

Über den Grad der Genauigkeit von anthropologischen Messungen, besonders des Schädelvolumens an stereoskopischen Röntgenbildern.

Von Friedrich Narr.

I. Die Anwendung des Röntgen-Raumbildes in der Diagnostik, in der Anatomie und Anthropologie.

I. Allgemeiner Teil:

Das Röntgenraumbild und die Bedingungen seiner Raumrichtigkeit.

Die Bestrebungen, mit dem Röntgenogramm, welches als Schattenbild mit den Verzerrungen der Zentralprojektion behaftet ist, eine raumrichtige Wiedergabe der dargestellten Körper zu erhalten, haben zum Ausbau der messenden Stereoskopie des Röntgenbildes geführt. Die theoretischen Grundlagen und praktischen Geräte wurden in einer nun über 30 Jahre zurückreichenden mühsamen Arbeit im Dienste des Zieles, den menschlichen Körper in lebendem Zustand einer exakten Messung und Nachbildung, ganz allgemein gesagt, einer objektiven Untersuchung, zugänglich zu machen, von verschiedenen Autoren, so von Marie und Ribaut Drüner, Eijkmann, Haßelwander, Trendelenburg, Beyerlen und Köhnle geschaffen.

Daß diesen Bemühungen ein sicherer Erfolg bezüglich ihrer praktischen Anwendungsmöglichkeiten erwachsen ist, verdanken wir der überaus vielseitigen Leistungsfähigkeit der Methoden der stereoskopischen Raumbildmessung, die uns beispielsweise während des Krieges in den Stand gesetzt hat, eine

geometrische, anatomische und chirurgische Lokalisation von Fremdkörpern mit nie versagender Sicherheit auszuführen, worüber H a ß e l w a n d e r in der Münchener Medizinischen Wochenschrift 1917 Nr. 21/22 berichtet hat. Der Diagnostik bieten sich durch die Anwendung einer stereoskopischen Raumbildmessung außerordentliche Möglichkeiten, die allerdings bisher leider in ihrer vollen Tragweite noch lange nicht gebührend erkannt worden sind. Sei es, daß für das sichere Angehen eines Hirntumors, dessen exakte Lokalisation von oft ausschlaggebender Bedeutung, ja Notwendigkeit ist, sei es, daß Unklarheiten in der Beurteilung von komplizierten Knochenbruch- und Luxationsfällen zu beseitigen sind, sei es, daß orthopädische Fragen, daß solche bei der Auswertung von Untersuchungen mit Kontrastmitteln entstehen oder daß es sich um Fragen der Geburtshilfe und der Gynäkologie, der Oto-Rhinologie oder der operativen Zahnheilkunde handelt, — volle Klarheit zu schaffen wäre erst ein stereoskopisches Röntgenbild in der Lage, das uns in den Stand setzt, mit größter Sicherheit von diesen Dingen einen raumrichtigen Aufschluß zu gewinnen, der normalerweise dem planen Röntgenbild nicht zu entnehmen ist. Von der Auswirkung dieser Möglichkeiten haben bis heute freilich nur wenige vollen Gebrauch gemacht.

Solche praktischen Aufgaben waren übrigens ursprünglich für den Autor, dem wir den Ausbau der stereoskopischen Auswertung von Röntgenbildern zu dem heutigen Stand hauptsächlich verdanken, H a ß e l w a n d e r, gar nicht der Ausgangspunkt, sondern Fragen der Anatomie, Anthropologie und der Physiologie. Dadurch, daß wir in den Röntgenstrahlen ein Mittel in die Hand bekommen haben, den Bau des menschlichen Körpers im Gegensatz zu den Leichenuntersuchungen früherer Zeiten nunmehr direkt am lebenden Menschen zu studieren, hat sich auf einer Anzahl von Gebieten der Anatomie ergeben, daß durch die frühere Bearbeitungsweise irrtümliche Vorstellungen entstanden waren, die zum Teil sich in sehr schwerwiegender Weise auf die Diagnostik der Heilkunde auswirken können. Hier galt es also, die Anschauungen der Anatomie vom Standpunkt der Betrachtung des lebenden Körpers wieder zu überprüfen. Eine vollkommene Verlässlichkeit der Untersuchungsmethode in bezug auf die Genauigkeit

ihrer Resultate war dafür natürlich eine unerläßliche Voraussetzung, ein Ausbau nach der Seite möglichst universeller Verwendbarkeit ein starkes Bedürfnis. Nach beiden Richtungen hin ist heute viel erreicht. Die Fehler in der Größe von Messungen, mit denen gerechnet werden muß, bewegen sich nach zahlreichen Bearbeitungen¹⁾, bei sorgfältiger Beachtung der Kautelen, in der Größenordnung von ± 1 mm, — einer Größe, die für die meisten anatomischen, anthropologischen, auch physiologischen Ermittlungen ohne Ausschlag für das Gesamtergebnis ist. Vielseitig ist die Möglichkeit von Ermittlungen insoferne, als mit ihr alle Strecken- und Winkelmaße gewonnen, Querschnittszeichnungen in jeder beliebigen Richtung, auch Vertikal- und Horizontalprojektionen, angefertigt werden können, ja endlich, daß es auch möglich ist, in dem Raumbild eine Modelliermasse, wie z. B. Ton, aufzustellen und unmittelbar, gewissermaßen geführt durch die Formen des Raumbildes, wie beim Abpausen einer Zeichnung, den dargestellten Körper nachzuformen. Mit dieser unmittelbaren Nachformung des Raumbildes, der „plastischen Pause“, wie sie H a ß e l w a n d e r bezeichnet, lassen wir den dreidimensionalen Körper aus dem Röntgenraumbild wieder erstehen und können ihn zu jeder erforderlichen Auswertung nutzbar machen. Manche Forschungsgebiete haben so schon Fortschritte gewonnen. So steht heute unsere Kenntnis vom zeitlichen Entwicklungsablauf und der formlichen Gestaltung des jugendlichen Körpergerüsts durch die Ossifikation auf einer neuen breiten Basis von Tausenden untersuchter lebender Körper. Manche Variationserscheinungen stellen sich nach Röntgenuntersuchungen Lebender ganz anders dar, als man es früher annehmen mußte. Die Form und Lage der Eingeweide hat sich durch die Untersuchung Lebender als stark abweichend von den Vorstellungen erwiesen, die die Leichenzergliederung der Anatomie aufgeprägt hatte. Viele Gebiete harren aber noch der Bearbeitung.

Unter diesen sind besonders aussichtsreiche und gerade heute mit besonderem Interesse betrachtete Gebiete das der Anthropologie, der Konstitutions-, Rassen- und Vererbungsfor- schung am Menschen. Daß dafür das Röntgenbild durch die

1) Bechert, Köhnle, Staudenraus u. a.

Erschließung des lebenden Körpers, beliebiger Untersuchungsmengen und besonders interessierender Objekte neue Fortschritte verspricht, ist klar.

Wie weit die Erkenntnis von dem Wert und der Wichtigkeit einer raumrichtigen Wiedergabe anthropologisch interessanter Objekte durch das Röntgenverfahren bereits zurückreicht, dürfte eine Diskussionsbemerkung Jul. T a n d l e r s zu dem Vortrag A. H a ß e l w a n d e r s vor der Versammlung der Anatomischen Gesellschaft im Jahre 1912, in welchem dieser zum ersten Male seine Wege auf dem obenerwähnten Gebiet dargelegt hatte, besonders eindrucksvoll zeigen. Wegen der Klarheit, mit der T a n d l e r damals die Angelegenheit gekennzeichnet hat, glaube ich es für richtig halten zu dürfen, sie hier in Kürze wiederzugeben und einiges daraus wörtlich zu zitieren.

Er berichtet über Studien, die sich auf das Verhalten der Gesichtsweichteile zum Skelett des Schädels bezogen. Aus der Erkenntnis heraus, daß die von W e l c k e r und H i s an relativ kleinen Zahlen untersuchter Leichen gewonnenen Angaben nicht genügen, bediente er sich der Röntgenaufnahmen lebender Personen. Er betonte mit Recht, daß es, schon wegen des mangelnden Turgurs, nicht angängig wäre, aus den an Leichen ermittelten Verhältnissen ohne weiteres Schlüsse auf die des Lebenden zu ziehen.

Die ursprünglich geübte Technik sei zwar nicht einwandfrei gewesen, habe aber immerhin schon interessante Ergebnisse gezeitigt, die gelegentlich der Identifikation des Haydn-Schädels sehr zustatten gekommen seien.

Im weiteren Verlaufe habe er aber dann das stereophotogrammetrische Verfahren, das eben zu jener Zeit von P u l f r i c h auf einen hohen Stand ausgebaut wurde, für seine Zwecke nutzbar gemacht.

T a n d l e r war auch bereits in der Lage, an einem Modell ein Ergebnis dieser Arbeitsweise vorzuführen. Er zeigte an einer auf photogrammetrischem Wege aus stereoskopischen Röntgenaufnahmen durch seinen damaligen Assistenten Dr. W i e s e r gewonnenen plastischen Nachbildung eines Kinderschädelchens und an dem Vergleich mit dem Objekt selbst, daß

damit Rekonstruktionen erzielt werden, die dem Original vollkommen kongruent sind.

