

Nuklearmedizinische Betriebe

Strahlenschutzberechnungen

DIN
6844
Teil 3

Installations for nuclear medicine; radiation protection calculations

Mit DIN 6844 T 1/09.89 und T 2/09.89

Ersatz für DIN 6844/12.78

Aufgestellt vom Normenausschuß Radiologie im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. in Arbeitsgemeinschaft mit der Deutschen Röntgengesellschaft.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich und Zweck	2	4 Dosisleistungskonstanten	3
2 Begriffe	2	5 Schwächungskurven	4
3 Berechnung von Ortsdosisleistungen und von Strahlenabschirmungen	2	6 Berechnungsbeispiele	4

Fortsetzung Seite 2 bis 16

Zitierte Normen und andere Unterlagen

- DIN 6814 Teil 3 Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik; Dosisgrößen und Dosiseinheiten
 DIN 6844 Teil 2 Nuklearmedizinische Betriebe; Regeln für die Errichtung und Ausstattung von Betrieben zur therapeutischen Anwendung von offenen radioaktiven Stoffen
 DIN 6854 Technetium-Generatoren; Anforderungen und Betrieb
 ATS-TUH 1081 R. Dorner u. H.-G. Vogt, Schwächung der Photonenstrahlung von Radionukliden Teil 2 bis 5 (1982), Zentraleinrichtung für Strahlenschutz der Universität Hannover

Weitere Normen und andere Unterlagen

- DIN 6814 Teil 2 Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik; Strahlenphysik
 DIN 6814 Teil 4 Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik; Radioaktivität
 DIN 6814 Teil 5 Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik; Strahlenschutz
 DIN 6844 Teil 1 Nuklearmedizinische Betriebe; Regeln für Errichtung und Ausstattung von Betrieben zur diagnostischen Anwendung von offenen radioaktiven Stoffen
 Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 13. Oktober 1976 (Bundesgesetzblatt I, Seite 2805)

Frühere Ausgaben

DIN 6844: 12.78

Änderungen

Gegenüber DIN 6844/12.78 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Die bei der früheren Ausgabe lediglich in einem Abschnitt behandelten Strahlenschutzberechnungen wurden inhaltlich völlig überarbeitet und erweitert.
- In Übereinstimmung mit DIN 6814 Teil 3 (Ausgabe Dezember 1985) wurde die „spezifische Gammastrahlenkonstante“ durch die „Dosisleistungskonstante I_H “ ersetzt, die alle Photonen mit Energien ≥ 20 keV berücksichtigt. Entsprechend wurden die Schwächungsgrade als Funktion der Abschirmdicken neu berechnet.
- Die Auswahl der behandelten Radionuklide wurde dem derzeitigen Stand der Technik in der nuklearmedizinischen Diagnostik und Therapie angeglichen.
- DIN 6844 in DIN 6844 Teil 1 bis Teil 3 aufgeteilt.

Internationale Patentklassifikation

G 021 F 1/00 G 01 T 1/02

Normenausschuß Radiologie (NAR) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, gestattet.

1 Anwendungsbereich und Zweck

Diese Norm enthält Daten und Formeln zur Berechnung von Ortsdosisleistungen und Wanddicken von Strahlenabschirmungen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen. Sie beschränkt sich dabei auf die in der Nuklearmedizin vorwiegend angewendeten Radionuklide und Aktivitätsbereiche.

Die Norm richtet sich sowohl an die Planer nuklearmedizinischer Einrichtungen als auch an deren Betreiber. Außerdem soll sie den für Genehmigung und Aufsicht zuständigen atomrechtlichen Behörden Unterlagen für ihre Entscheidungen geben.

