

Die allgemeinen Grundlagen der Röntgenstereoskopie

erläutert an Hand des Haßelwanderschens Stereoskiagraphen.

Von Hans Köhnle.

Inhalt.

	Seite
A. Einleitung: Allgemeines	221
B. Hauptteil	
I. Theoretischer Teil: Allgemeine Grundlagen der Projektion, Betrachtung eines Bildes	224
a) 1. Erzeugung eines einfachen Bildes	224
2. Erzeugung eines Raumbildes	227
b) 1. Betrachtung eines einfachen Bildes	229
2. Betrachtung eines Raumbildes	233
c) Anwendung in der Röntgenstereoskopie, Aufnahme und Betrachtung röntgenstereoskopischer Bilder	240
1. Das einfache Röntgenbild	240
2. Das stereoskopische Röntgenbild	243
II. Der Haßelwander'sche Stereoskiagraph	247
a) Einstellung der Bilder und des Apparates (Erfüllung der 3 Fundamentalsätze)	247
b) Auswertung des Bildes	255
1. Allgemeine Möglichkeiten	255
2. Lichtpunktmarke	255
c) Fehler bei falscher Einstellung der Bilder	260
d) Das Modellbild	263
III. Messungen am Haßelwander'schen Stereoskiagraphen	267
C. Schluß: Zusammenfassung	275
Schriftennachweis	277

Einleitung.

Die Überlegenheit des beidäugigen Sehens gegenüber dem einäugigen hat man zu allen Zeiten anerkannt; aber es dauerte lange, bis man über das Wesen dieser Tatsache Klarheit gewann. Als man allmählich zu der Erkenntnis kam, daß das

körperhafte Sehen darauf beruht, daß jedes der beiden Augen ein verschiedenes Bild von ein und demselben Gegenstand aufnimmt, und daß unser Gehirn diese Bilder dann zu einem einheitlichen Raumeindruck verschmilzt, da war man imstande, aus entsprechenden Zeichnungen sich ein Raumbild „vorzutäuschen“ (Smith 1738, Wheastone 1838). Man war also bis zur Erfindung der Photographie gezwungen, die beiden Teile eines solchen Raumbildes mühsam zu konstruieren, und mußte dabei die optisch-geometrischen Gesetzmäßigkeiten bei der Abbildung gründlich studieren. Trotzdem, oder gerade deshalb, wurde der Stereoskopie von Anfang an ein wechselndes Interesse entgegengebracht. Vielen erschien sie stets als Spielerei. Erst allmählich fand man immer mehr Anwendungsgebiete, in denen das Raumbild Neues bot und wertvolle Dienste leistete.

Im folgenden sei nur eines dieser Anwendungsgebiete besprochen: die Stereoskopie in der Medizin, speziell in der Röntgenologie. Durch die Entdeckung der Röntgenstrahlen war das Auge des Arztes befähigt worden in gewissem Sinne in den Körper des Patienten hineinzusehen; diese Befähigung nützt er aber erst dann voll aus, wenn er beide Augen heranzieht. Daher stellte man schon frühzeitig stereoskopische Röntgenbilder her. Man begnügte sich zunächst, ja viele begnügen sich heute noch mit einem allgemeinen Raumeindruck. Einzelne erkannten jedoch, daß, wenn man nur die Projektionsgesetze bei der Abbildung und Betrachtung berücksichtigt, das gesehene Raumbild dem Gegenstand so ähnlich gestaltet werden kann, daß an ihm Messungen angestellt werden können, die dem abgebildeten Objekt entsprechen (Drüner, Haßelwander, Trendelenburg). Welch ungeheure Tragweite die Nutzbarmachung dieser Tatsache hat, ist während des Weltkrieges am deutlichsten in Erscheinung getreten.

So ist also Theorie und Praxis einer Röntgenstereoskopie längst bekannt und erprobt; dennoch sind wir auch heute noch von dem Ideal der Durchführung weit entfernt. Bei den wechselnden Anforderungen, die an den Arzt herantreten, sind die Ansprüche, die an eine Röntgenstereoskopie gestellt werden, sehr verschieden: oft wird nur ein subjektiver Raumeindruck verlangt, um die allgemeine Lage der dargestellten Teile zu erkennen; manchmal wünscht man aber Aufschluß über Größen-

verhältnisse (z. B. Abstand einzelner Knochenpunkte, wie in der Anthropologie oder Gynäkologie); bald müssen Stücke genau lokalisiert werden (Chirurgie), man wünscht gar Schnittzeichnungen durch das dargestellte Objekt oder schließlich eine plastische Nachbildung. Verschiedene Apparaturen werden bald dem einen, bald dem anderen Wunsche gerecht. So besteht eine verwirrende Mannigfaltigkeit in der Ausübung der Röntgenstereoskopie, die oft nicht mehr alle Auswertungsmöglichkeiten eines Raumbildes erkennen läßt. Daher wäre das Ideal der Praxis, daß einerseits jedes stereoskopische Röntgenbild bei der Aufnahme schon so angefertigt wird, daß es allen Anforderungen genügen könnte, anderseits der Betrachtungsapparat so beschaffen ist, daß er jeder Art von Auswertungsmöglichkeit, sei es nun nach der subjektiven oder nach der objektiven Seite, gerecht werden kann. Dann erst kann jeder beliebige Fall in der gerade vorteilhaftesten Weise behandelt werden, und der Wert der Stereoskopie für das Röntgenbild wird erst richtig an den Tag kommen.

Die vorliegende Arbeit hat die Absicht mitzuhelfen bei der Verfolgung dieses Zieles. Seit vier Jahren habe ich mich mit der Auswertung stereoskopischer Röntgenbilder beschäftigt. Dabei bin ich zu der Ansicht gelangt, daß auch schwierige Aufgaben, die in solchen Fällen gestellt werden, oft mit erstaunlich einfachen Mitteln zu lösen sind, wenn man sich nur über einige wichtige theoretische Grundlagen der Stereoskopie im klaren ist. Andererseits konnte ich mir die Auswertung der Raumbilder durch zwei Hilfseinrichtungen, die ich mir konstruierte, sehr erleichtern.

Daher möchte ich versuchen, im folgenden diejenigen Gesetze der Stereoskopie darzustellen, die mir erfahrungsgemäß besonders wichtig für eine praktische Röntgenstereoskopie erscheinen, anderseits über die beiden Hilfseinrichtungen berichten, die mir viel Zeit und Überlegung ersparten. Dabei bin ich mir vollständig bewußt, daß in der Literatur weit umfassendere Darstellungen dieses Stoffes bestehen (siehe Literaturverzeichnis). Die Absicht dieser Abhandlung ist nur die, in möglichst einfacher Form die wesentlichen theoretischen Grundlagen herauszugreifen und deren praktische Anwendung in der Röntgenstereoskopie zu zeigen; ich werde dies an Hand des Haßel-

wanderschen Stereoskiagraphen tun, weil ich der Überzeugung bin, daß man sich mit ihm am leichtesten den verschiedenartigen Anforderungen der Praxis anpassen kann.

I. Theoretischer Teil.

Allgemeine Grundlagen der Projektion; Betrachtung eines Bildes.

a₁) Die Erzeugung eines einfachen Bildes.

Wenn ein Gegenstand auf einer ebenen Fläche abgebildet wird, so hat dies zunächst den Zweck, daß dieses Abbild Aufschluß gibt über die Formen des Gegenstandes. Ob dabei die Formen „natürlich“ oder gar maßrichtig sind, das hängt ganz von der Methode ab, die dabei eingeschlagen wird. Soll das Bild einen Rückschluß auf den Gegenstand gestatten, so müssen bei der Abbildung Gesetzmäßigkeiten mathematischer Natur herrschen, und dabei gibt es im wesentlichen zwei Wege: die Zentralprojektion und die Parallelprojektion.

a) Die Zentralprojektion. (Fig. 1.)

Wenn man sich alle Punkte eines Gegenstandes mit einem festen Punkte O verbunden denkt, so erhält man durch die Schnittpunkte dieses Strahlenbüschels mit der Bildebene \mathcal{E} die Zentralprojektion des Gegenstandes. Der Punkt O stellt das Projektionszentrum dar, das Strahlenbüschel die Projektionsstrahlen. So entwerfen die Lichtstrahlen, die von einem leuchtenden Punkt ausgehen, zentralperspektivische Schatten der Gegenstände, jede Linse liefert Bilder mittels Zentralprojektion.

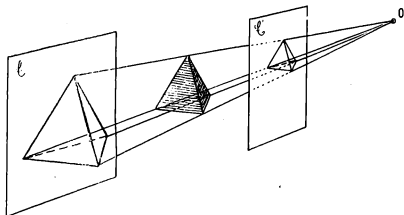


Fig. 1.

Ein und derselbe Gegenstand liefert verschiedene Bilder, je nachdem

1. er selbst gegenüber dem festen Projektionszentrum und der festen Bildebene (Fig. 2a),
2. die Bildebene bei festem Projektionszentrum und ruhendem Gegenstand (Fig. 2b),
3. das Projektionszentrum gegenüber einer festen Bildebene und ruhendem Gegenstand (Fig. 2c)

bewegt wird.

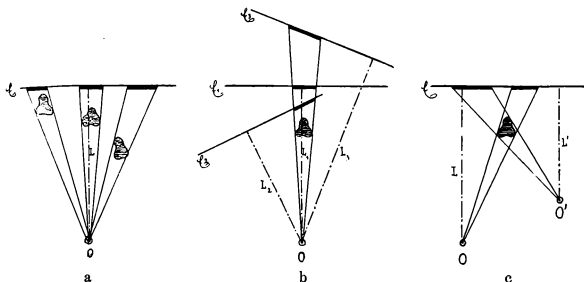


Fig. 2.

Man kann dabei stets Bezug nehmen auf das Lot „L“, das vom Projektionszentrum auf die Bildebene gefällt werden kann; dieses ist identisch mit demjenigen Projektionsstrahl, der senkrecht auf der Bildebene steht; er sei im folgenden „Fußpunktstrahl“ genannt.

β) Die Parallelprojektion. (Fig. 3.)

Denkt man sich alle Punkte des Gegenstandes mit einem unendlich fernen Punkte O verbunden, oder, was dasselbe bedeutet, denkt man sich durch alle Punkte des Gegenstandes parallele Gerade gelegt, so erhält man durch die Schnittpunkte aller dieser Geraden mit der Bildebene \mathcal{E} die Parallelprojektion des Gegenstandes. So sind z. B. die von der Sonne entworfenen Schatten der Gegenstände Parallelprojektionen, da die Entfernung der Sonne von der Erde in Bezug auf die Abbildung als unendlich groß aufgefaßt werden kann. Ein und der-

selbe Gegenstand liefert zwar verschiedene Abbilder, je nachdem (Fig. 4)

1. die Bildebene bei fester Projektionsrichtung und ruhendem Gegenstand (Fig. 4a),
2. die Projektionsrichtung gegenüber einer festen Bildebene und ruhendem Gegenstand (Fig. 4b)

bewegt wird; der Gegenstand liefert aber immer ein und dasselbe Abbild, wenn er selbst gegenüber der festen Projektionsrichtung und festen Bildebene parallel zu sich selbst bewegt wird (Fig. 4c).

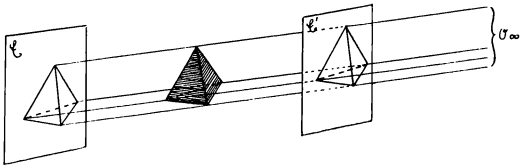


Fig. 3.

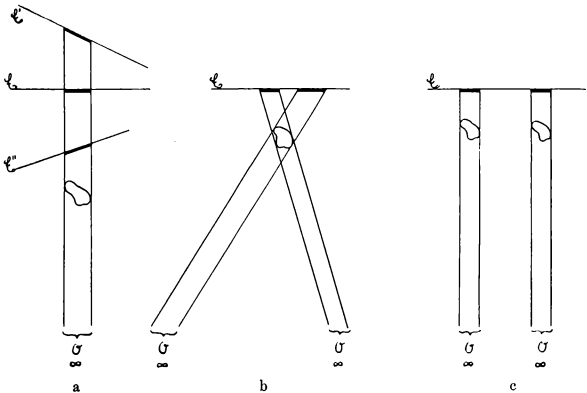


Fig. 4.

Die Parallelprojektion bildet alle Strecken, die parallel zur Bildebene liegen, in wahrer Länge ab. Der einfachste und für

die Praxis brauchbarste Fall ist derjenige, bei dem die Projektionsrichtung senkrecht zur Bildebene angeordnet ist (Grundriß, Aufriß).

Diese beiden Wege der Abbildung unterscheiden sich nur darin, daß das Projektionszentrum das eine Mal im Endlichen, das andere Mal im Unendlichen liegt. Der erste Weg wird dem Auge ein „natürliches“ Bild darbieten, da das Auge selbst mittels Zentralprojektion ein Bild auf unsere Netzhaut entwirft. Der zweite Weg wird Vorteile haben bei der geometrischen Ausmessung des Bildes (Anwendung in der Technik: Zweitafelsystem — Grundriß, Aufriß).

a₂) Die Erzeugung eines Raumbildes.

Ein Bild eines Gegenstandes wird aber niemals, auf welchem Wege es auch gewonnen sei, Aufschluß geben können über die wahre Größe und räumliche Ausdehnung eines Gegenstandes. Dies geht unmittelbar aus den beiden Abbildungen 5 und 6 hervor, da die Körper K_1 , K_2 , K_3 alle dasselbe Abbild geben. Die Abbildungen zeigen, daß es unmöglich ist, aus einem Bilde Aufschluß über Größe, Lage und Form eines Gegenstandes zu erhalten. Eine Abbildung unterrichtet nur darüber, daß irgendein Punkt des Gegenstandes auf dem zugehörigen Projektionsstrahl liegt, nicht aber, wo er auf diesem Projektionsstrahl liegt (vgl. Fig. 10). Um dies zu erfahren, ist noch irgendeine weitere Angabe nötig. Diese erhält man am einfachsten, wenn man den Gegenstandspunkt als Schnittpunkt zweier Geraden darstellt, d. h. es ist zu dem vorhandenen Projektionsstrahl noch ein zweiter zu suchen, der durch den gleichen Gegenstandspunkt geht.

Wird also ein und derselbe Punkt aus zwei verschiedenen Projektionszentren abgebildet, so ist aus den zwei erhaltenen Bildern die Lage des Punktes im Raume nun eindeutig bestimmt. Denn man hat in dem Schnittpunkt P der beiden Verbindungslinien der Bildpunkte P_1 und P_2 mit den zugehörigen Projektionszentren O_1 und O_2 (natürlich bei unveränderter Lage der Zentren) die räumliche Lage des gesuchten Gegenstandspunktes festgelegt (Fig. 7). Den Winkel, den die beiden Projektionsstrahlen $O_1 P_1$ und $O_2 P_2$ einschließen, nennt man Konvergenzwinkel (in Fig. 7 mit α bezeichnet). Die Augen „konvergieren“ bei der Betrachtung auf den Punkt P .

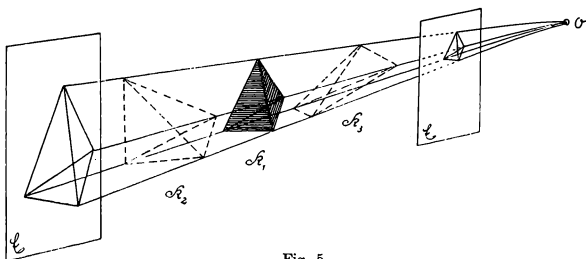


Fig. 5.

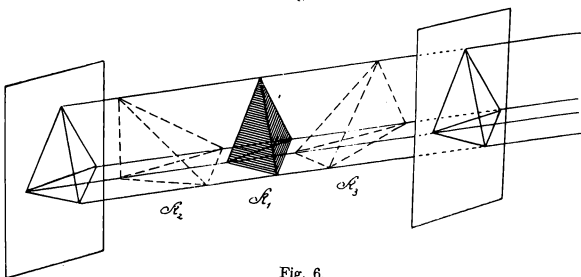


Fig. 6.