Dies regte ihn zu der Absicht an, das Verfahren auf Lebende anzuwenden und so, sei es für Rassen-, sei es für andere anthropologische Untersuchungen, von lebenden Menschen eine Art Archiv und eine Sammlung von Röntgenbildern und Nachbildungen zu schaffen.

Er fährt fort: „Da es uns nicht nur möglich ist, die Außenfläche, sondern auch die Innenfläche des Schädels zu rekonstruieren, sind wir in der Lage, eine fast vollkommen genaue Wiedergabe des Gehirnes einer lebenden Person zu erlangen. So werden wir in Zukunft nicht nur den Kopf und das Schädel skelett, sondern auch das Gehirn hervorragender Personen schon während ihres Lebens, wenn auch in effigie, zu untersuchen und der Nachwelt zu überliefern imstande sein. Wir werden auf diese Weise Rassengesichter und Rassenschädel untersuchen, schließlich durch häufigere Untersuchungen ein und derselben Person, die sich während des Lebens abspielenden Veränderungen in Stadien festhalten können.

Ich verspreche mir von diesen Untersuchungen für die Anatomie und Anthropologie nicht unwesentliche Resultate.“

Leider ist J. Tandler offenbar durch andere Aufgaben von der Durchführung dieses seines Vorhabens weiterhin abgehalten worden. Der bald darauf ausgebrochene Krieg und die darauffolgenden Zeitumstände mögen dies verschuldet haben.

Haßelwander hat in seinen Publikationen zu wiederholten Malen auf die Wichtigkeit, sich der Stereophotogrammetrie des Röntgenbildes in der Anthropologie zu bedienen, hingewiesen, auch ist im Jahre 1929 von A. Pratzje aus dem Institute Haßelwanders eine Schrift „Die Anwendung stereoskopischer Methoden in der Anthropologie“ in der Zeitschr. für Anat. u. Entwicklungsgeschichte 1929 (S. 467—493) erschienen.

Alle diese Anregungen sind aber bedauerlicherweise bis in die letzte Zeit herein praktisch nicht nutzbar gemacht worden. Sie neuerdings wieder aufzugreifen und an einigen Beispielen die Art des Vorgehens und den Grad der Zuverlässigkeit von Nachbildungen des Schädels, hier im besonderen von Volumsbestimmungen nach Röntgenogrammen zu zeigen, war

der Zweck meiner eigenen Untersuchung, die ich im folgenden vorlegen will. Ich halte diese Untersuchung deshalb im heutigen Zeitpunkt für angebracht, weil von anthropologischer Seite neuerdings das Röntgenbild zwar wohl für Feststellungen, ja auch für Volumsbestimmungen herangezogen wurde, jedoch mit Methoden, die einerseits wohl kaum geeignet sind, Maße zu liefern, welche über eine ziemlich grobe Schätzung hinausgehen, andererseits aber, was ich sogar für das wesentlich schwerer wiegende halte, dabei auf die raumrichtige körperhafte Wiedergabe des Schädels verzichten.

Th. Mollison entwickelt in seiner Arbeit „über die Kopfform des mikrocephalen Messek“ (Anatom. Anzeiger Bd. 25, 1926) eine von ihm ausgearbeitete Methode der Schädelkapazitätsbestimmung am Lebenden mit Hilfe zweier Röntgenbilder.

Seine Methode bestimmt durch Ausschneiden aus diesen zwei Bildern die größte Hauptsagittalfläche und die mittlere Breite der Hauptfrontalfläche des Schädelinnenraumes. Das Produkt beider Flächen steht nun, wie Mollison festgestellt hat, mit der Kapazität des Schädelinnenraumes in einem ziemlich festen Verhältnis. Der aus diesem Verhältnis sich ergebende Koeffizient, mit dem Volumen des Flachkörpers multipliziert, ergibt dann annähernd die Kapazität des Schädelinnenraumes.

Gegen ein Verfahren, wie das von Mollison angegebene, müssen Bedenken geltend gemacht werden.

Vor allem ist zu beachten, daß das einzelne Röntgenbild, seiner Natur als einer zentralperspektivischen Schallenprojektion entsprechend, den dargestellten Körper in allen seinen Maßen und Winkeln verzerrt wiedergibt. Die Prinzipien der „Einbildphotogrammetrie“, etwa der Art, wie sie an Lichtbildern in der Architekturvermessung, auch in der Kriminalistik gute Erfolge gezeitigt haben, sind hier an den unregelmäßigen Formen organischer Körper nicht anwendbar, und alle jene individuellen Eigentümlichkeiten, die sich im einzelnen Fall zu dem Maß des Schädelraumes summieren, bleiben unberücksichtigt.

Nun mag zugegeben werden, daß immerhin eine grobe Raumschätzung mit Mollisons Methode möglich sei. Wäre das Resultat mit je einer einzelnen Röntgenaufnahme erreichbar,

so könnte man die unvermeidlichen Ungenauigkeiten vielleicht mit der Ersparnis an Aufnahmen zu rechtfertigen versuchen. Eine solche Ersparnis ist aber bei Mollisons Vorgehen gar nicht der Fall, sondern es werden ja zwei Aufnahmen, eine mit sagittaler und eine mit transversaler Strahlenwirkung, benötigt.

Wenn aber nun schon einmal zwei Aufnahmen verwendet werden, dann ist wirklich nicht einzusehen, warum dann nicht die bereits seit vielen Jahren zu einem hohen Grad von Maßgenauigkeit ausgebaute Raumbildmessung an stereoskopischen Röntgenbildern herangezogen werden soll, die, wie oben ausgeführt, der Anthropologie bereits von mehreren Autoren gelegentlich empfohlen worden ist.

Übrigens ist noch ein weiterer Gesichtspunkt hier geltend zu machen. Bei der morphologischen Beurteilung des Schädels, sei es nun für Fragen der Rassen- oder Konstitutionsforschung, für die Beurteilung normaler oder pathologischer Verhältnisse, handelt es sich keineswegs nur um die Ermittlung der Kapazität des Hirnschädels, sondern noch um viele andere Form- und Maßeigentümlichkeiten. Sie alle können an Einzel-Röntgenogrammen nicht ermittelt werden, sind aber im Röntgenraumbild dokumentarisch mit Millimetergenauigkeit niedergelegt.

Auf diese Tatsache hat bereits H a ß e l w a n d e r 1912 hingewiesen, und er hat weiterhin an der Ausarbeitung und Vervollkommnung dieser Methode gearbeitet. Denn allein das plastische Bild, die Rekonstruktion des Objektes nach Raum, Form- und Größenverhältnissen kann einer genauen Messung genügen und eröffnet uns zudem noch die Möglichkeit, zu jedem beliebigen Zeitabschnitt das gewonnene Modell und damit das Originalobjekt auszuwerten oder mit anderen zu vergleichen.

Ich will nun im folgenden versuchen, darzutun, auf welche Weise mit Hilfe des Haßelwanderschen Gerätes ein so komplizierter Hohlkörper, wie ihn der Schädel darstellt, voll und ganz erfaßt werden kann. Auf die Anregung Prof. Haßelwanders habe ich mich im Anatomischen Institut der Universität Erlangen der Aufgabe unterzogen, an den stereoskopischen Bildpaaren einiger Schädel Messungen und Nachbildungen verschiedener Art zu gewinnen und deren Vergleich mit den Skelettschädeln eine Kontrolle von deren Genauigkeitsgrad anzustellen.

Die Methode und das Instrument.

Da bisher, trotz mancher sehr gründlichen Beschreibungen, die Methode, die Apparatur und ihr Gebrauch noch sehr wenig bekannt sind, halte ich es für notwendig, darüber an Beispielen meines Fragenkomplexes einiges zu erörtern.

Das von mir benützte Instrument, der von H a ß e l w a n d e r angegebene „Stereoskiagraph“, ist zwar mehrfach beschrieben worden (Lit. s. in W. T e s c h e n d o r f und H. K ö h n l e, Das Röntgenraumbild, Urban und Schwarzenberg, Berlin und Wien 1933), könnte also als bekannt vorausgesetzt werden.

Da ich mich aber im folgenden bei der Darlegung meines Vorgehens auch mit den Vorrichtungen zur Erlangung möglicher Raumrichtigkeit, ihrer Kontrolle und Justierung zu befassen habe, scheint es mir nicht unangebracht zu sein, seine wesentlichen Konstruktionsteile kurz zu besprechen¹⁾.

