



Aus dem Institut für physikalische Grundlagen der Medizin. Universität Frankfurt am Main
(Direktor: Professor Dr. Fr. Dessauer).

Standardisierung in der Röntgenmeßtechnik¹⁾.

Von

B. Rajewsky.

(Mit 3 Abbildungen im Text.)



ronik
B-9
15

Die theoretische und experimentelle Vorarbeit in der Frage der Aufstellung einer physikalischen Einheit zur Messung der Röntgenstrahlenenergie ist durch die Untersuchungen verschiedener Autoren ein gutes Stück vorwärts gegangen. In Gestalt der beiden R-Einheiten haben wir brauchbare Vorschläge; beide haben gewisse Vorteile und Nachteile. Jedoch ist die elektrostatische Einheit mehr ausgearbeitet. Von vielen Röntgengesellschaften und nunmehr auch vom internationalen Kongreß ist diese letztere Einheit als die allgemein gültige Röntgeneinheit angenommen worden. Man kann dies durchaus begründen, doch scheint mir, daß die elektrostatische Einheit nur als eine vorläufige Einheit gelten kann. Die Messung dieser Einheit ist mit experimentellen Schwierigkeiten verbunden und ist gleichzeitig an die inkonstante Emission der Röntgenröhre geknüpft. In einer zwei Jahre zurückliegenden Arbeit²⁾ habe ich einige Vorschläge in dieser Frage gemacht. Diese Vorschläge möchte ich jetzt wiederholen und weiter konkretisieren. Sie beziehen sich einerseits auf die Definition und Herstellung der Einheit, andererseits auf die Methodik ihrer Messung.

1. Definitionen.

Die Standardisierung in der Röntgenmeßtechnik muß angefangen werden mit der Einführung strenger Definitionen der zu messenden physikalischen Größen. Diese Begriffsfestlegung wird am einfachsten durchgeführt durch die Übertragung der in der Optik geltenden Definitionen auf das Röntgengebiet, wie es Dessauer schon 1919³⁾, und seitdem wiederholt, vorgeschlagen hat. Die ungeheure Verwirrung der Ausdrücke, die in der Praxis gebraucht werden (auch die Formulierungen der aufgestellten Einheiten selbst leiden darunter), beweist die absolute Notwendigkeit einer Vereinheitlichung und Normalisierung in dieser Frage. Die Definition einer physikalischen Einheit muß sich naturgemäß physikalischer Begriffe bedienen. Summarische und undefinierte Ausdrücke, wie „Röntgendosis“, die oft auf die auffallende Strahlungsenergie, oft auf die absorbierte Strahlungsenergie bezogen werden, müssen durchaus begrenzt oder vermieden werden.

Die Definition der elektrostatischen R-Einheit enthält leider diese Ungenauigkeit. Sie lautet nämlich: Die absolute Einheit der Röntgenstrahlendosis wird von der Röntgenstrahlenenergiemenge geliefert, die bei der Bestrahlung von 1 cm Luft von 18° C Temperatur und 760 mm Druck bei voller Ausnutzung der in der Luft gebildeten Elektronen und bei Ausschaltung von Wandwirkungen eine so starke Leitfähigkeit erzeugt, daß die bei Sättigungsstrom gemessene Elektrizitätsmenge eine elektrostatische Einheit beträgt. Die Einheit der Dosis wird ein „Röntgen“ genannt und mit „R“ bezeichnet.

Eine physikalische Einheit der Strahlungsenergie darf nicht auf den Begriff der therapeutischen „Dosis“ bezogen werden. Ein und dieselbe Strahlungsenergie kann unter verschiedenen Bestrahlungsbedingungen zu einer verschieden großen „Dosis“ werden, da bekanntlich die Strahlenwirkung in einem Medium von der Energieverteilung im Medium (Strahlungsqualität,

¹⁾ Im Auszug bei der Diskussion der Einheits-Frage auf dem 2. Internat. Rad.-Kongreß zu Stockholm vorgetragen.

²⁾ Fortschr. Röntgenstr. 1926/34.

