

deutenden Anteil hat. Damit ist aber auch eine gewisse Aussicht vorhanden, diese Reaktionsgruppe aufzuklären und damit das Verständnis der biologischen Strahlenwirkung sehr wesentlich zu fördern.

Summary

Two possibilities for the action of radiations on biological objects are still remaining: the effect by radiation-hits and the action by photochemical or radiochemical effects. By means of irradiating well-

known chemical «model-substances» one may be able to decide between these two possibilities and to understand the biological primary effect of radiations.

Both of the theoretical perceptions are discussed and compared with the empirical facts. It is shown that in all well examined cases of radiation effects upon biological elements or chemical systems, water or an other diluting is of essential importance. Radiation-energy is conducted from point of absorption to point of action by means of electronic transport or diffusion. Diffusion seems much more probable in biological systems.

Erinnerungen aus der Entwicklung der Röntgentechnik

Von F. DESSAUER, Freiburg (Schweiz)

1.

An Entdeckungen im Raum des Naturgegebenen kann sich Gestaltung anschließen, die, im beschränkten Sinne, schöpferische Züge aufweist. An die Entdeckung der Röntgenstrahlen schloß sich die Röntgentechnik, die Tausende von Köpfen und Händen beschäftigte und das bis zur Stunde tut, und die, was wir nicht vergessen wollen, sehr viele Opfer forderte, die den Tod durch Strahlenwirkung starben. Von dem Kreise der einstigen Mitarbeiter sind nur wenige diesem Schicksal entgangen.

Wenn ich die Mühen der ersten Jahrzehnte nach der Entdeckung überschau und die vielen Berichte und Publikationen durchblättere, die von der Arbeit der Industriephysiker und -techniker Zeugnis geben, dann kommt mir ein Ausspruch in den Sinn, den RÖNTGEN selbst (in seiner Gedächtnisrede auf F. KOHLRAUSCH) getan hat: «Der physikalische Forscher, der sich hauptsächlich der Aufgabe widmet, exakte Messungen durchzuführen und die dazu benötigten Methoden und Apparate zu ersinnen, muß mit der Möglichkeit, ja fast immer mit der Gewißheit rechnen, daß seine Arbeit in verhältnismäßig kurzer Zeit von anderen überholt wird; die von ihm erdachten Methoden werden verbessert, und die neu gewonnenen Resultate sind genauer. Damit verschwindet allmählich die Erinnerung an seine Person und an seine Tätigkeit¹.»

So ist es: vergessen sind die heißen Mühen von damals, ja die Art der Problemstellung mutet in der heutigen Zeit oft fremdartig an. Verweht ist der Ruhm; Überraschendes von einst ist jetzt trivial. Die oft bitteren Streite, vom geistigen, oft auch vom wirtschaftlichen Wettbewerb genährte, sind ausgebrannt, öfter dadurch, daß sie gegenstandslos wurden, als durch einen sogenannten Sieg. Einst viel genannte Namen kennt man nicht mehr, und die großen Kämpfer unserer Kongresse sind Schatten geworden. Ja, man

könnte meinen, all die vergangene Bewegung sei wie *Furchen*, die die *Schiffe* auf dem Meer ziehen. Zuerst wallt es auf und die Wellen sind stark, aber nach einer Stunde ist keine Spur mehr zu erkennen. Und doch ist es anders! Es sind dennoch *Furchen* der *Pflugschar* gewesen und Saat wurde hineingestreut. Manches Korn ging auf. Spätere Generationen, im Besitz der Ernte, sehen die Ackersleute von einst nicht mehr, weil sie von ihren eigenen Problemen erfüllt sind. Doch was RÖNTGEN sagte, wird auch ihr Tribut an die Menschheit sein: «Erinnerungen an Personen und ihre Tätigkeit schwindet».

2.

Der Aufforderung dieser Zeitschrift folgend, einiges aus dem Vorrat meiner Erinnerungen zu berichten, muß ich auswählen und tue es in dieser Überlegung: Die ersten Jahrzehnte, die Zeit, als die Natur der neuen Strahlen unbekannt war, die eigentliche Pionierzeit mit ihren Kämpfen und Opfern, dem Bewußtsein der Gegenwart fremd geworden, sei bevorzugt. Und aus der Überfülle der Ereignisse sei erwähnt, was den Physiker und Physiologen, allgemeiner den Naturforscher interessiert, oder was historisch, allgemein menschlich wichtig und nützlich scheint für die Gegenwart. Vielleicht wird man tadeln, daß ich zu sehr aus eigenem Erleben spreche. Ich tue es dennoch. Mag die damit verknüpfte Wahl gegen meine Absicht zu Einseitigkeiten führen, so hoffe ich, daß die Darstellung dafür Lebenswärme bekommt. Und mehr als die Aufzählung von Resultaten entspricht ja die Anteilnahme am Ringen und Werden der menschlichen Art. — —

Zur Zeit der Entdeckung (8. November 1895) herrschte noch Verwirrung über die Deutung der vielen Phänomene der Gasentladungen, die damals das höchste Interesse der Physiker besaßen. Da die Gedankengänge hierüber, die mit den verschiedenen Ätherhypthesen verflochten waren, kürzlich zusam-

¹ Sitzungsbericht d. Bayr. Akademie der Wiss., Math.-Physik. Kl. 40 (1910).

menfassend dargestellt wurden¹, gehe ich hier darüber hinweg. Die klärenden Arbeiten der Cambridgeschule unter J. J. THOMSONS Führung waren noch nicht bekannt. Die Natur der Kathodenstrahlen war vielumstritten. Die Bezeichnungsweisen (wie Ion, Elektron) noch ungeordnet. Und es sollte noch siebzehn Jahre dauern bis zur Klärung der Natur der neuen Strahlen als kurzwellige elektromagnetische Wellenbewegung durch LAUES Entdeckung.

Diese Unsicherheit muß bedenken, wer die Arbeiten der Physiker und Techniker von damals nachliest. Ein Beispiel: Der Streit, den ich mit CHRISTEN führte, ob die in der Röhre durch Funkeninduktor oder Influenzmaschine erzeugte Röntgenstrahlung komplex oder homogen sei (was CHRISTEN für möglich hielt), kommt dem Physiker von heute fast grotesk vor. Aber es war damals nicht einfach, durch Absorptionsanalysen (natürlich ohne den so viel später gefundenen Röntgenspektrographen) den komplexen Charakter, die Komponenten des Gemisches und dann Zusammenhänge zwischen dem Spannungsverlauf und den verschiedenen Anteilen der Strahlung zu zeigen. Die Zusammenhänge zwischen Spannung, Strom, Härte der Strahlung und Strahlenhelligkeit (Intensität, sagte man damals etwas ungenau) waren Gegenstand hitziger Kontroversen durch Jahre hindurch². Man mußte experimentieren und konstruieren *ohne* gesicherte Grundlagen, ja oft mit Hypothesen, die sich dann als irrig herausstellten. LENARD z. B. neigte zur Ansicht, Kathodenstrahlen seien elektromagnetische Wellen³, Röntgenstrahlen mit Kathodenstrahlen identisch. Die Natur der letzteren als negative Korpuskel wurde gesichert, was wiederum dazu führte, daß ein namhafter Physiker die Hypothese aufstellte, Röntgenstrahlen seien die an der Antikathode ihrer Ladung beraubten Kathodenstrahlenteilchen. RÖNTGEN selbst und mit ihm auch J. J. THOMSON, OLIVER LODGE und andere neigten anfangs zur Hypothese der «longitudinalen Ätherwellen». A. SCHUSTER, I. PERRIN, später auch OLIVER LODGE⁴, hielten die Deutung als sehr kurzwellige Transversalwellenstrahlung für wahrscheinlicher – trotz der fehlgeschlagenen oder doch nicht eindeutigen wiederholten Beugungsversuche, und WIECHERT und STOKES kamen mit ihrer Impulstheorie der Wahrheit sehr nahe. Daneben bestanden andere, mehr abenteuerliche Hypothesen wie die des Ätherwindes. Das aus dem Bedürfnis nach Anschaulichkeit beharrlich gestellte Postulat, es müsse für elektrische und magnetische Kräfte und Schwingungen einen substantiellen Träger geben, beherrschte noch das physi-

kalische Denken und nahm ungemein viel Zeit und Mühe der Theoretiker in Anspruch.

