

(Aus dem chirurgisch-poliklinischen Institut der Universität Leipzig.)

## Versuch einer Bestimmung der Durchlässigkeit menschlicher Gewebe für Röntgenstrahlen mit Rücksicht auf die Bedeutung der Durchlässigkeit der Gewebe für die Radiotherapie.

Von

Professor Dr. G. Perthes.

Die Frage, ob die Röntgenstrahlen, welche die Haut durchsetzt haben, imstande sind, im Körperinnern ähnliche physiologische bzw. pathologische Wirkungen zu entfalten, wie in der Haut, ist von unbestreitbarer Wichtigkeit. Insbesondere hat die hierin inbegriffene Frage Interesse, ob ähnlich wie ein Carcinom der Haut durch eine relativ kurze Röntgenbestrahlung zur Ausheilung gebracht werden kann, ein gleiches auch an tiefer gelegenen Carcinomen möglich sein dürfte. Diese Fragen sind noch keineswegs beweiskräftig in positivem oder negativem Sinne beantwortet. Immerhin zeigt die von Albers-Schönberg<sup>1)</sup> gefundene Thatsache der durchaus eigenartigen Wirkung der X-Strahlen auf das Keimepithel des Hodens ohne erhebliche Schädigung der darüber liegenden Haut, ferner die von Heineke<sup>2)</sup> entdeckte eigenartige Wirkung auf das lymphatische Gewebe in Milz und Lymphdrüsen, sowie die von mir<sup>3)</sup> gemachte Erfahrung, dass es möglich ist, carcinöse Lymphdrüsenmetastasen beim Lippencarcinom mittels Bestrahlung durch die Haut hindurch zum Schwund zu bringen, dass die physiologische bzw. pathologische Wirkung der Röntgenstrahlen sich nicht etwa in der Haut erschöpft. Auf die Frage, wie weit diese Wirkung in das Körperinnere reicht, wird die Antwort vorwiegend durch klinische Beobachtungen am Menschen gesucht werden müssen. Als Ergänzung der klinischen und experimentell-pathologischen Untersuchungen, die hier das entscheidende Wort zu sprechen haben, sind aber Ermittlungen am Platze über die physikalischen Bedingungen für eine Wirkung der Röntgenstrahlen in der Tiefe der Gewebe. Da die Intensität der einwirkenden X-Strahlen den wesentlichsten Faktor für das Zustandekommen des Effekts im Gewebe darstellt, so fragt es sich, wie ändert sich bei der Bestrahlung des menschlichen Körpers die Intensität der X-Strahlen mit der Tiefe? Wo ist die Schicht, in der die Intensität auf einen beliebig bestimmbar Bruchteil, etwa die Hälfte oder ein Drittel der auffallenden Intensität herabgesunken ist? Auf diese Frage suchte ich Antwort in der folgenden Studie.

Die Abnahme der Intensität der X-Strahlen bei ihrem Eindringen in den Körper beruht auf zwei Faktoren: 1) Auf der Zunahme der Entfernung von der Strahlenquelle und 2) auf der durch die durchdrungenen Medien bedingten Absorption.

### 1. Abnahme der Intensität im Gewebe durch Zunahme der Entfernung.

Betrachten wir zuerst die Bedeutung des ersteren Faktors. Auch die Röntgenstrahlen gehorchen dem Gesetze, dass die Intensität umgekehrt proportional ist dem Quadrate der Ent-

<sup>1)</sup> Albers-Schönberg, Über eine bisher unbekannte Wirkung der Röntgenstrahlen auf den Organismus der Tiere. Münch. med. Wochenschr. 1903. Nr. 43.

<sup>2)</sup> Heineke, Über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf innere Organe. Münch. med. Wochenschr. 1904. Nr. 18.

<sup>3)</sup> Perthes, Zur Frage der Röntgentherapie des Carcinoms. Archiv für klinische Chirurgie. Bd. 74, Heft 2. 1904.

fernung von der Strahlenquelle, also von dem Strahlen aussendenden Punkte der Antikathode der Röntgenröhre. Bezeichne ich nun die in 10 cm Entfernung von der Antikathode vorhandene Intensität willkürlich als 100 Einheiten, so ergibt sich, dass in den weiteren von 5 zu 5 cm gesteigerten Entfernungen folgende Intensitätsmengen vorhanden sein müssen:

Entfernung in cm	Intensität	Entfernung in cm	Intensität
10	100,00	60	2,78
15	44,44	65	2,37
20	25,00	70	2,04
25	16,00	75	1,78
30	11,11	80	1,56
35	8,16	85	1,39
40	6,25	90	1,24
45	4,82	95	1,11
50	4,00	100	1,00
55	3,31		

oder dass die Intensität absinkt wie die Kurve in Fig. 1.

Man sieht, dass die Abnahme der Intensität in der Nähe der Röntgenröhre eine unvergleichlich schnellere ist als in grösserer Entfernung. Bringe ich den bestrahlten Körper in einen Abstand von 15 cm von der Antikathode, so ist in 5 cm Gewebstiefe — nur wegen der Zunahme der Entfernung, ganz abgesehen von der Absorption durch das Gewebe — die Intensität von 44,44 auf 25 gesunken; es ist also in 5 cm Gewebstiefe — das Gewebe als überhaupt nicht absorbierend vorausgesetzt — nur  $44,44 : 25 = 56,55\%$  der auffallenden Intensität vorhanden, während bei einem Abstände des bestrahlten Körpers von 95 cm die Intensität von 1,108 auf 1,0 also nur auf  $90,25\%$  des auf die Haut auffallenden Wertes sinkt. Es hat also die Intensitätsabnahme durch Zunahme der Entfernung von der Antikathode um so grössere Bedeutung, je näher die Strahlenquelle dem Objekte gebracht wird. Wählt man einen grösseren Abstand von Strahlenquelle und Objekt, so wird die Intensität selbst zwar bedeutend in dem durch die Kurve veranschaulichten Masse gesunken sein, die Intensitätsabnahme im Inneren des Körpers aber langsamer erfolgen, die Intensitäten daher über die verschiedenen Gewebstiefen gleichmässiger verteilt sein.

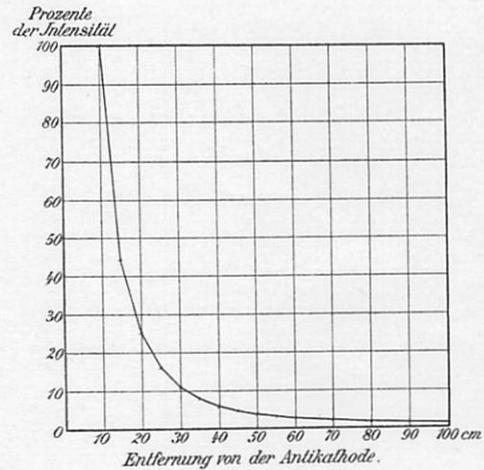


Fig. 1.

Noch grössere Bedeutung als für die Anwendung von Röntgenstrahlen müssen diese Verhältnisse für die Anwendung der Radiumstrahlen haben. Hier wird die Radiumkapsel direkt auf die Haut aufgelegt. In 5 cm = 50 mm Entfernung kann daher nur  $\frac{1}{50^2} = \frac{1}{2500}$ , in 1 cm Entfernung nur  $\frac{1}{100}$  der Intensität wirksam sein, welche in 1 mm Entfernung wirksam ist. Hieraus ergibt sich, dass schon wegen der Abnahme der Intensität mit der Entfernung die Anwendung von Radium direkt an der Haut eine bedeutende Tiefenwirkung nicht haben kann. Entweder die in 1 cm Tiefe vorhandene Intensität ist so gering, dass sie keine physiologische Wirkung hat, oder aber man lässt die Radiumkapsel solange liegen, dass in 1 cm Tiefe eine Wirkung deutlich wird, dann aber muss durch die in 1 mm Abstand von der Strahlen-

quelle hundertmal grössere Wirkung die Haut gänzlich zerstört sein — es sei denn, dass die Wirkung auf das erkrankte Gewebe hundertmal so stark vorausgesetzt werden könnte, als auf die nicht erkrankte Haut!

