

Aus dem Strahleninstitut des Allgem. Städt. Krankenhauses Nürnberg
(Vorstand: Obermedizinalrat Dr. G. HAMMER).

Zur Planimetrie des Schädels und des Encephalogramms.

Von

H. BÜCHNER und H. WIELAND.

Mit 3 Textabbildungen.

(Eingegangen am 7. Juli 1953.)

In einer neueren Arbeit über die Planimetrie des Encephalogramms werden von RENNERT die Schwierigkeiten zusammenfassend dargestellt, die einer brauchbaren Methode zur röntgenologischen Größenbeurteilung der Hirnventrikel entgegenstehen. Diese Schwierigkeiten, die durch verschiedene Untersuchungstechnik und wechselnde Röntgenprojektion bedingt sind, bestehen prinzipiell bei allen röntgenologischen Untersuchungen, die auf eine Größenbeurteilung innerer Organe abzielen. Es seien hier nur die Schwierigkeiten bei der Herz- und Beckenmessung erwähnt. So ist es z. B. bei der Beurteilung der Herzgröße schwierig bzw. fehlerhaft, die verschieden und unbekannt verzeichneten Herz- und Thoraxmaße zueinander in unmittelbare Beziehung zu setzen. Für diese und andere röntgenologische Größenbestimmungen konnte durch Anwendung absoluter, unverzeichneter Maße, die mittels Orthodiametrie vom Leuchtschirm oder vom Film direkt abgelesen werden können, eine exakte Größenbeurteilung erreicht werden. Die Schwierigkeiten bei der Encephalographie sind ähnlicher Art. Es liegt daher nahe, die orthodiametrische Untersuchungstechnik auch in diesem Falle anzuwenden.

Die absoluten, d. h. vom jeweiligen Projektionsverhältnis unabhängigen Maße, werden mit folgender Methode gewonnen: Es gilt zunächst auf der seitlichen Aufnahme eine bestimmte Ebene aufzusuchen bzw. festzulegen, in welcher man die Schmetterlingsfigur der Hirnventrikel annehmen und auf der späteren a. p. Aufnahme ausmessen will. Bei der seitlichen Aufnahme mit aufliegendem Hinterhaupt zur Darstellung der Vorderhörner und des Gebietes der Cella media wird die Teststrecke zur Orthodiametrie¹ so neben den Patienten gestellt, daß sich ihr Maßstab in der Medianebene des Kopfes befindet und sich auf dem Film mit abbildet (Abb. 1a). Der Maßstab berührt hierbei mit seinem Endpunkt die Auflagefläche des Kopfes. Auf der so gewonnenen Aufnahme (Abb. 1b) läßt sich an Hand des Maßstabes die Höhe einer Ebene für die Schmetterlingsfigur annähernd festlegen. Diese Figur, die auf der a. p. Aufnahme aus-

¹ Hersteller: Elektromed. Werkst. Frdr. Janus, Landau/Isar.

gemessen werden soll, stellt bekanntlich ein Summationsbild dar. Auf der seitlichen Aufnahme entspricht ihr also kein anatomisches Substrat bzw. keine erkennbare geometrische Bildebene. Man wird sich daher wohl auf eine bestimmte Ebene festlegen müssen. Nimmt man diese Ebene in Höhe

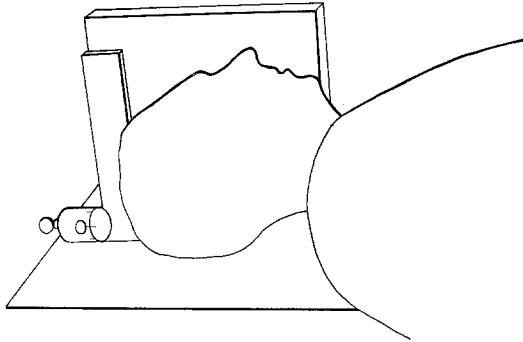


Abb. 1 a. Skizze zur Aufstellung der Teststrecke bei der seitlichen Aufnahme.

