

DIN 6844-3

ICS 11.040.50; 13.280

Ersatz für
DIN 6844-3:1989-09**Nuklearmedizinische Betriebe –
Teil 3: Strahlenschutzberechnungen**Nuclear medicine departments –
Part 3: Radiation protection calculationsServices de médecine nucléaire –
Partie 3: Calculs de radioprotection

Gesamtumfang 66 Seiten

Normenausschuss Radiologie (NAR) im DIN

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	3
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	4
4 Berechnung von UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG und ABSCHIRMUNGEN	8
4.1 Strahlenschutzmaßnahmen	8
4.2 Berechnungsbedingungen	9
4.3 Abschirmungsberechnungen.....	9
5 DOSISLEISTUNGSKONSTANTEN	10
5.1 Tabellierte DOSISLEISTUNGSKONSTANTEN	10
5.2 Berechnete DOSISLEISTUNGSKONSTANTEN	10
5.3 DOSISLEISTUNGSKONSTANTEN für Betastrahler	10
6 Schwächungskurven	11
6.1 Diagramme	11
6.2 Materialdichten.....	11
Anhang A (normativ) HALBWERTSZEITEN, DOSISLEISTUNGSKONSTANTEN und Darstellung der SCHWÄCHUNGSFAKTOREN F über der FLÄCHENBEZOGENEN MASSE $\rho \cdot d$ für BETON, BARYTBETON, Eisen und Blei für verschiedene Radionuklide	12
A.1 HALBWERTSZEITEN und DOSISLEISTUNGSKONSTANTEN	12
A.2 Darstellung des SCHWÄCHUNGSFAKTORS F über der FLÄCHENBEZOGENEN MASSE $\rho \cdot d$ für BETON, BARYTBETON, Eisen und Blei für verschiedene Radionuklide	14
Anhang B (informativ) Berechnungsbeispiele	62
Literaturhinweise	64
Stichwortverzeichnis	65

Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitsausschuss 3 „Nuklearmedizin“ des Normenausschusses Radiologie (NAR) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. in Arbeitsgemeinschaft mit der Deutschen Röntgengesellschaft und in Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Physik, der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin sowie der Deutschen Gesellschaft für Radioonkologie erarbeitet.

Die Norm enthält Strahlenschutzberechnungen für nuklearmedizinische Betriebe im Sinne der „Verordnung für die Umsetzung von EURATOM-Richtlinien zum Strahlenschutz“ (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001 sowie der EURATOM-Richtlinien zum Strahlenschutz [1] und der Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin [2].

Neue Dosisgrößen gemäß ICRU 60 von 1998 [3] und ICRP 60 von 1991 [4] finden sich in DIN 6814-3:2001-01 sowie mit Bezug auf den Strahlenschutz in E DIN 6814-5:2006-08.

Neben den Regeln dieser Norm sind die einschlägigen Rechts- und Verwaltungsvorschriften für den Strahlenschutz, die Unfallverhütungsvorschriften und die speziellen Auflagen der zuständigen Genehmigungsbehörden zu beachten.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

DIN 6844 *Nuklearmedizinische Betriebe* besteht aus

- *Teil 1: Regeln für Errichtung und Ausstattung von Betrieben zur diagnostischen Anwendung von offenen radioaktiven Stoffen*
- *Teil 2: Regeln für Errichtung und Ausstattung von Betrieben zur therapeutischen Anwendung von offenen radioaktiven Stoffen*
- *Teil 3: Strahlenschutzberechnungen*

Änderungen

Gegenüber DIN 6844-3:1989-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Inhaltliche Überarbeitung und Anpassung an die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 20. Juli 2001, (BGBl. Teil I S. 1714 ber. I 2002 S. 1459) geändert durch Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung und anderer atomrechtlicher Verordnungen vom 18.06.2002 (BGBl. Teil I S. 1869, 1903).
- b) Neue Dosisgrößen gemäß ICRU 60 von 1998 [3] und ICRP 60 von 1991 [4] sowie nach DIN 6814-3:2001-01 und mit Bezug auf den STRAHLENSCHUTZ nach E DIN 6814-5:2006-08 wurden eingeführt.
- c) In Übereinstimmung mit DIN 6814-3:2001-01 wurde die „DOSISLEISTUNGSKONSTANTE Γ_H “ durch die „DOSISLEISTUNGSKONSTANTE Γ_H^* “ ersetzt; dabei bezieht sich diese auf die UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG 1, die alle PHOTONEN mit Energien ≥ 20 keV berücksichtigt. Entsprechend wurden die SCHWÄCHUNGSFAKTOREN als Funktion der FLÄCHENBEZOGENEN MASSE $\rho \cdot d$ neu berechnet.
- d) Auswahl der behandelten RADIONUKLIDE wurde dem derzeitigen Stand der Technik in der nuklearmedizinischen Diagnostik und Therapie angeglichen.

Frühere Ausgaben

DIN 6844: 1978-12

DIN 6844-3: 1989-09

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt Daten und Gleichungen zur Berechnung von UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG und FLÄCHENBEZOGENER MASSE (Abschirmdicke) von ABSCHIRMUNG ionisierender STRAHLUNG beim Umgang mit RADIOAKTIVEN STOFFEN fest. Sie gilt für die in der Nuklearmedizin angewendeten RADIONUKLIDE und deren AKTIVITÄT.

Die Norm gilt sowohl für Planer nuklearmedizinischer Einrichtungen als auch für deren Betreiber. Außerdem gibt sie den für Genehmigung und Aufsicht zuständigen atomrechtlichen Behörden Hilfe für ihre Entscheidungen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 6814-1:2005-11, *Begriffe in der radiologischen Technik — Teil 1: Anwendungsgebiete*

DIN 6814-2:2000-07, *Begriffe in der radiologischen Technik — Teil 2: Strahlungsphysik*

DIN 6814-3:2001-01, *Begriffe in der radiologischen Technik — Teil 3: Dosisgrößen und Dosiseinheiten*

DIN 6814-4:2006-10, *Begriffe in der radiologischen Technik — Teil 4: Radioaktivität*

E DIN 6814-5:2006-08, *Begriffe in der radiologischen Technik — Teil 5: Strahlenschutz*

DIN 6844-2, *Nuklearmedizinische Betriebe — Teil 2: Regeln für Errichtung und Ausstattung von Betrieben zur therapeutischen Anwendung von offenen radioaktiven Stoffen*

DIN 6854, *Technetium-Generatoren — Anforderungen und Betrieb*

DIN 25413-2, *Klassifikation von Abschirmbetonen nach Elementanteilen; Abschirmung von Gammastrahlung*

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. Teil I S. 1714 ber. I 2002 S. 1459) geändert durch Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung und anderer atomrechtlicher Verordnungen vom 18.06.2002 (BGBl. Teil I S. 1869, 1903)¹⁾.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach den Normen der Reihe DIN 6814, insbesondere DIN 6814-1:2005-11 bis DIN 6814-5:2006-08, und die folgenden Begriffe.

3.1 Äquivalentdosis

H

Produkt aus der ENERGIEDOSIS für ICRU-WEICHTEILGEWEBE *D* und dem QUALITÄTSFAKTOR *Q* an einem Punkt im Strahlungsfeld:

$$H = Q \cdot D \quad (1)$$

1) Nachgewiesen in der DITR-Datenbank, zu beziehen bei: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

Einheit der ÄQUIVALENTDOSIS: „Sievert“ (Einheitenzeichen Sv)

$$1\text{ Sv} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

[DIN 6814-3:2001-01]

ANMERKUNG 1 ICRU-WEICHTEILGEWEBE (siehe Strahlenschutzverordnung und [5], [7], [8]): Gewebeäquivalentes Material der DICHTE $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ mit der Zusammensetzung (Massenanteile) 76,2 % Sauerstoff, 11,1 % Kohlenstoff, 10,1 % Wasserstoff und 2,6 % Stickstoff.

