

**BIJLAGE bij  
Examen  
Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van  
coördinerend deskundige**

---

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Boerhaave Nascholing/LUMC	BN/LUMC
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboudumc	RUMC

---

examendatum:

9 december 2019

examenduur: 13.30 - 16.30 uur

<b>Instructie:</b>
--------------------

- Wanneer u andere gegevens gebruikt dan in deze bijlage zijn genoemd, vermeld dan de herkomst!
- Deze bijlage omvat 14 doorlopend genummerde pagina's. Controleer dit!

## INHOUDSOPGAVE

### Bladzijde

- 3-4 Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), blz. 90 en 91; gegevens  $^{75}\text{Se}$
- 5 Bos et al., figuur 11-1; Halveringsdikte van enige afschermingsmaterialen voor smalle bundel fotonenstraling
- 6 Bos *et al.*, figuur 6-7; Verhouding van de effectieve dosis E en het omgevingsdosisequivalent  $H^*(10)$  als functie van de fotonenergie bij vier verschillende bestralingsgeometrieën
- 7-9 Bijlage radionuclidenlaboratoria van de KEW-vergunning van het ziekenhuis
- 10 Belangrijkste bijdragen aan de berekende geabsorbeerde orgaandosis bij injectie
- 10 Weefselweegfactoren volgens ICRP-60
- 11 Art.10.3 Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Staatsblad 2017, nr. 404)
- 11 Correctiefactoren voor lozing in water
- 12 ICRP 33 fig. 11, Transmissie van brede bundels röntgenstraling door beton.
- 13 ICRP 33 fig. 22, Verstrooiingspatronen van divergente bundels röntgen- en gammastraling bij loodrechte inval op een vlakke betonmuur
- 14 Massieke verzwakkings-, energieoverdrachts- en energie-absorptiedoorsneden in lood

Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3e druk 2015), gegevens  $^{75}\text{Se}$

$^{75}\text{Se}$

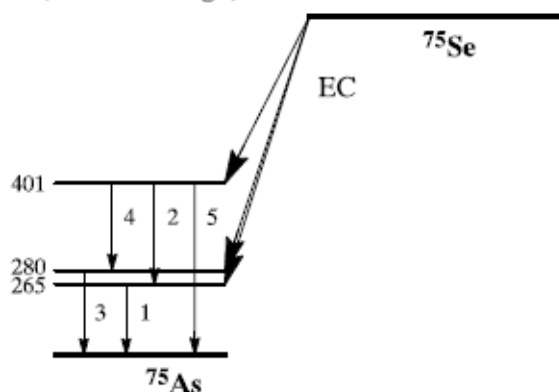
Z = 34

**Halveringstijd en vervalconstante**

$T_{1/2} = 119,76 \text{ d} = 1,03 \times 10^7 \text{ s}$

$\lambda = 6,70 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$

**Vervalschema (vereenvoudigd)**



**Belangrijkste uitgezonden straling**

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$	Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
$\gamma_1$	0,594	265	$\text{K}\alpha$	0,481	11
$\gamma_2$	0,606	136	$\text{K}\beta$	0,047	12
$\gamma_3$	0,252	280	KLL	0,315	9
$\gamma_4$	0,177	121	KLX	0,099	10
$\gamma_5$	0,113	401	LMX	1,309	1

**Bronconstanten**

Kermatempo in lucht	$k = 0,15 \text{ }\mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,072 \text{ }\mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

**Diversen**

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 5,37 \times 10^{14} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^2 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^6 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 4 \times 10^{-11} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 2,5 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 3 \text{ TBq}$
	$A_2 = 3 \text{ TBq}$

**Productie en toepassingen**

Het radionuclide  $^{75}\text{Se}$  is een activeringsproduct:  $^{74}\text{Se}(n,\gamma)^{75}\text{Se}$ . Het wordt gebruikt voor neutronen-activeringsanalyse, in de nucleaire geneeskunde en bij gammagrafie.

N = 41

<sup>75</sup>Se

**Metabool model**

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat selenium zich vanuit het bloed als volgt verdeelt:

Fractie	Orgaan	Fractie	Orgaan
0,25	lever	0,005	alvleesklier
0,10	nieren	0,001	gonaden
0,01	milt	0,634	overige

De biologische halveringstijd voor alle organen/weefsels wordt aangenomen te zijn:

Fractie	T <sub>1/2</sub>	Fractie	T <sub>1/2</sub>	Fractie	T <sub>1/2</sub>
0,1	3 d	0,4	30 d	0,5	200 d

N.B. Dit model geldt niet voor patiënten, zie pagina 14.