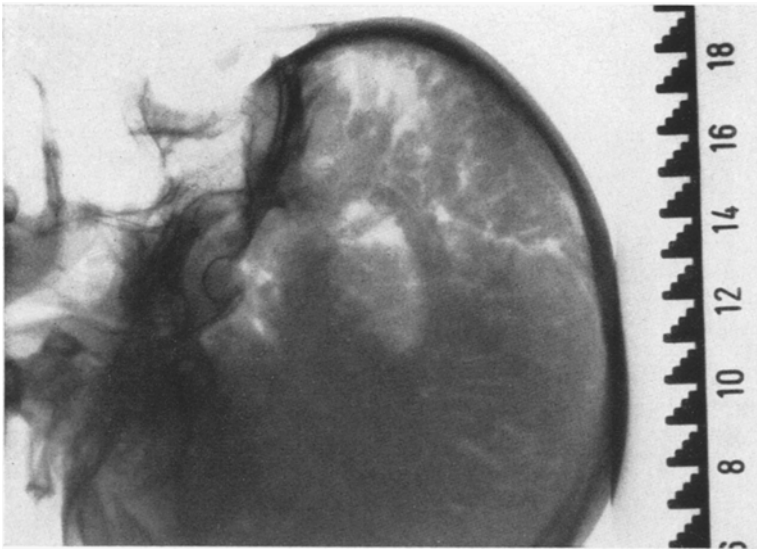


Abb. 1 b. Seitliche Aufnahme mit Teststrecke zum Ablesen der Höhe der Objektebenen.

des Dorsum sellae an, so dürfte man sich im allgemeinen etwa in der Mitte der für die Schmetterlingsfigur verantwortlichen Gebilde befinden. Daß hierbei ± 1 cm in der Höhenfestlegung der Ebene auf das Meßresultat keinen wesentlichen Einfluß haben, läßt sich mathematisch leicht beweisen.

Die Teststrecke sei genau in der „Ebene“ der Hirnventrikel, in 18 cm Abstand vom Film eingestellt. Der FFA sei 100 cm. Das Projektionsverhältnis ist also $100/18$ und der Verzeichnungsfaktor der linearen Verzeichnung ist 1,22, der für die Fläche $1,22^2 = 1,49$. Die Filmfläche der Ventrikel sei $5,0 \text{ cm}^2$. Die absolute Fläche ist dann $3,35 \text{ cm}^2$. Bei einer Hirnfläche von 150 cm^2 ergibt sich daraus ein Quotient von 33,16. Stellt man die Teststrecke nun um 1 cm tiefer ein, als dem tatsächlichen Abstand der Ventrikelebene entspricht, also in 17 cm Abstand vom Film, so gewinnt man mit dem Filmbild des Maßstabes einen Verzeichnungsfaktor von 1,025 linear und 1,45 für die Fläche. Die absolute Ventrikelfläche bekommt man dann mit $3,44 \text{ cm}^2$ etwas zu groß und den Quotienten mit 32,29 um 0,87 zu klein. Die entsprechenden Werte für die um 1 cm zu hohe Einstellung der Teststrecke, also in 19 cm Abstand vom Film, sind: Verzeichnungsfaktor $f = 1,235$; $f^2 = 1,525$; absolute Ventrikelfläche $3,28 \text{ cm}^2$; Quotient 33,87, also um 0,71 zu groß.

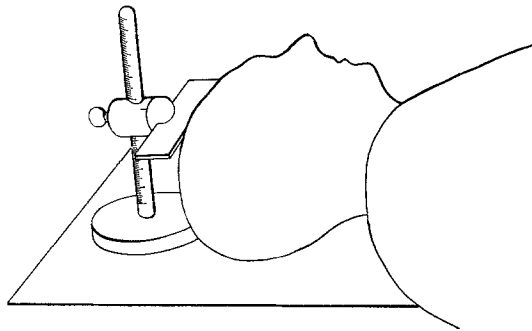


Abb. 2a. Skizze zur Aufstellung der Teststrecke bei der a. p. Aufnahme. Über dem Kopf befindet sich die Teststrecke zur Orthodiametrie. In dem für Röntgenstrahlen durchlässigen Lineal befindet sich ein schattengegebender Maßstab, wie er in Abb. 2b und 3 zur Darstellung kommt. Er ist drehbar und am Stativ in der Höhe verstellbar.

