6. *Eine gefahrlose metallische Röntgenröhre;* *von L. Zehnder.*

Unmittelbar nach Röntgens großer Entdeckung bin ich, damals an der Universität Freiburg i. B. habilitiert, von seiten der dortigen Naturforschenden Gesellschaft aufgefordert worden, baldmöglichst Versuche mit Röntgenstrahlen anzustellen und solche der genannten Gesellschaft vorzuführen. Da ich dort den bekannten Glasbläser C. Kramer zur Verfügung hatte, ließ ich Versuchsröhren zur Erreichung des gewünschten Ziels von ihm herstellen und pumpte sie mit der Kahlbaumschen Luftpumpe aus. Bei meinen ersten Röhren hatte ich das von der kugelförmigen Aluminium-Hohlkathode ausgehende Kathodenstrahlenbündel unmittelbar auf die Glaswandung der Röhre gerichtet, um Röntgenstrahlen möglichst großer Intensität zu erhalten, und zwei solcher Röhren verwendete ich bei meinem ersten Vortrag in der Naturforschenden Gesellschaft, allerdings mit dem Erfolg, daß eine der beiden Röhren während des Vortrags an der Glaswandung einschmolz. Daraufhin ließ ich die Röntgenstrahlen auf einer im Röhreninneren angeordneten Aluminiumwand entstehen, hinter der ich sie erst zur Wirkung brachte, ohne aber günstigere Erfolge damit zu erzielen; denn stets erwärmten sich die Aluminiumscheiben so rasch und so stark, daß sie meine Glasröhren da zersprengten, wo sich Glas und Aluminium berührten.

Nun erfuhr ich, Röntgen selber lasse seine wirksamsten Strahlen auf einem Platinblech entstehen, das um 45° gegen das Kathodenstrahlenbündel geneigt sei. Sogleich ließ ich eine solche Röhre herstellen. Das dünne Platinblech, auf dem die Röntgenstrahlen entstehen sollten, befestigte ich mit vielen Nieten auf einer dickwandigen Aluminiumplatte, um die soeben als nachteilig erkannte Wärmeentwicklung durch die Kathodenstrahlen möglichst unschädlich zu machen. Der Aluminiumstiel, auf dem die schräge Platte saß, reichte mittels eines eingeschmolzenen Platindrahts nach außen, so daß sich das

Platinblech zugleich als Anode der Röhre benutzen ließ. Die Hohlkathode umgab ich auf ihrer Rückseite mit einem möglichst eng anschließenden Mantel aus Glas, und auch alle anderen Oberflächen der Kathode — außer eben ihrer Hohlfläche — waren mit Glas bedeckt, so daß außer von der Hohlkathodenfläche nirgends Kathodenstrahlen aus der Kathode austreten konnten; dadurch hoffte ich eine günstigere Umwandlung der Kathodenstrahlen in Röntgenstrahlen zu erzielen. Endlich hatte ich schon bei meinen ersten Versuchen erfahren, daß von den Innenteilen der Röhre fast andauernd Gase abgegeben werden, die das einmal erreichte Vakuum immer wieder verschlechtern; daher brachte ich in ein seitliches Ansatzrohr meiner Röhre einige gut ausgeglühte Stücke reiner Holzkohle, die ich während des Auspumpens der Röhre mittels eines Bunsenbrenners mit aller Sorgfalt kräftig erwärmte. Eine solche Röntgenröhre konnte ich nach vollständigem Auspumpen von der Pumpe abschmelzen, da sich nun ihr Vakuum durch Erwärmung oder Abkühlung der Kohlenstücke jederzeit in den gewünschten Grenzen halten ließ; für die Verbesserung des Vakuums durch Abkühlung habe ich dabei Kältemischungen zur Anwendung gebracht. Im Sommersemester 1896 habe ich dann unter Verwendung dieser Röhre noch einige öffentliche akademische Vorträge mit Vorweisungen abgehalten, in denen ich gelegentlich zwei Stunden lang unausgesetzt Röntgenstrahlen gleicher Härte und gleicher Intensität in meiner Röhre behielt, wobei ich nur den die Kohle schwach erwärmenden Bunsenbrenner von Zeit zu Zeit etwas zu regulieren hatte.