**Ingestie- en longzuiveringsklassen**

Ingestie

Elementair Se, selenide	$f_1 = 0,05$
Overige verbindingen	$f_1 = 0,8$

Inhalatie

Hydroxide, oxide, carbide	$f_1 = 0,8$	Klasse M
Elementair Se	$f_1 = 0,8$	Klasse M
Overige	$f_1 = 0,8$	Klasse F

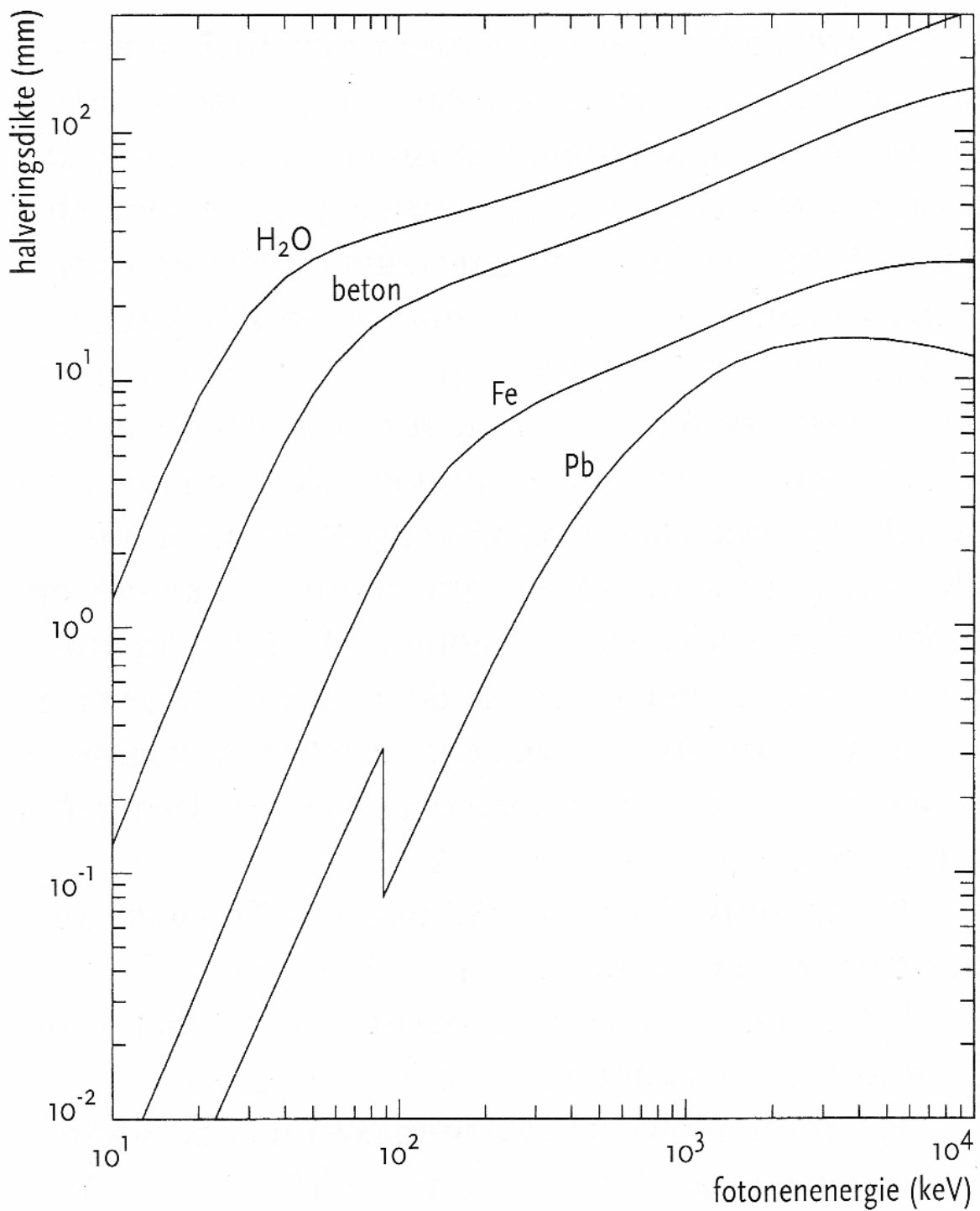
**Dosisconversiecoëfficiënt en radiotoxiciteitsequivalent voor werknemers (w) en voor leden van de bevolking (b)**

	Ingestie $f_1 = 0,05$	Ingestie $f_1 = 0,8$	Inhalatie F	Inhalatie M	
$e(50)(w)$	$4,1 \times 10^{-10}$	$2,6 \times 10^{-9}$	$1,4 \times 10^{-9}$	$1,7 \times 10^{-9}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$2,4 \times 10^9$	$3,8 \times 10^8$	$7,1 \times 10^8$	$5,9 \times 10^8$	Bq
$e(50)(b)$	$4,1 \times 10^{-10}$	$2,6 \times 10^{-9}$	$1,0 \times 10^{-9}$	$1,4 \times 10^{-9}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$2,4 \times 10^9$	$3,8 \times 10^8$	$1,0 \times 10^9$	$7,1 \times 10^8$	Bq