Die Quotienten schwanken also bei fehlerhafter Einstellung der Teststrecke zur Orthodiametrie wesentlich weniger als dies von RENNERT z. B. für die durch die Unsicherheit in der Abgrenzung der Hirnflächen bedingte Schwankung angegeben ist ($\pm 1,8$ bei 100 cm FFA). Obige Fehlerberechnungen, wie auch die tabellarischen Untersuchungen über die Schwankungen der Quotienten wurden auf einfache Art mit dem Rechengerät zur Orthodiametrie angestellt. Mit diesem Gerät ist die Verzeichnung für jedes beliebige Projektionsverhältnis sofort abzulesen und es könnten z. B. auch die Maße eines Aufnahmeabstandes, etwa 75 cm FFA, in die eines anderen, etwa 200 cm FFA oder in die orthodiametrischen Maße umgerechnet werden. Dieses Rechengerät ist in Fortschr. Röntgenstr. 76, 158 (1952) beschrieben.

Auf der Aufnahme (Abb. 1 b) wird der Abstand des Dorsums sellae von der Tischplatte festgestellt (im Beispiel 12 cm). Die angenommene Ebene der Schmetterlingsfigur wäre im Beispiel der Abb. 1 b also in 12 cm Höhe. Auf diese Höhe wird bei der a. p. Aufnahme die Teststrecke eingestellt (Abb. 2a). Die Einstellung der Höhe ist an der graduerten Stativsäule der Teststrecke leicht vorzunehmen. Auf der Aufnahme (Abb. 2b) erscheint dann der Maßstab der Teststrecke im gleichen Maß wie die Schmetterlingsfigur verzeichnet. Der Umstand, daß sich die Schmetterlingsfigur mehr im Zentralstrahl abbildet und der Maßstab mehr am Filmrand, ist dabei ohne

jede Bedeutung. Objekte in gleicher Ebene werden am Filmrand genau so verzeichnet wie in Filmmitte. Längenmaße in dieser Ebene, etwa die maximale Breitenausdehnung der Ventrikel, kann man direkt abgreifen und auf das Filmband des Maßstabes übertragen. Sie geben dort die absoluten Maße



Abb. 2b. A. p. Schädelaufnahme mit Teststrecke zur Feststellung der absoluten Ventrikel- und Schädelmaße.

direkt an. Im Beispiel beträgt die größte Breite 23 mm. Dieses Maß kann auf der hier vorliegenden und in unbekanntem Maßstab wiedergegebenen Abb. 2b festgestellt werden. Die größte Breite der Ventrikelfigur beträgt auf der Abbildung 14 mm. Diesen 14 mm entsprechen auf dem mit abgebildeten Maßstab 23 mm. Zur Umrechnung der Filmfläche in eine absolute Fläche ist dagegen zunächst die Feststellung des Verzeichnungs-

maßstabes bzw. des Verzeichnungsfaktors notwendig. Auch dieser ist auf Grund des mitphotographierten Maßstabes sofort zu erhalten. Es werden 10 cm des Maßstabes der Teststrecke auf dem Film abgegriffen (z. B. die Strecke von 4—14) und auf einen normalen Maßstab übertragen. Im Beispiel entsprechen diesen 10 cm auf dem Normalmaßstab 13,3 cm. Der Verzeichnungsfaktor der linearen Vergrößerung ist in diesem Falle somit 1,33, der für die Umrechnung der Fläche wäre dann $1,33^2 = 1,76$. Reduziert man mit diesem Faktor die Filmfläche, so erhält man die absolute orthodiametrische Fläche (= orthodiagraphische Fläche). (Der Verzeichnungsfaktor kann auf diese Weise natürlich nur auf der Originalaufnahme bestimmt werden. Auf der vorliegenden Abbildung wäre dies nur dann möglich, wenn auch in Filmebene ein Normalmaßstab mitphotographiert worden wäre.)