Vermöge der vortrefflichen Eigenschaften dieser Röntgenröhre mit ihrer besten Konzentration aller von der Kathode ausgehenden Kathodenstrahlen auf denselben sehr kleinen Brennfleck, mit ihrer schnellsten Wärmeableitung vom Platinblech auf den Aluminiumkörper größerer Masse, mit ihrer gleichmäßigsten Vakuumregulierung durch die erwärmte Kohle, gelang es mir bald, einen 14jährigen Jungen zu durchleuchten und eine gute photographische Aufnahme seines Brustkorbes zu machen. Allerdings wurde mir in kurzer Zeit berichtet, der Junge sei krank geworden, habe an der Stelle, die sich der Röhre am nächsten befand, eine starke Hautentzündung bekommen (ein Ekzem). Die Entzündung ließ sich aber mit ärztlicher und finanzieller Nachhilfe und einigen Süßigkeiten

für den Jungen bald so gut heilen, daß sich dieser anbot, sich wieder bestrahlen zu lassen. Immerhin erkannte ich aus diesem Vorfall, daß die Röntgenstrahlen nicht ungefährlich seien, ohne aber vorerst noch sehr an meinen eigenen Schutz bei den Vorführungen und photographischen Aufnahmen zu denken. Gleich darauf gelangen mir die Durchleuchtungen und photographischen Aufnahmen der Erwachsenen, und manche solche Versuche führte ich noch im Sommersemester 1896 für die medizinischen Kliniken der Universität Freiburg aus, die besonders gut ausfielen, als sich mir Photograph Kempke zugesellte, der die photographisch-technischen Schwierigkeiten besser als ich zu überwinden verstand. Auf Kempkes Anregung und unter Mithilfe von Stabsarzt Sehrwald für den medizinischen Teil machte ich nun am Ende des genannten Sommersemesters eine photographische Aufnahme des ganzen erwachsenen Menschen in sechs Teilaufnahmen, welche Gesamtaufnahme des Menschen meines Wissens mir als erstem vollständig gelungen ist. Ich stellte diese Aufnahme im gleichen Sommer der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Zürich und bald darauf der Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Frankfurt a. M. vor. Später verlangte das Deutsche Museum in München von mir diese erste photographische Darstellung des ganzen Menschen mit Röntgenstrahlen, und ich gab ihm zugleich meine Röntgenröhre, mit der ich alle sechs bezüglichen Aufnahmen gemacht hatte.

Weil mich eine schweizerische Glühlampenfabrik dringend ersuchte, für meine Röntgenröhre ein Patent zu erwerben, unter dessen Schutz sie dann meine Röhren herstellen möchte, nahm ich für dieselbe ein schweizerisches Patent. Es war mir dabei nicht bekannt, daß sich diese Fabrik schon in schwieriger finanzieller Lage befand. Als aber bald darauf der Zusammenbruch derselben erfolgte, mochte ich mich für die Herstellung solcher Röhren nicht an eine andere Firma wenden, und so wurden meine Röhren nicht mehr in den Handel gebracht. Ich habe auch selber über meine Röhre damals keinerlei Veröffentlichungen gemacht. Zum ersten Male wurde sie, wenn ich nicht irre, im Lehrbuch der Experimentalphysik von Warburg¹⁾ beschrieben und abgebildet. Die Röntgen-

1) E. Warburg, *Lehrbuch der Experimentalphysik*, 3. Aufl., Freiburg i. B. und Leipzig 1897.

röhrenherstellung nunmehr ganz der Technik überlassend, blieb ich doch bei meiner Überzeugung, daß keine der später vorgeschlagenen Vakuumregulierungen meiner Regulierung durch ausgeglühte Kohle ebenbürtig sei. Denn mittels meiner Regulierung konnte jederzeit ein absolut konstanter stundenlang bestehender Dauerzustand erzielt werden, wie ich durch zahlreiche Versuche erkannt hatte, während alle anderen Vakuumregulierungen von Zeit zu Zeit Gase oder Dämpfe im Röhreninneren frei machen oder ins Röhreninnere eintreten lassen, also intermittierend wirken.