Dieses Instrument ist ein Spiegelstereoskop nach dem Prinzip W h e a t s t o n e s (1838), aber mit zwei transparenten Spiegeln, ähnlich der Anordnung, wie sie zuerst D e v i l l e (1902) in seinem Stereoplanigraphen verwendet hat. In gleichen Abständen von der Symmetrieebene des Instruments stehen links und rechts, senkrecht aufgestellt, die beiden „Halbbilder“, in diesem Falle die von rückwärts beleuchteten Röntgenogramme einander gegenüber. Auf den Milchglasscheiben der Beleuchtungskästen für die Röntgenfilme sind für jedes der beiden Bilder die Achsenstrahlfußpunkte markiert; die Verbindungslinie des rechten und linken zugehörigen Fußpunktes stellt die optische Achse des ganzen Systems dar, auf die in Präzisionsarbeit die einzelnen Teile zentriert sind. Zu ihr sind die Spiegelchen in einem Winkel von 45° schräg angebracht und zwar so, daß sie einem Betrachter von 64 mm Pupillendistanz (dem durchschnittlichen Augenabstand) diese Achsenstrahlen als zwei parallele Strahlen in die Augen reflektieren. Da nun aber bekanntlich die Pupillendistanzen außerordentlich und zwar zwischen 54 und 72 mm individuell variieren, sind diese Spiegelchen auf einem Schlitten montiert, der auf seinem soliden Untergestell zum Betrachter hin und von ihm weg verschoben

1) H a ß e l w a n d e r hat in neuerer Zeit eine vereinfachte Modifikation dieses Instruments angegeben.

werden kann, was durch eine geriffelte Schraube bewirkt wird. Dadurch können die jeweils für die individuelle Pupillendistanz passenden Abstände der Reflexionspunkte eingestellt werden.

Es ist aber notwendig, daß jeder Beobachter auch die volle Sicherheit darüber hat, ob denn auch wirklich die Spiegel für die individuelle Pupillendistanz eingestellt sind, so daß die reflektierten Achsenstrahlen untereinander parallel und zur Bildfläche rechtwinkelig in seine Augen gelangen. Für diese Kontrolle dienen zwei an dem massiven Gestell für den Spiegelträger festmontierte Glasscheiben, die in einer Entfernung von etwa 20 cm vom Auge in den Strahlengang von Bild zum Betrachter eingeschaltet sind und genau in der optischen Achse je einen kleinen eingezätzten Visierkreis tragen.

Durch diese Vorrichtung ist es dem Betrachter, der das Instrument in Gebrauch nimmt, möglich, mittels weniger Handgriffe die Spiegel so einzustellen, daß sich beiderseits Achsenstrahlfußpunkte und zugehörige Visierkreise konzentrisch decken. Der Betrachter hat damit die Gewißheit, daß jeder der beiden Augen lotrecht über dem Achsenstrahlfußpunkt des zugehörigen Bildes steht, daß er „richtig zentriert“ ist. Zugleich bieten diese Visierkreise dem Betrachter aber auch die Möglichkeit, weiterhin jederzeit während der Arbeit, ohne diese unterbrechen zu müssen, sich von der Richtigkeit seiner zentrischen Aufstellung zu überzeugen bzw. diese, wenn er sie durch kleine unvermeidliche Kopfbewegungen verlassen hat, wieder einzunehmen.

Ob der Betrachter die gleiche Entfernung mit seinen Augendrehpunkten (den Projektionszentren) von den Halbbildern einnimmt, wie sie bei der Aufnahme zwischen Film und Röhrenbrennfleck bestanden hat, zu kontrollieren, ist gleichfalls an den Visierglasscheiben eine Vorrichtung angebracht. Es ist ein eingezätzter „Peilstrich“, der sich mit einem entsprechenden auf der Mattscheibe decken muß, wenn der zentriert aufgestellte Beobachter nach dem Achsenstrahlfußpunkt und nach dem Peilstrich blickt. Wieder durch eine Einstellschraube wird der Abstand des Kopfes vom Spiegelapparat geregelt.

Durch die Transparenz der reflektierenden Flächen wird erreicht, daß das stereoskopische Bild, das nun in seiner ganzen

Plastik hinter dem Spiegelchen zu schweben scheint, gewissermaßen mit den Händen zu greifen ist. Schon Deville hat für Zwecke der Geländevermessung, für die „unmittelbare Raumbildmessung“ (diese Bezeichnung hat Trendelenburg geprägt), eine Vorrichtung in Form eines Visierlichtchens und eines daran angebrachten Zeichenstiftes geschaffen. H a ß e l w a n d e r geht darüber wesentlich hinaus und arbeitet im Raumbild nicht nur mit dieser — übrigens sehr wichtigen — Vorrichtung, sondern messend, zeichnend und modellierend in freier Weise.

Die Bedingungen der Raumrichtigkeit.

Durch die Möglichkeit der unmittelbaren Raumbildmessung und -nachformung ist es dann auch möglich, an mitaufgenommenen Testobjekten von bekannten Maßen und Winkeln sich darüber zu vergewissern, ob denn nun auch das entstandene Raumbild dem aufgenommenen Objekt entspricht, ob es „tautomorph“, im geometrischen Sinne kongruent, oder „homoiomorph“, im geometrischen Sinne ähnlich, oder aber ob es unrichtig „heteromorph“ ist.

Wer mit der Methode arbeitet, muß nun natürlich auch wissen, welchen Bedingungen er zu genügen hat, um Tautomorphie oder Homoiomorphie zu erzielen. Beide Resultate sind verwertbar. Die Homoiomorphie, das „Modellbild“, zeigt eine Verkleinerung oder Vergrößerung des Objekts, zu ihrer Verwertbarkeit ist es nur nötig, den Maßstab der Vergrößerung oder Verkleinerung zu kennen, um sofort die Reduktion auf die wahren Maße gewinnen zu können.

Die Bedingungen für die Raumrichtigkeit sind:

1. Die Fußpunkte der senkrecht auf die Filmflächen einfallenden Achsenstrahlen müssen, durch Marken sichtbar gemacht, den Augen in gleicher Anordnung gegenübergestellt werden wie bei der Aufnahme. Bei der Betrachtung im Stereoskop müssen den beiden Achsenstrahlfußpunkten der Bilder, denen bei der Aufnahme der Brennfleck der Röhre senkrecht gegenüberstanden waren, auch die Drehpunkte der beiden Augen des Betrachters im Lot zur Bildfläche gegenübergestellt werden.

2. Die Entfernung zwischen Augendrehpunkt und Bildfläche bei der Betrachtung muß gleich sein dem Abstand des Röhrenbrennflekes von dem Film bei der Aufnahme (gleiche Bildweite).
3. Der Betrag der Röhrenverschiebung bei der Aufnahme („Basis“) muß bekannt sein. Entspricht er der Pupillendistanz des Betrachters, so ist das Raumbild „tautomorph“. Ist dies nicht der Fall, so werden, bei Einhaltung der beiden erstgenannten Bedingungen, die Achsenstrahlen parallel zueinander verschoben, entweder einander genähert oder voneinander entfernt, die Strahlenbündel schneiden sich in geringerer oder größerer Entfernung vom Betrachter, jedoch ohne Änderung der Winkelgrade, und es ergibt sich das „Modellbild“, dessen Streckenmaße in demselben Verhältnis verändert erscheinen, in dem die Pupillendistanz des Betrachters zu dem Betrag der Röhrenverschiebung bei der Aufnahme steht.

In einem als Beispiel gewählten Falle betrage der Abstand des Röhrenbrennflekes vom Film bei der Aufnahme („Bildweite“) $f = 550$ mm, die Röhrenverschiebung („Basis“) $b = 65$ mm. Dagegen sei die Pupillendistanz des Betrachters $b = 69$ mm. Will nun dieser Betrachter eine dem Raumbild entnommene Tiefendistanz $t = 70$ mm auf das wahre Maß reduzieren, so ergibt sich für ihn noch die Formel

$$t \cdot \frac{b}{b_1} \text{ der Wert } \frac{70 \cdot 65}{69} = 65,9 \text{ mm.}$$

Der Untersucher, der mit diesem Verfahren genaue Ergebnisse erzielen will, muß also über den Betrag seines individuellen Augenabstandes unterrichtet sein. Es wird für ihn auch von Interesse sein zu wissen, mit welchem Grad von Genauigkeit er seine Pupillendistanz feststellen kann und wie sich allenfallsige kleine Fehler dieser Bestimmung auf das Ergebnis auswirken.

Wie stellen wir unsere Pupillendistanz fest? Zu diesem Zweck gibt es subjektive und objektive Methoden verschiedener Art. Subjektive Methoden sind dadurch gekennzeichnet, daß der Beobachter an sich selbst durch Anvisieren mit irgend-

welcher Vorrichtung seine eigene Pupillendistanz festzustellen versucht.

H a ß e l w a n d e r hat seit 1915 für die Pupillendistanzmessung eine subjektive Methode verwendet, die im Prinzip der Anordnung ähnlich der Trendelenburgs ist und bei aller Einfachheit eine hinreichend genaue Messung der Pupillardistanz ermöglicht. Zwei gegeneinander über einem Maßstab verschiebbare Streifen schwarzen Kartons sind mit je einem stenopäischen Blickloch versehen, durch welche man die Augen auf einen entfernten Gegenstand, etwa den Kamin eines Hauses, also bei paralleler Blickrichtung, einstellt. Durch Zusammenschieben und Auseinanderziehen der beiden Blicklöcher kann diejenige Stellung dieser beiden kleinen Öffnungen ermittelt werden, bei welcher sie den auf die Ferne eingestellten Augen als ein einziger Kreis erscheinen. Bei richtiger Handhabung dieser höchst einfachen kleinen Einrichtung¹⁾ beträgt der Fehler der Ermittlung der Pupillendistanz höchstens $\pm 0,5$ mm.

