

Aus der Universitätsfrauenklinik in München.  
(Direktor: Geheimrat Doederlein.)

**Eine Methode zu quantitativen und qualitativen  
Messungen von Röntgenstrahlen.**

Von Ernst von Seuffert, I. Assistent der Klinik.

Als verlässlichste und wissenschaftlich einwandfreie Messungen strahlender Materie sind die mittels Ionisation allgemein anerkannt. Die staatlichen Prüfungsanstalten (Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Charlottenburg, K. K. Radiuminstitut in Wien) benutzten sie bekanntlich fast ausschließlich.

Durch das von einer deutschen Firma (Reiniger, Gebbert & Schall) hergestellte Iontoquantimeter von Szilard ist

jetzt wohl jedem Röntgenologen die Möglichkeit gegeben, auch an Röntgenapparaten Ionisationsmessungen vorzunehmen.

Auf dieses Instrument hat zuerst Th. Christen in seiner Monographie<sup>1)</sup> aufmerksam gemacht. Die dort besprochene ursprüngliche Form des Quantimeters besaß noch eine, empirisch für mittlere Härtegrade geeichte Skala in Kienböck-einheiten. Die neueren Instrumente sind nach der von Szilard vorgeschlagenen absoluten Einheit, „Mega-Megaion“ geeicht. Darin besteht ja gerade der Hauptvorteil dieses Quantimeters, daß es unter den gleich nachher zu besprechenden Voraussetzungen für alle Härtegrade absolute physikalische Werte, gibt.

Die Übersetzung der Szilardschen Originalpublikation findet sich „Strahlentherapie“ Bd. 5 S. 724 ff., eine eingehende Besprechung des „Iontoquantimeters“ von Hans Meyer Zentralblatt für Gynäkologie 1914, Nr. 47.

Die Iontometrie beruht auf der Tatsache, daß durch Absorption von gewissen Strahlen Luft ionisiert und dadurch elektrisch leitend wird.

Die „Ionisationskammer“ des Szilardschen Instrumentes enthält genau 1 cm<sup>3</sup> Luft. Dieser Luftraum ist durch eine gut isolierte Leitung mit einem Elektrometer verbunden, das auf ein bestimmtes Potential geladen werden kann. Dringen nun durch das 1 qcm große, aus sehr dünnem Aluminiumblech gebildete „Fenster“ der Ionisationskammer Strahlen ein, so wird der Kubikzentimeter Luft ionisiert und dadurch leitend. Infolgedessen wird, je nach der Intensität dieser Ionisation, das Elektrometer mehr oder weniger rasch entladen. Die zur Entladung von 0 auf 1,0 der Skala nötige Energiemenge beträgt 10<sup>12</sup> Ionen = 1 „Mega-Megaion“.

Gemessen wird die Zeit, deren es bedarf, um durch die zu untersuchende Strahlung in der Ionisationskammer dieses 1 Mega-Megaion zu erzeugen, das bei der bestimmten Ladung des Elektrometers gerade den Abfall von 0 bis 1,0 bewirkt.

Diese Zeit ist umgekehrt proportional, also die Schnelligkeit der Entladung direkt proportional, der Menge der in der Ionisationskammer absorbierten Strahlen.

Die Größe dieser Absorption ist wieder direkt proportional der Gesamtmenge Strahlen, von der die Kammer getroffen wird (Flächenintensität), und umgekehrt proportional der Durchdringungskraft (Härte) dieser Strahlen; denn stark penetrierende (harte) Strahlen werden weniger absorbiert als schwächer durchdringende (weiche), z. B.:

Angenommen, die Entladung erfolgt in relativ kurzer Zeit, so kann dies bewirkt sein entweder dadurch, daß die Kammer von einer relativ kleinen Gesamtmenge weicher Strahlen getroffen wird; da von diesen weichen Strahlen ein sehr großer Anteil absorbiert wird, so ist die Ionisationswirkung stark; oder dadurch, daß die Kammer von einer sehr großen Menge harter Strahlen getroffen wird; von solchen wird zwar nur ein geringer Prozentsatz absorbiert, infolge der großen Gesamtmenge genügt dieser aber doch, um eine rasche Entladung zu bewirken.