ANMERKUNG 2 Der QUALITÄTSFAKTOR Q ist ein Wichtungsfaktor zur Ermittlung der ÄQUIVALENTDOSIS, der die Einflüsse der Strahlungsart und -energie (STRAHLUNGSQUALITÄT) auf die biologische Wirksamkeit der STRAHLUNG berücksichtigt. Er hat die Dimension 1.

ANMERKUNG 3 Bei Photonen- und Elektronenstrahlung ist $Q = 1$.

3.2

Ortsdosis

ÄQUIVALENTDOSIS, gemessen an einem bestimmten Ort. Als ORTSDOSIS gelten die Größen UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSIS $H^*(10)$ und RICHTUNGS-ÄQUIVALENTDOSIS $H'(0,07, \vec{\Omega})$

Einheit der ORTSDOSIS: „Sievert“ (Einheitenzeichen Sv)

[DIN 6814-3:2001-01]

ANMERKUNG Die RICHTUNGS-ÄQUIVALENTDOSIS $H'(0,07, \vec{\Omega})$ wird in der Regel bei STRAHLUNG geringer Eindringtiefe als Messgröße verwendet. Sie findet in dieser Norm keine Anwendung.

3.3

Umgebungs-Äquivalentdosis

ÄQUIVALENTDOSIS am interessierenden Punkt im tatsächlichen Strahlungsfeld, definiert als die ÄQUIVALENTDOSIS, die im zugehörigen ausgerichteten und aufgeweiteten Strahlungsfeld auf dem der Einfallrichtung der STRAHLUNG entgegengesetzten Radius der ICRU-Kugel in 10 mm Tiefe erzeugt würde

Einheit der UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSIS: „Sievert“ (Einheitenzeichen Sv)

[DIN 6814-3:2001-01]

ANMERKUNG Die ICRU-Kugel hat 30 cm Durchmesser und besteht aus ICRU-WEICHTEILGEWEBE (siehe 3.1, Anmerkung 1).

3.4

Umgebungs-Äquivalentdosisleistung

$\dot{H}^*(10)$

Differentialquotient $dH^*(10)$ durch dt ; dabei ist $dH^*(10)$ die UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSIS, die in der Zeit dt erzeugt wird:

$$\dot{H}^*(10) = \frac{dH^*(10)}{dt} \quad (2)$$

Einheit der UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG: $\text{Sv} \cdot \text{s}^{-1}$

[DIN 6814-3:2001-01]

ANMERKUNG Im STRAHLENSCHUTZ ist die Angabe in $\text{mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ bzw. $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ gebräuchlich.

3.5
Photonen-Äquivalentdosis
bei PHOTONENSTRAHLUNG mit Maximalenergien bis 3 MeV: Produkt aus der STANDARD-IONENDOSIS und dem Faktor 0,01 Sv/R

bei PHOTONENSTRAHLUNG mit Maximalenergien oberhalb 3 MeV: Produkt aus dem Messwert eines Orts- oder Personendosimeters, das für ⁶⁰Co-Gammastrahlung frei in Luft zur Messung der STANDARD-IONENDOSIS kalibriert ist, und dem Faktor 0,01 Sv/R

Einheit der PHOTONEN-ÄQUIVALENTDOSIS: „Sievert“ (Einheitenzeichen Sv)

[DIN 6814-3:2001-01]

ANMERKUNG 1 STANDARD-IONENDOSIS an einem Punkt in einem beliebigen Material ist diejenige IONENDOSIS, die von der dort vorhandenen PHOTONENSTRAHLUNG gegebener spektraler Teilchenflussdichte bei Sekundärelektronengleichgewicht in trockener Luft erzeugt würde.

ANMERKUNG 2 Die IONENDOSIS ist der Differentialquotient aus dem Betrag der elektrischen Ladung der Ionen eines Vorzeichens, die in Luft in einem Volumenelement durch ionisierende STRAHLUNG unmittelbar oder mittelbar gebildet werden, und dem Masselement der Luft bei gegebener DICHTE in diesem Volumenelement.

3.6
Photonen-Äquivalentdosisleistung

$\dot{H}_x$
Differentialquotient dH_x durch dt , dabei ist dH_x die PHOTONEN-ÄQUIVALENTDOSIS, die in der Zeit dt erzeugt wird:

$$\dot{H}_x = \frac{dH_x}{dt} \quad (3)$$

Einheit der PHOTONEN-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG: Sv · s⁻¹

[DIN 6814-3:2001-01]

ANMERKUNG Zusätzlich zu den Messgrößen nach 3.2 kann für eine Übergangszeit noch die PHOTONEN-ÄQUIVALENTDOSIS verwendet werden (siehe Strahlenschutzverordnung – StrlSchV). Bei Messinstrumenten, z. B. bei Ortsdosimetern, sind Umrechnungsfaktoren entsprechend dem Eichgesetz bzw. nach Herstellerangabe anzuwenden.

3.7
Personendosis
ÄQUIVALENTDOSIS, gemessen an der für die STRAHLENEXPOSITION repräsentativen Stelle der Körperoberfläche. Als PERSONENDOSIS gelten die Größen Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ und Oberflächen-Personendosis $H_p(0,07)$

Einheit der PERSONENDOSIS siehe 3.1

[DIN 6814-3:2001-01]

ANMERKUNG In der Strahlenschutz-Praxis besteht die Angabe der PERSONENDOSIS bei Ganzkörperexposition mit durchdringender STRAHLUNG in der Regel aus dem Wert der Tiefen-Personendosis $H_p(10)$. Bei Ganzkörperexposition durch STRAHLUNG geringer Eindringtiefe sowie bei Exposition der Extremitäten wird der Wert der Oberflächen-Personendosis $H_p(0,07)$ angegeben. Siehe DIN 6814-3:2001-01.

3.8
Körperdosis
Sammelbegriff für ORGANDOSIS und EFFEKTIVE DOSIS. Die gesetzlichen Dosisgrenzwerte für den STRAHLEN-SCHUTZ beziehen sich in der Regel auf die KÖRPERDOSEN

Einheit der PERSONENDOSIS siehe 3.1

[DIN 6814-3:2001-01]

ANMERKUNG Berechnung und Anwendung von ORGANODOSIS und EFFEKTIVER DOSIS sind durch die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vorgegeben.

3.9

Dosisleistungskonstante

 Γ_{H^*}

Quotient aus dem Produkt $\dot{H}^*(10) \cdot r^2$ und der AKTIVITÄT A eines PHOTONEN emittierenden RADIONUKLIDS; dabei ist $\dot{H}^*(10)$ die UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG, die durch alle PHOTONEN mit Energien $E \geq 20$ keV im Abstand r von einer punktförmigen STRAHLUNGSQUELLE der AKTIVITÄT A erzeugt würde, wenn die STRAHLUNG weder in der Quelle noch in einem anderen Material absorbiert oder gestreut würde

$$\Gamma_{H^*} = \frac{\dot{H}^*(10) \cdot r^2}{A} \quad (4)$$

Einheit der DOSISLEISTUNGSKONSTANTEN Γ_{H^*} : „Sievert-Quadratmeter durch Bequerel-Sekunde“ (Einheitenzeichen $\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$). Vielfach wird die Einheit $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1}$ benutzt

[DIN 6814-3:2001-01]

ANMERKUNG Bei RADIONUKLIDEN mit kurzlebigen Folgeprodukten wird die DOSISLEISTUNGSKONSTANTE für den Zustand des radioaktiven Gleichgewichts angegeben. $\dot{H}^*(10)$ ist dabei die UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG, die von PHOTONEN mit Energien $E \geq 20$ keV aller Glieder der Reihe erzeugt wird, und A die AKTIVITÄT des Mutternuklids.