Durch ein zahlenmäßiges Beispiel möchte ich belegen, wie sich ein solcher Fehler im Ergebnis von Messungen oder Nachbildungen im Raumbild auswirkt: Unter der Annahme, daß ein mit dem Fokusabstand (Röhre—Film) $f = 550$ mm

und der Röhrenverschiebung $b = 60$ mm

aufgenommenes Bildpaar für einen Tiefenwert die parallaktische Differenz $p = 10$ mm erzeugt habe, wird für einen Beobachter mit der Pupillendistanz $b = 60$ mm der Tiefenwert x nach der Formel

$$x = \frac{f \cdot p}{b + p} = \frac{550 \cdot 10}{60 + 10} = 78,56 \text{ mm}$$

1) Der Betrachter muß sich vergewissern, daß er den Blick auf das ferne Objekt gerichtet hält, und dabei prüfen, ob dieses für die beiden Augen im gleichen Abstand vom Rand des zugehörigen Blickloches erscheint. Eine vollkommene Ruhigstellung des Kopfes und dieser kleinen Hilfseinrichtung wird er leicht erreichen, wenn er diese Betrachtung durch eine Fensterscheibe hindurch vornimmt und sich dabei auf diese stützt.

Etwas Selbstbeobachtung ist, wie bei jeder „subjektiven Methode“, auch bei dieser Prüfung nötig. Dann sind die Resultate vollkommen ausreichend. Meine Pupillendistanz habe ich durch Bestimmungen mittels der genannten subjektiven, übrigens auch mit objektiven Methoden ermittelt; sie beträgt 69 mm. Diesen Faktor habe ich bei der Reduktion linearer Maße des Modellbildes auf die wahre Größe jeweils in die Formel $x = t \times \frac{b}{b_1}$ eingesetzt.

betragen. Wie groß erscheint dann dieser Wert für einen Betrachter mit 60,5 mm Pupillendistanz?

Er wird

$$x = \frac{f \cdot p}{b_1 + p} = \frac{500 \cdot 10}{60,5 + 10} = 78,1 \text{ mm}$$

erhalten.

Der durch den Irrtum in der Annahme der Basis entstandene Fehler in dem Ergebnis der Tiefenmessung beträgt in diesem Beispiel dann also 0,46 mm.

Es kann wohl behauptet werden, daß für Untersuchungen am menschlichen Körper ein Meßfehler in dieser Größenordnung ignoriert werden kann. Nicht vergessen darf dazu allerdings werden, daß sich damit auch, wie weiterhin noch zu erörtern sein wird, noch subjektive Täuschungen addieren können. Da ja die vorliegende Untersuchung gerade der Frage der Zuverlässigkeit der Methode für Volumsbestimmungen am menschlichen Körper dienen soll, mag es von Belang sein, hier auch noch in Betracht zu ziehen, wie sich dann in der Einrechnung solcher subjektiver Täuschungen Fehler in Volumsmessungen auswirken.

Wie die auf Seite 347 angegebenen Kontrolluntersuchungen einer Anzahl von Autoren ziemlich einheitlich ergeben haben, muß man erfahrungsgemäß unter Einrechnung der subjektiven Täuschungen bei Streckenmessungen mit einem Fehler von ± 1 mm als der Größe der Abweichungen rechnen, die solange nicht vermieden werden können, als man ohne besondere optische Hilfsmittel arbeitet¹⁾.

Wenn man also, um die Fehlergröße an einem Beispiele zu veranschaulichen, annimmt, daß von einem Würfel von 10 cm Seite, bei dessen Auswertung im Röntgenstereogramm sich ein fehlerhaftes Maß von 10,1 cm ergeben haben möge, das Volumen bestimmt wird, so ergibt sich statt 1000 ccm ein Volummaß von 1030,3 ccm. Wenn wir das etwa auf die Er-

1) Diese Fehler zu vermeiden wäre keineswegs schwierig, würde aber, wie gesagt, besondere Vorrichtungen erforderlich machen, die die Apparatur verteuern würden. Um die Einführung der Methode nicht dadurch zu erschweren, hat Prof. H a ß e l w a n d e r bisher von solchen Komplikationen absehen zu dürfen geglaubt, um so mehr als Fehler von ± 1 mm im Ergebnis von Untersuchungen belebter Körper kaum eine Rolle spielen dürften.

mittlung des Gehirnvolums und -gewichts eines Menschen anwenden, so stellt dies wiederum eine Fehlergröße dar, die ignoriert werden darf.

Dazu werden aber bei der Vergleichung des Schädelvolumens, wie es sich nach der bekannten Methode der Anthropologie (Füllung des Schädels mit Hirse und Messung der dazu nötigen Menge) ergibt, alle Gefäß- und Nervenlöcher mitgemessen. Daraus muß bei der Messung am Skelettschädel stets ein höherer Wert resultieren als am Tonmodell, das im Raumbild nachgeformt wird, wo eine derart minutiöse Nachbildung aller Foramina und unregelmäßig kleinen Vertiefungen nicht möglich ist.

Ich habe an mehreren Schädeln die Differenz des Hohlraumes vor und nach der Ausfüllung aller dieser kleinen Nischen und Öffnungen, die ja beim Lebenden mit Weichteilen ausgefüllt sind, festgestellt. Sie betrug etwa 30 ccm.

Wenn wir außerdem die Hirnhäute, den Liquor cerebrospinalis, die Blutgefäße und deren Inhalt in Betracht ziehen, so wird uns ohne weiteres klar, daß deren Maße weit über der obigen Fehlergrenze von 30 ccm liegen, daß also bei allen Schlußfolgerungen aus dem Schädelvolumen auf das Hirngewicht, sei dies an Präparaten oder Ermittlungen am Lebenden, mit der Toleranz von Fehlern gerechnet werden muß, die den Betrag von 50 ccm erreichen, meist wohl sogar überschreiten. Ich glaube mich aber nicht zu irren, wenn ich behaupte, daß bisher noch keine anthropologischen oder klinischen Studien über das Hirngewicht bekannt geworden sind, bei denen Maßschwankungen in der genannten Größenordnung von 50 ccm für das Ergebnis ausschlaggebend gewesen wären.

Um nun wieder zu unserer Betrachtung der Kautelen für Raumrichtigkeit zurückzukehren, so darf auf Grund des Vorangegangenen wohl die Behauptung aufgestellt werden, daß ein schwerlich zu vermeidender Fehler in der subjektiven Bestimmung der als Basis dienenden Pupillendistanz von $\pm 0,5$ mm das Ergebnis nicht in Frage stellen kann.

Meine Pupillendistanz wurde durch häufige Bestimmungen mittels dieser beiden Methoden mit 69 mm festgelegt; ich habe

bei allen Feststellungen von messenden, zeichnerischen oder plastischen Nachbildungen die Reduktion des Modellbildes auf die wahre Größe des Objekts nach der auf Seite 355 dargelegten Formel

$$x = t \cdot \frac{b}{b_1} \text{ mit } x \cdot \frac{t \cdot b}{69}$$

vorgenommen.

II. Spezieller Teil:

Mein Vorgehen bei der Auswertung.

Die Richtigkeitskontrolle der Justierung des Geräts.

Damit dürften nun die für die Raumrichtigkeit zu beachtenden Kautelen einigermaßen dargelegt sein, denen ich Rechnung tragen mußte. Ehe ich aber zu meinem speziellen Vorgehen weiterschreite, halte ich es für nützlich, noch auf einige technische Kunstgriffe zu sprechen zu kommen, die ich außerdem der Arbeitsweise und den Ratschlägen H a ß e l w a n d e r s folgend beachtet habe. Sie zu besprechen dürfte hier berechtigt sein, weil daraus hervorgeht, daß man sich zuweilen die Kontrolle der richtigen Justierung des Gerätes sichern soll und dies in nicht zu komplizierter Weise auch erreichen kann.

Zunächst einmal habe ich mir die Frage gestellt, ob das Instrument, das bei meiner Ingebrauchnahme längere Zeit nicht zu Präzisionsmessungen verwendet worden war und außerdem einen Transport durchgemacht hatte, in seiner Justierung ganz verlässlich sei.

Zu diesem Zweck habe ich gegenüber meinen Augen und in gleicher Horizontalebene mit der optischen Achse an der Wand ein Stück Papier angebracht, auf dem horizontal nebeneinander im Abstand meiner individuellen Pupillendistanz (69 mm) Strickkreuze aufgetragen waren und diese gut beleuchtet, so daß sie durch die transparenten Spiegel hindurch deutlich gesehen werden konnten. Um ganz von unkontrollierbaren Kopfbewegungen unabhängig zu sein, habe ich im Abstand von 69 mm zwei stenopäische Lücken (Nadelstichlöcher) in einem Karton vor den Blicköffnungen des Apparats angebracht. Nun wurde nach der auf S. 9 beschriebenen Weise

die Deckung der Visierkreise mit den Achselstrahlfußpunktmarken durch die Spiegelverschiebung vorgenommen, also „zentriert“. Standen die Spiegel richtig, d. h. senkrecht auf der Unterlage 45° zur optischen Achse und 90° zueinander, so mußten auch die Strichkreuze zentriert mit den Achsenstrahlfußpunkten und Visierkreisen zusammenfallen. War dies nicht der Fall, so mußte die Spiegelstellung eine Korrektur erfahren, was durch Umdrehungen von Stellschräubchen an den Haltevorrichtungen geschehen kann.

