

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

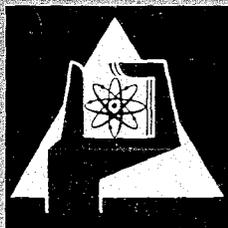
August 1967

KFK 557

Abteilung Strahlenschutz und Dekontamination

Dosisleistungsmessungen im Störstrahlungsfeld einer
Röntgenanlage für Kalibrierzwecke

E. Piesch



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

Internationale Monatsschrift für angewandte Atomenergie in Technik, Industrie, Naturwissenschaften, Medizin, einschließlich Biophysik und Strahlenschutz unter besonderer Berücksichtigung der Raumfahrtforschung und -technik

Hauptschriftleiter: Prof. Dr. rer. nat. Dr. med. E. H. Gräul, 355 Marburg/Lahn, Lahnstraße 4a

Verlag G. Braun, 75 Karlsruhe 1, Karl-Friedrich-Straße 14-18 · Postfach 129 · Telefon: * 26951 · Telex: 7826 904 vgb d

Dosisleistungsmessungen im Störstrahlungsfeld einer Röntgenanlage für Kalibrierzwecke

Aus dem Kernforschungszentrum
Karlsruhe, Strahlenmeßdienst

Von E. Piesch

1. Einleitung

Zur Kalibrierung von Dosis- und Dosisleistungsmeßgeräten für Quantenstrahlung im Energiebereich von 20 bis 300 keV sind geeignete γ -Strahler wegen ihrer relativ kleinen Halbwertszeit, charakteristische Röntgenstrahlung wegen ihrer geringen Dosisleistung nur selten brauchbar. Meistens verwendet man daher Röntgenbremsstrahlung unterschiedlicher Röhrenspannung und Filterung. Durch geeignete Filterkombinationen kann der energiearme Anteil des Bremskontinuums in einem solchen Maße abgeschwächt werden, daß homogene Röntgenstrahlung entsteht, der man eine mittlere Quantenenergie zuordnen kann [1 bis 4]. Derartige Maßnahmen reduzieren jedoch die Dosisleistung im Nutzstrahlenkegel bis auf das 10^{-5} -fache des ursprünglichen Betrages. Innerhalb des Nutzstrahlenkegels können daher Störstrahlungsanteile auftreten, deren Dosisleistung ein Vielfaches der Nutzstrahlung beträgt.

Es ist daher wünschenswert, alle Störstrahlungsanteile innerhalb und außerhalb des Nutzstrahlkegels, die von Röhrenschutzgehäuse, Streukörpern und Raumwänden ausgehen, durch zusätzliche Abschirmung der Röntgenröhre herabzusetzen.

Im folgenden wird am Beispiel einer 300 kV-Röntgenanlage gezeigt, welcher Betrag der Dosisleistung der Störstrahlung im Verhältnis zur Nutzstrahlung erreicht wird und aus was für Anteilen die Störstrahlung zusammengesetzt ist. Von Bedeutung ist hierbei die Frage, in welchem Maße eine Kalibrierung durch Störstrahlungsanteile beeinflußt wird und bis zu welchem Betrag diese Anteile durch einfache Abschirmungen reduziert werden können. Für den Strahlenschutz an Röntgenanlagen ergeben sich daraus Forderungen an die meßtechnischen Eigenschaften von Orts- und Personendosimetern.

2. Die Bedeutung der Störstrahlung in der Umgebung einer Röntgenanlage für Kalibrierzwecke

Unter Störstrahlung versteht man an Röntgenanlagen

1. einen Strahlungsanteil der Primärstrahlung, welcher trotz Abschirmung durch das Röhrenschutzgehäuse außerhalb des Nutzstrahlenkegels auftritt,
2. einen Streustrahlungsanteil, der in der Luft, an den Wänden des Zimmers, in einer zusätzlichen Filterung bzw. Ausblendung am Röhrenfenster oder in einem Bestrahlungsobjekt innerhalb des Nutzstrahlenkegels durch die Primärstrahlung ausgelöst wird,
3. eine eventuelle Eigenstrahlung (Röntgenfluoreszenzstrahlung), die in bestimmten Elementen der Abschirmung, der Filterung oder des Bestrahlungsobjektes durch die Primärstrahlung angeregt wird.

Im allgemeinen unterscheidet sich die Störstrahlung von der Nutzstrahlung durch eine diffuse Strahleneinfallrichtung sowie

durch eine unterschiedliche, recht differenzierte Energieverteilung. Die Strahlenqualität der Störstrahlung kann hierbei energiereicher, durch Aufhärtung jedoch auch energiereicher sein oder der ursprünglichen Strahlenqualität annähernd entsprechen. Der Betrag der Störstrahlung variiert von Ort zu Ort, insbesondere in unmittelbarer Nähe von Röntgenröhre, Nutzstrahlenkegel und Streukörper.

Die Störstrahlung an einem Ort außerhalb des Nutzstrahlenkegels kann durch den Betrag der Dosisleistung und durch die Energieverteilung der aus verschiedenen Richtungen einfallenden Störstrahlungsanteile gekennzeichnet werden. Anzahl und Größe dieser Strahlungsanteile sind im wesentlichen von folgenden Einflüssen abhängig:

- a) Standort der Röntgenanlage,
- b) Bauart der Röntgenröhre sowie deren Betriebsbedingungen,
- c) Filterung der Primärstrahlung durch das Röhrengehäuse außerhalb des Nutzstrahlenkegels,
- d) Zusatzfilterung der Primärstrahlung innerhalb des Nutzstrahlenkegels.