Auf solch unsicherer Basis hatten die Techniker der Anfangszeit aufzubauen. Bedenkt man dies, dann sind ihre Leistungen erstaunlich. Es bildete sich in der Röntgentechnik für fast zwei Jahrzehnte ein Zustand heraus, der eine Ähnlichkeit mit der vorgalileischen Zeit hatte. Damals war die Technik, wie etwa das empirische Können der Bauhütten mit ihrer großen Tradition, gewaltig der Naturwissenschaft vorangeilt, die noch in Banden aristotelischer Deduktion lag. Die Bauleute des XVI. Jahrhunderts konstruierten Gewölbe, Kuppeln, Bögen, obwohl es an den theoretisch-wissenschaftlichen Grundlagen der Statik noch fehlte. Es ist lehrreich und erstaunlich, wie die Röntgenkonstrukteure der Anfangszeit ohne Einsicht in die Theorie der Gasentladungen Röntgenröhren und ohne Wissen von der Natur der Strahlen vorzügliche diagnostische und therapeutische Geräte schufen.

RÖNTGEN selbst, obwohl ursprünglich Ingenieur (er hatte die Maschinenbauschule Apeldoorn besucht und am Polytechnikum Zürich 1867 das Diplomexamen als Maschineningenieur bestanden) nahm an der Weiterentwicklung der Röntgentechnik wenig Anteil. Was er in seinen drei Mitteilungen veröffentlicht hat, wurde zwar auch für die Konstrukteure grundlegend. Aber dann kehrte er zu seinem Lieblingsgebiet, der Kristallphysik, zurück, freute sich wohl, wenn er über die Fortschritte auf dem von ihm erschlossenen Neuland hörte, nahm aber aktiv nicht teil. Das entsprach seinem Charakter. Nach seiner Entdeckung stürmte eine Menge von Forschern, Erfindern und Geschäftsleuten in die neue Welt mit ihren vielseitigen Chancen; es war ähnlich wie wenn die Entdeckung einer Goldader Karawanen von Goldgräbern anzieht. Und es ging in dem neuen Gebiet laut und lebhaft zu. RÖNTGEN aber war der Mann der Stille, der Zurückgezogenheit, ja Verschlossenheit. Er verabscheute Diskussionen, Kongresse, Repräsentationen; alles Geschäftige und Geschäftliche war ihm zuwider und der Gedanke, in den Strudel der wetteifernden Forscher, Erfinder und Unternehmer hereingezogen zu werden, unerträglich. So blieb er auf dem Gebiet seiner eigenen Entdeckung in Distanz, interessierter Zuhörer, selbst stumm.

3.

Wenden wir uns zunächst zur *Technik der Röntgenröhre*, die bis zu COOLIDGES Erfundung, also bis zum ersten Weltkrieg, stets eine Selbstentladungsrohre war. Der erste große Schritt der Technik brachte die sogenannte «Fokusröhre» (mit Platin als Antikathodenmaterial). Die Kathode war ein Aluminiumhohlspiegel. Auf der schräggestellten Pt-Antikathode lag (annähernd) der Krümmungsmittelpunkt des Hohlspiegels als ungefähr der Ort, wo die Kathodenstrahlen ihre engste Einschnürung erfahren. Trotzdem

¹ WILH. CONR. RÖNTGEN, Kapitel 6, 9 und 10 (Bei Walter in Olten, 1945).

² Siehe Fußnote 1, S. 311, Nr. 9.

³ Liverpooler Tagung der Brit. Ass. Adv. Sci. (1896).

⁴ OLIVER LODGE begründete seine Ansicht schon früh mit der Untersuchung von HELMHOLTZ über Dispersion aus dem Jahre 1893, in der auf hohe Durchlässigkeit der Stoffe für extrem kurze Wellen geschlossen wurde.

dieser Ort vom Vakuum abhängt und daher mit der unvermeidlichen Selbsthärtung der Gasröhren wandert, war der Fortschritt hinsichtlich Bildschärfe und Strahlenausbeute sehr groß. Die Abhängigkeit des Wirkungsgrades vom «Bremsmaterial» war ebenso wenig bekannt wie die charakteristische Strahlung, die erst 1906 von BARKLA entdeckt wurde.

Diese «Fokusröhre», auch heute noch allgemein in Gebrauch, ist fast gleichzeitig von mehreren Autoren gefunden worden. Wahrscheinlich gehört die Priorität W. KÖNIG, damals Professor am physikalischen Verein in Frankfurt, später ein Nachfolger RÖNTGENS auf dem Lehrstuhl in Gießen. Die Konzentrationsmöglichkeit von Kathodenstrahlen selbst war bei CROOKESCHEN Röhren schon benutzt. Die zweite Mitteilung RÖNTGENS vom 9. März 1896 enthält die Beschreibung der Fokusröhre, die er seit einigen Wochen benutzte. Aber damals erschien bereits die erste Sammlung guter Röntgenaufnahmen (der besten damals) im Verlag von I. A. Barth, von WALTER KÖNIG mit der Fokusröhre aufgenommen, der für RÖNTGEN eingesprungen war und den Vortrag über die Entdeckung auf der Tagung der Bunsengesellschaft in Stuttgart gehalten hatte.

In den ersten Jahren entstanden mehrere hundert Modelle von gashaltigen Fokusröhren. Folgende Hauptaufgaben stellten sich dem Techniker: richtige Vakuumbehandlung des Entladungsrohres. Seine «Härte», zunächst also der Widerstand des Rohres gegen den Durchgang der Entladung, war für die Strahlenqualität, die «Strahlenhärte» maßgebend, und diese mußte dem Verwendungszweck angepaßt sein. Natürlich durfte man nicht extrem evakuieren, da ja keine unselbständige Entladung möglich war. Im Betrieb der Röhre steigerte sich im allgemeinen das Vakuum durch Okklusion von Gasen, überwiegend durch die Metallteile und deren Zerstäubung. Es hing von der Behandlung der Röhre vor und bei der Evakuierung ab, ob sie Neigung zum Weicherwerden bei Belastung zeigte oder umgekehrt. Man sprach vom «Atmen» der Metalle in der Röhre. Jeder Radiologe hatte einen Vorrat von Röhren verschiedener Härtegrade.

Eine große Rolle spielten die «Regenerievorrichtungen», mit Hilfe deren kleine Gasmengen im Vakuum frei gemacht wurden. Anfangs waren sie aus gasokkludierenden Substanzen in Ansätzen, die man erwärmt, gebildet. Später wurde fast ausschließlich die Anordnung von VILLARD benutzt. Sie bestand aus einem dünnwandigen Palladiumrörchen, das seitlich am Entladungsrohr angeschmolzen und nur nach innen offen war. Bei Erhitzen mit einem Spiritusbrenner trat etwas Wasserstoff durch die Wände des Rörchens ins Innere ein. Die Wirkung der Regenerievorrichtungen war begrenzt, und man durfte sie nicht etwa während einer Aufnahme in Gang setzen, weil Erweichen der Röhre zugleich ein Wandern des «Fokus», genauer der Stelle größter Einschnürung des Kathodenstrahlenbündels bewirkte.

Ein weiterer großer Konstruktionsspielraum war

(und ist heute noch) durch die mannigfaltigen Belastungen gegeben, die einer Röhre auferlegt werden. Gute Temperaturleitung war bei starker stoßweiser Belastung, wie zu Momentaufnahmen, gute Wärmeabfuhr bei Dauerbelastungen in Durchleuchtung und Therapie nötig. Es gab massive Metallhinterlegungen der platinierten Antikathode, Ausbildung des Antikathodenträgers als Wasserbehälter in mannigfaltigen Formen, die zwar große Kunstfertigkeit der Glasbläser, aber keine besonderen technischen Lösungen erforderten. Hiervon ist die Konstruktion von AMRHEIN eine Ausnahme — jedenfalls war sie die wirksamste Antikathodenkühlung bei tiefer Temperatur. Der Antikathodenträger war ein metallisches Hohlgefäß, in das hinein ein kräftiger Wasserspray direkt auf die Rückwand der Antikathode gespritzt wurde. Der Entzug der Verdampfungswärme erlaubte nicht nur eine mehrfach höhere und dauernde Belastung, sondern hielt die AntikathodenTemperatur selbst niedrig. Diese Röhre spielte besonders in den Anfangszeiten der Tiefentherapie eine große Rolle.