Ein Fehler, der sich hierbei zeigte, bestand nur in einer kleinen Höhendifferenz in der Projektion der beiden Achsenstrahlfußpunkte auf jene Kontrollstrichkreuze, eine sog. Höhenparallaxe. Sie konnte durch eine kleine Neigungsänderung eines Spiegels beseitigt werden. In dem Ergebnis hätte sie wohl keine Meßfehler, wohl aber Unbequemlichkeiten und eine gewisse Unsicherheit bei dem weiterhin zu beschreibenden „uniokularen Anvisieren“ mit sich gebracht.

Nach dieser kleinen Maßnahme bestand also volle Sicherheit, daß die Achsenstrahlen reflektiert in ihrer Verlängerung nach dem virtuellen Spiegelbilde zu parallel in 69 mm Abstand voneinander in den Bildraum verlaufen.

Die Arbeitsweise bei der Auswertung. Subjektiver Raumeindruck, das objektive Raumbild. Uniokulare Kontrolle des Raumbildes.

In dem so auf seine Richtigkeit geprüften Apparat wurde nun ein Bildpaar eines Schädels so eingestellt, daß das bei rechter Röhrenstellung gewonnene „rechte“ Bild spiegelbildlich an der Milchglasscheibe des rechten Filmrahmens angebracht wurde, der Achsenstrahlfußpunkt-Schatten vor der entsprechenden Zentrierungsmarke.

Nach einer solchen Aufstellung schwebt dann ein glasartig durchsichtiges und durchdringbares, virtuelles, äußerst plastisch wirkendes Raumbild des Schädels vor dem Betrachter. Man hat das Gefühl, in die Schädelhöhle hineingreifen zu können, und ist erstaunt über die Klarheit und Übersichtlichkeit eines guten Stereobildes, das den Eindruck, das aufgenommene Objekt selbst vor Augen zu haben, illusioniert.

Man wird nun zunächst wohl eine subjektive Abschätzung von Größe, Form und Lage der Einzelheiten des Bildes vornehmen. Daß der Beobachter sich aber zuweilen Täuschungen hingibt, ist bei dieser subjektiven Betrachtung noch keineswegs auszuschließen. Denn es ereignet sich, besonders bei Anfängern häufig, daß der Untersucher vermeint, mit beiden Augen, also stereoskopisch zu sehen, während er sich in Wirklichkeit nur von einem Auge leiten läßt, das andere Bild unbewußt unterdrückt und nicht beachtet. Dann tritt der Fall ein, daß das von einem Auge aus mit dem Bildpunkt zur Deckung gebrachte Instrument, z. B. der später noch zu beschreibende Kontroll-Lichtpunkt, zwar auf dem zugehörigen Sehstrahl liegt, nicht aber am Schnittpunkt beider Sehstrahlen. Seine Tiefenlage ist damit nicht bestimmt, der Betrachter lokalisiert ihn in zu großer oder zu kleiner Entfernung.

Hier muß auf einen Umstand näher eingegangen werden, der geeignet ist, das Ergebnis einer Auswirkung des stereoskopischen Röntgenraumbildes zu beeinträchtigen, ja in Frage zu stellen, und es mag nützlich erscheinen, zu zeigen, wie die Fehler, die daraus entstehen können, mit Sicherheit zu vermeiden sind.

Dies ist die Tatsache, daß die Beurteilung und Erkenntnis von Tiefenunterschieden auf Grund des subjektiven Raumeindrucks aus Röntgenbildern keineswegs bei allen Menschen so sicher ist, wie man, zwei sehtüchtige Augen vorausgesetzt, annehmen möchte. Es kommt durchaus nicht selten vor, daß Menschen, die der festen Überzeugung sind, gut räumlich zu sehen, und dies im allgemeinen auch tun, vor dem Röntgenraumbild recht erheblichen Täuschungen unterliegen. Wie wir dabei von subjektiven Faktoren: Bewußtsein, Erinnerung und Erfahrung abhängig sind, ist schon mehrfach erörtert worden, so z. B. in neuerer Zeit wieder eingehend durch Teschen-dorf und Köhnle in den ausgezeichneten Ausführungen in: „Das Röntgenraumbild“.

Die Gründe für diesen auffallenden Unterschied unserer Tiefenerfassung bei Untersuchung von Gegenständen unserer Umwelt und bei Untersuchung des räumlichen Röntgenbildes liegen zweifellos in der Verschiedenheit dieser beiden Raumwelten. Es fehlt der Schatten im Röntgenraumbild, das Näher-

liegende verdeckt nicht das Ferne, der entfernt liegende Hintergrund ist schärfer abgebildet als die plattennahen Teile, alles Dinge, die geeignet sind, an unseren Erinnerungsbildern gemessen, falsche Vorstellungen zu unterstützen oder herbeizuführen, Dinge, die sonst bei der Betrachtung und Darstellung unserer Umwelt das Erkennen der Räumlichkeit wirkungsvoll unterstützen. Diese Faktoren, welche dazu beitragen, die Räumlichkeit unserer Umwelt zu erkennen und darzustellen, sind schon frühzeitig beachtet worden, und kein geringerer als Leonardo da Vinci ist es, der in seinem Buch über die Malerei diese Punkte bereits, fast erschöpfend, behandelt hat.

In Helmholtz' klassischem Werk der physiologischen Optik, nach ihm von v. Kries noch vertieft und erweitert, sind die hier einschlägigen Fragen mit aller nur wünschenswerten wissenschaftlichen Exaktheit behandelt. Ich kann hier nur auf diese Darstellung verweisen, die immer grundlegend für die Physiologie des Raumsehens bleiben wird. Zweierlei Hilfsmittel zur Wahrnehmung der Tiefendimensionen führt Helmholtz an: 1. die Erfahrung, nach einer früheren Vorstellung gewonnen, und 2. die Empfindung, die eine wirkliche Wahrnehmung des Abstandes gestattet. Er weist dann hin auf den Gebrauch der Akkommodation, auf Bewegungen mit dem Kopf bei der Betrachtung und schließlich mit besonderem Nachdruck auf den Gebrauch beider Augen, das Fundament der Stereoskopie.

Bezüglich des Raumsehens am Röntgenbild haben die Faktoren allerdings bei einigen Autoren zu einer gewissen Resignation gegenüber der Objektivität des räumlichen Röntgenbildes geführt, so z. B. bei W. Barth, der geneigt ist, auf die objektive Raummessung überhaupt zu verzichten zugunsten einer möglichen Steigerung des subjektiven Raumeindruckes, und sich nur auf subjektive Schätzung zu verlassen. Haßelwander hat schon frühzeitig bei seinen Arbeiten, besonders veranlaßt durch die praktische Anwendung bei den Aufgaben der Geschoßlokalisation ein Hilfsverfahren angegeben, welches beim Arbeiten am Röntgenraumbild zu dem oben angeführten Hauptfaktor des Raumsehens noch den der relativen Bewegung, des Wechsels des Standortes hinzufügt, und dies ist eben die Methode „des uniokularen Anvisierens“. Um-

gekehrt hat Trendelenburg, der ja ein erfolgreicher Förderer der messenden Röntgenstereoskopie ist, offenbar auf Grund seiner besonderen Sicherheit des Raumsehens, diese Eigenschaft der menschlichen Augen vielleicht etwas zu hoch bewertet. — Er hält die Methode des einäugigen Anvisierens für überflüssig und arbeitet im Raumbild mit einem Zirkel, der an seinen Enden kleine hochglanzpolierte Metallkugeln trägt, deren Reflexlichtchen ihm als Erkennungsmarken für die Lage der Zirkelspitzen dienen, und verläßt sich ganz auf die Sicherheit der Raumwahrnehmung durch den gleichzeitigen Gebrauch beider Augen.

H. Köhnle hat in seiner Schrift „Objektive Stereoskopie an Röntgenbildern“ Haßelwanders Methode des uniokularen Anvisierens so treffend beschrieben, daß ich seine Darlegungen, da diese Arbeitsweise auch für mein Vorgehen bei plastischen Rekonstruktionen sehr maßgebend war, hier wiedergeben möchte. Die Ausführungen Köhnles beziehen sich auf die Anwendung der von Haßelwander so vielfach benutzten Lichtpunktmarke. Bei dieser handelt es sich um ein kleines Lämpchen, das durch einen dreieckigen Schlitz als Marke aus einem die Birne umgebenden Gehäuse leuchtet und auf ein Gestell montiert ist, das in der Horizontalebene fahrbar und vertikal bei verschiedenen hohen Punkten über einer Zentimeterskala einstellbar ist. Köhnle schreibt: „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 $P_r A_r$, wenn die Lichtmarke vor,
2. links, wenn die Lichtmarke räumlich hinter dem Gegenstandspunkt liegt. Wird das linke Auge wieder geschlossen und die Lichtmarke nun unter Kontrolle des rechten Auges, so daß sie sich auf dem Projektionsstrahl $A_r P_r$ bewegt, etwa 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 gehörigen Stelle, also in Deckung mit dem aufgesuchten Bildpunkt, sehen.

Zu dem Haßelwanderschen Vorschlag hat sich Trendelenburg ablehnend geäußert.