Bei einer Röntgenanlage für Kalibrierzwecke ist es von besonderem Interesse, diese Strahlungsanteile zu analysieren. Eine zusätzliche Filterung der Nutzstrahlung am Röhrenfenster kann dazu führen, daß die resultierende Dosisleistung im Nutzstrahlenkegel dem Betrag nach kleiner ist als die Störstrahlung außerhalb des Nutzstrahlenkegels. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn für die Nutzstrahlung ein Zusatzfilter von 7 mm Blei, für die Filterung des Röhrenschutzgehäuses jedoch nur ein Härtinggleichwert von ca. 6 mm Blei vorgesehen sind.

Störstrahlung und Primärstrahlung überlagern sich. Dadurch kann am Bestrahlungsort innerhalb des Nutzstrahlkegels der Betrag der Dosisleistung verfälscht und insbesondere auch der Homogenitätsgrad der Strahlung verringert werden.

Kalibrierfehler werden vor allem dann auftreten, wenn die Dosisnachweisempfindlichkeit des zu prüfenden Detektors in ausgeprägter Weise energieabhängig ist. Dies sei am Beispiel eines Filmdosimeters erläutert. Es wird hierbei angenommen, daß ein Filmdosimeter energiearme Quantenstrahlung im Energiebereich von 30 bis 100 keV um den Faktor 10 empfindlicher nachweist als energiereiche Quantenstrahlung (tatsächlich bis Faktor 30 bei 50 keV). Beträgt der Dosisanteil einer energiearmen Röntgenstörstrahlung im Nutzstrahlenkegel beispielsweise nur 10% der Gesamtdosis, dann würde der Meßwertanteil der energiearmen Störstrahlung den Betrag der Meßwertanzeige verdoppeln.

Soll die Röntgenanlage zur Energiekalibrierung von Dosis- und Dosisleistungsmeßgeräten verwendet werden, dann kann der Störstrahlungsanteil durch zusätzliche Filterung des Röhrengehäuses soweit wie möglich reduziert werden. Zur Abschätzung des Störstrahlungsanteiles kann man annehmen, daß der Dosisanteil der Störstrahlung innerhalb des Nutzstrahlenkegels kleiner, im ungünstigsten Fall ebenso groß wie der Dosisanteil an unmittelbar benachbarten Stellen außerhalb des Nutzstrahlenkegels ist.

3. Beschreibung der Anlage und der Meßtechnik

Die im folgenden beschriebenen Messungen wurden an einer Röntgenanlage durchgeführt, die bei konstanter Gleichspannung mit einer maximalen Röhrenspannung von 300 kV und einer Nennleistung von 10 mA arbeitet. Sie wurde in einer Höhe von 134 cm über Boden mit horizontaler Strahlenrichtung an der Schmalseite in einer Ecke eines Kellerraumes aufgestellt. Um den Anteil der Primärstrahlung, die durch das Röhrenschutzgehäuse austritt, zu verringern, wurde die Anlage von zwei Seitenwänden und einer Decke aus Kunststoffplatten mit Bleifolienverkleidung (4,5 mm Blei) umgeben. An der Strahlenaustrittsblende wurden zusätzlich 9 mm Blei verwendet. Auch die Decke bzw. die Seitenwände des Kellerraumes wurden aus Strahlenschutzgründen mit Bleifolien, Barytsteinen und Kunststoffplatten ausgekleidet. Die Hochspannungserzeuger wurden mit dem Schaltpult im Nebenraum aufgestellt.

Um die Wirksamkeit dieser Maßnahmen zu überprüfen, wurden Dosisleistungsmessungen außerhalb des Nutzstrahlenkegels durchgeführt. Benutzt wurde hierzu Röntgenstrahlung unterschiedlicher Filterung und unterschiedlicher Röhrenspannung im interessierenden Bereich von 60 kV bis 300 kV (siehe Tabelle 1). Für Dosis-

Tabelle 1. Die zusätzliche Röhrenfilterung der verwendeten Röntgenstrahlung sowie die effektive Quantenenergie, die aus der Halbwertschichtdicke bestimmt wurde

Röhrenspannung U_0 [kV]	Zusatzfilterung* [mm]	effektive Quantenenergie [keV]
60	0,2 Cu + 2 Al	38
70	0,4 Cu + 2 Al	46
80	0,7 Cu + 2 Al	55
100	2 Cu + 2 Al	71
120	3,5 Cu + 2 Al	87
150	7 Cu + 2 Al	110
180	11 Cu + 2 Al	135
200	0,9 Pb + 5 Cu + 2 Al	150
220	1,2 Pb + 5 Cu + 2 Al	170
250	2 Pb + 5 Cu + 2 Al	200
300	3,5 Pb + 5 Cu + 2 Al	240

* Härtinggleichwert der Röntgenröhre: ca. 2,7 mm Al

leistungsmessungen wurde im Direktstrahl eine Ionisationskammer in Verbindung mit dem Philips-Universaldosimeter, außerhalb des Nutzstrahlenkegels ein Proportionalzählrohr Fabrikat Tol D verwendet. Beide Dosismessgeräte sind von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt mit den in Tabelle 1 angeführten Strahlenqualitäten geeicht worden. Die Dosisleistungsanzeige des Proportionalzählrohrs Tol D ist auch für energiearme Quantenstrahlung bis zu Energien von ca. 10 keV annähernd energieunabhängig. Der lineare Meßbereich erfafßt Dosisleistungen vom Nulleffekt bis 100 mR/h, durch Änderung der Gasverstärkung 100 mR/h bis 100 R/h. Dosisleistungsmessungen wurden im allgemeinen in Höhe der Röntgenröhre (134 cm über Boden) durchgeführt. Die zugrundegelegten Meßorte sind in Abbildung 1 wiedergegeben.