Aber die allergrößte Schwierigkeit bei der Konstruktion und beim Betrieb der «gashaltigen» Röhren bestand in dem Umstand, daß Strom- und Spannungsverlauf der Gasentladung hierbei nicht getrennt zu regeln sind. Erhöhung der Spannung bedeutete zugleich Vermehrung der Stromstärke und Änderung des Stromverlaufes. Die älteren Radiologen waren zum Teil recht gute Techniker und mußten es sein, um das Verhalten ihrer Röhren bei jedem Regulieren der Spannungsquelle vorauszusehen, denn die Röhren waren sozusagen Individuen, von denen schier jede anders reagierte. All dies verschwand mit Erfindung der Coolidge-Röhre mit Hochvakuum und Glühkathode, die auch den Ersatz des Funkeninduktors durch den Transformator zur Folge hatte. Damit erst wurde der «Röntgenapparat» zur technischen Maschine mit genau reproduzierbaren Bedingungen, die er heute ist.

Aber dies vollzog sich praktisch in Europa nach dem ersten Weltkrieg und nicht ohne erheblichen Kampf. Die Anhänger der Röntgenröhren mit Selbstentladung konnten für sich geltend machen, daß die Qualität ihrer Röntgenogramme keinesfalls von den neuen Röhren mit unselbständiger Entladung übertroffen werde. Tatsächlich ergibt auch heute noch ein Vergleich der Bilder, daß in bezug auf Feinheit der Abstufung in den Kontrasten kein Fortschritt erzielt wurde. Die Ursache der trefflichen Detailzeichnung in den alten Bildern erklärt sich wie folgt. Untersucht man die Röntgenstrahlung einer gashaltigen Röhre beim Durchgang einer Einzelentladung eines leistungsfähigen Funkeninduktors mit Hilfe von Härteskalen auf einem rasch rotierenden Film, so zeigt sich, daß die Strahlung sehr komplex ist, d. h. für stufenreiche Strukturaufnahmen besonders geeignet. Ich konnte seinerzeit die Änderung des «mittleren Härtegrades» der Röntgenstrahlung während des Durchgangs der

Entladung unter verschiedenen Bedingungen bestimmen.

In einer früheren Arbeit gelang es mir, eine gashaltige Röntgenröhre zu konstruieren, deren Härtegrad sich unabhängig vom Gasgehalt in erheblichen Grenzen variieren ließ. Das Prinzip dieser seinerzeit in vielen Exemplaren benutzten Röhre war das schon HITTORF bekannte Phänomen der statischen Rückwirkung von Verengungen auf Kathodenstrahlen.

Die Antikathode befand sich innerhalb eines isolierten Metallzylinders, der vorne für den Eintritt der Kathodenstrahlen offen war und seitlich einen Austritt für die Röntgenstrahlen hatte. Die Antikathode war durch eine variable Nebenschlußfunkentstrecke mit der seitlich angebrachten Hilfsanode verbunden. Schloß man diese Funkenstrecke kurz, so bekam der Zylinder angenähert das Potential der Anode. Der Eintritt der Kathodenstrahlen erfolgte ungehindert. Je nach Regelung der Funkenstrecke bekam der Zylinder gegen die Anode negatives Potential. War der Widerstand des Nebenschlusses praktisch unendlich, so lud sich der Zylinder maximal negativ auf. Bei konstantem Vakuum war also die aufzuwendende Spannung zwischen Kathode und Anode durch eine statische Rückwirkung des Zylinders auf die Kathodenstrahlen variabel und damit die Härte der Strahlung¹.

Es war somit eine Art Steuerung des Härtegrades durch eine Hilfselektrode, in gewissem Sinne Vorläufer der LIEBENSCHEN Steuerelektrode bei gashaltigen Entladungsrohren, aus der die heutigen Gitterröhren hervorgingen.

Von den Arbeiten auf dem Gebiete der Röntgenröhrentechnik sei noch eine erwähnt, die dadurch interessant ist, daß sie nach etwa zwanzigjährigem Vergessen neuerdings wieder aufgenommen, zu großer Verbreitung in der heutigen Röntgentherapie gelangte. Im Streben, das seltene und kostbare Radium in der Therapie möglichst durch Röntgenstrahlen zu ersetzen, kamen HUGO SELLHEIM (Prof. der Frauenheilkunde), Prof. Dr. EDGAR MEYER, damals Mitarbeiter von PASCHEN (beide in Tübingen) und ich zu der Lösung, Röntgenröhren mit geerdeter Antikathode derart zu bauen, daß diese, aus einem sehr dünnen Platinblech gebildet, einen Teil der Röhrenwand bildete und direkt auf den Krankheitsherden aufgelegt, ja in diesen eingesenkt werden konnte. Das war die erste «Kontaktbestrahlungsrohre». Die Röhre selbst wurde nach meinen Angaben von dem damals besten Fachmann MAX GUNDELACH (Fabrik Emil Gundelach in Gehlberg in Thüringen) hergestellt². Die Röntgenstrahlung trat, filtriert durch das Pt-Blech in Richtung der Kathodenstrahlung unmittelbar in das Gewebe.

¹ «Über einen Versuch, die Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen unabhängig vom Vakuum zu regulieren», Verhandl. d. Deutsch-phys. Ges., IV, 13 (1902).

² Vorträge auf dem Kongreß der Naturforscher und Ärzte in Wien, abgedruckt München. Med. Wochenschrift, 1913, Nr. 41 und 43; ferner in dem Buch Radium, Mesothorium und harte X-Strahlung (Verlag Otto Nemnich).

Welche Bedeutung dieses Verfahren neuerdings gewonnen hat, als es insbesondere durch SCHÄFER und WITTE in Bonn und später durch CHAOUL und andere in großem Maßstabe aufgenommen wurde, ist im Aufsatz von ZIMMER dargestellt.

Es sei noch erwähnt, daß die starken, umgekehrt gerichteten Spannungsstöße der Schließungsinduktion beim Funkeninduktoren durch Funkenventile, meist durch Vakuumventile, sogenannte «Drosselröhren», von den hingegen sehr empfindlichen «gashaltigen» Röntgenröhren abgehalten werden mußten. Die Ventilröhren benutzten vor Einführung des Hochvakuum-Glühkathodenprinzips durch COOLIDGE alle das HITTORFSCHE Sperrphänomen. — Zu den Röntgenröhren gab es technische Meßgeräte, wie die (mehrfaß modifizierte) Härteskala von BENOIST und die «Fokometer» zur Messung der «Schärfe» der Bildzeichnung durch eine Röhre¹.

Obwohl schon im Jahre nach der Entdeckung und später wiederholt (so durch ZEHNDER) Vorschläge zum Bau von Röhren aus Metall gemacht wurden, gelangte diese heute herrschende Ausführungsart erst nach COOLIDGES Erfindung zur allgemeinen Benutzung.

4.

Reicher an interessanten Zügen als die Entwicklung der Röntgenröhre ist die Entwicklung des *elektrotechnischen Teiles* der Röntgeninstrumentarien in der Zeit bis etwa 1918 gewesen.

RÖNTGEN hat zu seinen Arbeiten einen RÜHM-KORFFSchen *Funkeninduktoren* in der bekannten Schaltung nach FIZEAU benutzt. Seine Apparate standen bis zum zweiten Weltkrieg im Deutschen Museum in München. Nähere Angaben über sie sind in der erwähnten Röntgenbiographie gemacht, weil einiges davon für die Nachkonstruktion der Entdeckungsgeschichte wichtig war.

Die Physiker und Röntgenologen blieben noch für reichlich zwanzig Jahre nach der Entdeckung auf diese Art der Hochspannungserzeugung angewiesen, die der Influenzelektrisiermaschine weit überlegen war. Der Wechselstromtransformator verdrängte den «Rühmkorff» erst, als durch die neuen Glühkathoden eine gute Gleichrichtung der Entladung im Röntgenrohr und Ventilrohr gewährleistet wurde.