³⁾ Arch. Gynäk. 1919/100; Strahlenther. 1926/23.

Feldgröße, Fokusabstand usw.) abhängt. Ein R — eine physikalisch wohl definierte Strahlungsenergiemenge — kann deshalb nicht als eine „absolute Einheit der Röntgenstrahlen dosis“ bezeichnet werden. Eine solche Einheit würde sich, wie gesagt, je nach den Versuchsbedingungen ändern. Die Definition einer physikalischen Einheit der Röntgenstrahlenenergie dürfte etwa folgende sein: „Die Einheit der Röntgenstrahlenenergie (ein Röntgen) ist diejenige Röntgenstrahlenenergiemenge, die bei der Bestrahlung von 1 ccm Luft von 18° C Temperatur und 760 mm Druck bei voller Ausnützung der in Luft gebildeten Elektronen und bei Ausschaltung von Wandwirkungen in der Ionisationskammer eine so starke Leitfähigkeit der Luft erzeugt, daß die bei Sättigungsstrom gemessene Elektrizitätsmenge eine elektrostatische Einheit beträgt.“

Die physikalischen Größen, die in der Röntgenmeßtechnik auftreten, sind folgende:

1. Strahlungsenergie — die gesamte überhaupt vorhandene Strahlungsenergie (Erg).
2. Gesamtstrahlungsstrom (Gesamtlichtstrom) — die gesamte von einer Strahlungsquelle nach allen Seiten pro Sekunde ausgestrahlte Energie (Erg/Sek.).
3. Intensität der Strahlung (Lichtstärke) — die durch 1 cm² pro Sekunde normal durchgestrahlte Strahlungsenergie (Erg/cm²).
4. Gesamtbelichtung (Bestrahlung) — die während der Zeit auf 1 cm² Fläche normal auffallende Strahlungsenergie (Erg/cm²).

Die physikalische Einheit der Strahlungsenergie kann entweder nach dem Vorschlag Duanes an die Intensität der Strahlung oder nach Villard, Friedrich, Behnen an die gesamte Strahlungsenergie angeknüpft werden. Mir scheint der erste Vorschlag praktisch vorteilhafter zu sein.

2. Normalisierung der kleinen Ionisationskammer.

Als einen weiteren Schritt in der Standardisierungsfrage hat Verf. seinerzeit die Notwendigkeit einer Normalisierung der Konstruktion von kleinen Ionisationskammern hervorgehoben.

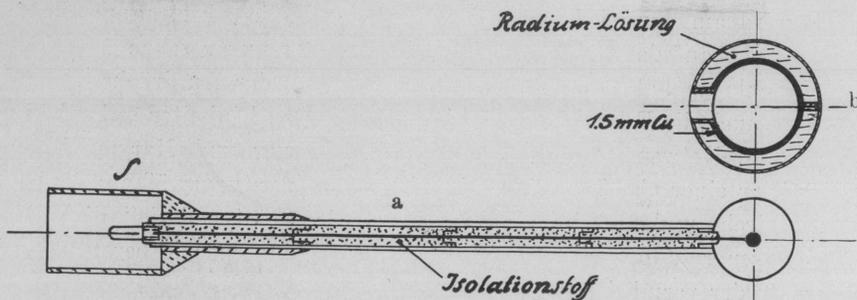


Abb. 1.

Dem schließt sich die Normalisierung der Eichungsmethoden dieser Kammern an. In der Frage der Konstruktion einer kleinen Standardionisationskammer scheint mir die von mir im vorigen Jahre ¹⁾ beschriebene Ionisationskammer eine geeignete Lösung zu sein. Diese Ionisationskammer ist kugelförmig und wird aus dünnem Bakelit oder aus Preßkohle ²⁾ hergestellt. Die Dimensionen des Kammerträgers (Querschnitt) sind klein im Vergleich mit denen der Ionisationskammer. Die schweren Metallteile der üblichen Kammerträgerausführungen, die zum Strahlungs- und elektrostatischen Schutz dienten, sind dadurch beseitigt, daß das Innere des Kammerträgers mit Isolationsmaterial (Bernstein, Ceresin, Schwefel u. dgl.) vollkommen ausgefüllt ist. Der Kammerträger stellt ein Bakelitrohrchen (oder ein Röhrchen aus leichtem Metall, etwa

¹⁾ Vortrag in der Frankf. Röntg.-Ges. am 21. 12. 1927.