## 2. Vorliegende Untersuchungen über die Durchlässigkeit.

Der zweite, wichtigste Faktor für die Röntgenstrahlenintensität im Körper ist ihre Absorption durch das Gewebe. Die Absorption der Röntgenstrahlen ist nun von der Entdeckung v. Röntgen's an zum Gegenstande einer Reihe physikalischer Arbeiten<sup>1)</sup> gemacht worden. Diese beschäftigen sich aber fast nur mit der physikalischen Seite der Frage und haben als wichtigste Resultate ergeben, dass die Absorption zunimmt mit der Dicke der durchstrahlten Schicht, dass mit dem Vergleich äquivalenter Mengen verschiedener Stoffe von zwei chemischen Elementen dasjenige mit höherem Atomgewicht auch den grösseren Bruchteil derselben X-Strahlung zurückerhält, dass die Absorption unabhängig ist von der Anordnung der Atome, dass die Absorption durch eine chemische Verbindung also dieselbe ist, wie die Summe der Absorptionen der einzelnen chemisch miteinander gebundenen Komponenten. Über die Absorption der Röntgenstrahlen durch menschliche Gewebe liegen nur wenige Bestimmungen vor, welche sich vor allem auf das Auge beziehen. Darier und Rochas<sup>2)</sup> fanden, dass die brechenden Medien des Auges für Röntgenstrahlen sehr wenig durchlässig sind. Salvioni<sup>3)</sup> giebt an, dass das ganze Auge des Menschen von den Röntgenstrahlen ebensoviel absorbiert wie eine Glasplatte von 1 mm Dicke und dass die Linse viel weniger durchlässig ist, als die Hornhaut. Brandes und Dorn<sup>4)</sup> fanden, dass ein ganzes Schweinsauge soviel absorbiert wie 1,5 mm Aluminium und dass die Linse nicht wesentlich mehr absorbiert als die übrigen Augenmedien. Chaluppecky<sup>5)</sup> stellte fest, dass die Röntgenstrahlen von den Augenmedien absorbiert werden und zwar wie von Linse und Glaskörper so auch in etwas geringerem Masse von der Hornhaut. Weitere Arbeiten über die Absorption der Röntgenstrahlen durch das Auge liegen vor von Darier<sup>6)</sup>, Antonelli<sup>7)</sup> und Battelli<sup>8)</sup>. Leider waren mir von diesen letzteren drei Arbeiten nur Referate zugänglich und in diesen bestimmte Werte über die Durchlässigkeit der Gewebe

<sup>1)</sup> v. Röntgen, Sitzungsberichte der physik. med. Gesellschaft zu Würzburg. 1895.

v. Röntgen, Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen. Sitzungsber. der kgl. preuss. Akad. der Wiss. zu Berlin. 1897. S. 581.

Oberbeck, Die Absorption der Röntgenstrahlen. Naturw. Rundschau. 1896. S. 265 u. 458.

Benoist et Hurmuzescu, Nouvelle recherches sur les rayons X. Comptes rendus T. 122, p. 379. 1896.

Louis Benoist, Loi de transparence de la matière pour les rayons X. Comptes rendus T. 132, p. 324—327. 1901.

Novak und Sule, Zeitschr. f. physik. Chemie. 1896. 19, S. 489.

Voller und Walter, Zeitschr. f. angewandte Chemie. 1897, Heft 15.

W. J. Humphrey, Philosophical Magazine. 1897, Ser. 5. Vol. 44, p. 401.

Mc. Clung and Mc. Intosh, Absorption of Röntgen-rays by aqueous solutions. Philosophical Magazine. 1902, Series 6. Vol. III, S. 68. Hierin zahlreiche Hinweise auf andere Arbeiten über das gleiche Thema.

<sup>2)</sup> Darier et Rochas, Sur la cause de l'invisibilité des rayons de Röntgen. Comptes rendus T. 122, p. 458.

<sup>3)</sup> Salvioni, Nature. T. 53, p. 424.

<sup>4)</sup> Brandes u. Dorn, Wiedemanns Ann. f. Physik. Bd. 60, S. 478.

<sup>5)</sup> Chaluppecky, Zentralbl. f. Augenheilkunde. 1897, August.

<sup>6)</sup> Darier, Perméabilité de l'œil aux rayons Röntgen. Rev. gen. d. Opth. 1896.

<sup>7)</sup> Antonelli, Progrès medic. 1897. Nr. 52.

<sup>8)</sup> Battelli, Intorno al passaggio e all azione dei raggi di Roentgen sull'occhio. Suppl. al. Policlinico II 18. Ref. Annali di Ottalm. XXV, p. 409. 1896.

des Auges nicht angegeben. Über die Durchlässigkeit der übrigen Gewebe des menschlichen Körpers, abgesehen vom Auge, habe ich eine systematische Arbeit nicht auffinden können, so dass eigene Bestimmungen nützlich erschienen.

### 3. Verschiedenheit der „Durchlässigkeit“ unter verschiedenen Bedingungen.

Zunächst ist es notwendig, sich klar zu machen, dass die Bestimmungen der Durchlässigkeit der Gewebe für Röntgenstrahlen nicht unter allen Umständen die gleichen Werte geben können, wie es etwa der Fall wäre, wenn man die Durchlässigkeit eines Mediums für Lichtstrahlen bestimmter Farbe zu bestimmen hätte.

Mit „Durchlässigkeit eines Körpers“ bezeichnete Röntgen<sup>1)</sup> in seiner ersten Mitteilung „Das Verhältnis der Helligkeit eines dicht hinter dem Körper senkrecht zu den Strahlen gehaltenen Fluoreszenzschirmes zu derjenigen Helligkeit des Schirmes, welche dieser ohne Zwischenschaltung des Körpers, aber unter sonst gleichen Verhältnissen zeigt.“ Die Fluoreszenzerregung ist aber nicht der einzige Effekt der Röntgenstrahlen. Es kommt als Masstab der vorhandenen Intensität ausserdem noch in Betracht: die photochemische Wirkung insbesondere auf die photographische Platte, die Änderung des Leitungsvermögens der Luft für Elektrizität, endlich die Wirkung auf die lebenden Gewebe von Mensch und Tier. Es ist aber fraglich, ob diese vier Wirkungen einander parallel gehen, ob eine Steigerung der Strahlungsintensität, die die Helligkeit des Fluoreszenzschirmes auf das Doppelte steigert, auch den doppelten Silberniederschlag in der photographischen Platte erzeugt oder eine doppelt so starke Reaktion in der menschlichen Haut hervorruft. Es ist sogar von Röntgen<sup>2)</sup> direkt nachgewiesen, dass Fluoreszenzerregung und chemische Wirkung in der photographischen Platte einander bei dem Vergleich verschiedener Röhren nicht parallel gehen, und damit ist klar, dass weder die eine noch die andere Wirkung ohne weiteres in derselben Weise als Masstab für die vorhandene Intensität der Röntgenstrahlen dienen kann. Wenn also die Intensität der Röntgenstrahlen auf röntgenkopischem, oder radiographischem, oder auch elektrometrischem Wege gemessen wird, so können die Resultate nur mit einem gewissen Vorbehalt als Masstab für den zu erwartenden physiologischen Effekt verwandt werden. Immerhin dürfte die Helligkeit des Fluoreszenzschirmes und die davon abgeleiteten Intensitätsbestimmungen doch einen gewissen Anhalt für die Schätzung der physiologischen Wirkung abgeben.