Auf das Studium der Funkeninduktoren hatten die Physiker seit 1855, da STÖHRER und RÜHM-KORFF (vgl. Pogg. Ann. 94, p. 249, 1855) ihre ersten über DU BOIS-REYMONDS (1840–1850) Mitteilungen weit hinausgehenden Veröffentlichungen gemacht, viel Mühe und Fleiß verwendet. So beschäftigten sich RITCHIE 1857 im Phil. Mag., POGGENDORFF, JEAN (compte rendu 1858), SIMSTEDEN, RYKE (Abhängigkeit der Funkenlänge vom Unterbrechermetall), FIZEAU in der Anfangszeit

¹ Übersicht über diese Konstruktionen findet sich zum Beispiel in DESSAUER-WIESNER, Kompendium der Röntgenaufnahme und -durchleuchtung, Bd. I, 2. Aufl., S. 193 ff. (1915) (Verlag O. Nemnich, Wiesbaden).

mit Einzelproblemen des «Rühmkorff». BÖRNSTEIN (Pogg. Ann. 1872) versuchte zuerst eine Theorie. Die erste ausführliche Theorie des «Rühmkorff» stammt von dem russischen Physiker R. COLLY (Wied. Ann. 44, S. 109–132, 1891) mit Zuhilfenahme einer von HELMHOLTZ angegebenen Vereinfachung hinsichtlich der Bedingungen des Sekundärkreises. Im Jahre 1901 veröffentlichte LORD RAYLEIGH (Phil. Mag., S. 581–594), von der Ansicht ausgehend, daß dieser Apparat bisher noch nicht richtig verstanden wurde, eine neue, verbesserte Theorie des Funkeninduktors, in der die Abweichungen durch das Verhalten des Eisens, durch die nicht momentane Unterbrechung und durch die Kapazität der Sekundärspule unter Benutzung des KELVINTHEOREMS (Phil. Mag. 38, 1869, S. 1) berücksichtigt wurden. OVERBECK (Wied. Ann. 64, S. 203) erweiterte die COLLEYSche Theorie. Inzwischen wurden die Oszillographen verbessert und gestatteten WERTHEIM-SALOMONSON, Amsterdam, experimentelle Arbeiten mit Auswertung der Ergebnisse. Die wichtigste davon ist in Phys. Z., S. 11, von 1910, S. 538–543, abgedruckt. Bekannt durch seine Arbeiten auf diesem Gebiete wurde auch der Basler FRIEDRICH KLINGELFUSS.

Zwar wurden die Vorgänge im Funkeninduktor dadurch klarer, aber niemals ist es dazu gekommen, daß man einen Funkeninduktor berechnen konnte, wie man etwa einen Transformator berechnen kann. *Der Funkeninduktor war und blieb ein «Apparat».* Als er reif war, zur berechenbaren Maschine zu werden, wurde er verdrängt. Das «gashaltige» Entladungsrohr als wichtiger Teil des Sekundärkreises blieb immer ein überaus kompliziertes, variables Gebilde, das jede vereinfachende Annahme, die man zur Rechnung brauchte, illusorisch machte; und der Unterbrecher selbst gab, außer in dem weiter unten besprochenen Fall, zu schwer überwindbaren Komplikationen Veranlassung.

Trotzdem wurde viel mit dem «Rühmkorff» erreicht – und es ist nicht ausgeschlossen, daß er in irgendeiner Form doch wieder als Hochspannungserzeuger könnte in Frage kommen. Denn er ist jedenfalls auch heute noch der wenig kostspielige Apparat, um Spannungen von 400 kV und darüber bei Stromstärken von mehreren mA zu erhalten.

Im Anfang der Röntgentechnik herrschte die Meinung vor, die Leistungsfähigkeit eines Funkeninduktors sei schlechthin durch seine «Funkenlänge», also durch die maximal sekundäre Öffnungsspannung bestimmt.

Als ich dagegen die Einwände erhob, daß die «Funkenlänge» nur ein Spannungsmaß sei, daß man ferner zu diagnostischen Zwecken nur Spannungen von etwa 20–30 cm Funkenlänge brauche, daß Stromstärke und Entladungszahl die Helligkeit des Röntgenlichtes beeinflusse, daß die Transformationsleistung nicht von der Spannung allein abhänge, sondern auch von anderen Dimensionen, vor allem auch der Dimensionierung von Eisen und Kupfer, entstand daraus ein für die heutigen Physiker und Techniker wohl kaum begreiflicher Li-

teraturkrieg über mehrere Jahre; dabei stand ich anfangs fast allein, die Autoritäten waren auf der Gegenseite. Doch hatte auch dieser erbitterte Streit ein Gutes: die Funkeninduktoren wurden besser. Ursprünglich ganz auf hohe Sekundärwindungszahl dünner Drähte zur Erhöhung der Funkenlänge (die Induktoren wurden nach Funkenlängen verkauft, nicht nach irgendeinem Leistungsmaß) bedacht, mußten die Fabriken der offensichtlichen Überlegenheit richtig dimensionierter «Rühmkorffs» mit der Zeit Rechnung tragen¹.

Dieser Streit erlosch schließlich von selbst, weil sich ein offensichtlicher physikalischer oder technischer Irrtum nicht dauernd aufrechterhalten läßt. Alle Fabriken paßten die Spannung der Induktoren den Bedürfnissen an, d.h., bauten Induktoren von geringerer Spannung zu diagnostischen Zwecken und Oberflächentherapie, in späterer Zeit von höheren Spannungen für Tiefentherapie. Solche Windmühlenkämpfe werden in jungen Gebieten oft ausgetragen, und der «Kampf um die Funkenlänge» erinnert an den viel größeren und leidenschaftlicheren zwischen den Anhängern des Gleichstromes und jenen des Wechselstromes. Ich selbst habe Ende des vergangenen Jahrhunderts noch einen Professor an der Münchener Technischen Hochschule gehört, der dem Wechselstrom jede praktische Bedeutung, jede Zukunft absprach.

Die Entwicklung des Funkeninduktors erreichte in den Jahren 1909–1914 einen Höhepunkt. Das Verdienst hierfür kommt zum großen Teil dem holländischen Arzt und Physiologen P. H. EIJKMAN zu, der ein ebenso unermüdlicher Vorkämpfer für internationale wissenschaftliche Zusammenarbeit und den Friedensgedanken wie für die Lösung des Problems der «eigentlichen» Röntgenmomentaufnahme und der Röntgenkinematographie war. Da über diese Arbeiten von einem Schweizer Autor im Jahre 1913 ein kleines, übersichtliches Buch erschienen ist², kann ich mich hier mit wenigen Bemerkungen begnügen.

Magen-, Darm- und Lungenuntersuchungen und in weit höherem Grade Herzeröntgenographie verlangten kurzzeitige Aufnahmen. Mit den neuen mit starken Eisenkernen ausgerüsteten Induktoren, dem WEHNELT-Unterbrecher oder dem BOASSCHEN Turbinenunterbrecher (oder einer seiner vielen Modifikationen) gelang es, unter Benutzung der von GEHLER erfundenen Verstärkungsfolien und doppelseitig emulsionierten Platten (später Filmen) mit etwa $1/10$ Sekunde (in Experimenten sogar mit $1/80$ Sekunde) Expositionsdauer³ bei nicht zu dicken Objekten auszukommen. Aber schon bei ca. $1/10$ Sekunde zeigte sich praktisch eine Grenze. Eine Frequenzsteigerung der Entladungen

¹ Eine zusammenfassende Darstellung des Standes in diesem Streit im Jahre 1905 findet sich zum Beispiel im «Röntgenol. Hilfsbuch», R. Stubers, Verlag, Würzburg, S. 113 ff., mit Literaturverzeichnis.

² Dr. J. SCHWENTER, Privatdoz. f. das Röntgenverfahren an der Universität Bern, «Leitfaden der Momentaufnahme im Röntgenverfahren» (Verlag Otto Nemnich, Leipzig 1913).

³ Insbesondere Dr. JOSEPH ROSENTHAL in München war in dieser Richtung erfolgreich (siehe bei SCHWENTER, l. c.).

brachte keine Verbesserung, sondern ein Minus an Strahlenausbeute. Der Grund hierfür liegt in der Eigentümlichkeit gashaltiger Röhren, eine endliche Zeit zu brauchen, um nach Durchgang einer starken Entladung in ihren vorherigen Zustand zurückzukehren¹.

