

e) Wahl der Apparaturen.

Es kann sich nicht um eine genaue Beschreibung der verschiedenen Apparate, Hilfsgeräte, Röhren usw. handeln, um so weniger als noch ältere Modelle im Betriebe sind, z. B. Induktorapparate für Diagnostik, die heute nicht mehr fabriziert werden. Wir beschränken uns auf die Charakterisierung der modernen Apparatypen, der modernen Röhren und Hilfsgeräte und gehen nur kurz auf ihre Verwendungsmöglichkeit und Leistungsfähigkeit ein.

Durch die *Röntgenröhre* hindurch darf nur *hochgespannter Gleichstrom* von 40 bis maximal 250 Kilovolt Scheitelwert fließen, sonst wird sie zerstört. Derartig hochgespannte Ströme können naturgemäß von den Elektrizitätswerken nicht zur Verfügung gestellt werden. Sie müssen im Röntgeninstitut selbst erzeugt werden. Dies geschieht in der *Röntgenapparatur* durch Umformung des vom Elektrizitätswerk gelieferten niedrig gespannten Stromes. Vor Anschaffung eines Apparates muß man sich beim zuständigen Elektrizitätswerk über nachfolgende Fragen Auskunft verschaffen:

1. Welche *Stromart* (Gleichstrom, Wechselstrom oder Drehstrom) steht an meiner Arbeitsstätte zur Verfügung?
2. Welches ist die zur Verfügung stehende *Spannung* und wie groß sind die Netzspannungsschwankungen?
3. Welches ist die *Periodenzahl* für den Wechsel- oder Drehstrom?
4. Genügt der Querschnitt der vorhandenen Zuleitung und der vorhandene Zähler für den Anschluß eines leistungsfähigen Röntgenapparates?

Sämtliche modernen *Röntgenapparaturen* sind für *direkten Wechselstromanschluß* ausgeführt. Ist nur Gleichstrom vorhanden, so muß derselbe zuerst durch einen Umformer im Röntgeninstitut in Wechselstrom umgewandelt werden, was die Anlage wesentlich verteuert.

Auf Grund der Angaben des Elektrizitätswerkes können Unterhandlungen mit der Lieferfirma einer Röntgenapparatur angeknüpft werden. Die Firma ist in der Lage, für die verschiedenen Modelle genaue Leistungsangaben entweder in Kilowatt oder in Amperes zu geben. Erst nach Wahl der Apparatur kann endgültig entschieden werden, ob wirklich der Leistungsquerschnitt (Punkt 4 der obigen Fragen) genügt.

Die Entwicklung der Röntgenapparate ist heute zu einem gewissen Abschluß gelangt, indem sich eine Anzahl Typen herausgebildet hat, die in ähnlicher Konstruktion und Leistung von den verschiedensten Firmen fabriziert werden. Die Unterschiede sind

nicht prinzipieller Natur. Diese Typen lassen sich grundsätzlich in drei Klassen einteilen und zwar in *reine Diagnostikapparate*, *reine Therapieapparate* und in *Universalapparate* für Diagnostik und Therapie.

Der *einfachste Diagnostikapparat* besteht in der Hauptsache aus einem Hochspannungstransformator und einem Reguliertisch. Die Röntgenröhre selbst wird unmittelbar an die Hochspannungsleitung des Transformators angeschlossen, wobei der Ventilcharakter der Glühkathodenröhre gleichzeitig zur Unterdrückung der einen Halbwelle ausgenützt wird; daher der Name *Halbwellenapparat*. Solche Apparate sind sehr billig, sie sind aber in ihrer Leistungsfähigkeit beschränkt. Sie eignen sich als ausschließliche *Durchleuchtungsapparate* oder auch für kleinere Betriebe und für Privatärzte, die nicht allzu hohe Anforderungen stellen.

Prinzipiell sind zwar die Expositionszeiten keineswegs länger als bei den weiter unten geschilderten Vierventilapparaten bei gleicher Spannung und gleichem Röhrenstrom, hingegen ist die Röhrenbeanspruchung eine sehr viel größere. Man ist also genötigt, zur Schonung der Röhre entweder weniger zu belasten und damit länger zu exponieren, oder dann eine Röhre mit größerem Brennfleck zu wählen, wodurch die Schärfe des Röntgenbildes leidet. Nach SPIEGLER und ZAKOVSKY verlangt eine *Lungenfernaufnahme aus 2 m Distanz* bei einem Halbwellenapparat mit einem 6-Kilowatt-Rohr (vgl. später) eine Expositionszeit von *1—1,5 Sekunden*. Für die Praxis ergibt sich daraus, daß die Herstellung kurzzeitiger Aufnahmen, besonders des Magendarmkanales, auf Schwierigkeiten stößt.