Etwa 7 Jahre später faßte ich, als Röntgens Assistent in München, den Plan, eine Röntgenröhre derart zu konstruieren, daß sich die Röhre bequem auseinandernehmen und daß sich ihre zerbrochenen oder beschädigten Teile leicht ersetzen lassen. Die Röhre selber war ein einfaches zylindrisches senkrechtcs Glasrohr, in das von oben her auf starkem Metallstab die (wie in meiner oben beschriebenen Röhre) auf ihrer Rückseite durch den Glasmantel geschützte Aluminiumkathode, von unten her die aus einem kräftigen Kupferstab bestehende Anode hineinragte. Die obere wagerechte mit hart aufgelötetem starkem Platinblech bedeckte Fläche dieses Kupferstabes diente als Entstehungsstelle der Röntgenstrahlen, als „Antikathode“. Die Übergangsstellen zwischen Glas und Metall waren durch Kautschuk abgedichtet, über dem eine Quecksilberschicht lagerte. Das untere Ende dieser Röhre war voll Quecksilber, dessen Oberfläche durch eine Schlauchverbindung mit einem äußeren verstellbaren Reserve-Quecksilbergefaß gehoben oder gesenkt werden konnte. Durch diese Konstruktion hoffte ich, weil ich keine dünnen, in Glas eingeschmolzenen Platindrähte, sondern überall dicke Metallstangen als Elektrodenzuleitungen hatte, die Intensität der eingeleiteten Ströme außerordentlich vergrößern zu können, wobei zugleich die an der Antikathode entwickelte Wärme aufs beste abgeleitet wurde. Später hob ich die Oberfläche des im Röhreninneren befindlichen Quecksilbers bis über die Platinantikathode, um zu erkennen, wie sich flüssiges Quecksilber als Antikathode verhalte. Dabei sah ich, daß an der Stelle des Brennflecks eine deutliche Oberflächenwirkung eintrat, anscheinend eine geringe Vertiefung derselben. Während der Entladungen wurden natürlich fort-dauernd reichliche Quecksilberdämpfe in meiner Röhre erzeugt,

ganz besonders als das Quecksilber selber die Antikathode bildete. Die Intensität der erhaltenen Röntgenstrahlen war zwar bei allen diesen Versuchen gut, jedoch nicht gerade hervorragend. Auf vier verschiedenartigen photographischen Positivpapieren, nämlich Wynne-, Celloidin-, Aristo- und Soliopapier, erhielt ich bei langer Exposition mit Röntgenstrahlen deutliche Abbildungen eines kleinen auf die Papiere gelegten Porzellan-siebes, wie wenn sie in gewöhnlicher Weise belichtet worden wären, während auf Rembrandtpapier noch keine Einwirkung zu erkennen war; alle Papiere waren dabei in vielen abwechselnden Schichten übereinandergelegt, wurden also gleich lang und — wegen der großen Durchlässigkeit der Papiere — sozusagen gleich stark bestrahlt. Da mich aber die Ergebnisse doch nur wenig befriedigten, habe ich diese Versuche über eine Intensiv-Röntgenröhre vorläufig wieder aufgegeben.

Im verflossenen Sommer 1914 war ich eben in die Ferien gereist und in meiner Vaterstadt Zürich eingetroffen, als der große Krieg ausbrach. In diesem Falle wollte ich mich meiner Heimat nützlich machen und stellte mich dem der Universität angegliederten Zürcher Kantonsspital für das Röntgeninstitut, dessen Leiter schon im Felde stand, zur Verfügung, um allfällig auftretende physikalische Störungen der Röntgenapparate zu heben oder Verbesserungen an ihnen anzubringen. Hier sowohl, als auch kurz vorher in medizinischen Kliniken der Universitäten Berlin und Freiburg i. B., hatte ich erkannt, daß allerdings manches für den Schutz der Ärzte und ihrer Helfer, die mit Röntgenstrahlen zu arbeiten haben, getan wird, daß aber dieser Schutz doch bei weitem nicht ausreichend ist. Die mit Bleigummi oder mit Bleiplatten ausgeschlagenen Kästen, in denen die Röntgenröhren ganz allgemein befestigt werden, lassen immer noch Röhrenansätze frei, durch die die Röntgenstrahlen ungehindert austreten können. Dies veranlaßte mich, eine metallische (daher unzerbrechliche) Röntgenröhre zu konstruieren, die im wesentlichen nur aus einem im Metallgehäuse vorgesehenen Fenster die Röntgenstrahlen austreten läßt. Ich verschaffte mir einen etwa 30 cm langen hohlen Hochspannungs-isolator, verringerte seinen inneren für meine Versuche unnötig weiten Hohlraum durch eine hineingesteckte Porzellanröhre, ließ aus einem Messingrohr von 8 cm Durchmesser ein Gehäuse mit dem Fenster für die Röntgenstrahlen herstellen, auf dessen