3.10

Schwächungsfaktor

 F

<Nuklearmedizin> Quotient aus der UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG $\dot{H}_0^*(10)$ ohne ABSCHIRMUNG und der UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG $\dot{H}^*(10)$ mit ABSCHIRMUNG (jeweils für den gleichen Ort)

$$F = \frac{\dot{H}_0^*(10)}{\dot{H}^*(10)} \quad (5)$$

ANMERKUNG Besteht eine ABSCHIRMUNG aus mehreren hintereinander liegenden Teilabschirmungen mit den SCHWÄCHUNGSFAKTOREN $F_1, F_2, \dots$, so ist der gesamte SCHWÄCHUNGSFAKTOR F näherungsweise gleich dem Produkt aus den einzelnen SCHWÄCHUNGSFAKTOREN $F = F_1 \cdot F_2 \cdot \dots F_n$.

3.11

Betriebsgelände

Grundstück, auf dem sich Anlagen oder Einrichtungen befinden und zu dem der Zugang oder auf dem die Aufenthaltsdauer von Personen durch den Strahlenschutzverantwortlichen beschränkt werden können

ANMERKUNG Nach StrlSchV.

3.12

Strahlenschutzbereich

Bereich, der bei genehmigungs- und anzeigebedürftigen Tätigkeiten nach der Röntgenverordnung (RöV) oder der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) einzurichten ist und der je nach Höhe der STRAHLENEXPOSITION in ÜBERWACHUNGSBEREICH und KONTROLLBEREICH unterschieden wird

[E DIN 6814-5:2006-08]

ANMERKUNG Regelungen für Sperrbereiche werden in dieser Norm nicht behandelt.

3.13

Überwachungsbereich

ein nicht zum KONTROLLBEREICH gehörender, betrieblicher Bereich, in dem Personen im Kalenderjahr eine EFFEKTIVE DOSIS von mehr als 1 mSv oder höhere ORGANDOSIS als 15 mSv für die Augenlinse oder 50 mSv für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können

[E DIN 6814-5:2006-08]

ANMERKUNG Entspricht § 36 (1), Ziffer 1 StrlSchV.

3.14

Kontrollbereich

Bereich, in dem Personen im Kalenderjahr eine EFFEKTIVE DOSIS von mehr als 6 mSv oder höhere ORGANDOSIS als 45 mSv für die Augenlinse oder 150 mSv für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können

[E DIN 6814-5:2006-08]

ANMERKUNG Entspricht § 36 (1), Ziffer 2 StrlSchV.

4 Berechnung von UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG und ABSCHIRMUNGEN

4.1 Strahlenschutzmaßnahmen

Bei Strahlenschutzmaßnahmen ist zu unterscheiden zwischen

- a) Maßnahmen zum Schutz von Personen;
- b) ABSCHIRMUNG von Messgeräten gegen erhöhte Untergrundstrahlung.

Die Bemessung von ABSCHIRMUNGEN richtet sich nach der Art der STRAHLENSCHUTZBEREICHE (KONTROLLBEREICHE, ÜBERWACHUNGSBEREICHE, allgemein zugängliche Bereiche auf dem BETRIEBSGELÄNDE oder außerhalb des BETRIEBSGELÄNDES, in denen Personen zu schützen sind).

In KONTROLLBEREICHEN müssen permanente ABSCHIRMUNGEN nach StrlSchV so ausgelegt werden, dass die durch die abgeschirmten STRAHLUNGSQUELLEN erzeugte KÖRPERDOSIS (EFFEKTIVE DOSIS und ORGANDOSIS) beruflich strahlenexponierter Personen 20 mSv im Kalenderjahr nicht übersteigt.

Bei Angehörigen des Betriebes, die sich in ÜBERWACHUNGSBEREICHEN aufhalten können, darf nach StrlSchV die KÖRPERDOSIS (EFFEKTIVE DOSIS und ORGANDOSIS) 6 mSv und bei allen anderen Personen auf dem BETRIEBSGELÄNDE oder außerhalb 1 mSv im Kalenderjahr nicht übersteigen.

4.2 Berechnungsbedingungen

Bei Berechnung der ABSCHIRMUNGEN können die tatsächlichen Aufenthaltszeiten zugrunde gelegt werden. Im Falle von Daueraufenthalt ist bei Arbeitsplätzen mit 40 Stunden je Woche und 50 Wochen entsprechend 2 000 Stunden im Kalenderjahr und in allgemein zugänglichen Bereichen außerhalb des BETRIEBSGELÄNDES, z. B. in Wohnbereichen, mit 8 760 Stunden je Jahr zu rechnen.

Damit ergeben sich bei Daueraufenthalt folgende maximale UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNGEN:

— in KONTROLLBEREICHEN	10 µSv/h
— in ÜBERWACHUNGSBEREICHEN	3 µSv/h
— an Arbeitsplätzen außerhalb von STRAHLENSCHUTZBEREICHEN	0,5 µSv/h
— in allgemein zugänglichen Bereichen außerhalb des BETRIEBSGELÄNDES	0,12 µSv/h

STRAHLENEXPOSITIONEN aus anderweitigen Tätigkeiten und Arbeiten sind zu berücksichtigen.

Messräume für nuklearmedizinische Diagnostik oder für Forschungszwecke sowie Aufstellungsorte für Kontaminationsmonitore müssen so gelegen oder abgeschirmt sein, dass der Beitrag von STRAHLUNGSQUELLEN außerhalb des Raumes — auch von Patienten mit inkorporierten RADIOAKTIVEN STOFFEN — die Messungen nicht stört. Dies kann im Allgemeinen erreicht werden, wenn durch die STRAHLUNGSQUELLEN außerhalb des Raumes die UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG am Detektor um nicht mehr als 0,2 µSv/h erhöht wird. Dabei kann die bauartbedingte ABSCHIRMUNG des Messgerätes berücksichtigt werden. Für spezielle Messanordnungen, z. B. für Ganzkörperzähler, muss der Wert der UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG soweit erforderlich verringert werden.

4.3 Abschirmungsberechnungen

Die UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG im Abstand r von einer nicht abgeschirmten STRAHLUNGSQUELLE der AKTIVITÄT A ergibt sich mit Hilfe der DOSISLEISTUNGSKONSTANTEN Γ_{H^*} des betreffenden RADIONUKLIDS (siehe Tabelle A.1) zu

$$\dot{H}_0^*(10) = \frac{\Gamma_{H^*} A}{r^2} \quad (6)$$

Ist die berechnete UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG $\dot{H}^*(10)$ um den Faktor F größer als die an dem betreffenden Ort wegen der Grenzwerte der EFFEKTIVEN DOSIS zugelassene UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG $\dot{H}_0^*(10)$, so ist eine ABSCHIRMUNG mit mindestens dem SCHWÄCHUNGSFAKTOR

$$F = \frac{\dot{H}^*(10)}{\dot{H}_0^*(10)} = \frac{\Gamma_{H^*} A}{\dot{H}^*(10) r^2} \quad (7)$$

erforderlich.

Die einem errechneten SCHWÄCHUNGSFAKTOR F zugeordnete FLÄCHENBEZOGENE MASSE $\rho \cdot d$ (ρ = DICHTe des Abschirmmaterials und d = Dicke der ABSCHIRMUNG) lässt sich für in der Nuklearmedizin gebräuchliche RADIONUKLIDE und Abschirmmaterialien aus den Bildern A.1 bis A.47 entnehmen (siehe auch Berechnungsbeispiele in Anhang B).