Die Durchlässigkeit menschlicher Gewebe für Röntgenstrahlen würde einfach und sicher zu ermitteln sein, wenn alle Röntgenstrahlen gleiche Durchdringungsfähigkeit hätten. Bekanntlich entsenden aber verschiedene Röntgenröhren Strahlen verschiedener Durchdringungsfähigkeit und es hängt der Charakter der ausgesendeten Strahlen in erster Linie von dem Widerstande ab, den die Röntgenröhre dem elektrischen Strome bietet, welcher seinerseits wieder mit dem Grade der in der Röhre herrschenden Luftverdünnung steigt und sinkt. Wie bedeutend die verschiedene Durchdringungsfähigkeit der Strahlen verschiedener Röhren ist, erkennt man leicht mit Hilfe der Walterschen Härteskala. Die Härtegrade derselben (Rubrik 1) entsprechen Platinschichten von bestimmter Dicke (Rubrik 2), die von den Strahlen noch eben durchdrungen werden. Die nach Messungen mit 10 verschiedenen Röhren verschiedener Konstruktion<sup>3)</sup> beigefügte Rubrik 3 zeigt, wie der Härtegrad von dem durch die Länge einer parallel geschalteten Funkenstrecke gemessenen Widerstand der Röhre abhängt.

<sup>1)</sup> l. c.

<sup>2)</sup> Sitzungsber. d. Berliner Akademie 1897, S. 589.

<sup>3)</sup> Ich verwendete, wie auch zu den unten mitgeteilten Durchlässigkeitsbestimmungen, folgende Röhrentypen: Regulierbare Röhre von Müller-Hamburg, Voltohm- $\epsilon$  und Voltohm- $\gamma$ , Röhren von Gundelach-Gehlberg, Wasserkühlungsröhren von M. Kohl-Chemnitz.

Härtegrad der Walterskala	Dicke der Platin-schicht	Widerstand der entsprechenden Röhre gemessen durch die Länge einer parallelgeschalteten Funkenstrecke
1.	0,005 mm	—
2.	0,01 "	3—4 cm
3.	0,02 "	—
4.	0,04 "	8 cm
5.	0,08 "	9 cm
6.	0,16 "	13—14 cm
7.	0,32 "	20—24 cm
8.	0,64 "	—

Man sieht, dass die Strahlen einer Röhre vom Härtegrad 7 eine 32 mal so dicke Schicht von Platin durchdringen, als die Strahlen einer Röhre vom Härtegrad 2, dass also die „Durchlässigkeit“ des Platin für die Strahlen der ersteren Gattung einen viel höheren Wert haben muss, als für die letzteren. Absolute Werte für die Durchlässigkeit bestimmter Stoffe für Röntgenstrahlen kann es also nicht geben, es muss vielmehr bei jeder Angabe eines Wertes für die Durchlässigkeit gesagt werden, für welche Art von Röhren er gültig ist.

Es ist ferner zu beachten, dass die von einer Röntgenröhre in einem bestimmten Moment ausgehende Strahlung nicht „homogen“ ist. Es entsendet vielmehr, wie v. Röntgen<sup>1)</sup> zeigte, die Röhre ein „Gemisch von Strahlen verschiedener Absorbierbarkeit und Intensität“ und es ist „die Zusammensetzung dieses Gemisches wesentlich von dem zeitlichen Verlauf des Entladungsstroms abhängig. Die bei der Absorption von den Körpern bevorzugten Strahlen sind für die verschiedenen Körper verschieden.“ Infolgedessen ändert sich der Charakter des Strahlungsgemisches bei der Absorption der Röntgenstrahlen. Da in den oberflächlichen Schichten die absorbierbaren Strahlen zunächst absorbiert werden, so muss die durchschnittliche Durchdringungsfähigkeit des übrigen Strahlungsgemisches zunehmen. Hierdurch ist es bedingt, dass der für die erste Schicht ermittelte Absorptionskoeffizient nicht auch für die zweite als gültig angesehen und somit die Intensität in beliebiger Tiefe berechnet werden kann. Es muss vielmehr für jede Schicht empirisch die noch vorhandene Intensität festgestellt werden.

Endlich werden in den Medien, welche die Röntgenstrahlen durchdringen, nicht nur Röntgenstrahlen absorbiert, sondern auch Röntgenstrahlen erzeugt: die sogenannten Sekundärstrahlen. Durch diese Neubildung von Röntgenstrahlen wird die Abschwächung durch Absorption bis zu einem gewissen Grade wieder ausgeglichen. Es ist klar, dass hierdurch für die Messung der Absorption von Röntgenstrahlen ein Fehler bedingt sein muss. Da es aber für unseren Zweck nur darauf ankommt, wie gross die Intensität von Röntgenstrahlen in verschiedenen Tiefen des Gewebes ist, einerlei ob diese Strahlen dem ursprünglich eintretenden Strahlenbündel direkt entstammen oder erst sekundär im Gewebe entstanden sind, so kann diese Fehlerquelle für uns ausser Betracht bleiben.

#### 4. Vergleich der Durchlässigkeit der menschlichen Gewebe mit der des Wassers und des Aluminiums.

Die Durchlässigkeit der menschlichen Gewebe suchte ich zu ermitteln: 1. durch Vergleich der Durchlässigkeit der Gewebe mit der solcher Stoffe, deren Durchlässigkeit bekannt ist oder stets leicht wieder ermittelt werden kann und 2. durch direkte Messung der Strahlungsintensität in verschiedenen Gewebstiefen.

<sup>1)</sup> l. c. S. 588.

Auch für die erstere Vergleichsmethode ist es notwendig auf den Härtegrad der Röhre Rücksicht zu nehmen. Denn bei Zunahme der Härte einer Röhre steigt die Durchdringungsfähigkeit der Strahlen nicht für alle Körper in gleicher Weise.

Stellt man z. B. in dem unten S. 18 angegebenen Durchleuchtungsgefässen mit Papierwandung oberhalb einer Wasserschicht von 2 cm Dicke soviel Aluminium auf, dass bei Durchleuchtung mit einer weichen Röhre der Schatten des Aluminiums genau gleich dunkel ist wie der des Wassers, und durchleuchtet darauf ein zweites Mal mit einer harten Röhre, so erscheint jetzt auf dem Fluoreszenzschirm nicht nur der ganze Schatten weniger intensiv, sondern der dem Aluminium entsprechende Teil des Schattens wird deutlich heller als der dem Wasser entsprechende.

Für die in Rede stehenden Vergleiche eignete sich das Wasser ganz besonders als Vergleichsobjekt. Betrachtet man mit Hilfe eines Fluoreszenzschirmes einen im Wasser befindlichen Körper, dessen Durchlässigkeit geringer ist als der des Wassers, so muss er einen dunkeln Schatten geben, ist seine Durchlässigkeit dagegen grösser als die des Wassers, so erscheint auf dem Fluoreszenzschirme ein helles Bild auf dunkeln Grunde. Hat der Gegenstand gleiche Durchlässigkeit, so bleibt er gänzlich unsichtbar.

Für die Ausführung dieser Durchleuchtungen dienten mir Kästen, deren Wände oder deren Boden aus paraffingetränktem Papier bestanden und die teils seitlich, teils von unten nach oben durchstrahlt wurden. Das Papier absorbiert so wenig Röntgenstrahlen, dass diese Absorption vernachlässigt werden kann.