Bodenmitte die Antikathode aufgelötet war. (Auf einem solchen klein gehaltenen Fenster der Röhre können in bequemster Weise die für medizinische Zwecke nötigen Blenden und Filter angebracht werden.) Durch den Hochspannungsisolator reichte in das Röhreninnere ein Kupferrohr, in dessen innerem Ende eine der üblichen Aluminiumkathoden so in einem inneren Hohlraum des Hochspannungsisolators steckte, daß der Austritt der Kathodenstrahlen nach rückwärts wenigstens nach Möglichkeit geschwächt wurde. Kathode und Antikathode waren einer unbrauchbar gewordenen Gundelachschen Röntgenröhre entnommen worden, die Antikathode war nach dem Siemensschen Patent ein flacher abgerundeter Wolframklotz auf massivem Kupferträger. Alle Metallteile meiner Röntgenröhre waren gut verlötet. Das Fenster war halbkugelförmig aus dünnem Glas hergestellt. Alle Verbindungen zwischen den Leitern (Messing) und den Nichtleitern (Porzellan bzw. Glas) waren als gewöhnliche Kittungen mit rotem Siegelack ausgeführt.

Fig. 1 stellt meine Versuchsröhre schematisch dar, wie sie schon in meiner ersten Veröffentlichung¹⁾ beschrieben und abgebildet wurde. Darin bedeuten: *J* den Hochspannungsisolator, *R* das darin steckende Kupferrohr mit der Kathode *K*, ferner *M* das Metallgehäuse aus Messing, mit Fenster *F* für den Röntgenstrahlenaustritt, *A* die Antikathode oder Anode. Das in dieser Zeichnung vorgesehene Ventil *V*, den gewellten Boden *B* und das Anschlußgefäß *NC*, auf welche Teile ich später zu sprechen komme, enthielt meine erste Versuchsröhre noch nicht.

Während mir Klingelfuß in Basel das Metallgehäuse herstellte, bat ich den stellvertretenden Vorstand Piccard des Physikalischen Instituts der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich, mir für meine Versuche eine dort augenblicklich nicht gebrauchte ältere Gaedesche Quecksilberpumpe leihweise zu überlassen. Die im Röntgeninstitut des Zürcher Kantonsspitals vorhandene Röntgeneinrichtung durfte ich für meine Versuche verwenden; solche Versuche waren sogar den leitenden Ärzten des Spitals sehr erwünscht, weil ihnen der zu erzielende Schutz gegen vagabundierende Röntgenstrahlen außerordentlich einleuchtete.

1) L. Zehnder, *Elektrotechn. Zeitschr.* 36. p. 49. 1915.

Leider stellte sich mit der Zeit heraus, daß die Porzellantrommel der geliehenen Gaedepumpe an mehreren Stellen Risse hatte, durch die immer wieder Luft aus dem Vorvakuumraum in meine Röntgenröhre gelangte. Nachdem ich aber alle diese

Fig. 1.

Risse sorgfältig mit Siegelack verkittet hatte, konnte ich doch meine Röntgenröhre mit Erfolg auspumpen, unter häufiger Belastung durch Stromgebung in zunehmender Intensität. Mein fertig gekaufter Hochspannungsisolator hatte eine gegebene Form, ebenso meine Kathode; daher war es mir nicht möglich, die Rückseite der Kathode vollständig gegen das Austreten der Kathodenstrahlen zu schützen, und in der Tat hatte eine länger dauernde zu starke Strombelastung das Zerspringen meines an der betreffenden Stelle mindestens 1,5 bis 2,0 cm starken Porzellanisolators zur Folge. Mit Siegelack verkittete ich daraufhin auch diese Rißstelle, pumpte wieder aus und belastete nunmehr meine Röhre etwas vorsichtiger, maximal nur noch etwa mit der zehnfachen Energie derjenigen, mit der sonst bei normalem Betriebe die Gundelachröhren im Zürcher Spital belastet werden. Wegen der Siegelackkittungen konnte ich mein Metallgehäuse nur wenig erwärmen, so daß

