Röntgenstörstrahlung von Farbfernseh-Bildröhren

Autor(en): **Lauterbach, U. / Wehner, G.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **62 (1971)**

Heft 2

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-915797

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Röntgenstörstrahlung von Farbfernseh-Bildröhren [1])

Von *U. Lauterbach* und *G. Wehner*

621.385.832.524.2

Die Abnahme der Dosisleistung an der Frontseite einer Farbfernseh-Bildröhre wurde für Abstände von 2 bis 80 cm gemessen. Die Messwerte stimmen mit den Ergebnissen einer Modellrechnung gut überein. Mit Hilfe dieser Rechnung wird eine Faustformel angegeben, die eine Abschätzung der Dosisleistung für Abstände grösser als 1 m erlaubt, wenn die Dosisleistung in 5 cm Abstand von der Oberfläche einer Bildröhre bekannt ist.

La diminution de la dose instantanée à la partie frontale d'un tube cathodique de télévision en couleur fut mesurée à des distances de 2 à 80 cm. Les valeurs mesurées concordent bien avec les calculs de modèle. A l'aide de ce calcul, on indique une formule approximative qui permet une évaluation de la puissance instantanée à des distances dépassant 1 m, lorsque la puissance instantanée est connue à une distance de 5 cm de la surface du tube cathodique.

1. Einleitung

In den letzten Jahren sind zahlreiche Untersuchungen über die von Fernsehgeräten ausgesandte Röntgenstörstrahlung erschienen [1] [2]). Neben den Bildröhren erwiesen sich vor allem Hochspannungsgleichrichter- und Ballaströhren als Quellen der Röntgenstrahlung. Zum Schutz der Bevölkerung werden daher in Empfehlungen [2; 3] und gesetzlichen Regelungen in verschiedenen Ländern [4] maximale Dosisleistungen angegeben, die in einem gewissen Abstand (z. B. 5 oder 10 cm) von der Oberfläche des Fernsehgerätes nicht überschritten werden dürfen. Ein sinnvoller Vergleich dieser unterschiedlichen Vorschriften ist nur möglich, wenn die Abstandsabhängigkeit der Dosisleistung bekannt ist. Da sich der Betrachter in einigen Metern Abstand vom Gerät aufhält, ist für die Bestimmung seiner Strahlenbelastung ausserdem der Verlauf der Dosisleistung bis zu diesen Entfernungen von Interesse.

Hochspannungsgleichrichter- und Ballaströhren werden in Farbfernsehgeräten neuerer Konstruktion kaum noch verwendet. Die Bildröhre ist somit in vielen Fällen die einzige Quelle einer möglichen Röntgenstrahlung. Im allgemeinen werden an der Frontseite der Bildröhre (Bildschüssel) die grössten Dosisleistungen auftreten, da ihr Konus zur Abschirmung magnetischer Felder von einem Eisenblech umgeben ist, das gleichzeitig die Röntgenstrahlung weitgehend absorbiert. Im folgenden wird daher nur die Abnahme der Dosisleistung vor der Bildschüssel untersucht.