An der Bestrahlungsanlage sollte insbesondere festgestellt werden,

- wie groß der Dosisanteil der Störstrahlung außerhalb des Nutzstrahlenkegels ist,
- in welchem Maße der Dosisanteil der Störstrahlung durch zusätzliche Streukörper im Nutzstrahlenkegel verändert wird,
- mit welchen Strahleneinfallsrichtungen bei Strahlenschutzmessungen an Röntgenanlagen zu rechnen ist,
- in welchem Maße die vorhandene Störstrahlung durch eine zusätzliche Abschirmung des Röhrengehäuses sowie durch eine zusätzliche Filterung der Nutzstrahlung verändert wird.

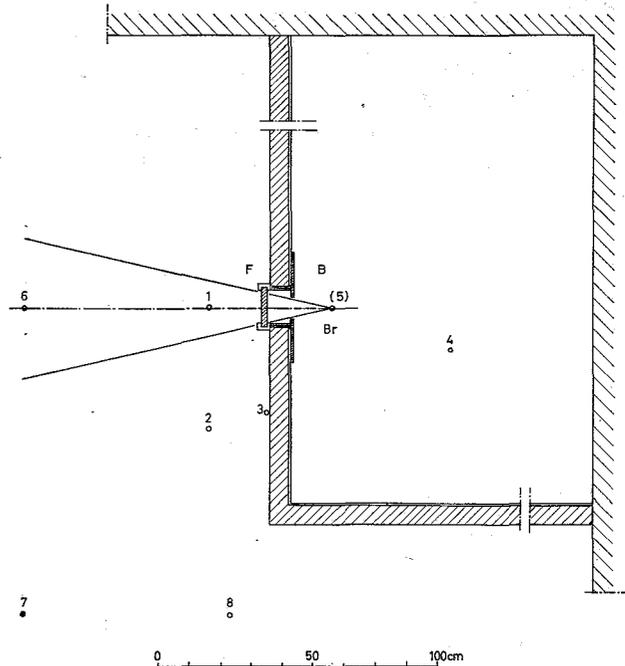


Abbildung 1. Die Meßpunkte an der abgeschirmten Röntgenanlage. Br Brennfleck, B Blende, F Filter

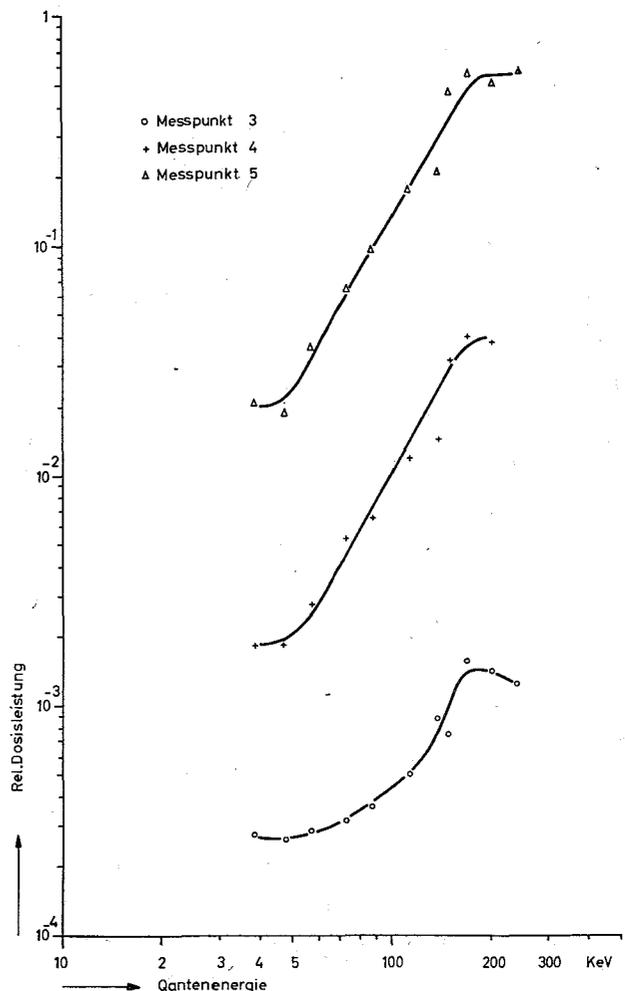


Abbildung 2. Die relative Dosisleistung der Störstrahlung an den Meßpunkten 3 (O—O), 4 (+—+) und 5 (Δ—Δ) innerhalb der Abschirmung in Abhängigkeit von der Quantenenergie bezogen auf die Dosisleistung im Nutzstrahlenkegel (Meßort 1)

4. Wirksamkeit der Röhrenabschirmung

Dosisleistungsmessungen innerhalb und außerhalb der zusätzlichen Abschirmung in vergleichbarem Abstand vom Brennfleck der Röntgenröhre sollten zunächst zeigen, in welchem Maße die ursprüngliche aus dem Röhrengehäuse austretende Störstrahlung im Bestrahlungsraum durch die Abschirmung herabgesetzt wurde. Abbildung 2 zeigt die relative Dosisleistung an den Meßorten 3, 4 und 5 (Meßort Nr. 5: 40 cm oberhalb des Brennflecks) in Abhängigkeit von der Quantenenergie im Energiebereich von 38 keV bis 240 keV. Die Dosisleistung wurde hierbei jeweils auf die Dosisleistung im Nutzstrahl (Meßpunkt 1) bezogen. Die Messungen zeigen, daß insbesondere energiereiche Quantenstrahlung durch das Röhrenschutzgehäuse nur unvollkommen geschwächt wird. Der bei der unabschirmten Röntgenanlage aus dem Röhrenschutzgehäuse austretende Primärstrahlanteil erreicht insbesondere bei energiereicher Strahlung größenordnungsmäßig denselben Dosisleistungsbetrag wie die bei der hier gewählten Filterung erzeugte Nutzstrahlung. Die zusätzliche Abschirmung der Röntgenröhre reduziert den Störpegelanteil auf das 10^{-3} -fache des ursprünglichen Betrages.