die vielen Metall- und Porzellanteile meiner Röhre nur ganz allmählich von Gasen befreit werden konnten; diese Entgasung war um so schwieriger, weil bei dem monatelangen Gebrauch der Gaedepumpe (die ich durch einen mir von einem Freunde geliehenen Elektromotor in Bewegung erhielt) die Rißstellen ihrer Porzellantrommel doch allmählich wieder undicht wurden. Immerhin gelang es mir zuletzt bei äußerster Vorsicht im Anschließen und Abschließen der Pumpe von der Versuchsröhre, im Verlauf einer 12tägigen Versuchsreihe meine Röntgenröhre immer luftfreier zu bekommen, derart, daß sie schließlich, wenn sie über Nacht von der Pumpe abgesperrt war, am folgenden Morgen wenigstens im ersten Augenblick noch

Röntgenstrahlen entstehen ließ. Durch die große Intensität der Ströme, mit denen ich die Röhre in der Regel betrieb, wurden aber nur zu bald wieder soviel Gase in ihrem Innenraum frei, daß keine Röntgenstrahlenwirkung mehr zu erkennen war. Die Gaedepumpe war also immer wieder von neuem in Betrieb zu setzen.

Ein im Gebiet der Röntgenologie erfahrener Fachmann hatte die Ansicht ausgesprochen, ich werde bei meiner Röhrenkonstruktion starke Wirbelstromwirkungen bekommen und also nie eine große Intensität der Röntgenstrahlen erreichen, weshalb er mir von der Ausführung meiner Röhre abriet. Ich war dagegen der Ansicht, daß ich zum mindesten in meiner Röhre mit größtmöglichen Stromstärken werde arbeiten können. Immerhin hatte ich wegen dieser Voraussage, so lange ich erst Röntgenstrahlenwirkungen von etwa der Dauer einer Zehntelsekunde erhielt, lange Zeit nicht gewagt, eine photographische Aufnahme zu machen. Als ich mich aber wegen meiner nun doch in nahe Aussicht genommenen Abreise von Zürich genötigt sah, irgendeinen Erfolg zu erzielen und also photographische Aufnahmen zu versuchen, war ich sehr erstaunt, eine ganz bedeutend größere Intensität der Röntgenstrahlen in meiner Röntgenröhre festzustellen, als in den unter gleichen Bedingungen eingeschalteten Gundelachröhren. Zur Prüfung der Zeichnungsschärfe neu bezogener Röntgenröhren wird im Zürcher Kantonsspital ein anatomisch präpariertes Kreuzbein in 50 cm Abstand vom Röhrenfokus bei 4 Sekunden dauernder Exposition ohne Verstärkungsschirm photographiert. Mit meiner neuen Röntgenröhre photographierte ich dagegen dasselbe Kreuzbein in demselben Abstand, gleichfalls ohne Verstärkungsschirm, bei gleicher Primärenergie in Bruchteilen von Sekunden; mit Hilfe eines Zeitrelais des Röntgenapparates stellte ich fest, daß ich mit nur 0,2 Sekunden Expositionsdauer ungefähr dieselbe Bildintensität wie mit den Gundelachröhren bei 4 Sekunden Exposition erhielt; zufällig hatte ich den Abstand Kathode—Antikathode in meiner Röhre recht gut getroffen, so daß ich zugleich eine sehr zufriedenstellende Bildschärfe bekam. Aus der etwa 20mal kürzeren Expositionsdauer bei meiner Röntgenröhre, verglichen mit allen Gundelachröhren des Zürcher Spitals, glaubte ich den Schluß ziehen zu dürfen, daß der Wirkungsgrad meiner Röntgenröhre unter

sonst gleichen Verhältnissen doch mindestens etwa 10mal größer als der der gegenwärtig besonders beliebten Gundelachröhren mit Siemensscher Wolframantikathode sein müsse. Wahrscheinlich sind die elektrostatischen Aufladungen der Glaswandungen der jetzt gebräuchlichen Röntgenröhren nicht nur bezüglich der Durchschlagsgefahr schädlich, sondern auch bezüglich des Wirkungsgrades der Röhre und des Stillstandes des Brennflecks. Ich bin außerdem überzeugt, daß die vorzügliche Wärmeableitung meiner Antikathode den Wirkungsgrad meiner Röntgenröhre ganz erheblich vergrößert hat.

