

**Nascholingsmiddag  
Stralingsbescherming voor  
coördinerend  
stralingsbeschermingsdeskundigen**

**3 december 2020**

**Opdrachten**

In dit document treft u een bewerkte versie aan van twee examenvraagstukken uit het examen voor coördinerend stralingsbeschermingsdeskundigen van 8 juli jl. In deze vraagstukken staat de evaluatie van risico's centraal. U wordt geadviseerd eerst de bewerkte paragraaf 14.5.5 en 14.5.6 uit de CD-syllabus te lezen die als cursusmateriaal zijn bijgevoegd.

Om voor uw deelnamecertificaat in aanmerking te komen dient u op basis van deze vraagstukken het antwoord op de twee volgende opdrachten te formuleren en **voor aanvang van de nascholing** te sturen naar [h.f.boersma@rug.nl](mailto:h.f.boersma@rug.nl) en [a.a.froma@rug.nl](mailto:a.a.froma@rug.nl). Let op: u mag de vraagstukken volledig maken, maar dat hoeft niet om zinvolle antwoorden op onderstaande opdrachten te geven.

**Opdracht 1**

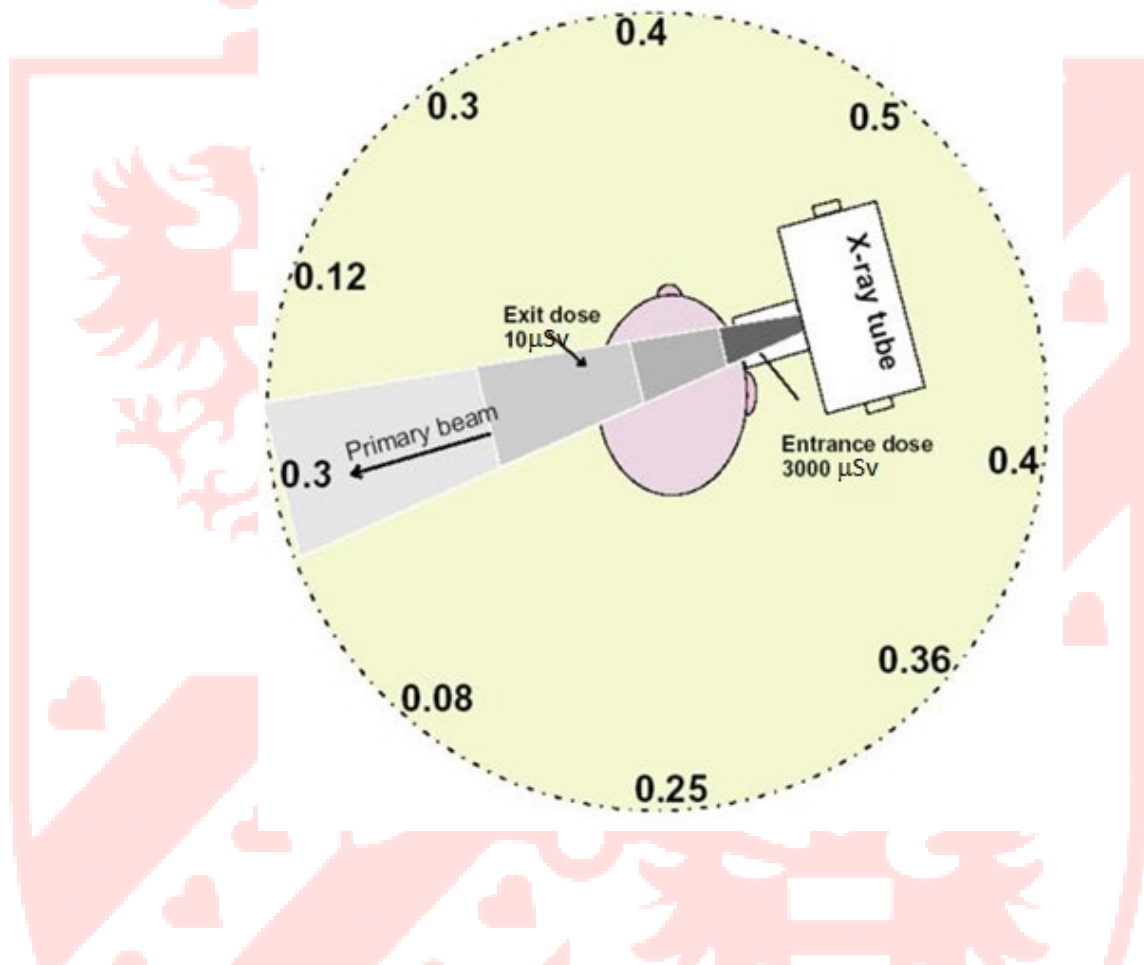
Formuleer op basis van de gegevens en deelvragen uit vraagstuk 1 uw evaluatie van de risico's voor de behandelend tandarts.