2 Begriffe

Siehe DIN 6814 Teil 3

2.1 Dosisleistungskonstante

Für Zwecke des Strahlenschutzes wird als Dosisleistungskonstante Γ_H eines Photonen emittierenden Radionuklids der Quotient aus dem Produkt $\dot{H}_x \cdot r^2$ und der Aktivität A angegeben, wobei $\dot{H}_x$ die Photonen-Äquivalentdosisleistung ist, die durch alle Photonen mit Energien $E \geq 20$ keV im Abstand r von einer punktförmigen Strahlenquelle der Aktivität A erzeugt würde, wenn die Strahlung weder in der Quelle noch in einem anderen Material absorbiert oder gestreut würde.

$$\Gamma_H = \frac{\dot{H}_x \cdot r^2}{A} \quad (1)$$

(siehe DIN 6814 Teil 3)

2.1.1 Die Einheit der Dosisleistungskonstanten Γ_H ist das $\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$, gebräuchlich ist die Angabe in $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1}$.

2.1.2 Bei Radionukliden mit kurzlebigen Folgeprodukten wird die Dosisleistungskonstante für den Zustand des radioaktiven Gleichgewichts angegeben. $\dot{H}_x$ ist dabei die Photonen-Äquivalentdosisleistung, die von Photonen mit $E \geq 20$ keV aller Glieder der Reihe erzeugt wird, und A die Aktivität des Mutternuklids.

2.2 Photonen-Äquivalentdosis

Die Photonen-Äquivalentdosis H_x ist gleich dem Produkt aus der Standard-Ionendosis und dem Faktor 0,01 Sv/R.

Anmerkung: Bei dieser Festlegung wird – wie bisher im Strahlenschutz bei Photonenstrahlung üblich – der Zahlenwert einer in R gemessenen Standard-Ionendosis gleich dem Zahlenwert der Äquivalentdosis in rem (Energiedosis für Weichteilgewebe) gesetzt.

2.2.1 Die Photonen-Äquivalentdosisleistung ist der Differentialquotient der Photonen-Äquivalentdosis nach der Zeit.

2.2.2 Die Einheit der Photonen-Äquivalentdosis ist das „Sievert“ (Einheitszeichen Sv). Einheit der Photonen-Äquivalentdosisleistung ist das Sv s^{-1} , im Strahlenschutz gebräuchlich ist die Angabe in mSv h^{-1} bzw. $\mu\text{Sv h}^{-1}$.

2.3 Ortsdosis und Ortsdosisleistung

Ortsdosis bzw. Ortsdosisleistung im Sinne dieser Norm ist die Photonen-Äquivalentdosis H_x bzw. die Photonen-Äquivalentdosisleistung $\dot{H}_x$ an einem vorgegebenen Ort.

2.4 Schwächungsgrad

Der Schwächungsgrad F einer Abschirmung ist der Quotient aus der Ortsdosisleistung $\dot{H}_0$ ohne Abschirmung und der Ortsdosisleistung $\dot{H}$ mit Abschirmung (jeweils für den gleichen Ort)

$$F = \frac{\dot{H}_0}{\dot{H}} \quad (2)$$

Anmerkung: Besteht eine Abschirmung aus mehreren hintereinanderliegenden Teilabschirmungen mit den Schwächungsgraden $F_1, F_2, \dots$, so ist der gesamte Schwächungsgrad F gleich dem Produkt aus den einzelnen Schwächungsgraden

$$F = F_1 \cdot F_2 \cdot \dots \cdot F_n$$

3 Berechnung von Ortsdosisleistungen und von Strahlenabschirmungen

3.1 Bei Strahlenschutzmaßnahmen ist zu unterscheiden zwischen

- Maßnahmen zum Schutz von Personen
- Abschirmung von Meßgeräten gegen erhöhte Untergrundstrahlung

3.2 Die Bemessung von Strahlenabschirmungen richtet sich nach der Art der Bereiche (Kontrollbereiche, Überwachungsbereiche, Arbeitsplätze außerhalb des Strahlenbetriebs, Wohnbereiche), in denen Personen zu schützen sind.

In Kontrollbereichen ist es zweckmäßig, permanente Abschirmungen so auszulegen, daß die durch die abgeschirmten Strahlenquellen erzeugte Körperdosis beruflich strahlenexponierter Personen 10 mSv (1 rem) im Jahr nicht übersteigt.