Ist eine Strahlung qualitativ homogen, d. h. besteht sie aus lauter gleich durchdringenden Strahlen, deren Absorptionskoeffizient bekannt ist, so ergibt sich aus der Entladungszeit unmittelbar die Größe der Strahlengesamtmenge. Dies ist z. B. (praktisch) bei reiner  $\gamma$ -Strahlung der Fall. Die so gefundene Größe kann entweder in dem absoluten Wert nach Mega-Megaion ausgedrückt werden, oder man erhält relative Werte durch Vergleich mit einem Standard oder irgendeinem anderen Vergleichsobjekt.

Handelt es sich aber, wie stets bei Röntgenstrahlen, um ein Gemisch verschieden durchdringender Strahlen, so bedarf man zur Feststellung der Gesamtmenge und des prozentualen Anteils jeder Strahlenqualität noch weiterer Maßnahmen. Dann ergibt sich prinzipiell folgende Versuchsordnung:

Man stellt zunächst die Entladungszeit durch unfiltrierte Strahlung fest. Dann schaltet man sukzessive Filter ein.

Wird durch das Filtrieren der Strahlen die Ionisation rasch schwächer, die Entladungszeit also länger, so beweist dies, daß die Ionisationswirkung der unfiltrierten Strahlung durch einen relativ großen Anteil weicher Strahlen verursacht war, die schon durch schwache Filter ausgeschaltet werden.

Wird umgekehrt, trotz starker Filtration, die ursprüngliche Entladungszeit nur wenig verlängert, so war auch die anfängliche Ionisation ganz oder fast ganz durch harte Strahlen bewirkt, die, im Gegensatz zu weichen, auch durch starke Filter fast ungeschwächt weiter ionisierend wirken.

Auf solche Weise kann man durch Wahl geeigneter Filter und langsames Steigern der Filterwirkung allmählich ein Strahlungsgemisch in seine verschieden durchdringenden Komponenten zerlegen und deren prozentualen

Anteil feststellen. Die oben genannten absoluten oder relativen Werte ergeben sich schließlich durch einfache Berechnung.

Diese „Filteranalyse“ der Röntgenstrahlen dürfte für die Strahlentherapie zurzeit mehr praktisch Brauchbares leisten als bisher die noch mit großen Schwierigkeiten kämpfende Spektralanalyse.

Bei inkonstanten Strahlenquellen, also bei allen Röntgenstrahlungsmessungen, ist dabei aber noch Folgendes zu beachten: Brauchbare Werte geben Messungen zur Feststellung der qualitativen Zusammensetzung nur dann, wenn bei allen Bestrahlungen, ohne und mit Filtern, einer Versuchsserie die Betriebsverhältnisse (Röhrenhärte, Belastung etc.) ein- und derselben Apparaturen vollkommen die gleichen sind; denn nur dann ist man sicher, daß Veränderungen der Ionisation ausschließlich auf die jeweiligen Filterwirkungen zurückzuführen sind und nicht etwa auf Betriebsänderungen, z. B. auf ein Weicher- oder Härterwerden der Röhren etc.

Bei der Untersuchung von Röntgenstrahlen ist es daher notwendig, gleichzeitig mit wenigstens zwei (am besten gleichmäßig geladenen) Iontoquantimetern zu arbeiten, und zwar in folgender Weise:

Die die Ionisationskammer des einen Quantimeters treffende Strahlung wird jeweils durch Filtrierung geändert. Die Kammer des zweiten, des Kontrollinstrumentes, muß aber bei allen Versuchen unter gleichen Bedingungen bestrahlt sein; also immer unfiltriert oder immer in gleicher Weise filtriert. Dann wird, solange der Röntgenapparat gleichmäßig arbeitet, auch die Entladungszeit des Kontrollquantimeters stets die gleiche sein.