**Gegevens voor totale-lichaamstelling**

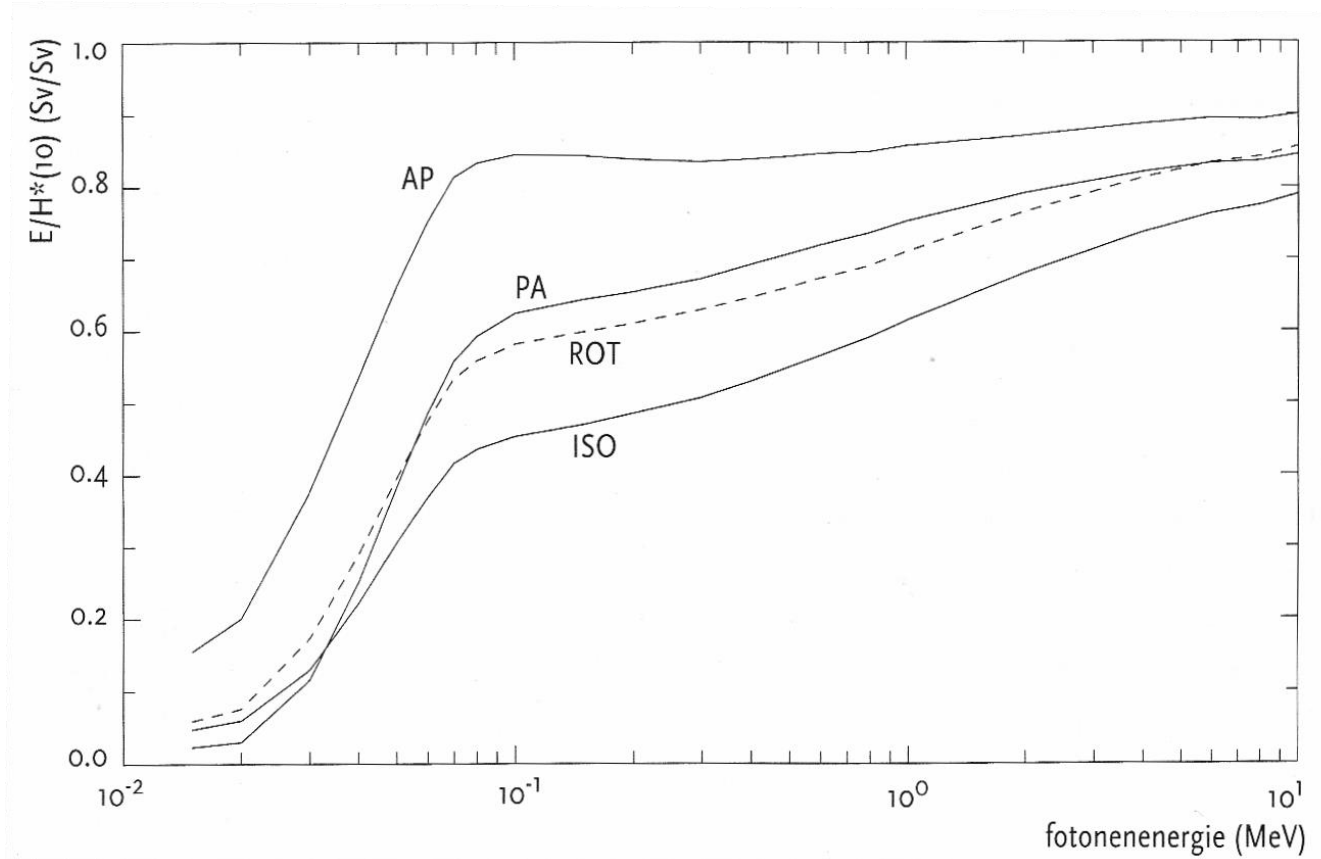
Tijd (d)	Lichaamsactiviteit na eenmalige inname (Bq per Bq inname)			
0,25	$9,9 \times 10^{-1}$	$9,9 \times 10^{-1}$	$7,4 \times 10^{-1}$	$7,4 \times 10^{-1}$
1	$7,2 \times 10^{-1}$	$9,1 \times 10^{-1}$	$5,8 \times 10^{-1}$	$5,7 \times 10^{-1}$
2	$3,5 \times 10^{-1}$	$8,1 \times 10^{-1}$	$4,8 \times 10^{-1}$	$4,5 \times 10^{-1}$
3	$1,7 \times 10^{-1}$	$7,5 \times 10^{-1}$	$4,3 \times 10^{-1}$	$4,0 \times 10^{-1}$
5	$6,0 \times 10^{-2}$	$6,9 \times 10^{-1}$	$3,9 \times 10^{-1}$	$3,6 \times 10^{-1}$
7	$4,3 \times 10^{-2}$	$6,5 \times 10^{-1}$	$3,7 \times 10^{-1}$	$3,4 \times 10^{-1}$

Bos et al., figuur 11-1; Halveringsdikte van enige afschermingsmaterialen voor smalle bundel fotonenstraling



Halveringsdikte van enige afschermingsmaterialen voor smalle bundel fotonenstraling.