²⁾ Nach Anregungen des Verfassers werden die Kuglionisationskammern mit schattenlosem Kammerträger von der Firma S. R. V. nach ihrem ausgezeichneten Verfahren aus Preßkohle mit Luftschutz hergestellt.

0,2 mm starkem Duraluminium) dar von etwa 15 cm Länge und etwa 6 mm Durchmesser, dessen Oberfläche leitend gemacht ist. Im Innern ist das Bakelitrohrchen mit Isolationsstoff (Bernstein) ausgefüllt, wie es auf der Abb. 1a zu sehen ist. Die Kammer ist deshalb bei Messungen in einem Medium schattenlos. Abb. 2a u. b stellt eine Röntgenaufnahme der Kammer in Luft und im Wasser dar. Man sieht, daß die Absorptions- und Streuungsverhältnisse im Kammerträger und

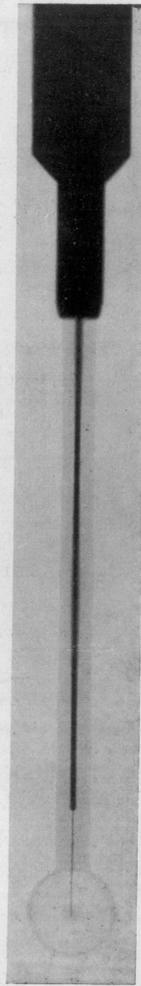


Abb. 2a.

Kammer in Luft.

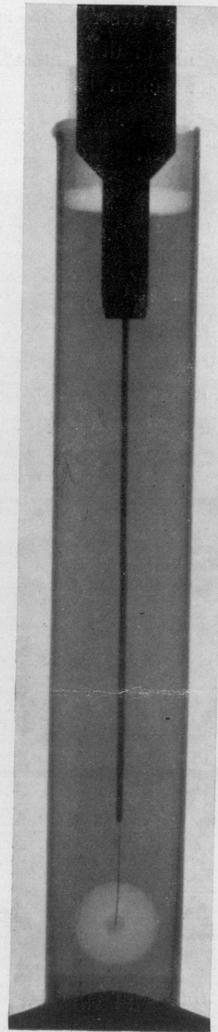


Abb. 2b.

Kammer im Wasser¹⁾.

im Wasser praktisch dieselben sind. Die Umriss des Kammerträgers sind auf dem Bild kaum zu ersehen. Das Ansatzstück *S* gestattet, den Kammerträger mit einem beweglichen oder starren Schlauch und dadurch mit dem Meßsystem zu verbinden. Die Kugelkammer hat etwa 15 mm Durchmesser und 0,5 mm starke Wände. Sie ist mit sogenannter Luftmasse nach *Glocker* und *Kaupp* im Innern angestrichen. Die innere Elektrode ist ebenfalls eine aus Luftmasse hergestellte Kugel von etwa 5 mm Durchm.²⁾. Diese Kammer ist wellenlängenunabhängig (im

¹⁾ Eine solche Aufnahme wurde erstmalig von Herrn Dr. R. Jaeger gemacht. (II. Intern. Rad.-Kongr.)

²⁾ Durch die entsprechende Dimensionierung der Durchmesser der Kammer und der Kugelelektrode kann leicht 1 cem Luft äquivalenter Ionisierungsraum in der Kammer hergestellt werden, so daß ihre Empfindlichkeit unmittelbar 1 R/Sek. gleich wird.

Vergleich zu einer großen Luftionisationskammer) und ist weitgehend von den bekannten Fehlerquellen der kleinen Ionisationskammern, wie Schatteneffekt, Stifteffekt, Richtungseffekt und Absorptionseffekt im Kammerträger, befreit.

