

an den Röhren verbleiben können, wenigstens solange, als die Röhre nicht gewechselt wird. Die Erfahrung zeigt, daß in der Tat die meisten elektrischen Unfälle durch Hochspannung in Röntgenbetrieben beim Einhängen der Zuleitungskabel an die Röhren entstanden sind, wobei durch Zufall das Hochspannungsnetz plötzlich unter Spannung gesetzt wird.

Zu den Schutzmaßnahmen gehören auch gute *Erdleitungen*. Sämtliche Metallteile der Untersuchungsgeräte, also der Säulensative, der Lagerungstische und der übrigen Hilfsgeräte sind durch flexible Kabel mit der Erdleitung fest zu verbinden. Die Verwendung von Ketten ist unzulässig. Die beste Erdleitung sind Wasserleitungen oder Blitzableiter. Die Technik macht immer weitere Fortschritte, um schließlich dahin zu gelangen, daß im Untersuchungs- oder Behandlungsraum eine Gefährdung durch die Hochspannung vollständig ausgeschlossen wird.

e) Strahlengefährdung und Strahlenschutz.

Die in radiologischen Betrieben tätigen Ärzte, das gesamte Bedienungspersonal und auch die nur vorübergehend sich im Gebäude aufhaltenden Personen müssen vor Schädigungen durch ungewollte kurzweilige Strahlung (Röntgenstrahlen, Gammastrahlen) möglichst geschützt werden.

Man unterscheidet Schutz gegen direkte vom Brennfleck der Röhre ausgehende Röntgenstrahlen, Schutz gegen die Gammastrahlung der Radiumpräparate und Schutz gegen Streustrahlung, die von irgendeinem von kurzweiliger Strahlung getroffenen Gegenstände — auch vom Patienten — ausgeht.

Die *Gefahren* von seiten der *direkten Brennfleckstrahlung* der Röntgenröhren werden durch Verwendung von guten *Röhrenschutzgehäusen* auf ein Minimum herabgedrückt. Die Röntgenröhre befindet sich in allseitig geschlossenen Strahlenschutzkästen aus Bleiglas, Blei usw. und läßt nur durch die Blendenöffnung nach Passage eines Grundfilters von 0,5—1 mm Al die Nutzstrahlung austreten. Das Röhrenschutzgehäuse dient aber nicht nur zum Schutz gegen ungewollte Brennfleckstrahlung, sondern auch gegen die Glasstrahlung, Stielstrahlung usw. Denselben Zweck erfüllen die modernen *Strahlenschutzröhren*. Noch viel zu häufig konstatiert man in Röntgenbetrieben ungenügende Bleiglashauben, sogenannte Röhrenbecher und andere ungenügende Röhrenschutzkästen. Es wäre ohne große Kosten möglich, diese Übelstände zu beheben. Wichtig ist natürlich, daß man die Schutzmaßnahmen gegen die direkte fokale Röntgenstrahlung *periodisch* kontrolliert. Dies läßt sich einfach vornehmen durch Anbringung

eines in schwarzes, lichtundurchlässiges Papier eingewickelten Filmstreifens, der kürzere oder längere Zeit an verschiedenen Stellen in der Umgebung der Röntgenröhre angebracht und nachträglich entwickelt wird. Defekte in der Absorption der ungewollten Primärstrahlung müssen so leicht zum Vorschein kommen.

Beim Arbeiten mit *Radiumpräparaten*, Radiumnadeln, Radiumröhrchen usw. *hüte man sich vor dem Anfassen* derselben mit dem Finger. Alle *Manipulationen*, wie Filterwechseln, Herstellung von Moulagen usw. müssen hinter den eigens hierfür konstruierten *Bleitischen* vorgenommen werden. Der *Transport* von Radiumpräparaten darf nur in eigens zu diesem Zwecke konstruierten *Bleikästchen* erfolgen, die Implantation von Nadeln in den Körper des Patienten, das Einführen von Radiumröhren in natürliche Körperhöhlen usw. geschieht am besten mit speziellen Instrumenten, die entweder Holzgriffe haben oder gegen Sekundärstrahlung mit Gummiüberzügen geschützt sind. Die Verwendung gashaltiger Emanation ist immer gefährlich. Beim Bruch einer Gaskapillare tritt das Gas aus und kann eingeatmet werden.

Am schwierigsten zu bekämpfen ist die *Gefährdung* durch die *Streustrahlung* in Röntgenräumen. Vollständig vermeiden läßt sich dieselbe nie ohne Durchführung des Dreikammersystems.