Füllt man einen solchen Papierkasten mit Wasser, hält darüber eine Hand und durchleuchtet von unten, so erkennt man natürlich auf dem Fluoreszenzschirm in dem durch das Wasser bedingten Schatten auch sehr deutlich das Schattenbild der ganzen Hand. Taucht man aber jetzt die Hand in das Wasser ein, so verschwindet der Schatten der Weichteile der Hand vollkommen und man sieht nur noch die Knochen, zwischen denen die Gelenkspalten scharf hervortreten. Damit ist bewiesen, dass die Weichteile der Hand eine Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen haben, welche der des Wassers sehr nahe kommt.

Nach demselben Prinzip wurden nun verschiedene Gewebe in Bezug auf ihre Durchlässigkeit mit destilliertem Wasser verglichen, zuerst mit Hilfe des Fluoreszenzschirmes, dann auch mit Hilfe der Photographie auf der Platte. Von Milz, Leber, Niere und Muskulatur werden 2 cm dicke Schichten zur Prüfung verwandt, die für Durchleuchtung von unten nach oben gerade mit Wasser bedeckt oder für seitliche Durchleuchtung in wasserhaltende Gefässe mit Papierwänden gebracht wurden, die nur 2 cm Wandabstand hatten. Es ergab sich, dass durch Bedeckung mit Wasser für Betrachtung mit dem Fluoreszenzschirm vollkommen unsichtbar wurden: Muskulatur der Zunge, des *Musc. deltoides*, des Herzens, ferner Leber, Milz, Niere, Blutkoagula, das ganze Auge eines Rindes, Glaskörper, Linse, die Wand der Aorta, Haut ohne das subkutane Fettgewebe, Gehirn. Wurde der betreffende Gewebsteil aus dem Wasser herausgehoben und über der von unten durchleuchteten Wasserschicht gehalten, so gab er einen sehr deutlichen Schatten, der sofort wieder verschwand, wenn er in dem Wasser untertauchte. Hierbei machte es keinen Unterschied, ob man mit harten oder weichen Röhren durchleuchtete. Sichtbar waren auf dem Fluoreszenzschirm nur Lunge und Fettgewebe der Mamma, des Netzes, des Subkutangewebes und zwar als heller Fleck.

Die radiographischen Versuche, bei welchen von den in Wasser liegenden Gewebsteilen photographische Aufnahmen mit sehr kurzer Expositionszeit hergestellt wurden, hatten bei Verwendung mittelweicher und harter Röhren gleiche Ergebnisse. Alle Gewebe mit Ausnahme von Fettgewebe und Lunge erzeugen im Wasser liegend keine Spur auf der photographischen Platte. Unter Lunge und Fettgewebe dagegen schwärzt sich die Platte mehr wie unter der gleichen Schicht Wasser. — Wurden die Aufnahmen mit sehr weichen Röhren gemacht, deren Widerstand einer Funkenstrecke von 2—3 cm entsprach, und sehr kurz (5—10 Sekunden) exponiert, so wurde Milz, Leber, Niere, elastisches Gewebe (Aorta), ein ganzes Auge vom Rind oder Schwein, Muskulatur und Blutkoagula im Wasser andeutungsweise eben er-

kennbar, erwiesen sich also als ganz wenig undurchlässiger als das Wasser. Am wenigsten erkennbar war bei diesen Versuchen das Schattenbild von Epidermis und Gehirn. Nach dem Ausfall dieser Experimente müssen Versuche, Gehirnabszesse durch Röntgenstrahlen zur Darstellung zu bringen, als sehr wenig aussichtsreich erscheinen.

Es ergibt sich, dass sämtliche Weichteile des menschlichen Körpers mit Ausnahme derer, die spezifisch leichter sind als Wasser (Lunge und Fettgewebe) in ihrer Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen der des destillierten Wassers ganz ausserordentlich nahe kommen. Nur Lunge und Fettgewebe sind durchlässiger, die übrigen erwiesen sich bei radiographischen Versuchen mit sehr weichen Röhren als ganz wenig undurchlässiger.

Wie nahe die Durchlässigkeit der Weichteile, welche im Wasser für Röntgendurchleuchtung unsichtbar auf dem Fluoreszenzschirm werden, der des Wassers mindestens kommen muss, lässt sich aus folgendem Versuche entnehmen. Durchleuchtet man von unten eine Wasserschicht von 20 mm Dicke, über welche eine 2 mm dicke Scheibe Wasser in Form von Eis gehalten wird, so giebt diese letztere einen erkennbaren Schatten auf dem Fluoreszenzschirme, während in Wasser eingetauchtes Eis natürlich keinen Schatten geben kann. Da nun eine 20 mm dicke Schicht Muskulatur in Wasser von 20 mm Höhe unsichtbar bleibt, so ergibt sich, dass ihre Durchlässigkeit der des Wassers näher kommen muss, als die Zahl 22 der Zahl 20, oder dass die Durchlässigkeit der Muskulatur von der des Wassers sich nur um weniger als  $\frac{1}{10}$  der Durchlässigkeit der betreffenden Schicht unterscheiden kann.

Zur Ergänzung der Vergleiche mit Wasser wurden Vergleichsbestimmungen mit Aluminium gemacht in der Weise, dass neben die betreffende Gewebsschicht soviel Aluminiumplatten von 0,2 mm Dicke aufgeschichtet werden, bis der Schatten des Aluminium dem des Gewebes gleich war. Eine Reihe von Einzelbestimmungen, deren Ergebnis in der Tabelle durch einen \* markiert ist, hatte mit der Schwierigkeit zu kämpfen, dass es schwer war, von den betreffenden Geweben genau platte Scheiben zu erhalten und diese genau zu messen. Fehler von 1 mm in der Bestimmung der Dicke waren dabei nicht zu vermeiden. Es wurden deshalb, besonders auch zur Bestimmung der Durchlässigkeit des Blutes, Durchleuchtungsgefässe aus Messing<sup>1)</sup> hergestellt, die jedoch an zwei Seiten Wandungen aus paraffingetränktem Papier trugen, deren Abstand voneinander 1, 2, 3, 4 und 5 cm betrug. Wenn das Blut oder die Gewebe diese Kästen ganz ausfüllten, war die Dicke der Schicht genau bestimmt. Es war durch seitliche Vorsprünge an dem Metall Vorsorge getroffen, dass die Probepplatten von Aluminium die oberhalb des Blutes in die Kästen eingesetzt wurden, genau mit der Wasseroberfläche abschneiden, so dass der Schatten des Ganzen auf dem Fluoreszenzschirm bei richtiger Wahl der Aluminiumschicht vollkommen homogen erschien.

Die in der Tabelle verzeichneten Ergebnisse weisen ziemlich beträchtliche Unterschiede bei den verschiedenen Versuchen mit derselben Schichtdicke desselben Gewebes auf. Man erkennt, dass die höheren Werte durchweg sich in den Versuchen mit härteren Röhren finden. Es beruhte also diese Differenz wohl nicht auf Fehlern in der Bestimmung, sondern auf der verschiedenen Beschaffenheit der Röhren. Auch die verschiedenen Gewebe zeigen beim Vergleich untereinander und mit Wasser nicht die gleichen Werte. Doch sind die Differenzen geringer als die an demselben Gewebe bei Anwendung verschiedener Röhren gefundenen Unterschiede. Ich glaube also hieraus nicht für die einzelnen Organe verschiedene bestimmte Werte ableiten zu dürfen, sondern glaube aus dem Vergleich der Organe mit Aluminium nur den allgemeinen mit den früheren Versuchsergebnissen übereinstimmenden Schluss ableiten zu können, dass die Durchlässigkeit der in der Tabelle verzeichneten Gewebe wenig hinter der des Wassers zurückbleibt.