Will man das Maß für die Ventrikelfläche mit irgendeinem Schädelmaß, etwa der Fläche des größten Schädelinnenquerschnittes in Beziehung setzen, so muß man auch für dieses Schädelmaß das vergleichbare absolute Maß orthodiametrisch bestimmen. Dieses Maß könnte auf der gleichen Schädelaufnahme bestimmt werden, wenn die Ebene des größten Schädelquerschnittes die gleiche wäre, wie die Ebene der Schmetterlingsfigur, auf welche die Teststrecke eingestellt war. Die Ebene des größten Schädelquerschnittes liegt jedoch näher zum Film. Ihre Höhe kann ebenfalls auf der seitlichen Aufnahme (Abb. 1b) abgelesen werden. Man liest am Tangentialpunkt der Schädelperipherie mit einer Senkrechten zum Film die Höhe am Maßstab ab. Im vorliegenden Beispiel bei 10. Die Teststrecke wird nunmehr auf eine Höhe von 10 cm eingestellt (vgl. Abb. 2a). Auf der so angefertigten Aufnahme kann das absolute Maß für die größte Schädelquerschnittsebene analog dem Ventrikelmaß ermittelt werden.

Diese dritte Aufnahme unterscheidet sich von der zweiten nur durch eine etwas geringere Verzeichnung des Maßstabes und dient nur zur Ermittlung der Verzeichnung der Hirnfläche. Soll daher aus irgendwelchen Gründen auf diese dritte Aufnahme verzichtet werden, so kann der Verzeichnungsfaktor zur Umrechnung der Hirnfläche rechnerisch ebenso exakt ermittelt werden, falls der Fokus-Filmabstand bekannt ist. Es kann hierzu die Formel benutzt werden: Verzeichnungsfaktor $f = \text{FFA} : \text{FOA}$ (wobei FFA gleich Fokus-Filmabstand und FOA gleich Film-Objekt Abstand). Mit Hilfe des Rechengeräts zur Orthodiametrie kann der Verzeichnungsfaktor aber auch direkt abgelesen werden.

Haben wir bisher das rein Methodische der orthodiametrischen Schädelmessung beschrieben, so sollen im Folgenden die Begründung für dieses Vorgehen und der damit verbundene Wegfall von einigen bisherigen Schwierigkeiten dargelegt werden. Dies waren hauptsächlich: unterschiedliche Röhrenabstände bei den Aufnahmen, unterschiedliche Abstände der Objektebenen zum Film und die vermeintliche Unmöglichkeit,

die Ergebnisse verschiedener Untersucher auf eine einheitliche Vergleichsbasis zu bringen.

Die unterschiedlichen Projektionsbedingungen, unter welchen Schädelaufnahmen sowohl an der gleichen Klinik als auch an verschiedenen Kliniken angefertigt werden, lassen bei allen Schädelmaßen nur einen bedingten Vergleich zu. Wie groß die hierdurch bedingten Fehler sein können, hat RENNERT ausführlich dargelegt. Selbst wenn unter konstantem Fokus-Filmabstand (FFA) gearbeitet wird, ist doch der Objekt-Filmabstand (FOA) individuellen Schwankungen durch Patient und Untersuchungsgerät unterworfen. Demgegenüber bleibt bei der orthodiametrischen Aufnahmetechnik der FFA unberücksichtigt, der FOA wird genau beachtet und beide drücken sich automatisch in der Verzeichnung der Teststrecke aus. Die Maße verschiedener Untersucher und verschiedener Patienten, die unter verschiedenen und unbekannten Projektionsbedingungen gewonnen wurden, können direkt miteinander verglichen werden. Es ist deshalb nicht nötig, einen einheitlichen Aufnahmeabstand an allen Kliniken anzustreben oder an ein und derselben Klinik die Aufnahmebedingungen ständig gleich zu halten. Bei Publikationen brauchen die Aufnahmebedingungen nicht erwähnt zu werden.