Dieses Beispiel aus der Röntgenpraxis orientiert den Arzt am besten über die Leistungsfähigkeit einer solchen Apparatur im täglichen Betrieb. Die Lieferfirmen geben die Leistungsfähigkeit ihrer Apparate durch Nennung der maximal zulässigen Belastung in Milliampères und der Spannung in Kilovolt Scheitelwert an. Für einen Halbwellenapparat mittlerer Größe betragen diese Werte 100 mA bei 110 kV Scheitelwert.

Die weitaus häufigste Type der zur Zeit verwendeten Diagnostik-Apparate ist der *Vollwellenapparat* mit vier Glühventilen, die in Grätzscher Schaltung verbunden sind und gestatten, beide Halbwellen des hochgespannten Wechselstromes auszunützen. Man nennt sie kurz *Vierventilapparate* oder Vierventilgleichrichter. Dieser Apparatypus hat den früheren mechanischen Gleichrichter verdrängt.

Die Leistungsfähigkeit dieser Apparate ist eine sehr viel größere. Im täglichen Betrieb werden an *meinem* Institute *Lungenfern-*

aufnahmen aus 2 m Distanz bei einer Expositionszeit von 0,2 Sekunden hergestellt. Die Expositionszeiten können auf 0,1 Sekunden heruntergedrückt werden, falls das Zeitrelais dies zuläßt, was häufig nicht der Fall ist.

Die Lieferfirmen geben für die maximale Leistung je nach Apparattyp 250—500 mA bei einem Scheitelwert der Sekundärspannung von 100—120 kV an. Damit ist auch die Höchstleistung der heutigen Röntgenröhren erreicht.

Mit solchen Apparaten sind die schwierigsten röntgendiagnostischen Leistungen zu vollbringen. Die Apparatur gestattet kurzzeitige Aufnahmen aller Organe des Körpers und eignet sich besonders zur Herstellung der sogenannten gezielten Aufnahmen, also jener Aufnahmetechnik, bei der im unmittelbaren Anschluß an die Durchleuchtung kurzzeitige Aufnahmen gemacht werden. Die kürzeste Expositionszeit, die bei diesen Apparaten noch mit Sicherheit erreicht werden kann, ist im allgemeinen ungefähr $\frac{1}{10}$ Sekunde.

Der Wunsch nach kürzeren Expositionszeiten hat u. a. in neuester Zeit zur Konstruktion der sogenannten *Höchstleistungsdiagnostik-Apparate* geführt. Der Leistungsverbrauch dieser Apparate ist derart hoch, daß der Anschluß an ein einphasiges Wechselstromnetz wie bei den soeben beschriebenen Diagnostikapparaten nicht mehr möglich ist. Auch die maximale Leistung des Apparates selbst kann nur mit Hilfe von Drehstrom erreicht werden. Diese *Drehstromapparate* sind mit 6 Glühventilröhren in Grätzscher Schaltung versehen, so daß alle drei Phasen des Drehstromes zur Ausnutzung gelangen. Es wird dadurch ein hoher Wirkungsgrad erzielt.

Lungenfernaufnahmen aus 2 m Distanz können z. B. bei einer Expositionszeit von $\frac{1}{25}$ Sekunde hergestellt werden.

Die Firmen geben als Maximalleistung etwa 2000 mA bei 80—100 kV Scheitelwert an. Vorläufig existieren noch keine Röntgenröhren, die eine derartige Belastung auch nur kurzzeitig aushalten würden.