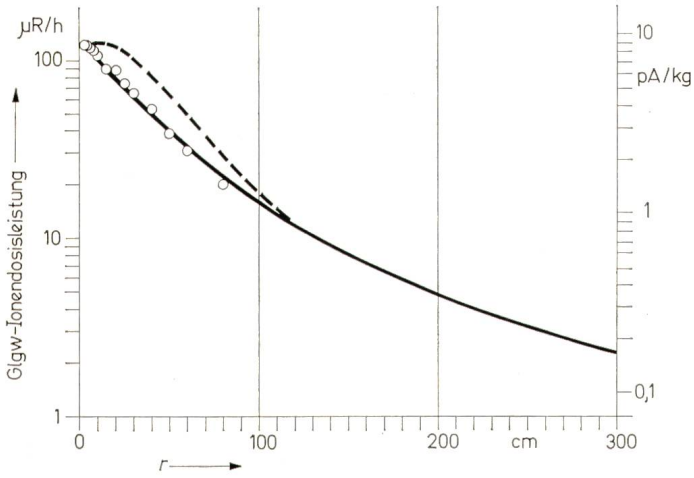

Fig. 1
Abstandsabhängigkeit der Dosisleistung an der Frontseite einer Bildröhre
——— Berechnung nach Gl. (4) und (5) (konzentrische Kugelschalen);
– – – Berechnung nach Zitat (11) (ebene Flächen);
○ *r* Messwerte an einer Farbbildröhre SEL A56 — 120 X bei 30 kV Beschleunigungsspannung und 1mA Strahlstrom;
r Abstand von der Bildschüssel

[1]) Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig

[2]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

2. Messung der Dosisleistung

Die Untersuchungen wurden an einer Farbfernseh-Bildröhre vom Typ SEL A 56—120 X vorgenommen, und zwar in Stellung «Weissabgleich», wobei der Bildschirm eine gleichmässig erhellte weisse Fläche darstellt. Der Strom des Elektronenstrahls für maximale Bildschirmhelligkeit und damit für maximale Dosisleistung vor der Bildröhre betrug etwa 1 mA, die mit einem Röhrenvoltmeter gemessene Beschleunigungsspannung 30 kV. Dieser Wert stellt die obere Grenze der in dem zur Verfügung gestellten Fernsehgerät eingebauten Hochspannungsversorgung dar und liegt beträchtlich über der vorgesehenen Betriebsspannung von 25 kV. Als Strahlendetektor diente ein an anderer Stelle [5] bereits beschriebenes Szintillationsdosimeter, das längs einer Achse senkrecht zur Mitte der Bildschüssel verschoben werden konnte. Die bei verschiedenen Entfernungen zwischen Oberfläche der Bildröhre und Mitte des Detektorkristalls gemessenen Dosisleistungen sind in Fig. 1 als Punkte eingetragen.

3. Berechnung der Dosisleistung

Fig. 2 zeigt einen schematischen Schnitt durch eine Farbfernseh-Bildröhre der hier verwendeten Art. Innen- und Aussenflächen der Bildschüssel sowie die dicht hinter dem Bildschirm befindliche Lochmaske aus Eisen liegen nahezu auf konzentrischen Kugelschalen mit den Krümmungsradien $R_1 = 878$ mm, $R_2 = 890$ mm und $R_0 = 868$ mm. Ausgangspunkt der Röntgenstrahlung ist in erster Linie die Lochmaske, in der etwa 80 % des Elektronenstroms [6] abgebremst werden. Die spektrale Strahlungsleistung der dabei entstehenden Bremsstrahlung lässt sich empirisch ausdrücken durch:

$$\frac{\Delta P}{\Delta \nu} = C \qquad (1)$$

wobei C eine Konstante ist, deren Wert proportional zur

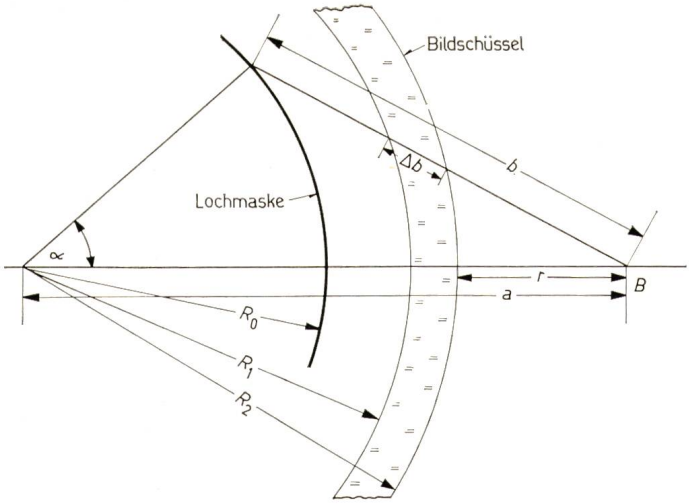

Fig. 2
Schematischer Schnitt durch eine Farbbildröhre mit den zur Berechnung der Dosisleistung im Punkt B benutzten Grössen
a Abstand des Aufpunktes *B* vom gemeinsamen Mittelpunkt der Kugelschalen; *b* Abstand des Aufpunktes *B* von der Lochmaske; *r* Abstand des Aufpunktes *B* von der Oberfläche der Bildschüssel; R_0, R_1, R_2 Radius der Lochmaske, Innen- und Aussenradius der Bildschüssel