Wichtigstes Schutzmittel ist eine *gute Anordnung der Räume*. Das geschilderte Dreikammersystem garantiert, daß der für sich abgeschlossene Schalt- oder Bedienungsraum weitgehend sowohl gegen direkte, als auch gegen indirekte Röntgenstrahlung geschützt werden kann. Auch Röntgenstrahlung, die bei ungenügender Heizung der Ventilröhren der Apparaturen in denselben entsteht, läßt sich am besten dadurch abschirmen, daß ein getrennter Raum zum Maschinenraum eingerichtet wird. *Im Aufnahmeraum selber darf das Personal sich nur aufhalten während der Lagerung und Einstellung des Patienten, nicht aber während der Exposition des Films*. Die heute verwendeten großen Röntgenstrahlenmengen sind zu gefährlich.

Während der röntgendiagnostischen *Durchleuchtungen* muß der *Arzt* sich unmittelbar direkter und indirekter Röntgenstrahlung aussetzen. Persönlich schützt er sich dabei durch *Bleischutzzanzeln, Bleischürzen, Bleihandschuhe* und dergl., er beachtet, daß die *Blendenöffnung nie größer ist, als der mit einer guten Bleiglasscheibe versehene Durchleuchtungsschirm*. Der Hauptschutz liegt aber darin, daß er nur mit geringen Stromstärken arbeitet. *Die maximale Röhrenbelastung darf 5 Milliampères nicht übersteigen*, wobei zwischen Röhre und Patient ein *Alu-*

miniumfilter von 0,5—1 mm Dicke angebracht ist, das eventuelle weichste Röntgenstrahlung absorbieren soll, und wobei ferner eine dünne Holzwand oder eine Segeltuchwand einen Minimalabstand Brennfleck—Haut des Patienten von etwa 40 cm garantiert. Eine weitere Gefährdung durch unmittelbare Strahlung kann im *Therapiebetrieb* dann eintreten, wenn nach Lagerung und Einstellung des Patienten mit dem Felderabsucher nach Inbetriebsetzung der Apparatur die Richtigkeit der Einstellung kontrolliert wird. Die im Therapiebetrieb verwendeten Röhrenstromstärken sind zwar viel geringer als bei der Aufnahmetechnik, die Gefährdung resultiert hier aber aus der starken Durchdringungsfähigkeit der Strahlung und der viel längeren kontinuierlichen Bestrahlungszeit. Auch hier soll sich der Arzt durch eine Bleischürze schützen und durch rasches und zielbewußtes Arbeiten die Expositionsdauer seines eigenen Körpers auf ein Minimum herabdrücken. Wichtig ist auch, daß die Feldabsucher recht lang sind, da die Strahlenintensität nach dem Quadrat der Entfernung abnimmt.

Abgesehen von der Durchleuchtung und von der Kontrolle des Bestrahlungsfeldes zu Beginn jeder therapeutischen Bestrahlung ist eine Exposition des Arztes Röntgenstrahlen gegenüber zu vermeiden. Man hat sich früher schon durch fahrbare Schutzwände vor dem Schalttisch sowohl im Diagnostikbetrieb wie auch im Strahlenbetrieb zu schützen gesucht. Wir wissen heute, daß diese Schutzvorrichtungen meist ungenügend sind, und deshalb ist man dazu gelangt, bei Einrichtung *neuer* Röntgeninstitute die Durchführung des geschilderten Dreikammersystemes zu fordern. Dasselbe erlaubt, die Wände des Bedienungsraumes und die Türen zwischen demselben und dem Aufnahmeraum möglichst strahlenschutzsicher zu gestalten.

Dazu ist die Kenntnis der *Schutzwirkung* der verschiedenen *Baumaterialien* notwendig. Es läßt sich oft durch zweckentsprechende Dimensionierung von Zwischenwänden, Fußböden und Decken der erforderliche Schutz erreichen, ohne daß teure Bleiverkleidungen oder Verwendung spezieller Schutzmaterialien erforderlich wären. In der folgenden Tabelle sind die Schutzwirkungen der verschiedenen Baumaterialien zusammengestellt. In der ersten Kolonne ist das untersuchte Material angegeben, in der zweiten Kolonne die entsprechenden Äquivalenzwerte, d. h. diejenigen Schichtdicken des betreffenden Materiales, die erforderlich sind, um denselben Schutz zu erreichen, wie eine 1 mm starke Bleischicht. In der dritten Kolonne ist die minimale erforderliche Schichtdicke angegeben für das in Frage kommende Material, die sich beim Diagnostikbetrieb als genügend erwiesen hat. Entspre-