Bei nicht beruflich strahlenexponierten Angehörigen des Strahlenbetriebes, die sich in Überwachungsbereichen aufhalten können, darf die Körperdosis 5 mSv (500 mrem) und bei Personen, die nicht dem Strahlenbetrieb angehören (z. B. in Wohnräumen), 1,5 mSv (150 mrem) im Jahr nicht übersteigen.

3.3 Bei Berechnung der Abschirmungen können die tatsächlichen Aufenthaltszeiten zugrunde gelegt werden. Im Falle von Daueraufenthalt ist bei Arbeitsplätzen mit 2000 h je Jahr und in Wohnbereichen mit 8000 h je Jahr zu rechnen.

Damit ergeben sich bei Daueraufenthalt folgende maximale Ortsdosisleistungen:

- in Kontrollbereichen 5,0 $\mu\text{Sv/h}$ (0,5 mrem/h)
- in Überwachungsbereichen 2,5 $\mu\text{Sv/h}$ (0,25 mrem/h)
- an Arbeitsplätzen außerhalb des Strahlenbetriebes 0,75 $\mu\text{Sv/h}$ (0,075 mrem/h)
- in Wohnbereichen 0,18 $\mu\text{Sv/h}$ (0,018 mrem/h)

Einwirkungen durch anderweitige Strahlenbetriebe sind dabei mit zu berücksichtigen, nicht jedoch die durch Höhenstrahlung und Radioaktivität des Erdbodens und der Baustoffe bedingte Untergrundstrahlung.

3.4 Meßräume für nuklearmedizinische Diagnostik oder für Forschungszwecke sowie Aufstellungsorte für Kontaminationsmonitore müssen so gelegen oder so abgeschirmt sein, daß der Beitrag von Strahlenquellen außerhalb des Raumes – auch von Patienten mit inkorporierten radioaktiven Stoffen – die Messungen nicht stört. Dies kann im allgemeinen erreicht werden, wenn durch die Strahlenquellen außerhalb des Raumes die Ortsdosisleistung am Meßort um nicht mehr als 0,02 $\mu\text{Sv/h}$ (2 $\mu\text{rem/h}$) erhöht wird.

3.5 Die Ortsdosisleistung im Abstand r von einer nicht abgeschirmten Strahlenquelle der Aktivität A ergibt sich mit Hilfe der Dosisleistungskonstanten Γ_H des betreffenden Radionuklids (siehe Tabelle 1) zu

$$\dot{H}_0 = \frac{A \Gamma_H}{r^2} \quad (3)$$

3.6 Ist die berechnete Ortsdosisleistung um den Faktor F größer als die an dem betreffenden Ort höchstzulassende Ortsdosisleistung $\dot{H}$, so ist eine Abschirmung mit mindestens dem Schwächungsgrad

$$F = \frac{\dot{H}_0}{\dot{H}} = \frac{\Lambda \Gamma_H}{\dot{H} r^2} \quad (4)$$

erforderlich.

3.7 Die einem errechneten Schwächungsgrad F zugeordnete flächenbezogene Masse $\rho \cdot d$ (ρ = Dichte des Abschirmmaterials und d = Dicke der Abschirmung) läßt sich für die wichtigsten Radionuklide und Abschirmmaterialien aus den Bildern 1 bis 23 des Abschnitts 5 entnehmen (siehe auch Berechnungsbeispiele in Abschnitt 6).

4 Dosisleistungskonstanten

4.1 Tabelle 1 enthält für die wichtigsten in der Nuklearmedizin angewandten Radionuklide neben den Halbwertszeiten die Dosisleistungskonstanten Γ_H . Berücksichtigt ist neben der Gammastrahlung (bei Positronenstrahlern einschließlich der Vernichtungsstrahlung) die bei Elektroneneinfang und innerer Konversion emittierte Röntgen-Eigenstrahlung mit Energie $E \geq 20$ keV.

Anmerkung: Mit einem * versehene Radionuklide besitzen radioaktive Folgeprodukte; die Dosisleistungskonstanten sind hier nach Abschnitt 2.1.2 berechnet.

