorkommen, so kommen also nur Werthe von $\alpha = 2'$ bis $3^1/_2{}'$ in Betracht. Aus diesen Zahlenwerthen $\alpha = 2'$ bis $3^1/_2{}'$ lässt sich nun aber die Grenzdistanz des stereoskopischen Sehens für normale

unbewaffnete Augen in folgender höchst einfacher Weise bestimmen.

Wie schon eingangs bei der Besprechung der Helmholtzschen Formel für die stereoskopische Tiefenwahrnehmung bemerkt wurde, ist ein Gegenstand von sehr grossen Tiefendimensionen auf grössere Distanzen stereoskopisch sichtbar, als ein kleiner Gegenstand.

Als theoretische oder absolute Grenzdistanz für das stereoskopische Sehen kann daher füglich nur jene bezeichnet werden, bei welcher selbst Gegenstände von unendlich grosser Ausdehnung aufhören, stereoskopisch wahrnehmbar zu sein.

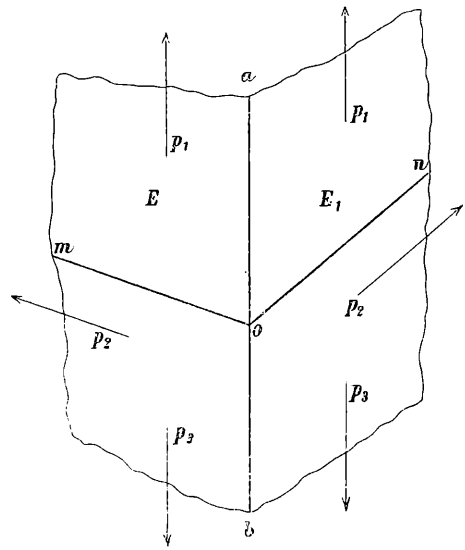

Fig. 2.

Es möge nun die perspectivische Zeichnung (Fig. 2) zwei sich rechtwinkelig in der Linie ab schneidende Ebenen E und E_1 darstellen, welche Ebenen in der Richtung der Pfeile p_1, p_2, p_3 sich unendlich weit ausdehnen und sonach eine körperliche Kante von unendlich grosser Dimension bilden. Denkt man sich diese beiden Ebenen rechtwinkelig zu ab in den Linien mon durch eine dritte (Zeichnungs-) Ebene geschnitten, so stellt sich die Horizontalprojection der beiden Ebenen E und E_1 in der Zeichnungsebene als zwei sich rechtwinkelig treffende Linien mo und no in Fig. 3 dar, welche Linien man sich von dem Schnittpunkt o aus gegen m und n hin unendlich weit verlängert denken muss.

Befindet sich nun in dem Punkte z (Fig. 3), welcher von der Ebene E einen Abstand $= f$ hat, ein Beobachter, so kann derselbe nur die Ebene E allein wahrnehmen, nicht aber auch

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

die Ebene E_1, und ist somit nicht im Stande, eine körperlich-plastische oder stereoskopische Wahrnehmung zu machen.

Stellt sich der Beobachter hingegen so auf, dass sein linkes Auge genau in die Verlängerung der Linie no nach A_l kommt, so wird er mit seinem rechten Auge A_r die unendlich grosse Ebene E_1 unter der Voraussetzung eben noch wahrnehmen können, wenn der Sehwinkel oA_rx einen Werth hat, der — je nach Farbe und Beleuchtung der Flächen — zwischen 2 und $3^1/_2{}'$ liegt.

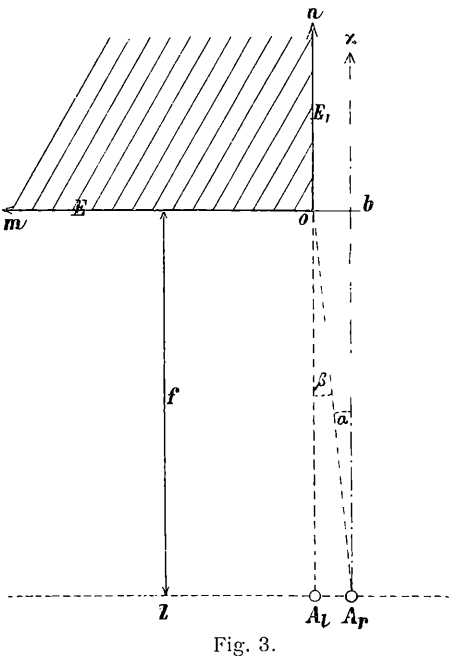

Fig. 3.