Sobald aber eine Änderung im Betrieb, etwa der Röhrenhärte, eintritt, wird dies sofort an dem infolgedessen auch veränderten Abfall des Kontrollinstrumentes erkennbar: der betreffende Versuch ist gestört und muß unter den richtigen Bedingungen wiederholt werden.

Damit beide Kammern, die des Haupt- und die des Kontroll-Quantimeters, wirklich gleichwertige Strahlung bekommen, müssen:

1. die zwei Kammern zu beiden Seiten der Anoden-Kathodenlinie einer Röhre liegen, also nicht etwa die eine unter der Anoden-, die andere unter der Kathodenhälfte; denn gleichwertig ist nur die Strahlung der beiden seitlichen Hälften einer Röhre;

2. muß die Röhre genau zwischen die beiden Kammern zentriert sein.

Endlich ist, wie bei jeder Ionisationsmessung, Folgendes zu beachten:

- a) daß Strahlen ausschließlich durch die Fenster der Ionisationskammern in die Quantimeterleitungen eintreten können. Beim Arbeiten mit sehr harten Strahlen genügt hierzu die an sich schon sorgfältige Isolierung aller Quantimeterteile nicht. Es sind weitere Schutzmaßregeln nötig;

- b) daß bei Vergleichsversuchen auch Temperatur und Luftfeuchtigkeit des Raumes möglichst gleich sein sollen;

- c) daß jede fremde Strahlenwirkung (etwa durch in der Nähe befindliche radioaktive Substanzen) ausgeschlossen wird;

- d) daß die Iontimeter geerdet und genau mit ihren Wasserwagen eingestellt werden müssen.

Zur Ausführung solcher Messungen haben sich mir die nachstehend skizzierten und beschriebenen Vorrichtungen bewährt (siehe Figg. 1 u. 2 Seite 799).

Die Iontometerkästen und der Untersuchende befinden sich hinter einer der gebräuchlichen Bleischutzwände mit Bleiglasfenstern. (Auf der Abbildung ist der obere Teil der Schutzwand weggelassen.) Die Schlauchleitungen sind von der Stelle, wo sie hinter der Schutzwand hervortreten, bis zu ihrem Eintritt unter die Decke des Bestrahlungstisches von biegsamen, 2—3 mm starken Bleiblechrohren umhüllt.

Ein solcher Bestrahlungstisch kann leicht von jedem Tischler hergestellt werden. Er besteht aus einer 150 cm langen, 50 cm breiten Platte. Auf dieser sind zwei 2 cm (der Höhe der Ionisationskammer entsprechend) dicke Längsbretter so befestigt, daß zwischen ihnen die Ionisationskammern mit den distalen Stücken der Schlauchleitungen gelegt und fixiert werden können. Ein durch vier Handheben abhebbarer, mit mindestens 3 mm dickem Bleiblech überzogener Deckel bedeckt alles, mit Ausnahme der beiden Kammerfenster. Unter-

Fig. 1.

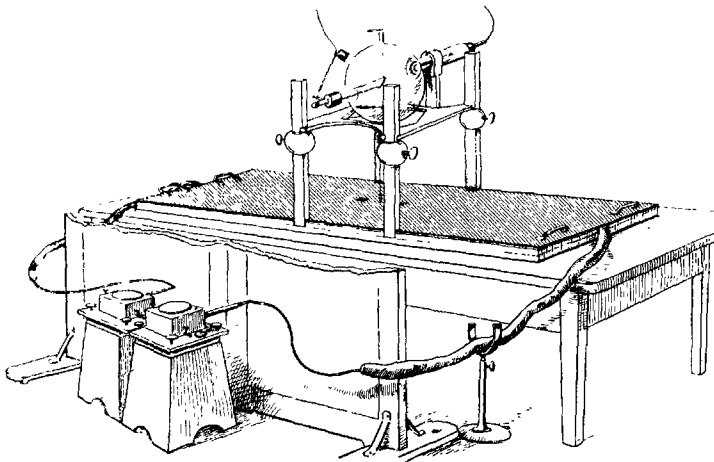
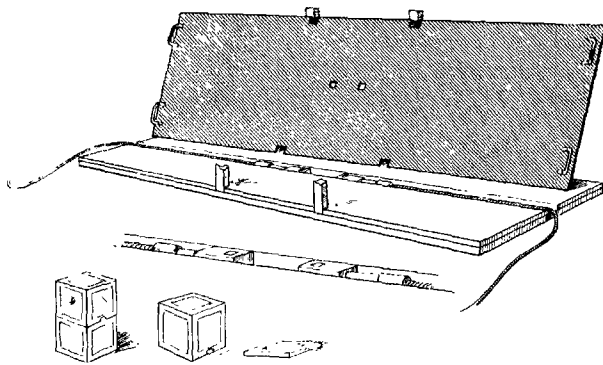