4.2 Für hier nicht aufgeführte Radionuklide läßt sich die Dosisleistungskonstante aus den Zerfallsdaten berechnen nach der Zahlenwertgleichung

$$\Gamma_H = 5,25 \cdot \sum_i (E \cdot p \cdot \mu_{en}/\rho)_i \quad (5)$$

wobei E die Photonenenergie in MeV ist, p die Emissionswahrscheinlichkeit je Zerfall und μ_{en}/ρ der Massen-Energieabsorptionskoeffizient für Luft bei der betreffenden Energie E in cm^2/g . Die Summe erstreckt sich über alle Photonenstrahlungen mit $E \geq 20$ keV.

Der Zahlenfaktor gilt unter der Annahme eines mittleren Energieaufwands zur Bildung eines Ionenpaares in Luft von $W = 33,85$ eV.

Anmerkung: In älteren Tabellenwerken ist noch die spezifische Gammastrahlenkonstante Γ in $\text{R m}^2 \text{ h}^{-1} \text{ Ci}^{-1}$ angegeben. Emittiert ein Radionuklid nur Gammastrahlung und keine charakteristische Röntgenstrahlung mit $E \geq 20$ keV, so ergibt sich die Dosisleistungskonstante Γ_H in $\text{mSv m}^2 \text{ h}^{-1} \text{ GBq}^{-1}$ durch Division des Zahlenwertes von Γ durch 3,7.

4.3 Beim Umgang mit höheren Aktivitäten energiereicher Betastrahler ist die externe Bremsstrahlung zu berücksichtigen und gegebenenfalls abzuschirmen. Hierzu ist es zweckmäßig, eine Bremsstrahlungs-Dosisleistungskonstante $\Gamma_{Br, Z}$ einzuführen, die analog zur Dosisleistungskonstanten Γ_H in Abschnitt 2.1 als Quotient aus $\dot{H}_x \cdot r^2$ und der Aktivität A definiert ist, bei der jedoch $\dot{H}_x$ die Photonen-Äquivalentdosisleistung ist, die durch Bremsquanten mit $E \geq 20$ keV im Abstand r von einer punktförmigen Strahlenquelle der Aktivität A erzeugt wird, wenn die Betastrahlung in einem die Quelle unmittelbar umgebenden Material der Ordnungszahl Z vollständig abgebremst wird. Die Schwächung der Bremsstrahlung im Bremsmaterial wird dabei als vernachlässigbar angesehen.

Die in Tabelle 2 angegebenen Zahlenwerte gelten für Abbremmung der Betastrahlung in Eisen ($Z = 26$). Da bei externer Bremsstrahlung die Photonenflußdichte und damit

der Zahlenwert von $\Gamma_{Br, Z}$ nahezu proportional mit der Ordnungszahl Z des Bremsmaterials ansteigt, ergibt sich daraus mit einer für den Strahlenschutz ausreichenden Genauigkeit die Zahlenwerte für ein Bremsmaterial der Ordnungszahl Z durch die Beziehung.

$$\Gamma_{Br, Z} = \frac{Z}{26} \Gamma_{Br, 26} \quad (6)$$

In der Nuklearmedizin liegt der radioaktive Stoff meist als wäßrige Lösung vor. Die Abbremmung der Betastrahlung erfolgt vorwiegend im Lösungsmittel und in der Glaswandung der Ampulle. Die Zahlenwerte der Tabelle 2 sind in diesem Falle durch 2,5 bis 3,0 zu dividieren.