Es hat keinen Zweck, hier über eine größere Anzahl von Aufnahmen mit meiner Versuchsröhre zu berichten, bald mit weichen, bald mit mittleren, dann mit harten Strahlen. Nur so viel will ich erwähnen, daß alle diese Aufnahmen in mir den Glauben erweckten, meine Röhren verhalten sich hierin, abgesehen von ihrem bedeutend höheren Wirkungsgrad, in jeder Beziehung gleich wie alle anderen Röntgenröhren. Um zu erkennen, wie weit mein Porzellan-Hochspannungsisolator etwa für Röntgenstrahlen durchlässig sei, photographierte ich ein präpariertes Handknöchelchen durch einen 3—4 mm dicken Porzellandeckel hindurch, welche Aufnahme hinter dem Porzellandeckel noch eine scharfe Struktur der Knochenbälkchen erkennen ließ, obwohl der Abstand Fokus—Knöchelchen nur etwa 10 cm betrug. Ferner stellte ich durch solche Aufnahmen mit photographischen Platten, die dem Fenster meiner Röhre möglichst nahe standen, fest, daß tatsächlich ein sehr geringer Prozentsatz von Röntgenstrahlen mittlerer Härte neben dem Fenster aus der Röhre austrat. Ich erwähne außerdem noch eine Aufnahme dreier einigermaßen gleich dicker Münzen, eines 20-Frankenstücks (Gold), eines 1-Frankenstücks (Silber) und eines 20-Rappenstücks (Nickelmünze), in unmittelbarer Nähe des Fensters mit ziemlich harten Röntgenstrahlen exponiert; der Abstand der Münzen von der doppelt in schwarzes Papier eingeschlagenen Trockenplatte betrug nahezu 1 cm. Die Goldmünze ist am wenigsten, die Silbermünze etwas mehr, die Nickelmünze wesentlich mehr durchstrahlt; wegen des kleinen Fokusabstandes sind jedesmal beide Münzenränder, stellenweise scharf abgegrenzt, zu erkennen, woraus geschlossen werden muß, daß die Strahlung hart genug war, um nicht nur die Nickel-, sondern auch die Silber- und sogar die Goldschicht

zu durchdringen; die Nickelmünze war wenigstens noch so stark durchstrahlt, daß sowohl die Zahl 20 ihrer einen Seite, als auch der Helvetiakopf ihrer anderen Seite erkennbar abgebildet wurden; durch den Fensterrand war das Röntgenstrahlenbündel scharf abgegrenzt, aber außerhalb des Fensters war bei dieser großen Strahlenhärte gleichfalls eine schwache Belichtung eingetreten: deutlich kann man im photographischen Negativ einen etwas helleren das Fenster einschließenden scharfbegrenzten Ring erkennen, der dem in schräger Projektion durchstrahlten und daher weniger durchlässigen Messinghals des Fensters entspricht.

Die bei meinen oben beschriebenen Pumpversuchen zurückgebliebenen Gasreste können nicht mehr groß gewesen sein, und man muß dieselben (ebenso wie bei meinen schon in der Einleitung erwähnten ersten Röntgenröhren) durch Anbringung eines nicht zu kleinen Nebengefäßes *N* (Fig. 1) an der Röhre, das entgaste Kohlenstücke *C* enthält, sicher vollständig absorbieren können. Erhält man dann dieses Nebengefäß durch einen Bunsenbrenner oder noch besser durch einen bei *N* eingeschobenen bifilar gewickelten elektrischen Heizwiderstand auf bestimmter vorher ermittelter Temperatur, so wird die Röhre bei der entsprechenden Strahlenhärte für Dauerbetrieb nutzbar. Das Nebengefäß ist derart gebaut und sein Verbindungsrohr mit der Röntgenröhre enthält außerdem noch ein Sieb *S*, so daß keine Kohlenstücke in die Röntgenröhre gelangen können.