Fig. 2.



suchungen mit  $\gamma$ -Strahlen radioaktiver Substanzen erfordern aber noch eine bedeutend stärkere Bleiabdeckung.

Die vier senkrechten Holzpfosten tragen die Röhre mit oder ohne Schutzkasten. An ihnen befinden sich die Vorrichtungen zur genauen Einstellung und Fixierung des Röhrenabstandes sowie zur Zentrierung der Röhre.

Alle, auch sehr dicke, Filter (z. B. dicke Fleischstücke) können bei nicht zu kleinem Abstand, ohne diesen zu ändern, einfach zwischen Röhre und Ionisationskammer eingeschoben werden. Dann bleiben die Dispersionsverhältnisse stets die gleichen, was die Berechnung sehr vereinfacht.

Zur genauen Fixierung des Volumens von Fleischfiltern dienen Schubkästchen aus dünnen Zelluloidplatten, mit genauen Lichtmaßen. Sie werden ohne Druckanwendung mit einem eher etwas zu großen Fleischstück ausgefüllt, dessen oberstehende Teile dann sorgfältig abzutragen sind. Deckel- und Bodenplatte können zur Bestrahlung entfernt werden, die Seitenwände genügen, um das Fleischstück dauernd in gleicher Form und Höhe zu halten. Bei dem minimalen Absorptionskoeffizienten des Zelluloids wurde aber auch die Belastung von Deckel und Boden keinen praktisch in Betracht kommenden Fehler verursachen.

Ueber ausgedehnte, nach dieser Methode angestellte Versuche beabsichtige ich später ausführlich zu berichten. Nur um zu zeigen, was für interessante Resultate z. B. Vergleichsversuche mit verschiedenen Röntgenapparaten ergeben, seien hier einige mit drei der modernsten Instrumentarien gewonnene Ergebnisse angeführt (siehe Tabelle).

Diese Tabellen reden eine so klare Sprache, daß man sich aus ihnen ohne weiteres ein Urteil darüber bilden kann, welcher der drei Apparate für die sehr verschiedenen Bedürfnisse der Praxis jeweils der geeignetste sein wird. Der beste Beweis für die Richtigkeit dieser theoretischen Erwägungen ist, daß sie bereits weitgehend durch praktische Erfahrungen bestätigt sind.

Für eine Tieftherapie, zu der schon relativ nicht große Mengen harter Strahlen genügen (z. B. für die Behandlung von Myomen und Metropathien), eignet sich am besten der „Apex“ mit „Dura“-Röhren, und zwar aus folgenden Gründen:

Er liefert hierfür genügende Mengen harter Strahlen. Sein Strahlengemisch enthält allerdings ziemlich viel weichere Strahlen, die zwar den stets eingeschalteten 3 mm-Aluminiumfilter noch durchdringen, dann aber alle von den oberen Gewebsschichten absorbiert werden. Aber dieser Anteil ist doch nicht so groß, daß da, wo eine relativ kleine Gesamtdosis zum therapeutischen Erfolg genügt, Schädigungen entstünden.

Tatsächlich benutzt ihn die Doederleinsche Klinik seit über einem Jahr für ihre sehr zahlreichen Myom- und Metropathiebehandlungen ausschließlich mit bestem Erfolg.