Es ist nun klar, dass die Linie A_rx parallel zu A_lo sein muss, da deren Schnittpunkt x im Unendlichen liegt; weiters ergibt sich auch sofort — ohne eines weiteren Beweises zu bedürfen —, dass die beiden rechtwinkeligen Dreiecke A_lA_ro und obA_r congruent sind und daher $\sphericalangle\alpha = \sphericalangle\beta$ und Linie $A_lA_r = ob$ ist.

Die unendlich grosse Fläche E_1 projicirt sich also dem rechten Auge des Beobachters als ein unendlich langer Verticalstreifen von der scheinbaren Breite $ob = A_lA_r$. Die Strecke A_lA_r ist aber eine von der Natur gegebene und bestimmte Grösse, nämlich der Augenabstand des Beobachters, welchen man im Mittel mit ungefähr 65 *mm* annehmen kann.

Die theoretische Grenzdistanz *(f)* für das stereoskopische Sehen ist also jene, für welche der Augenabstand des Beobachters unter jenem kleinsten Winkel erscheint, welcher überhaupt noch eine Wahrnehmung ermöglicht.

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Um $f = A_l o$ zu berechnen, hat man also nur das rechtwinkelige Dreieck $A_l A_r o$, in welchem $A_l A_r$ und $\sphericalangle \beta = \alpha$ bekannt sind, aufzulösen und daraus $A_l o$ zu suchen.

Für den mittleren Augenabstand $= 65\ mm$ und den Sehwinkel $\alpha = 2'$ ergibt sich danach die Grenzdistanz $f = 111\ m$, während für $\alpha = 3^1/_2{}'$ $f = 64\ m$ wird.

Die theoretische Grenze des stereoskopischen Sehens für das unbewaffnete Auge liegt also ungefähr zwischen 64 *m* und 111 *m*. Diese Zahlen sind, wie man sieht, erheblich kleiner als die von Helmholtz mit 240 *m* bestimmte Zahl, was sich dadurch erklärt, dass Helmholtz den Sehwinkel mit glitzernden Stahlnadeln bestimmte, wobei er einen Werth von $60^1/_2{}''$ fand, während man bei Beobachtung von Gegenständen aus Holz, Stein etc. mit grösseren Winkeln rechnen muss.

In Wirklichkeit oder praktisch genommen wird man jedoch nur auf noch geringere Distanzen stereoskopisch sehen, denn während für die theoretische Grenze die Helmholtz'sche Formel die Gestalt

$$\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{f}$$

annimmt, wo $\rho = f$ ist, ist diese Formel für endliche Distanzen

$$\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r} > \frac{1}{f}$$

weil einerseits r nicht unendlich gross sein kann, sondern stets einen endlichen, und zwar meist nicht sehr grossen Werth hat, anderseits, weil $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r}$ nicht gleich $\frac{1}{f}$, sondern grösser sein muss, da es sich um thatsächliche und deutliche Wahrnehmung der Tiefendimensionen handelt und nicht um deren Verschwindungspunkt; folglich muss ρ kleiner als f sein, d. h. der näher gegen den Beobachter gelegene Punkt des stereoskopisch wahrnehmbaren Gegenstandes muss eine geringere Distanz als 64—111 *m* haben.

Es mag nun auf den ersten Blick befremdlich erscheinen, dass man nur auf so geringe Distanzen solle stereoskopisch sehen können, da doch die tägliche Erfahrung lehrt, dass

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

grössere Gebäude schon auf Entfernungen von 400—500 *m* noch in allen Details plastisch und körperlich sichtbar sind, während hohe Gebirge schon auf viele Kilometer weit noch vollkommen plastisch erscheinen.