Tabelle 1. Halbwertszeiten $T_{1/2}$ und Dosisleistungskonstanten Γ_H

Radionuklid	$T_{1/2}$	Γ_H in $\text{mSv m}^2 \text{ h}^{-1} \text{ GBq}^{-1}$
^{11}C	20,4 min	0,159
^{13}N	9,97 min	0,159
^{15}O	2,04 min	0,159
^{18}F	1,83 h	0,155
^{51}Cr	27,7 d	0,0048
^{59}Fe	44,5 d	0,169
^{67}Ga	3,26 d	0,021
$^{81}\text{Kr}^m$	13,3 s	0,018
$^{81}\text{Rb}^*$	4,58 h	0,094
^{82}Rb	1,27 min	0,169
$^{82}\text{Sr}^*$	25,6 d	0,169
$^{99}\text{Mo}^*$	65,9 h	0,038
$^{99}\text{Tc}^m$	6,01 h	0,016
^{111}In	2,80 d	0,087
$^{113}\text{In}^m$	1,66 h	0,048
$^{113}\text{Sn}^*$	155,1 d	0,075
^{123}I	13,2 h	0,044
^{125}I	59,6 d	0,039
^{127}Xe	36,4 d	0,058
^{131}I	8,02 d	0,059
^{133}Xe	5,24 d	0,014
$^{195}\text{Au}^m$	30,5 s	0,029
$^{195}\text{Hg}^m^*$	41,6 h	0,050
^{198}Au	2,70 d	0,062
^{201}Tl	72,9 h	0,012

Die mit einem * gekennzeichneten Radionuklide besitzen kurzlebige Folgeprodukte; die Zahlenwerte für Γ_H gelten für den Gleichgewichtszustand, siehe Abschnitt 2.1.2

Tabelle 2. Halbwertszeiten $T_{1/2}$ und Bremsstrahlungs-Dosisleistungskonstanten $\Gamma_{Br, 26}$ einiger Betastrahler bei Abbremmung der Betastrahlung in Eisen ($Z = 26$)¹⁾

Radionuklid	$T_{1/2}$	$\Gamma_{Br, 26}$ in $\text{mSv m}^2 \text{ h}^{-1} \text{ GBq}^{-1}$
^{32}P	14,3 d	0,0021
^{89}Sr	50,5 d	0,0016
^{90}Y	2,67 d	0,0035

¹⁾ Zahlenwerte für $\Gamma_{Br, 26}$ nach R. Dorner und H.-G. Vogt, ATS-TUH 1081 (1982)

5 Schwächungskurven

5.1 In den Bildern 1 bis 23 ist für die wichtigsten Radionuklide und für übliche Abschirmstoffe der Schwächungsgrad F als Funktion der flächenbezogenen Masse $\rho \cdot d$ in g/cm^2 aufgetragen. Die Dicke d der erforderlichen Abschirmung in cm erhält man, indem man den abgelesenen Abszissenwert durch die Dichte ρ des betreffenden Abschirmmaterials in g/cm^3 dividiert.

Die Schwächungskurven gelten für breite Strahlenbündel. Mit einem * gekennzeichnete Radionuklide besitzen kurzlebige Folgeprodukte; die Abschirmkurven gelten in diesem Falle für den Gleichgewichtszustand.

Da bei externer Bremsstrahlung die Form des Bremsspektrums, d. h. die relative Energieverteilung der Bremsquanten, nur unwesentlich von der Ordnungszahl Z des Bremsmaterials abhängt (diese beeinflusst lediglich die Photonenflußdichte der Strahlung, siehe Abschnitt 4.3), können die Bilder 22 bis 24 bei Abbremsung der Betastrahlung in beliebigen Materialien verwendet werden.

5.2 Die mit „Beton“ gekennzeichneten Kurven gelten für Normalbeton der Dichte $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$. Sie lassen sich unter Beachtung der jeweiligen Dichte auch für Ziegelmauerwerk und andere Leichtbetone verwenden.

Die mit „Baryt“ gekennzeichneten Kurven gelten für Barytbeton. Seine Dichte hängt von der Zusammensetzung ab. Die gekennzeichneten Kurven gelten für Barytbeton der Dichte $\rho = 3,5 \text{ g/cm}^3$.

Reines Blei hat die Dichte $\rho = 11,34 \text{ g/cm}^3$. Aus Gründen der Festigkeit wird meist ein geringer Prozentsatz Antimon zugegeben, wodurch sich die Dichte verringert. Bei der Berechnung der Abschirmdicke d sollte maximal mit $\rho = 11 \text{ g/cm}^3$ werden.

Für Eisen gilt $\rho = 7,86 \text{ g/cm}^3$.