Bei relativen Maßen (wie Quotienten und Indices) bestanden die gleichen Schwierigkeiten. Ein Quotient ändert sich nicht nur mit den absoluten Maßen der den Quotienten bildenden Größen, sondern auch mit der Änderung des FFA. Außerdem wird der Quotient noch durch die Änderung des Abstandes der Objektebenen untereinander beeinflusst. Folgende Tabellen sollen dies veranschaulichen:

Tabelle 1. Aufnahme mit 80 cm FFA.

Hirnfläche OFA 14 cm	Ventrikelfläche OFA 18 cm	Quotient
153 cm ²	4,1 cm ²	37,31
165 „	4,3 „	38,38
142 „	5,5 „	25,81
Verzeichnung: 1,464:1	Verzeichnung: 1,664:1	

Es wurden drei Fälle mit verschieden großem Flächeninhalt des Schädels und der Ventrikel zugrunde gelegt. Für diese drei Fälle wurden die entsprechenden Flächenmaße für Aufnahmen aus 80 cm FFA, 150 cm FFA und die absoluten Flächenmaße angegeben. Die entsprechenden Quotienten wurden berechnet (Tab. 1—3). Der Abstand der Schädelquerschnittsebene (Hirnfläche) vom Film wurde mit einem OFA von 14 cm, der der Ventrikelfläche mit einem OFA von 18 cm für alle drei Fälle angenommen. Die Tabellen zeigen, wie stark die Flächeninhalte und

damit die Quotienten schwanken, wenn man absolute Maße und verschieden verzeichnete Maße miteinander vergleicht.

In Tab. 4 ist dargestellt, wie sich der Quotient auch dann ändert, wenn der Aufnahmeabstand zwar gleich bleibt, aber der Objekt-Filmabstand

Tabelle 2. *Aufnahme mit 150 cm FFA.*

Hirnfläche OFA 14 cm	Ventrikelfläche OFA 18 cm	Quotient
126 cm ²	3,2 cm ²	39,32
137 „	3,4 „	40,29
118 „	4,3 „	27,44
Verzeichnung: 1,216:1	Verzeichnung: 1,295:1	

Tabelle 3. *Absolute Maße (auf beliebiger Aufnahme orthodiametrisch gemessen).*

Hirnfläche	Ventrikelfläche	Quotient
104 cm ²	2,5 cm ²	41,60
113 „	2,6 „	43,46
97 „	3,3 „	29,39
Verzeichnung: 1:1	Verzeichnung: 1:1	

des einen Objektes ein anderer ist, d. h. wenn sich nichts ändert als die anatomische Lage der Objekte zueinander. Im Vergleich mit Tab. 1 wurde in Tab. 4 lediglich die Ebene der Ventrikelflächen statt in 18 cm in 16 cm Abstand vom Film angenommen.

Tabelle 4. *Aufnahme mit 80 cm FFA und verändertem OFA für die Ventrikelfläche.*

Hirnfläche OFA 14 cm	Ventrikelfläche OFA 16 cm	Quotient
153 cm ²	3,9 cm ²	39,23
165 „	4,1 „	40,24
142 „	5,2 „	27,30
Verzeichnung: 1,464:1	Verzeichnung: 1,562:1	

Aus den Tabellen ist ersichtlich, daß nicht nur die relativen Maße ihrer unbekannten und wechselnden Verzeichnung wegen nicht vergleichbar sind, sondern, daß auch die mit ihnen gebildeten Quotienten nicht verwertbar sind. Unter Verwendung absoluter Maße entfallen also auch hier die Schwierigkeiten: Die Quotienten die an verschiedenen Kliniken mit verschiedenen Aufnahmeabständen gewonnen wurden, sind exakt miteinander vergleichbar.