Bos *et al.*, figuur 6-7; Verhouding van de effectieve dosis E en het omgevingsdosisequivalent  $H^*(10)$  als functie van de fotonenergie bij vier verschillende bestralingsgeometrieën



Verhouding van de effectieve dosis E en het omgevingsdosisequivalent  $H^*(10)$  als functie van de fotonenergie bij vier verschillende bestralingsgeometrieën

## Bijlage radionuclidenlaboratoria van de KEW-vergunning van het ziekenhuis

### 2.2 Criteria ten aanzien van inwendige besmetting

#### 2.2.1 Methode van begrenzing van de individuele handelingen

Voor de indeling van de handelingen is het risico op inwendige besmetting van belang. Bij de indeling is er vanuit gegaan dat inwendige besmetting in een radiologische werkruimte kan ontstaan door radioactieve stoffen die bij de handelingen worden verspreid. Zoals reeds gesteld, zal in het algemeen de mogelijke stralingsdosis, die ontstaat ten gevolge van inhalatie van een radioactieve stof door de daar aanwezige werknemers, bepalend zijn voor het risico. Wanneer wordt verwacht dat het risico vooral wordt bepaald door ingestie, dan zal dit moeten worden aangetoond en zal een andere systematiek moeten worden gekozen.

De hoeveelheid die kan worden geïnhaleerd, hangt af van de verspreidingskans bij een handeling, van de bescherming die de laboratoriumruimte biedt en van de lokale ventilatievoorziening. Voor de stralingsdosis die door een bepaalde inwendige besmetting wordt veroorzaakt, is de radiotoxiciteit van de geïnhaleerde stof van belang. Met het oog op het risico van inwendige besmetting zijn voor B-, C- en D- werkruimtes de toegestane werkhoeveelheden gebaseerd op de inhalatiedosiscoëfficiënt, verder aangeduid met  $e(g)_{inh}$ , voor stochastische effecten. Voor de berekeningen wordt gebruik gemaakt van deze  $e(g)_{inh}$ . De waarden hiervoor zijn gegeven in tabel 5 van bijlage 4 van het Besluit stralingsbescherming (Stb. 397, 2001). De feitelijke begrenzing wordt uitgedrukt in radiotoxiciteitsequivalenten voor inhalatie [ $Re_{inh}$ ].

Met formule (2.1) kan de waarde worden bepaald van de maximaal toegelaten hoeveelheid toe te passen activiteit uitgedrukt in radiotoxiciteitsequivalenten voor inhalatie [ $Re_{inh}$ ] onder bepaalde genomen maatregelen of omstandigheden. Het betreft met name de kans op verspreiding, de bescherming door de ruimte en de lokale ventilatie. In deze formule zijn parameters opgenomen betreffende genoemde aspecten:

$$X_{max,j} = 0,02 * 10^{p+q+r} [Re_{inh}] \quad (2.1)$$

waarin:

- $X_{max,j}$  = aantal radiotoxiciteitsequivalenten [ $Re_{inh}$ ] dat maximaal per handeling  $j$  tegelijkertijd mag worden toegepast ( $X$  is onafhankelijk van het radionuclide)
- $0,02$  = dosislimiet voor blootgestelde werknemers [ $Sv$ ]
- $p$  = parameter voor de kans op verspreiding
- $q$  = beschermingsparameter van de werkruimte
- $r$  = parameter voor lokale ventilatievoorziening.

De maximale hoeveelheid radioactiviteit die van een radionuclide  $i$  onder die omstandigheden mag worden toegepast is derhalve, in formule:

$$A_{max,j,i} = \frac{X_{max,j}}{e(g)_{inh,i}} [Bq] \quad (2.2)$$

waarin:

- $A_{max,j,i}$  = maximaal toe te passen activiteit [ $Bq$ ] voor handeling  $j$  en radionuclide  $i$
- $X_{max,j}$  = aantal radiotoxiciteitsequivalenten [ $Re_{inh}$ ] dat maximaal per handeling  $j$  tegelijkertijd mag worden toegepast ( $X$  is onafhankelijk van het radionuclide)
- $e(g)_{inh,i}$  = inhalatiedosiscoëfficiënt [ $Sv/Bq$ ] voor stochastische effecten van radionuclide  $i$ .

De  $e(g)_{inh}$  en de parameters  $p$ ,  $q$  en  $r$  worden hierna toegelicht.

Eerst worden de verschillende parameters uit de formule beschreven. Daarna wordt de berekening van de maximaal te gebruiken hoeveelheden behandeld.

In de praktijk zullen bewerkingen, die niet in de lijst voorkomen, een  $p$ -waarde moeten krijgen die aan handelingen met een vergelijkbare kans op verspreiding is toegekend.