**Opdracht 2**

Geef voor de onderzoeker uit vraagstuk 2 onderbouwd aan of u hem/haar als blootgestelde werknemer zou in delen, en zo ja, in welke categorie.

## Vraagstuk 1: Tandheelkundige röntgenopnames

Een tandarts is gespecialiseerd in het behandelen van angstige patiënten. Tijdens het maken van röntgenopnames blijft deze tandarts altijd bij de patiënt staan. In het kader van een risico-inventarisatie en -evaluatie (RI&E) zoekt de stralingsbeschermingsdeskundige naar dosisgegevens. Hij vindt een figuur met daarin het persoonsdosisequivalent ten gevolge van de primaire bundel en strooistraling. In de figuur zijn ook de waarden van het persoonsdosisequivalent van de ingaande en de uitgaande bundel weergegeven.



**Figuur 1:** *Persoonsdosisequivalent in  $\mu\text{Sv}$  als gevolg van strooistraling en de primaire bundel op 1 meter afstand van het centrum van het hoofd bij een tandheelkundige röntgenopname. Afbeelding uit Radiation Protection for Dentists and Assistants (Office of Radiation Safety, Ministry of Health, Nieuw-Zeeland).*

### Toelichting gegevens Figuur 1:

- Ter wille van de eenvoud mag ervan uit worden gegaan, dat de strooistraling in het centrum van het hoofd wordt geproduceerd.
- $H_p(10)$  op de intree-positie van de bundel (Entrance dose) is 3,0 mSv.
- $H_p(10)$  op de uittree-positie van de bundel (Exit dose) is 10  $\mu\text{Sv}$ .

- De dosiswaarden in de uittredende bundel (“Primary beam”) worden veroorzaakt door zowel de verzwakte primaire bundel als de verstrooide straling.

Met behulp van de gevonden informatie kan de RI&E worden uitgevoerd. De gebruikte buisstroom, kV, belichtingstijd en filtering zijn in alle situaties gelijk aan die geschetst in de situatie in figuur 1. Er is echter een belangrijk verschil in de bundelgeometrie tussen de opstelling gebruikt in de beschouwde tandartspraktijk en de opstelling in figuur 1.

Opstelling tandartspraktijk:

Het toestel heeft een rechthoekige collimator en een lange tubus, waarmee een huidoppervlak van 35 mm × 45 mm wordt bestraald met een focus-huidafstand van 30 cm.

Opstelling in figuur 1:

Het toestel heeft een ronde collimator en een korte brede tubus, met een bestraald huidoppervlak van 30 cm<sup>2</sup> en een focus-huidafstand van 20 cm.



**Figuur 2:** links: een röntgentoestel voor tandheelkundige toepassingen, rechts: verschillende tubusvormen, met lange en korte tubus en ronde en rechthoekige collimatoren. Een tubus zorgt voor het begrenzen van de bundelomvang en zorgt voor een vaste focus-huidafstand.

**Gegevens:**

- **Bijlage, blz. 6:** Inleiding tot de stralingshygiëne, Bos *et al.* (2<sup>e</sup> druk 2007), blz. 381, Tabel D; Interactiecoëfficiënten voor fotonen.
- **Bijlage, blz. 7:** Inleiding tot de Stralingshygiëne, Bos *et al.* (2<sup>e</sup> druk 2007), blz. 268; Tabel 11.1; Expositie-opbouwfactor voor isotrope puntbron.
- In dit vraagstuk mag ervan uit worden gegaan dat de effectieve energie van de

uitgezonden röntgenfotonen 50 keV is.

