

## Die Entwicklung der Technik des Röntgenverfahrens.

Von Dr. Max Levy-Dorn in Berlin.

Kaum hatte sich der Unglaube, der allenthalben der Röntgenschen Entdeckung zuerst entgegengebracht wurde, besonders dank der überzeugenden Kraft der Röntgenhand mit dem in der Luft schwebenden Fingerring gelegt, als die Technik alle modernen Mittel in Bereitschaft setzte, die neuen Energieformen in den Dienst der Menschheit zu stellen. Industrie, Wissenschaft, am meisten aber die ärztliche Kunst hielten Umschau in ihren Herzensangelegenheiten und erkannten auf den ersten Blick, daß ihnen die Strahlen reichlichen Gewinn bringen müßten.

Röntgen hat allerdings nicht nur die Naturkraft und ihre wesentlichen Eigenschaften aufgedeckt, sondern bereits das Kathodenrohr als die Quelle seiner X-Strahlen angegeben, und wir besitzen heute noch keine bessere dafür. Aber es galt, den Reichtum dieser Quelle aufs äußerste zu steigern, damit bei dem großen Bedarf an Röntgenstrahlen nicht Mangel eintrete. Es galt, Wege zu finden, die Röntgenstrahlen, von denen es sehr viele Arten mit verschiedener Durchdringungskraft gibt, stets in der gewünschten Form zu erhalten. Es mußten Methoden erdacht werden, durch welche die zutage geförderten Schatten erst ihren wahren Wert erhielten. Als man erkannte, daß die X-Strahlen auf den Körper je nachdem schädlich oder heilend einwirkten, entstanden neue Forderungen etc.

Kurz: Röntgen hatte ein Fundament gelegt, auf dem noch ein großes Gebäude errichtet werden mußte, ehe man ungestört und zweckmäßig zu arbeiten imstande war.

Röntgen trieb seine Studien, die er im Dezember 1895 mitteilte, indem er durch eine „Hittorfsche Vakuumröhre“ oder einen genügend evakuierten Lenardschen, Crookeschen oder ähnlichen Apparat die Entladungen eines größeren Ruhmkorffs gehen ließ.

Doch zeigte sich bald, daß große Schwierigkeiten bestanden, mit den zurzeit vorhandenen Mitteln auch nur die Experimente Röntgens nachzuahmen, geschweige denn praktisch zu verwerten. Die Blätter dieser Wochenschrift aus dem Jahre 1896 legen unter anderem deutlich Zeugnis dafür ab. Jastrowitz, einer der ersten, welcher die neue Entdeckung verwertete, schrieb Ende Januar 1896: „In der ersten Zeit wollte selbst die Nachahmung der Photographieprobe nicht glücken; doch konnte ich schon vor acht Tagen ein von Herrn Spieß von der Urania hergestelltes Photogramm zeigen, der ein in eine Holzkassette eingeschlossenes Stück Holz photographierte.“ Weiterhin meldete derselbe Autor: „In den letzten acht Tagen ist man durch Uebung in der Technik sehr bedeutend vorgeschritten.“ Er konnte ein Handbild aufweisen, das besser war als das berühmte Röntgensche: „Man sah die Markräume!“ Um dieses Bild herzustellen, mußte in einer 30—40 cm großen

Entfernung des Rohres von der Platte eine halbe Stunde exponiert werden (!). Heute können wir bei Anwendung aller zur Verfügung stehenden Mittel eine Momentaufnahme der Hand zustande bringen und brauchen die Platte ohne große Inanspruchnahme unserer Apparate auch nur wenige Sekunden zu exponieren. Schwierigere Aufnahmen als die der Hand glücken in der ersten Zeit überhaupt nicht.