Ordnungszahl Z des Antikathodenmaterials und zum Elektronenstrom i ist (s. z. B. [7]). Für $Z = 26$ (Eisen) und $i = 1$ mA ergibt sich $C = 9{,}6 \cdot 10^{-40}\,\mathrm{Ws}^2$. Aus Gl. (1) berechnet sich die Energieverteilungsfunktion der Emissionsrate

$$B_E = \frac{\Delta B}{\Delta E}$$

mit

$$\Delta B = \Delta P / E$$

und der Photonenenergie

$$E = h \cdot \nu$$

zu:

$$B_E = \frac{\Delta B}{\Delta E} = \frac{C}{h^2}\left(\frac{E_{gr}}{E} - 1\right) \qquad (2)$$

Die von der Lochmaske nach allen Seiten ausgehende Röntgenstrahlung wird beim Durchgang durch das 12 mm dicke Spezialglas der Bildschüssel stark aufgehärtet, d. h. der energiearme Anteil wird praktisch vollständig absorbiert. Untersuchungen bei einer Röhrenspannung von 30 kV mit einem NaJ(T1)-Szintillationsspektrometer zeigten nur ein schmales Energiespektrum mit einem Maximum bei 29 keV. Im folgenden wird daher eine symmetrische Verteilung des Spektrums angenommen, die von 30 bis 28 keV reicht. Alle Photonen mit einer kleineren Energie als 28 keV werden nicht berücksichtigt. Die in Betracht zu ziehende Emissionsrate der an der ganzen Lochmaske ausgelösten Photonen ergibt sich bei einem Elektronenstrom von 1 mA, wenn etwa 80 % in der Lochmaske abgebremst werden, zu:

$$B = 0{,}8\,\frac{C}{h^2}\int_{28}^{30}\left(\frac{E_{gr}}{E} - 1\right) dE = 1{,}96 \cdot 10^{10}\,\mathrm{s}^{-1} \qquad (3)$$

An einem Quadratzentimeter der $A = 33 \times 44\ \mathrm{cm}^2$ grossen Lochmaske werden also $B/A = 13{,}5 \cdot 10^6\ \mathrm{s}^{-1}\ \mathrm{cm}^{-2}$ Photonen in einer Sekunde ausgelöst.

Zur Berechnung der Photonenflussdichte φ im Aufpunkt B wurden folgende vereinfachende Annahmen gemacht:

a) Die Lochmaske und die Bildschüssel sind Ausschnitte aus konzentrischen Kugelschalen, deren rechteckiges Format durch Kugelkappen gleicher Fläche ersetzt wird;
b) Es wird nur die an der Lochmaske von 80 % des Elektronenstromes ausgelöste Röntgenstrahlung berücksichtigt;
c) Die an der Lochmaske erzeugte Röntgenstrahlung wird gleichmässig nach allen Seiten emittiert;
d) Die Absorption der Röntgenstrahlung in der Lochmaske sowie in der Luft ausserhalb der Bildröhre ist gegenüber der im Glas der Bildschüssel (längs der Strecke Δb) zu vernachlässigen;
e) Die Schwächung erfolgt nur durch Photoabsorption während Rayleigh- und Compton-Streuung zu vernachlässigen sind.