Nach den vorstehenden Darlegungen kann aber gar keine Rede davon sein, dass mit freiem Auge eine stereoskopische Wahrnehmung auf so grosse Distanzen möglich sei. Diesbezüglich muss darauf hingewiesen werden, dass bekanntlich nicht nur ein stereoskopisches Sehen auf rein optischem Wege, sondern auch auf Grund physiologischer und psychologischer Vorgänge stattfindet. Man ist nämlich, wie von Brewster, Wheastone, Dove, Helmholtz, Brücke, Wundt, Meyer u. v. A. dargelegt wurde, von Kindheit an gewöhnt, entfernte Gegenstände, wie Häuser, Berge etc. nicht nur von einem einzigen Standpunkte zu betrachten, sondern auch während des Gehens von mehreren, weit auseinander gelegenen Standpunkten. Indem sich aber durch Gehirnthätigkeit der zuerst erhaltene Eindruck mit den späteren Wahrnehmungen zu einem einzigen Bilde vereint, gewinnt man durch Betrachtung desselben Gegenstandes von verschiedenen Standpunkten körperliche oder stereoskopische Vorstellungen.

Desgleichen erhält man mittelst des Gefühls für die jeweils erforderliche Accommodation der Augen Vorstellungen für die Tiefendimension und die gegenseitige Distanz entfernter Objecte; ebenso durch die Vergleichung der scheinbaren Grösse verschiedener Gegenstände, deren wirkliche Grösse durch frühere Erfahrungen annähernd bekannt ist.

Am wesentlichsten trägt aber die Schattenbildung durch die Sonnenbeleuchtung zur plastischen Wahrnehmung bei, da man durch Erfahrung — nicht aber durch directes stereoskopisches Sehen — aus der Art und Form der Schlag- und Halbschatten, die Raum- und Tiefendimensionen des entfernten Gegenstandes erkennt.

Diese Erscheinungen, welche in dem Helmholtz'schen Handbuche der physiologischen Optik in eingehendster Weise erörtert werden, wurden hier nur aus dem Grunde erwähnt, um den scheinbaren Widerspruch zwischen Theorie und Praxis des stereoskopischen Sehens zu erklären.

Wir kommen nun erst zu dem eigentlichen Gegenstande unserer Untersuchung, nämlich der Bestimmung der Grenzdistanzen für die telestereoskopische Beobachtung mit Instrumenten. Auf Grund des Vorhergesagten gestaltet sich diese Untersuchung sehr kurz und ohne jede Schwierigkeit.

Betrachten wir zunächst das einfachste Instrument dieser Art, nämlich das Telestereoskop von Helmholtz. Dasselbe besteht, wie bekannt, aus zwei Spiegelpaaren bb_1 und cc_1 (Fig. 4), welche senkrecht in einem gemeinsamen hölzernen Kasten und unter 45° gegen die längsten Kanten desselben geneigt befestigt sind. Das von dem fernen Objecte kommende

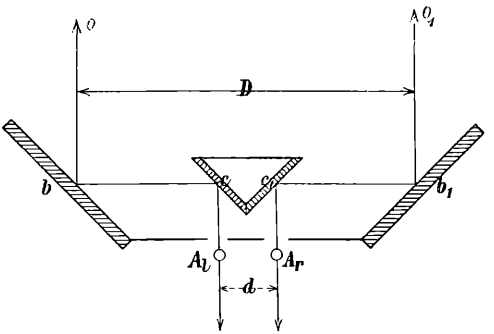

Fig. 4.

Licht wird auf den Wegen $obcA_l$ und $o_1b_1c_1A_r$ zweimal unter rechten Winkeln reflectirt und fällt bei A_l und A_r in die beiden Augen des Beobachters. Der natürliche Augenabstand d wird daher, wie ohneweiters ersichtlich ist, durch das Instrument auf den Abstand D vergrössert oder in dem Verhältnisse $\frac{D}{d}$ erweitert.

Bei dem von Helmholtz beschriebenen Exemplare eines solchen Telestereoskopes betrug der Abstand $D = 4$ Schuh, $d = 3$ Zoll; $\frac{D}{d}$ ist daher $= 16$, d. h. der natürliche Augenabstand erscheint durch dieses Instrument um das 16fache vergrössert.