Ein weiterer Umstand, der den Vergleich von Schädelmaßen verschiedener Herkunft, also verschiedener Projektionsbedingungen nicht zulassen soll, wird auch von RENNERT in der zitierten Arbeit eingehend dargestellt. Es ist dies die Tatsache, daß man glaubt, die Schädelmaße eines Projektionsverhältnisses nicht in die Schädelmaße eines anderen Projektionsverhältnisses umrechnen zu können. Es wird angenommen, daß bei geringerem Röhrenabstand eine wesentlich filmfernere Schädelquerschnittsebene dargestellt wird als bei größerem Röhrenabstand. Die gleichen Bedenken wurden verschiedentlich auch bei der röntgenologischen Herzgrößenbeurteilung geäußert. Auch hier sollte durch Wanderung der Tangentialstrahlen auf der Herzkontur einmal ein größerer und das andere Mal ein kleinerer Herzdurchmesser zur Darstellung kommen. Daß dem nicht so ist, wurde von BÜCHNER anlässlich von Untersuchungen über die Umrechnung von Filmflächen in Orthodiagrammflächen mathematisch dargelegt¹. Es lag daher nahe, anzunehmen, daß auch bei der Umrechnung bzw. bei der Darstellung von Schädelquerschnittsflächen auf dem Film bei verschiedenen Röhrenabständen praktisch der gleiche Schädelquerschnitt dargestellt wird. Allerdings gilt das nur für Röhrenabstände wie sie normalerweise gebräuchlich sind. Die von RENNERT gebrachte schematische Zeichnung stellt dagegen bewußt stark übertriebene Verhältnisse dar, wie sie in der Praxis nicht vorkommen. In der zitierten Skizze werden Röhrenabstände von etwa 35 cm und 70 cm miteinander verglichen. Man kommt zu diesen Abständen, wenn man für den gezeichneten Schädel einen Längsdurchschnitt von etwa 20 cm annimmt. Wir haben diese Verhältnisse dieses Mal nicht mathematisch untersucht, sondern praktisch verglichen: Es wurden von 25 routinemäßig im laufenden Betrieb hintereinander angefertigten seitlichen Schädelaufnahmen Umrißskizzen durchgepaust. Beim Übereinanderlegen dieser Skizzen zu einem Polygramm konnte man deutlich erkennen, daß die wahllos herausgegriffenen Schädelaufnahmen sich von einem gemeinsamen Durchschnittsbild nur wenig entfernten, also kein Schädel dabei war, der nach der einen oder anderen Seite extreme Formen zeigte. Als Orientierungspunkte für das möglichst kongruente Übereinanderpausen der Schädelskizzen wurden die Sella und der Gehörgang benutzt. Um eine möglichst maßstabgerechte und naturgetreue Darstellung der den größten Schädelquerschnitt abbildenden tangentialen Strahlen zu erhalten, wurden an diese Skizzen unter Beachtung der bei der Encephalographie eingenommenen Schädelhaltung Schnurtangenten angelegt. Die Schnüre gingen von einem Fokus aus, der 35, 80, 100, 150 und 200 cm von einer 6 cm (BUCKYTRISCH) unterhalb des Hinterhauptes angenommenen Filmebene entfernt war. Abb. 3 stellt einen solchen maßstabgetreuen Versuch dar.

¹ Fortschr. Röntgenstr. 76, 158 (1952).

Es ist ohne weiteres erkenntlich, daß unter Benützung von Fokusabständen zwischen 80 und 200 cm der Tangentialpunkt am Schädeldach so wenig wandert, daß es nicht einmal möglich ist, die den vier Tangentialstrahlen zukommenden Schädelquerschnitte mit Sicherheit getrennt zu zeichnen. Betrachtet man allerdings den Tangentialstrahl aus einem Fokusabstand von 35 cm, so liegt die entsprechende Schädelquer-