Die Wirksamkeit der Röhrengehäuseabschirmung, d. h. das Verhältnis der Dosisleistung im jeweiligen Meßpunkt zur Dosisleistung im Nutzstrahl wird von der vorgegebenen Zusatzfilterung der Nutzstrahlung bestimmt (Tabelle 2). Mit zunehmend stärkerer Zusatzfilterung verringert sich die Dosisleistung im Nutzstrahlenkegel derart, daß die Dosisleistung der aus dem Röhrengehäuse austretenden Störstrahlung demgegenüber ein Vielfaches der Dosisleistung im Nutzstrahlenkegel betragen kann.

Der Betrag der Störstrahlung außerhalb des Nutzstrahlenkegels, der sich aus verschiedenen Komponenten zusammensetzt, wird mit dem Abstand des interessierenden Ortes vom Brennfleck

Tabelle 2. Die relative Dosisleistung der Störstrahlung innerhalb der Abschirmung, die aus dem Röhrengehäuse austritt, bezogen auf die Dosisleistung im Nutzstrahlenkegel bei 300 kV

Zusätzliche Röhrenfilterung [mm]	Dosisleistung (Ort 5) Dosisleistung (Ort 1)
1 Pb + 5 Cu + 2 Al	0,2
3,5 Pb + 5 Cu + 2 Al	0,6
7 Pb + 4 Al	5
10 Pb + 4 Al	37

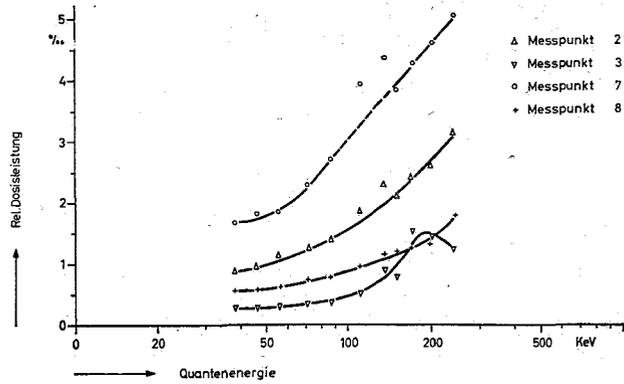


Abbildung 3. Die relative Dosisleistung der Störstrahlung an den Meßpunkten 2 ($\Delta - \Delta$) und 3 ($\Delta - \Delta$) bzw. 7 (O—O) und 8 (x—x) außerhalb des Nutzstrahlenkegels in Abhängigkeit von der Quantenenergie, bezogen auf die Dosisleistung im Nutzstrahlenkegel (Meßort 1 bzw. Meßort 6)

sowie mit der mittleren Energie der verwendeten Quantenstrahlung variieren. Um diese Einflüsse zu erfassen, wurden Dosisleistungsmessungen an verschiedenen Orten innerhalb und außerhalb des Nutzstrahlenkegels durchgeführt. Abbildung 3 gibt die Messungen für die in Tabelle 1 angeführten Strahlenqualitäten wieder. Die jeweilige Dosisleistung am Meßort wurde auf die Dosisleistung in der entsprechenden Entfernung vom Brennfleck im Direktstrahl bezogen. Die Störstrahlung außerhalb des Nutzstrahlenkegels steigt mit zunehmender Quantenenergie bis auf den dreifachen Betrag an, der bei energieärmerer Quantenstrahlung erhalten wurde. Die Dosisleistung außerhalb des Nutzstrahlenkegels beträgt demnach bei einer Röhrenspannung von 300 kV etwa 1 bis $5 \cdot 10^{-3}$ der Dosisleistung im Nutzstrahl.

5. Zusammensetzung der Störstrahlung

Die Störstrahlung setzt sich hierbei zusammen aus einem Strahlenanteil, der durch Streuung der Primärstrahlung in der Röhrenblende, in der Zusatzfilterung und in der Luft entsteht und aus dem Nutzstrahlenkegel austritt, sowie aus einem Strahlenanteil der Primärstrahlung, der durch das Röhrengehäuse und durch die zusätzliche Abschirmung an den Meßort gelangt.

Tabelle 3. Die Dosisleistung innerhalb und außerhalb des Nutzstrahlenkegels sowie der relative Dosisanteil der Störstrahlung, bezogen auf die Dosisleistung im Nutzstrahlenkegel für verschiedene Strahlenqualitäten, bei einer Röhrenspannung von 60 und 300 kV

Röhrenspannung [kV]	zusätzliche Röhrenfilterung [mm]	Dosisleistung*		Relativer Dosisanteil der Störstrahlung in ‰		
		[R/h] innerhalb	[mR/h] außerhalb	a	b	
		a	b	a	b	
60	—	400	160	77	0,40	0,19
	3 Al	102	82	31	0,80	0,30
	0,2 Cu + 2 Al	36	50	11	1,39	0,31
	0,4 Cu + 2 Al	14	18	2,70	1,29	0,19
	0,6 Cu + 2 Al	6,7	7,8	1,2	1,16	0,18
	1,0 Cu + 2 Al	1,4	1,15	0,26	0,82	0,19
	1,6 Cu + 2 Al	0,29	0,30	0,05	1,03	0,17
	—	10700	5200	1550	0,49	0,15
300	2 Cu	3780	5500	530	1,45	0,14
	0,5 Pb + 1 Cu + 1 Al	162	2100	260	1,30	1,60
	1 Pb + 5 Cu + 2 Al	126	1200	82	0,95	0,65
	3,5 Pb + 5 Cu + 2 Al	42	140	20,5	3,3	0,45
	7 Pb + 4 Al	4,9	55	12,2	11,5	2,5
	10 Pb + 4 Al	0,67	33	12,6	49	18,8

* Gemessene Dosisleistung im Abstand 40 cm vom Brennfleck innerhalb und außerhalb des Nutzstrahlenkegels. Fall a: Gesamte Störstrahlung; Fall b: Streustrahlung ohne den Störstrahlungsanteil von Blende bzw. Filterung, gemessen mit Bleiabbildung.