Die Grenzdistanz für stereoskopische Wahrnehmung mit diesem Instrumente ist daher theoretisch 16mal so gross wie

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

mit freiem Auge, also 16×64 bis 16×111 oder 1024 bis 1776 *m*. Praktisch wird jedoch eine erheblich geringere Grenze gegeben sein, und zwar aus drei Gründen: 1. weil, wie schon oben bemerkt, $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r}$ nicht gleich $\frac{1}{f}$, sondern grösser als $\frac{1}{f}$ sein muss, 2. weil bei diesem Instrumente Spiegel in Anwendung kommen, welche eine Lichtabsorption und somit eine Helligkeitsverminderung herbeiführen, und zwar nach meinen photometrischen Messungen eine solche von circa 10% pro Spiegel, also gegenüber der directen Beobachtung durch das Auge eine Helligkeitsabnahme um 20%, weil für jedes Auge der beobachtete Gegenstand zweimal gespiegelt wird; endlich 3. weil selbst die besten planparallelen Spiegel eine Verminderung der Deutlichkeit oder »Definition« der Bilder veranlassen, dies aber um so mehr der Fall ist, wenn — wie bei dem Helmholtzschen Instrumente — nicht planparallele, sondern gewöhnliche, ungeschliffene Spiegel verwendet werden, welche geradezu eine Verzerrung der Bilder bewirken.

Die praktische oder thatsächliche Grenze für stereoskopische Wahrnehmungen mit dem Helmholtz'schen Instrumente der angegebenen Dimension muss daher noch erheblich unter 1000 *m* liegen. Dieses Resultat steht allerdings nicht ganz in Übereinstimmung mit den diesbezüglichen Mittheilungen von Helmholtz, welcher über die Leistung seines Instrumentes Folgendes sagt:[1]

»Dem Beobachter erscheint die Landschaft durch das Telestereoskop wie ein verkleinertes Modell. Alle nicht zu entfernten Theile der Landschaft bekommen dasselbe körperliche Aussehen wie im Stereoskop, und behalten dabei den ganzen Reichthum ihrer natürlichen Farben, so dass Bilder von überraschender Zierlichkeit und Eleganz entstehen. Fernere Gegenstände erscheinen allerdings platt, lösen sich aber doch noch von ihrem Hintergrunde ab, so z. B. Berge, die eine halbe Meile entfernt sind, vom Himmel.«

Die stereoskopische Wahrnehmung auf eine halbe Meile würde also ungefähr eine Distanz von 3700 *m* ergeben, oder

[1] Pogg. Ann., Bd. CII, S. 171, 1857

mehr als dreimal so viel als wir vorstehend dafür berechnet haben. Es ist nun allerdings möglich, dass bei so scharfen Contrasten, wie selbe zwischen einem dunklen Bergrücken und dem hellen Horizonte sich ergeben, auch Wahrnehmungen unter einem geringeren Sehwinkel als $1'$ gemacht werden können; anderseits ist es aber vielleicht nicht ausgeschlossen, dass hiebei eine optische Täuschung mitspielt. Da nämlich sämmtliche Objecte des Vordergrundes bis auf etwa 600 m hin thatsächlich in auffälliger Weise plastisch erscheinen, ist man leicht geneigt, diese Plastik der Bilder durch eine Art Suggestion auch auf die entfernteren Theile des Hintergrundes zu übertragen, ohne dass sie wirklich dort vorhanden wäre.

Bei den Relieffernrohren von Zeiss kommt für die Berechnung der Grenzdistanz stereoskopischer Wahrnehmungen eine Complication hinzu. Bei diesen Instrumenten ist nämlich nicht nur der Abstand D der optischen Axen grösser als die Augendistanz d (Fig. 5), sondern es geschieht zugleich die Beobachtung durch Fernrohre $R\,R_1$, welche eine acht- bis zehnmalige Vergrösserung haben und daher eine schärfere Definition der Bilder ergeben als das unbewaffnete Auge.

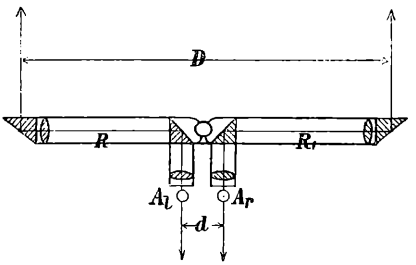

Fig. 5.