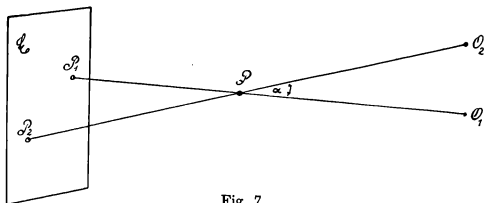


Fig. 7.

Ist also ein und derselbe Gegenstand aus zwei verschiedenen Projektionszentren bzw. Projektionsrichtungen abgebildet, so sind diese beiden Bilder als „Raumbild“ des Gegenstandes aufzufassen, das nun wirklich über Größe, Lage und Form des Gegenstandes unterrichtet. Zur Herstellung dieser Bilder stehen

natürlich wieder die beiden Wege der Zentral- und der Parallelprojektion offen.

Wenn auch an sich die Lage des zweiten Projektionszentrums ganz gleichgültig ist, so seien hier doch nur die Fälle erwähnt, die praktische Bedeutung haben:

a) Zentralprojektion (Fig. 8):

Die beiden Projektionszentren werden in gleichem Abstand ($f_1 = f_2$) von einer Bildebene angenommen. Die Schnittpunkte der beiden Fußpunktstrahlen f_1 und f_2 mit der Bildebene \mathcal{E} (F_1 und F_2) sind dann ebenso weit voneinander entfernt wie die beiden Projektionszentren (O_1 und O_2).

β) Parallelprojektion (Fig. 9):

Für jede Projektionsrichtung wird eine zu ihr senkrechte Bildebene gewählt. Die beiden Projektionsrichtungen werden auch senkrecht zueinander angenommen.

Diese Methode liefert dann die in Mathematik und Technik so gebräuchlichen Aufrisse und Grundrisse von Gegenständen (die Projektionsstrahlen schneiden sich hier unter dem größtmöglichen Winkel).

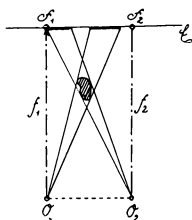


Fig. 8.

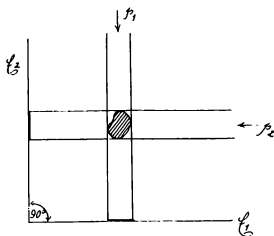


Fig. 9.

b₁) Die Betrachtung eines einfachen Bildes.

Bei der Abbildung war der Projektionsstrahl festgelegt durch das Projektionszentrum O und den Gegenstandspunkt P . Der Bildpunkt P' ergibt sich als Schnittpunkt mit der Bildebene \mathcal{E} (Fig. 10).

Bei der Betrachtung ist aber der Sehstrahl, der nun dem Projektionsstrahl entspricht, festgelegt durch den Bildpunkt P' und das Auge bzw. den Augendrehpunkt (A in Fig. 10).

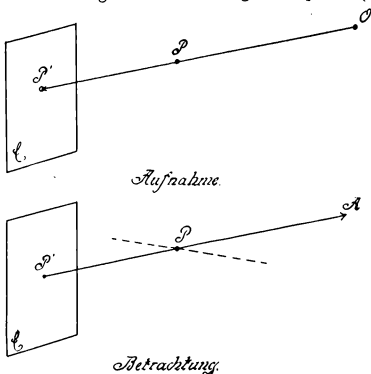


Fig. 10.

Soll nun das Sehstrahlenbündel identisch sein mit dem Projektionsstrahlenbündel, so muß sich jeder Augendrehpunkt an der Stelle — dem zugehörigen Bild gegenüber — befinden, an der das Projektionszentrum bei der Aufnahme sich befand. Wird diese Bedingung nicht eingehalten, so kann der Gegenstands-

punkt P im allgemeinen gar nicht an der Stelle gesehen werden, an der er bei der Aufnahme lag.

In diesem Sinne ist es nötig, die Lage des Projektionszentrums schon bei der Aufnahme gegenüber dem Bilde irgendwie festzulegen bzw. zu markieren.

Man bedient sich dazu am einfachsten des Fußpunktstrahles, d. h. desjenigen Projektionsstrahles, der senkrecht auf der Bildebene steht; man wird also bei einer Abbildung (Fig. 11)

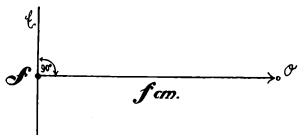


Fig. 11.

1. den Schnittpunkt \mathcal{S} des Fußpunktstrahles mit der Bildebene irgendwie markieren: (Hauptpunkt- = Fußpunktmarke),

2. die Entfernung f des Projektionszentrums von der Bildebene (Bildweite) messen.

Sind diese Angaben bekannt, so muß man, um das Bild richtig zu betrachten,

1. den Augendrehpunkt senkrecht über die Fußpunktmarke einstellen,
2. den Abstand des Auges von der Bildebene (= Bildweite) gleich dem Abstand des Projektionszentrums von der Bildebene machen.

a) Bei zentralperspektivischen Bildern lehrt zwar die Erfahrung, daß sie von beliebigen Stellen und Entfernungen aus betrachtet werden können, ohne im allgemeinen unnatürlich zu erscheinen. Allerdings bei sehr geringen Entfernungen oder sehr schräger Blickrichtung kommt die Unrichtigkeit der Betrachtung zum Bewußtsein (ungünstiger Platz bei Lichtbilderprojektion, im Kino usw.). Die Ansicht, das Auge müsse bei der Betrachtung nicht genau an der Stelle des Projektionszentrums sein, trifft zwar zu für die flüchtige Betrachtung eines Bildes; denn hier kommt dem Betrachter der reiche Schatz an Erinnerungsbildern zu Hilfe, der ihn die richtige Form des Objektes aus dem falschen Strahlenbüschel schließen läßt. Aber die Fig. 12 mag zeigen, daß die wirklichen Gegenstandspunkte auf dem richtigen Strahlenbüschel liegen müssen, daß sie aber niemals auf einem falschen Strahlenbüschel liegen können. Dem Mathematiker ist dies ohne weiteres klar aus einfachen Gesetzen der projektiven Geometrie. Es sei hier ein Hinweis gestattet auf ein sehr eindrucksvolles Beispiel, an dem gezeigt ist, wie sehr die richtige Einstellung des Augendrehpunktes bei der Betrachtung eines Bildes wesentlich sein kann.

Im Deutschen Museum zu München ist im Saal für Mathematik und Perspektive ein von Kleiber entworfenes Deckengemälde angebracht, das die Vorstellung erweckt, als ob die Decke des Raumes fehlte und man in einem oben von einer Balustrade umrahmten Hofe stünde, von dem man in den blauen leicht bewölkten Himmel hineinblickt. Wenn sich der Betrachter auf eine in den Boden eingelassene Platte stellt, befindet sich sein Auge ungefähr an der Stelle des Projektionszentrums für das Bild. Hier zeigt sich auf das schlagendste, daß das ganze Bild unnatürlich und verzerrt erscheint, wenn man es von einem beliebigen Punkte aus betrachtet, während es vollkommen natürlich erscheint, wenn man den vorgeschriebenen Platz ein-

nimmt. Denn dann entsteht sofort der überzeugende Eindruck, man blicke in den unbegrenzten Himmelsraum mit den darin schwebenden Wolken, und die Balustrade hebt sich plastisch ab.

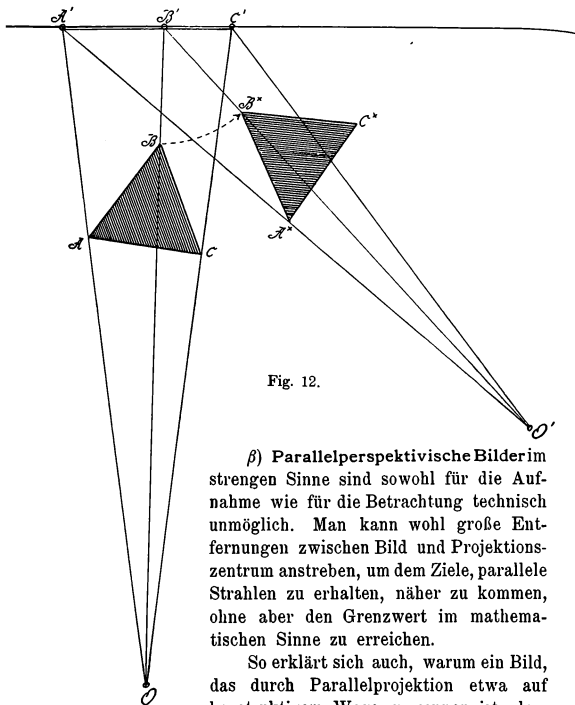


Fig. 12.

β) Parallelperspektivische Bilder im strengen Sinne sind sowohl für die Aufnahme wie für die Betrachtung technisch unmöglich. Man kann wohl große Entfernungen zwischen Bild und Projektionszentrum anstreben, um dem Ziele, parallele Strahlen zu erhalten, näher zu kommen, ohne aber den Grenzwert im mathematischen Sinne zu erreichen.

So erklärt sich auch, warum ein Bild, das durch Parallelprojektion etwa auf konstruktivem Wege gewonnen ist, dem Auge stets unnatürlich erscheint: das Auge ist ja in endlicher Entfernung, während das Projektionszentrum bei der Abbildung in unendlich großer Entfernung lag. Könnte man ein solches Bild aus unendlich großer Entfernung betrachten, so würde

es richtig erscheinen, im Endlichen aber vermißt man in ihm alle die Gesetze der Zentralperspektive, nach denen das Auge die Umwelt abbildet.

b₂) Die Betrachtung eines Raumbildes.

Nach dem oben Gesagten ist ein Raumbild durch zwei (von verschiedenen Projektionszentren aus gewonnene) Bilder eines Gegenstandes gegeben. So folgt für die Betrachtung eines solchen Raumbildes offenbar die zweimalige Anwendung desjenigen, was für die Betrachtung des einfachen Bildes gesagt ist.

Jedes Auge muß in bezug auf das ihm zugehörige Bild bei der Betrachtung an die Stelle gebracht werden, an der das Projektionszentrum bei der Aufnahme sich befand. Diese Stellen wurden durch Fußpunktmarken und Angabe der Bildweite festgelegt. Daraus folgt für

a) die Zentralprojektion (vorausgesetzt ist der übliche Fall, daß die Abstände der beiden Projektionszentren von der Bildebene gleich groß sind): Der Abstand der beiden Augendrehpunkte bei der Betrachtung kann nicht ohne weiteres verändert werden, daher muß bei der Aufnahme dafür gesorgt werden, daß der Abstand der beiden Projektionszentren voneinander ebenso groß ist wie der der beiden Augendrehpunkte des Betrachters. Es wird später gezeigt werden, wie man unter gewissen Bedingungen auch dann Objektstreue, wenn auch maßverschiedene Modelle erhält, wenn die Distanz der beiden Augendrehpunkte nicht übereinstimmt mit der der beiden Projektionszentren.

Hier sei nur festgestellt, daß beim Raumbild unmittelbar der Projektionsstrahlengang identisch ist mit dem Sehstrahlengang, daß man also ohne weiteres den Ge-

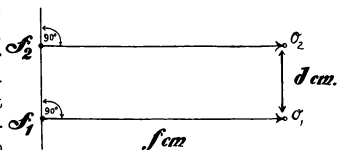


Fig. 13.

genstand bei der Betrachtung rekonstruiert, wenn folgende Bedingungen eingehalten werden (Fig. 13):

1. Jeder Augendrehpunkt steht senkrecht über dem zugehörigen Fußpunkt \mathfrak{F}_1 bzw. \mathfrak{F}_2 .

2. Der Abstand f der Augendrehpunkte von der Bildebene ist gleich der Bildweite bei der Aufnahme.
3. Der Abstand d der beiden Augendrehpunkte voneinander ist gleich dem der beiden Projektionszentren (gleiche Basis).

So einfach die Erfüllung dieser Bedingungen ist, so wird sie in der Praxis doch leider nur selten durchgeführt; freilich genügt die Anordnung bei den im täglichen Gebrauch üblichen Handstereoskopen, um den Augen einen räumlichen Eindruck zu vermitteln; aber schon der etwas kritischere Beobachter bemerkt die Unstimmigkeit des Raumeindrucks mit der Wirklichkeit (vielfach erscheinen Menschen wie Puppen, Gebäude und dergleichen verzerrt oder wie Spielzeug). Wie weit aber ein Stereoskopbild durch präzise Einhaltung der oben erwähnten Gesichtspunkte vervollkommen werden kann bis beinahe zur Identität mit dem dargestellten Objekt, zeigt z. B. der Pulfrichsche Stereokomparator.

β) Die Parallelprojektion. Da, wie obengesagt, schon die Technik der Aufnahme wie die subjektive Betrachtung parallelperspektivischer Einzelbilder Schwierigkeiten macht, bzw. praktisch unmöglich ist, so gilt das Analoge für die beiden Bilder eines Raumbildes, sodaß deren richtige Betrachtung in der Praxis unmöglich ist. Um so größer ist aber die Bedeutung solcher Raumbilder dort, wo einerseits bei der Herstellung solcher Bilder wirklich parallele Strahlen bzw. Gerade verwendet werden können (mathematische Konstruktion), andererseits an Stelle einer Betrachtung eine Rekonstruktion auf Grund mathematischer Überlegung tritt. Wird hier noch die Möglichkeit ausgenützt, daß sich die Projektionsstrahlen unter dem optimalen Winkel von 90 Grad schneiden, so hat man alle die Vorzüge, die die Mathematik und Technik im orthogonalen Zweitafelsystem (Grund- und Aufrißverfahren) ausnützt.

Zusammenfassung:

Die Vorteile und Nachteile zentral- und parallelperspektivischer Raumbilder zeigt folgende Tabelle:

	Zentralprojektion	Parallelprojektion
Vorzüge	Richtige Betrachtung, (Sehstrahlenbüschel \equiv Projektionsstrahlenbüschel) relativ leicht	1. Alle Strahlen können sich schneiden unter dem optimalen Winkel von 90° (jeder Raumpunkt hat den gleichen Konvergenzwinkel). 2. Größen, die parallel zur Bildebene liegen, werden in wahrer Größe abgebildet.
Nachteile	1. Spitzer Konvergenzwinkel ($< 90^\circ$) 2. Konvergenzwinkel für jeden Raumpunkt verschieden	Richtige Betrachtung (Sehstrahlenbüschel \equiv Projektionsstrahlenbüschel) praktisch unmöglich

Daraus folgt, daß

1. das parallelperspektivische Raumbild dann dem zentralperspektivischen überlegen ist, wenn es sich um geometrische Konstruktionen handelt und keine subjektive Betrachtung gefordert wird;

2. das zentralperspektivische Raumbild aber allein in Frage kommt, wenn es sich um subjektiv richtige Betrachtung handelt. Der Nachteil, der ihm verbleibt, ist der, daß sich die Strahlen unter einem spitzen Winkel (kleiner Konvergenzwinkel) schneiden, also nicht unter dem optimalen Winkel, wie das bei der Parallelprojektion möglich ist.

Will man also für subjektive Betrachtung ein zentralperspektivisches Raumbild herstellen, so wird man danach trachten, daß die Strahlen sich unter einem möglichst großen Winkel schneiden. Dieser ist um so größer,

1. je kleiner die Bildweite ist (Fig. 14. 1),
2. je größer die Basis (d. h. Abstand der beiden Projektionszentren voneinander) ist (Fig. 14. 2).

Ferner muß beachtet werden, daß der Konvergenzwinkel bei der Zentralprojektion für jeden Gegenstandspunkt ein anderer ist (für plattennahe Punkte (P) ist er kleiner als für plattenferne (Q)) (Fig. 15).

Da es sich aber bei der subjektiven Betrachtung nicht um eine Konstruktion, sondern um die Funktion des menschlichen Auges handelt, so muß diesem, bzw. seiner Leistungsfähigkeit, auch Rechnung getragen werden.

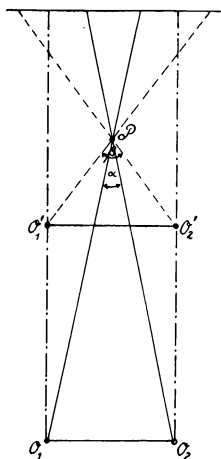


Fig. 14. 1.