Als Sondertypen wären noch zu erwähnen die *transportablen Kleinröntgenapparate* und die *Kondensatorapparate* für diagnostische Zwecke. Die ersteren werden verwendet für dringliche Aufnahmen im Privathaus bei nicht transportablen Patienten oder in den einzelnen Krankensälen eines Spitalen. Sie sind nicht geeignet für Momentaufnahmen, hingegen ermöglichen sie Durchleuchtungen am Orte der Wahl und auch die Herstellung von Knochenaufnahmen. Es ist wünschenswert für manches Spital, einen solchen Apparat als Ergänzung zur stationären Röntgen-

abteilung zu besitzen. Die diagnostischen Kondensatorapparate sind dort am Platze, wo nur eine ungenügende Energiequelle zur Verfügung steht und doch die Möglichkeit gegeben sein soll, auch kurzzeitige Aufnahmen herzustellen. Das Verwendungsgebiet wird immer ein beschränktes sein. Im Prinzip beruhen diese Apparate darauf, daß ein großer Hochspannungskondensator in relativ langer Zeit mit geringer Stromstärke aus dem Netz aufgeladen wird, um dann seine angesammelte Ladung in einem kurzdauernden intensiven Stromstoß durch die Röntgenröhre zu senden. Die Leistung eines solchen Apparates hängt naturgemäß von der Größe der Kapazität seines Kondensators ab, sie kann so gesteigert werden, daß sie die Leistung der übrigen Großapparate erreicht.

Im *Therapiebetrieb* ist der *Gleichspannungsapparat* heute der bevorzugte Typ. Bei ihm wird der hochgespannte Wechselstrom unter Verwendung von zwei Glühventilröhren und zwei Kondensatoren in Greinacherschaltung umgewandelt in annähernd konstanten Gleichstrom.

Dem Arzt mag die Angabe dienlich sein, daß mit solchen Therapieapparaten im Dauerbetrieb maximal mit etwa 4 mA bei etwa 200 kV Scheitelwert gearbeitet wird. Nach den Angaben der Firmen ist die Leistungsfähigkeit der Gleichspannungsapparate freilich eine viel höhere. Sie beträgt maximal bis zu 16 mA bei 220 kV Scheitelwert. Die heute gebräuchlichen Röhrentypen halten solche Belastungen auf die Dauer nicht aus. Mit den geschilderten Apparaten kann natürlich neben Tiefentherapie ebensogut auch Oberflächentherapie getrieben werden.

Neben diesem Typus der Wahl für Therapieapparate werden heute noch Induktorapparate und für ausschließliche Oberflächentherapie mit relativ weicher Strahlung sogar auch Halbwellenapparate verwendet. Für eine kunstgerechte Strahlentherapie der bösartigen Tumoren kommt nur der Gleichspannungsapparat in Frage.

Die Industrie hat auch verschiedene Typen von Universalapparaten gebaut. Wir sind keine Anhänger derselben. Zum Spitalbetrieb eignen sie sich nicht, denn solange Therapie getrieben wird, ist die Diagnostik vollständig gesperrt und umgekehrt. Sie verleiten auch Ärzte zu therapeutischen Bestrahlungen, denen dieses Gebiet sonst vollkommen fernliegen würde, und die ohne ihren „Universal“-Apparat nie auf den Gedanken gekommen wären, Therapie zu treiben.

In Spezialfällen kann es allerdings dienlich sein, neben einem reinen Diagnostikapparat als Therapieapparat einen Universal-

apparat anzuschaffen, der gleichzeitig auch als Reserve für die Diagnostik dient, falls eine Betriebsstörung eintritt.

Als Röhrentypen kommen heute nur noch *Glühkathodenröhren* in Betracht, und zwar sowohl im Diagnostikbetrieb wie im Therapiebetrieb.

Bei Anschaffung einer Röntgenröhre soll man immer mitteilen, für welchen Zweck sie gebraucht werden und an welcher Apparatur sie betrieben werden soll. Es ist also beispielsweise bei Therapieröhren anzugeben, ob die Röhre für Oberflächen- oder Tiefentherapie benutzt wird, ob sie an einem Induktorapparat oder an einem Gleichspannungsapparat betrieben werden soll und bei welcher maximalen Spannung. Bei Diagnostikröhren ist anzugeben, ob es sich um eine Röhre für ausschließliche Durchleuchtung handelt, ob lediglich Strukturaufnahmen, also Zeitaufnahmen, hergestellt werden sollen, oder ob die Röhre für kurzzeitige Aufnahmen mit hohen Belastungen bestimmt ist. Je nachdem unterscheidet sich die Röhre in der Größe des Brennfleckes (Fokus) und unter Umständen in der Art der Kühlung. Man muß sich über diese Dinge klar sein, weil man eine Röhre mit einem feinen Fokus dadurch ruinieren kann, daß man sie für Momentaufnahmen benutzt. Alle Therapieröhren haben einen großen Fokus.