5 DOSISLEISTUNGSKONSTANTEN

5.1 Tabellierte DOSISLEISTUNGSKONSTANTEN

Tabelle A.1 enthält für in der Nuklearmedizin angewandten RADIONUKLIDE neben der HALBWERTSZEIT die DOSISLEISTUNGSKONSTANTE Γ_{H^*} . Berücksichtigt ist die GAMMASTRAHLUNG (bei Positronenstrahlern einschließlich der Vernichtungsstrahlung) sowie die bei Elektroneneinfang und innerer Konversion emittierte Röntgenstrahlung mit Photonenenergien $E \geq 20$ keV.

ANMERKUNG Radioaktive Folgeprodukte in Nuklidreihen sind mit einem „+“-Zeichen angegeben; die DOSISLEISTUNGSKONSTANTE ist nach 3.9 (Anmerkung) berechnet.

5.2 Berechnete DOSISLEISTUNGSKONSTANTEN

Für hier nicht aufgeführte RADIONUKLIDE lässt sich die DOSISLEISTUNGSKONSTANTE aus den Zerfallsdaten nach der folgenden Zahlenwertgleichung berechnen:

$$\Gamma_{H^*} = 4,59 \cdot \sum_i \left(E \cdot p \cdot \left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} \right) \cdot \left(\frac{H^*(10)}{K_a} \right) \right)_i \quad (8)$$

wobei E die Photonenenergie in MeV, p die Emissionswahrscheinlichkeit je Zerfall und μ_{tr}/ρ der Massen-Energietransferkoeffizient in cm^2/g für Luft bei der betreffenden Energie E ist. Tabelliert wird häufig der Massen-Energieumwandlungskoeffizient $\mu_{en}/\rho = (\mu_{tr}/\rho) \cdot (1-g)$. Darin berücksichtigt der Faktor $(1-g)$ die Bremsstrahlungskorrektur der Sekundärelektronen in Luft. $(1-g)$ ist für Photonenenergien kleiner als 1 MeV etwa gleich eins [6]. Die Summe in Gleichung (8) erstreckt sich über die PHOTONENSTRAHLUNG mit $E \geq 20$ keV.

Der Zahlenfaktor in Gleichung (8) gilt unter der Annahme eines mittleren Energieaufwands zur Bildung eines Ionenpaares in Luft von $w = 33,97$ eV.

Das Verhältnis von UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSIS und LUFTKERMA K_a wird mit

$$\frac{H^*(10)}{K_a} = \frac{x}{a \cdot x^2 + b \cdot x + c} + d \cdot \arctan(g \cdot x) \quad (9)$$

und

$$x = \ln(E/E_0)$$

sowie den Parametern $E_0 = 0,00985$ MeV, $a = 1,465$, $b = -4,414$, $c = 4,789$, $d = 0,7006$ und $g = 0,6519$ berechnet [6]. Die Näherungsformel (9) gilt für Photonenenergien mit $20 \text{ keV} \leq E \leq 10 \text{ MeV}$.

ANMERKUNG In älteren Tabellenwerken ist noch die spezifische Gammastrahlenkonstante Γ in $\text{R m}^2 \text{ h}^{-1} \text{ Ci}^{-1}$ angegeben. Diese darf nicht mehr verwendet werden.

5.3 DOSISLEISTUNGSKONSTANTEN für Betastrahler

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 3.9 als Quotient aus $\dot{H}_{Br} \cdot r^2$ und der AKTIVITÄT A definiert ist, bei der jedoch $\dot{H}_{Br}$ die PHOTONEN-ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG ist, die durch Bremsstrahlungsphotonen mit $E \geq 20$ keV im Abstand r von einer punktförmigen STRAHLUNGSQUELLE der AKTIVITÄT A erzeugt wird, wenn die BETA STRAHLUNG 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 A.2 angegebenen Zahlenwerte gelten für Abbremsung der BETA STRAHLUNG in Eisen ($Z = 26$). Da bei externer BREMS STRAHLUNG die Photonenflussdichte und damit der Zahlenwert von $\Gamma_{\text{Br}, Z}$ nahezu proportional mit der Ordnungszahl Z des Bremsmaterials ansteigt, ergibt sich daraus mit einer für den STRAHLENSCHUTZ ausreichenden Genauigkeit ein Zahlenwert für ein Bremsmaterial der Ordnungszahl Z durch die Beziehung:

$$\Gamma_{\text{Br}, Z} = \frac{Z}{26} \Gamma_{\text{Br}, 26} \quad (10)$$

In der Nuklearmedizin liegt der RADIOAKTIVE STOFF meist als wässrige Lösung vor. Die Abbremsung der BETA STRAHLUNG erfolgt vorwiegend im Lösungsmittel und in der Glaswandung der Ampulle. Die Zahlenwerte der Tabelle A.2 sind in diesem Falle durch 2,6 (mittleres $Z = 10$) zu dividieren.

6 Schwächungskurven

6.1 Diagramme

In den Bildern A.1 bis A.47 ist für die wichtigsten RADIONUKLIDE und für übliches Abschirmmaterial der SCHWÄCHUNGSFAKTOR F als Funktion der FLÄCHENBEZOGENEN MASSE $\rho \cdot d$ in g/cm^2 aufgetragen ([7], [8]). Die Dicke d der erforderlichen ABSCHIRMUNG in cm enthält man, indem man den abgelesenen Abszissenwert durch die DICHTE ρ des betreffenden Abschirmmaterials in g/cm^3 dividiert.

Die Schwächungskurven gelten für breite Strahlenbündel einer Punktquelle. Mit einem „+“ gekennzeichneten RADIONUKLIDE besitzen kurzlebige Folgeprodukte; die Abschirmkurven gelten in diesem Falle für den Gleichgewichtszustand.

Da bei externer BREMS STRAHLUNG die Form des Bremsstrahlungsspektrums, d. h. die relative Energieverteilung der Bremsstrahlungsphotonen, nur unwesentlich von der Ordnungszahl Z des Bremsmaterials abhängt (diese beeinflusst lediglich die Photonenflussdichte der STRAHLUNG, siehe 5.3), können die Bilder für RADIONUKLIDE der Tabelle A.2 bei Abbremsung der BETA STRAHLUNG in beliebigen Materialien verwendet werden.

6.2 Materialdichten

Die mit „NORMALBETON“ gekennzeichneten Kurven gelten für BETON üblicher Zusammensetzung. Typische Betondichten liegen zwischen $\rho = 2,2 \text{ g/cm}^3$ und $2,4 \text{ g/cm}^3$. Die Kurven lassen sich unter Beachtung der jeweiligen DICHTE auch für Ziegelmauerwerk (z. B. $\rho = 1,8 \text{ g/cm}^3$) und andere Leichtbetone verwenden, siehe DIN 25413-2.

Die mit „BARYTBETON“ gekennzeichneten Kurven gelten für BETON mit einem Elementanteil des Bariums der Trockenmasse von 45 %. Seine DICHTE hängt von der Zusammensetzung ab. Typische DICHTEN von BARYTBETON liegen zwischen $\rho = 3,1 \text{ g/cm}^3$ und $3,6 \text{ g/cm}^3$, siehe DIN 25413-2.

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 $\rho = 11 \text{ g/cm}^3$ verwendet werden.

Reines Eisen hat die DICHTE $\rho = 7,86 \text{ g/cm}^3$. Aus Gründen der Festigkeit werden bei Stahl Zusatzstoffe mit sehr unterschiedlicher DICHTE zugegeben. Dabei liegt die DICHTE von Stahl bei geringen Anteilen der Zusatzstoffe etwa zwischen $\rho = 7,8 \text{ g/cm}^3$ und $8,0 \text{ g/cm}^3$.