Dies brachte mich auf den Gedanken, technisch mit einer einzigen Entladung des Induktoriums, also unter Weglassung von Unterbrechern zu arbeiten. Ich entwickelte ein Induktorium von ungewöhnlichen Dimensionen (ca. 10facher Eisenmenge) und benutzte einen Schmelzfaden in einer Umhüllung, die beim Zerschmelzen des Fadens fein zerstäubte. Der Hochdruck des auftretenden Gases und der feine Staub (etwa Gips) bei dem explosiven Durchschmelzen der «Patrone» unterbrachen so plötzlich, daß der Kondensator weggelassen werden konnte. Die Entladungsdauer in der Röhre war von der Größenordnung $\frac{1}{300}$ Sekunde, die Stromstärke in der Röhre konnte bis ca. 400 mA gesteigert werden. Das Verfahren war einfach und die Apparatur wurde von 1909 an in sehr vielen Kliniken eingeführt.

Die Mitteilung hiervon auf dem 5. Röntgenkongreß brachte P. H. EIJKMAN zu mir. Er hat selbst in einer (inzwischen untergegangenen) Zeitschrift seine Wanderfahrten zu den verschiedenen Fabriken und Konstrukteuren beschrieben². Ihm lag an der Klärung verschiedener physiologisch noch ungeklärter Bewegungsvorgänge im menschlichen und tierischen Körper, und er hatte früher bereits in einer sehr mühevollen Arbeit die Vorgänge des Schluckaktes röntgenologisch festzustellen gesucht.

Ich werde nie den Tag, 19. Sept. 1909, vergessen, an dem zum erstenmal EIJKMAN und ich die aufeinanderfolgenden Phasen des menschlichen Herzschlages in einer Aufnahmeserie, bei der jede einzelne Aufnahme mit einer einzigen Entladung von ca. $\frac{1}{300}$ Sekunde Dauer gemacht worden war, röntgenographierten. Noch war es keine *eigentliche* Röntgenkinematographie sondern eine «synthetische». Die aufeinanderfolgenden Bilder waren nicht die eines einzigen Herzschlages der Versuchsperson, sondern von verschiedenen Herzschlägen waren die aufeinanderfolgenden Phasen aufgenommen. Ein Pulsschreiber wirkte auf ein System von Relais und eine eigens konstruierte Verspätungs-uhr. Die Systole löste die Aufnahme aus, und mit der Verspätung von je $\frac{1}{9}$ Sekunde kamen so 9 Folgeaufnahmen des Herzschlages zustande. EIJKMAN, der sich nahe der Erreichung eines Ziels sah, dem er viele Jahre seines Lebens und großen Aufwand auch an eigenen Mitteln geopfert hatte, war überaus glücklich. Ich sollte den edlen, gütigen Menschen nicht mehr oft so glücklich sehen. Sein Lebensweg endete viel zu früh.

Die Weiterentwicklung zur *eigentlichen* Kinematographie ließ nicht lange auf sich warten. Mit ihr gelang

EIJKMAN bald noch die Klärung des physiologischen Schluckaktes¹, KÜPFERLE (und ich) brachten das erste echte Kinematogramm (6 Aufnahmen) eines einzigen Herzschlages, ALWENS die Magenbewegung des Säuglings, SCHWENTER selbst machte Studien der tierischen Peristaltik, MAGNUS und HESSE (aus Utrecht) klärten röntgenkinematographisch den Brechakt am Hunde (Archiv f. die ges. Physiol., Bd. A. 52), bis auf ALWENS in meinem Laboratorium.

Die große Schwierigkeit der echten Röntgenkinematographie bestand darin, daß Filme oder Platten großen Formates (30 mal 40 cm meistens) in gutem Strahlenschutz (Bleiplatten) vor das Objekt gebracht, vom Schutz befreit, exponiert, wieder geschützt und weggebracht werden mußten, um sofort dem nächsten Film Platz zu geben. Das sollte in einer Sekunde wenigstens 6- bis 8 mal geschehen. Die Schwierigkeit, die sehr großen Massen so rasch exakt und erschütterungsfrei zu beschleunigen, für den Augenblick der Aufnahme festzuhalten, wiederum rasch wegzubringen, ließ alle von mehreren Autoren angestellten Versuche praktisch scheitern, dies mit einem ruckweisen Bewegen etwa eines Filmbandes durchzuführen. Die Lösung gelang (nach einer Idee von mir) meinem einstmaligen Mitarbeiter AMRHEIN, einem sehr tüchtigen Apparatekonstrukteur, dadurch, daß wir jeden Film einzeln aus einem oberen Magazin an einer geführten Kreisbahn um eine horizontale Achse einzeln schwingend in eine vertikale Lage gleiten ließen, wo er sich dem Objekt anlegte, von der Achse abglitt und vertikal nach unten in das untere Magazin glitt.

Die ganze Apparatur war vollautomatisch. Die einzelnen Filmkassetten lösten auf ihrem Weg die Bewegung der folgenden aus, aber auch die Entladung durch die Röhre. Die Filme waren in Strahlenschutz und nur im Expositionsaugenblick frei, wenn sie ihre Kreisbewegung beendeten, um sogleich die Vertikalbewegung zu beginnen².

Über 300 röntgenkinematographische Aufnahmen wurden von verschiedenen Autoren und mir selbst mit dem automatischen Einzelschlagverfahren und der «Plattenfallmaschine» in den Jahren vor dem ersten Weltkrieg aufgenommen. Dann ging es mit dem Kriegsbeginn zu Ende mit diesen und anderen Entwicklungsarbeiten; als man nach mehr als zehn Jahren mühsam wieder begann, war die Technik völlig geändert. Es standen neue Wege offen. Aber die Qualität der alten Aufnahmen mit dem Einzelschlagverfahren war gut, und das Verfahren brachte neue diagnostische Möglichkeiten. Es genügt vielleicht, unter den überaus zahlreichen Arbeiten eine — etwa die von ALWENS (Münchener med. Wochenschrift 14 [1911]) mit ihren 16 beigegebenen Bildern (die schlecht als Autotypien für sehr große Druckauflagen reproduziert sind) anzuführen. Das jetzige, durch Coolidge-Röhre und Transformator mögliche Verfahren (z. B. von JANKER in

¹ Das oben erwähnte Buch von SCHWENTER enthält S. 95 eine leider nicht sehr gute Wiedergabe des ersten EIJKMANNSchen Röntgenkinematogramms des Schluckaktes.

² «Röntgenaufnahmen in kurzen Zeiten», Verh. d. Deutschen Physik. Ges., XI, Nr. 20 (1909). Das erste Röntgenkinematogramm des menschlichen Herzens führte ich auf der 81. Versammlung deutscher Naturf. u. Ärzte in Salzburg, 22. September 1909, vor.

¹ Näheres in den Arbeiten: Physik. Zeitschr. X, 859 (1909); XII, 14 (1911) und XIII (1912).

² Archiv für phys. Medizin u. med. Technik, IV, 3, S. 193.

Bonn weit entwickelt) benutzt optische Photographie von Leuchtschirmbildern, sogenannte indirekte Kinematographie. Die dabei stattfindende hohe Dosisbelastung des Aufnahmeobjekts, das einer kontinuierlichen, sehr intensiven Röntgenstrahlung ausgesetzt wird, hat die Anwendung in der menschlichen Medizin wohl bisher noch verhindert. Auch diese Studien, wie die von REYNOLDS und VAN DE MAELE mit direkter Kinematographie, hat der zweite Weltkrieg zum Stillstand gebracht¹. In den Jahren 1914 und 1915 baute HUISMANS (Köln), an EIJKMANS Arbeiten anschließend, den Telekardiographen (Zentralblatt für Herz- und Gefäßkrankheiten, VII., Heft 16/17 (1915) auf, der mit Einzelschlagernaufnahmen Messungen am lebenden Herzen in seinen einzelnen Phasen zu machen erlaubte und dem üblichen Verfahren der Orthodiagraphie weit überlegen war.