Anmerkung: Die Bilder im Abschnitt 5 stellen die

Schwächungsgrade F für Radionuklide als Funktion der flächenbezogenen Masse $\rho \cdot d$ verschiedener Abschirmmaterialien dar.

(Die Schwächungskurven für externe Bremsstrahlung (siehe Bilder 22 bis 24) sind dem Bericht ATS-TUH 1081 Teil 2 bis 5 (1982) entnommen.)

6 Berechnungsbeispiele

6.1 Beispiel 1

Ein Technetium-Generator mit einer Nennaktivität von 10 GBq (270 mCi) habe bei der Absendung beim Hersteller eine Aktivität an ^{99}Mo von $A = 20 \text{ GBq}$. Er ist so abzuschirmen, daß an keiner Stelle der Oberfläche des Versandstückes eine Ortsdosisleistung von 2 mSv/h überschritten wird. Ist der kürzeste Abstand zwischen Oberfläche und Strahlenquelle $r = 0,1 \text{ m}$, so berechnet sich mit $\Gamma_H = 0,038 \text{ mSv m}^2 \text{h}^{-1} \text{GBq}^{-1}$ (nach Tabelle 1) der Schwächungsgrad F der Abschirmung zu

$$F = \frac{0,038 \cdot 20}{2 \cdot 0,1^2} = 38 \quad (7)$$

Aus dem Diagramm für ^{99}Mo ergibt sich im Falle von Blei als Abschirmmaterial $\rho \cdot d = 40 \text{ g/cm}^2$, so daß für die Transportabschirmung eine Bleidicke von 4 cm voll ausreichend ist. Mit dieser Abschirmung von $d = 4 \text{ cm}$, d. h. $\rho \cdot d = 44 \text{ g/cm}^2$ und $F = 55$, ergibt sich zum Referenzzeitpunkt ($A = 10 \text{ GBq}$) die Dosisleistung in 1 m Abstand zu

$$\dot{H}_x = \frac{\Gamma_H \cdot A}{F \cdot r^2} = \frac{0,038 \cdot 10}{55 \cdot 1} = 0,007 \text{ mSv/h} \quad (8)$$

und am Lieferungszeitpunkt ($A \approx 15 \text{ GBq}$) zu $0,01 \text{ mSv/h}$, so daß für den Umgang in der Regel keine Zusatzabschirmung erforderlich ist (siehe DIN 6854).

Befindet sich jedoch in der dem Abfüllraum benachbarten Personalschleuse ein Kontaminationsmonitor, so sollte dort die Ortsdosisleistung um nicht mehr als $0,02 \mu\text{Sv/h} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ mSv/h}$ erhöht werden. Bei einem Abstand des Monitors vom Generator von $r = 4 \text{ m}$ errechnet sich ein Schwächungsgrad von

$$F = \frac{0,038 \cdot 10}{2 \cdot 10^{-5} \cdot 4^2} = 1200 \quad (9)$$

Die Bleiabschirmung muß daher auf $\rho \cdot d = 81 \text{ g/cm}^2$ erhöht werden, z. B. durch eine Zusatzabschirmung von 3,4 cm Blei, oder es muß eine zusätzliche Abschirmung aus einem anderen Material zwischen Generator und Monitor angebracht werden.

Der Schwächungsgrad F_2 dieser zusätzlichen Abschirmung ergibt sich mit dem der bereits vorhandenen 4 cm dicken Bleiabschirmung von $F_1 = 55$ zu

$$F_2 = \frac{F}{F_1} = \frac{1200}{55} = 22 \quad (10)$$

Wird diese Abschirmung durch Barytbeton erstellt, so muß $\rho \cdot d \approx 52 \text{ g/cm}^2$ sein, d. h. $d \approx 15 \text{ cm}$, während für Normalbeton $\rho \cdot d \approx 60 \text{ g/cm}^2$ und $d \approx 26 \text{ cm}$ ist.