ANMERKUNG Die Bilder in Anhang A stellen die SCHWÄCHUNGSFAKTOREN F für RADIONUKLIDE als Funktion der FLÄCHENBEZOGENEN MASSE $\rho \cdot d$ verschiedener Abschirmmaterialien dar ([7], [8]). Die Kurven sind innerhalb der jeweils angegebenen Spannweiten für die DICHTE ρ gültig.

Anhang A (normativ)

HALBWERTSZEITEN, DOSISLEISTUNGSKONSTANTEN und Darstellung der SCHWÄCHUNGSFAKTOREN F über der FLÄCHENBEZOGENEN MASSE $\rho \cdot d$ für BETON, BARYTBETON, Eisen und Blei für verschiedene Radionuklide

A.1 HALBWERTSZEITEN und DOSISLEISTUNGSKONSTANTEN

In den Tabellen A.1 und A.2 sind die HALBWERTSZEITEN und DOSISLEISTUNGSKONSTANTEN T_{H^*} und $T_{Br,26}$ von Radionukliden aufgelistet.

Tabelle A.1 — HALBWERTSZEIT $T_{1/2}$ und DOSISLEISTUNGSKONSTANTE Γ_{H^*} von RADIONUKLIDEN in der Nuklearmedizin

RADIONUKLID	HALBWERTSZEIT $T_{1/2}$	DOSISLEISTUNGSKONSTANTE Γ_{H^*} $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1}$
^{11}C	20,385 min	0,170 4
^{13}N	9,965 min	0,170 5
^{15}O	2,037 3 min	0,170 7
^{18}F	109,77 min	0,165 3
^{22}Na	950,5 d	0,333
^{51}Cr	27,705 d	0,005 44
^{54}Mn	312,15 d	0,129 9
^{57}Co	271,83 d	0,020 5
^{58}Co	70,86 d	0,153 9
^{59}Fe	44,53 d	0,170 7
^{60}Co	5,271 2 a	0,354
^{64}Cu	12,700 h	0,030 6
^{67}Cu	61,83 h	0,019 84
^{67}Ga	3,261 2 d	0,026 8
$^{68}\text{Ge} + ^{68}\text{Ga}$	270,95 d	0,158 1
^{68}Ga	67,71 min	0,158 1
$^{75}\text{Br}^a$	96,7 min	0,200
^{75}Se	119,78 d	0,065 8
$^{80\text{m}}\text{Br} + ^{80}\text{Br}$	4,420 5 h (17,68 min)	0,021 0
$^{81}\text{Rb} + ^{81\text{m}}\text{Kr}$	4,576 h	0,104 0
$^{81\text{m}}\text{Kr}$	13,10 s	0,020 9
$^{82\text{m}}\text{Rb}^b$	6,472 h	0,450
$^{82}\text{Sr} + ^{82}\text{Rb}$	25,55 d (1,273 min)	0,183 6

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

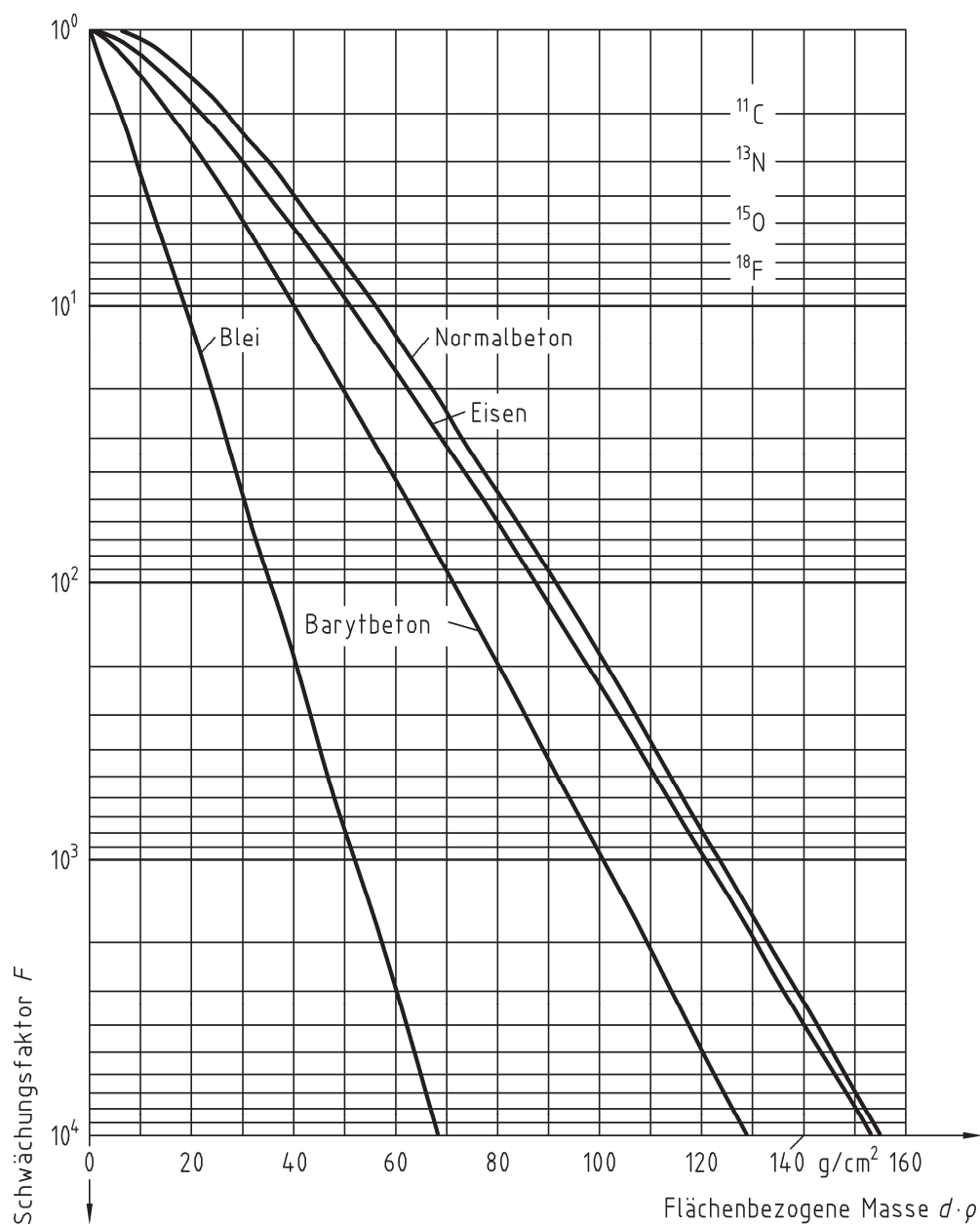
RADIONUKLID	HALBWERTSZEIT $T_{1/2}$	DOSISLEISTUNGSKONSTANTE Γ_{H^*} $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1}$
^{94}Tc	4,883 h	0,413
$^{99}\text{Mo} + ^{99\text{m}}\text{Tc}$	2,747 5 d	0,045 0
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6,006 7 h	0,021 6
$^{111}\text{In} + ^{111\text{m}}\text{Cd}$	2,804 7 d (48,54 min)	0,089 1
^{123}I	13,27 h	0,046 5
^{124}I	4,176 0 d	0,181 0
^{125}I	59,391 d	0,035 4
$^{131}\text{I} + ^{131\text{m}}\text{Xe}$ (0,48 %)	8,020 7 d (11,48 d)	0,066 0
^{133}Xe	5,243 d	0,016 79
$^{137}\text{Cs} + ^{137\text{m}}\text{Ba}$	30,07 a (2,55 min)	0,092 7
^{153}Sm	1,928 4 d	0,017 16
^{165}Dy	2,334 h	0,005 08
^{177}Lu	6,646 d	0,005 94
^{186}Re	3,718 3 d	0,003 83
$^{188}\text{W} + ^{188}\text{Re}$	69,4 d	0,010 46
^{188}Re	16,98 h	0,010 03
^{201}Tl	3,042 4 d	0,017 49
$^{211}\text{At} + ^{211}\text{Po}$ (58,20 %) (^{207}Bi : 41,80 %) ^c	7,214 h (0,516 s)	0,007 70
^{207}Bi ^d	31,55 a	0,237
$^{212}\text{Bi} + ^{212}\text{Po}$ (64,06 %) + ^{208}Tl (35,94 %)	60,55 min (3,053 min)	0,172 9
$^{213}\text{Bi} + ^{213}\text{Po}$ (97,91 %) + ^{209}Tl (2,09 %)	45,59 min (2,20 min)	0,028 2
$^{224}\text{Ra} +$ Tochternuclide ^e	3,632 d (^{212}Pb : 10,64 h)	0,221
Angabe mit „+“ für Zerfallsreihe im Gleichgewicht von Mutter- und Tochternuclid(en), HALBWERTSZEIT $T_{1/2}$ in Klammern. Die Zahlenwerte für Γ_{H^*} gelten für den Gleichgewichtszustand, siehe 3.9 (Anmerkung).		
a Ohne Zerfall von ^{75}Se .		
b Häufige Radionuklid-Verunreinigung bei ^{81}Rb .		
c Ohne Zerfall von ^{207}Bi .		
d Tochternuclid der Zerfallsreihe von ^{211}At .		
e Tochternuclide mit vergleichbar großer HALBWERTSZEIT: ^{212}Pb und ^{212}Bi .		