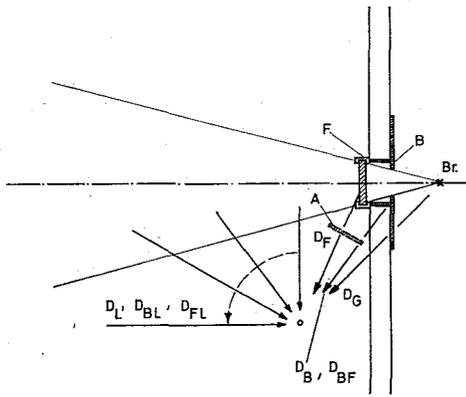


Abbildung 4. Der Dosisanteil der Streustrahlung am Meßpunkt 2 außerhalb des Nutzstrahlenkegels

Ohne Röhrenfilterung: $D = D_L + D_{BL} + D_B + D_G$.

Mit Röhrenfilterung: $D = D_L + D_{FL} + D_F + D_{BF} + D_G$.

$\left. \begin{matrix} D_L \\ D_{BL} \\ D_{FL} \end{matrix} \right\}$ Dosisanteile einer Streustrahlung aus dem Nutzstrahlenkegel (Einfallswinkel 90°)

D_F = Dosisanteil einer Streustrahlung aus der Röhrenfilterung

D_B = Dosisanteil einer Streustrahlung aus der Blende ohne A

D_{BF} = Dosisanteil einer Streustrahlung aus der Blende mit A

D_G = Dosisanteil der durch Röhrengehäuse und Abschirmung austretenden Primärstrahlung

Br = Brennfleck der Röntgenröhre

B = Blende

F = zusätzliche Röhrenfilterung

A = Ablendfilter aus Blei

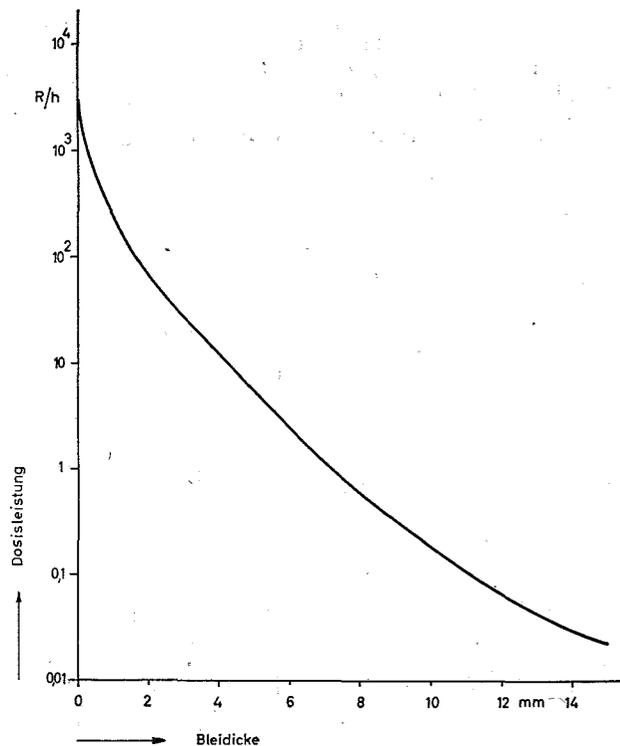


Abbildung 5. Die Schwächung von Röntgenstrahlung in Blei in Abhängigkeit von der Bleidicke, gemessen mit dem Proportionalzählrohr Tol D bei 300 kV, 10 mA und konstanter Gleichspannung im Abstand 80 cm vom Brennfleck

In Abwesenheit eines Bestrahlungsobjektes wird der Betrag der Streustrahlung außerhalb des Nutzstrahlenkegels durch die Dosisleistung im Nutzstrahlenkegel und durch die zusätzliche Röhrenfilterung bestimmt. Der Betrag der Dosisleistung innerhalb des Nutzstrahlenkegels (Primärstrahlung mit vernachlässigbarem Störstrahlungsanteil) sowie außerhalb des Nutzstrahlenkegels (Störstrahlung) wurde an vergleichbaren Meßorten bestimmt und in Tabelle 3 für zwei verschiedene Röhrensparnungen in Abhängigkeit von der gewählten Filterkombination wiedergegeben. Die Meßwerte wurden an der beschriebenen Bestrahlungsanordnung im Abstand von 40 cm vom Brennfleck (an den Meßorten 1 und 2) erhalten. Der relative Anteil der Störstrahlung (Störstrahlung: Spalte a; Streustrahlung: Spalte b) — bezogen auf die Dosisleistung im Strahl — ändert sich mit der Art und Anordnung der Filterkombination.

Im folgenden soll gezeigt werden, aus welchen Strahlungsanteilen die Störstrahlung am Meßort zusammengesetzt ist.

Abbildung 4 gibt die verschiedenen Anteile der Streustrahlung wieder, die man bei der vorhandenen Strahlenausblendung an einem Ort außerhalb des Nutzstrahlenkegels bei Bestrahlung mit bzw. ohne zusätzliche Röhrenfilterung zu erwarten hat. Um die Streustrahlungsanteile der Blende bzw. der Röhrenfilterung von der gesamten Störstrahlung zu trennen, wurde zwischen Strahlenaustrittsfenster und Meßort ein Ablendfilter A aus 10 mm Blei eingeführt.