Es ist darauf zu achten, daß jede Röhre mit einem Leistungsschild versehen ist, welches die zulässigen Belastungen für verschiedene Spannungen und Expositionszeiten sowie die Angabe des maximal zulässigen Heizstromes enthalten soll. Zwei Beispiele illustrieren das Gesagte. Wir haben Diagnostikröhren gewählt.

Hochleistungs-Fokus (Groß-Fokus).

Durchleuchtung:

Röhrenspannung:	65	85	100 kV	Scheitelwert
Röhrenstrom:	10	8	8 mA	(dauernd)

Aufnahmen:

Röhrenspannung in kV		Funken- schlagw. zwischen Spitzen	am Gleichrichter		mit Wechselspannung	
Scheitel- wert	effekt. Wert		1 Sek.	5 Sek.	1 Sek.	5 Sek.
50	35	6,6 cm	150 mA	130 mA	—	—
65	46	10 „	115 „	100 „	75 mA	65 mA
85	60	14,6 „	75 „	65 „	50 „	45 „
100	71	18 „	55 „	47 „	40 „	35 „
115	81	21 „	45 „	40 „	—	—

Heizstrom max. ca. A.

Fein-Fokus.

Durchleuchtung:

Röhrenspannung: 65 85 100 kV Scheitelwert
 Röhrenstrom: 10 8 6 mA (dauernd)

Aufnahmen:

Röhrenspannung in kV		Funken- schlagw. zwischen Spitzen	am	mit Wechsel-
Scheitel- wert	effekt. Wert		Gleichrichter	spannung
			8 Sek.	12 Sek.
65	46	10 cm	40 mA	30 mA
85	60	14,6 „	30 „	23 „
100	71	18 „	25 „	20 „
115	81	21 „	22 „	—

Heizstrom max. ca. A.

Verschiedene Firmen benutzen zur Charakterisierung der Röhren die Angabe der Leistungsfähigkeit derselben in *Kilowatt*. Man unterscheidet 3-Kilowatt-Röhren, 6- und 10-Kilowatt-Röhren, entsprechend einer Feinfokusröhre, einer Mittelfokusröhre und einer Großfokusröhre (Hochleistungsröhre).

Man versteht z. B. unter einer 6-Kilowatt-Röhre ein Rohr, das eine Sekunde hindurch eine Belastung von 6 kW ertragen kann, also z. B. von 150 mA bei 50 kV eff. oder von 100 mA bei 60 kV eff. (Die Kilowattzahl wird errechnet durch Multiplikation der Milliamperezahl mit der Kilovoltzahl eff.)

Eine Schwierigkeit besteht für die Praxis bei der Beurteilung der Leistungsangabe auf Grund des Leistungsschildes oder der Kilowattzahl darin, daß die Effektivspannung nicht bekannt ist. Die auf dem Schalttisch der Röntgenapparate vorhandenen Kilovoltmeter geben die Leerlaufspannung des Transformators in Effektiv- oder Scheitelwert an. Die wirkliche an der Röhre vorhandene Spannung ist geringer, und zwar ist der Unterschied um so größer, je höher die Belastung gewählt wird (Spannungsabfall). Genaue Kenntnis der an der Röhre herrschenden Spannung muß man sich durch Eichung der Apparatur mittels einer Kugelfunkstrecke an Ort und Stelle verschaffen.

Wird dieser Spannungsabfall nicht in Rechnung gezogen, bedient man sich also bei der Berechnung der Röhrenleistung der Angabe des Kilovoltmeters, so wird man dabei immer Werte bekommen, die etwas unter den zulässigen Belastungen liegen, wobei die Röhre nicht voll zur Ausnutzung gelangt. Es ist empfehlenswert, mit diesem Sicherheitsfaktor zu rechnen, da im

praktischen Betrieb oft unvorhergesehene Überlastungen auftreten können.