Den Fortschritt verdanken wir in erster Linie dem Ausbau des Kathodenrohrs, aus dem allmählich ein Rohr eigener Art, das Röntgenrohr, entstand. Die Röntgenstrahlen entstehen dort, wo die Kathodenstrahlen auftreffen, also bei den alten Röhrentypen an der Glaswand. Da die Kathodenstrahlen starke Hitzegrade erzeugen, wird Glas schon bei geringer Inanspruchnahme des Rohres von ihnen zum Schmelzen gebracht. Ein zweiter Grund, für den Treffpunkt der Kathodenstrahlen eine andere Substanz als Glas zu wählen, wurde durch die Erfahrung gegeben, daß die Intensität der X-Strahlen dadurch wesentlich erhöht werden kann. Je mehr nämlich das Atomgewicht eines Stoffes beträgt, desto zahlreichere Röntgenstrahlen vermögen die Kathodenstrahlen aus ihm hervorzurufen. Auch nach einer anderen Richtung wurde das Kathodenrohr schnell zweckmäßig verändert. Um scharfe Bilder zu erhalten, ist es nötig, daß die X-Strahlen möglichst von einem Punkte ausgehen. Ein hohlspiegelförmiges Kathodenende gibt das einfache Mittel ab, durch welches man eine fast ideale Zentrierung der Kathodenstrahlen erreicht. So entstand der Typ des Rohres, welchen Röntgen am 9. März 1896 beschreibt und der im Wesen heute noch beibehalten wird. Die Worte Röntgens lauten: „Ich gebrauche seit einigen Wochen mit gutem Erfolge einen Entladungsapparat, bei dem ein Hohlspiegel aus Aluminium als Kathode, ein unter  $45^\circ$  gegen die Spiegelachse geneigtes, im Krümmungszentrum aufgestelltes Platinblech als Anode fungiert.“ Man hat später diese Anode „Antikathode“ genannt und daneben meist noch eine besondere Anode angebracht, die gewöhnlich mit der Antikathode durch einen Draht verbunden wird.

Genau genommen, werden die Kathodenstrahlen nicht wie die Lichtstrahlen in einem Brennpunkt gesammelt, um dann zu divergieren, sondern sie nähern sich nur bis auf eine gewisse Entfernung, die von der Höhe des Vakuums abhängt, und gehen dann fadenförmig weiter; sie stellen wahrscheinlich einen Strom feinsten Materie, sogenannter Elektronen dar, die negative Elektrizität mit sich führen und sich gegenseitig abstoßen. So erklärt sich leicht, daß die Kathodenstrahlen nie in einem Focus zusammenkommen können. Gleichwohl hat sich der Ausdruck Focusröhren für die oben beschriebene Röhrenform eingebürgert.

Die auf der Antikathode konzentrierten Kathodenstrahlen entwickeln so hohe Wärmegrade, daß bei längerer Tätigkeit des Rohres die Platinbleche leicht durchbrennen. Solange man noch mit verhältnismäßig schwachen elektrischen Strömen arbeitete, trat dieser Uebelstand weniger hervor. Als man aber dazu überging, immer größere Energiemengen in das Rohr hineinzuschicken, um die Intensität der Röntgenstrahlen zu steigern, entstand ein dringendes Bedürfnis, die Widerstandskraft der Röhren zu erhöhen.

Die Fabrikanten begannen nun, die Metallmasse der Antikathode zu vergrößern, in der Hoffnung, so auf einfachstem Wege die Wärme schnell verteilen und unschädlich machen zu können; doch es zeigte sich, daß die Metallmassen Luftpartikelchen beim Vakuumieren mit größter Zähigkeit festhielten; durch das Erwärmen des Metalls während des Betriebes des Rohres wurde die Luft aber freigegeben und das Vakuum in zu hohem Grade erniedrigt. Geraume Zeit verging, ehe die Glasbläser lernten, solche Röhren, während das Metall glühte, einigermaßen in geeigneter Weise auszupumpen, eine Arbeit, die heute noch nicht ohne große Mühe und nur von wenigen Erfahrenen vollbracht werden kann.

In der letzten Zeit hat das für Glühlampen bereits bewährte Tantal mit seinem ungemein hohen Schmelzpunkt die Aussicht eröffnet, daß wir wieder zu dünneren Metallbelegungen der Antikathode zurückkehren können und dadurch Röntgenröhren erhalten, die große Haltbarkeit mit Gleichmäßigkeit des Vakuums auch bei stärkerem Betrieb vereinen.