Das Auge ist, abgesehen von individuellen Linsenfehlern (Astigmatismus usw.), imstande, je nach seinem Bau (normal-, kurz-, weitsichtiges Auge) Punkte in verschiedener Entfernung scharf abzubilden. Der nächstgelegene Punkt, der noch scharf gesehen werden kann, heißt der „Nahepunkt“. Er ist abhängig von der Kurz-, Normal- oder Weitsichtigkeit. Die Entfernung des Nahepunktes vom Auge stellt gewissermaßen die Grenze der Annäherung des Auges an einen zu betrachtenden Gegenstand dar. Demzufolge kann die Bildweite nicht beliebig verkleinert werden.

Ebenso kann auch die Basis nicht ohne weiteres beliebig vergrößert werden; denn wenn auch, wie beim Telestereoskop, durch Parallelverschiebung der beiden Strahlenbüschel

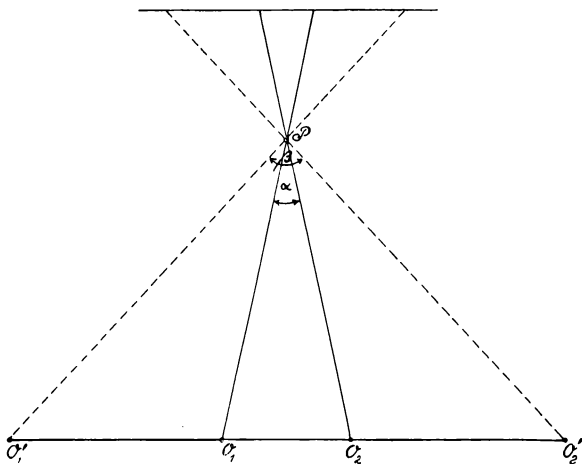


Fig. 14. 2.

mit Hilfe von Spiegeln die beiden Projektionszentren einander so genähert werden, daß sie in die Augendrehpunkte des Betrachters verlegt werden, so wird dadurch auch der Gegenstandspunkt P dem Auge bis P' genähert, sodaß wiederum der Nahepunkt des Auges eine Grenze darstellt (Fig. 16), wenn man nicht weitere Hilfsmittel (Linsen usw.) heranzieht.

Anderseits hat das Auge, das auf eine bestimmte Entfernung eines Punktes P akkommodiert hat, die Fähigkeit, auch Punkte, die vor oder hinter diesem Punkte P liegen, ebenfalls noch genügend scharf abzubilden. Die Entfernung der beiden Punkte vor und hinter P , die das Auge gerade noch scharf abbilden kann, nennt man „Tiefe“; sie schwankt je nach der Entfernung des Punktes P , auf den das Auge akkommodiert hat (Fig. 17).

Diese Tatsache hat für die Betrachtung zentralperspektivischer Bilder insoferne Bedeutung, als die Entfernung zwischen dem Bildpunkt P' , auf den das Auge zunächst akkommodiert, und dem mittels der stereoskopischen Betrachtung rekonstruierten Raumpunkt P im allgemeinen nicht größer sein soll als die „Tiefe“, die etwa durch einen in der Mitte zwischen diesen beiden Punkten P und P' gelegenen Punkte Q gekennzeichnet ist (Fig. 18).

Marie und Ribaut haben diese Tatsachen in ihren Arbeiten (1897—1900) mit großer Gründlichkeit behandelt und sich dabei auf die Angaben von Cazes (1895) gestützt. Daraus haben sie ihre Nutzenanwendungen für ihre röntgenstereoskopischen Arbeiten gezogen. Sie waren zu diesen Betrachtungen deshalb gezwungen, weil sie bei ihren Aufnahmen infolge der damals noch sehr großen technischen Schwierigkeiten an kleine Bildweiten gebunden waren, sodaß bei gewissen Objektdicken durch

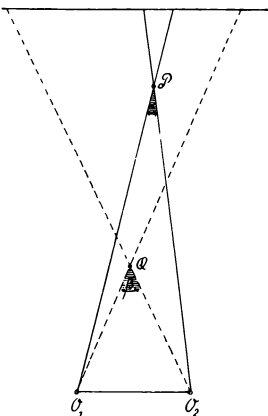


Fig. 15.

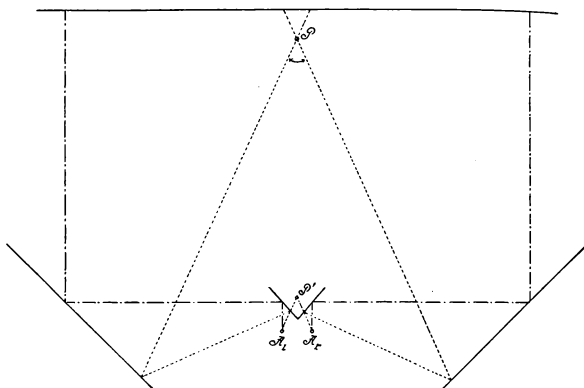


Fig. 16.

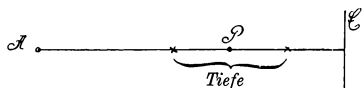


Fig. 17.

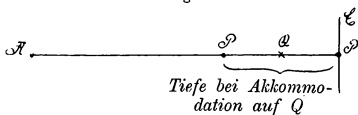


Fig. 18.

den Nahepunkt Grenzen gesetzt waren. Von diesen Forschern stammt die seither als „klassisch“ übernommene Formel

$$\Delta_{\max} = \frac{D(D + E)}{50 E}.$$

Dabei soll bedeuten:

Δ die Röhrenverschiebung bzw. Pupillardistanz,
E die Dicke des Objektes, D den Objektstand (Projektionszentrum — vorderste Objektebene).

Die Tabelle (Fig. 19) gibt die zugehörigen Werte an, die der Formel entsprechen. Man ersieht ohne weiteres, daß bei dem üblichen Objektstand von ca. 60 cm nach dieser Formel für eine mittlere Objektdicke von ca. 15 cm eine Röhrenverschiebung von rund 6 cm als optimal gefunden wird. Sehr abweichende Werte für die Röhrenverschiebung ergäben sich jedoch, wenn man relativ dicke Objekte bei kleinem Abstand

abbilden müßte. Hier würde sich bei einem Objektabstand von 30 cm und einer Objektdicke von 10 cm eine optimale Röhrenverschiebung von 2,4 cm ergeben. Wenn unter solchen Umständen diese unerläßlichen Überlegungen nicht gemacht werden, ergeben sich, wie leicht einzusehen ist, Schwierigkeiten bezüglich der Akkommodation, Raumwirkung usw. Mit relativ kleinen Bildweiten mußten aber Marie und Ribaut arbeiten, da die Abbildung mittels Röntgenstrahlen auf größere Entfernung damals noch

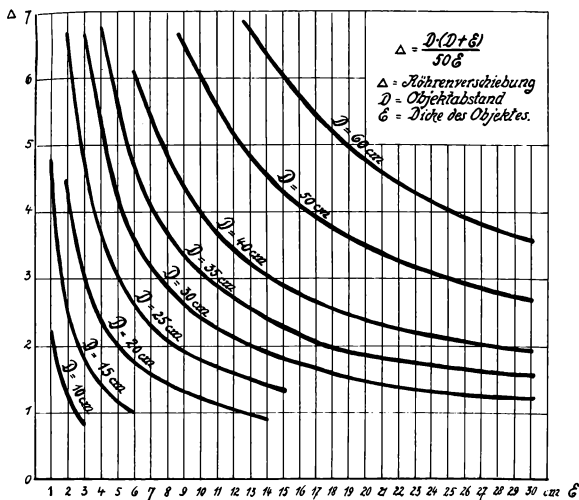


Fig. 19.

Die Tabelle zeigt die Zusammengehörigkeit von Röhrenverschiebung Δ , Objektabstand D und Objektdicke E nach der Formel

$$\Delta_{\max} = \frac{D(D+E)}{50E}.$$

Wird z. B. mit einem Objektabstand von 40 cm gearbeitet, so sucht man die Kurve $D = 40$ cm auf; soll ein Objekt von 14 cm Dicke aufgenommen werden, so sucht man den Schnittpunkt der Kurve mit der vertikalen Linie $E = 14$ cm (Abszisse), dann kann man auf dem horizontalen Liniensystem (Ordinate) den optimalen Wert für die Röhrenverschiebung Δ ablesen; er ist in diesem Falle gleich 3 cm.

technische Schwierigkeiten bereitete; daher war ihre Formel zu jener Zeit dringendes Bedürfnis. Und heute, wo wir auf diese technischen Schwierigkeiten keine Rücksicht mehr zu nehmen brauchen, zeigt sich die Richtigkeit der praktisch üblichen Maße, wie das obige Beispiel lehrt.

Es erscheint mir jedoch fraglich, ob es — gerade im Interesse einer allgemein durchgeführten Röntgenstereoskopie in der Praxis — ratsam ist, wegen jedes Zentimeters Objektdicke eine andere Röhrenverschiebung bzw. einen anderen Objektstand zu wählen, nur um dieser „klassischen“ Formel zu genügen. Es könnte doch ausreichen, für die Mittelwerte die Formel zu berücksichtigen und im einzelnen Falle besser eine geringe Abweichung von der „optimalen Plastik“ in Kauf zu nehmen zugunsten einer allgemein durchführbaren einfachen Handhabung, die vor Verwirrung und Verwechslungen schützt. Wie sich im folgenden zeigen wird, ist gerade die objektive Auswertung des Raumbildes das Mittel, eine sichere Kontrolle der Räumlichkeit zu bieten und damit allenfallsige Verluste der optimalen Plastik aufzuwiegen.

c) Anwendung für die Röntgenstereoskopie: Aufnahme und Betrachtung röntgenstereoskopischer Bilder.

1. Das einfache Röntgenbild.

Die Aufnahme.

Das mittels Röntgenstrahlen von einem Körper entworfene Bild ist eine Zentralprojektion. Es stellt dabei
der Brennfleck der Röhre das Projektionszentrum,
die Röntgenstrahlen die Projektionsstrahlen,
der Leuchtschirm bzw. die photographische Platte¹⁾ die Bildebene dar.

Das Projektionszentrum ist kein mathematischer Punkt, sondern der allerdings kleine Brenn-„Fleck“. Dies äußert sich bei der Aufnahme in Form von Randunschärfe der Konturen, die um so größer ist, je weiter der abgebildete Gegenstand

1) Im folgenden soll der Ausdruck „Platte“ gebraucht werden, obwohl in der Praxis im allgemeinen nur mit Filmen gearbeitet wird. Es erscheint aber vorteilhaft, sich bei diesen Besprechungen photographische Platten vorzustellen, um sich leicht an deren Schicht- oder Glasseite die dem Fokus zu- oder abgewandte Seite zu vergegenwärtigen.

von der Platte entfernt und je kleiner die Bildweite ist. Inwiefern die Randunschärfe sowohl von diesen drei Faktoren (Größe des Brennflecks, Bildweite, Abstand des Objektes von der Platte) als auch von dem auf der Platte hervorgerufenen Kontrast abhängig ist, hat W. Bronkhorst (1927) erläutert. Eine graphische Darstellung Dr. Franke's zeigt übersichtlich diese Verhältnisse (Fig. 20).

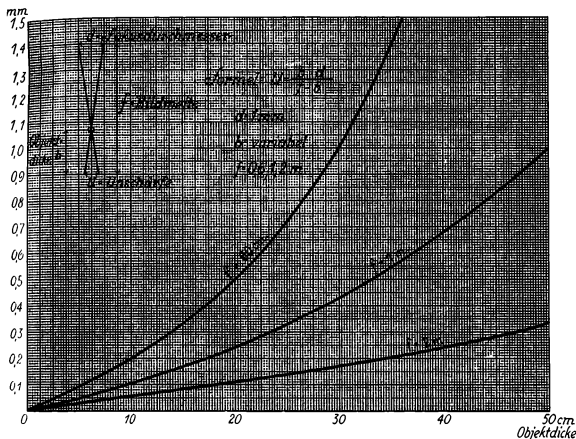


Fig. 20.

In neuerer Zeit haben sich Strömungen bemerkbar gemacht, welche die Vergrößerung der Bildweite als wichtiges Ziel anstreben. Der Pariser Röntgenologe Dioclès hat zu diesem Zwecke eigene Apparaturen angegeben.

Wird eine etwa 20 cm von der Platte abstehende Kontur von einem 1 mm breiten Fokus abgebildet, einmal in 1 m, ein anderesmal in 2 m Bildweite, so ist die Zone der Unschärfe nur um $\frac{1}{10}$ mm verringert. Dieser geringe Vorteil bedingt aber auf der anderen Seite — bei der raumrichtigen Betrachtung — oft große Schwierigkeiten, oder man muß sich mit gewissen Verzerrungen des entstehenden Raumbildes abfinden, wie aus den weiteren Darlegungen noch hervorgehen wird.

Als Parallelprojektion im streng wissenschaftlichen Sinne kann aber eine Röntgenaufnahme nie gelten, selbst wenn man Aufnahmen mit Bildweiten von 10 und mehr Metern in Betracht zieht, wie sie Mulder (1927) in Java herstellte; denn die Randstrahlen, die eine Platte von 40 cm Durchmesser auszeichnen, schließen bei 5 m Röhrenabstand einen Winkel von über 4° , bei 10 m Röhrenabstand von über 2° ein.

Die Betrachtung.

Um ein Röntgenbild richtig betrachten zu können, d. h. die Sehstrahlen möglichst identisch den Projektionsstrahlen zu machen, muß, wie oben erläutert:

1. der Fußpunkt markiert,
2. die Bildweite bekannt sein.

ad. 1. Zur Festlegung der Fußpunkte bei der Aufnahme sind mehrere Apparaturen (Haßelwander, Trendelenburg usw.) konstruiert, die es gestatten, die Röhre zuverlässig zu zentrieren und die Fußpunkte festzulegen. Aber es läßt sich fast jede Apparatur mit einfachen Mitteln so vorbereiten, daß damit stereoskopische Aufnahmen mit festgelegten Fußpunkten hergestellt werden können. So besitzt z. B. die Apparatur der beweglichen Bucky-Blende einen Kasten, welcher mit der darin befindlichen Röntgenröhre parallel zur Platte verschieblich ist. Der Brennfleck der Röhre kann auch bei Auswechslung der Röhre durch Fadenkreuze an einem Fenster des Kastens immer wieder an die gleiche Stelle gebracht werden. So ist einmal die Stellung des Kästchens an der Laufschiene etwa durch einen Bleistiftstrich oder einen Anschlag zu markieren, alsdann die Stellung des Brennflecks auf den Boden der Apparatur herabzuloten und an dieser Stelle etwa ein Bleischrot in das Holz einzulassen. Wenn nun der Kasten — in dem der Brennfleck der Röhre auf das Fadenkreuz eingestellt ist — auf der bezeichneten Marke an der Laufschiene steht, liegt der Brennfleck senkrecht über der eingelassenen Bleimarke. Die gleiche Zentrierung und Anbringung einer Bleimarke ist zu wiederholen, nachdem die Röhre bzw. das Kästchen um eine Strecke verschoben ist, die ein für allemal als Basis für die Aufnahmen verwendet werden soll. Diese einmalige Festlegung ermöglicht für immer stereoskopische Aufnahmen mit Fußpunkten zu machen. (Denn die Bleischrote werden auf jeder Platte mit ab-

gebildet¹⁾). Schließlich hat die Firma M. Sendtner-München einen kleinen Apparat hergestellt, mit dem es möglich ist, zugleich den Fußpunkt und die Bildweite festzulegen.

ad. 2. Die Bildweite wird vorteilhaft auf jedem Film notiert, um Irrtümer zu vermeiden.

Wenngleich man sich bei der Betrachtung einfacher Röntgenaufnahmen natürlich nicht um das Projektionszentrum kümmern wird (so wenig wie bei gewöhnlichen photographischen Aufnahmen), so sind diese Überlegungen doch unerlässlich, wenn man ein raumrichtiges Stereoskopbild erhalten will.

2. Das stereoskopische Röntgenbild.

Da also für das stereoskopische Röntgenbild nur die Zentralprojektion — unter Berücksichtigung der Tatsache, daß das Projektionszentrum ein „Brennfleck“ ist — in Betracht kommt, so gelten folgende Gesichtspunkte:

Aufnahme:

Eine Abbildung mittels Röntgenstrahlen wird um so schärfer, je größer die Bildweite ist.