- Ga ervan uit dat de geabsorbeerde huiddosis gelijk is aan de kerma in lucht.
- De verhouding tussen persoonsdosisequivalent  $H_p(10)$  en geabsorbeerde dosis  $D$  in de huid bij 50 keV fotonen is:  $H_p(10)/D = 1,766 \text{ Sv/Gy}$ .
- Per jaar maakt de tandarts met dit toestel 2000 opnamen.

### Vraag 1.1

Welke geabsorbeerde dosis zal het bestraalde huidoppervlak van een patiënt per opname ontvangen, bij *elk van de* hierboven genoemde opstellingen met de gegeven instellingen?

In Nederland zijn nog geen diagnostische referentieniveaus (DRNs – in het Engels: DRL's) vastgesteld voor intra-orale röntgenopnames. Op de website van de IAEA staat in "Radiation doses in dental radiology, FAQs for health professionals" de volgende informatie:

- DRL values for adult exposures from various national surveys are in the following ranges: 0.65 to 3.7 mGy in terms of entrance surface kerma, and 26 to 87 mGy·cm<sup>2</sup> in terms of kerma-area product for intraoral radiography

### Vraag 1.2

Geef op basis van de bij vraag 1.1 berekende doses voor *elk van de* hierboven genoemde opstellingen aan of de intra-orale röntgenopnames zich qua dosisniveau boven, in, of beneden deze twee gegeven DRN-gebieden bevinden.

De tandarts gaat altijd staan op de plek waar de patiënt het best gerustgesteld kan worden. Ten behoeve van de RI&E gaat de stralingsbeschermingsdeskundige daarom uit van de hoogst gegeven dosiswaarde (op basis van figuur 1), op 50 cm afstand van het centrum van het hoofd van de patiënt.

**Vraag 1.3**

Aan welk persoonsdosisequivalent  $H_p(10)$  zal de tandarts in zijn praktijk jaarlijks blootstaan, bij gebruik van de rechthoekige collimator en de hierboven genoemde instellingen en gegevens?

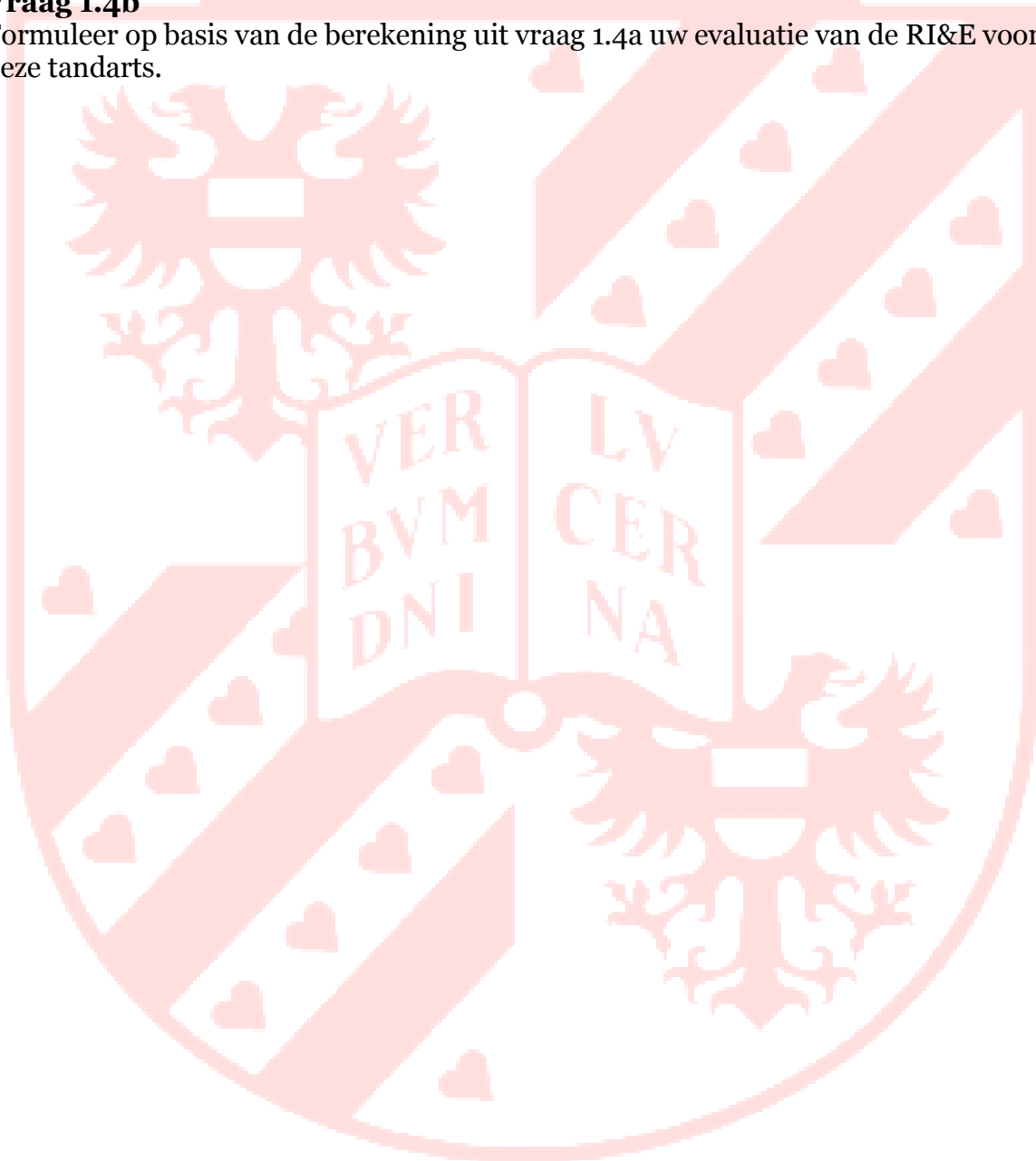
In het kader van ALARA wordt er een verrijdbare afscherming aangeschaft. De onderste helft van het scherm is volledig van lood, de bovenste helft bevat een groot raam van loodglas. De (equivalente) looddikte van scherm en loodglas bedraagt 1,5 mm.