Entschieden vorzuziehen ist der „Apex“ für diese Zwecke dem „Veifa“-Apparat, weil eine Therapie mit diesem infolge dessen absolut weit geringerer quantitativer Ergiebigkeit einen etwa fünffachen Zeitaufwand erfordern würde. Das günstigere Mischungsverhältnis der „Veifa“-Strahlung ist für solche therapeutische Zwecke nicht erforderlich.

Das „Polyphos“-Instrumentarium würde, bei noch weit günstigerem Mischungsverhältnis, allerdings an harter Strahlung gleiche Mengen (Tabelle IV d und e) in gleicher Zeit ergeben. Sein Betrieb aber ist, wie der jedes überwiegend harte Strahlung liefernden Apparates, schwieriger als der wirklich sehr angenehme des „Apex“.

Erhöhte technische Anforderungen stellen solche Fälle, zu deren Behandlung die gewöhnlichen harten und sehr harten Röntgenstrahlen zwar qualitativ genügen, aber nur in viel größeren Mengen.

Für das Material unserer Klinik kommt diese Art der Strahlentherapie kaum in Betracht, denn für die Behandlung der Myome etc. genügen relativ kleine Strahlenquantitäten, und bei gynäkologischen Karzinomen nützen nur qualitativ wesentlich andere ( $\gamma$ -strahlengleiche) Strahlungen. Dagegen scheint eine solche Therapie gute Erfolge zu haben bei einer Reihe chirurgischer und interner Krankheiten.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Hierüber sind erschienen Publikationen von: Exzellenz v. Angerer, Grashey und Fischer aus der Münchener Chirurgischen Klinik (Bruns Beiträge 45. H. 3. IV. Versammlung der Vereinigung bayerischer Chirurgen), Alwens, Verhandlungen des Deutschen Kongresses für innere Medizin 1914\* Chr. Müller, (Immenstadt) ibid. u. a.

Die Apparaturen wurden stets nach Möglichkeit in der von ihren Konstrukteuren jeweils als „Optimum“ angegebenen Weise (Röhrenhärte, Belastung u. a.) betrieben.	Apparat. Röhre:			„Apex“ (Reiniger) „Dura“			„ $\gamma$ -Apparat“ (Veifa) „ $\gamma$ -Röhre“ (Härte $\mu = 0,21$ nach Dessauer)			„Ultratur“ (Polyphos)* „Ultratur“-Zusammenstellung		
	Abstand des Focus von dem Ionisationskammer-Fenster			50 cm			50 cm			50 cm		
Art und Dicke der jeweils verwendeten Filter.	Sekundäre Belastung.			5–4 Millamp.			1 Millamp.			ungefähr 1 Millamp.		
	I.			II.			III.			IV.		
	Entladungszeit in Sekunden, d. h. Zahl der Sekunden, innerhalb welcher das Ionquantimeter von 0 bis 1,0 (= 1 Mega-Megaton) abliest			Nimmt man die absolut kürzeste Entladungszeit = 66 als Einheit für alle anderen und dividiert mit dieser die Zahlen der anderen Entladungszeiten, so erhält man folgende Verhältniszahlen:			Nimmt man dagegen für jede Apparatur ihre kürzeste Entladungszeit als Einheit und dividiert mit dieser die anderen Entladungszeiten der gleichen Apparatur, so erhält man die Verhältniszahlen:			Nimmt man als Einheit die kürzeste, jeweils bei ein und derselben Filtrierung gewonnene Entladungszeit und dividiert mit dieser die anderen mit der gleichartigen Filtrierung gewonnenen, so erhält man die Verhältniszahlen:		
	Apex.	Veifa.	Polyphos.)*	Apex.	Veifa.	(Polyphos.)*	Apex.	Veifa.	(Polyphos.)*	Apex.	Veifa.	(Polyphos.)*
a) Unfiltriert . . . . .	66	540	317	1	8,18	48	1	1	1	1	8,18	48
b) 3 mm Aluminium . . . . .	127	960	403	1,92	14,5	6,1	1,92	1,77	1,27	1	7,55	3,14
c) 3 mm Alum. + 1 cm Fleisch . . . . .	203	1477	445	3,08	22,38	6,74	3,08	2,72	1,41	1	7,27	2,19
d) 3 mm Alum. + 10 mm Aluminium . . . . .	329	1859	603	4,98	28,16	9,1	4,98	3,44	1,89	1	5,65	1,83
e) 3 mm Alum. + 10 cm Fleisch . . . . .	1201	6514	1192	18,19	98,69	18,06	18,19	12,06	3,85	1	5,42	0,99

\*) Da das „Ultratur“-Instrumentarium mit einem Rythneur betrieben wird, so sind die tatsächlichen Bestrahlungszeiten noch um mindestens die Hälfte kleiner.