Abgesehen davon, daß mit der Vergrößerung der Bildweite die technischen Schwierigkeiten wachsen (Belastung der Röhre, Belichtungszeit), rückt ja auch bei der Betrachtung einer solchen stereoskopischen Fernaufnahme der gesehene Gegenstand vom Betrachter sehr weit weg. Eine Ausmessung des Gegenstandes wird dadurch erschwert, ferner hat es Nachteile für den subjektiven Raumeindruck. Dies hat darin seinen Grund, daß die Konvergenzwinkel mit wachsender Bildweite immer spitzer werden und dadurch der Schnittpunkt der zusammengehörigen Projektions- bzw. Sehstrahlen nicht mehr sicher festgelegt werden kann.

Es sind gerade in neuerer Zeit verschiedentlich die Vorzüge der Fernaufnahme mit vollem Rechte betont worden. Will

1) Man könnte Bedenken haben, ob nicht durch diese Fußpunktmarken das Bild beeinträchtigt und wichtige Stellen verdeckt werden können usw. Aber es ist zu beachten:

1. die Größe der Fußpunktmarken ist gering;
2. es handelt sich um ein Raumbild; also kann niemals eine Stelle des Raumes durch diese Marke (die dicht vor der Platte liegt) für beide Augen zugleich verdeckt werden.

man aber Fernaufnahmen zu Stereoskopbildern verwenden, so muß man sich bewußt sein, daß man zwar an Schärfe und Deutlichkeit des Einzelbildes gewinnt, aber dafür am Wert des Raumeindrucks verliert; denn entweder rückt das Raumbild in große Entfernung und man verliert somit den Vorteil der unmittelbaren Raumauswertung: Messen, Modellieren, Zeichnen usw., oder die Größe bzw. Richtigkeit des Raumbildes leidet (verkleinertes Modell, Verzerrung).

Die Möglichkeiten der Fehler (und deren etwaige Korrektur), die dadurch entstehen, daß mit einer anderen Bildweite oder Basis ein Raumbild betrachtet wird, als es aufgenommen wurde, sind später besprochen; hier sei nur eine kurze Übersicht gegeben über die Betrachtung von Fernaufnahmen (Voraussetzung: jedes Auge senkrecht über dem zugehörigen Fußpunkt).

		Betrachtungs - Bildweite	
		kleiner als Aufnahmebildweite	gleich der Aufnahmebildweite
Pupillar- distanz	gleich Aufnahme- Basis.	falsches verzerrtes Bild. Breitenmaße richtig Tiefenmaße verkürzt	Bild analog dem Gegen- stand (liegt zu weit entfernt für unmittelbare Aus- wertung).
	kleiner als Aufnahme- Basis.	falsches verzerrtes Bild. (eventuell hat das Bild gleiche Tiefe wie das Objekt, ist aber dennoch verzerrt; vgl. Dioclès)	verkleinertes Modell (liegt näher als das auf- genommene Objekt).

Der Raumeindruck wird um so besser, je größer der Konvergenzwinkel ist. Der Konvergenzwinkel wächst, wenn die Bildweite kleiner oder die Basis größer wird (vgl. Fig. 14. 1 u. 2).

Bei kleiner Bildweite leidet aber die Schärfe der Abbildung. Die erlaubte Grenze wäre also, an die Platte so weit heranzugehen, daß die dadurch entstehenden Randunschärfen von dem Auge in dieser Entfernung noch nicht wahrgenommen werden. Eigene Untersuchungen bzw. Messungen über die Randunschärfen, die das Auge in verschiedenen Entfernungen noch erkennen kann, haben große Übereinstimmung gezeigt mit den Resultaten, die theoretisch nach den Angaben in der Literatur (Größe der

Elemente der Retina, Sehwinkel usw.) errechnet wurden. Danach könnte die Randunschärfe, welche ein 1 mm breiter Fokus aus 1 m Entfernung von einem 20 cm von der Platte abstehenden Gegenstandspunkt auf der photographischen Schicht erzeugt, noch nicht wahrgenommen werden, wenn das Auge dieses Bild aus der gleichen Entfernung von 1 m betrachtet.

Wenn man bedenkt, daß der sagittale Thoraxdurchmesser nach Fetzner (Schwertfortsatz und 12. Brustwirbel) zwischen 15 und 19 cm beträgt, so kann man annehmen, daß eine Bildweite von 60 bis 80 cm für die meisten Fälle der Praxis genügt, um einerseits möglichst nahe an die Platte heranzugehen (großer Konvergenzwinkel), anderseits noch genügend entfernt zu sein, um keine wahrnehmbare Randunschärfe zu erhalten.

Die andere schon besprochene Möglichkeit, den Konvergenzwinkel zu vergrößern, ist die, mit größerer Basis die Aufnahme zu machen. Dies scheint zunächst ein sehr fruchtbarer Weg zu sein; aber wenn man bedenkt, daß bei der richtigen Betrachtung (Sehstrahlen \equiv Projektionsstrahlen) mittels Spiegel ein verkleinertes Modellbild entsteht, so hat man den Vorteil, der sich durch den größeren Konvergenzwinkel für die Raumwirkung ergab, erkauft durch eine Verkleinerung des entstandenen Bildes, was unvorteilhaft ist für eine Auswertung des Raumbildes. Man müßte mit um so präziseren Meßinstrumenten arbeiten, um die gleiche Meßgenauigkeit zu erzielen.

So ist der Standpunkt gerechtfertigt, bei der Aufnahme dafür zu sorgen, daß Bilder entstehen, die bei richtiger Betrachtung (Sehstrahlen \equiv Projektionsstrahlen) ein Raumbild liefern, das bei entsprechender Schärfe der Abbildung noch in brauchbarer Entfernung entsteht, sodaß es in jeder Hinsicht ausgewertet werden kann.

Dies wird erreicht, wenn zunächst

- a) Bildweite ca. 60 bis 80 cm,
- b) Aufnahmebasis = Pupillardistanz des Betrachters,
- c) Fußpunkte richtig angenommen werden.

(Wie Abweichungen allenfalls korrigiert werden können siehe Kap. „Fehler“, S. 260 bzw. 263.) Demnach muß jede stereoskopische Aufnahme, die auch zu einer etwaigen Ausmessung brauchbar sein soll, 3 Angaben enthalten:

1. beide Fußpunktmarken,
2. Angabe der Bildweite,
3. Bezeichnung, durch welches Projektionszentrum die Bilder gewonnen sind. (Es genügt dabei die Abbildung eines Bleibuchstabens, etwa „R“, an irgend einer unwichtigen Stelle der rechten Platte. Sind die zusammengehörigen Platten genügend signiert, etwa durch gleiche Nummern, so ist eine Verwechslung unmöglich. Die mit „R“ bezeichnete Platte muß dem rechten Auge, diejenige Platte, auf der kein Buchstabe abgebildet ist, dem linken Auge gegenübergestellt werden).

Aufnahmeapparaturen: Da sich die beiden Strahlenkegel von den zwei Projektionszentren aus bei dieser Anordnung größtenteils überschneiden, können die beiden Aufnahmen nicht gleichzeitig aufgenommen werden, sondern nur zeitlich hintereinander. Es sind Apparaturen gebaut worden, die die Auswechselung der Kassetten in möglichst kurzer Zeit besorgen (u. a. Aufnahmegerät Siemens-Reiniger, Bräuer usw.). Doch in sehr vielen Fällen und unter leidlich günstigen Verhältnissen (ruhiger Patient, dessen Stellung durch Einbauen in Sandsäcke erleichtert und gesichert ist, ferner geübtes Personal) genügt eine einfache Schiebekassette, in die zwei Platten nebeneinander eingelegt werden, die nach der ersten Aufnahme unter dem Patienten verschoben wird, während eine zweite Person rasch die Röhre verschiebt (bis zur andern Marke bzw. Anschlag). Unter diesen Umständen sind im Felde unter den primitivsten Verhältnissen einwandfreie Aufnahmen hergestellt worden. Freilich, die ideale Lösung der Aufnahmetechnik wäre: gleichzeitige Aufnahmen von den beiden Brennflecken aus. A. Haßelwander hat schon 1917 eine Lösung dieses Problems mittels der Rasterstereoskopie angegeben. Es ist aber der Technik bis heute noch nicht gelungen, diesen Weg für die Praxis gangbar zu machen.

Die Betrachtung. Wenn nun bei der Aufgabe einer richtigen Betrachtung solcher stereoskopischer Bilder die Anordnung der Aufnahme vollkommen nachgeahmt würde, könnte ein Raumeindruck nicht zustande kommen, denn dann würden sich ja die beiden Sehstrahlenkegel ebenso wie bei der Aufnahme überschneiden, wie sich die beiden Projektionsstrahlen-

kegel überschritten hätten, wenn die Aufnahmen gleichzeitig gemacht worden wären; d. h. jedes Auge würde zum größten Teile beide Aufnahmen sehen. Aus diesem Grunde ist zur Betrachtung solcher Bilder eine eigene Apparatur nötig, die jedem Auge nur dasjenige Bild sichtbar macht, das für dieses bestimmt ist. Es bestehen verschiedene Apparaturen, die eine Betrachtung stereoskopischer Röntgenbilder ermöglichen (z. B. Beyerlen, Drüner, Haßelwander, Pulfrich, Stumpf, Trendelenburg).

Ich wähle den Haßelwanderschen Stereoskiagraphen, um an ihm die praktische Durchführung der nun abgeleiteten Prinzipien zu erläutern, denn er ist leicht verständlich und übersichtlich in seiner Konstruktion.

II. Der Haßelwandersche Stereoskiagraph.

a) Einstellung der Bilder und des Apparates.

Der Haßelwandersche Stereoskiagraph (Fig. 21 auf Tafel I) ist im Prinzip auf dem Wheatstoneschen Spiegelstereoskop aufgebaut. Die beiden Bilder werden seitlich vom Beobachter aufgestellt (vor Mattscheiben, die von rückwärts erleuchtet werden) und durch Spiegel betrachtet, die unter einem Winkel von 45° sowohl zur Ebene der Bilder (Mattscheiben) als auch zur Blickrichtung des Betrachters geneigt sind. Dadurch wird erreicht, daß die Bilder, die in Wirklichkeit seitlich von dem Beobachter aufgestellt sind, diesem gerade vor seinen Augen hinter den Spiegeln zu schweben scheinen. Da die Spiegel für Licht halbdurchlässig sind, kann der Beobachter in dieses Raumbild hineingreifen, kann in ihm messen, zeichnen, modellieren.

Wenn nun die Bilder seitlich vom Beobachter (vor den Mattscheiben) eingestellt werden, ist vor allem zu beachten, daß das Bild gespiegelt wird, ehe es in das Auge bei der Betrachtung gelangt, und daß damit eine Vertauschung von „rechts“ und „links“ bedingt ist.

Es muß also vor der Einstellung nur bedacht werden, welches der rechte und welches der linke Rand der Platte bei der Aufnahme war. Diese Stellung soll ja wieder vorgefunden werden, wenn in die Spiegel geblickt wird; so muß das Bild vor dem Spiegel seitenverkehrt aufgestellt werden, damit es im Spiegel wieder seitenrichtig erscheint.

Automatisch ergibt sich dann, daß die bei der Aufnahme dem Brennfleck etwa zugewendete Schichtseite der Platte nun dem Spiegel bei der Betrachtung abgewendet ist. Bei doppeltbegossenen Filmen äußert sich die Stellung darin, daß die Buchstaben in Spiegelschrift erscheinen¹⁾.

Die Skizze (Fig. 22) mag nochmals vergegenwärtigen, wie die beiden Bilder, was Seitenvertauschung anbetrifft, vor die Mattscheibe im Apparat einzustellen sind.

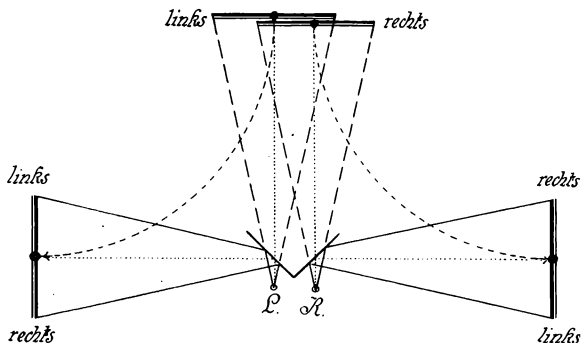


Fig. 22.

Wenn nun der Apparat die Möglichkeit gibt, jedem Auge nur das zugehörige Bild sichtbar zu machen, so müssen weiter der Reihe nach die drei Bedingungen erfüllt werden:

1. Jedes Auge muß senkrecht über der zugehörigen Fußpunktmarke stehen.

Auf jeder Mattscheibe des Apparates sind beide Fußpunktmarken angegeben durch zwei schwarze Punkte im Abstand von 6,4 cm. Aus Figur 23 ergibt sich, daß auf jeder Mattscheibe stets der dem Meßraum zu gelegene Punkt derjenige ist, auf den der entsprechende Fußpunkt der Platte eingestellt werden muß. Wenn z. B. der Betrachter das rechte Teilbild

1) Welche Fehler entstehen, wenn die Bilder für das rechte und linke Auge etwa vertauscht werden usw., hat Haßelwander besprochen in: „Beiträge zur Methodik der Röntgenographie. II. Die Stereoröntgenogrammetrie,“ Fortschr. auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen XXIV, S. 345. 1916.

zur Hand nimmt, um es im Apparat einzustellen, hält er es zunächst so vor sich hin, wie es bei der Aufnahme vor dem Projektionszentrum lag (Fig. 24 a). Dann ist der rechte Fußpunkt (in Figur 24 mit $+$ bezeichnet) derjenige, über dem das erzeugende Projektionszentrum senkrecht stand. Um diese Fußpunktmarke mit dem entsprechenden Fußpunkt der Mattscheibe richtig zur Deckung zu bringen, dreht er die Platte um

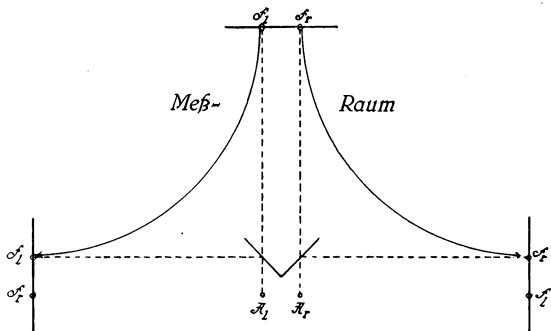


Fig. 23.

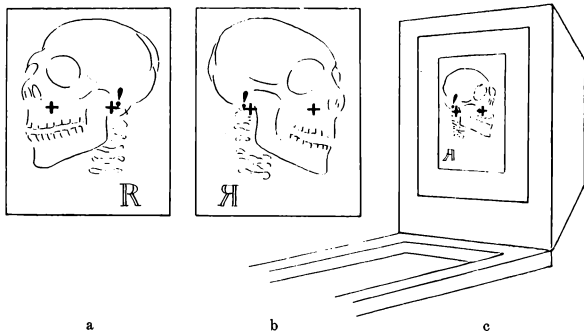


Fig. 24.

die Vertikalachse um 180° , sodaß das Bild nun seitenvertauscht (Spiegelschrift!) ist (Fig. 24b). Die einzustellende Fußpunktmarke liegt jetzt links vor dem Betrachter; er stellt sie dann auf den für ihn links liegenden Fußpunkt der rechten Mattscheibe ein (Fig. 24c), gleichgültig, ob die rechts liegende Fußpunktmarke der Platte mit dem anderen Punkt der Mattscheibe zusammenfällt oder nicht. Im allgemeinen werden sich diese beiden nicht decken, denn:

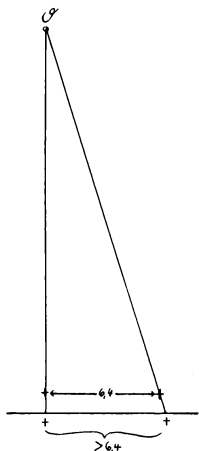


Fig. 25.