Sehr wesentlich läßt sich durch eine praktische Kühlung die Widerstandskraft des Röntgenrohrs erhöhen. Freilich muß dafür Sorge getragen werden, daß das Wasser möglichst unmittelbar mit der durch die Kathodenstrahlen erwärmten Antikathodenfläche in Berührung kommt. Am meisten bewährte sich ein niedriger Platinnapf mit dickem Boden in einem verhältnismäßig großen Hohlzylinder als Antikathode einzuschmelzen und die Höhlung mit Wasser zu füllen. Doch kommen, da solche Röhren sehr teuer sind, auch jene Modelle in Betracht, bei welchen die Kühlung erst durch einen abgeschlossenen Glaszylinder, an und um welchen das Antikathodenmetall befestigt wird, hindurch wirken muß; denn auch so kann schon ein sehr hoher Grad von Leistungsfähigkeit erreicht werden.

Die Haltbarkeit einer Röhre wird durch ihre Größe erhöht. Andererseits müssen wir, um ihre Handlichkeit nicht zu gefährden und ihren Preis nicht unverhältnismäßig zu steigern, eine gewisse Grenze innehalten. Ein Durchmesser des Gasballons von 150 mm, der früher schon groß genannt wurde, bildet jetzt ein mittleres Maß, und Durchmesser von 200 mm und darüber kommen nicht selten vor.

Die Röntgenstrahlen zerfallen, gleich den Lichtstrahlen, in unzählige verschiedene Arten. Man teilt sie, je nachdem sie die Körper stärker oder schwächer zu durchdringen vermögen, in harte oder weiche Strahlen ein. Der „Härtegrad“ einer Röhre hängt im wesentlichen von der Potentialdifferenz zwischen den Polen des Rohres ab. Diese wird durch eine Reihe von Momenten, wie Luftgehalt des Rohres, Enge des Kathodenhalses, Entfernung der Kathode von der Antikathode u. a., bestimmt. Da wir begreiflicherweise für ärztliche Zwecke nur gewisse Härtegrade verwenden können, so macht sich die Eigentümlichkeit der Röhren, ihren Härtegrad gern zu wechseln, unangenehm fühlbar. Die Röhren werden im allgemeinen während des Betriebes, weil sich die Temperatur in ihnen erhöht, weicher, nach dem Erkalten aber kommen sie leicht zu höheren Härtegraden, als sie vorher besaßen. Die Schuld daran trägt vor allem der Umstand, daß im Vakuum durch hochgespannte Ströme Metallteilchen von der Kathode abgerissen und zerstäubt werden und der feine Metallstaub Luft anzieht. Doch zeigen sich Unterschiede zwischen den Metallsorten. Am günstigsten verhält sich Aluminium, woraus die Elektroden in den Röntgenröhren angefertigt werden.

Während früher ein Röntgenrohr, in dem sich das Vakuum wesentlich geändert hatte, außer Gebrauch gesetzt werden mußte, besitzen wir jetzt Regulationsvorrichtungen, durch welche der Härtegrad eines Röntgenrohrs innerhalb weiter Grenzen verändert werden kann, ohne daß es von neuem mit der Luftpumpe verbunden werden muß. Am beliebtesten sind wohl die Osmoseregulierung und die Selbstregulierung. Bei der ersteren findet sich ein Stäbchen aus einer Platinlegierung in die Wand des Röntgenrohrs eingeschmolzen. Erhitzt man jenes mit einer Flamme nur wenige Sekunden, so diffundiert etwas vom Wassergas der Flamme in das Rohr, wie man zu erklären pflegt; jedenfalls aber kann man sich leicht überzeugen, daß dieses tatsächlich weicher wird.

Die „Selbstregulierung“ nutzt die Tatsache aus, daß der elektrische Strom nicht nur innerhalb, sondern auch außerhalb des Röntgenrohrs kreist. Er erreicht hier eine um so höhere Spannung, je härter die Röntgenröhre ist, weil damit ihr innerer Widerstand wächst. Die Außenströme überspringen daher um so längere Funkenstrecken, je härter ein Rohr ist. Es befindet sich am Röntgenrohr ein Hilfsrohr, durch einen feinen Kanal mit ihm verbunden. Das Hilfsrohr enthält eine Kathode mit einer Substanz, die beim Durchgang des Stromes Luft abgibt (Kohle, Glimmer oder dergl.). An der Anode befindet sich eine feine Drahtspirale, die durch den elektrischen Strom relativ leicht zerstäubt wird und dann Luft aufsaugt. An der Kathode des Hilfsrohrs ist ein Draht befestigt; dieser wird der Kathode des Röntgenrohrs so weit genähert, daß bei einem bestimmten Härtegrad Funken überspringen, also elektrische Ströme durch das Hilfsrohr gehen und von deren Kathodenoberfläche Luft abscheiden, bis das Rohr weich genug geworden. Zum Härten verbindet man den Anodendraht mit der Hilfsanode und schiebt jenen Hilfsdraht weit von der Haupt-