#### 2.2.4 Beschermingsparameter $q$

De hoeveelheid radioactiviteit die in een bepaalde werkruimte mag worden gehanteerd, is onder andere afhankelijk van de parameter  $q$  voor de bescherming die de ruimte biedt. Hierbij wordt het effect in rekening gebracht van de bescherming door de aanwezige voorzieningen zoals ventilatie, onderdruk en bijvoorbeeld een sluis. Tevens wordt rekening gehouden met de deskundigheid van de toezichthouder, de indeling als blootgestelde werknemer en een strenger toelatingsregime. Voor  $q$  kunnen de volgende waarden worden gehanteerd:

- $q = 0$  Werkruimtes buiten het laboratorium-beheer
- $q = 1$  D-laboratorium
- $q = 2$  C-laboratorium
- $q = 3$  B-laboratorium.

#### 2.2.5 Ventilatieparameter $r$

De parameter  $r$  voor de lokale ventilatievoorziening wordt als volgt ingevuld:

- $r = 0$  Voor het werken buiten de zuurkast zonder aanvullende ventilatievoorzieningen
- $r = 1$  Deze waarde mag worden gebruikt in geval van plaatselijke afzuiging of een zuurkast die niet is getest volgens DIN-12924, maar waarbij wel vaststaat dat minder dan 10% van de hoeveelheid stof die vrijkomt in de zuurkast, in de werkruimte komt
- $r = 2$  Dit geldt voor een goede zuurkast, waaronder wordt verstaan dat van de stof die vrijkomt in de zuurkast minder dan 1% in de werkruimte komt. Een zuurkast met een kwalificatie volgens DIN-12924 waarin geen opstelling is die de luchtstroom ernstig verstoort of een laminair air flow isolator (veiligheidskabinet klasse II) zullen in het algemeen aan deze norm voldoen
- $r = 3$  Gesloten werkkast. Hierbij wordt gedacht aan een klasse-III kabinet voor biologische veiligheid met een kwalificatie volgens NEN-EN 12469 of een gesloten laminair air flow isolator die aan deze eisen voldoet.

De waarde die mag worden ingevuld voor de bepaling van de maximaal toe te passen hoeveelheid, moet in relatie worden gezien met de waarde van  $q$ . Om te waarborgen dat de hoeveelheden die mogen worden toegepast in de verschillende categorieën van laboratoria evenwichtig zijn, moet de waarde van  $r$  worden begrensd afhankelijk van die categorie. Daarom mag de waarde van  $r$  bij berekeningen nooit groter worden genomen dan die van  $q$ . Uiteraard mogen betere voorzieningen (dus met een hogere  $r$ ) wel worden gebruikt.

#### 2.2.6 Maximaal toegestane hoeveelheid radioactiviteit voor bepaalde handelingen

Het aantal radiotoxiciteitsequivalenten  $X_{j,i}$ , overeenstemmende met een bij handeling  $j$  toe te passen hoeveelheid activiteit  $A_{j,i}$  van radionuclide  $i$  komt overeen met:

waarin: 
$$X_{j,i} = A_{j,i} * e(g)_{inh,i} \quad (2.3)$$

- $X_{j,i}$  = aantal radiotoxiciteitsequivalenten [ $Re_{inh}$ ] dat wordt gehanteerd bij de handeling  $j$  met radionuclide  $i$
- $A_{j,i}$  = activiteit [ $Bq$ ] die per handeling  $j$  met radionuclide  $i$  tegelijkertijd wordt toegepast
- $e(g)_{inh,i}$  = inhalatiedosiscoëfficiënt [ $Sv/Bq$ ] voor stochastische effecten van radionuclide  $i$ .



**2.2.2 Inhalatiedosiscoëfficiënt  $e(g)_{inh}$**

De waarde van de factor  $10^{p+q+r}$  is de factor waarmee rekening moet worden gehouden bij de bepaling van de maximale hoeveelheid radioactiviteit waarmee mag worden gewerkt. Deze factor is een maat voor de hoeveelheid radioactiviteit die door besmetting een stralingsdosis kan veroorzaken.

Om de maximale hoeveelheid radioactiviteit te bepalen waarmee mag worden gewerkt moet de factor  $10^{p+q+r}$  worden gedeeld door de inhalatiedosiscoëfficiënt  $e(g)_{inh}$  en vermenigvuldigd met de dosislimiet voor blootgestelde werknemers voor stochastische effecten (0,02 Sv).

De inhalatiedosiscoëfficiënt  $e(g)_{inh}$  wordt genomen uit tabel 5 van bijlage 4 van het Besluit stralingsbescherming.