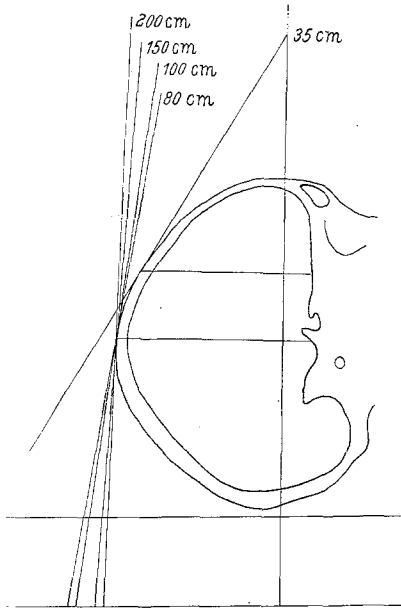


Abb. 3. Maßstabgetreue Situationsskizze für die Tangentialstrahlen bei Schädelaufnahmen aus verschiedenen Röhrenabständen.

schnittsebene selbstverständlich wesentlich weiter ventral. Hiermit wollen wir zeigen, daß es durchaus möglich wäre, die Schädelquerschnitte oder Schädelflächen der gebräuchlichen Aufnahmeabstände untereinander mathematisch umzurechnen. Man ersieht aus der Skizze außerdem, daß die Teststrecke zur Orthodiametrie unabhängig von dem jeweils benützten Röhrenabstand immer in die Ebene des größten Schädelquerschnittes gestellt werden kann. Die Höhe dieser Ebene ist jedoch auf der seitlichen Aufnahme an dem Filmbild der Teststrecke immer leicht abzulesen (vgl. Abb. 1 b).

Es lassen sich somit sämtliche Schwierigkeiten, die durch die unterschiedliche Röntgenprojektion bedingt waren, mit der orthodiametrischen Meßtechnik umgehen. Schwierigkeiten und Fehlerquellen, die jedoch durch wechselnde Luftfüllungen, verschiedene Lagerung oder Ungenauigkeiten bei der Abgrenzung und Ausmessung der Flächen auf dem Film bedingt sind, werden sich wohl nie völlig ausschalten lassen.

Zusammenfassung.

Es werden die Gründe aufgezeigt, welche die verzeichneten Maße des Filmes für eine exakte *Planimetrie der Hirnventrikel* und des Schädels nicht geeignet erscheinen lassen. Auch relative Maße und mit ihnen gewonnene Indices unterliegen durch die wechselnde Aufnahmetechnik zu starken Schwankungen, als daß sie verglichen werden könnten. Es wird daher vorgeschlagen, zur Größenbeurteilung die absoluten, unverzeichneten Maße zu benützen. Diese lassen sich mit Hilfe der *orthodia-*

metrischen Meßmethode unabhängig von den jeweils benützten Projektionsverhältnissen auf dem Film leicht feststellen. Die orthodiametrischen Maße sind vergleichbar.

Literatur.

BÜCHNER, H.: Eine Vereinfachung röntgenologischer Beckenmessung unter Verwendung orthodiametrischer Meßinstrumente. Fortschr. Röntgenstr. **77**, 478 (1952). — Eine Sellamessung mit Hilfe orthodiametrischer Meßinstrumente. Fortschr. Röntgenstr. **77**, 483 (1952). — Eine weitere Vereinfachung der Röntentiefenlotung. Fortschr. Röntgenstr. **78**, 205 (1953). — Methodische und kritische Betrachtungen zur Röntgen-Planimetrie. Fortschr. Röntgenstr. **78**, 732 (1953). — RENNERT, V.: Grundsätzliches zur Planimetrie des Encephalogramms sowie zur einfachen Betrachtung von Schädelröntgenbildern. Arch. Psychiatr. u. Z. Neur. **188**, 390 (1952). — WIELAND, H.: Über eine einfache Technik der Beckenmessung und Messungen am übrigen Skelet. Radiol. Clin. (im Druck).

Dr. H. BÜCHNER und Dr. H. WIELAND,
Strahleninstitut des Allg. Krankenhauses Nürnberg.