Die Primärstrahlung, die hinter dem Röhrengehäuse (ca. 4 bis 6 mm Bleihärtungsgleichwert) und der zusätzlichen Abschirmung (4,5 und 9 mm Blei) zu erwarten ist, läßt sich aus der Schwächungskurve abschätzen, welche für Blei bei einer Röhrensparnung von 300 kV im Nutzstrahlenkegel mit dem Dosisleistungsmeßgerät Tol D gemessen wurde (siehe Abbildung 5). Die Dosisleistung dieser Störstrahlungsanteile ist demnach wesentlich kleiner als 0,01%, bezogen auf die Dosisleistung im ungefilterten Strahl, sie kann daher im folgenden vernachlässigt werden.

Die relativen Dosisleistungen der einzelnen Störstrahlungsanteile, die aus den Meßwerten verschiedener Messungen direkt oder indirekt abgeleitet wurden, sind in Tabelle 4 wiedergegeben. Der Dosisanteil der Luftstreuung, der etwa innerhalb eines Winkelbereichs von 90° aus dem Nutzstrahlenkegel einfällt (Spalte 8), wurde aus der Winkelverteilung der Dosisleistung am Meßort bestimmt. Am betrachteten Meßort erhält man damit verschiedene Dosisleistungen der Streustrahlung bezogen auf die Dosisleistung im Nutzstrahl, nämlich

Streustrahlung aus dem Nutzstrahlenkegel	0,08%,
Streustrahlung aus der zusätzlichen Röhrenfilterung	2,85%,
Streustrahlung aus der Blende	0,37%,
Strahlung aus dem Röhrengehäuse	0,01%.

Der Streustrahlungsanteil aus dem Zusatzfilter liefert demnach den größten Betrag zur Dosisleistung. Eine Vergrößerung der Zusatzfilter vor der Blende erhöht jedoch auch den Streustrahlungsanteil der Blende. Die relativen Dosisanteile der Störstrahlungskomponenten wurden daher für verschiedene Filterkombinationen bestimmt und in Tabelle 5 wiedergegeben. Bei Bleifilterung geringer Dicke tritt zusätzlich eine Röntgenfluoreszenzstrahlung auf (Anregung der K-Kante bei 88 keV), deren Anteil mit der Dicke und geometrischen Anordnung der Filterkombination variiert und den Betrag der Störstrahlung erhöht (siehe auch Tabelle 3).

Der Störstrahlungsanteil, der durch die zusätzliche Filterung des Nutzstrahles entsteht, kann innerhalb der Röhrenabschirmung wegen seines geringen Betrages nicht nachgewiesen werden. Die Dosisleistung innerhalb der Abschirmung beträgt am Meßort 5 bei der Röhrensparnung 300 kV und einem Röhrenstrom von 10 mA für alle in Tabelle 2 aufgeführten Filterkombinationen etwa 25 R/h. Innerhalb der Abschirmung handelt es sich daher in erster Linie um Primärstrahlung, die durch das Röhrengehäuse austritt. Die hier dargestellten Verhältnisse gelten jedoch nur für die hier zugrundegelegte Anordnung von Zusatzfilterung, Blende und Gesamtabschirmung der Röntgenanlage. Die Störstrahlungsanteile würden sich verändern, wenn die Zusatzfilterung beispielsweise innerhalb der Abschirmung, d. h. zwischen Röhrenfenster und Blende, angebracht wird.

Tabelle 4. Experimentelle Bestimmung verschiedener Dosisanteile der Störstrahlung, bezogen auf die Dosisleistung im Nutzstrahlenkegel, bei einer Röhrenspannung von 60 und 300 kV am Meßpunkt 2

Nr.	Messung	Störstrahlungsanteil	Relativer Dosisanteil in ‰	
			bei 60 kV	bei 300 kV
1	Schwächungsfaktor (14 mm Pb)	D_G	<0,01	<0,01
2	Ohne Röhrenfilterung			
3	ohne Bleiabbildung	$D_L + D_B + D_{BL} + D_G$	0,40	0,49
4	mit Bleiabbildung	$D_L + D_{BL} + D_G$	0,19	0,15
	(2) - (3)	D_B	0,21	0,35
5	Mit Röhrenfilterung*			
6	ohne Bleiabbildung	$D_L + D_{FL} + D_F + D_{BF} + D_G$	1,16	3,30
7	mit Bleiabbildung	$D_L + D_{FL} + D_{BF} + D_G$	0,18	0,45
8	(5) - (6)	D_F	0,98	2,85
9	aus Winkelverteilung*			
10	ohne Bleiabbildung	$D_L + D_{FL}$	—	0,08
11	mit Bleiabbildung	$D_L + D_{FL}$	—	0,06
	(5) - (7) - (8)	$D_{BF} + D_G \sim D_{BF}$	—	0,37
	(6) - (9)	$D_{BF} + D_G \sim D_{BF}$	—	0,39

* Röhrenfilterung [mm] bei 60 kV 0,6 Cu + 2 Al, bei 300 kV 3,5 Pb + 5 Cu + 2 Al

Tabelle 5. Der relative Dosisanteil der Störstrahlung, bezogen auf die Dosisleistung im Nutzstrahlenkegel, sowie die relativen Anteile der Streustrahlungskomponenten, bezogen auf den Gesamtbetrag der Dosisleistung der Störstrahlung, für verschiedene Strahlenqualitäten bei einer Röhrenspannung von 300 kV am Meßpunkt 2 (300 kV, 10 mA — 40 cm vom Brennfleck am Meßort)

Röhrenfilterung [mm]	Relativer Dosisanteil der Störstrahlung in ‰	Relative Anteile der Streustrahlung in %			
		Filter	Blende	Luft	Gehäuse
—	0,49	—	70	29,6	<2
3,5 Pb + 5 Cu + 2 Al	3,3	86,4	11,2	2,4	<0,3
7 Pb + 4 Al	11,5	77,2	21	0,7	<0,08
10 Pb + 4 Al	49	61,5	38,2	0,2	<0,02