**2.2.3 Verspreidingsparameter  $p$**

De parameter  $p$  is ingevoerd om de kans op verspreiding van radioactieve stoffen in rekening te kunnen brengen. De kans op verspreiding hangt niet alleen samen met de vorm waarin de stof zich bevindt, maar eveneens met de aard van de handelingen. Hier wordt de parameter  $p$  bepaald door de kans op verspreiding van radioactieve stoffen bij bepaalde handelingen. Deze lijst is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Waarde van de verspreidingsparameter  $p$  voor bepaalde handelingen binnen het laboratorium.

TOEPASSING	$p$
Eenvoudige bewerking met gassen Hanteren van poeders in 'open' systeem bijvoorbeeld mengen of malen Vloeistof met temperatuur tegen kookpunt Sterk spattende bewerkingen	- 4
Labeling met vluchtig nuclide (bijv. jodium) Koken van vloeistoffen in 'gesloten' systeem Centrifugeren en mengen op vortex Eenvoudige bewerking van poeders in 'gesloten' systeem Opslag van edelgas in toediensysteem	- 3
Labeling met niet-vluchtig nuclide Eenvoudige chemische bepaling met tracers (bijv. RIA)	- 2
Eenvoudige handelingen in 'gesloten' systemen zoals: Elutie Tc-generator Optrekken van spuit Labeling in gesloten systemen Kalibratie I-131 capsule Metingen aan stoffen in moeilijk verspreidbare vorm (bijvoorbeeld in ampul) Opslag van radioactief afval in werkruimte	- 1

Een bijzondere toepassing is de elutie van een Mo/Tc generator. De handelingen kunnen worden beschouwd als handelingen met Tc-99m. Voor de opslag moet uiteraard worden uitgegaan van Mo-99.

Belangrijkste bijdragen aan de berekende geabsorbeerde orgaandosis bij injectie van het radiofarmacon

Orgaan	Gy/MBq
Botoppervlak	1,15
Dikke darm (onderste deel)	0,046
Dikke darm (bovenste deel)	0,032
Rode beenmerg	0,14

Weefselweegfactoren volgens ICRP-60

<i>orgaan</i>		$w_T$
gonaden		0,20
dikke darm		0,12
bovenste deel dikke darm:	0,07 (ICRP-30)	
onderste deel dikke darm:	0,05 (ICRP-30)	
longen		0,12
maag		0,12
rood beenmerg		0,12
borstweefsel		0,05
blaas		0,05
lever		0,05
schildklier		0,05
slokdarm		0,05
botoppervlak		0,01
huid		0,01

Art.10.3 Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Staatsblad 2017, nr. 404)

### Artikel 10.3 (vrijstelling verbod lozingen)

1. Een verbod als bedoeld in artikel 3.5 in samenhang met artikel 3.8, vierde lid, onder c, op het handelen zonder vergunning waarbij door de lucht verspreide of vloeibare radioactieve stoffen in de omgeving vrijkomen, is niet van toepassing indien:

a. bij lozing in de lucht, de activiteit van de in totaal in een kalenderjaar geloosde hoeveelheid radioactieve stoffen bij het verlaten van de locatie via een lozingspunt lager is dan 1 radiotoxiciteitsequivalent voor inhalatie als bedoeld in bijlage 2;

b. bij lozing in het openbare riool, de activiteit van de in totaal in een kalenderjaar geloosde hoeveelheid radioactieve stoffen bij het verlaten van de locatie via een lozingspunt lager is dan 10 radiotoxiciteitsequivalent voor ingestie als bedoeld in bijlage 2;

c. bij lozing in het oppervlaktewater, de activiteit van de in totaal in een kalenderjaar geloosde hoeveelheid radioactieve stoffen bij het verlaten van de locatie via een lozingspunt lager is dan 0,1 radiotoxiciteitsequivalent voor ingestie als bedoeld in bijlage 2.

2. De geloosde hoeveelheden, uitgedrukt in radiotoxiciteitsequivalenten, worden gecorrigeerd voor fysisch verval door middel van de correctiefactoren zoals opgenomen in bijlage 2.

### Correctiefactoren voor lozing in water

Tabel 4.9 Correctiefactor (CR<sub>w</sub>) voor lozingen in water, afhankelijk van de fysische halveringstijd (T<sub>1/2, fys</sub>) van het geloosde nuclide

Fysische halveringstijd T <sub>1/2, fys</sub>	Correctiefactor voor lozingen in water CR <sub>w</sub>
T <sub>1/2, fys</sub> ≤ 5 dagen	0,001
T <sub>1/2, fys</sub> ≤ 7,5 dagen	0,01
T <sub>1/2, fys</sub> ≤ 15 dagen	0,1
T <sub>1/2, fys</sub> ≤ 25 jaar	1
T <sub>1/2, fys</sub> ≤ 250 jaar	10
T <sub>1/2, fys</sub> > 250 jaar	100

ICRP 33 figuur 11, Transmissie van brede bundels röntgenstraling door beton. Voor de waarden van de kruising met de y-as, zie onderschrift.