Tabelle A.2 — HALBWERTSZEIT $T_{1/2}$ und Bremsstrahlungs-Dosisleistungskonstante $I_{Br,26}$ einiger Betastrahler bei Abbremsung der BETA STRAHLUNG in Eisen ($Z = 26$)

RADIONUKLID	HALBWERTSZEIT $T_{1/2}$	DOSISLEISTUNGSKONSTANTE $I_{Br,26}$ $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1}$
^{32}P	14,262 d	$2,28 \times 10^{-3}$
^{89}Sr	50,53 d	$1,73 \times 10^{-3}$
^{90}Y	2,671 d	$3,73 \times 10^{-3}$
^{169}Er	9,40 d	$1,21 \times 10^{-4}$
^{209}Pb ^a	3,253 h	$3,70 \times 10^{-4}$
ANMERKUNG Zahlenwerte für $I_{Br,26}$ nach Vogt und Schultz ([7], [8]).		
^a Tochternuklid der Zerfallsreihe von ^{213}Bi , siehe Tabelle A.1.		

A.2 Darstellung des SCHWÄCHUNGSFAKTORS F über der FLÄCHENBEZOGENEN MASSE $\rho \cdot d$ für BETON, BARYTBETON, Eisen und Blei für verschiedene Radionuklide

Die Bilder A.1 bis A.47 enthalten die Darstellungen des SCHWÄCHUNGSFAKTORS F über der FLÄCHENBEZOGENEN MASSE $\rho \cdot d$ für BETON, BARYTBETON, Eisen und Blei für verschiedene Radionuklide.

Bild A.1 — ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F

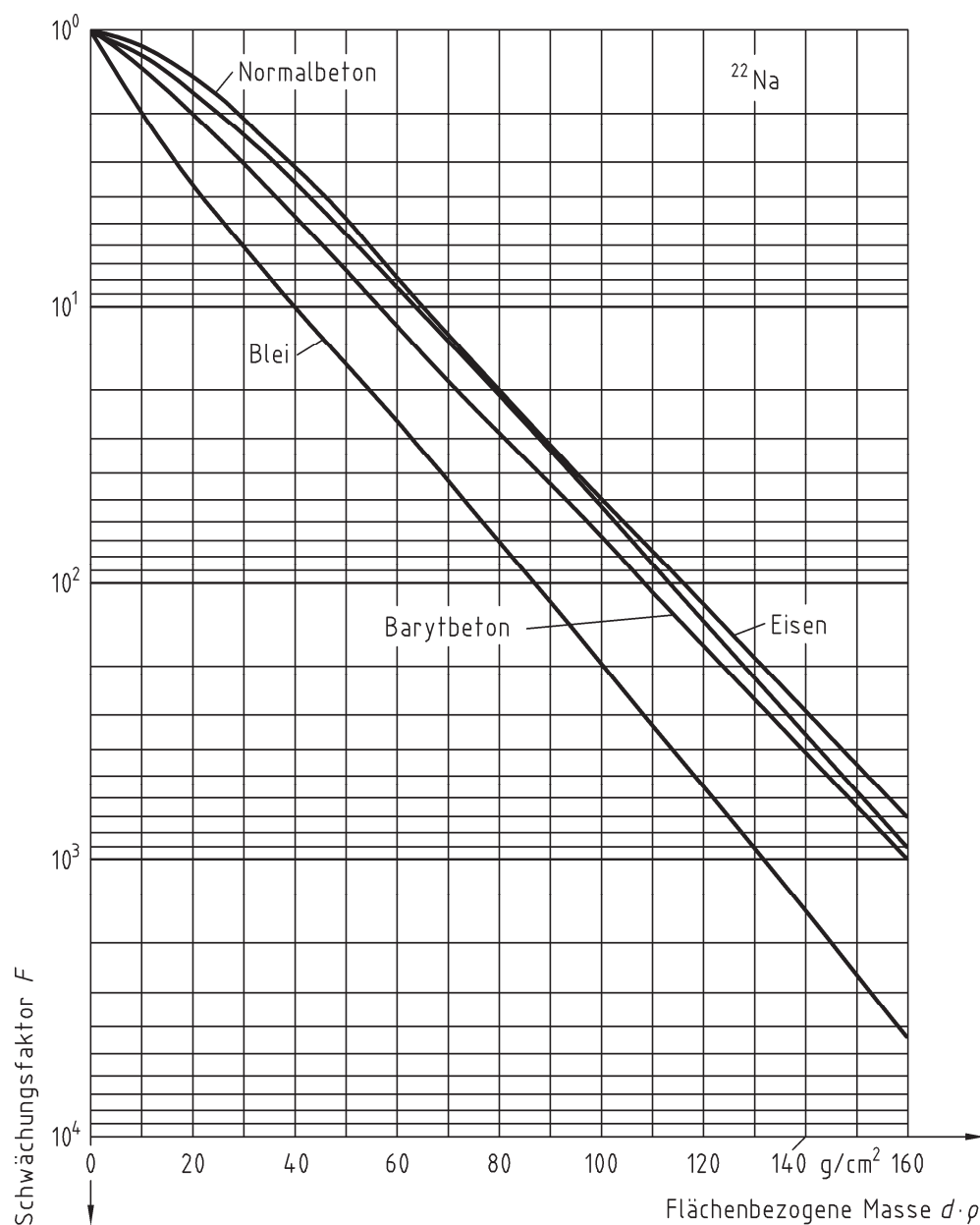
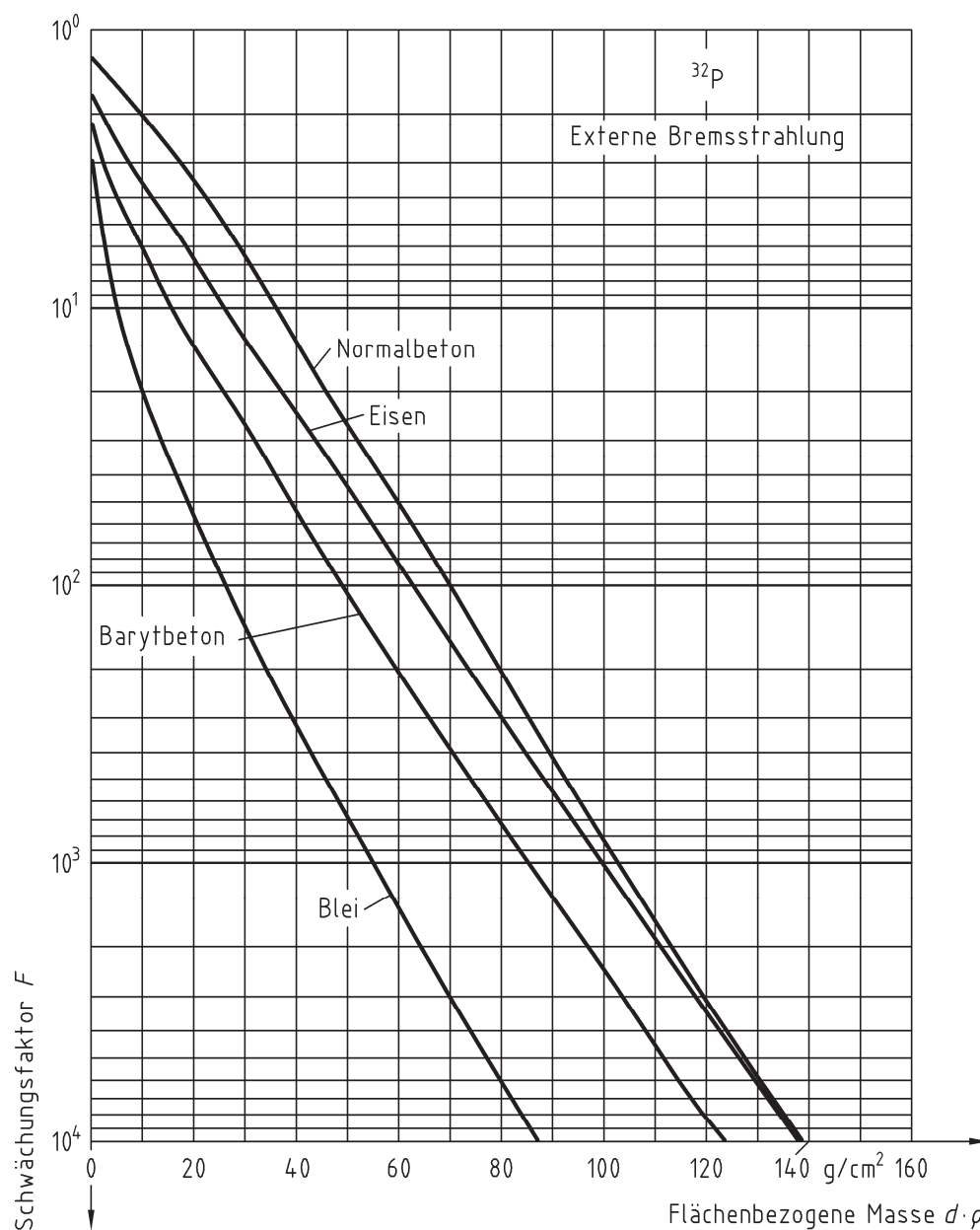