Mit den in Fig. 2 eingetragenen Grössen ist dann:

$$\varphi = \frac{B\,R_0^2}{2\,A}\int_0^{\alpha_{max}} \frac{\sin\alpha}{b^2}\,e^{-\bar{\mu}\Delta b}\,d\alpha \qquad (4)$$

mit

$$b^2 = a^2 + R_0^2 - 2\,a\,R_0 \cos\alpha$$

$$\Delta b = \sqrt{R_2^2 - \left(\frac{a\,R_0 \sin\alpha}{b}\right)^2} - \sqrt{R_1^2 - \left(\frac{a\,R_0 \sin\alpha}{b}\right)^2}$$

$$\alpha_{max} = 14{,}3^{\,0}$$

Der Schwächungskoeffizient $\bar{\mu}$ wurde experimentell aus dem Schwächungsgrad einer für diese Untersuchungen zur Verfügung gestellten Bildschüssel der Bildröhre SEL A 56—120 X beim senkrechten Durchgang einer stark gefilterten

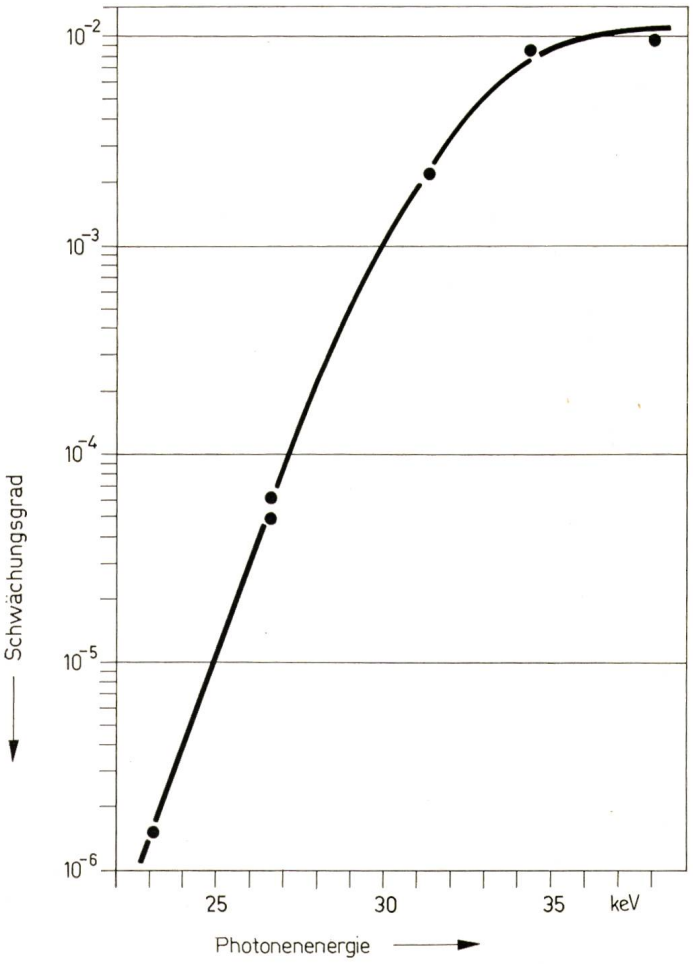

Fig. 3
Schwächungsgrade der Bildschüssel einer Farbbildröhre SEL A 56 — 120 X als Funktion der Photonenenergie
Aufgenommen mit stark gefilterter Röntgenstrahlung im schmalen Strahlenbündel [40 kV, 1,3 mm Cu (38,0 keV); 36 kV, 1,1 mm Cu (34,3 keV); 32 kV, 0,8 mm Cu (31,3 keV); 28 kV, 0,4 mm Cu (26,6 keV); 24 kV, 0,31 mm Cu (23,1 keV)]

Röntgenstrahlung bekannter Energie im schmalen Strahlenbündel bestimmt (s. auch Legende zu Fig. 3). Fig. 3 zeigt die Abhängigkeit des Schwächungsgrades der untersuchten Bildschüssel von der Photonenenergie. Für eine Energie von 29 keV und eine Glasdicke von 1,2 cm ergibt sich hieraus $\bar{\mu} = 6{,}3$ cm^{-1}.