6.2 Beispiel 2

Nach DIN 6844 Teil 2 ist die über 5 Tage integrierte Ortsdosis im Abstand von 1 m von einem Therapiepatienten, dem $3,7 \text{ GBq}$ (100 mCi) ^{131}I appliziert wurde, etwa 5 mSv (500 mrem). Wird ein Krankenzimmer im Jahr nacheinander bis zu 40mal mit einem solchen Patienten belegt, so resultiert daraus eine Jahresdosis in 1 m Abstand von 200 mSv (20 rem). Das benachbarte Krankenzimmer muß so abgeschirmt sein, daß dort eine Jahresdosis von 5 mSv (500 mrem) nicht überschritten wird. Der Abstand zwischen Patient und Nachbarzimmer kann zu $r = 1 \text{ m}$ angesetzt werden.

Für den Schwächungsgrad der Zwischenwand ergibt sich

$$F = \frac{200 \text{ mSv}}{5 \text{ mSv}} = 40 \quad (11)$$

Aus dem Diagramm für ^{131}I ergibt sich im Falle von

- Barytbeton: $\rho d = 49 \text{ g/cm}^2$ entsprechend $d = 14 \text{ cm}$
- Normalbeton: $\rho d = 70 \text{ g/cm}^2$ entsprechend $d = 30 \text{ cm}$.

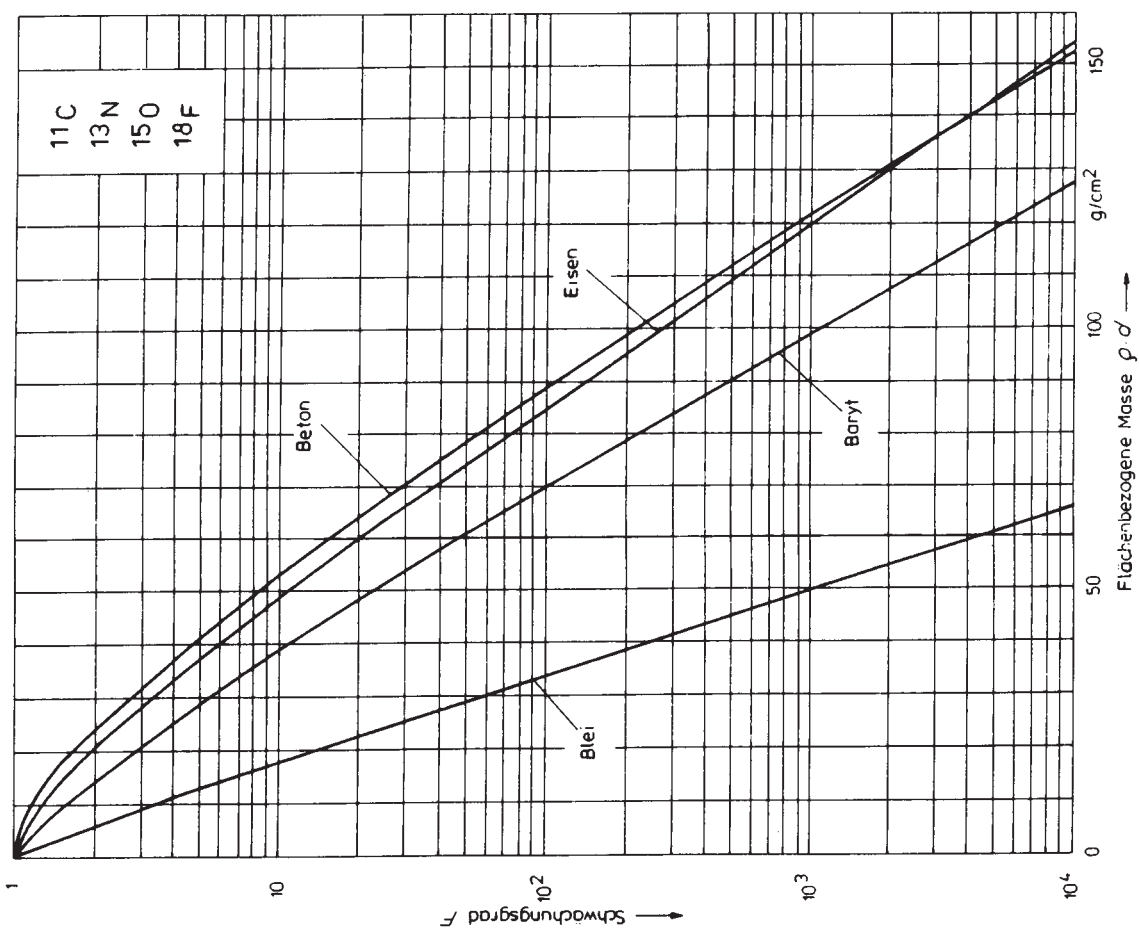


Bild 1.