Weil das Einzelschlagverfahren für das Studium der Vorgänge im Induktor und in der (gashaltigen) Röhre gewisse Vorteile bot (Wegfall des Unterbrechers, Ausschaltung der Änderungen des Röhrenzustandes), benutzte es DÉGUSNE, damals Direktor des Instituts für angewandte Physik an der Goethe-Universität in Frankfurt², um den Komplex der Induktorfragen neu zu prüfen. Er untersuchte mit Siemensoszillographen den Primärverlauf des Stromes, die Magnetisierung und den zeitlichen Gang der Sekundärladung in der «gashaltigen» Röntgenröhre mit sehr interessanten Ergebnissen, die im Original nachgelesen werden müssen.

Eine letzte Verbesserung erfuhr der Funkeninduktor noch im Jahre 1921³. Aber sie drang nicht mehr durch, denn inzwischen hatte bereits der Transformator mit der COOLIDGE-Röhre das Feld eroberzt.

Über die Unterschiede des Röhrenbetriebs mit Induktor und Wechselstromtransformator und die Gründe, warum durch die Glühkathodenröhre die Entscheidung zugunsten der letzteren fiel, kann ich hier nur einige Andeutungen geben. Die gashaltige Röhre bietet der rasch wachsenden Sekundärspannung des «Rühmkorff» einen praktisch unendlichen Widerstand bis zu dem Augenblick, da diese so hoch gestiegen ist, daß in der Röhre Stoßionisation eintritt. Dann erst wird der Sekundärstrom merklich und, da die sekundären Amperewindungen nach der primären Stromunterbrechung im gleichen Sinne magnetisieren wie vorher der Primärstrom, so hängt der weitere Verlauf der Entmagnetisierung, damit der Sekundärsstrom und des Energienachschubs, ganz vom Charakter der Röhre und den Eigenschaften des Induktors (Dimension des Eisenkerns, Streuinduktivität) ab. Im allgemeinen hat man als Ergebnis eine stromarme Vorentladung sehr hoher Spannung (mit harter Röntgenstrahlung) und eine wachsende Stromstärke der Nachentladung bei sinkender Spannung. Ist das Induktorium gut dimensioniert, so ist der Anteil intensiver, weicher Strahlung groß, und

¹ Vergleiche Einleitungsreferat über Röntgenkinematographie und Vorträge zum Thema auf dem Wiener Röntgenkongreß 1936, abgedruckt in der Zeitschrift «Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen» 56, 1 (1937).

² Phys. Z., XV, S. 630ff. (1914).

³ Steigerung der sekundären Energie beim Funkeninduktor, Phys. Z. XXII, 15, S. 425f. (1921).

es gibt sehr nuancierte Aufnahmen. In der Coolidge-röhre ist praktisch vom ersten Augenblick an der Widerstand begrenzt, da ja schon bei einer zur Scheitelspannung sehr geringen Teilspannung der Sättigungsstrom einsetzt. Infolgedessen entfaltet der Funkeninduktor beim Betrieb mit dieser Röhre niemals seine höchste Spannung. Der sofort mit beträchtlicher Stärke einsetzende Sekundärstrom verzögert das $\frac{d\Phi}{dt}$. Die Strahlung enthält die härtesten Komponenten nicht mehr, denn beim Funkeninduktor gibt es nach der Unterbrechung primärseits keinen Energienachschub, und die Spannung sinkt sofort ab. Deshalb wurden zunächst die Bilder schlechter, insbesondere «flau», kontrastärmer, als man Coolidge-Röhren mit Farbeninduktoren betrieb.

Anders beim Transformator. Seine sekundäre EMK ist durch den festgelegten sinusförmigen Ablauf des magnetischen Flusses bestimmt. Beim Induktor wird im Idealfalle der zeitlosen Unterbrechung die sekundäre EMK unendlich und erst durch den Sekundärstrom begrenzt. Aber der Transformator hat, wenn seine sekundäre Streuinduktivität nicht zu groß ist, Energienachschub aus der Stromquelle. Seine Sekundärspannung ist nicht im gleichen Maße wie die des Induktors vom Sekundärstrom abhängig. Sie bricht nicht zusammen, wenn die Coolidge-Röhre viel Strom nimmt, während die Sekundärspannung des Induktors dies tut.

Infoledessen lassen sich die Verhältnisse beim Betrieb mit Transformator und Coolidge-Röhre berechnen; die Abläufe sind übersehbar, wiederholbar. Und das gab schließlich den Ausschlag.

Die Einführung des Transformators zunächst in den diagnostischen Röntgenbetrieb geschah zuerst durch den Amerikaner LEMP. Anfangs war der Erfolg gering. Aber einige Jahre später von R. KOCH, Dresden, und dem Amerikaner SNOOK mit Verbesserungen versehen, eroberten diese Maschinen in den letzten Jahren vor dem Weltkrieg einen Platz neben dem alten «klassischen» System. Die Gleichrichtung geschah zuerst mechanisch in mancherlei Ausführungen, später nach COOLIDGES Erfindung immer mehr mit Glühkathodenventilen. Besonders bemerkenswerte Konstruktionen traten hierbei nicht auf. Aber es erschien um diese Zeit ein neues großes Problem der Röntgenologie, und dessen prinzipielle Lösung führte zu erheblichen technischen Fortschritten, die z. T. der ganzen Elektrotechnik zugute kamen:

LEOPOLD FREUND in Wien hatte sehr bald nach der Entdeckung RÖNTGENS, durch Hautschäden als Bestrahlungsfolgen aufmerksam gemacht, die Therapie von Hauterkrankungen mit Röntgenstrahlen eingeführt. Im Laufe der Zeit stellte es sich heraus, daß auf diese Weise maligne Neubildungen auf der Oberfläche, insbesondere Hautkarzinome, mit Erfolg behandelt werden konnten, und es ergab sich die Frage, ob man auch tiefliegende Tumoren günstig beeinflussen könne.

Die Frage wurde damals allgemein und von autoritärer Seite verneint. Denn stets muß ja die Strahlung die oberflächlichen, näher gelegenen Körperschichten passieren, und hier wird die Absorption

der Strahlung und infolgedessen die Wirkung größer sein, einmal weil sie der Strahlenquelle näher liegen, sodann weil die weichen Komponenten vorzugsweise an der Oberfläche absorbiert werden (Filtereffekt). Die Halbwertschicht der Strahlung eines damaligen Apparates war ein bis einige Zentimeter Wasser. Also war es sicher, daß zur Gabe einer genügenden Tiefendosis eine lebensgefährliche Oberflächenschädigung hätte in Kauf genommen werden müssen.

Ein ärztlicher Mitarbeiter, Dr. PAUL C. FRANZE, veranlaßte mich, dieses Problem, das auf den ersten Anblick wenig aussichtsvoll schien, genauer zu prüfen. Die Lösung erscheint heute trivial. Daß es damals anders war, zeigt der Sturm von Widerspruch, Mißtrauen und Warnung, den meine ersten Arbeiten hierüber erregten.

Die Lösung bestand in der gemeinsamen Ausnutzung der physikalischen Möglichkeiten. Einmal Erzeugung einer möglichst harten Strahlung durch hohe Spannung, hochevakuierte («harte») Röhren und Vorfiltrierung durch schwerere Filter (größere Atomgewichte als die der Körperbestandteile). Die benutzte Strahlung sollte so hart sein, daß im Körper selbst keine Filterwirkung durch die Oberfläche mehr zu stande käme, mit andern Worten, sie sollte in bezug auf die Absorption in den Körperorganen «praktisch homogen» sein. Ferner wurde die Entfernung der Strahlenquelle vom Körper so gesteigert, daß die Wirkung des Gesetzes der quadratischen Abnahme nicht mehr beträchtlich war. Die Tiefe der Körperschicht soll klein gegen den Gesamtabstand sein. Diese beiden Mittel konnten aber nur eine Annäherung der Tiefendosis an die Oberflächendosis bringen. Das dritte Mittel war die Wahl mehrerer Eintrittsrichtungen in den Körper, was man später «Kreuzfeuermethode» nannte. Dadurch konnte die Tiefendosis auf die Höhe der Oberflächendosis gebracht und in günstigen Fällen darüber hinaus gesteigert werden.