1. wenn der Abstand der beiden Fußpunktmarken im Apparat 6,4 cm ist, so erscheint durch die Projektion auf der Platte dieser Abstand etwas größer. Es wird also das zweite Fußpunktmarkenkreuz auf der Platte nur mit dem horizontalen Schenkel auf den entsprechenden Punkt der Mattscheibe zu liegen kommen, wie Figur 25 zeigt;
2. wenn die Aufnahmeapparatur für eine beliebige Röhrenverschiebung gebaut ist, sodaß der Abstand der Fußpunktmarken dementsprechend größer oder kleiner als 6,4 cm ist, so kann sich notwendigerweise auch die Projektion dieser Marken auf der Platte nicht mit den Punkten auf der Mattscheibe decken.

In dem entsprechenden Fußpunkt jeder Mattscheibe muß nun ein Lot errichtet werden, in welches das betrachtende Auge zu bringen ist. Die Richtung dieses Lotes ist im Apparat dadurch angegeben, daß ein kleiner in eine zwischen Auge und Platte angebrachte Glasscheibe eingetzter Kreis genau senkrecht über der Fußpunktmarke auf der Mattscheibe steht (Fig. 26 auf Tafel II).

Wie beim Zielen das Auge genau in Richtung des Gewehrlaufes blickt, wenn es Kimme und Korn in Deckung sieht, so

steht auch hier das Auge des Beobachters senkrecht über der Fußpunktmarke, wenn diese im Spiegel eben in der Mitte des Kreises gesehen wird. Steht das Auge aber nicht senkrecht über der Fußpunktmarke, so kann es Kreis und Fußpunkt nicht konzentrisch sehen, die Fußpunktmarke erscheint dann in der gleichen Richtung exzentrisch, in der das Auge vom Lot abgewichen ist.

2. Die Röhrenverschiebung soll zunächst bei der Aufnahme gleich der Pupillardistanz des Betrachters angenommen werden. Um nun beide Augen zugleich senkrecht über die zugehörigen Fußpunkte einstellen zu können, sind die beiden Spiegel nach vorwärts und rückwärts verschiebbar.

Aus der Figur 27 ist ersichtlich, daß die Entfernung der reflektierten Lote auf den Fußpunktmarken größer oder kleiner

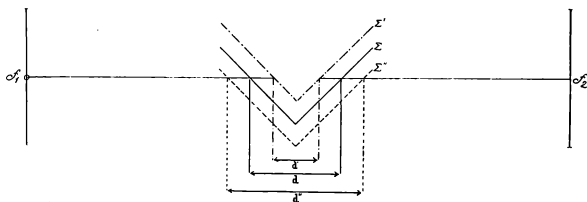


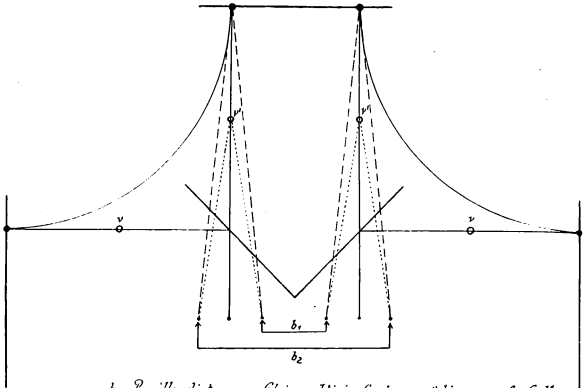
Fig. 27.

wird, je nachdem die beiden Spiegel vorwärts oder rückwärts bewegt werden. Die Figur 28 zeigt den Apparat in einer Spiegelstellung, welche für einen Betrachter mit der Pupillardistanz b_1 zu nah, für einen mit der Pupillardistanz b_2 zu fern ist. Folglich sieht der Betrachter beide Fußpunktmarken das einmal zwischen den Ringen, das anderemal außerhalb der Ringe.

Pupillardistanz $<$ Abstand der Lote: $\bigcirc \cdot \quad \cdot \bigcirc$
 Pupillardistanz $>$ Abstand der Lote: $\cdot \bigcirc \quad \bigcirc \cdot$
 Pupillardistanz $=$ Abstand der Lote: $\odot \quad \odot$

Ist die Pupillardistanz gleich dem Abstand der reflektierten Fußpunktstrahlen, so sieht er die Fußpunktmarken als Mittelpunkte der Visierkreise. Die beiden Augen stehen nun senkrecht über den Fußpunktmarken.

Es besteht also stets auch während der Arbeit die Möglichkeit, durch einen Blick auf die Visierkreise zu kontrollieren, ob die richtige Stellung der Augen beibehalten wurde, was besonders bei der Arbeit mit Modellwirkung die Sicherheit des Ergebnisses erhöht.



b_1 : Pupillardistanz zu klein: Visierkreise (v, v') liegen außerhalb der Fußpunkte: $\circ \circ$

b_2 : Pupillardistanz zu groß: Visierkreise (v, v') liegen zwischen den Fußpunkten: $\bullet \circ \circ \bullet$

Fig. 28.

3. Die Bildweite bei der Betrachtung muß gleich der Bildweite bei der Aufnahme sein. Um diese richtige Entfernung¹⁾ festlegen zu können, ist sowohl an der rechten Mattscheibe wie an der rechten Glasscheibe zwischen Spiegel und Platte, (an der auch der Visierkreis angebracht ist), je ein schwarzer Strich so angegeben, daß das Auge, wenn ihm diese Strecken bei zentriertem Fußpunktstrahl gedeckt erscheinen, von der Platte die gewünschte Entfernung hat. Wenn diese

1) Die bisherigen Modelle waren für eine feste Bildweite von 55 cm gebaut, das neueste Modell gestattet auch Einstellungen auf größere Bildweiten, sofern entsprechende auswechselbare Glasplatten zwischen Spiegel und Mattscheibe gebracht werden können.

beiden Striche nicht gedeckt gesehen werden, so kann sich das Auge zwar wohl im Fußpunktstrahl befinden, hat aber entweder eine zu große oder zu kleine Entfernung (Fig. 29). Der

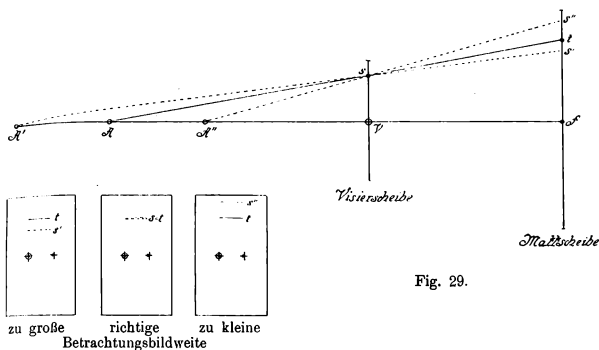


Fig. 29.

Mattscheibenstrich erscheint höher als der Glasscheibenstrich, wenn das Auge eine zu große, — tiefer, wenn es eine zu kleine Entfernung von der Platte hat. Um die Entfernung der Augen von der Platte variieren zu können, ist am Apparat eine bewegliche Stütze angebracht, auf welche der Betrachter seinen Nasensattel aufstützen kann. Je nachdem diese Stütze mittels einer Schraube vorwärts oder rückwärts bewegt wird, entfernt oder nähert der Betrachter den Nasensattel und damit auch die Augendrehpunkte der Platte.

Zusammenfassend seien also nochmal die notwendigen Gesichtspunkte für die Handhabung des Apparates bei der Einstellung der Bilder aufgezählt:

1. Einstellung der Bilder im Apparat: Die Platte wird
 - a) auf der zugehörigen Seite (für das rechte Auge rechts, für das linke Auge links),
 - b) seitenverkehrt (rechter und linker Rand vertauscht, Schriftzeichen spiegelbildlich),
 - c) mit dem zugehörigen Fußpunkt der Platte auf den Fußpunkt der Mattscheibe, welcher dem Meßraum zu gelegen ist (der andere Fußpunkt der Platte liegt auf der Ver-

bindungslinie der beiden Fußpunktmarken der Mattscheibe)
(Fig. 30)

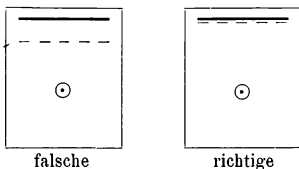
in den Apparat eingestellt.

2. Einstellung des Apparates für den Betrachter:

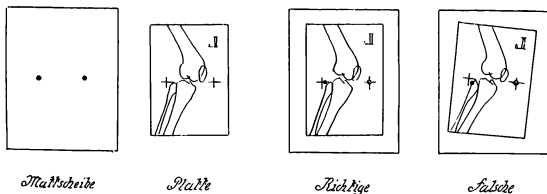
a) Jedes Auge muß die Fußpunktmarke im Mittelpunkt des Visierkreises sehen:



b) Die Striche auf der Mattscheibe und der Glasscheibe müssen sich (nach zentriertem Fußpunkt) decken:



Einstellung.



Einstellung der Platte auf der Mattscheibe

Fig. 30.

Der Haßelwandersche Stereoskiagraph erfüllt also alle Bedingungen, die als notwendig und hinreichend zu einer raumrichtigen Betrachtung stereoskopischer Bilder theoretisch abgeleitet wurden:

1. Der Augendrehpunkt liegt dem Fußpunkt des Bildes ebenso senkrecht gegenüber wie der Brennfleck bei der Aufnahme, wenn die Fußpunktmarke dem betrachtenden Auge im Mittelpunkt des Visierkreises erscheint.

2. Der Abstand des Augendrehpunktes von der Platte ist gleich der Bildweite bei der Aufnahme, wenn sich die beiden Striche auf Glas- und Mattscheibe bei zentrierter Fußpunktmarke decken.

3. Der Abstand der reflektierten Lote auf den Fußpunktmarken ist gleich dem Abstand der beiden Augendrehpunkte des Betrachters, wenn für beide Augen die Fußpunkte im Mittelpunkt der Visierkreise stehen.

Sind diese 3 Bedingungen erfüllt, so sehen wir im Apparat ein raumrichtiges — tautomorphes — Bild, das in Lage und Größe so genau wie möglich mit dem abgebildeten Gegenstand übereinstimmt. Es ist dabei vorläufig immer vorausgesetzt, daß die Aufnahme mit einer Röhrenverschiebung hergestellt wurde, die gleich war der Pupillardistanz des Betrachters.

b) Auswertung des Bildes.

1. Allgemeine Möglichkeiten.

Da die Spiegel des Apparates halbdurchsichtig sind, so sieht der Betrachter nicht nur das durch die Spiegelung der beiden seitlich aufgestellten Platten entstandene Raumbild des Gegenstandes vor sich, sondern er sieht auch durch die Spiegel hindurch und somit jeden Gegenstand, der in dieses vor seinen Augen im Raume schwebende Bild gebracht wird, so z. B. einen Maßstab, eine Sonde, einen Bleistift usw. So kann der Betrachter in idealer Weise das Bild auswerten. Ein Blatt Papier, in das Raumbild gebracht, liefert einen beliebigen „Schnitt“ durch den Gegenstand, der mit dem Bleistift nachgezeichnet werden kann. Ein Tonklotz kann so lange geformt werden, bis das Modell vollständig das gesehene Raumbild erfüllt. Auch kann mit einem Maßstab das Modell unmittelbar ausgemessen werden.

Trendelenburg hat dieser Behandlungsweise die Bezeichnung „unmittelbare Raummessung“ gegeben.

2. Die Lichtpunktmarke.

Für den Haßelwanderschens Stereoskiographen ist ein Lichtpunktgestell konstruiert. An diesem ist ein kleines, rotes Visierlicht durch eine Schraube nach oben und unten zu bewegen. Das Gestell selbst kann frei auf dem Tisch hinter

den Spiegeln bewegt werden. So ist die Lichtmarke an jede Stelle des Raumes hinter den Spiegeln zu bringen. Außerdem ist genau unter dieser Lichtmarke ein Stift angebracht, mit dem irgendeine Stellung der Lichtmarke auf einem Zeichenblatt markiert werden kann. Bestimmt man auf einer cm-Einteilung an dem Gestell die Höhe der Marke über dem Zeichenblatt bzw. Tisch, so ist damit die Lage des Punktes eindeutig festgelegt. Die Markierung auf dem Zeichenblatt stellt den Grundriß des Punktes, die abgelesene Anzahl der cm den Aufriß des Punktes (Zweitafelsystem) dar. Dieses Lichtpunktgestell bewährt sich dann, wenn es sich um exakte Messungen handelt, denn es kann in aller Ruhe eingestellt werden, sicherer als ein etwa in der Hand gehaltener Maßstab.

Die Lichtpunktmarke gibt die Möglichkeit, die Tiefenlage eines Punktes objektiv zu prüfen und den subjektiven Eindruck zu bestätigen.

Der binokulare Raumeindruck ermöglicht es, auf diese Weise einen Raumpunkt seiner Lage nach festzulegen. Dennoch sind gerade Ungeübte in solchen Fällen Täuschungen unterworfen, die sich jedoch leicht feststellen lassen, wenn der Beobachter abwechselnd das eine Auge schließt und mit dem andern kontrolliert, ob sich Lichtmarke und Lichtpunkt auf jeder Seite decken. Dieses „uniokulare“ Arbeiten gibt dem Geübten Sicherheit, dem Ungeübten die Möglichkeit, sich vor Irrtümern zu schützen.

Ob sich also die Lichtpunktmarke genau an der Stelle befindet, die durch die beiden Bildpunkte bestimmt ist, ersieht der Betrachter, wenn er etwa das linke Auge schließt und mittels des rechten Auges die Lichtmarke genau auf den entsprechenden Bildpunkt des rechten Teilbildes einstellt. Für das linke Auge, das alsdann kontrolliert, liegt nun die Lichtmarke

1. rechts von dem Bildpunkt (des linken Teilbildes) bzw. dem Projektionsstrahl P_1A_1 (Fig. 31), wenn die Lichtmarke vor,

2. links, wenn die Lichtmarke räumlich hinter dem Gegenstandspunkt liegt. Wird

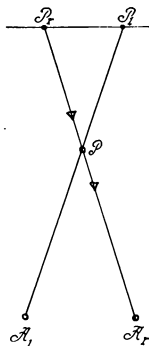


Fig. 31.

das linke Auge wieder geschlossen und die Lichtmarke nun unter Kontrolle des rechten Auges, sodaß sie sich auf dem Projektionsstrahl A_rP_r bewegt, etwas vorwärts oder rückwärts verschoben, je nachdem das linke Auge die Lichtmarke links oder rechts vom Punkt P gesehen hat, so werden nach wiederholter Kontrolle durch das linke Auge endlich beide Augen je die Lichtmarke an der rechten Stelle sehen.

Analog gestaltet sich die Einstellung der Lichtmarke, wenn mit dem linken Auge zuerst eingestellt wird und das rechte Auge die Kontrolle übernimmt. Die Lichtmarke ist dann

1. vor dem Gegenstandspunkt, wenn sie dem kontrollierenden linken Auge links vom Sehstrahl P_rA_r ,

2. hinter dem Gegenstandspunkt, wenn sie rechts von P_rA_r zu liegen scheint.

So wird die Vorwärts- und Rückwärtsbewegung des Lichtpunktes stets unter der Führung des einen, die Tiefenkontrolle durch das andere Auge ausgeführt; bei dieser letzteren besagt eine Verlagerung des Lichtpunktes in der nasalen Richtung (bezogen auf die Nase des Beobachters) eine zu starke Annäherung des Lichtpunktes, das Umgekehrte eine zu große Entfernung.

Die folgende Tabelle zeigt nochmal den Vorgang dieser Kontrolle.

	Das eine Auge	Das andere Auge
1.	„geschlossen“	Deckung von Lichtmarke und Gegenstandspunkt
2.	„geöffnet“ Die Lichtmarke ist abgelenkt vom Gegenstandspunkt: a) nasal: Die Lichtmarke ist vor dem Gegenstandspunkt, b) lateral: Die Lichtmarke ist hinter dem Gegenstandspunkt	„geschlossen“
3.	„geschlossen“	Verschiebung der Lichtmarke je nach „2“ vorwärts oder rückwärts unter Deckung mit dem Gegenstandspunkt
4.	„geöffnet“ Kontrolle, eventuell Wiederholung von 2 und 3	„geschlossen“

Dies uniokulare Anvisieren, das dem Zweiäugigen eine Kontrolle und eine Erleichterung sein kann, ermöglicht einem Einäugigen in gewissem Sinne ein „räumliches Sehen“, — so paradox dies klingen mag. Er darf nur das eine Auge einmal vor den einen Spiegel, dann vor den andern Spiegel bringen und jedesmal die entsprechende Einstellung (Zentrierung der Fußpunktmarke, Festlegung der Bildweite) vornehmen, dann ist es ihm mit Hilfe dieser Methode möglich, die räumliche Lage eines Punktes festzustellen. Ich habe selbst diesbezügliche Versuche angestellt und mich von der Durchführbarkeit dieser Methode überzeugt.