kathode fort, damit nicht die luftabgebende Substanz vom elektrischen Strom berührt wird.

Die Wege, durch Vorrichtungen und Maßnahmen an den Anoden oder Kathoden ohne Veränderung des Vakuums den Höchstgrad zu beeinflussen, sind ebenfalls mit Erfolg beschritten worden, aber noch wenig benutzt.

Die folgenden Bilder illustrieren den Entwicklungsgang des Rohres. Figur 1 zeigt ein Rohr aus der Anfangszeit nach

der Entdeckung der Strahlen. Das Kathodenende ist glatt, die Anode ringförmig und in demselben Rohrteil angebracht wie die Kathode. Die Kathodenstrahlen fallen also durch die Oeffnung auf die Glaswand der Kugel, wo hier die Röntgenstrahlen diffus entstehen.

In Figur 2 ist die Kathode bereits konkav geformt. Es besteht auch eine Antikathode. Die Gestalt des Rohres ist zylinderförmig.

Figur 3 gibt ein modernes Rohr wieder. Wir sehen die Kühlvorrichtung in der hohlen Antikathode und eine Extrakanode, die mit jener durch einen Draht verbunden ist. Beide ragen in einen weiten Glasballon. Die konkave Kathode befindet sich dagegen in einem engen Glashals. Das kleine Hilfsrohr enthält die oben beschriebene Vorrichtung zur Selbstregulierung.

Kürzer als über den typischen Teil der Röntgentechnik, den Entladungsapparat, von welchem ich auch schon mancherlei kaum andeuten konnte, muß ich mich über die anderen Punkte äußern. Seit der Röntgenschen Entdeckung hat man mit Vorliebe zum Betreiben des Rohres die Ströme großer Induktoren benutzt. Im Auslande, besonders in Amerika, werden nicht selten auch große Influenzmaschinen angewendet.

Der Induktor wurde für die neuen Aufgaben, die ihm erwachsen, wesentlich vervollkommen. Es kam darauf an, größte Energiemengen in einer für Röntgenröhren passenden Form und Spannung zu gewinnen und aus einem Laboratoriumsapparat ein den Strapazen der Praxis gewachsenes Instrument zu schaffen. Uebergehen wir die Intimitäten des Induktorbaues, so wird der Fortschritt hauptsächlich durch die Quecksilberstrahl- und die elektrolytischen Unterbrecher gekennzeichnet. Die mit Recht hohe Wertschätzung des elektrolytischen Unterbrechers kommt unter anderem dadurch zum Ausdruck, daß man ihm zuliebe die Induktoren verändert hat. Wir sind heute imstande, ohne Mühe nach Belieben größte und kleinste Elektrizitätsmengen in die Röntgenröhre zu schicken. Wenn wir die größeren Apparate sich mit voller Kraft entladen lassen, so halten die besten Röhren nicht stand, ihre Antikathode glüht durch. Obwohl die Expositionszeiten gegen früher ungemein verkürzt worden sind, so fehlen doch nicht Aufgaben, die ohne größere Verkürzung der Expositionszeit nicht gelöst werden können. Der weitere Fortschritt muß zukünftig in erster Linie darin gesucht werden, die Widerstandskraft der Röhren immer mehr zu erhöhen.

Allerdings besitzen wir in den sogenannten Verstärkungsschirmen, biegsamen, mit fluoreszierenden Schichten überzogenen Flächen, ein Mittel, die photographische Kraft der X-Strahlen besser auszunutzen. Am meisten hat sich das wolframsaure Calcium dafür bewährt. Die Bilder werden aber durch den Verstärkungsschirm, wenn die Kürze der Expositionszeit nicht in Betracht kommt, nur verschlechtert, sodaß man diese Verstärkungsschirme nur als Notbehelf betrachten kann.