Ein Eisenventil *V* (Fig. 1), mit einem Stück Gummischlauch überzogen, wird nach vollständigem Evakuieren mittels einer Stromspule auf den Ventilsitz aufgepreßt, dann wird Luft in die Pumpe eingelassen, um nun die Röhre von der Pumpe ablösen zu können und dadurch transport- und versandfähig zu machen. Unter Umständen wird es — wegen dieses Eisenventils — zweckmäßig scheinen, die gezeichnete Röntgenröhre in umgekehrter Stellung, also das Ventil unten, auszupumpen, damit die Stromspule nur einmal, beim Verschließen der Röntgenröhre, in Betrieb zu setzen ist.

Der bei *B* (Fig. 1) gewellt gezeichnete Boden soll eine Röhrenkonstruktion andeuten, bei welcher der Abstand Kathode—Antikathode durch vorgesehene, aber nicht eingezeichnete Schraubvorrichtungen reguliert werden kann. Durch diese

Vorrichtung gelingt es, für photographische Aufnahmen bei jeder Strahlenhärte den schärfstmöglichen Brennfleck zu erhalten und also die besten Aufnahmen zu erzielen; durch dieselbe Vorrichtung ist man in den Stand gesetzt, in einer am Brennfleck angeschmolzenen, einer „angestochenen“ Röhre die Brennfleckstelle zu ändern.

Die Intensität meiner metallischen Röntgenröhre muß sich noch außerordentlich steigern lassen. Denn ihr fehlen die dünnen Platindrähte, die in das Glas der bisherigen Glas-Röntgenröhren eingeschmolzen werden müssen. Meine Anoden- und Kathodenzuleitungen können in solcher Stärke gewählt werden, daß ihre störenden Erwärmungen ausgeschlossen sind. Die auf der Antikathode erzeugte Wärme wird durch große Kupfermassen auf das Metallgehäuse abgeleitet und durch Kühlung mittels der Außenluft vernichtet; bei größeren Ausführungen wird der Antikathodenträger hohl gemacht und durch fließendes Wasser noch besonders gekühlt. Denn man kann das ganze Metallgehäuse durch kurze dicke Drähte an Erde legen, wodurch man zugleich die in der Umgebung der Röhre befindlichen Personen gegen überschlagende Funkenentladungen schützt. Auch die Kathodenhohlfläche muß für Erreichung größerer Intensitäten entsprechend vergrößert werden: bei zehnfachem Durchmesser der Kathodenscheibe wird man trotz der teilweise notwendig werdenden Vergrößerung des Kathoden-Kugelradius und also auch des Abstandes Kathode—Antikathode wahrscheinlich der Röntgenröhre eine hundertmal größere Stromenergie zuführen können. Da ich mit meiner Versuchsröhre bei gleicher Primärenergie und gleichen Elektroden schon eine mindestens 10-, vielleicht sogar eine 20mal größere Wirkung als mit den Gundelachröhren erzielte, so erscheint Aussicht vorhanden, mit meinen Röntgenröhren eine etwa 1000mal größere Wirkung als mit den bisherigen Röntgenröhren zu bekommen. Wahrscheinlich wird man bei so großen Wirkungen den Brennfleck gleichfalls vergrößern müssen, um das Anschmelzen, das Anstechen der Antikathoden zu verhüten.

Für therapeutische Zwecke spielt die Kleinheit des Brennflecks kaum eine günstige Rolle, weshalb gegenwärtig Therapieröhren stets ohne scharfen Brennfleck geliefert werden. Um so wichtiger ist hierfür die größere mit meinen Röhren zu

erzielende Intensität der Röntgenstrahlen, die den Ärzten erlaubt, ihre Patienten in entsprechend kürzer dauernden Sitzungen zu bestrahlen, eine Wohltat für die Patienten und zugleich eine bedeutende Zeitersparnis für den Arzt und seine Helfer. Bei meiner metallischen Röntgenröhre ist Aussicht vorhanden, daß der Arzt die Dosen der Bestrahlung in bequemer Weise durch Belichtung empfindlicher photographischer Positivpapiere, wie Wynne- oder Celloidinpapier, messe, die fast beliebig nahe an die Antikathode herangebracht werden können, statt mit Sabouraud-Noiré-Pastillen oder mit Kienböckstreifen, welche letztere wegen der Notwendigkeit, sie nachher unter ganz bestimmten Bedingungen photographisch zu entwickeln, doch mit sehr vielen Fehlerquellen zu rechnen haben.