Die Photonenflussdichte φ wurde durch numerische Integration von Gl. (4) für verschiedene Werte von a berechnet. Die Gleichgewicht-Ionendosisleistung $\dot{J}_s$ ergibt sich daraus zu:

$$\dot{J}_s = \frac{e}{E_i} \cdot \frac{\eta'}{\varrho} E \varphi \qquad (5)$$

wobei e die Elementarladung ($e = 1{,}602\ 10 \cdot 10^{-19}$C), E_i der mittlere Energieaufwand zur Bildung eines Ionenpaares in Luft (33,7 eV), E die Energie der Photonenstrahlung (29 keV) und η'/ϱ der Massen-Energieabsorptionskoeffizient für Luft bei der betreffenden Photonenenergie ($\eta'/\varrho = 0{,}16$ cm^2/g) ist. Durch Einsetzen der Zahlenwerte erhält man die Beziehung:

$$\dot{J}_s = 0{,}22 \cdot 10^{-13}\ \varphi\ \mathrm{A/kg}$$

mit φ in s^{-1} cm^{-2} bzw. mit der Beziehung:

$$R = 2{,}58 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{C/kg}$$

$$\dot{J}_s = 0{,}31\ \varphi\ \mu\mathrm{R/h}$$

In Fig. 1 ist die so berechnete Dosisleistung als durchgezogene Kurve eingezeichnet. Sowohl Messwerte der Verfasser als auch der von *M.C. O'Riordan* und *P.N. Casbolt* experimentell ermittelte Kurvenverlauf stimmen mit dieser Modellrechnung gut überein.

Berechnungen mit anderen Werten für $\bar{\mu}$ R_0, R_1 und R_2 zeigen, dass die Kurvenform in der Nähe der Oberfläche der Bildschüssel (Abstand kleiner als 1 m) stark von den geometrischen Abmessungen der Bildröhre und von $\bar{\mu}$ abhängt. Als Beispiel ist in Fig. 1 die nach [8] für den ebenen Grenzfall (strahlende Kreisscheibe mit 43 cm Durchmesser, vor der sich ein ebener Absorber der Dicke 1,2 cm mit $\bar{\mu} = 6{,}3$ cm^{-1} befindet) berechnete Abhängigkeit der Dosisleistung gestrichelt eingezeichnet. Für Entfernungen grösser als etwa 1 m lassen sich alle Kurven gut durch ein $1/r^2$-Gesetz darstellen.

4. Schlussfolgerungen

Um ein von der Geometrie der Bildröhre unabhängiges Messergebnis der Dosisleistung nahe der Bildschüssel zu erhalten, müsste unmittelbar an der Oberfläche gemessen werden. Wegen der endlichen Grösse der verwendeten Detektoren ist das aber nicht möglich. Ein Vergleich des kugelförmigen mit dem ebenen Modell in 5 cm Abstand von der Oberfläche der Bildschüssel (s. Fig. 1) zeigt, dass sich die Dosisleistungen nach den Modellrechnungen in diesem hinsichtlich der Geometrie extremen Fall um etwa 13 % unterscheiden. Da dieser Unterschied bei der Beurteilung des Strahlenschutzes aber noch tolerierbar sein dürfte, kann ein auf 5 cm festgesetzter Messabstand als ausreichend klein angesehen werden.

Nimmt man eine Unsicherheit von etwa +100 % und −50 % in Kauf, so kann aus den gerechneten Kurven folgende Faustregel zur Bestimmung der Dosisleistung in grösseren Abständen abgelesen werden:

Die Dosisleistung in 1 m Abstand von der Bildröhre beträgt 15 % des Wertes $\dot{J}_0$, der in 5 cm Abstand gemessen wird. Die weitere Abnahme erfolgt nach einem $1/r^2$-Gesetz.

$$\dot{J}(r) = \frac{0{,}15\ \dot{J}_0}{r^2} \qquad (6)$$

(Abstand von der Bildröhre $r \geqq 1$ m)

Bei den angegebenen Unsicherheiten ist eine Berücksichtigung der Luftschwächung nicht erforderlich. Durch sie würde die Störstrahlung z. B. bei einem Abstand von 3 m und einer Röhrenspannung von 30 kV nur um etwa 13 % und bei der üblichen Betriebsspannung von 25 kV um etwa 20 % geschwächt werden. Legt man den in [2] empfohlenen Grenzwert von 0,5 mR/h = 36 pA/kg in 5 cm Abstand von der Oberfläche der Bildröhre zugrunde, so würde sich nach obiger Faustregel in einem Betrachtungsabstand von 3 m eine Dosisleistung von etwa 0,6 pA/kg = 8,4 μR/h ergeben. Das entspricht etwa der durch die natürliche Umgebungsstrahlung hervorgerufenen Dosisleistung.