Der Einfluss der schärferen Definition macht sich aber in folgender Weise geltend. Würde man in Fig. 3 die unendlich gross gedachte Ebene E_1 von den Punkten $A_l A_r$ aus nicht mit freiem Auge, sondern mit irgend einem gewöhnlichen Binocle betrachten, so würde die Strecke ob (d. i. die Projection der Ebene E_1) aus der Entfernung $f = 111\ m$ — wo selbe für das unbewaffnete Auge gerade an der Grenze der Wahrnehmbarkeit ist — mit dem Binocle noch sehr gut sichtbar sein und man müsste sich bedeutend weiter von E entfernen, um die Strecke ob auch bei Beobachtung mit dem Binocle an der Grenze der Wahrnehmbarkeit zu finden. Die Grenzdistanz f_1 für die Beob-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

achtung mit Fernrohren wird also in demselben Masse grösser als f (= die Grenzdistanz für das unbewaffnete Auge) als das Fernrohr kleinere Sehwinkel ergibt, wie das freie Auge.

Die definirende Kraft eines Fernrohres, vermöge welcher Gegenstände in der Entfernung wahrnehmbar werden, die dem freien Auge wegen des zu kleinen Sehwinkels unsichtbar bleiben, hängt aber bekanntlich von mehrfachen Umständen ab, und zwar 1. von der vergrössernden Kraft des Fernrohres, 2. von der mehr oder weniger vollkommenen Beseitigung der sphärischen und chromatischen Aberration, 3. von der Exactheit des Schliffes, respective der Politur der Glaslinsen, 4. von der Helligkeit der Bilder im Fernrohr und endlich von der Art, Beleuchtung, Entfernung und den Farbencontrasten des beobachteten Gegenstandes.

Diese verschiedenen Factoren können hinsichtlich ihres zusammenwirkenden Einflusses auf die definirende Kraft eines Fernrohres nicht leicht theoretisch berechnet werden, lassen sich aber in sehr einfacher Weise praktisch ermitteln. Bekanntlich geschieht dies gewöhnlich in der Art, dass man eine Tafel mit verschiedenen schwarzen Liniensystemen auf weissem Grunde aus einer bestimmten Entfernung mit dem Fernrohre beobachtet und daraus jenen kleinsten Sehwinkel bestimmt, welcher noch eine Auflösung der Systeme in einzelne Linien ermöglicht. Auch durch Beobachtung von Doppelsternen von bekanntem Winkelabstande kann diese Bestimmung geschehen.

Beide Methoden ergeben jedoch Messungen unter günstigeren Umständen, d. h. bei Vorhandensein schärferer Contraste als solche im Durchschnitt bei Betrachtung einer Landschaft vorzukommen pflegen. Ich habe daher in analoger Weise wie für das freie Auge auch für die Beobachtung mit einem Zeiss'schen Relieffernrohr, welches mir von der k. k. Hof- und Universitäts-Buchhandlung R. Lechner in Wien freundlichst zur Verfügung gestellt wurde, Messungen jener kleinsten Sehwinkel vorgenommen, unter welchen Gegenstände von verschiedenen minder contrastreichen Farben eben noch wahrnehmbar waren. Hiezu wurden die bereits früher erwähnten Würfel benützt und ergaben als Grenzwerthe für den Sehwinkel $\alpha = 0' 30''$ bis $0' 58''$

Die Abmessungen des Instrumentes, soweit selbe hier in Betracht kommen, waren:

Distanz der optischen Axen $= 400\,mm$, Vergrösserung $= 10$ fach.

Definirende Kraft gegen schwarz-weisse Liniensysteme $= 12''$

Hieraus ergibt sich, dass in Folge der besseren Definirung die Grenzdistanz f sich berechnet:

$$f = \frac{400\,mm}{\text{tg } 30''} = 2750\,m,$$

während für $\alpha = 58''$, $f = 1422\,m$ wird.

Die theoretischen Grenzdistanzen für stereoskopische Wahrnehmungen mit dem Zeiss'schen Relieffernrohre des vorbezeichneten Typus liegen daher rund zwischen 1400 und $2700\,m$; praktisch genommen werden diese Distanzen allerdings noch etwas geringer sein. Es kommt hiebei aber noch ein Umstand in Betracht, auf welchen schon Helmholtz[1] hingewiesen hat.