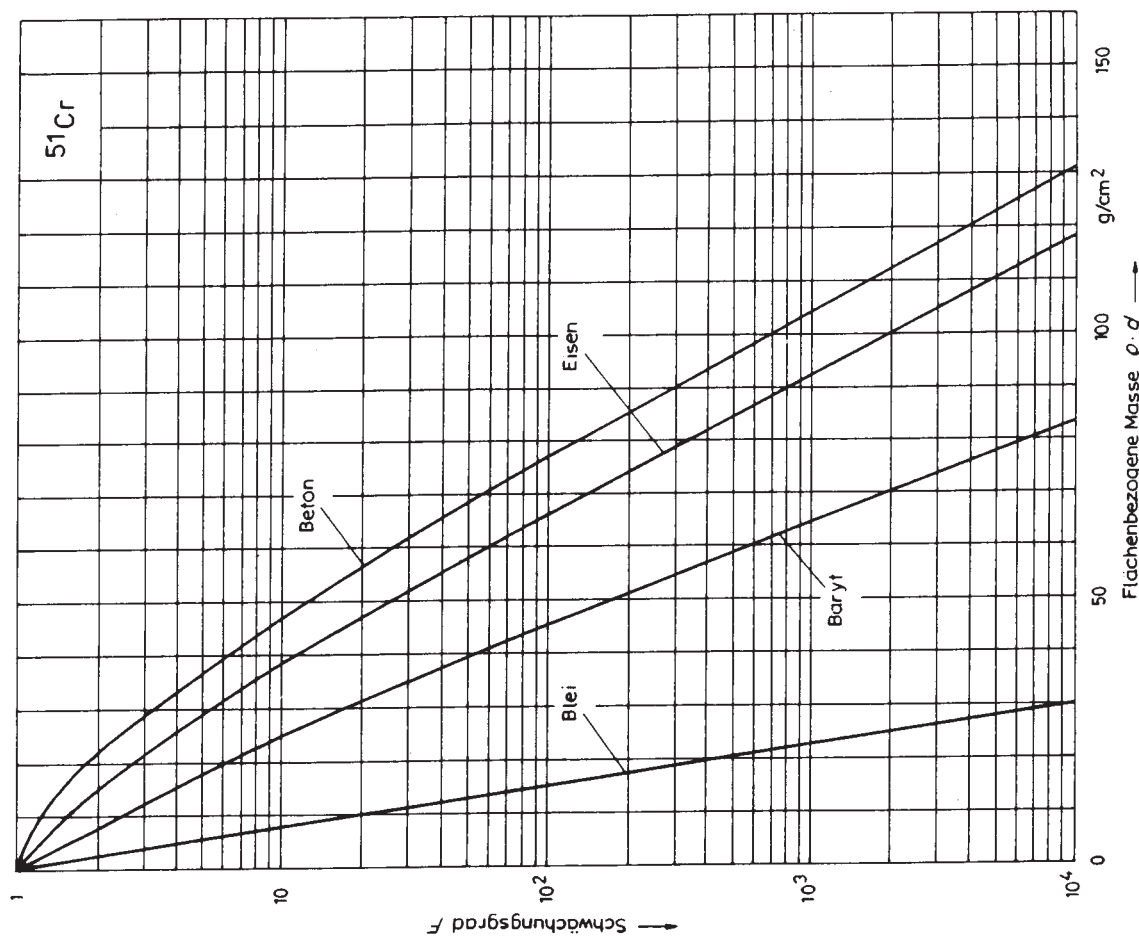


Bild 2.