So ermöglicht die Lichtpunktmarke eine bequeme Bestimmung der wahren Länge einer Strecke. Der eine

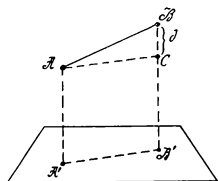


Fig. 32.

Endpunkt einer beliebigen Strecke im Raum wird im allgemeinen höher liegen als der andere. Der Grundriß $A'B'$ der Strecke AB (s. Fig. 32) stellt dann eine Verkürzung der wahren Strecke dar, er ist kleiner als AB . Wenn man sich den Grundriß anstatt in der Tischebene im Punkte A angetragen denkt, sodaß also AC parallel und gleich $A'B'$ ist,

so ist die wahre Länge der Strecke AB die Hypotenuse in dem rechtwinkligen Dreieck ABC , dessen eine Seite AC der Grundriß, dessen andere Seite BC der Höhenunterschied der beiden Endpunkte der Strecke AB ist, der an der cm-Einteilung des Lichtpunktgestells abgelesen wird.

Handelt es sich also um eine objektive Messung einer Strecke, so wird man:

1. beim Grundriß jedes Punktes die Höhe angeben;
2. senkrecht zur Verbindungslinie der beiden Grundrisse die Höhendifferenz antragen;
3. die wahre Länge der Strecke als die Hypotenuse dieses Dreiecks finden, dessen eine Kathete der Grundriß, dessen andere Kathete die Höhendifferenz der beiden Punkte ist (Fig. 33).

Da die Errechnung der Hypotenuse immerhin eine Aufgabe ist, die Zeit in Anspruch nimmt, wird mancher davor zurückschrecken. Ich habe daher folgende kleine Hilfsvorrichtung

konstruiert, welche die Fig. 34 zeigt. Hat man durch eine Messung zweier Punkte PQ deren Grundrisse P' Q' mittels des Lichtpunktes auf einem Zeichenblatt bestimmt und die Höhendifferenz der beiden Punkte an der Lichtpunktskala abgelesen, so greift man mit den beiden Spitzen A, B des Apparates den Grundriß der Strecke PQ ab. Stellt man nun den beweglichen Schenkel S an der Skala BC auf den Teilstrich, der die Höhendifferenz der Skala angibt, so liest man auf der Skala des Schenkels S unmittelbar die wahre Länge der Strecke PQ ab.

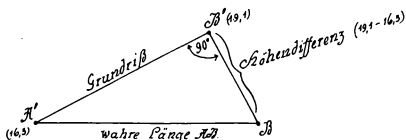


Fig. 33.

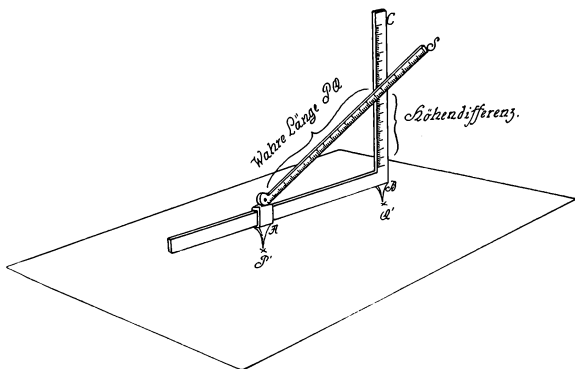


Fig. 34.

Diese Methode der wandernden Lichtpunktmarke, die also so viele Möglichkeiten exakter Arbeit bietet, ist zugleich der einzige Weg, die Raumrichtigkeit zu prüfen.

Ist nämlich bei der Einstellung der Fehler gemacht worden, daß rechte und linke Platte vertauscht wurden, so sieht zwar

der Betrachter auch ein Raumbild, aber ein Stereobild, das pseudostereoskopisch ist¹⁾. Gerade dem weniger Erfahrenen kommt der unrichtige Raumeindruck nicht sogleich zum Bewußtsein, besonders wenn es sich um organische Körper handelt, die Lichtpunktmarke überzeugt ihn aber unmittelbar, daß das Bild verzerrt ist und hinter der Abbildungsebene liegt.

c) Fehler bei falscher Einstellung der Bilder.

Wir haben bisher die Bedingungen aufgestellt, die zu erfüllen sind, um ein raumrichtiges Bild zu erhalten. Doch müssen der Vollständigkeit halber auch die Fehler erwähnt werden, die entstehen, wenn diese Bedingungen nicht eingehalten werden.

Die 3 Fundamentalbedingungen:

1. Röhrenverschiebung = Pupillardistanz,
2. Bildweite bei Betrachtung = Bildweite bei Aufnahme,
3. Fußpunkte senkrecht vor den Augen,

müssen aber zugleich die Gesichtspunkte liefern, um welche sich die Fehler, welche bei Nichteinhaltung der Bedingungen entstehen, gruppieren lassen. Es ergeben sich also folgende Fehlergruppen²⁾ (Fig. 35).

1. Die Pupillardistanz ist nicht gleich der Röhrenverschiebung bei der Aufnahme. Die entstehenden Fehler äußern sich darin, daß ein Quadrat sowohl bei zu kleiner als auch zu großer Pupillardistanz als Trapez gesehen wird, das weder maßrichtig noch winkeltreu ist. Es ist dies begreiflich, wenn man bedenkt, daß nun dem linken Auge sein Fußpunkt gar nicht mehr senkrecht gegenübersteht und außerdem die Konvergenz seines Strahlenkegels geändert wird.

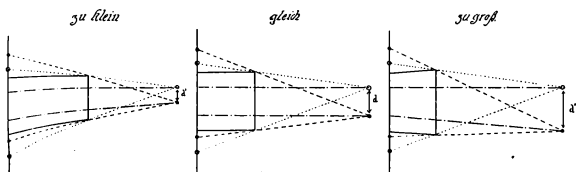
2. Die Augen werden der Platte genähert oder von ihr entfernt, sodaß die Bildweite bei der Betrachtung nicht gleich der Bildweite bei der Aufnahme ist. Aus den Zeichnungen geht hervor, daß die bei falscher Bildweite entstehenden Bilder weder winkeltreu noch maßrichtig sind. Es ist dies notwendig, da zwar die Fußpunkte jedem Auge senkrecht gegenüberliegen,

1) Die nähere Besprechung dieser Fehler findet sich bei *H a s s e l w a n d e r* „Neue Methoden der Röntgenologie“. Zentralblatt f. Röntgenstr., Radium u. verw. Geb. 9. Jahrg., S. 101. 1918.

2) Bei den folgenden Zeichnungen ist nur der gespiegelte Strahlengang eingezeichnet, wie er unseren Augen erscheint, aus Gründen der Einfachheit und Übersichtlichkeit.

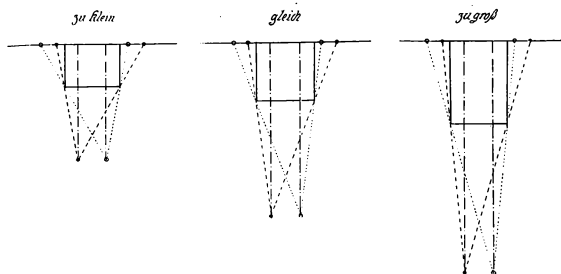
I. Pupillardistanz

(im Vergleich zur Aufnahmebasis)



II. Bildweite

(im Vergleich zur Aufnahmebasis)



III. Plattenstellung

(für das linke Auge im Vergleich zur Stellung bei der Aufnahme)

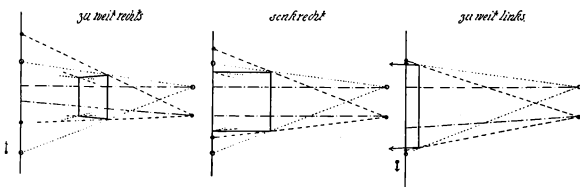


Fig. 35.

aber die Strahlenkegel beider Augen bezüglich der Konvergenz verändert wurden. Die Breitenmaße (\parallel zur Bildebene) bleiben erhalten, aber die Tiefenmaße ändern sich.

3. Die Platte wird aus ihrer ursprünglichen Stellung seitlich verschoben, sodaß im allgemeinen das Auge dem Fußpunkt der Platte nicht mehr senkrecht gegenübersteht¹⁾.

Die Bilder, die entstehen, wenn der Fußpunkt und damit auch alle Bildpunkte vor dem Auge verschoben werden, liefern von dem ursprünglichen Quadrat wiederum Trapeze, die weder winkeltreu noch maßrichtig sind.

Es würde zu weit führen, die Kombinationen dieser einzelnen Fehler (1—3) (2—3) (3—1) aufzuzählen²⁾. Auch ohnehin ist es ja begreiflich, daß stets wiederum Fehler entstehen werden, wenn zu einem vorhandenen noch ein neuer Fehler hinzugefügt wird. Aber es besteht doch die Möglichkeit, daß ein Fehler, wenn auch nicht aufgehoben, so doch wenigstens gebessert wird, wenn ihm ein zweiter zugefügt wird, der ihn teilweise aufhebt. Eine solche Kombination ist z. B. die der Fehlergruppe 1 mit der Fehlergruppe 3, nämlich das Modellbild.

1) Der Möglichkeit, daß die Platte um einen Fußpunkt gedreht wird und dadurch eine neue Fehlergruppe entsteht, ist dadurch vorgebeugt, daß die beiden Fußpunkte auf eine Horizontale auf der Mattscheibe einzustellen sind, die durch die Fußpunktmarken gelegt ist. Vgl. Fig. 30.

2) Neuerdings hat Diocles eine Methode angegeben, mit der er die Vorzüge einer Fernaufnahme (2—3 m) mit den Vorzügen eines nahen Stereobildes kombiniert. Er benützt dabei die Kombination der eben besprochenen Möglichkeiten 1 und 2 und erhält damit aus Aufnahmen, die mit großer Bildweite und Basis gewonnen sind, Stereobilder in geringerer Bildweite, die er mit kleiner Basis (Pupillardistanz) betrachten kann. Diese Raumbilder (in Fig. 36 schraffiert) haben zwar die gleiche Tiefe wie das dargestellte Objekt (Quadrat), aber sie weisen eine räumliche Verzerrung auf (Trapez statt Quadrat), wie aus Abbildung 36 hervorgeht.

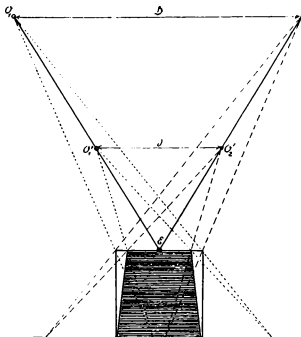


Fig. 36.

d) Das Modellbild.

Bei Fehlergruppe 1 ergaben sich Bilder, die weder winkeltreu noch maßrichtig waren; denn mindestens dem einen Auge lag sein zugehöriger Fußpunkt gar nicht mehr senkrecht gegenüber. Die Fehlergruppe 3 besteht aber darin, daß die Platte und damit deren Fußpunkt seitlich verschoben wird. Im allgemeinen wird ja diese Kombination der Fehler eine Summierung bedeuten; wenn jedoch die Platte um den gleichen Betrag und in der gleichen Richtung verschoben wird, um die ursprünglich das Projektionszentrum verschoben wurde, so ist wenigstens erreicht, daß der zugehörige Fußpunkt senkrecht unter dem Auge liegt. Die Abbildung 37 zeigt, daß sich in diesem Falle, nachdem

Modellwirkung

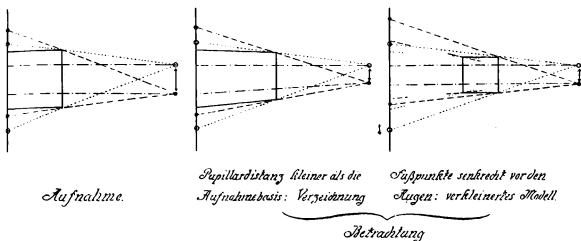


Fig. 37.

der erste Fehler (Papillardistanz nicht gleich Röhrenverschiebung) ein Trapez ergeben hatte, nun durch Hinzufügung eines zweiten „Fehlers“ (Verschiebung der Platte) ein verkleinertes Quadrat entsteht, das jetzt wenigstens ein winkeltreues Abbild des Gegenstandes ist, das, wenn auch nicht absolut maßrichtig, so doch relativ maßrichtig ist, denn es sind alle Strecken in diesem „Modell“ im gleichen Verhältnis verkleinert.

Der mathematisch Denkende sieht sofort, daß nun nur der Projektionsstrahlenkegel (in Fig. 37 mit schwarzen Punkten angedeutet), ohne an der Konvergenz seiner Strahlen etwas geändert zu haben, wie es bei den Fehlern 1, 2, 3 allein der Fall war, einfach parallel verschoben wurde. Dadurch ist so-

wohl das Projektionszentrum als auch der Fußpunkt um den gleichen Betrag verschoben. Es werden durch eine solche Parallelverschiebung zwar alle Streckenmaße in demselben Verhältnis verändert¹⁾, nicht aber die Winkel. Dadurch sieht das Auge ein Modell des dargestellten Gegenstandes.

Bei Modellwirkung wird:

1. jede Strecke des Raumbildes parallel zu sich selbst verschoben; diese Tatsache garantiert die Winkeltreue des Modells;
2. jedes Streckenmaß des Gegenstandes in demselben Verhältnis verändert, in dem die Pupillardistanz des Betrachters zur Röhrenverschiebung bei der Aufnahme steht.

$$\frac{\text{Maß am Modellbild}}{\text{Maß am Gegenstand}} = \frac{\text{Pupillardistanz des Betrachters}}{\text{Röhrenverschiebung bei Aufnahme.}}$$

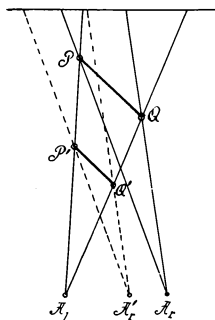


Fig. 38.

Die Fehlerkombination (1—3) ermöglicht es also, daß jeder Betrachter irgend ein Stereoskopbild, das auch mit einer seiner Pupillardistanz nicht entsprechenden Röhrenverschiebung aufgenommen ist, so betrachten kann, daß er ein winkeltreues und meßbares Bild erhält. Dadurch, daß das Bild mit anderer Pupillardistanz betrachtet wird, als der Röhrenverschiebung bei der Aufnahme entspricht, ist bei der Betrachtung ein Fehler der Gruppe 1 begangen. Wenn er nun dagegen den Fußpunkt des Bildes bzw. beider Bilder verrückt, so begeht er einen Fehler der Gruppe 3, kann aber da-

1) Wenn der Projektionsstrahlenkegel A_r nach A_r' parallel verschoben wird, so treten folgende geometrische Beziehungen auf (Fig. 38):

1. $\triangle A_1 Q A_r \sim \triangle A_1 Q' A_r'$ da $Q A_r \parallel Q' A_r'$
- ebenso 2. $\triangle A_1 P A_r \sim \triangle A_1 P' A_r'$ da $P A_r \parallel P' A_r'$.

Also ist nach 1. : $A_1 Q : A_1 Q' = A_1 A_r : A_1 A_r'$

„ „ 2. : $A_1 P : A_1 P' = A_1 A_r : A_1 A_r'$

Daraus folgt : $A_1 Q : A_1 Q' = A_1 P : A_1 P' = A_1 A_r : A_1 A_r'$

d. h. einmal $P Q \parallel P' Q'$

ferner : $P Q : P' Q' = A_1 A_r : A_1 A_r'$

durch, daß er die Fußpunkte um den gleichen Betrag, um den seine Pupillardistanz von der Röhrenverschiebung bei der Aufnahme abweicht, in der gleichen Richtung verrückt, also mit anderen Worten dadurch, daß er die Fußpunkte seinen Augen senkrecht gegenüberstellt, ein Modellbild erhalten, das für ihn in jeder Hinsicht auswertbar ist.