Da von einigen dieser Autoren der „Reform“-Apparat (der auf ähnlichen Prinzipien konstruierte Verläufer des „ $\gamma$ -Apparates“) benutzt wurde, so kann dessen Eignung für eine Therapie mit gesteigerten Dosen gewöhnlich harter Röntgenstrahlen als praktisch bewiesen gelten.

Aus den Tabellen ergibt sich ja auch, daß beim „Veifa“ der ganz in den oberflächlichen Geweben zur Absorption kommende weichere Strahlenanteil prozentual bedeutend kleiner ist als beim „Apex“.

Daß dessen (des Apex) relativ großer, weicher Strahlenanteil eine erhebliche Steigerung der therapeutischen Dosis nicht gestattet, hat sich uns praktisch dadurch erwiesen, daß bei einem Versuch (Karzinomfall), mit dem Apex auf eine Hautstelle erheblich mehr als die übliche Myomdosis von höchstens 25 X zu geben, eine recht unangenehme Hautschädigung entstand. Gleiche Erfahrungen hat mit dem ein ganz ähnliches Strahlengemisch gebenden Vorläufer des „Apex“ Borell gemacht. („Strahlentherapie“ 2. S. 683 ff.)

Das „Ultradur“-Modell und die „Ultradur“-Röhren sind erst jetzt der Praxis übergeben. Klinische Resultate mit ihnen können daher noch nicht vorliegen.

Nach den Zahlen der obigen Tabellen ist es aber wohl nicht zweifelhaft, daß man mit dieser Apparatur mindestens ebenso hohe Strahlendosen ohne Gefahr geben kann, wie mit dem „Veifa“, und zwar in viel kürzerer Zeit (trotz des Rhythineurs!).

Bei manchen Erkrankungen, insbesondere bei vielen Karzinomen, ist aber auch mit außerordentlich großen Mengen sehr harter Röntgenstrahlen der gewöhnlichen Art kein Erfolg zu erzielen, während mit radioaktiven Substanzen ein solcher erreicht werden kann. Dies beweist, daß es hier nicht so sehr auf die Menge als auf eine wesentlich andere Strahlenqualität ankommt. Man braucht Strahlen, deren Durchdringungskraft der der  $\gamma$ -Strahlen des Radiums C und des Mesothoriums gleich- oder doch sehr nahekommt.<sup>1)</sup>

Die Möglichkeit, so harte Strahlen mit Röntgenmaschinen zu erzeugen, wird von manchen Autoren überhaupt bestritten, während einer (Dessauer) sogar glaubt, daß ihm dies schon jetzt gelungen sei.

Zu prüfen, ob eine Röntgenapparatur tatsächlich eine  $\gamma$ -Strahlen gleiche Strahlung aussendet, ist garnicht so schwierig, denn die  $\gamma$ -Strahlung des Radiums C<sup>2)</sup> und des Mesothoriums besitzt eine ihr allein eigentümliche Eigenschaft: Die Fähigkeit, auch die dicken Bleifilter zu durchdringen. So absorbiert z. B. ein 1 cm dickes Bleifilter nur die Hälfte der seine Oberfläche treffenden  $\gamma$ -Strahlen.<sup>3)</sup> Röntgenstrahlen, die wirklich eine ähnliche Härte haben, müssen also Bleifilter ebenso durchdringen.

Ueber Untersuchungen, die wir in dieser Richtung zurzeit mit unseren verschiedenen Röntgenapparaten anstellen, wird später berichtet werden.