Die Eichung der Kammer in physikalischen Einheiten wird mittels eines Radiumpräparates in einfacher Weise ausgeführt. Zu diesem Zweck benutzt man einen Behälter (Abb. 1b) mit Radiumlösung¹⁾ von bekanntem Radiumgehalt. Der Radiumbehälter stellt ein doppelwandiges Gefäß in Kugelform dar, dessen innere Wand der Ionisationskammer genau angepaßt ist, so daß die Ionisationskammer bei der Eichung von allen Seiten von dem Behälter umschlossen wird. Der Zwischenraum zwischen beiden Wänden des Behälters wird durch die Radiumlösung vollkommen ausgefüllt. Zum Zwecke der notwendigen Filterung der Radiumstrahlung hat die innere Wand des Behälters eine vorgeschriebene Dicke und besteht aus vorgeschriebenem Material, so daß nur die Gammastrahlen des Radiums zur Messung benutzt werden. Wie die Versuche zeigen, läßt sich die Eichung schon bei verhältnismäßig kleinen Radiumkonzentrationen der Lösung (unter einem mg Ra-EL.) ausführen. Durch die Wahl der entsprechenden Konzentration der Radiumlösung läßt sich leicht auch ein direkter Anschluß an die elektrostatische Röntgeneinheit herstellen. Die symmetrische Anordnung und genaue dimensionale Festlegung gestattet, jede Eichung einheitlich und ohne ungewollte Einflüsse auszuführen. Unter Voraussetzung einer dünnen Radiumschicht wird bei dieser Anordnung, unabhängig von der Kammerdimension, praktisch die Hälfte der gesamten Radiumstrahlung durch die Ionisationskammer gemessen.

3. Physikalische Einheit der Strahlungsenergie.

Es wurde schon von verschiedenen Autoren hervorgehoben, daß für praktische Zwecke die Radiumeinheit von Winawer-Sachs-Solomon die bequemste ist. Gleichzeitig habe ich aber schon in der oben zitierten Arbeit gezeigt, daß diese Einheit in der von Solomon vorgeschlagenen Form physikalisch nicht einwandfrei ist. Die Untersuchung von Mürdoch und Stahel²⁾ hat diese Ansicht vollauf bestätigt, indem sie die Abhängigkeit der Einheit von der Konstruktion der Ionisationskammer, mit der gemessen wird, zeigte. Diese Abhängigkeit folgt aus dem Umstand, daß Solomon seine Einheit nicht auf die Ionisierung etwa von 1 ccm Luft, sondern auf eine bestimmte Ionisationskammer bezogen hat. Ich habe damals folgende Definition der Einheit vorgeschlagen, die als eine Vereinigung der beiden Einheiten — Radium- und elektrostatischer Einheit — betrachtet werden kann: „Die Einheit der Strahlungsenergie ist diejenige Menge der Strahlungsenergie, die bei normalen Temperatur-, Druck- und Kammerkonstruktionsbedingungen in 1 ccm trockener Luft in einer Sekunde die gleiche Ionisation hervorruft wie 1 g Radiumelement bei normaler Filtrierung und Anordnung gegenüber der Kammer.“ In dieser Definition blieben damals die Fragen der Kammerkonstruktion und dementsprechend die Anordnung des Radiumpräparates gegenüber der Kammer offen. Durch die in § 2 beschriebene Kammerkonstruktion und Eichungsmethode ist heute eine zweckmäßige Vereinfachung dieser Definition möglich, und zwar: „Die Einheit der Strahlungsenergie ist diejenige Strahlungsenergie, die von 1 g Radiumelement gefiltert mit 0,5 mm Platin (bzw. 1,5 mm Kupfer) in 1 Sekunde ausgestrahlt wird. Bei den normalen Temperatur-, Druck- und Luftbedingungen erzeugt diese Strahlungsenergiemenge bei voller Ausnutzung der ausgelösten Elektronen N elektrostatische Einheiten in 1 ccm Luft.“ — Vorläufiger Wert für N ist nach eigenen Messungen (bei 1,0 mm Cu-Filter) etwa $N = 3$. Bei der Benutzung der beschriebenen Eichungsmethode wird diese Einheit durch die Ionisationskammer unmittelbar gemessen, und zwar: $E = 2JM$, wobei J die Ionisationsstärke und M der Radiumgehalt der für die Eichung benutzten Lösung bedeutet.