Die in den Jahren 1904 und 1905 begonnenen Studien und Versuche wurden unter dem Namen «Homogenstrahlungsmethode» bekannt. Der Name hatte seinen Ursprung aus folgenden Grundvorstellungen: Verschiedene Gewebsarten, aber auch pathologische Gebilde, haben gegen Strahleneinfluß eine *verschiedene Empfindlichkeit*. Die Chance der Therapie besteht darin, diese Differenz der Empfindlichkeit auszunützen. Der Unterschied kann aber nur dann vollständig in Erscheinung treten, wenn die normalen, manchmal weniger empfindlichen Zonen nicht etwa mehr Strahlung absorbieren als die zu schädigenden pathologischen, sondern vielmehr unter gleichen Bedingungen bestrahlt werden, d. h. die gleiche Strahlenart (Vermeidung der Filterwirkung) und von ihr (mindestens) die gleiche Menge der Strahlung erhalten. «Qualitativ homogen» in bezug auf den Körper nannte ich eine Strahlung, die von den verschiedenen Geweben gleichmäßig absorbiert wird (d. h. praktisch

gleichen Absorptionskoeffizienten, Ausschluß von Filterwirkung durch die Gewebe) und «räumlich homogen» durchstrahlt eine Zone, in der die Intensität der Strahlung praktisch gleich war. Auf diesen Gedanken-gängen baute sich die Tiefentherapie mit Röntgenstrahlen auf.

Die ersten Arbeiten über den prinzipiellen Lösungsweg und über die ersten längeren Versuchsreihen erschienen in den Jahren 1905—1908. Die technischen Anfangsschwierigkeiten waren überaus hoch. Die erste Versuchsanlage war in der CZERNYSCHEN Klinik in Heidelberg in den Jahren 1905/06 in Betrieb. Die Röhren, mit gleichgerichtetem Wechselstrom betrieben, waren an Decke und Fußboden angebracht, so daß die Abstände auf einen bis einige Meter stiegen. Die Bestrahlungsdauer mit der filtrierten harten Strahlung betrug mehrere Tage hindurch im ganzen mehrere hundert Stunden, bis eine manchmal überraschend günstige Wirkung eintrat.

Die Arbeiten wurden hauptsächlich gemeinschaftlich mit Gynäkologen in den Frauenkliniken von VEIT, Halle¹, BUMM, Berlin² und in zahlreichen anderen aufgenommen. Auf Veranlassung von VEIT kontrollierte der Physiker von Halle, DORN, an der Apparatur meine Angaben und bestätigte sie. Natürlich gab es eine Menge Streit³. Für die Röntgentechnik ergab sich aber folgende neue Lage:

Als man, insbesondere nach der LAUESCHEN Entdeckung (1912) nicht nur die Natur der Röntgenstrahlung, sondern auch die Zusammenhänge zwischen Strahlenhärte und Spannung erkannte und die Röntgenspektroskopie überall Anwendung fand (z.B. technisch zur genaueren Kontrolle der Höchstspannung durch die kurzwellige Grenze der Bremsstrahlung), andererseits mehr Erfahrungen aus dem klinischen Dauerbetrieb besaß, ergab sich die Notwendigkeit, den elektrotechnischen Teil des Tiefentherapieapparates auf neue Grundlagen aufzubauen. Früher waren die Apparate für Durchleuchtung, Aufnahme und Oberflächentherapie bei mäßigen Spannungen jeweils einige Minuten in Betrieb. Jetzt sollten sie stundenlang ohne Pause arbeiten, und die Spannung sollte dabei etwa 200 kV betragen. Kein Induktor und kein damaliger Transformator ließ eine solche Dauerbelastung zu. Transformatoren für 200 kV gab es zwar bereits in der Starkstromtechnik, aber sie waren viel zu groß und zu kostspielig. Die weit geringeren Ansprüche des Röntgenbetriebes an Leistung hätten die Kosten der damaligen Bauweise nicht

¹ «Beiträge zur Bestrahlung tiefliegender Prozesse», Med. Klinik 21 (1905). «Eine neue Anwendung der Röntgenstrahlung», Verh. d. Dtsch. Phys. Ges., IX, 3 (1907). Münchener med. Wochenschrift 24 (1908) und mehrere weitere.

² «Die Nachbehandlung operierter Karzinome mit homogener Bestrahlung», Berliner klin. Wochenschrift 11 (1908). «Zur Tiefenbestrahlung mit Röntgenstrahlen», Münchener med. Wochenschrift 14 (1909) u. a.

³ Vgl. zum Beispiel Dtsch. med. Wschr. 15 (1908), «Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlung», XIII (1909).

genügend erniedrigt, da der Isolationsanspruch der gleiche blieb.

So entstanden die ersten Transformatoren mit Potentialsteuerung¹. Man konnte auf diese Weise Übersetzungsverhältnis und Isolation getrennt behandeln. Ein Transformator für 200 kV z.B. konnte, je nach Wunsch, so gebaut werden, daß keine Wicklung für mehr als 50 oder 25 kV isoliert werden mußte. Die Beanspruchung war unterteilt und gesteuert². Das Prinzip ist mit Modifikationen z.B. von PETERSEN und WELTER in die allgemeine Elektrotechnik übergegangen. Heute wissen wenige mehr, daß es aus der Röntgentechnik stammt, und die Einsprüche, die es damals fand, sind kaum mehr zu verstehen. Die ersten Transformatoren dieser Art für Starkstromtechnik wurden in Europa von Siemens & Halske, Koch & Sterzel, Dresden und Emil Haefely AG., Basel, gebaut. In USA übernahm Westinghouse & Co. die Baurechte.

Mit dieser Bauweise konnte der Klinik zu geringem Preise ein betriebssicherer Transformator für Dauerbeanspruchung gegeben werden. Die Tiefentherapie nahm starken Aufschwung. Eine Übersicht über den Stand der Technik der potentialgesteuerten Transformatoren, die sehr viel Anwendung als Prüftransformatoren fanden, ist in der elektrotechnischen Zeitschrift 44, Heft 51 (1923) gegeben. Dort ist auch der erste Transformator für 1 Million Volt Spannung beschrieben, der je gebaut wurde. Er fand im Frankfurter Universitätsinstitut für physikalische Grundlagen der Medizin (jetzt Kaiser-Wilhelm-Institut für Biophysik) Aufstellung. Freilich, solche Rekorde werden rasch gebrochen, und heute bietet der Bau eines Transformators auch für einige Millionen Volt keine sehr erheblichen Schwierigkeiten mehr.

Das Tiefentherapiegebiet entwickelte sich nach dem ersten Weltkrieg zu einem großen Teilgebiet der Radiologie, und es gibt heute kaum mehr Krankenhäuser ohne solche Anlagen. Gemeinsam mit Chirurgie, Radiumtherapie und neuerdings der Kontaktroentgentherapie ist die Tiefentherapie in der Hand gut ausgebildeter Radiologen die Waffe gegen maligne Tumoren, die vielleicht furchtbarsten Krankheitsformen der Gegenwart. Den Stand der Röntgentiefentherapie mit Röntgenstrahlen um 1918 habe ich auf Wunsch des bekannten Gynäkologen BUMM, Berlin, im Archiv für Gynäkologie dargestellt³.

RÖNTGEN selbst hat die Grundlegung und die ersten Versuche mit der Tiefentherapie noch erlebt und

¹ «Über einen neuen Hochspannungstransformator und seine Anwendung zur Erzeugung durchdringungsfähiger Röntgenstrahlen», Verh. d. Dtsch. Physik. Ges., XIX, 17/18 (1917).

² Vgl. auch EDUARD WELTER, «Über einen neuen Hochspannungstransformator nach DESSAUER für sehr hohe Spannungen», Elektrotechn. Z. 38/39 (1918). P. CZERMAK, Naturwiss. 12 (1918). W. HESS, Bull. SEV 5 (1921). VOGELSANG, Elektrotechnik und Maschinenbau, Bd. 36, S. 169 (1918).

³ «Grundlagen und Meßmethoden der Tiefentherapie mit Röntgenstrahlen», Archiv für Gynäkol., Bd. III, Heft 2.

zeigte sich bei einem Besuch, den ich ihm machte, interessiert und gut unterrichtet. In meiner Röntgenbiographie habe ich davon erzählt.