Hieraus kann eine obere Grenze für eine mögliche genetische Strahlenbelastung durch den Betrieb von Farbfernsehgeräten abgeschätzt werden. Berücksichtigt man hierbei sowohl die Schwächung einer 25-keV-Photonenstrahlung in 3 m Luft als auch in 4 mm Wasser (kritische Tiefe der männlichen Keimdrüsen) bzw. in 70 mm Wasser (kritische Tiefe der weiblichen Keimdrüsen), so ergeben sich unter den gemachten Voraussetzungen und einer täglichen Einschaltzeit von 2 h genetische Strahlenbelastungen, die etwa 5 % bzw. 0,1 % der durch die Umgebungsstrahlung bedingten Jahresdosis betragen würden. Untersuchungen an verschiedenen Fernsehgeräten (s. a. [1]) zeigten jedoch, dass die in 5 cm Abstand von der Bildröhre gemessenen Dosisleistungen unter normalen Betriebsbedingungen erheblich kleiner als der für die Abschätzung benutzte Grenzwert von 0,5 mR/h = 36 pA/kg waren. Damit liegt die tatsächliche genetische Strahlenbelastung wesentlich unter den oben angegebenen Werten.

Die Autoren danken Dr. *Potempa* für die Aufstellung des Programmes zur numerischen Integration von Gl. (4) und *H. Balke* sowohl für die sorgfältige Ausführung der Messungen als auch für die Hilfe bei der numerischen Auswertung der Ergebnisse. Für die Bereitstellung eines Farbfernsehgerätes danken die Autoren der Graetz KG., Altena, und für die Überlassung einer Bildschüssel der Standard Elektrik Lorenz AG, Esslingen.

Literatur

[1] *W. Kolb:* Die Röntgenstörstrahlung bei Farbfernsehgeräten. Bull. SEV 59(1968)3, S. 95...96.

[2] Recommandations of the international commission on radiological protection. Report of committee III on protection against X-ray up to energies of 3 MeV and beta- and gamma-rays from sealed sources. ICRP Publications 3, Oxford/London/New York, Pergamon Press, 1960.

[3] Bestimmungen für netzbetriebene Rundfunk- und verwandte elektronische Geräte. VDE Vorschrift 0860 H/8.69.

[4] Verordnungen über den Strahlenschutz vom 19. April 1963. In: Atomenergie und Strahlenschutz in der Schweiz. Handbuch. Herausgegeben von der Schweizerischen Vereinigung für Atomenergie, Bern. Zürich, FABAG, 1963. S. C2.4/1...C2H/35.

[5] *U. Lauterbach, W. Kolb* und *P. Seyfried:* Ein empfindlicher Dosisleistungsmesser mit Szintillationsdetektor für Strahlenschutzzwecke. Bull. SEV 61(1970)24, S. 1148...1153.

[6] *W. Bruch:* Farbbildröhren. Ein Überblick über die wichtigsten Farbfernsehwiedergabeverfahren. Telefunken-Ztg. 38(1965)1, S. 83...105.

[7] *C. Gerthsen:* Physik. Ein Lehrbuch zum Gebrauch neben Vorlesungen. 4. Auflage. Berlin/Göttingen/Heidelberg, Springer, 1956.

[8] *B. T. Price, C. C. Horton* und *K. T. Spinney:* Radiation Shielding. London/New York/Paris, Pergamon Press, 1957.

Adresse der Autoren:
U. Lauterbach und *G. Wehner*, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, D-33 Braunschweig.