In einem kleineren röntgendiagnostischen Betriebe genügt die Anschaffung von zwei Röhren, wobei man eine Röhre mit Fein-Fokus für Zeitaufnahmen und für die Durchleuchtungen verwendet, die andere Röhre mit Hochleistungs-Fokus für Momentaufnahmen. In einem radiotherapeutischen Institut hängt die Wahl des Röhrentypus davon ab, ob man nur Oberflächentherapie oder auch Tiefentherapie treibt. Für die ausschließliche Oberflächentherapie kommen Therapieröhren in Betracht, die nur für niedrige Spannungen von im Maximum etwa 140 kV Scheitelwert in Betracht kommen. Für Tiefentherapie liegt heute die höchste noch wirtschaftliche Betriebsspannung bei etwa 200 kV Scheitelwert. Diese Spannungsangaben beziehen sich auf eine Belastung von 4 mA. Bei höheren Belastungen müssen die Spannungen entsprechend reduziert werden.

Bei allen Röhrentypen unterscheiden wir die *gewöhnlichen Glasröhren* und die *Strahlenschutzröhren*. Die ersteren Röhren verlangen Stative mit allseitig geschlossenen Schutzbehältern. Die Strahlenschutzröhren selbst erfordern keine weiteren Schutzmaßnahmen am Stativ. Die Leistungsfähigkeit beider Röhrentypen ist dieselbe. Bei den gewöhnlichen Röhrentypen ist der Anschaffungspreis der Stative wegen der erforderlichen Schutzbehälter höher, dagegen der jeweilige Röhrenersatz billiger.

Jede neu angeschaffte Röhre muß zuerst gereinigt und trocken gerieben werden, nachdem man beim Empfang äußerlich keinen Schaden festgestellt hat. Dann lege man zunächst eine möglichst geringe Hochspannung kurzzeitig an die Röhre, ohne daß der Glühkathodenheizstrom eingeschaltet wird. Tritt dabei blaues oder rotes Leuchten oder sogar Funkenbildung auf in der Röhre, so ist Luft in dieselbe eingedrungen, und sie ist unbrauchbar. Der Heizstrom wird dann nicht eingeschaltet, weil sonst bei defektem Vakuum die Heizspirale durchbrennt und die Röhre irreparabel geworden ist. Ist keine der genannten Erscheinungen aufgetreten, so wird Heizstrom eingeschaltet, den man langsam steigert, bis der gewünschte Röhrenstrom fließt, wobei man sich an die Angaben des Leistungsschildes halten muß. Bei Wasserkühlröhren ist selbstverständlich vorher der Kühlwasserbehälter mit destilliertem Wasser zu füllen.

Noch nicht normalisiert sind die *Hilfsgeräte* zum Röntgenbetrieb. Es gibt sehr viele Konstruktionen, die ihre Liebhaber haben. Verlangt werden muß in jedem röntgendiagnostischen Betrieb ein Durchleuchtungsstativ, ein Säulenstativ mit Lage-

rungstisch und eine Buckyblende. Die gewöhnlichen Durchleuchtungsstative sind zum Sitzen oder Stehen eingerichtet. In solchen Fällen ist im Spitalbetrieb die Anschaffung eines Trochoskopes zur Durchleuchtung von liegenden Patienten erforderlich, ferner zur Fremdkörperextraktion. In großen röntgendiagnostischen Betrieben ist es vorteilhaft, mehrere getrennte Arbeitsplätze zu haben und diese mit Spezialgeräten auszustatten. Es resultiert großer Zeitgewinn. Außerdem sind die verschiedenen konstruierten Spezialgeräte immer zweckmäßiger als Universalhilfsgeräte. In röntgentherapeutischen Betrieben ist vor allem ein Lagerungstisch notwendig, auf dem die Patienten einerseits richtig gelagert, andererseits aber auch gut gegen Streustrahlung abgedeckt werden können. Die Wahl des Röhrenstatives hängt ab von der Art der verwendeten Röhren und auch davon, ob wir mit Fernfeldern oder mit Nahfeldern arbeiten. Im Therapiebetrieb soll immer eine *Filtersicherung* gegen Filtervergessen angebracht werden. Es gibt heute Sicherungen nicht nur gegen Filtervergessen, sondern auch gegen Filterverwechseln, die recht empfehlenswert sind.

Schwierig ist es, unter den verschiedenen, auf den Markt gebrachten Dosimetern irgendeine Type zu empfehlen. Zur *Standardisierung* nach Röntgeneinheiten ist ein geeichtes *Jonisationsinstrument* notwendig.