Infolge der zehnfachen Vergrösserung erscheinen nämlich alle Gegenstände zehnmal näher gerückt, die Entfernung der optischen Axen der beiden Fernrohre ist aber nicht zehnmal grösser als der natürliche Augenabstand, sondern nur $\frac{400}{65} = 6{\cdot}1$ mal grösser. Daher erscheinen die Gegenstände dem Beobachter nach der Tiefendimension platt gedrückt, denn ein zehnmal näherer Gegenstand würde von dem unbewaffneten Auge unter einem grösseren Gesichtswinkel der Tiefendimensionen wahrgenommen werden. Dieser Umstand hat allerdings auf die Vollkommenheit der Bilder des Zeiss'schen Relieffernrohres keinen merkbaren Einfluss, da man ja an das Beobachten mit gewöhnlichen Binocles und Doppelfernrohren gewöhnt ist, welche die Tiefendimensionen noch in viel höherem Grade platt drücken.

Wir wollen schliesslich noch eine dritte Art telestereoskopischer Wahrnehmung erörtern, welche ganz bedeutend

---

[1] Pogg. Ann., CII. Bd., S. 174, 1857

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

grössere Grenzdistanzen erreichen lässt als die vorbesprochenen Instrumente. Es ist dies die stereoskopische Darstellung mit Hilfe der Photographie.

Die gebräuchlichen photographischen Stereoskopbilder werden, wie bekannt, in der Regel mittelst sogenannter Stereoskopcameras angefertigt, bei welchen zwei genau gleichartige Objectivgläser zur Verwendung kommen, deren Mittelpunkte einen Abstand von circa 80—100 *mm* haben, also einen solchen, der nicht wesentlich grösser ist als der natürliche Augenabstand. Es gibt aber auch Apparate, bei welchen die beiden Cameras getheilt sind und sich auf einen Abstand bis zu etwa 1 *m* auseinanderrücken lassen. Solche Apparate beruhen also auch auf dem Principe des Telestereoskopes, da der natürliche Augenabstand hiedurch in sehr erheblichem Masse vergrössert und damit eine erhöhte Plastik der Bilder erzielt wird.

Aus praktischen Gründen ist es nicht wohl thunlich, den Abstand der beiden Cameras, also die Basislinie für die beiden gleichzeitigen Aufnahmen, in einem einzigen Instrumente noch grösser zu machen, weil das Instrument sonst unbequem grosse Ausmasse erhalten müsste. Es unterliegt aber gar keinem Anstande, zwei vollkommen getrennte Cameras zu verwenden und dieselben so weit auseinander zu stellen als dies irgend wünschenswerth und erforderlich ist.

Man kann sonach unbeschränkt die Basis der Aufnahme gleich $\frac{D}{n}$ derjenigen Distanz D wählen, auf welche noch stereoskopisch wirkende Bilder erzielt werden sollen und ist dafür nur durch die mindere Durchsichtigkeit der Atmosphäre auf grosse Entfernungen eine Grenze gegeben.

Es ist aber nicht ohne praktische Bedeutung, die Frage zu erörtern, welche Art photographischer Objective, d. h. Objective welcher Brennweite man anwenden müsse, um ein naturgetreues Bild zu erhalten, nämlich ein solches, welches weder zu geringe Tiefendimensionen, noch auch übertriebene Plastik liefert?

Wie schon vorstehend erwähnt wurde, erscheinen bei Binocles und Doppelfernrohren, welche in dem Abstande der natürlichen Augenweite parallel zu einander combinirt sind,

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

die Tiefendimensionen verkürzt oder plattgedrückt. Bei photographischen Objectiven kann aber ebensowohl eine Verkürzung, wie auch eine ganz erhebliche Verlängerung der Tiefendimensionen bewirkt werden, je nach der Bildweite der Objective, und zwar ist meistens letzteres der Fall, da man sich mit Vorliebe der Objective mit kurzen Brennweiten bedient, weil hiedurch die Apparate kleiner und leichter transportabel werden.