<sup>1)</sup> von E. Zimmermann, Präzisionsmechaniker, Leipzig, Emilienstrasse.

	Dicke der Schicht	Dicke einer gleich stark absorbierenden Aluminiumschicht	Eigenschaft der verwendeten Röhre. Länge einer parallel geschalteten Funkenstrecke	Parallelversuch mit Wasser	
				Dicke der Schicht	Dicke einer gleich stark absorbierenden Aluminiumschicht
<b>I. Blut.</b>					
Blutserum	1 cm	0,7 mm	weich 3,5 cm	1 cm	0,7 mm
defibriertes Blut	"	0,7 mm	mittelweich 9 cm	"	0,6 mm
"	2 cm	1,4 mm	weich 3,5 cm	2 cm	1,4 mm
Blutserum	"	1,7 mm	weich 4 cm	"	1,6 mm
defibriertes Blut	"	1,8—2,0 mm	hart 18 cm	"	1,8 mm
Blutserum	3 cm	2,6 mm	weich 3,5 cm	3 cm	2,4 mm
"	"	2,6 mm	weich 4 cm	—	—
"	"	2,8 mm	mittelweich 8 cm	"	2,6 mm
defibriertes Blut	"	2,8—3,0 mm	hart 18 cm	—	—
"	4 cm	5,2 mm	mittelweich 9 cm	4 cm	4,6 mm
"	5 cm	6,2 mm	mittelweich 9 cm	5 cm	5,6 mm
<b>II. Muskulatur.</b>					
	1 cm	0,7 mm	weich 6,5 cm	—	—
"	"	0,8—0,9 mm	hart 16 cm	—	—
"	1,7 cm*)	1,8 mm	mittelweich 10 cm	—	—
"	1,8 cm*)	1,9 mm	hart 20 cm	—	—
"	2 cm	1,4 mm	weich 6,5 cm	—	—
"	3 cm	3,0 mm	weich 6,5 cm	—	—
"	"	3,6 mm	hart 16 cm	—	—
<b>III. Leber.</b>					
	2 cm	1,8 mm	weich 6,5 cm	—	—
"	"	2,0 mm	hart 16 cm	—	—
"	2,4 cm*)	2,6 mm	mittelweich 10 cm	—	—
"	2,4 cm*)	3,2 mm	hart 20 cm	—	—
"	3 cm	3,0 mm	weich 6,5 cm	—	—
"	"	4,0 mm	hart 16 cm	—	—
"	4,5 cm	5,0 mm	mittelweich 12 cm	—	—
<b>IV. Milz.</b>					
	1,9 cm*)	1,9 mm	mittelweich 10 cm	—	—
"	2 cm	2,3 mm	hart 20 cm	—	—
<b>V. Gehirn.</b>					
	1,8 cm*)	1,8 mm	mittelweich 12 cm	—	—
"	2 cm	1,6 mm	weich 6,5 cm	—	—
"	"	2,4 mm	hart 20 cm	—	—
<b>VI. Haut und Subkutangewebe.</b>					
	1 cm*)	0,7 mm	mittelweich 10 cm	—	—
"	"	1,0 mm	mittelweich 12 cm	—	—
"	"	0,8 mm	hart 20 cm	—	—
doppelte Schicht v. vorhergeh. Versuch	2 cm*)	1,5 mm	hart 20 cm	—	—
Haut, Subkutangewebe und Muskelschicht	2,6 cm*)	2,6 mm	hart 20 cm	—	—

\*) In den mit \* bezeichneten Versuchen waren von den betreffenden Geweben möglichst platte Scheiben geschnitten und unbedeckt neben dem Aluminium durchleuchtet, in den nicht mit \* bezeichneten Versuchen waren die Durchleuchtungsgefäße mit Papierwandungen mit dem betreffenden Gewebe erfüllt.

### 5. Direkte Bestimmung der Durchlässigkeit.

Für die Radiotherapie ist wichtiger als der Vergleich der Körpergewebe mit anderen Stoffen die Frage, um wieviel die Intensität der Röntgenstrahlen durch die Absorption in einer bestimmten Schicht herabgesetzt wird, also die direkte Bestimmung der Durchlässigkeit.

Für die Lösung dieser Aufgabe wird in physikalischen Arbeiten, z. B. in der von Mc. Clung und Mc. Intosh<sup>1)</sup> die elektrometrische Methode bevorzugt. Röntgenstrahlen machen die Luft zu einem Elektrizitätsleiter. Wenn daher Röntgenstrahlen zwischen zwei Metallplatten, von denen die eine positiv, die andere negativ geladen ist, hindurchgehen, so entwickelt sich zwischen den Metallplatten ein elektrischer Strom, dessen Stärke von der die Leitfähigkeit der Luft erzeugenden Strahlung abhängt und dessen Messung einen Rückschluss auf die Strahlungsintensität gestattet. Für unsere Zwecke glaubte ich jedoch, mich mit der radioskopischen Methode begnügen zu dürfen, welche v. Röntgen selbst zur Bestimmung der Durchlässigkeit der verschiedenen Stoffe für Röntgenstrahlen angegeben und benutzt hat.

Die von v. Röntgen benutzte Vorrichtung ist dem Bouguerschen Photometer nachgebildet. v. Röntgen<sup>2)</sup> beschreibt sie folgendermassen: „Ein 35 cm hohes, 150 cm langes und 0,15 mm dickes, rechteckiges Stück Bleiblech ist durch Bretter gestützt in der Mitte eines langen Tisches vertikal aufgestellt. Auf beiden Seiten desselben steht auf dem Tisch je eine Entladungsröhre. An dem einen Ende des Bleistreifens ist ein Fluoreszenzschirm so angebracht, dass jede Hälfte desselben nur von einer Röhre senkrecht bestrahlt wird. Bei den Messungen wird auf gleiche Helligkeit der Fluoreszenz beider Hälften eingestellt.“ — „Vor die eine der beiden gleich hell fluoreszierenden Hälften des Schirmes wurde der betreffende plattenförmige Körper — Aluminium, Staniol, Glas u. s. w. — gebracht und die dadurch entstandene Ungleichheit der Helligkeiten wieder ausgeglichen, entweder durch Vergrößerung der Entfernung des nicht bedeckten bestrahlenden Entladungsapparates oder durch Nähern des anderen. In beiden Fällen ist das richtig genommene Verhältnis der Quadrate der Entfernungen der Platinplatte des Entladungsapparates vom Schirm vor und nach der Verschiebung des Apparates der gesuchte Wert der Durchlässigkeit des vorgetzten Körpers.“