Bild A.2 — ^{22}Na

Bild A.3 — ^{32}P

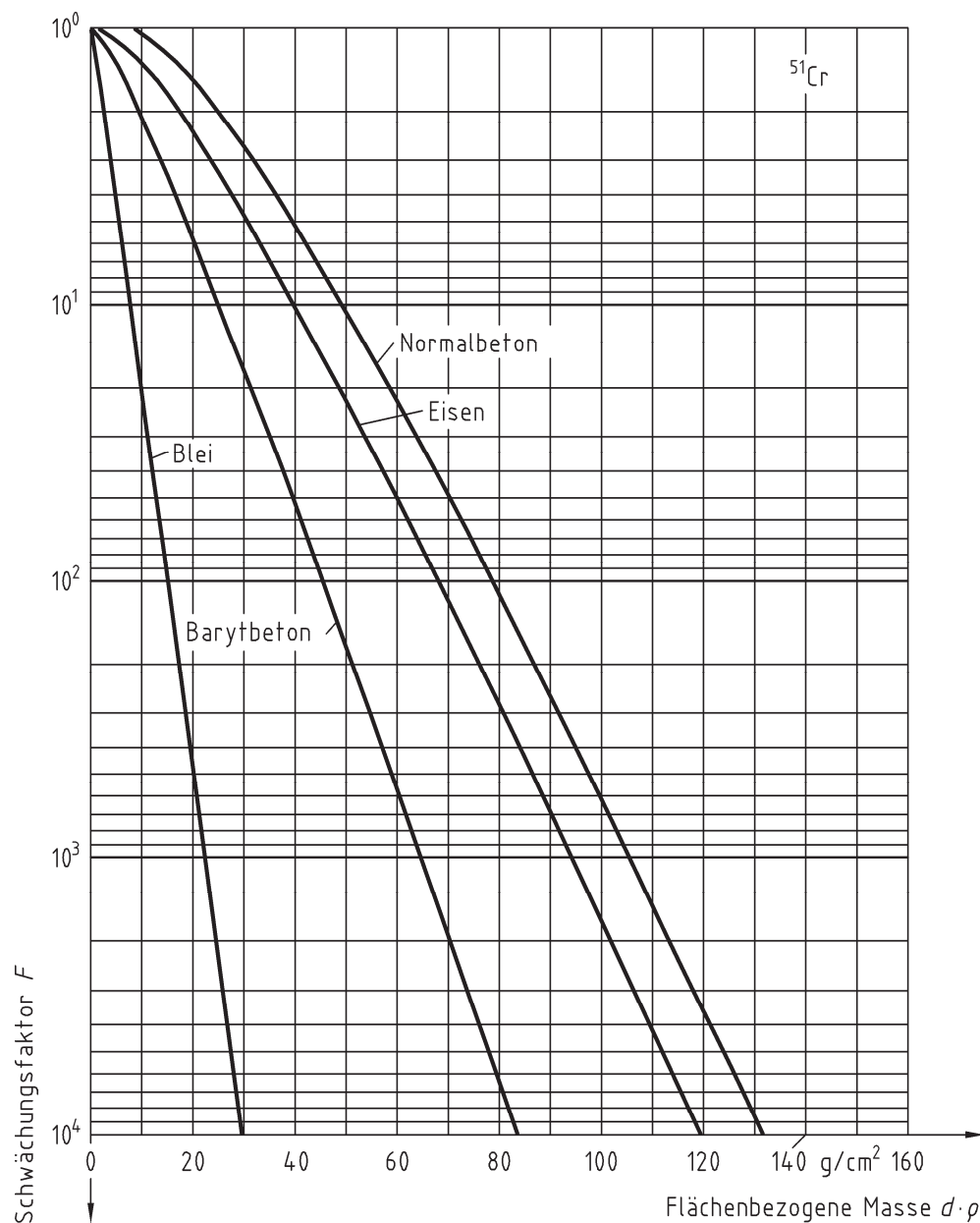
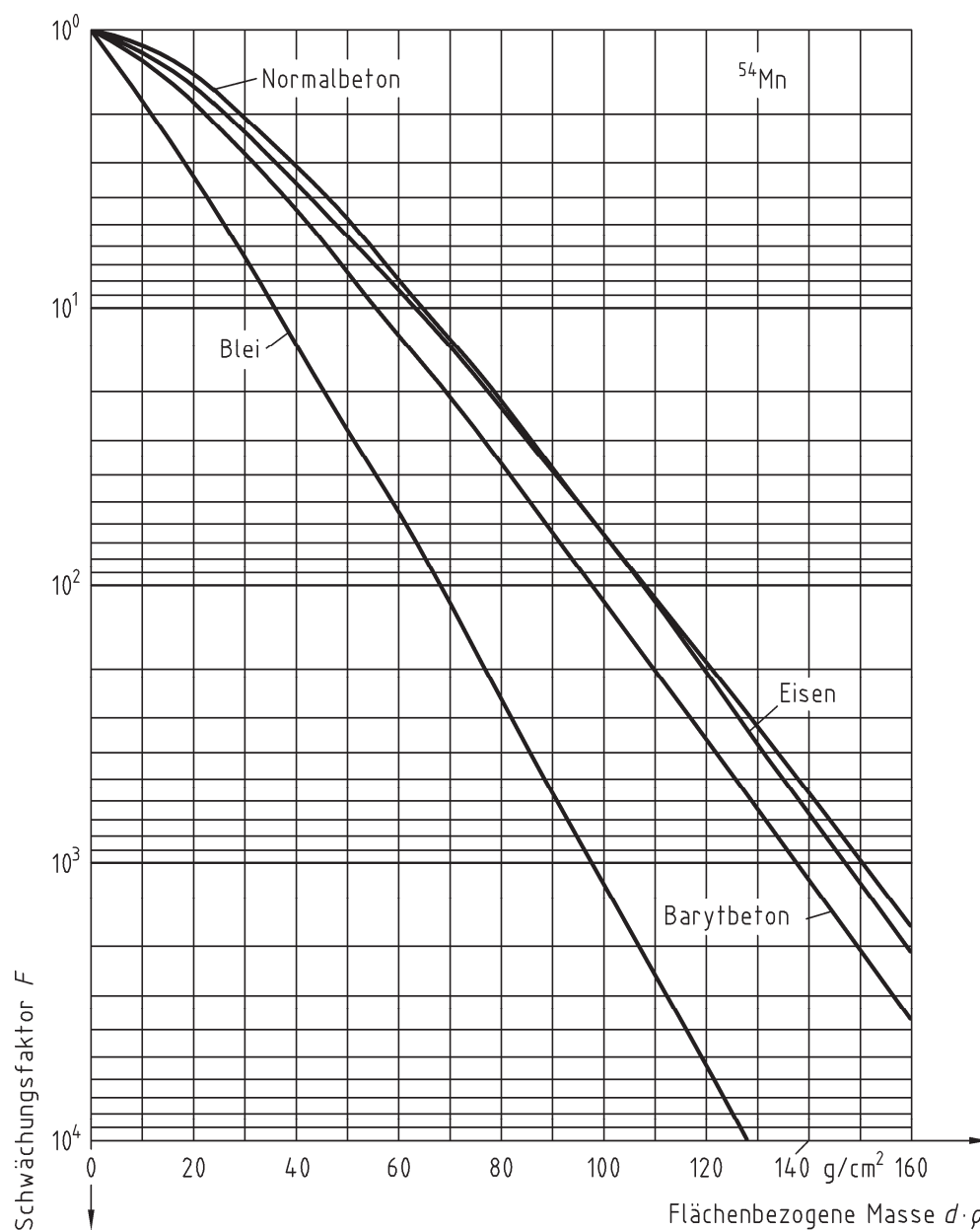