chend der verwendeten Strahlenhärte im Diagnostikbetrieb genügt nämlich eine 2 mm dicke Bleiplatte zum Schutz vor ungewollten Röntgenstrahlen. In der letzten Kolonne sind die Schichtdicken im Therapiebetrieb angegeben. Die Therapiestrahlung ist bedeutend durchdringungsfähiger als die Diagnostikstrahlung. Es wird eine Schichtdicke von 4 mm Blei zur Strahlenabschirmung gefordert. Für das angeführte Material finden sich die entsprechenden Äquivalenzwerte.

„Strahlenschutz bei Röntgenstrahlen“.

Material	Äquivalenzwerte	Verlangter Schutz in Blei	
		für Diagnostik 2 mm	für Therapie 4 mm
Bleiglas, alte Qualität . . .	1 : 9,5	19 mm	38 mm
Bleiglas, neue Qualität . . .	1 : 4	8 mm	16 mm
Bleigummi, alte Qualität . .	1 : 3	6 mm	12 mm
Bleigummi, neue Qualität . .	1 : 2,5	5 mm	10 mm
Barytstein	1 : 14	28 mm	56 mm
Barytstein	1 : 20	40 mm	80 mm
Kämpfe-Lorey-Material . . .	1 : 15	30 mm	60 mm
Ziegelstein	1 : 95	190 mm	380 mm
Ziegelstein	1 : 100	200 mm	400 mm
Stampfbeton	1 : 53,5	107 mm	214 mm
Messing	1 : 4	8 mm	16 mm
Stahl	1 : 6,5	13 mm	26 mm
Holz	1 : 1000	2000 mm	4000 mm

Dieser Tabelle entnehmen wir, daß eine Zwischenwand von etwa 11 cm Dicke aus Stampfbeton als Strahlenschutzwand zwischen dem Aufnahmeraum und dem Bedienungsraum vollständig genügt und keiner weiteren Bleiverkleidung bedarf. Im Therapiebetrieb müßte die Wandstärke 22 cm betragen. Bei Decken- und Bodenkonstruktionen lassen sich diese Wandstärken häufig nicht durchführen; da empfiehlt es sich, die natürliche Schutzwirkung durch besonders stark absorbierendes Material, wie Blei, Barytstein, eisenerzhaltiges Material und dergl. derart zu erhöhen, daß der vorgeschriebene Wert erreicht wird. Logischerweise gilt diese Vorschrift nur für solche Nebenräume, in denen sich Personen aufhalten oder in denen Gegenstände, z. B. Films oder Röntgenplatten, aufbewahrt werden, die durch den Einfluß der Strahlung geschädigt werden können. Meistens genügt es bei der erwähnten Verstärkung des Bodenschutzes bei feststehenden Stativen, wenn einige Quadratmeter unter dem Be-

strahlungstisch verstärkt werden, denn die weiter seitlich liegenden Teile werden von der Strahlung schräg durchsetzt, haben also größere Schichtdicken zu passieren.

Besondere Aufmerksamkeit hinsichtlich des Strahlenschutzes ist den *Verbindungsstüren* und den *Fenstern* nach dem Bedienungsraum und anderen an den Behandlungsraum anschließenden Räumen zu schenken. Für die Fenster muß hochwertiges Bleiglas zur Verwendung gelangen von einer gleichstarken Schutzwirkung, wie sie für die Trennungswand vorgeschrieben ist. Das Problem der Schutzwirkung der Türen wird am einfachsten dadurch gelöst, daß zwischen eine Doppelholztüre ein Bleibelag der vorgeschriebenen Stärke angebracht wird. Die Konstruktion bei Fenstern und Türen

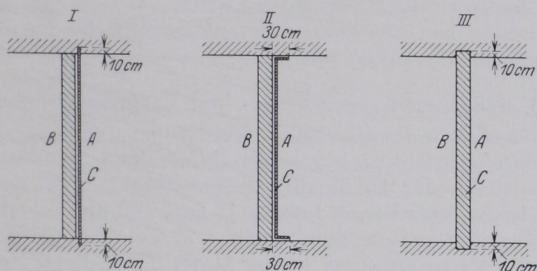


Abb. 8. Anordnung der Schutzschicht von strahlensicheren Wänden.