Aus dem bereits Vorangeschickten dürfte hervorgehen, wie Haßelwander dieses uniokulare Anvisieren verstanden wissen will. Selbstverständlich soll diese Arbeitsweise nicht etwa einen Verzicht auf die prachtvolle plastische Wirkung des Röntgenraumbildes bedeuten. Es steht als der erste und überragende Faktor bei der ganzen Methode voran. Sich aber nur auf diese Wirkung zu verlassen, reicht nicht aus. Zu vielfach sind die Erfahrungen, die wir in dieser Hinsicht sammeln konnten, als daß wir auf dieses ausgezeichnete und einzige Mittel einer fortwährenden Kontrolle und Korrektur der Richtigkeit unserer subjektiven Beobachtung verzichten könnten. Mancher Ungeübte macht bei der Anleitung zu dieser Arbeitsweise geltend, daß ihm nicht möglich sei, eines der beiden Augen zu schließen. Dies ist natürlich nur eine Ungeschicklichkeit, die selbstverständlich nach einiger Übung leicht behoben werden kann¹⁾.

1) Haßelwander hat an einzelnen seiner früheren Apparate für solche Fälle eine Art von Blinkvorrichtung angebracht, bei der abwechselnd der Durchblick an einem der beiden Spiegel abgeblendet werden kann, hat diese den Apparat komplizierende Vorrichtung aber später wieder fallen gelassen und zwar, wie er sagt, in der Annahme, daß man von jemand, der sich einer wissenschaftlichen Methode bedient, füglich verlangen kann, daß er sich gewisse kleine körperliche Geschicklichkeiten dafür erwirbt.

Meine besondere Aufgabe.

Wenn ich mich nun meiner speziellen Aufgabe, der Prüfung der Verwendbarkeit des Röntgenraumbildes für anthropologische Schädeluntersuchungen, zuwende, glaube ich zunächst an einigen Beispielen die Vielseitigkeit der Auswertungen zeigen zu sollen. Solche Kontrollen sind von mir teils an einem bereits vor längerer Zeit gewonnenen Bildpaar von einem männlichen Schädel angestellt worden, der mit dem Abstand des Röhrenbrennflecks $f = 550$ mm und der Röhrenverschiebung $b = 65$ mm aufgenommen und aus derselben Bildweite aber $b = 69$ mm betrachtet wurde. Teils möchte ich auch am Beispiel eines Würfelmodells, wie schon Bechert 1923 und Köhnle 1930 getan haben, einige Kontrollen anfügen.

Ich halte es für nötig, an erster Stelle immer wieder auf die subjektiv so wirkungsvolle Plastik solcher Raumbilder, wie schon auf Seite 360 geschehen, aufmerksam zu machen; denn sie allein schon liefert dem guten Beobachter so vielfach das Wesentlichste der Charakteristik. Sie ist es, was in allen Fällen der stereoskopischen Röntgenmethode den Vorzug vor Ermittlungen aus dem Einzelbild verschafft, die uns, seien sie auch oft sehr sinnreich erdacht, doch niemals die unmittelbare Raumwahrnehmung bieten können.

An zweiter Stelle nenne ich die Verwendung der Lichtpunktmarke, die auf einem fahrbaren Gestell im Bildraum herumbewegt, auch in der Höhe verstellt, aber auch an jedem aufgesuchten Raumpunkt arretiert werden kann, zur Herstellung von Horizontalschnittzeichnungen bzw. Vertikalprojektionen der einzelnen Raumbildpunkte. Da vertikal unter dem Lichtpunkt ein Zeichenstift angebracht ist, vermag der Untersucher auf einem darunter befestigten Zeichenspapier die Vertikalprojektion jeder einzelnen Stellung der Lichtmarke festzuhalten.

Auf diese Weise suchte ich an dem genannten Schädelbild in einer im Raumbild horizontalen Umfangsebene mit dem Lichtpunkt alle irgendwie faßbaren Punkte auf und projizierte sie auf die Zeichenebene. Es soll nicht verhehlt werden, daß die Zahl der wirklich sicher faßbaren Punkte an den gebogenen

Knochenplatten des Stirn-, Scheitel-, Schuppen- und Hinterhauptbeines keineswegs reichlich ist. Besonders die glatte äußere Oberfläche bietet dafür nicht viel. Es wäre aber doch vollkommen verfehlt, wenn man sich daraus zu einer Resignation über die Möglichkeit der Gewinnung einer Umfangerszeichnung verleiten ließe. Die Nähte, kleine Unregelmäßigkeiten der Oberfläche, die auf konturgebenden Stellen deutlich meßbare Dicke der Knochenplatte, daraus die Beziehungen auf das durch Sulci meningei, Impressiones digitatae und Juga cerebrialia markierte Innenrelief, auch auf die Venae diploicae und die auf guten Bildern sehr deutliche Diploestruktur geben zusammen einen starken räumlichen Eindruck, an dem dann da und dort ein Punkt auch der uniokularen Kontrolle standhalten kann.

Das Umfangaß der Querschnittszeichnung betrug für eine Hälfte 246,9 mm, auf das wahre Maß reduziert 232,6 mm.

Eine fünfmalige Umfangsmessung am Schädel selbst, mit Faden und Stahlband, ergab als Mittel 233,0 mm. Der Meßfehler betrug also 0,4 mm. Wir dürfen ihn als bedeutungslos ignorieren.

Ich lasse nun einige Streckenmessungen folgen, die ähnlich, wie dies Trendelenburg angibt, mit Zirkel und Schiebelehre unmittelbar im Raumbild aufgeführt wurden.

Ich vergleiche hier die am Objekt gewonnenen und aus dem Raumbild ermittelten und aus der Modellwirkung auf die wahre Größe reduzierten Werte einige Strecken.

| O b j e k t. | R a u m b i l d. |
|--|------------------|
| Glabella-Inion 17,20 cm | 17,50 cm |
| Gerade Länge des Schädels 16,96 cm | 17,00 „ |
| Ohrhöhe 11,23 cm | 11,20 „ |
| Quer über Bregma 13,56 cm | 13,50 „ |
| Basion-Nasion 10,0 cm | 10,05 „ |
| Orbitalänge 3,85 cm | 3,84 „ |
| Orbitahöhe 3,39 cm | 3,30 „ |
| Breite des Foramen occipitale magnum 3,07 cm | 3,0 „ |

Der entstandene Durchschnittsfehler beträgt 0,5 mm und deckt sich damit mit dem von F. Bechert ermittelten, in: „Über den Grad der Genauigkeit von Messungen am stereoskopischen Röntgenbild nach der Methode Habelwanders. Anat. Anz. Bd. 56, 1923“.

Winkelmessung.

Eine weitere Streckenmessung, nämlich die Bestimmung der Kantenlänge eines Würfels und deren Vertikalprojektion, soll uns nun zugleich Aufschluß geben, ob uns das Röntgenraumbild auch ein winkelrichtiges Abbild des aufgenommenen Objektes liefert.

Die Kantenlänge eines Bleidrahtwürfels wurde mit 98 mm ermittelt. Deren Messung am Raumbild ergab 104,10 mm in der Modellwirkung. Diese reduziert, ergab die Kantenlänge des Würfels mit 98,1 mm.

Die vier Kantenlängen des Würfels auf ein Blatt Papier mittels Lichtpunktmarke projiziert, ließen ein einwandfreies Quadrat entstehen, so daß endlich auch winkelgetreues Arbeiten vorausgesetzt werden darf.

Schrägschnitte.

Um die vielseitige Auswertungsmöglichkeit des Raumbildes noch weiterhin zu beleuchten, stellte ich Schrägschnitte her, indem ich ein Blatt Papier eine diagonale Ebene des Raumbildes durchschneiden ließ, die verschiedenen Punkte mit dem Lichtpunkt aufsuchte und sie markierte. Diese Methode ist zu besonderer Vollendung in einer Untersuchung von J. Staudenraus aus dem Anatomischen Institut zu Erlangen über die Entwicklung des Gesichtsschädels im Kindesalter ausgebaut worden (im Druck). Es interessiert aus dieser Abhandlung für unseren Gegenstand besonders, daß Staudenraus nach Tausenden von Messungen dazu kam, mit einem Meßfehler von ± 1 mm zu rechnen, gleichgültig, ob es sich um große oder kleine Maße handelt. Diese Feststellung ist deshalb von besonderem Wert, weil sie zeigt, daß es nicht die Kon-

struktions der Apparatur, sondern ganz überwiegend die Grenze des subjektiven Unterscheidungsvermögens ist, was die Fehler bedingt. Durch optische Vorrichtungen könnte er reduziert werden. Auch hier gelangte ich zu sehr brauchbaren Ergebnissen, die nun noch weiterhin erhärtet werden sollen durch die Kapazitätsbestimmung des Schädels, die in einer Nachformung des Raumbildes in Ton, die Tonpause, bestehen soll.

Tonpause.

Diese Rekonstruktionsform war meine wichtigste Aufgabe; denn es galt zu ermitteln, ob die Fehler, welche bei linearen Feststellungen, wie wir gesehen haben, keine ausschlaggebende Rolle spielen, auch in das Dreidimensionale übertragen, bei Volumsbestimmungen so unregelmäßiger Körper, wie es der Schädel ist, nicht doch Ausmaße annehmen können, welche die Anwendbarkeit der Methode in Frage stellen.