Es ist oben schon besprochen, wie im Haßelwanderschens Stereoskiagraphen dafür gesorgt ist, daß beide Augen senkrecht über den zugehörigen Fußpunkten einzustellen sind. Ferner haben wir unter der Voraussetzung, daß die Röhrenverschiebung bei der Aufnahme gleich ist der Pupillardistanz des Betrachters, behauptet, daß bei Erfüllung der drei Fundamentalbedingungen im Apparat ein orthomorphes Bild gesehen wird. Nun kann diese Behauptung dahin erweitert werden, daß gesagt wird: Jeder Betrachter sieht nach Erfüllung der drei Fundamentalbedingungen im Haßelwanderschens Stereoskiagraphen ein winkeltreues Modell vor sich, dessen Größe sich zu der des wirklichen Gegenstandes verhält wie die Pupillardistanz des Betrachters zur Röhrenverschiebung bei der Aufnahme.

Es kann dann der Fall, daß die Pupillardistanz des Betrachters gleich ist der Röhrenverschiebung bei der Aufnahme, als Spezialfall aufgefaßt werden, indem sich das Modell zur Wirklichkeit verhält wie 1:1.

Schon 1918 hat Trendelenburg darauf hingewiesen, daß Modellwirkung auf verschiedenem Wege erreicht werden kann. Trendelenburg erzielte ein Modellbild durch seitliche Verschiebung der Prismen gegeneinander, Haßelwander durch Verschiebung der Platten, was in dem beschriebenen Modell in analoger Weise durch sagittale Verschiebung der Spiegel, sagittal in Bezug auf den Betrachter, erreicht wird.

Um nun dem Beobachter die Berechnung der wahren Länge irgendeiner Strecke aus dem Modell zu ersparen, die einfach nach der Gleichung:

$$X = \frac{\text{Maß am Modell} \times \text{Röhrenverschiebung bei Aufnahme}}{\text{Pupillardistanz des Betrachters}}$$

bestimmt werden kann, habe ich einen kleinen Apparat konstruiert, der unmittelbar die Ablesung des wahren Wertes gestattet.

Der Apparat (Fig. 39 auf Tafel III) zeigt zunächst eine kreisrunde Scheibe (a) mit einem vom Mittelpunkt ausgehenden Pfeil. In einem Ausschnitt dieser Scheibe ist eine Skala (b) sichtbar, welche in Zentimetern die Röhrenverschiebung bei der Aufnahme angibt. Ist nun die Marke in diesem Ausschnitt auf die Zahl der Zentimeter eingestellt, um welche die Röhre bei der Aufnahme verschoben wurde, so wird diese Stellung durch Anziehen der Schraube in der Mitte fixiert. Die Pfeilspitze steht am inneren Rande einer kreisrunden größeren beweglichen Scheibe (c), die über den Rand des Apparates etwas hervorsteht und drehbar ist. Die Skala dieser Scheibe enthält alle Zahlen von 1—10 wie auf einem Rechenschieber angetragen; daher können die Zahlen entweder als solche oder mit einer beliebigen Potenz von 10 multipliziert abgelesen werden (z. B. statt 1,5 15 cm oder 150 mm usw.). Bewegt man nun diese Scheibe so lange, bis die Zahl der cm (Skala c), die man an dem Modellbild gemessen hat, gerade über der Pfeilspitze steht, so liest man unter der Zahl, welche die Pupillardistanz des Betrachters angibt (Skala d), unmittelbar den wahren Wert dieser Strecke ab.

Der Apparat hat nach einfachen Prinzipien der logarithmischen Berechnung die Aufgabe gelöst

$$X = \frac{\text{Maß am Modell} \times \text{Röhrenverschiebung bei Aufnahme}}{\text{Pupillardistanz des Betrachters.}}$$

Ist z. B. (Fig. 39 auf Tafel III) eine Aufnahme mit einer Röhrenverschiebung von 6,5 cm gemacht worden, so stellt man die Scheibe (a) mit dem Pfeil über 6,5 der inneren kleinen Skala (b) und fixiert diese Stellung durch Anziehen der Schraube. Dann bewegt man die an den Rändern vorstehende runde Scheibe (c) so lange, bis über der Pfeilspitze diejenige Zahl steht, die am Modell gemessen wurde, z. B. 35 cm (als Zahl auf der Skala 3,5). Hat der Betrachter, der diesen Wert (am richtig eingestellten Modellbild) gemessen hat, eine Pupillardistanz von 6 cm gehabt, so ist unter 6,0 an der äußersten Skala „Pupillardistanz des Beobachters“ unter 6,0 der Wert 3,79 also 37,9 cm abzulesen; dies erspart die Berechnung:

$$\frac{35}{x} = \frac{6}{6,5}.$$

Hätte bei dem gleichen gemessenen Wert der Beobachter die praktisch zwar kaum vorkommende Pupillardistanz von

8 cm gehabt, so würde bei der gleichen Einstellung unter 8,0 der Skala „Pupillardistanz des Beobachters“ abzulesen sein, daß die entsprechende Strecke am wirklichen Gegenstand 28,4 cm lang ist, in Übereinstimmung mit der Berechnung

$$\frac{35}{x} = \frac{8}{6,5}.$$

Es gibt noch einen anderen geradezu idealen Weg, die Pupillardistanz des Beobachters zu „korrigieren“, sodaß der Beobachter stets ohne Umrechnung die wahren Werte des Gegenstandes bestimmen kann, und diesen Weg hat auch Haßelwander an seinem Modell bereits im Jahre 1926 gezeigt. Bekanntlich wird ein unter spitzem Winkel einfallender Lichtstrahl, wenn er eine planparallele Platte durchsetzt, nach seinem Austritt parallel zu sich selbst verschoben. Haßelwander hatte an diesem Modell zwischen den Augen und den Spiegeln zwei zwangsläufig miteinander drehbare planparallele Glasplatten angebracht. Je nach ihrer Stellung wurde nun der Strahlenkegel, der in das Auge gelangte, parallel zu sich selbst verschoben. (Es ließe sich Analoges natürlich durch Anwendung von Glashomboedern erreichen, diesen Weg hat Pulfrich im Stereookular gewählt.) Da aber nicht nur die beiden Halbbilder, die das Raumbild des Gegenstandes liefern, durch die planparallelen Platten gesehen werden, sondern auch alles, was hinter den Spiegeln ist, so z. B. der Maßstab, die Lichtpunktmarke, der zu modellierende Tonklotz usw. in gleicher Weise durch die planparallelen Scheiben gesehen wird, so werden die wahren Größen auf dem Maßstab gemessen, die wirklichen Größen auf dem Zeichenblatt gezeichnet und ein naturgroßes Modell modelliert, gleichviel mit welcher Pupillardistanz der Beobachter auch durch den Apparat hindurchsieht, wenn nur der Apparat nach den obigen Bedingungen richtig eingestellt ist. — Es gelang noch nicht, diesen idealen Weg technisch befriedigend durchzuführen.

III. Messungen am Haßelwanderschen Stereoskiagraphen.

Ich habe nun mit dem Haßelwanderschen Stereoskiagraphen eine Reihe von Messungen angestellt und deren Resultate, soweit es möglich war, mit der Wirklichkeit verglichen, um diejenige Meßgenauigkeit festzulegen, die ich mit dem Apparat erzielte.

Bei der Feststellung der Fehlergrößen erwies sich nämlich, daß ich selbst in der Beschaffenheit meiner Augen keineswegs über günstige Bedingungen verfüge, ein Umstand, der für mich die Arbeit freilich entschieden erschwerte. Dieser für mich subjektiv zwar gewiß unerfreuliche Umstand war aber gerade für die Beurteilung der erreichten Genauigkeit von einer nicht geringen Bedeutung, sofern sich dabei die Brauchbarkeit des durch den beweglichen Lichtpunkt zur Verfügung stehenden Kontrollmittels erproben ließ.

Ohne diese Kontrolle wäre es mir unter den gegebenen Umständen unmöglich gewesen, die aufgeführte Meßgenauigkeit zu erreichen.

Ferner besserten sich meine Messungsergebnisse nach einiger Zeit. Wie sehr gerade die Übung ein Messungsergebnis günstig beeinflußt, fand ich auch an anderen bestätigt. Als ich einen Kollegen, der ungeübt war in Bezug auf scharfes Sehen und auch von dem Bau und der Handhabung des Apparates nichts wußte, bat, nach meinen Angaben den Haßelwanderschen Stereoskiagraphen für sich einzustellen und mehrere Messungen hintereinander zu machen, stimmten seine ersten Messungen bei weitem (um 1—2 cm) nicht, da die Einstellung der Fußpunktmarken nicht beachtet wurde; dann bewegten sich die Messungsfehler zwischen 1—2 mm, später sogar unter einem mm. Dem gegenüber ließ ich einen in der Apparatur und den Vorkenntnissen stereoskopischer Messung sicher ganz unerfahrenen, aber dafür sehr gewandten Jäger, der an scharfes Sehen, Beobachten und Zielen gewöhnt war, die gleichen Messungen ausführen. Seine Messungsfehler waren vom ersten Augenblick an in der Größenordnung eines Millimeters.

Bei den Messungen habe ich mir zur Aufgabe gemacht, nicht nur Größen zu messen, sondern alle Meßpunkte auf ein bestimmtes Koordinatensystem zu beziehen; denn ich hatte beobachtet, daß manche Messungsfehler gar nicht richtig in Erscheinung treten, wenn man ein solches Koordinatensystem nicht heranzieht.

Als Koordinatensystem verwendete ich die Grundrisse der beiden Fußpunktmarken, die ich mittels des Lichtpunktgestelles auf einen Karton aufzeichnete, der mir als feste, unver-

schiebliche Unterlage diene. Durch diese beiden Punkte bohrte ich von unten her in den Karton zwei Reißnägel, sodaß ich an deren oben hervorragenden Spitzen immer neue Pauspapierblätter aufstecken konnte und später diese Fußpunktlöcher in den Pauspapierblättern nur zur Deckung zu bringen brauchte, um die auf den einzelnen Blättern mit dem Lichtpunktgestell markierten Punkte bzw. Figuren auf ihre Übereinstimmung hin vergleichen zu können.

Die Festlegung der Fußpunkte bzw. ihrer Grundrisse im Haßelwanderschens Stereoskiagraphen kann zugleich zur Messung der Pupillardistanz des Beobachters verwendet werden. Denn wenn die beiden Fußpunkte senkrecht vor jedem Auge eingestellt sind, so müssen sie und ebenso auch ihre Grundrisse den gleichen Abstand voneinander haben wie die Pupillennittelpunkte des Betrachters.

Zur Messung wurde ein Bleidrahtwürfel verwendet. An diesem habe ich die Lage der Kantenendpunkte bestimmt (Punktmessung), andererseits die Länge der Kanten (Streckenmessung), endlich die Winkel, die je zwei Kanten miteinander einschließen (Winkelmessung). Es ist z. B. aus Figur 35 ersichtlich, daß die Ausmessung der einzelnen Seiten des Quadrates verschiedene Schwierigkeiten bereitet. So ist es sicher relativ leichter, die Länge der queren Seiten zu messen wie diejenigen, welche sich in die Tiefe erstrecken.

I. Die Punktmessung: Die Messung der Lage irgend-eines Raumpunktes in Bezug auf mein Koordinatensystem ergab folgende Werte: In der Tabelle S. 270 oben ist aufgezeichnet, wie weit und wieviele der einzelnen Messungen von dem Mittelwert, der sich aus der Gesamtzahl der Messungen ergab, abwichen, und zwar sind nur die Abweichungen in Bezug auf die Tiefenlage (+ zu weit vorn, — zu weit hinten) angegeben, da die seitlichen Abweichungen stets unter einem Millimeter waren.

Das Ergebnis der Tabelle, in Worte gekleidet, lautet: 61 % der Punkte wurden richtig in Bezug auf das Koordinatensystem, weitere 28 % innerhalb eines Intervalls von 1 Millimeter bestimmt. Das sind im ganzen 89, also rund 90 % aller Messungen, mit einem Fehler von weniger als 1 Millimeter. Wenn man beachtet, daß die Messungen mit zunehmender Übung besser werden (Reihenfolge), und wenn man die letzten 60 Messungen

Messung	Abweichung vom Mittelwert in mm							Anzahl
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
I	1	0	1	5	2	1	0	10
II	0	1	3	3	0	2	1	10
III	1	1	2	6	0	0	0	10
IV	0	0	2	7	1	0	0	10
V	0	0	1	7	2	0	0	10
VI	0	0	1	7	0	1	1	10
VII	0	0	1	8	1	0	0	10
VIII	0	0	1	4	4	1	0	10
IX	0	0	0	8	2	0	0	10
X	0	0	0	6	4	0	0	10
Gesamt	2	2	12	61	16	5	2	100
Messung V—X	0	0	4	40	13	2	1	60

nimmt, so bedeutet das 66% richtig, 28,2% im Fehlerbereich von 1 Millimeter, also im ganzen 94,2% der Messungen mit einem Fehler von weniger als 1 Millimeter.

Die Fig. 40 zeigt das Ergebnis in graphischer Darstellung.

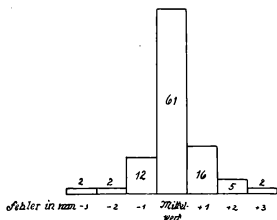
II. Die Streckenmessung: Die Messung der Entfernung zweier Punkte wurde in analoger Weise vorgenommen, auch in dieser Tabelle wurde die Differenz einer Messung gegenüber dem Mittelwert als Minus bezeichnet, wenn die gemessene Strecke kleiner, als Plus, wenn sie größer war als der Mittelwert.

Messung	Abweichung vom Mittelwert in mm					Anzahl	Schwankungs- breite
	-2	-1	0	+1	+2		
I	0	0	8	2	0	10	1,2 mm
II	0	1	9	0	0	10	0,5 „
III	1	0	5	4	0	10	2,0 „
IV	0	0	10	0	0	10	0,5 „
V	0	2	8	0	0	10	1,5 „
Gesamt	1	3	40	6	0	50	
in %	2	6	80	12	0	für 100	

Das prozentuale Verhältnis zeigt Fig. 41.

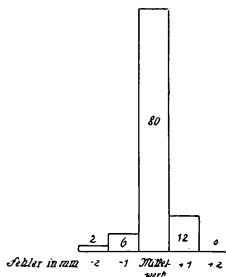
Es sei hier noch eine Tabelle angegeben, die zeigt, unter welchem Winkel die einzelnen gemessenen Strecken zueinander

geneigt waren in Bezug auf das Koordinatensystem. Es sei z. B. angenommen, die beiden Strecken AB und A'B' (Fig. 42) seien gleich lang, so wird eine richtige Messung verzeichnet, wenn diese Länge der beiden Strecken nacheinander richtig gemessen wurde. Ist aber die Lage der Strecke in Bezug auf ein Koordinatensystem zu bestimmen, so muß die eine Messung gegenüber der anderen falsch sein.



Punkt-messung.

Fig. 40.



Streckenmessung.

Fig. 41.



Fig. 42.

Die Abweichungen von dem Mittelwert sind in Winkelgrad gemessen. War eine gemessene Strecke parallel zu der Geraden, die als Mittelwert angenommen wurde, so wurde der Abstand der beiden Parallelen in Millimetern gemessen.

Messung	Gegenseitige Verdrehung			Parallelverschiebung in mm
	bis zu 1°	bis zu 2°	bis zu 3°	
I	6	3	0	1,5
II	7	2	0	1
III	6	4	0	0
IV	7	3	0	0
V	6	3	0	1
Gesamt	32	15	0	3

In Worten sagen diese beiden Tabellen: 80% aller Messungen waren richtig, 18% aller Messungen wiesen einen Fehler von 1 Millimeter auf; so waren im ganzen 98% aller Messungen im Bereich eines Fehlers von 1 Millimeter. Auch in Bezug auf die Lage fielen 64% und, wenn man die Parallelverschiebungen bis 1 Millimeter miteinrechnet, 70% aller Messungen in den Bereich von einem Grad bezw. einem Millimeter als Fehler. Kein Fehler war größer als 2 Grad bezw. 1,5 mm.