Dem Verfasser scheint, daß auch bei der Annahme der elektrostatischen Röntgeneinheit

¹⁾ Oder ein Trockenpräparat.

²⁾ Strahlenther. 1927/27.

die Radiummethode für die Einheitsherstellung und für die Eichung der Ionisationskammern ihre Bedeutung für praktische Zwecke behält, besonders, wenn man die außerordentliche Einfachheit des oben beschriebenen Eichungsverfahrens in Betracht zieht. Gelingt es, die unter den angegebenen Bedingungen von 1 g Ra-Eh. ausgestrahlte Energie in Erg auszumessen, so wird damit gleichzeitig eine absolute Einheit der Röntgenstrahlungsenergie hergestellt, bzw. der absolute (in C.G.S.-System) Wert eines R gefunden.

4. Normalisierung der Meßmethodik.

Einige Bemerkungen möchte ich hinzufügen in bezug auf die Methodik der praktischen Eichung von kleinen Ionisationskammern in der elektrostatischen Röntgeneinheit. Wie die Erfahrung mir zeigte, liegen die praktischen Schwierigkeiten bei der Anwendung der elektrostatischen Einheit nicht in der Herstellung der Einheit, sondern grundsätzlich bei der Eichung der Meßinstrumente. Um hier eine Vereinheitlichung zu erzielen, schlage ich folgende Bedingungen für die Eichung vor:

1. Da ein Röntgenstrahlenbündel in seiner räumlichen Gestalt nicht homogen ist, muß die zu eichende Kammer an derselben Stelle aufgestellt werden, wo sich die Öffnung der Standardkammer befindet.

2. Da die elektrostatische Einheit sich ausschließlich auf eine bestimmte Strahlungsenergie bezieht und keine Einheit der therapeutischen Strahlungswirkung ist, muß bei der Eichung der Instrumente jeglicher Einfluß der Röhrenstielstrahlung ausgeschaltet werden. Dies ist durch die Einbringung von röhrennahen Blenden leicht ausführbar.

3. Zur Vermeidung der Inkonzanz der Strahlungsintensität infolge der sprunghaften Wanderung des Brennflecks während des Röhrenbetriebes wird die Eichung vorteilhaft mit den Strahlen ausgeführt werden, die senkrecht zur Elektrodenachse der Röhre austreten.

Bei der Benutzung der vorgeschlagenen Standardionisationskammer bleibt nur noch der Kammerlageeffekt bei den Messungen an der Grenze zweier Medien, z. B. Luft—Wasser, bestehen, der allen nicht punktförmigen Reaktionskörpern anhaftet. Es wäre zweckmäßig, auch hier eine Vereinheitlichung herbeizuführen durch die internationale Standardisierung der Ausgangsstelle der Ionisationskammer an der Oberfläche des Mediums. Beziehend auf meinen früheren Vorschlag halte ich die sogenannte Kammerlage I (Berührung der Oberfläche des Mediums von außen her) für vorteilhaft. Bei dieser Kammerlage wird nur die durch die Oberfläche hindurchgestrahlte Strahlungsenergie als Oberflächenintensität gemessen.

Anmerkung bei der Korrektur: Auf dem II. Intern. Rad.-Kongr. zu Stockholm hat auch Dr. R. Jaeger über seine Versuche mit dem schattenlosen Kammerträger berichtet. Er benutzt ebenso wie der Verfasser eine mit Isolationsmaterial ausgefüllte Kammerzuführung, die in ihren Absorptionsverhältnissen, wie die Aufnahmen zeigten, dem Wasser äquivalent ist.

46683