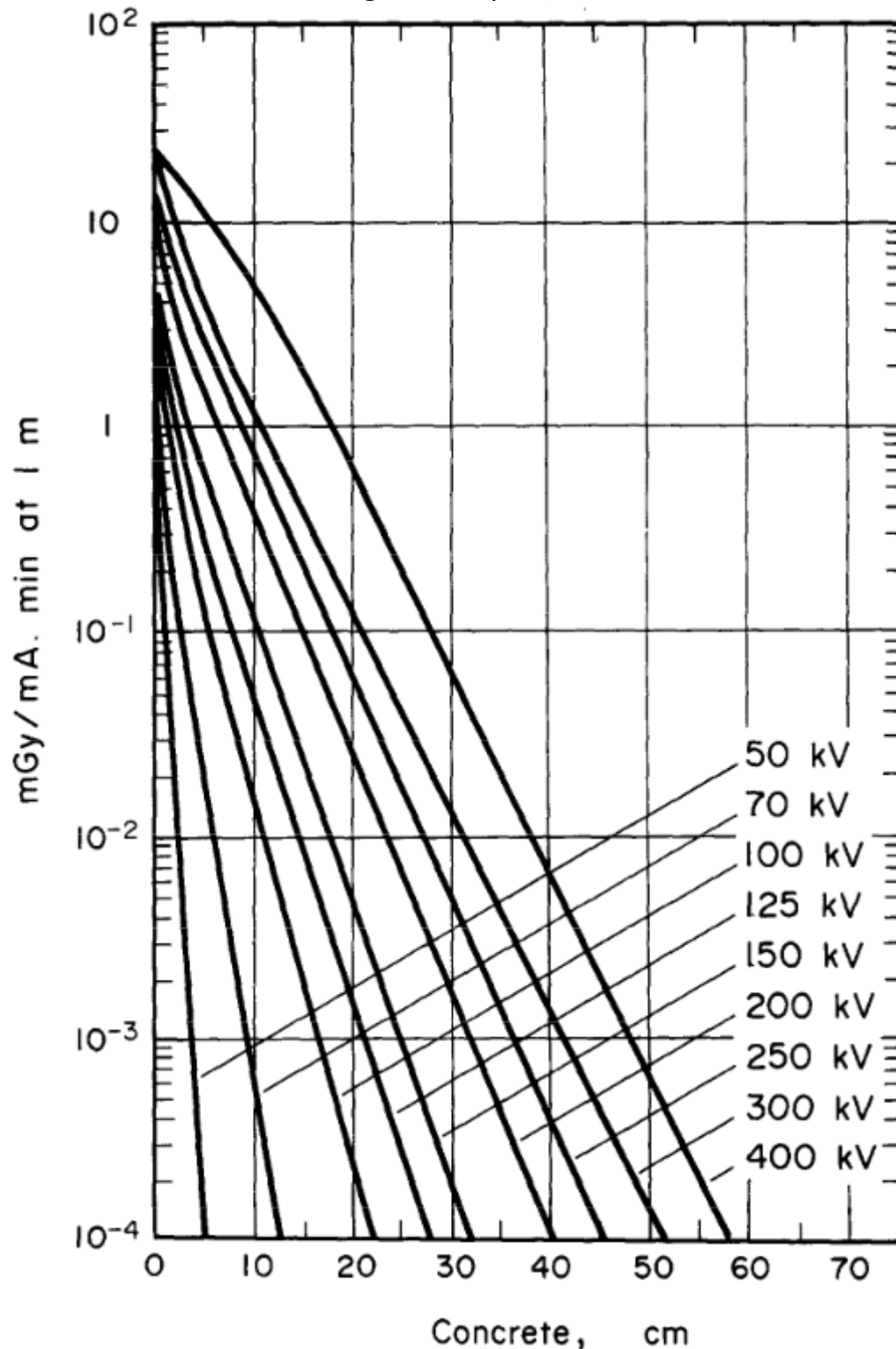


Fig. 11. Broad-beam transmission of x rays through concrete, density  $2\,350\text{ kg m}^{-3}$ . 50–300 kV: half-wave generator; tungsten reflection target; total beam filtration 1 mm aluminium at 50 kV, 1.5 at 70, 2 at 100, and 3 at 125–300. 400 kV: constant potential generator; gold reflection target; 3 mm copper total beam filtration. Ordinate intercepts are 23.5 at 400 kV, 20.9 at 300, 13.9 at 250, 8.9 at 200, 5.2 at 150, 3.9 at 125, 2.8 at 100, 2.1 at 70, 1.7 at 50.