Während aber eine Verkürzung der Tiefendimensionen sich dem Auge nicht besonders bemerkbar macht, ist dies in hohem Grade bei einer Verlängerung derselben der Fall. Betrachtet man beispielsweise zwei photographische Aufnahmen derselben Landschaft, Häusergruppe oder dergl., wovon die eine Aufnahme etwa mit einem Objective von 6 *cm* Brennweite, die andere mit einem Objective von 50 *cm* Brennweite hergestellt wurde, so ist man mitunter kaum im Stande, in beiden Bildern die nämliche Landschaft zu erkennen, und auch sehr genau bekannte Örtlichkeiten machen — insbesonders in dem Bilde mit kurzer Brennweite — einen ganz fremden Eindruck.

Dies rührt bekanntlich davon her, dass die in dem Bilde zum Ausdruck kommende Perspective eine ganz andere ist als jene für das Sehen mit freien Augen. Wenn man sich nun aber die Frage vorlegt, welche Brennweite das Objectiv haben müsse, um die natürliche Perspective wiederzugeben, so dürfte dies etwa folgend zu beantworten sein.

Wenn ein Zeichner oder Maler eine Landschaft nach der Natur skizzirt, so bringt er die verschiedenen Gegenstände — mehr oder weniger unwillkürlich — in jener Grösse zu Papier, in welcher sie ihm wirklich erscheinen, d. h. er projicirt sie unter gleichem Sehwinkel auf eine Ebene von solcher Entfernung, als man gewöhnt ist, die Zeichenfläche vom Auge entfernt zu halten, also etwa auf eine Distanz von 30—50 *cm*. Die Front eines 100 *m* weit entfernten Hauses, welche 10 *m* hoch und 10 *m* breit ist, wird daher in der Zeichnung als ein Quadrat von etwa 4 oder 5 *cm* Seitenlänge erscheinen. In dem gleichen Verhältnisse werden auch die näher und weiter liegenden Gegenstände dargestellt und ergeben dadurch die natürliche Perspective, da nicht nur die senkrecht zur Seh-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

richtung verlaufenden Linien, sondern auch die Tiefendimensionen in der gleichen Weise projicirt werden.

Aber nicht nur beim Zeichnen selbst, sondern auch beim blossen Betrachten einer Landschaft verlegt man unbewusst das gesehene Bild in eine Ebene von der Entfernung der deutlichen Sehweite, und man findet daher ein photographisches Landschaftsbild nur dann naturgetreu, wenn es mindestens annähernd gleiche Verhältnisse wiedergibt, wie das freie Auge sie wahrnimmt. Aus den Gesetzen für die Bilder von Convexlinsen berechnet sich aber einfach, dass ein photographisches Objectiv von circa 40 *cm* Brennweite die gleiche Perspective liefert wie das freie Auge.

Mit Objectiven von so grosser Brennweite werden aber selten Stereoskopbilder angefertigt; deshalb zeigen die meisten photographischen Stereoskopbilder eine übertriebene Plastik, was zwar die Wirkung erhöht, aber auf Kosten der Naturtreue geschieht. Auch kommt der Umstand dazu, dass Bilder, welche in gewöhnlichen Stereoskopen verwendet werden sollen, nicht grösser als circa 7 *cm* im Quadrat sein dürfen; mit Objectiven von 40 *cm* Brennweite kommen aber von näher gelegenen Gegenständen nur Bruchtheile auf eine so kleine Bildfläche. Man wäre daher genöthigt, die mit Objectiven von grosser Brennweite aufgenommenen Bilder nachträglich auf das Mass von 7 *cm* Höhe und Breite zu verkleinern, welche Bildgrösse dem natürlichen Augenabstand entspricht. Die grössere Umständlichkeit bei der Herstellung solcher Bilder mag meistens die Ursache sein, dass man sich gewöhnlich nur der Objective mit kurzer Brennweite bedient, und daher leiden die meisten Stereoskopbilder, wie bemerkt, an Naturtreue hinsichtlich der Tiefendimensionen.

Bei Aufnahme von Bildern mit Teleobjectiven erhält man hingegen — wie sich aus dem oben Gesagten ergibt — eine Verkürzung der Tiefendimensionen, welche aber viel weniger störend ist als eine Verlängerung.

Um der Meinung zu begegnen, es seien vorstehende Erörterungen lediglich theoretische Speculationen, aus welchen

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

weitere Consequenzen nicht zu ziehen sind, sei es gestattet, in Kürze noch auf einige Nutzanwendungen hinzuweisen.