Bild A.4 — ^{51}Cr

Bild A.5 — ^{54}Mn

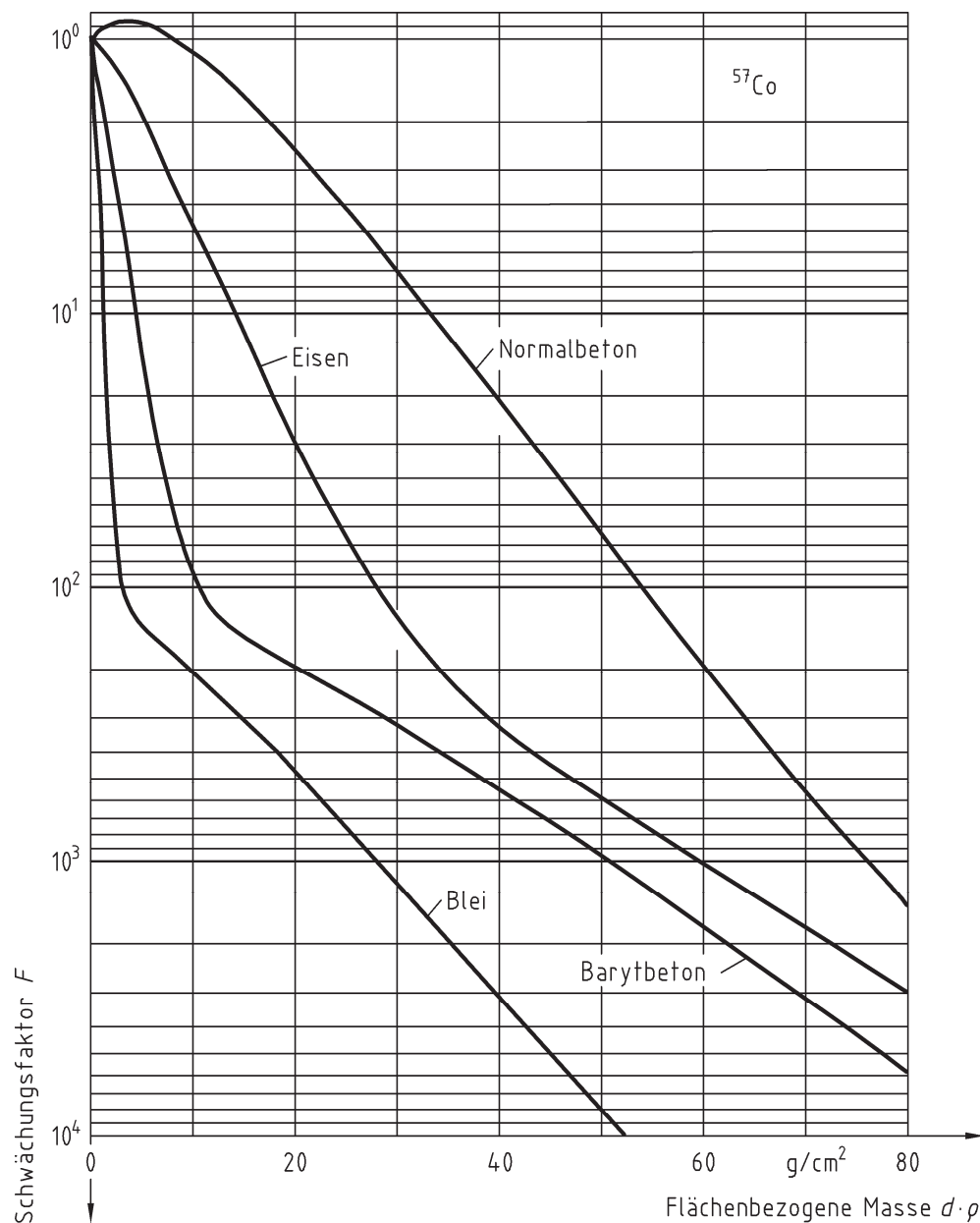


Bild A.6 — ^{57}Co