Mit meiner Röntgenröhre kann anscheinend eine beliebige Strahlenhärte erzielt werden, was für die neueste Richtung der Medizin, bei der Tiefenbestrahlung mit möglichst harten Strahlen zu arbeiten, von großer Bedeutung ist. Denn das Fenster meiner Versuchsröhre kann in diesem Falle statt aus Glas aus Aluminium oder einem mit dem Gehäuse verlötbaren Metall als Filter hergestellt werden. Metallwandungen sind aber offenbar absolut durchschlagsicher. Außerdem befindet sich übrigens mein Glasfenster, wenn es in dem (geerdeten) Metallgehäuse eingekittet ist, außerhalb des elektrischen Feldes und wird deshalb selber weniger leicht durchschlagen. Den Hochspannungsisolator kann man aber so lang und so dickwandig herstellen, daß er allen an ihn gelegten Spannungen standhält.

Das Metallgehäuse meiner Röntgenröhre kann, wie schon bemerkt, geerdet werden. Bei genügend sorgfältiger Erdung, auch des Patienten selber, kann das metallische Bestrahlungsfenster ohne Schaden vom Patienten unmittelbar berührt, es kann vollständig an den zu bestrahlenden Körperteil herangebracht werden, wodurch sich wiederum eine vergrößerte Bestrahlungsintensität erzielen läßt; denn diese Intensität ist ja dem Quadrat des Abstandes vom Fokus umgekehrt proportional. Nötigenfalls, zum Schutze gegen zu starke Erwärmungen oder gegen doch noch vorhandene geringe elektrische Nebenentladungen nach den unmittelbar berührten Körperstellen hin, kann die Röntgenröhre mit einer Kautschuk-

hülle überzogen werden. Es ist aber denkbar, daß in manchen Fällen gerade diese beiden Wirkungen, Erwärmung von der Antikathode aus und schwache elektrische Nebenentladungen, die Heilung sogar günstig beeinflussen, wie sie ja vielfach neben der Bestrahlung durch besondere Apparate künstlich hervorgerufen werden.

Als sich Anfang Januar dieses Jahres die Undichtigkeiten meiner Gaedepumpe infolge der Risse ihrer Porzellantrommel wieder mehr und mehr bemerkbar machten, so daß ich ein Vakuum nur noch durch schnellere Umdrehungen der Trommel aufrecht erhalten konnte, suchte ich mit meinen Versuchen zum Abschluß zu kommen. Die Beschaffung einer neuen Trommel erschien in diesen Kriegszeiten zu zeitraubend. So brach ich denn meine Versuche ab und kehrte nach Berlin zurück, in der Hoffnung, hier, an meiner bisherigen Arbeitsstätte, mit größeren Mitteln und mit in gutem Zustande befindlichen Luftpumpen erfolgreicher arbeiten zu können.

Dem Vorstand des Physikalischen Instituts der Techn. Hochschule Zürich danke ich hiermit verbindlichst für die leihweise Überlassung einer Gaedepumpe; meinen ganz besonderen Dank spreche ich aber den medizinischen Leitern des Röntgeninstituts des Zürcher Kantonsspitals aus, die mir in entgegenkommendster Weise die Benutzung ihrer Räume und aller ihrer Röntgeneinrichtungen ermöglichten.

Berlin-Halensee, den 23. Februar 1915.

(Eingegangen 25. Februar 1915.)

Nachtrag bei der Korrektur: Zwei der bedeutendsten Firmen der Röntgentechnik machten nach meiner ersten Veröffentlichung über die neue Röhre Mitteilungen, daß sie auch schon längere Zeit an der Aufgabe arbeiten, eine metallische Röntgenröhre herzustellen, aber bisher ohne Erfolg, und daß im Jahre 1908 das englische Patent Nr. 4479 auf eine metallische Röntgenröhre ausgegeben worden sei (an Lindemann); die Konstruktion dieser Röhre unterscheidet sich allerdings in wesentlichen Punkten von der meinigen.

Z.