Nachdem an der installierten Apparatur die Standardisierung durchgeführt und im biologischen Versuch kontrolliert ist, erfolgt die eigentliche *Dosierung* in der täglichen Praxis nach der *Zeit*. Dies ist möglich, seitdem — zum Unterschied von früher — die Betriebsbedingungen der modernen Röntgenmaschinen außerordentlich konstante geworden sind. Vorsichtig ist es allerdings, wenn zwei Milliampereometer und zwei Zeitmesser verwendet werden, um gegen Störungen von seiten eines dieser Meßinstrumente gesichert zu sein. Außerdem ist es ratsam, periodisch, z. B. alle Wochen einmal, die Konstanz der standardisierten Bestrahlungsbedingungen mit irgendeinem Dosimeter zu kontrollieren. Es wäre wünschenswert, wenn uns die Industrie zu diesem Zwecke ein möglichst einfaches Instrument zur Verfügung stellen würde.

Der Wunsch aller Strahlentherapeuten ist das Integraldosimeter. Aus diesem Grunde findet mit Recht die Sabouraud-Noiré-Tablette immer noch Anwendung, trotzdem die kolorimetrischen Ablesungen manchmal recht schwierig sind. Andere Integraldosimeter beruhen auf dem Prinzip der Jonisation. Dies bedingt recht komplizierte Konstruktionen, dementsprechend hohen Preis und Geschick in der Handhabung.

Bei Auswechslung einer Röhre oder nach Betriebsstörungen ist eine neue Standardisierung notwendig.

f) Arbeitszeit.

Unbestritten ist in jedem radiologischen Betriebe das Personal in gesundheitlicher Hinsicht gefährdet. Dies gilt in gleicher Weise für Diagnostikabteilungen wie für radiotherapeutische Stationen (Röntgenstrahlen und Radium). Es handelt sich weniger um akute Verbrennungen als um chronische Strahlenschädigungen, vor allem um mitunter tödlich verlaufende Blutschädigungen, chronische Hautschädigungen und Sterilisierung. Daneben besteht Gefährdung durch den elektrischen Strom (Hochspannung) und durch die im Röntgenbetrieb erzeugten nitrosen Gase. Der Leiter eines solchen Betriebes kann für die auftretenden Schädigungen haftbar gemacht werden und muß sie durch Schaffung geeigneter Arbeitsbedingungen und durch strenge Betriebsvorschriften, deren Innehaltung er zu überwachen hat, zu bekämpfen suchen.

Unter *geeigneten Arbeitsbedingungen* verstehen wir solche, bei denen für guten Strahlenschutz, guten Hochspannungsschutz und gute Ventilation vorgesorgt ist. In Deutschland kann jeder Assistent, Praktikant oder Volontär, jede Krankenschwester und überhaupt jede Hilfskraft die Ausführung von Röntgen- oder Radiumarbeiten ohne genügende Schutzmaßnahmen ablehnen, ohne daß eine solche Weigerung den Grund zur Entlassung bilden darf.

Eine ebenso wichtige Schutzmaßnahme ist die *richtig dosierte Arbeitszeit*. England hat darüber Richtlinien aufgestellt. Diese wurden am 2. internationalen Radiologenkongreß in Stockholm 1928 diskutiert, und man kam zu folgenden Vorschlägen:

1. Die *tägliche Arbeitszeit* für Personen in radiologischen Abteilungen beträgt höchstens *7 Stunden*.

2. Die *wöchentliche Arbeitszeit* beträgt *5 Arbeitstage*. Zwei Wochenhalbtage oder ein ganzer Tag außer dem Sonntag werden freigegeben und sind tunlichst im Freien zu verbringen.

3. Die *jährliche Urlaubszeit* beträgt *1 Monat* oder zweimal 14 Tage.

4. Personen, die in Röntgen- und Radiumabteilungen von Hospitälern ganztägig beschäftigt sind, sollen nicht zu anderem Spitaldienst herangezogen werden.

Das sind Minimalforderungen. In Therapiebetrieben ist die Ferienzeit vorsichtshalber noch größer zu wählen. So bekommen die Therapiegehilfinnen am Radiumhemmet in Stockholm pro Jahr 2 Monate Ferien.