Für unsere Zwecke machten sich einige Modifikationen der v. Röntgen'schen Anordnung notwendig. An Stelle des Tisches verwendete ich eine besondere aus Holz gearbeitete 2 m lange Bahn, in welcher in zwei Längsnuthen zwei Schlitten mit den Röhrenhaltern von der Medianlinie 23 cm entfernt hin und her verschoben werden konnten. An diesen Nuthen wurde ein Massstab aufgetragen, welcher die Entfernung, des Spiegels der Antikathode jeder Röhre von der Mitte des Fluoreszenzschirmes abzulesen gestattete. Der Rand des Fluoreszenzschirmes wurde so abgeblendet, dass nur in der Mitte von der rechten und linken Hälfte je ein Feld von 5 cm Höhe und Breite übrig blieb. Die beiden Felder grenzten direkt aneinander und wenn die von beiden Seiten erzeugte Helligkeit gleich war, und der die beiden Röhren trennende vertikale Bleistreifen genügend nahe an den Fluoreszenzschirm herangeschoben war, so sah man die beiden Felder ohne Unterbrechung ineinander übergehen. Dadurch wurde ein weit genauerer Vergleich der Helligkeiten beider Felder möglich, als wenn sie durch einen hellen oder dunkeln Streifen getrennt gewesen wären. Allerdings fallen auf die Mitte des Fluoreszenzschirmes die Strahlen nicht senkrecht, sondern schief von beiden Seiten auf, doch lässt sich der dadurch bedingte Fehler durch Berechnung einer Korrektur für die Resultate ausgleichen. Da mir nur ein einziger Funkeninduktor von 65 cm Funkenlänge zur Verfügung stand, legte ich mir die Frage vor, ob es möglich sei, beide Röntgenröhren auf beiden Seiten des Photometers mit demselben Funkeninduktor zu betreiben. In der That ist das möglich, wenn die beiden Röhren in ihrem Härtegrade, also in ihrem Widerstande, einander gleich sind oder doch nicht sehr stark voneinander abweichen. Schaltet man zwei derartige Röhren hintereinander, so sind bei gleicher Konstruktion und gleichem Härtegrade der in gleicher Entfernung vom Schirm befindlichen Röhren die hervorgerufenen Helligkeiten auf dem Schirm einander gleich. Differieren die Röhren in ihrem Härtegrade, so ergibt bei Hintereinanderschaltung die

<sup>1)</sup> Mc. Clung and Mc. Intosh, Absorption of Roentgen Rays by Aqueous Solutions. Philosophical Magazine. 1902, p. 68.

<sup>2)</sup> Sitzungsber. der Berliner Akademie. 1897. S. 578 u. 581.

härtere die grössere Helligkeit, bei Nebeneinanderstellung geht selbstverständlich der Strom ganz überwiegend durch die weichere Röhre. Um die Röhren möglichst auf gleichen Härtegrad bringen zu können, wählte ich für die Mehrzahl der Bestimmungen zwei Platin-Eisen-Röhren Voltohm  $\epsilon$  aus, deren Vakuum sich leicht regulieren lässt. Wenn die von beiden Röntgenröhren hervorgerufenen Helligkeiten nicht gleich sind, so müssen vor der Durchlässigkeitsbestimmung die Röhren auf der Bahn so verschoben werden, dass beide Hälften des Gesichtsfeldes gleich hell aufleuchten. Um die Durchlässigkeit von Blut bezw. Blutserum für Röntgenstrahlen zu bestimmen, wurden die oben beschriebenen Metallkästen verwendet, deren zwei durchleuchtete Flächen aus paraffingetränktem Papier bestanden, nur für die ersten von mir angestellten Versuche kamen Durchleuchtungsgefässe mit 0,2 mm dicken Aluminiumwandungen in Anwendung. Vor der einen Hälfte des Gesichtsfeldes wurde der gefüllte Kasten so aufgestellt, dass die Strahlen senkrecht zu der Papierfläche durchtraten, vor die andere Seite des Gesichtsfeldes kam ein entsprechender leerer Kasten. Von den Geweben wurden entweder Platten möglichst gleicher Dicke untersucht oder es wurden die Durchleuchtungskästen mit dem betreffenden Gewebe angefüllt, wodurch die richtige Dicke der Schicht von 1, 2, 3 und 4 cm garantiert war. Die Gewebe waren frisch vom pathologischen Institut zur Verfügung gestellt.

Als Beispiel einer derartigen Bestimmung folge hier ein Versuchsprotokoll, in welchem  $>$  grössere Helligkeit,  $<$  geringere Helligkeit = gleiche Helligkeit des rechten Gesichtsfeldes am Fluoreszenzschirm gegenüber dem linken bedeutet:

Versuch V. Röhren Voltohm  $\epsilon$ . Mittelweich. Widerstand der rechten Röhre entspricht einer Funkenstrecke von 10,0 bis 10,5 cm, der linken von 10,5 bis 11,0 cm. Gleiche Helligkeit der Gesichtsfelder besteht, wenn die rechte Röhre in 40 cm, die linke in 43 cm Abstand steht. Links werden Wasserschichten in Durchleuchtungskästen mit Papierwandung vorgelegt, die Röhre ruhig belassen, rechts die Röhre zur Ausgleichung der Helligkeit verschoben.

Links	Rechts
ohne Wasser	
43 cm	40 cm = (I)
1 cm Wasser	54 cm $>$ 58 cm $<$ 56 cm $>$ 57 cm = (II)
2 cm Wasser	65 cm $>$ 70 cm $<$ 75 cm $<$ 72 cm =
3 cm Wasser	90 cm $<$ 80 cm $>$ 82 cm $>$ 84 cm = 85 cm $<$ 86 cm $<$
4 cm Wasser	90 cm $>$ 105 cm $<$ 100 cm $<$ 95 cm =

Nenne ich nun die Leuchtkraft der rechten Röhre  $L_r$ , so ist die von der linken Röhre auf dem Fluoreszenzschirme entwickelte Intensität gleich  $\frac{L_r}{40^2}$  nach Messung I, die von der linken Röhre nach Vorlegung von 1 cm Wasser daselbst entwickelte Intensität ist nach Messung II gleich  $\frac{L_r}{57^2}$ , so ist also die Durchlässigkeit

$$D = \frac{40^2}{57^2} = 0,4925 = 49,25\%$$

In analoger Weise berechnen wir für 2 cm 30,85%, für 3 cm 22,68%, für 4 cm 17,73%. Durch die für Berücksichtigung des schrägen Auffallens der Strahlen zu berechnende Korrektur steigen diese Werte für 1 cm auf 53,82%, 2 cm 35,74%, 3 cm 26,62%, 4 cm 21,04%, oder rund 54%, 36%, 27%, 21%.

Die Ergebnisse unserer Bestimmungen enthält die folgende Tabelle:

### A. Wasser.

	Versuch I	Versuch II	Versuch III	Versuch IV	Versuch V	Versuch VI	Versuch VII
Der Widerstand der verwendeten Röhre entsprach einer Funkenstrecke von	5,8 cm	7 cm	9 cm	10 cm	10,5cm	14 cm	24 cm
Die Durchlässigkeit betrug:							
bei 1 cm Dicke der Schicht	46 ‰	59 ‰	61 ‰	59 ‰	54 ‰	69 ‰	69 ‰
" 2 cm " " "	29 ‰	41 ‰	42 ‰	38 ‰	36 ‰	44 ‰	43 ‰
" 3 cm " " "		29 ‰	27 ‰	29 ‰	27 ‰		
" 4 cm " " "					21 ‰		

### B. Blut.

	Versuch VIII (geronnenes Blut)	Versuch IX (Serum)	Versuch X (geronnenes Blut)
Der Widerstand der verwendeten Röhre entsprach einer Funkenstrecke von	9 cm	19 cm	21 cm
Die Durchlässigkeit betrug:			
bei 1 cm Dicke der Schicht	59 ‰	69 ‰	74 ‰
" 2 cm " " "	38 ‰	56 ‰	53 ‰
" 3 cm " " "	22 ‰	42 ‰	36 ‰
" 4 cm " " "	17 ‰		29 ‰
" 5 cm " " "			23 ‰

### C. Muskulatur.

Versuch XI	Versuch XII	Versuch XIII
10,5cm	16 cm	16 cm
57 ‰	64 ‰	69 ‰
38 ‰	50 ‰	50 ‰
28 ‰	40 ‰	38 ‰

### D. Gehirn.

### E. Einzelbestimmungen.

	Weiche Röhre	Mittelweiche Röhre
Haut, Subkutangewebe und Muskelschicht, insgesamt 9 mm dick:	49 ‰	58 ‰
Haut und subkutanes Fettgewebe, 12 mm dick:		49 ‰
Desgleichen in doppelter Schicht, 24 mm dick:		27 ‰
Bauchhaut (2 mm) mit 26 mm dicker Fettschicht:		37 ‰
Schicht von Fettgewebe von 15 mm Dicke:		63 ‰

Anmerkung: In den Versuchen I, II, III befand sich das durchleuchtete Wasser in Kästen, deren durchleuchtete Wände aus 0,2 mm starkem Aluminium bestanden, während auf der anderen Seite des Photometers 0,4 mm Aluminium vorgelegt wurden; in allen anderen Versuchen wurden Metallkästen verwandt, deren durchleuchtete Wände aus paraffingetränktem Papier bestanden.