6. Der Einfluß von zusätzlichen Streukörpern auf das Störstrahlungsfeld

Streukörper, die im Nutzstrahlenkegel eingeführt werden, erzeugen Streustrahlung, welche an einem Ort außerhalb des Nutzstrahlenkegels den Betrag der Störstrahlung vergrößern. Um einen solchen Streustrahlungsanteil zu erzeugen, wurde ein Alderson-Phantom im Abstand 1 m vom Brennfleck im Nutzstrahlenkegel aufgestellt. Die Dosisleistungen an den Meßorten 2, 7 und 8 außerhalb des Nutzstrahlenkegels wurden wiederum auf die Dosisleistung in gleichem Abstand innerhalb des Nutzstrahlenkegels bei fehlendem Phantom bezogen und in Abbildung 6 in Abhängigkeit von der Quantenenergie dargestellt. An den Meßorten 2 und 8 wurde unabhängig von der Quantenenergie ein Störstrahlungsanteil von 3 bis 5 ‰ erhalten. Am Meßort 7 hingegen vergrößert sich dieser Anteil mit zunehmender Quantenenergie von 4 auf 9 ‰. Ein solcher Anstieg wird jedoch auch ohne Phantom erhalten. Vergleicht man die Dosisleistung am gleichen Ort mit und ohne Phantom, so läßt sich für den betreffenden

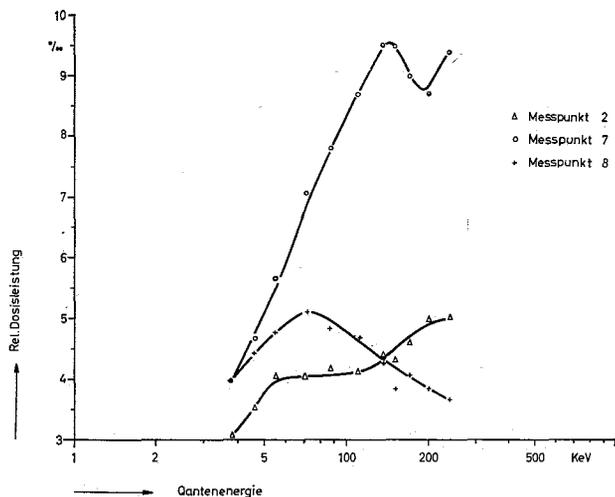


Abbildung 6. Die relative Dosisleistung der Störstrahlung an den Meßpunkten 2 ($\Delta - \Delta$), 7 ($O - O$) und 8 ($\times - \times$) bei Anwesenheit eines Phantoms im Nutzstrahlenkegel (Abstand 100 cm vom Brennfleck) in Abhängigkeit von der Quantenenergie, bezogen auf die Dosisleistung im Nutzstrahlenkegel, ohne Phantom

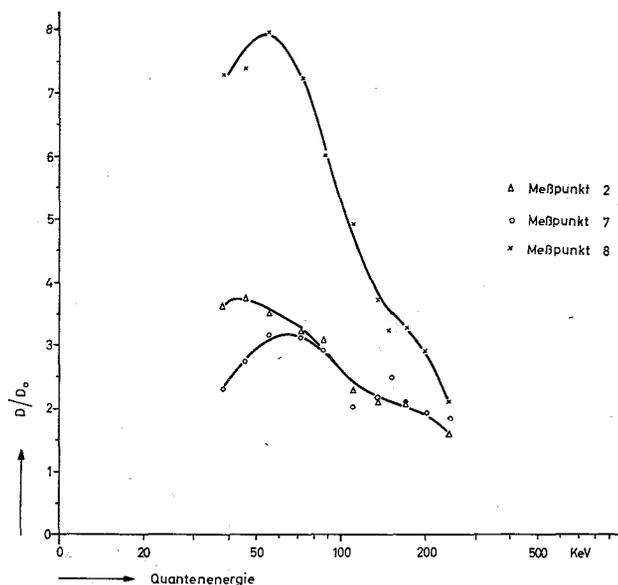


Abbildung 7. Der relative Aufbaufaktor A_S des Störstrahlungsfeldes ($A_S = D/D_0$, D = Dosisleistung mit Phantom, D_0 = Dosisleistung ohne Phantom) für die Meßpunkte 2 ($\Delta - \Delta$), 7 ($O - O$) und 8 ($\times - \times$) in Abhängigkeit von der Quantenenergie

Meßort ein Aufbaufaktor des Streustrahlungsfeldes angeben. Ein solcher Faktor läßt quantitativ eine Aussage darüber zu, in welchem Maße die Dosisleistung an einem Ort durch Einflüsse von Streukörpern vergrößert wird. Der Aufbaufaktor A_S ist in Abbildung 7 als Funktion der Quantenenergie für die verschiedenen Meßpunkte wiedergegeben. Am Meßort 8 wo schon ohne Phantom eine relativ kleine Dosisleistung gemessen wurde, erscheint dieser Streustrahlungsanteil bis um den Faktor 8 größer. Der Aufbaufaktor des Streustrahlungsfeldes ist demnach weitgehend vom Meßort sowie von der Anzahl, dem Abstand und der Größe der Streustrahlungsquellen abhängig.