Dies ist zwar bereits einmal in einer Dissertation von *Ledermann* geprüft worden. Jedoch diese Untersuchung — sie ist nicht unter der verantwortlichen Leitung *Haßelwanders* hergestellt worden — läßt nähere Angaben über die eingeschlagene Methode vermissen und kommt überdies zu einer solch absoluten Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Volumsmessung am Objekt (mittels der anthropologischen Methode der Hirsefüllung) und der plastischen Nachformung des Raumbildes an einem einzigen Objekt, das gerade deswegen dieses Resultat der eigentlichen Beweiskraft entbehrt. Ich habe auf Seite 358 schon ausgeführt, daß und warum eine volle Übereinstimmung zwischen diesen beiden Messungen nicht bestehen kann und auch gar nicht zu fordern ist. Es kann sich bei der von *Ledermann* festgestellten Übereinstimmung zwischen Maß am Objekt und Maß am Raumbild, das von dem Autor *optima fide* als Beleg für die von ihm behauptete absolute Tautomorphie verzeichnet wird, nur um ein Zufallsergebnis scheinbarer absoluter Kongruenz der beiden Messungen handeln, denn in Wirklichkeit ist darin eine Differenz von mindestens

30 ccm enthalten. Mehr kann darüber mangels jeder genaueren Angabe über die eingehaltene Methode nicht gesagt werden.

Fall 1. Der Umstand, daß nur durch eine kritische Darlegung der bei jeder derartigen Prüfung einer Methode anfänglich unvermeidbaren Fehler eine wirkliche Klarheit und damit eine Förderung zu erreichen ist, veranlaßt mich, die Schilderung der drei von mir gewählten Beispiele mit den Fällen zu beginnen, die anfänglich nicht vollkommen befriedigende Resultate lieferten, aber dadurch den Anstoß zu den Bemühungen gaben, die schließlich zur Aufdeckung einer Fehlerquelle führten.

Ich verwendete ein stereoskopisches Bildpaar von einem Kinderschädel, das mit transversalem Strahlengang

aus Fokusabstand $f = 550$ mm
und mit Röhrenverschiebung $b = 65$ mm

gewonnen war. Zugleich mit ihm war als Testkörper auch eine kleine dreiseitige Pyramide von bekannten Maßen aufgenommen. Dieser Testkörper wurde im Raumbild richtig, d. h. als Modellbild vom Maßstab 69 : 65 abgebildet, es konnte also angenommen werden, daß auch die unbekanntenen Größen richtig abgebildet wurden.

Die Mediansagittalebene war bei der Aufnahme parallel der Auflagefläche des Schädels eingestellt gewesen; das Raumbild desselben schwebte also in der reinen Profilsicht vor dem Beobachter, die Projektion der Mediansagittalebene, markiert durch kleine Bleistückchen an Nasion, Inion und Basion, ergab mittels des Lichtpunktgestelles auf eine untergelegte Zeichenfläche eine Linie, die der Vertikalprojektion der beiden Achsenstrahlfußpunkte parallel war¹⁾.

1) Es sei nebenbei bemerkt, daß auch die Verbindungslinie der beiden Achsenstrahlfußpunkte ein Testobjekt darstellt; sie muß in dem Verhältnis Betrachtungsbasis, mit ander. Worten Pupillendist. d. Beobachters

Aufnahmebasis d. h. Röhrenverschiebung

dem Betrachter näher oder ferner stehen, als bei der Aufnahme dem Röhrenfokus, auch nach der gleichen Proportion vergrößert oder verkleinert erscheinen. Auch diese Kontrolle ergab das zu erwartende Maß 69 mm.

Zwischen den beiden Ebenen der mediansagittalen und der durch die Achsenstrahlfußpunkte markierten Auflagefläche mußte nun also der zum Nachmodellieren bestimmte Tonklotz aufgestellt werden. Damit war bewirkt, daß das Raumbild im Tonklotz zu schweben schien. Nun nahm ich mit dem Modellierholz und der Modellerschlinge den Ton auf der mir zugewandten Seite weg, arbeitete mich immer tiefer in die Schädelhöhle hinein, indem ich stets nach faßbaren Punkten, wie Nähten, Sulci meningei, Impressiones Digitatae u. a., suchte und diese unter häufiger uniokularer Kontrolle in ihrer Lage im Tonmodell bestimmte und nachformte. So wurde die Hohlform der mir abgewandten Hälfte des Schädels modelliert. Zur Festlegung der den Schädel in sagittaler Richtung durchschneidenden Medianebene hielt ich mich bei diesem Versuch an den Sulcus sagittalis, an die Crista occipitalis interna, die Crista frontalis, Crista galli und die Mitte des Tuberculum sellae turcicae, unter stetiger uniokularer Kontrolle. Da der Schädel keinerlei auffällige Assymetrie feststellen ließ, begnügte ich mich mit der Anfertigung dieses Hohlmodells der einen Schädelhälfte.

Der Gipsausguß der im Raumbild modellierten Hohlform bis zur Medianebene, mit allen seinen Besonderheiten der Form, wie Impressiones digitatae, Nähten, Gefäßfurchen, zeigte ein Volumen von 743 ccm. Für den ganzen Schädel ergab dies ein Volumen von 1486,0 ccm.

Diese Zahl, um den Betrag der Gipsausdehnung gemindert, ergibt ein Volumen von 1471,1 ccm.

Nach der Proportion $\frac{65^3}{69^3}$ reduziert, erschien das wahre Maß mit 1228,9 ccm.

Die Hirsemessung erwies als Volumen des Skelettschädels 1190,0 ccm.

Hiermit bestand für den Abguß der Hohlform eine Differenz von + 38,9 ccm.

Es fiel auf, daß das Maß des Schädelvolumens nicht, wie nach den Darlegungen auf S. 358 zu erwarten, in dem Abguß der modellierten Hohlform kleiner, sondern größer ausfiel, als die Hirsemessung des Schädels selber anzeigte, und es war hier zu erwägen, ob etwa ein Fehler bei dem Abguß der Hohlform oder aber bei deren Gewinnung im Raumbild die Ursache war. Die Differenz, 3,1% der Gesamtkapazität, schien allerdings noch innerhalb dessen zu liegen, was toleriert werden durfte.

Eine andere Kontrolle des Rauminhalts der Hohlform habe ich damals nicht gemacht.

Eine zweite Rekonstruktion wurde an einem Bildpaar von einem Kinderschädel der anatomischen Sammlung vorgenommen, das nicht mit transversalem, sondern mit sagittalem Strahlengang in occipito frontaler Richtung, und zwar wieder unter derselben Anordnung von Röhre und Film wie bei dem vorhergehenden Fall gewonnen worden war.

Bei der Nachformung dieses Schädels mußte ich in anderer Weise als bei den eben beschriebenen Fällen vorgehen. Ich beschloß, den im Raumbild von der Innenseite her gesehenen Teil des Schädelraumes als Hohlmodell, den mir näherliegenden also von außen betrachteten Teil, die Hinterhauptgegend, als Vollplastik nachzuformen. Besondere Sorgfalt mußte dabei der scharfen Abgrenzung dieser beiden Teile gewidmet werden, damit weder ein Übergreifen eines Modells über das Nachbargebiet, noch eine Lücke zwischen den beiden entstehen konnte. Dies wurde dadurch zu erreichen versucht, daß ich durch drei gut faßbare Punkte des Raumbildes die Abgrenzungsebene hindurchlegte und, um sie ein für allemal zu sichern, die diesen Raumpunkten zugehörigen identischen Punkte auf den beiden Halbbildern besonders markierte. So wurde anschließend an den Hohlkörper der vorderen Schädelhälfte der occipitale Teil modelliert, was dadurch leicht möglich war, daß die Dicke des Schädeldaches durch eine hinreichend große Zahl von erkennbaren Einzelheiten gut faßbar war.

| | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Das gefundene Volummaß der | Rekonstruktion zeigt |
| 1. für den Hohlkörper | 720 ccm |
| 2. für den Massivkörper | 630 ccm |
| | <hr/> |
| Insgesamt | 1350 ccm |
| Darin war abzuziehen 1% dieses | |
| Volumen für die Ausdehnung | |
| des Gipses: | 13,5 ccm |
| | <hr/> |
| Dies ergab: | 1336,5 ccm als Modell. |
| Nach dessen Reduktion im Ver- | |
| hältnis $\frac{65^3}{69^3}$ | : |
| | <hr/> |
| | 1117,3 ccm als wahre Größe. |
| Die Hirsefüllung des Skelettschädels | |
| erwies als Schädelraum: | 1080 ccm |
| | <hr/> |
| Die Differenz betrug danach | + 37,3 ccm. |

Also auch hier war die Nachbildung des Röntgenstereogramms um einen wenn auch mäßigen Betrag größer als der Hohlraum des Skelettpräparats.

Auch hier hielt sich der Fehlerbetrag 3,4% des Volumens noch in mäßigen Grenzen. Allein diese doppelte Beobachtung gleichen Sinnes drängte dazu, doch noch nach Fehlermöglichkeiten bei dem Vorgang der Messung der gewonnenen Hohlformen Umschau zu halten. Daher bin ich bei der Messung der folgenden Rekonstruktion auf andere Weise vorgegangen, die, wie mir scheint, einen Fingerzeig für die Beurteilung der beiden vorangehenden lieferte.