5.

Eine große Fülle von Arbeiten leistete die Röntgentechnik auf dem Gebiete der Meßmethoden, und es ist unmöglich, hier einen Überblick über sie zu geben. Es handelte sich um Spannung, Strom und zeitlichen Ablauf im Sekundärkreis, um «Härte», Komponenten und Grenzen des austretenden Strahlengemisches, um Gesamtintensität und Einzelintensitäten, endlich um die «Dosis», d.h. das im Körper Wirksame. Eine Droge kann man, wenn ihre Zusammensetzung bekannt ist, mit der Apothekerwaage «dosieren». Von der komplexen Röntgenstrahlung kannte man die Zusammensetzung keineswegs, und es mußte dennoch ein Meßverfahren gefunden werden, das durch seine Angaben eine Voraussage über die zu erwartende biologische Reaktion zuläßt. Dazu kamen Probleme wie diese, ob bei zeitlicher Erstreckung der Bestrahlung ein SCHWARZSCHILDscher Faktor auftritt, ob es Schwellen gibt, ob harte und weiche Strahlung biologisch dasselbe Medikament sei oder qualitativ verschieden wirke. Und da man den biologischen Wirkungsmechanismus erst später durch die Anwendung der Quantentheorie auf das biologische Medium einigermaßen erkennen konnte, so war die Problemlage noch schwieriger. Die Anwendung der PLANCKSchen Theorie auf das biologische Medium erfolgte erst 1922, auch unter heftigem Widerspruch. Über das so entstandene neue, aber rasch voranschreitende Gebiet der Quantenbiologie habe ich in meiner Röntgenbiographie¹ einen kurzen Rückblick gegeben und verzichte daher, hier darauf einzugehen. In der Fußnote sind die ersten Arbeiten der Quantenbiologie angeführt².

Die vielfachen Versuche der qualitativen und quantitativen Strahlenmessung und Dosierung mündeten schließlich fast alle in ionometrischen Messungen, die, soweit ich feststellen konnte, zuerst von SZILLARD in die Röntgentechnik eingeführt wurden. Es haben sich mehr als hundert Physiker und Techniker um die Entwicklung dieser Methode zur qualitativen und quantitativen Dosierung verdient gemacht³.

Noch umfangreicher und darum ebenso unmöglich für die Darstellung in einer Rückschau wie diese ist das Gebiet der Zubehörteile, der Schutzmaßnahmen, Durchleuchtungs-, Aufnahme- und Therapiegeräte, Wiedergabeapparate, Hilfsmethoden. Aus buchstäblich Tausenden von Arbeiten will ich eine einzige erwähnen, weil sie vor einiger Zeit durch einen Schweizer Autor (HOPF) wieder aufgegriffen worden ist: das

¹ «Röntgen», S. 193 ff. (Bei Otto Walter in Olten, 1945).

² «Über einige Wirkungen von Strahlen», Mitteilungen 1—7, beginnend (1922). Z. f. Physik, XII und folgende.

³ Einen Überblick über den Stand um 1918 gibt die obengenannte Arbeit «Grundlagen und Meßmethoden der Tiefentherapie mit Röntgenstrahlen», Archiv für Gynäkol., 111, 2.

stereoskopische Sehen bei der Röntgendifurchleuchtung. Der erste, der dies durchführte, war HANS BOAS (der Erfinder des Turbinenunterbrechers). In einem Aufsatz «Arbeiten auf dem Gebiete der Wechselstrommaschine und des Einzelschlages» in der Zeitschrift «Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen», Bd. XX, ist auf Seite 371 der von BERGER in meinem Laboratorium vor 20 Jahren entwickelte Apparat zum stereoskopischen Durchleuchten beschrieben. Eine Entladungsrohre war als Doppelröhrenröhre ausgebildet, d.h. die Röhren kommunizierten, um gleiches Vakuum und gleiches Verhalten sicherzustellen. Die Antikathoden standen parallel in etwas mehr als Augenabstand. Ein mechanischer Gleichrichter verteilte die Halbwellen der Wechselstromhochspannung auf beide Röhren so, daß bei 50 Perioden jede Röhre in der Sekunde 25mal aufleuchtete. (Höhere Frequenzen wurden von gashaltigen Röhren nicht gut vertragen.) Ein Synchronometer öffnete und schloß abwechselnd im gleichen Rhythmus die Augen des Beobachters. Das wegen der hohen Frequenz flimmerfreie Bild war gut körperlich, und dieser Eindruck verstärkte sich, wenn das Objekt sich bewegte.

6.

Die Röntgentechniker und Röntgenphysiker waren fleißige Leute. In der hier skizzierten Entwicklungszeit von 1896 bis etwas nach dem ersten Weltkrieg, also der ersten fünfundzwanzig Jahre, sind weit mehr als zehntausend Veröffentlichungen auf diesem Gebiet erschienen. Jetzt steht diese Technik auf solider wissenschaftlicher Grundlage. Aber damals mußten wir alle auf ungeklärtem Terrain arbeiten.

Es geht bei einem solchen Rückblick, der aus eigenem Schaffensraum gehalten wird, nicht ohne das Erlebnis ab, das Goethe im Westöstlichen Diwan als «Stirb und werde» bezeichnete. Ein immer wiederholtes Beginnen, Erobern und Verlieren ist jeden Forschers und Technikers Los, und niemand kann später die Vielfalt der Zusammenarbeit übersehen, die den «Stand» dieser späteren Zeit erbaut hat. Wie wenig von dem, was ich erlebte, kann ich berichten, wie wenige von den Tüchtigen, die einst dabei waren und von denen viele den Strahlentod erlitten, auch nur erwähnen. Wie viele Resultate, einst Grund zu berechtigter Freude, sind überholt und damit windverweht, so wie RÖNTGEN in seiner Gedächtnisrede an FRIEDRICH KOHLRAUCH selbst gesagt hat.

Nun, das Leben ist ein tägliches Abschiednehmen; man soll es dankbar tun und herhaft zum nächsten schreiten, das aufgegeben ist.

Summary

The achievements of the technics of X-rays since their discovery are described, the stress being laid on the work of the pioneers in the beginning. The true nature of the X-rays then still being unknown, they were nevertheless wanted for diagnostical purposes, and so physicians and scientists were met with a lot of very difficult problems, some of which are described more in detail, especially the development of the X-ray tubes, the inductors and the transformers. Another set of theoretical and experimental problems posed itself, when the healing of cancerous tumors within the human body had to be tried without damaging the skin. In using all physical possibilities also this could be achieved; for the practical realization a new transformer for high tensions had to be constructed. — Other questions, f.i. the doses to be applied and the stereoscopic methods are also hinted at.

50 ans de radiologie médicale¹

Par E. A. ZIMMER, Fribourg

Il y a 50 ans WILHELM CONRAD RÖNTGEN a découvert des rayons invisibles qu'il appela rayons X. Le champ d'application de cette découverte s'est étendue progressivement d'une façon étonnante et a intéressé tour à tour les domaines les plus divers: métallurgie, cristallographie, recherches de microstructure, histoire de l'art (identification de falsification picturale) et – avant tout – la Médecine. C'est ici précisément que le rôle des rayons X est le plus particulier et le plus indispensable. Les mêmes rayons servent au diagnostic de la maladie et au traitement du malade.

Nous désirons tout d'abord envisager la première de ces applications, celle qui concerne le *diagnostic*. Nous éviterons une énumération schématique de toutes les

possibilités d'une identification radiologique de la maladie. Le diagnostic radiologique est étroitement lié à l'établissement d'une méthode, mais dépend aussi dans une si large mesure du degré de perfectionnement de l'appareillage technique que nous nous efforcerons de donner quelques précisions sur ce point. Nous distinguerons en effet 5 groupes de méthodes:

- 1^o Méthodes tendant à la réduction du temps de pose.
- 2^o Méthodes de représentation stéréoscopique.
- 3^o Méthodes d'agrandissement ou de réduction des clichés.
- 4^o Méthodes de fixation radiologique de diverses phases d'un mouvement.
- 5^o Méthodes impliquant l'emploi d'une substance de contraste.

¹ Leçon inaugurale, donnée le 8 novembre 1945, à l'Université de Bâle (en langue allemande).