A Behandlungs- oder Untersuchungsraum. B Geschützter Raum. C Schutzschicht oder Schutzwand. I Dünne Wand mit Bleiverkleidung (für Diagnostikstrahlung 2 mm dick, für Therapiestahlung 4 mm dick). II Dasselbe, aber mit anderer Lösung des Stoßfugenproblems. III Massive strahlenabsorbierende Wand von einem Äquivalenzwert von 2 bzw. 4 mm Blei.

muß so durchgeführt werden, daß durch entsprechende Überdeckung von mindestens 2 cm überall der vorgeschriebene Schutz vorhanden ist. Löcher, die zur Befestigung des Bleibelages angebracht werden müssen (Nägeln, Schrauben) sowie Stoßfugen müssen durch entsprechende Bleistreifen wieder überdeckt werden.

Ein Ausführungsbeispiel, wie die Strahlenschutzwände oder die Schutzverkleidungen an vorhandenen Wänden angebracht werden sollen, zeigt Abb. 8. Es genügt nicht, wenn der Schutz nur bis an die Oberkante des Fußbodens oder der Decke reicht, sondern er muß wenigstens 10 cm nach oben oder unten weitergeführt werden oder wenn dies nicht möglich ist, auf eine Länge von 30 cm horizontal herumgeführt werden; nur auf diese Weise ist es möglich, einen vollkommen strahlensicheren Raum zu erhalten.

Wegen der wesentlich *größeren Durchdringungsfähigkeit* der *Radiumstrahlen* stößt die Erreichung eines absoluten Strahlenschutzes auf beinahe unüberwindliche Schwierigkeiten. Auch die besten Schutzvorrichtungen sind nicht imstande, jede Gefahr zu beseitigen. Das beste Vorbeugungsmittel ist ein äußerst zuverlässiges Personal, das die Vorschriften über die Manipulation mit Radiumpräparaten usw. streng innehält. Außerdem schützt eine beschränkte Beschäftigungsdauer mit Radium, also öfterer Personalwechsel, am besten. Die strahlen- und zugleich diebesichere Aufbewahrung des sehr teuren Radiumvorrates erfolgt in einem speziellen Tresor, der natürlich auch feuersicher sein muß. Dieser Tresor besitzt infolge der 18—20 cm dicken Bleieinlage ein sehr hohes Gewicht von unter Umständen mehreren Tonnen. Es ist wichtig, dem Architekten dies mitzuteilen, der danach seine Berechnungen zu richten hat.

d) Maßnahmen gegen Feuer- und Explosionsgefahr.

Die vor einigen Jahren erfolgte Verdrängung der Glasröntgenplatten durch den doppelt begossenen *Zelluloid-Röntgenfilm* brachte eine neue Gefahr für den Röntgendiagnostikbetrieb mit sich. Der Film ist leicht brennbar, er besteht ja zum Teil aus Schießbaumwolle oder verwandten Substanzen und bei der Verbrennung entstehen gewaltige Mengen giftiger Gase. Trotz dieser Nachteile hat er sich überall durchgesetzt wegen seiner höheren Empfindlichkeit gegenüber Röntgenstrahlen, seines leichten Gewichts und seiner bequemen Verarbeitung. Die Röntgenplatte ist heute nahezu überall verdrängt durch den Röntgenfilm.

Die Archivierung der Originalröntgenplatten war lediglich eine Raumfrage. Bei der Anlage von Filmagern aber sind ganz besondere Maßnahmen zu treffen.

Zwar nimmt meist das Verbrennen von einzelnen Filmen in Operationsräumen, Krankenzimmern usw. einen recht harmlosen Verlauf. *Der Brand eines Filmagers aber wird immer zur Katastrophe.* Sie braucht nicht so schrecklich zu verlaufen wie der Brand des Filmagers am Spital in Cleveland, der zum Vergiftungstod von nicht weniger als 126 Menschen geführt hat. Die Richtlinien des Deutschen Reichsgesundheitsamtes zur Verhütung von Bränden durch Röntgenfilme sind in Bd VII, S. 15ff. angegeben.

In jedem größeren Röntgeninstitut wird man zwischen einem *Hauptfilmarchiv*, in welchem die große Mehrzahl aller Röntgenegative aufbewahrt wird, und einem Filmarchiv für die *wissenschaftliche Sammlung* unterscheiden müssen. Das Hauptarchiv