Das wesentliche Ergebnis der vorstehenden Tabelle wird ganz gut durch die Darstellung des Versuches VIII und X über die Durchlässigkeit des Blutes in Kurven veranschaulicht, in denen jeder Punkt der Kurve den Prozentsatz der in der betreffenden Schicht noch vorhandenen Intensität angibt, unter der Voraussetzung, dass auf die Oberfläche des Blutes eine Intensität von 100 ‰ auftraf.

Man erkennt, dass die Intensität der Röntgenstrahlen sowohl bei der Verwendung der harten wie der mittelweichen Röhre rasch absinkt, um in 5 cm unter 25 ‰ herunterzugehen.

Die Bestimmung der Durchlässigkeit von geronnenem Blut und Blutserum ergab keine wesentliche Differenz, ausserdem wurde im Versuch X bei jeder einzelnen Bestimmung das Gefäß mit geronnenem Blut durch ein solches mit Blutserum ersetzt, ohne dass dadurch eine Änderung in der Helligkeit des Fluoreszenzschirmes bedingt gewesen wäre. Ich glaube

daher, da Blutserum und geronnenes Blut die gleichen Werte lieferten, diese auch als für Blut schlechthin als gültig betrachten zu dürfen.

Eine wesentliche Differenz zwischen der Durchlässigkeit von Blut und Muskulatur ergab sich nicht, ebenso kamen die für Blut und Muskulatur gefundenen Werte denen für Wasser sehr nahe — in Übereinstimmung mit den oben mitgeteilten Beobachtungen.

Man kann aus unseren Bestimmungen die Schätzung wohl begründen, dass bei Verwendung mittelweicher Röhren (von 7—10 cm Schlagweite) die Intensität in den Weichteilen des menschlichen Körpers in 1 cm Tiefe auf 50—60%, in 2 cm Tiefe auf 35—45%, in 3 cm Tiefe auf 20—30% herabgesunken ist. Für grössere Tiefen als 5 cm waren Bestimmungen mit der angewendeten photometrischen Methode leider nicht ausführbar, da dabei das Gesichtsfeld zu dunkel wurde, um exakte Vergleiche zuzulassen. Immerhin hat schon die Feststellung des Absinkens der Röntgenstrahlenintensität in den ersten 3 cm eine gewisse Bedeutung für die Radiotherapie. In einer anderen Arbeit<sup>1)</sup> habe ich darzulegen versucht, inwiefern die Durchlässigkeit der Gewebe der Wirkung der X-Strahlen eine Grenze setzt, und wie diese genauer bestimmt werden kann, sobald ausser der Durchlässigkeit noch gemessen sein wird, um wieviel die Intensität, die das Carcinom zur Rückbildung bringt, geringer ist als die, welche für die Zellen der Haut das Maximum des Zulässigen darstellt. Die Bestimmung dieser Differenz stellt eine weitere Aufgabe dar, deren Lösung an dieser Stelle nicht angegriffen werden soll.

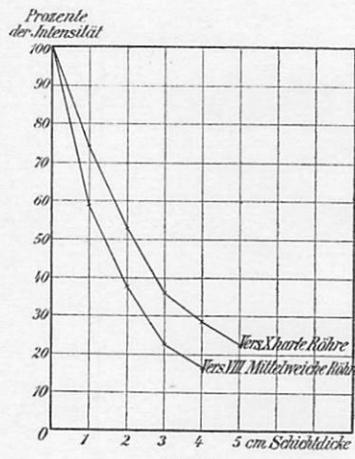


Fig. 2.

Stellt man alle in der Tabelle mitgeteilten Versuchsergebnisse in Kurven dar, so ergibt sich, dass diese Kurven alle in sehr ähnlicher Weise absinken. Eine wesentliche Differenz besteht nicht zwischen den Versuchen mit den verschiedenen Stoffen, wohl aber zwischen den Versuchen mit verschieden harten Röhren. Die Versuche mit härteren Röhren, deren Widerstand einer grösseren Funkenstrecke entspricht, ergaben im allgemeinen Kurven, die weniger rasch absinken, oder mit anderen Worten, die Durchlässigkeit ist bei harten Röhren messbar grösser. (Vergleiche die Kurven X und VIII miteinander.)

Diese Thatsache kommt für die Radiotherapie in Betracht. Es ist klar, dass bei Verwendung durchdringungsfähiger Strahlen die physiologische Wirkung in grössere Tiefe reichen muss, denn das Minimum, welches eben noch eine physiologische Wirkung entfaltet, ist erst in grösserer Tiefe erreicht. Es muss jedoch dabei bedacht werden, dass dieselbe Strahlungsintensität von harten Strahlen nicht dieselbe Wirkung haben kann, wie die von weichen, denn es wird von einer bestimmten Intensität „harter“ Strahlen, die eine Gewebsschicht durchdringt, von dieser eben wegen ihrer grösseren Durchdringungsfähigkeit nur ein kleinerer Bruchteil absorbiert als von einer gleichen Intensität „weicher“ Strahlen. Die physiologische Wirkung aber kann nur dem absorbierten, nicht dem durchdringenden Strahlenquantum proportional sein und ist daher bei den durchdringungsfähigen Strahlen kleiner. — Ferner ist es noch nicht untersucht, ob der gleichen absorbierten Menge „harter“ Strahlen, eine andere, geringere physiologische Wirkung zukommt als der weichen. — Diese Fragen können hier nur angedeutet, nicht beantwortet werden. Hier soll nur darauf hingewiesen werden, dass die Thatsache der messbar grösseren Durchlässigkeit harter Röhren insofern praktische Bedeutung haben dürfte, als man durch Verwendung harter Röhren die Tiefenwirkung steigern kann. Die Messungen zeigen aber, dass man sich von dieser Verwendung harter Röhren nicht zuviel versprechen darf. Denn auch an der Kurve von dem mit einer sehr harten Röhre angestellten Versuch X

<sup>1)</sup> Archiv f. klin. Chir. Bd. 74, S. 421.

erkennt man ein rasches Absinken (vergl. Fig. 2). Auch in dem von harten Röhren ausgehenden Strahlengemisch sind offenbar eine grosse Menge absorptionsfähiger wenig durchdringender Strahlen enthalten, welche dann in den oberflächlichen Schichten zurückgehalten werden und das rasche Absinken der Intensitätskurve erklären.