Ein männlicher Europäerschädel, mit 550 mm Abstand des Röhrenfokus vom Film und mit 65 mm Röhrenverschiebung aufgenommen, war der Gegenstand der Nachbildung.

Die Medianebene war hier wieder parallel der Aufliegefläche, die Darstellung also eine Profilansicht. Die Messung des Abstandes der Achsenstrahlfußpunkt-Schatten erwies die Richtigkeit der eingestellten Modellwirkung. Die Nachformung wurde in Ton mit aller Sorgfalt vorgenommen.

Bei der Messung des Volumens dieser „plastischen Pause“, die nun in Modellwirkung, d. i. also hier vergrößert, den Hohlraum einer Hirnschädelhälfte darstellt, bin ich nun so vor-

gegangen, daß ich diese Hohlform, mit der Medianebene horizontal gestellt, mit Wasser füllte und dann durch eine am Boden der Schale eingestoßene kleine Öffnung die Flüssigkeit in ein Meßgefäß ablaufen ließ. Durch einen dünnen Schellacküberzug war gesorgt, daß nichts von der Masse des Modellierens mit ausgeschwemmt wurde.

| | |
|--|-----------|
| Die Messung ergab ein Volumen von | 820 ccm, |
| also für den Schädelraum unter Annahme von | |
| Symmetrie beider Hälften | 1640 ccm. |

Das Modellmaß mußte dann nach der Proportion

$\frac{65^3}{69^3}$ auf das wahre Maß reduziert werden. Dieses

| | |
|--------|-----------|
| betrug | 1371 ccm. |
|--------|-----------|

| | |
|--|-----------|
| Die Hirsefüllung des Skelettschädels ergab | 1380 ccm, |
| somit für das Modell eine Differenz von | — 9 ccm. |

Dies war nun ein Ergebnis, welches den auf Seite 358 ausgeführten Erwartungen wesentlich besser entsprach. Die Hohlform hatte eine um 0,65% kleinere Kapazität als der Schädel.

Von dieser Hohlform habe ich außerdem aber auch einen Gipsabguß gewonnen, um den Vergleich mit den beiden anderen Messungen zu ermöglichen, und auch diesen in gleicher Weise einer Messung unterzogen. Diese Messung war nun für die Beurteilung der beiden anderen Modelle sehr aufschlußreich. Denn obwohl es sich um den gleichen Hohlkörper handelte, war das Maß, nach dem Gipsausguß gewonnen, wiederum größer als der Betrag der Hirsemessung, während doch die Wasserfüllung eine geringere Zahl ergeben hatte. Hier blieb also nur der Schluß, daß die Zwischenform des Gipsausgusses einen Fehler hereingebracht haben mußte.

Daß Gips beim „Abbinden“ eine Dehnung von etwa 1% erfährt, mag immerhin in Rechnung zu stellen sein. Dieser Betrag hält sich aber unter der Größe des Fehlers der beiden Messungen. Ich wurde vielmehr bei dieser letzten Feststellung darauf aufmerksam, daß die Füllung der Hohlform mit der Gipsmasse Anlaß zu folgendem Fehler bot: Die Hohlform stellte, wie beschrieben, eine Schädelhälfte dar, mußte also bei

dem Einfüllen des Gipses so gelagert werden, daß der horizontal gestellte Rand dieser Schale der Medianebene entsprach. Bei dem Einfüllen der dickflüssigen Gipsmasse ist es bei aller Vorsicht schwer, zu kontrollieren, ob nicht diese Masse meniskusartig etwas über das Niveau der Medianebene vorragt, und schon kleine Differenzen wirken sich dabei in nicht unbeträchtlichen Zahlen aus. So würde z. B. schon ein Vorragen von nur 2 mm über die Medianebene des Schädels (diese als einen Kreis von schätzungsweise 9 cm Radius angenommen) einen Betrag von 25 ccm für die Schädelhälfte, also 50 ccm für den ganzen Schädel ergeben.

Ich glaube also daraus den Schluß ziehen zu dürfen, daß die Differenzen in den Resultaten der beiden ersten Nachbildungen weniger in der „plastischen Pause“ als in der Art der Messung durch die Gipsabgüsse zu suchen sind.

Überblicken wir nun noch das Ergebnis dieser drei Nachformungen des Schädelraumes durch plastische Modelle, so handelt es sich bei dieser Beurteilung vornehmlich um die Frage, ob die Untersuchung des Schädels mittels des Röntgenraumbildes die Gewähr bietet, hinreichend genaue Ermittlungen zu gewinnen und Vergleichen mit dem reichen Material an kranio-metrischen Beobachtungen vorzunehmen, das die Anthropologie bis heute gesammelt hat. Können wir diese Frage bejahen, dann erschließt uns die Methode ein bisher unerreichtes Material, nämlich den lebenden Menschen zu derselben Untersuchung, die bisher nur an Schädelpräparaten möglich war; wir sind dann nicht mehr angewiesen, lediglich aus den am Lebenden möglichen Außenmaßen Schlüsse auf die Konfiguration ziehen zu müssen, sondern können, in effigie, alle Einzelheiten der Schädel selbst beobachten.

Es ist schon mehrfach in diesen Ausführungen dargelegt worden, daß die Einzelheiten der Schädelbasis einer Nachformung plastischer Art Schwierigkeiten bereiten, die zwar wohl nicht unüberwindlich wären, aber doch wegen ihrer Minutiosität einer allgemeineren Verwendung im Wege ständen. Daher habe ich auch selbst davon Abstand genommen und nach eigens

dafür unternommenen Feststellungen einen Betrag von etwa 30 ccm für die Öffnungen und schwer zugänglichen Buchten der Schädelbasis, also etwa 2% des Volumens der Schädelhöhle in Rechnung gestellt, um die eine plastische Nachformung kleiner als das Objekt ausfallen wird.

Die Nachformung des Europäerschädels, durch Wasserfüllung gemessen, ergab ein durchaus befriedigendes Maß. Sie war, wie zu erwarten, kleiner als das Original, allerdings nur um 0,6% statt der zu erwartenden 2%. Ich glaube aber annehmen zu dürfen, daß diese Differenz durchaus in den Rahmen dessen fällt, was ignoriert werden darf.

Auch die beiden anderen Rekonstruktionen scheinen mir noch innerhalb der Grenze des Brauchbaren zu liegen, wenn wir als Meßmittel nicht den indirekten Weg der Abformung mit Gipsmasse, sondern die Wassermessung wählen.

Wir haben damit die Möglichkeit, nicht nur in viel verlässigerer Weise als dies durch eine Rechnung mit schätzungsweise angenommenen Größen und Modellen, wie sie schon seit Welcker zahlreiche Autoren, wie Lee-Pearson, Beddue und in letzter Zeit auch Mollison, dieser Autor an Röntgenbildern, anwendeten, die Schädelkapazität an lebenden Menschen zu ermitteln, sondern zugleich damit Dauerdokumente zu gewinnen, welche jederzeit, und sei es nach Bedarf vielleicht erst lange Zeit nach der Aufnahme, alle Ermittlungen gestatten, die sich als wünschenswert erweisen.

Literaturverzeichnis.

1. F. Bechert: Über den Grad der Genauigkeit von Messungen am stereoskopischen Röntgenbild nach der Methode Haßelwander. Anat. Anz. Bd. 56, 1923, S. 305—338.
2. A. Haßelwander: Die Bedeutung röntgenographischer und röntgenoskopischer Methoden für die Fremdkörperlokalisation. Münch. med. Wochenschrift, 1917, Nr. 21/22.
3. A. Haßelwander: Über die Methodik des Röntgenverfahrens in der Anatomie. Verhandlungen der Anatom. Gesellschaft, 21. bis 24. April 1912.

4. A. H a ß e l w a n d e r: Die Bedeutung des Röntgenbildes für die Anatomie. Ergebnisse der Anat. u. Entw. 23. Bd. 1921.
 5. A. H a ß e l w a n d e r: Gefahren für die weitere Entwicklung der Röntgenstereoskopie. Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstr., Bd. XL, 1929, Heft 2.
 6. H e l m h o l t z: Die physiologische Optik, bearbeitet von v. Kries.
 7. H. K ö h n l e: Objektive Stereoskopie an Röntgenbildern. Erlangen 1930.
 8. T h. M o l l i s o n: Über die Kopfform des Mikrocephalen Messek. Zeitschr. f. Morph. u. Anthr., Bd. 25, 1925, S. 109.
 9. A. P r a t j e: Die Anwendung stereoskopischer Methoden in der Anthropologie. Zeitschrift für Anat. u. Entw.-Gesch., Bd. 89, 1929, Heft 4.
 10. T a n d l e r: Verhandlungen d. Anatom. Gesellschaft. Diskussion zu A. H a ß e l w a n d e r, 21.—24. April 1912.
 11. W. T e s c h e n d o r f u. H. K ö h n l e: Das Röntgenraumbild. Urban & Schwarzenberg, Berlin u. Wien 1933.
 12. W. T r e n d e l e n b u r g: Stereoskopische Raummessung an Röntgenbildern.
-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen](#)

Jahr/Year: 1935-1936

Band/Volume: [67-68](#)

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

Artikel/Article: [Über den Grad der Genauigkeit von anthropologischen Messungen, besonders des Schädelvolumens an stereoskopischen Röntgenbildern.](#)

[345-376](#)