7. Zusammenfassung

Die aus dem Fenster einer Röntgenröhre austretende Quantenstrahlung läßt sich an einem Meßort innerhalb des Nutzstrahlenkegels durch den Betrag der Dosisleistung, durch die Energieverteilung der Quantenstrahlung und durch die Angabe einer einzigen Strahleneinfallrichtung vollständig beschreiben. Das Störstrahlungsfeld in der Umgebung einer Röntgenanlage unterscheidet sich von der Primärstrahlung im allgemeinen dadurch, daß es ein inhomogenes Gemisch verschiedener Strahlenkomponenten darstellt. Die an einem Ort außerhalb des Strahlenkegels auftretenden Strahlungskomponenten unterscheiden sich hinsichtlich ihres Beitrages zur Gesamtdosisleistung, hinsichtlich ihrer Energieverteilung, aber auch hinsichtlich ihrer Einfallrichtungen.

Dosisleistungsmessungen an einer relativ hart gefilterten Bestrahlungsanlage zeigen, daß durch zusätzliche Abschirmung der Röntgenröhre die Dosisleistung außerhalb des Nutzstrahlenkegels um den Faktor 10^{-3} herabgesetzt werden kann. Die verbleibende Störstrahlung ist im wesentlichen auf Einflüsse der Strahlenblende sowie der im Nutzstrahlenkegel eingeführten Zusatzfilter zurückzuführen. Die an der beschriebenen Bestrahlungsanlage gemessenen Störstrahlungskomponenten führten — trotzdem sie nur für die spezielle Anlage zutreffen — zu wesentlichen allgemeingültigen Aussagen über die Größe und die Richtungsverteilung der Streustrahlungsanteile. Im Hinblick auf Strahlenschutzmessungen in der Umgebung einer Röntgenanlage konnte insbesondere für einen Meßort außerhalb des Nutzstrahlenkegels festgestellt werden:

1. Der Einfluß von Streukörpern auf das Störstrahlungsfeld ist im allgemeinen Fall nur in erster Näherung abschätzbar. Hierbei ist die relative Lage des Meßortes und der Streukörper zum Nutzstrahlenkegel, aber auch die Filterung bzw. Energieverteilung der Primärstrahlung ausschlaggebend.
2. Das Störstrahlungsfeld in der Umgebung einer Röntgenanlage läßt sich nur mit Hilfe von Messungen der einzelnen Strahlenkomponenten eindeutig beschreiben, nämlich durch Angabe der Dosisleistung, der Energieverteilung und der Strahleneinfallrichtungen einer jeden Strahlenkomponente.
3. Im allgemeinen ist es nicht möglich, für den Betrag der Dosisleistung an einem Ort eine einzige mittlere Strahleneinfallrichtung anzugeben, oder dem Betrag der Dosisleistung eine einzige Energieverteilung zuzuordnen.
4. Der Betrag der Dosisleistung kann an einem Ort nur dann ausreichend genau gemessen werden, wenn die Dosisanzeige des Detektors unabhängig von der Strahlungsenergie und unabhängig von der Strahleneinfallrichtung ist.
5. Strahlenschutzmessungen sollten daher im Streustrahlungsfeld einer Röntgenanlage nur mit solchen Detektoren durchgeführt werden, die jede einzelne Strahlenkomponente unabhängig von ihrer Energieverteilung und unabhängig von ihrer Einfallrichtung dosisrichtig nachweisen.

* Meinem Mitarbeiter, Herrn E. Lachmann, danke ich für die Erstellung der Röhrenabschirmung und des Bestrahlungstisches und für seine Mithilfe bei den umfangreichen Messungen.

Literatur

- [1] Ehrlich M. und Fitch S. M.: *Nucleonics* 9 (Nr. 3), 5 (1951)
- [2] Ehrlich M.: *Journ. of Research of NBS*, Vol. 54, Nr. 2, Research Paper 2571
- [3] Villforth J. C., Birkhoff R. D. und Hubbell H. H., jr.: ORNL-2529, 1958
- [4] Piesch E.: FSHPS-Symposium, Paris 1964

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Phys. E. Piesch, Gesellschaft für Kernforschung mbH, Hauptabteilung Strahlenschutz und Dekontamination, Strahlenmeßdienst, 75 Karlsruhe, Weberstr. 5.

Dosisleistungsmessungen im Störstrahlungsfeld einer Röntgenanlage für Kalibrierzwecke

Das Störstrahlungsfeld außerhalb einer abgeschirmten 300 kV-Röntgenanlage wurde für verschiedene Strahlenqualitäten im Energiebereich von 38 bis 240 keV mit einem Kunststoff-Proportionalzähler ausgemessen. Es wird der Einfluß einer zusätzlichen Röhrenfiltrierung, einer unterschiedlichen Strahlungsenergie sowie der Einfluß eines Streukörpers auf den Betrag der Dosisleistung des Störstrahlungsfeldes untersucht. Außerdem wurden die Streustrahlungsanteile von Röhrenfilter, Blende, vom Nutzstrahlenkegel und vom Röhrengehäuse bestimmt.

Measuring the Dose Rate in the Stray Radiation Field of an X-Ray Machine for Calibration Purposes

The stray radiation field of a shielded X-ray machine (300 kV) was measured with a plastic proportional counter for different radiation qualities in the energy range of 38 to 240 keV. The influences of added tube filters, different radiation energies, and straying objects on the dose rate of the stray radiation field were investigated. Furthermore the particular radiation components resulting from tube filters, radiation aperture, useful beam, and tube housing were determined.

Mesures de rendement dans le champ de radiations perturbatrices d'un dispositif de rayons pour calibrage

Le champ de radiations perturbatrices situé à l'extérieur d'un dispositif de rayons X de 300 kV a été mesuré avec un compteur proportionnel de matière plastique pour divers types de radiations situés dans le secteur énergétique de 38 à 240 keV. On examine l'influence d'un filtrage supplémentaire par lampes, d'une variation de l'énergie irradiée et d'un corps destiné à disperser les radiations. Par ailleurs, le rôle respectif a été déterminé dans la dispersion du filtre à lampes, de l'écran, du cône de radiations utiles et du boîtier des lampes.