Die Untersuchung mit Röntgenstrahlen wird entweder mit dem Fluoreszenzschirm oder der photographischen Platte ausgeführt. Für den Schirm ist bis heute noch nichts Besseres als das zur Entdeckung der X-Strahlen führende Baryumplatincyanür gefunden worden. Die Technik hatte schon 1896 hierin ihren Höhepunkt erreicht, indem sie Schirme von tadelloser Gleichmäßigkeit und verhältnismäßig stärkster Leuchtkraft herstellte.

Von den photographischen Platten oder Films werden in der Regel die gewöhnlichen guten, hoch empfindlichen Sorten des Handels benutzt. Eine höhere Empfindlichkeit speziell gegen Röntgenstrahlen wird durch dickeren photographischen Guß oder Bedecken beider Film- oder Plattenseiten erreicht. Doch tauscht man für diesen Vorteil viele Nachteile ein, sodaß diese Verfahren nur dann wesentlich in Betracht kommen, wenn man nach Lage der Dinge auf die erreichbar kürzeste Exposition halten muß.

Die Zahl der Hilfsmittel, die bei Röntgenuntersuchungen gebraucht werden, ist aber mit den genannten Gegenständen bei weitem nicht erschöpft. Wir müssen noch nennen: Apparate zum Feststellen oder Lagern der Patienten, die Blenden, um die störenden Sekundärstrahlen zu beschränken, Kompressorien (besonders für das Abdomen), Mittel, die ruhige Haltung des Patienten zu gewährleisten, Einrichtungen, den Kranken und den Untersucher gegen schädliche Bestrahlung zu schützen, Meßinstrumente für die Qualität und Quantität der Strahlen, Apparate für parallele und senkrechte Projektion, für die stereoskopische Aufnahme, für die genaue Ortsbestimmung der gesehenen Schattenpunkte und noch manches andere. Im Besitz aller aufgeführten Instrumente lassen sich heute die Fragen, welche die ärztliche Praxis und Wissenschaft gerechterweise an den Röntgenuntersucher stellen kann, bereits mit einer gewissen Vollkommenheit beantworten — aber nur, wenn er eine Reihe mehr oder weniger komplizierter Methoden beherrscht und eine reiche Erfahrung über das Aussehen normaler und pathologischer Röntgen-schatten und Reaktionen besitzt. Ebenso wenig wie das Messer den Chirurgen, macht der Röntgenapparat den Röntgologen.

Die Zahl der Forscher, welche sich um die Entwicklung der Röntgentechnik Verdienste erworben haben, hat bereits eine solche Höhe erreicht, daß es unmöglich ist, hier auch nur die wichtigsten Namen zu nennen. Nicht nur Aerzte, sondern auch die Techniker, Physiker, Glasbläser und viele andere, deren Namen durch die Firmen, welche sie beschäftigen, verborgen werden, haben zusammen gearbeitet, um die Fortschritte herbeizuführen.

Ueberblicken wir unsere Skizze noch einmal, so müssen wir sagen: die Grundlage des Röntgenverfahrens bildet die Röntgenröhre. In ihrer Entwicklung spiegelt sich diejenige des ganzen Verfahrens. Aber ohne die Erfindung und den Ausbau zahlreicher Hilfsmittel und ärztlicher Methoden für Untersuchung wie Behandlung wären wir nicht bis zu der Höhe gekommen, die wir heute erlangt haben. Wir dürfen hoffen, auf diesem Wege noch mehr zu erreichen.

Fig. 1.

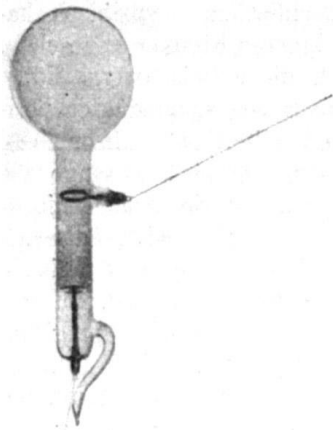


Fig. 2.



Fig. 3.