ICRP 33 figuur 22, Verstrooiingspatronen van divergente bundels röntgen- en gammastraling bij loodrechte inval op een vlakke betonmuur

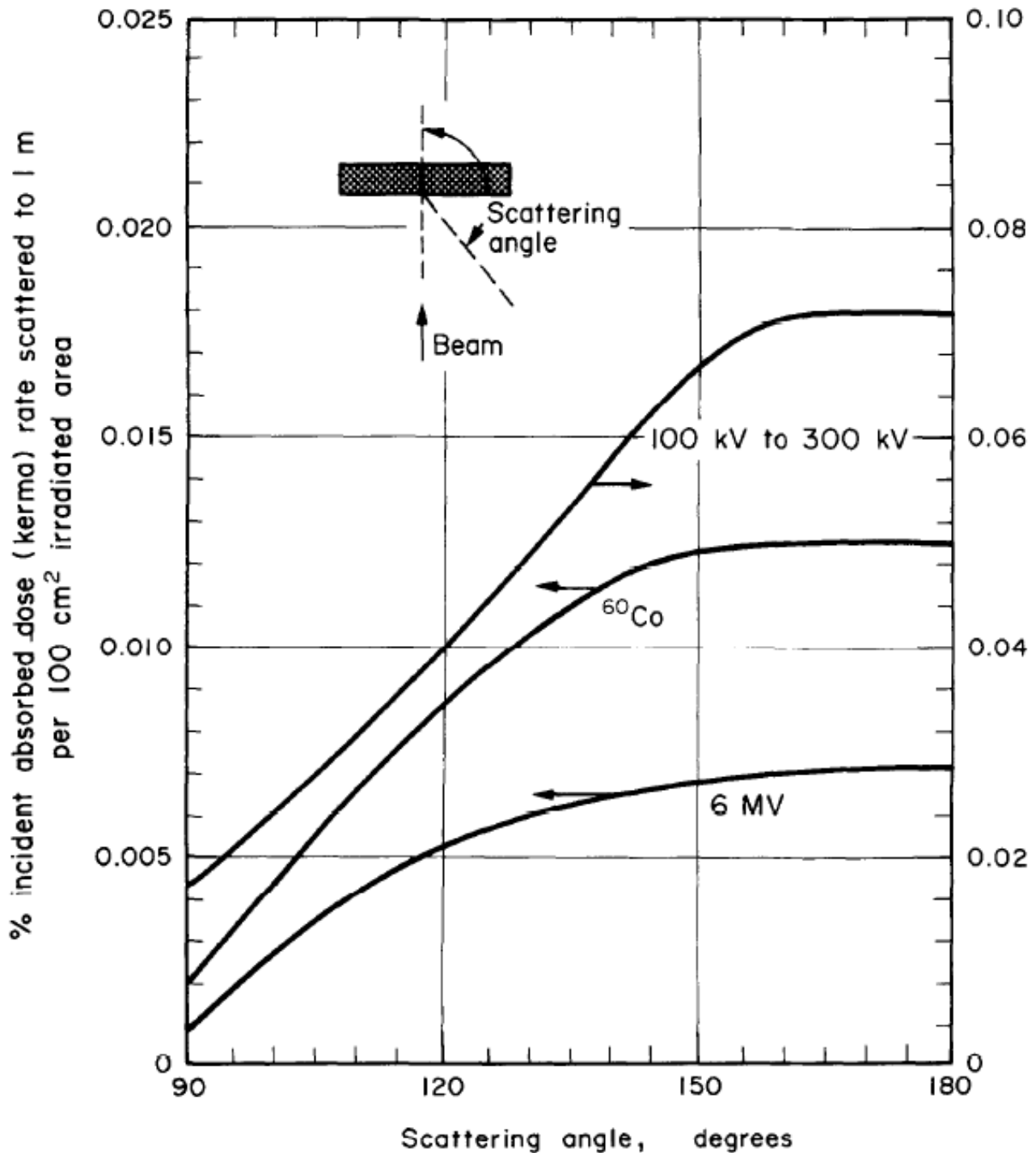


Fig. 22. Scattering patterns of diverging x-ray and gamma-ray beams normally incident on a concrete shield. Per cent scatter is related to primary beam measurements in free air at the point of incidence.

Massieke verzwakkings-, energieoverdrachts- en energie-absorptiedoorsneden in lood.

Fotonenenergie E (MeV)	$\mu/\rho$ (m <sup>2</sup> /kg)	$\mu_{tr}/\rho$ (m <sup>2</sup> /kg)	$\mu_{en}/\rho$ (m <sup>2</sup> /kg)
0,01	13,66	13,1	13,07
0,02	8,55	6,92	6,91
0,03	2,91	2,46	2,46
0,04	1,38	1,183	1,178
0,05	0,771	0,657	0,654
0,06	0,487	0,411	0,408
0,08	0,237	0,1924	0,1908
0,1	0,578	0,228	0,228
0,15	0,207	0,1164	0,1154
0,2	0,1014	0,0637	0,0629
0,4	0,0233	0,01474	0,01432
0,5	0,01614	0,00984	0,00951
0,6	0,01249	0,00737	0,00710
0,8	0,00886	0,00503	0,00481
1	0,00708	0,00396	0,00377