Besser als bei der Verwendung möglichst harter Röhren erhält man eine auf die durchdringungsfähigen Strahlen beschränkte Wirkung meines Erachtens durch die Filtrierung der Strahlen. Wenn eine Röntgenstrahlung mehrere gleich dicke und gleichartige Schichten hintereinander durchdringt, so absorbiert die zweite Schicht nicht denselben Bruchteil der sie treffenden Strahlung wie die erste, vielmehr einen geringeren, oder anders ausgedrückt, die Durchlässigkeit ist in jeder nächstfolgenden Schicht eine grössere als in der höheren. In dem Versuche IV (Tabelle) wurde durchgelassen vom ersten Centimeter: 59%, vom zweiten Centimeter: 38% der auftreffenden Strahlung. Nach dem ersten Centimeter waren also noch 59% der ursprünglichen Strahlung vorhanden, und von diesen wurden in der zweiten Schicht 38 Teile oder 64% der in die zweite Schicht eintretenden 59 Teile durchgelassen. Berechnet man in dieser Weise die Durchlässigkeit jeder einzelnen Schicht, so ergibt sich:

Die Durchlässigkeit bei Versuch:	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
im 1. Centimeter	56	59	61	59	54	69	69	59	69	74	57	64	69
„ 2. „	63	69	69	64	66	64	62	64	81	72	67	78	72
„ 3. „	—	70	64	76	75	—	—	58	75	68	74	80	76
„ 4. „	—	—	—	—	77	—	—	77	—	80	—	—	—
„ 4. „	—	—	—	—	—	—	—	—	—	79	—	—	—

also im allgemeinen eine Zunahme der Durchlässigkeit in den tieferen Schichten. v. Röntgen hat auf diese Erscheinung in seiner zweiten Mitteilung aufmerksam gemacht und schliesst aus seinen Durchlässigkeitsbestimmungen aus Aluminium, Glas und Stanniol wie folgt: „Denkt man sich die untersuchten Körper in gleich dicke zu den parallelen Strahlen senkrechte Schichten zerlegt, so ist jede dieser Schichten für die in sie eindringenden Strahlen durchlässiger als die vorhergehende.“ Die Erklärung dürfte darin zu finden sein, dass in der tieferen Schicht der Charakter des Strahlengemisches ein anderer ist als in einer oberflächlichen Schicht, weil die leichter absorbierbaren Strahlen in den oberflächlichen Schichten zurückgehalten werden.

Es wird das deutlich durch folgendes Experiment veranschaulicht. Ich brachte vor die eine Gesichtsfeldhälfte des Röntgenphotometers eine Schicht von 2 cm Wasser und stellte durch Verschiebung der zweiten Röhre gleiche Helligkeit beider Gesichtsfeldhälften her, darauf legte ich vor jede Gesichtsfeldhälfte eine Aluminiumplatte von 1 mm Dicke. Dann erscheint nun die Seite, auf der das Wasser steht, wesentlich heller als die andere, trotzdem vorher die Gesichtsfelder beiderseits gleich hell waren und beiderseits gleiche Aluminiumschichten vorgelegt wurden. Die Erklärung kann nur die sein, dass der Charakter der Strahlen, die das Wasser passiert haben, sich geändert hat, dass die Intensität im ganzen zwar durch die Absorption vermindert, die durchschnittliche Durchdringungsfähigkeit aber sich vergrössert hat.

In einer früheren Arbeit<sup>1)</sup> machte ich darauf aufmerksam, dass es möglich sein müsse, die Tiefenwirkung bei der Radiotherapie dadurch zu steigern, dass man die weichen von den harten Strahlen durch ein Strahlenfilter, also durch eine vorgelegte Stanniollage, oder eine Schicht Aluminium trennt, so die Durchdringungsfähigkeit des Strahlengemisches steigert, und die dadurch bedingte Herabsetzung der gesamten Strahlungsintensität durch längere Exposition ausgleicht. Die vorstehenden Versuche dürften beweisen, dass die diesem Vorschlage zu Grunde liegenden Vorstellungen richtige waren. Es wäre wünschenswert, exakt zu bestimmen, um wie-

<sup>1)</sup> Arch. für klin. Chir. Bd. 71, Heft 4.

viel durch den genannten Vorschlag die Grenze der physiologischen Wirkung insbesondere auf das Carcinom in die Tiefe vorgeschoben wird. Doch wird das erst möglich sein, wenn auch über die Absorption dickerer Schichten als 4 cm Weichteile Bestimmungen gemacht sein werden, Bestimmungen, für welche die photometrische Methode, deren wir uns bedienen, nicht ausreichte.

Mögen zum Schluss die wesentlichen Ergebnisse der vorstehenden Versuche zusammengefasst werden:

1. Die Durchlässigkeit der Weichteile des menschlichen Körpers, mit Ausnahme von den Geweben, die spezifisch leichter sind als Wasser — Lunge und Fettgewebe — kommt der des Wassers ausserordentlich nahe. Nur Lunge und Fettgewebe sind durchlässiger als Wasser, die übrigen Weichteile einander ziemlich gleich und sehr wenig undurchlässiger als Wasser.

2. Bei Bestrahlung des Körpers sinkt die Intensität der Röntgenstrahlen von der Körperoberfläche nach dem Körperinnern zu rasch ab. Bei Verwendung von mittelweichen Röhren ist in 1 cm Tiefe nur 50—60%, in 2 cm Tiefe nur 35—45%, in 3 cm Tiefe nur 20—30% der ursprünglichen Intensität vorhanden.

3. Die Intensitätsabnahme erfolgt langsamer bei der Verwendung harter Röhren, aber auch in diesem Falle sinkt die Intensität im vierten Centimeter unter 40%, im fünften unter 25% des ursprünglichen Wertes herab.

4. Die Intensitätsabnahme in der Tiefe erfolgt merklich langsamer, wenn auf die Körperoberfläche eine absorbierende Schicht — etwa 1 mm Aluminium — gelegt wird.

Aus der chirurgischen Abt. des städt. Krankenhauses Moabit-Berlin. Direktor: Geh. Med.-Rat Prof. Dr. Sonnenburg.

## Beitrag zur Lehre von den Funktionsstörungen im Ellbogengelenk mit besonderer Berücksichtigung der Ulnarislähmungen.

Nach stereoskopischen Röntgenbildern.

Von

Dr. Max Cohn, Assistenzarzt.

(Hierzu Tafel I—III und Tafel IV, Fig. 1.)

Von jeher haben die Frakturen des Ellbogengelenks der klinischen Diagnose besondere Schwierigkeiten bereitet. Hierin Wandel zu schaffen, war der Radiographie in ausgezeichneter Weise vorbehalten. Aber bevor man auf diesem Wege zu einwandfreien Resultaten gelangte, mussten mancherlei Klippen überwunden werden. Die erste Schwierigkeit war es, die komplizierten Ellbogen-Röntgogramme richtig zu deuten. Handelte es sich doch bei diesen Verletzungen zumeist um Affektionen des kindlichen Alters, wo gerade das Ellbogengelenk mit seinen zahlreichen Epiphysknorpeln und Knochenkernen den Bildern ein kompliziertes Aussehen verleiht, das wiederum die Erklärung in besonderer Weise erschwert. Nicht wenig haben die eingehenden Studien Jedlickas über die topographische Anatomie des Ellbogen-Röntgogrammes dazu beigetragen, die obwaltenden Verhältnisse zu klären. Unseren Studien, welche die neue Wissenschaft erheischte, fast noch vorausgeeilt sind die Verbesserungen des Röntgen-Instrumentariums, die der technisch höchsten Vollendung nahegerückt sind. Wenn nun auch die Diagnostik der Ellbogenfrakturen durch die Radiographie ungemein gewonnen hat, so kann man das nicht in gleicher Weise von den therapeutischen Fortschritten behaupten.