Was zunächst die Zeiss'schen Relieffernrohre anbelangt, so werden dieselben insbesonders für militärische Zwecke in grossem Umfange benützt. Eine wichtige militärische Verwendung — ausser jener zur allgemeinen Beobachtung und Recognoscirung — ist aber jene zur Schussbeobachtung beim Artilleriefeuer. Hiebei handelt es sich um die Entscheidung der Frage, ob die Hohlgeschosse vor, hinter oder an dem Ziele selbst auftreffen. Dies wird gegenwärtig aus der Erscheinung der Explosionswolke im Verhältniss zum Ziele mit mehr weniger Verlässlichkeit beurtheilt. Es wäre aber wünschenswerth, noch auf andere Weise diesbezügliche Beobachtungen machen zu können, und daher kann die Frage vorgelegt werden: Welche Beschaffenheit müsste ein Zeiss'sches Relieffernrohr haben, um auf die gewöhnlichen Schussdistanzen, d. i. 3000 bis 4000 *m* den Geschossaufschlag noch stereoskopisch oder der Tiefendimension nach beobachten und danach erkennen zu können, in welcher Lage zum Ziele sich derselbe befindet?

Auf Grund der vorstehend erörterten Principien ist die Beantwortung dieser Frage nicht schwer, und man findet beispielsweise, wenn die Forderung gestellt wird, dass an dem 4000 *m* weiten Ziele die Wahrnehmungen äquivalente Genauigkeit hinsichtlich der Beurtheilung der Tiefendimensionen haben sollen, wie bei Beobachtungen mit freiem Auge unter Sehwinkeln von 5′, dass bei Anwendung von Fernrohren mit zwanzigfacher Vergrösserung die optischen Axen einen Abstand von $77\,^1/_2$ *cm* haben müssten, während bei zehnfacher Vergrösserung dieser Abstand 116 *cm* sein müsste, etc.

Man ist also nicht nur in der Lage, die dem angestrebten Zwecke entsprechende Leistungsfähigkeit des Instrumentes bestimmen zu können, sondern kann gleichzeitig die vom Standpunkte des Optikers und Mechanikers günstigsten Bedingungen hinsichtlich Brennweite der Linsen, respective Länge des Instrumentes, vergrössernder Kraft des Fernrohres, Dimension der Glasprismen etc. im Vorhinein ermitteln.

Eine andere praktische Anwendung obiger Darlegungen ergibt sich dann, wenn die Aufgabe gestellt wird, von Gegen-

ständen, welche weiter als 200 m entfernt sind, stereoskopische Aufnahmen zu machen. Mit den gewöhnlichen Stereoskop-Cameras ist dies nicht möglich, man kann jedoch nach den obigen Darlegungen mit einem einzigen photographischen Apparate solche Stereoskopbilder erzeugen, wenn man die Aufnahmen von zwei Standpunkten bewirkt, welche eine Entfernung $B = D \operatorname{tg} \alpha$ haben, wo D die Entfernung dss Gegenstandes ist, α aber jener Winkel, unter welchem man die Tiefendimensionen wahrnehmen will und welcher zweckmässigerweise eine Grösse von mindestens 5—15′ haben soll.

Desgleichen geben die obigen Auseinandersetzungen Anhaltspunkte dafür, unter welchen Umständen photographische Aufnahmen die analoge Erkennung der Tiefendimensionen ermöglichen wie bei Betrachtung mit freiem Auge, somit die natürliche Perspective wiedergeben.

Endlich sei darauf hingewiesen, dass aus obigen Darlegungen hervorgeht, es müsse bei photographischen Aufnahmen des Mondes von zwei circa 75 geographischen Meilen entfernten Orten aus schon möglich sein, ein stereoskopisches Bild desselben zu erhalten, und dass solche Bilder daher auch ohne Zuhilfenahme der Libration desselben herstellbar wären.

Die vorstehenden Erörterungen über die Grenzen des telestereoskopischen Sehens lassen daher, wie ersichtlich, verschiedene Nutzanwendungen zu.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1896

Band/Volume: 105_2a

Autor(en)/Author(s): Wächter Friedrich

Artikel/Article: Über die Grenzen des telestereoskopischen Sehens 856-874