III. Die Winkelmessung: In gleicher Weise versuchte ich den Winkel zu messen, den zwei Gerade zueinander einschließen. Da es sich um die Kanten eines Würfels handelte, war der Mittelwert als 90° festgelegt, die Abweichungen wurden im Winkelgrad angegeben.

Messung	Abweichung in Grad							Anzahl
	-2,5	-2	-1	0	+1	+2	+2,5	
I	0	0	0	9	1	0	0	10
II	0	2	1	7	0	0	0	10
III	0	0	0	4	3	1	2	10
IV	0	0	2	8	0	0	0	10
Gesamt	0	2	3	28	4	1	2	40
in Prozent	0	5	7,5	70	10	2,5	5	für 100

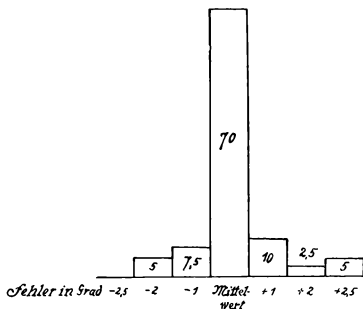


Fig. 43.

Die Winkelmessung ergab also 70% richtige Messungen, 17,5% der Messungen in einem Fehlerbereich von 1 Grad, also im ganzen wiesen 87,5% aller Messungen einen Fehler bis zu einem Grad auf. Die Fig. 43 zeigt wieder eine graphische Darstellung dieser Ergebnisse.

Diese Messungsergebnisse dürfen natürlich nicht verglichen werden mit den Messungsfehlern, die etwa bei stereophotogrammetrischen Instrumenten erlaubt sind. Es wäre aber auch gar nicht angebracht, ebenso komplizierte Instrumente für die Röntgenstereogrammetrie zu bauen; denn abgesehen von den Kosten, die derartige Apparaturen erfordern würden, kommen ja solche Meßgenauigkeiten für die organische Welt gar nicht in Betracht. Es handelt sich bei Messungen an organischen Objekten nur in seltenen Fällen um Beträge, die unterhalb eines Millimeters liegen.

Nach diesen mehr mathematischen Versuchen prüfte ich die Meßgenauigkeit des Apparates noch an einigen praktischen Beispielen.

In der Anthropologie bietet z. B. in vielen Fällen eine stereoskopische Röntgenaufnahme Aufschlüsse, die durch andere Messungen nur annähernd erreicht werden können, oder sie macht uns Dinge sichtbar und damit meßbar, die sonst unzugänglich wären (z. B. innere Schädelmaße am Lebenden)¹⁾. So wertete ich die Röntgenaufnahmen eines Hottentottenkopfes, der sich in der hiesigen Sammlung findet, aus und verglich mehrere Messungen, bei denen sich die Abweichungen in den meisten Fällen in der Größenordnung von 1 Millimeter bewegten. Zum Vergleich wurden auch Messungen herangezogen, die von andern, unabhängig von mir, an dem gleichen Raumbild vorgenommen wurden.

Die Bedeutung der Röntgenstereoskopie für die Chirurgie hat der Krieg deutlich genug gezeigt, sodaß es überflüssig erscheint durch immer neue Beispiele zu ermüden, Beispiele, in denen das Raumbild vor Enttäuschungen bewahrt hat, die sich sonst aus dem einfachen Röntgenbild ergeben hätten²⁾.

Ähnliche Bedeutung hat das Raumbild in der Ophthalmologie für die Lokalisation von Fremdkörpern (Metallsplitter) innerhalb oder außerhalb des Bulbus. Allerdings spielt hier ein Millimeter oft eine Rolle, und es muß daher die Messung auf das gewissenhafteste ausgeführt werden. Ich hatte Ge-

1) Vgl. A. Pratje: Die Anwendung stereoskopischer Methoden in der Anthropologie. Zeitschr. f. Anat. u. Entw.-Gesch. Bd. 89, Heft 4. 1929.

2) Vgl. Schriftennachweis unter Drüner, Haßelwander, Trendelenburg.

legenheit, von zwei Fällen aus der hiesigen Augenklinik stereoskopische Röntgenaufnahmen zu machen. Der durch die Auswertung sich ergebende Befund deckte sich genauestens mit dem, was die klinischen Untersuchungsmethoden erwiesen hatten¹⁾.

Besonders wertvoll erscheint es, wenn man aus einer einzigen stereoskopischen Aufnahme am Lebenden alle Maße entnehmen kann, die für den Gynäkologen wichtig sind.

So fand ich bei drei Messungen am Raumbild eines Skeletts, das mir zugleich unmittelbare Kontrolle gestattete, folgende Werte:

Skelett einer Erwachsenen:

Conj. vera im Raumbild	10,06 cm,	am Skelett	10,1 cm
	10,06 cm		
	10,06 cm		
„ transversa „	10,5 cm,	„ „	10,5 cm
	10,5 cm		
	10,5 cm		

Ich wertete auch ein kindliches Becken aus, da es sich ja hier nur um die Erprobung der Meßgenauigkeit handelte. Die Ergebnisse waren folgende:

Conj. vera im Raumbild	7,8 cm,	am Skelett	7,9 cm
	7,75 cm		
	7,85 cm		
„ transversa „	7,85 cm,	„ „	7,8 cm
	7,8 cm		
	7,9 cm		
„ recta „	6,78 cm,	„ „	6,8 cm
	6,7 cm		
	6,78 cm		
Abstand d. Spinae il. ant. sup.	17,4 cm,	„ „	17,5 cm
	17,5 cm		
	17,5 cm		

So kann man von einem Becken-Raumbild eine ganze Reihe von Maßen abnehmen, im allgemeinen alle diejenigen, die für den Gynäkologen von Bedeutung sind, während Einzelaufnahmen meist nur höchstens ein Maß richtig angeben.

1) Vgl. auch Arbeiten von K. Engelbrecht: Das Haßelwandorsche Verfahren in seiner Anwendung auf die Röntgenlokalisation von Fremdkörpern im Auge. Klin. Monatsblätter f. Augenheilkunde, März 1917.

C. Schluss: Zusammenfassung.

Wenn auch stereoskopische Aufnahmen vielfach zunächst gar nicht in der Absicht gemacht werden, um daran Messungen vorzunehmen, so erscheint es doch zweckmäßig, diese Aufnahmen gleich so zu gestalten, daß sie im entsprechenden Fall eine raumrichtige Auswertung gestatten würden. Die hier gegebenen Ausführungen hatten den Zweck, zu zeigen, daß es im Grunde sehr wenige und einfache Punkte sind, die beachtet werden müssen, um ein raumrichtiges Stereoskopbild zu erreichen. Aus der allgemeinen Forderung, das Bild muß unter den gleichen Bedingungen betrachtet werden, wie es aufgenommen wurde, ergab sich

1. für die Aufnahme:

Auf jedem Bild muß der Punkt bezeichnet werden, dem der Fokus der Röntgenröhre senkrecht gegenüber lag — Fußpunktmarke.

Bildweite und Röhrenverschiebung müssen zahlenmäßig angegeben werden;

2. für die Betrachtung:

Jedem Auge muß der zugehörige Fußpunkt in der gleichen Bildweite wie bei der Aufnahme senkrecht gegenüber gestellt werden.

Im Haßelwanderschen Stereoskiagraphen sieht dann jeder Beobachter ein in jeder Hinsicht auswertbares Modellbild des Gegenstandes vor sich. Technisch ist dabei nötig

als einmalige Maßnahme: An dem Aufnahmegerät sind Fußpunktmarken ein für allemal so anzubringen, daß sie bei jeder Aufnahme richtig mitabgebildet werden. Sind auch die Bildweite und die Röhrenverschiebung einmal endgültig festgelegt, so erspart man sich damit auch die jedesmalige Angabe. Es bleibt dann nur mehr

als jedesmalige Maßnahme: Bei der Betrachtung im Apparat muß durch die Zentriervorrichtung jedes Auge der Fußpunktmarke senkrecht gegenüber gestellt werden in der entsprechenden Bildweite.

Werden diese wenigen und einfachen Maßnahmen bei Aufnahme und Betrachtung nicht geschenkt, so wird ein Stereoskopbild erreicht, das nicht nur in seinem subjektiven Eindruck

dem dargestellten Gegenstand vollkommen und scharf entspricht, sondern auch einer objektiven Auswertung standhält.

Vielfach ist die Darstellung einer Methode viel schwieriger als deren praktische Durchführung. Dies dürfte bis zu einem gewissen Grade auch in dem vorliegenden Falle zutreffen. Deshalb wäre es mein Wunsch, daß jeder, dem die obigen Ausführungen noch etwas kompliziert erscheinen, sich selbst davon überzeugen möge, wie einfach die praktische Ausübung einer Röntgenstereoskopie ist, deren Leistungen über die Erzielung eines subjektiven Eindrucks hinausgeht und der erstrebten Objektivität näherzukommen gestattet.

Es ist ein Verdienst, das nicht hoch genug gewertet werden kann, welches sich die Bahnbrecher auf diesem Gebiet: Marie und Ribaut, Drüner, Haßelwander, Trendelenburg erworben haben, als sie uns lehrten, die Stereoskopie in den Dienst der Medizin zu stellen, indem sie geeignete Methoden schufen, welche den bestehenden Bedürfnissen genügen konnten.

Möge diese Abhandlung dazu beitragen, im Sinne der genannten Meister auf diesem Gebiete zu zeigen, wie die Stereoskopie, unter entsprechenden Gesichtspunkten betrieben, der Medizin in der Röntgenologie das leisten kann, was von ihr verlangt werden darf: vollendete Übereinstimmung des Raumbildes mit dem dargestellten Objekt und weitestgehende Auswertungsmöglichkeit.

Schriftennachweis.

Der Schriftennachweis umfaßt nur diejenigen Werke, die zu dem hier besprochenen Gebiet unmittelbar Bezug haben. Besonders ausführliche Literaturangaben über das gesamte Gebiet finden sich z. B. in den zitierten Werken von Haßelwander: Bedeutung des Röntgenbildes für die Anatomie, und Trendelenburg: Stereoskopische Raummessung.

Bechert: Über den Grad der Genauigkeit von Messungen an stereoskopischen Röntgenbildern nach der Methode von Haßelwander. *Anatom. Anzeiger* 1923.

Bronkhorst: Kontrast und Schärfe im Röntgenbild. G. Thieme, Leipzig. 1927.

Cazes: La stéréoscopie de précision. Michelet, Paris. 1895.

Dioclès: La technique et les indications principales de la Téléstéréoradiographie. *Journal de Radiologie et de l'Electr.* Teil XII, Nr. 7. 1928.

Drüner: Die Messung des Röntgenbildes. In: *Handbuch d. ges. med. Anw. d. Elektr.* Bd. 3. 1. Teil: Röntgendiagnostik. Hrsg. v. M. Levy-Dorn. Lief. 2, S. 143. Dr. W. Klinkhardt, Leipzig. 1923.

Haßelwander, A.: Neue Methoden der Röntgenologie. I. Die Stereophotogrammetrie des Röntgenbildes. *Zentralblatt f. Röntgenstr., Radium u. verw. Geb.* 9. Jahrg., S. 101. 1918.

— — Die Bedeutung des Röntgenbildes für die Anatomie. *Ergebnisse der Anatomie u. Entw.-Gesch.* Bd. 23 (daselbst ausführliche Literaturangaben). 1921.

— — Beiträge zur Methodik der Röntgenographie. II. Die Stereoröntgenogrammetrie. *Fortschritte auf d. Gebiet d. Röntgenstrahlen* XXIV, S. 345. 1916.

— — Gefahren für die weitere Entwicklung der Röntgenstereoskopie. *Fortschritte a. d. Geb. d. Röntgenstr.* Bd. XL, Heft 2. 1929.

— — Die Röntgenstrahlen in der Anatomie. In: *Lehrbuch der Röntgenkunde.* Hrsg. von Rieder-Rosenthal. 2. Aufl. Bd. I, S. 666. J. A. Barth, Leipzig. 1924.

Marie u. Ribaut: Stéréoscopie de précision appliquée à la radiographie. *Arch. de physiologie, Serie V, Tom IX*, S. 686. 1897. Ebenso in: *Compt. rend. Tome 124 a*, S. 613. 1897.

Mulder Denis: „Total X-Fotos“. Uitgave Van Dorp. Bandoeng, Haag. 1927.

- Pratje, A.: Stereoskopische Methoden in der Röntgendiagnostik. Handbuch der Röntgendiagnostik und Therapie v. G. Kohlmann, S. 65. Karger, Berlin. 1928.
- — Die Anwendung stereoskopischer Methoden in der Anthropologie. Zeitschr. f. Anat. u. Entw.-Gesch. Bd. 89, Heft 4. 1929.
- v. Rohr, M.: Die binokularen Instrumente. Springer, Berlin. 1920.
- Teschendorf, W.: Diagnostische Bedeutung der Röntgenstereoskopie. Klin. Wochenschr. Jahrg. 1929, S. 151.
- — Über Stereoprojektionen des Schädels. Fortschr. auf d. Geb. d. Röntgenstrahlen, Bd. 41, Heft 1.
- Trendelenburg, W.: Stereoskopische Raummessung an Röntgenaufnahmen. Dasselbst reiche Literaturangaben. Springer, Berlin. 1917.
-

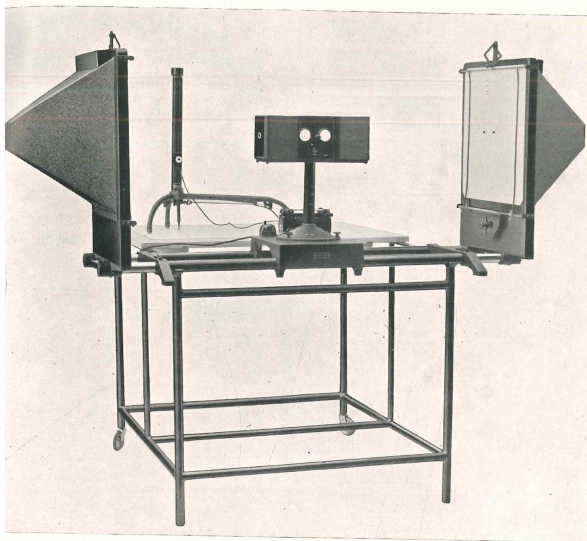


Fig. 21.

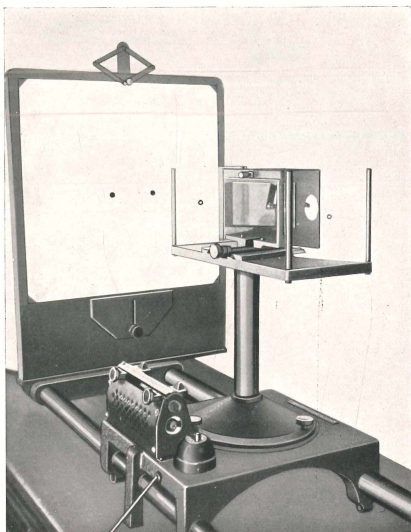


Fig. 26.

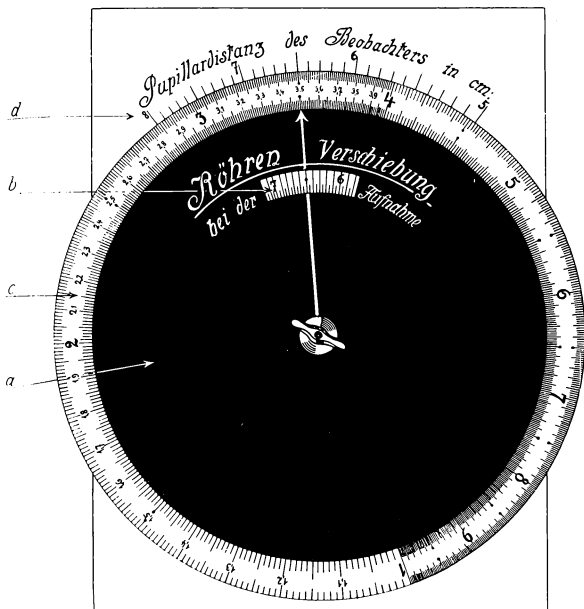


Fig. 39.