**Vraag 1.4a**

Schat op basis van een berekening de transmissie van het scherm en loodglas voor fotonen met een energie van 50 keV.

**Vraag 1.4b**

Formuleer op basis van de berekening uit vraag 1.4a uw evaluatie van de RI&E voor deze tandarts.



**Inleiding tot de stralingshygiëne, Bos et al. (2<sup>e</sup> druk 2007), blz. 381, Uit**

**Tabel D;**

**Interactiecoëfficiënten voor fotonen**

Fotonen-energie (MeV)	Tin $\rho = 7,30 \text{ g/cm}^3$			Fotonen-energie (MeV)	Lood $\rho = 11,34 \text{ g/cm}^3$		
	$\mu/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)	$\mu_{tr}/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)	$\mu_{en}/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)		$\mu/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)	$\mu_{tr}/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)	$\mu_{en}/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)
0,0010	11130	11110	11110	M <sub>1</sub> edge	–		
0,0015	3960	3950	3950	0,003854	1493	1454	1453
0,0020	1963	1954	1954				
0,0030	713	705	705	0,004	1333	1298	1297
				0,005	767	747	747
0,0039288	367	360	360	0,006	493	479	479
L <sub>3</sub> edge				0,008	238	230	230
0,0039288	1118	1067	1067				
				0,010	136,6	131,0	130,7
0,0040	1067	1019	1019				
				0,0130406	70,1	66,2	66,0
0,0041573	973	930	930	L <sub>3</sub> edge			
L <sub>2</sub> edge				0,0130406	165,7	128,8	128,8
0,0041573	1244	1187	1187				
				0,015	114,7	91,7	91,7
0,0044648	1016	971	971				
L <sub>1</sub> edge				0,0152053	112,0	86,6	89,6
0,0044648	1264	1207	1207	L <sub>2</sub> edge			
				0,0152053	145,4	113,0	113,0
0,005	919	880	880				
0,006	561	540	539	0,015855	129,3	101,7	101,6
0,008	259	250	249	L <sub>1</sub> edge			
				0,015855	159,2	123,0	123,0
0,010	141,6	136,5	136,4				
0,015	45,8	43,7	43,6	0,02	85,5	69,2	69,1
0,020	21,2	19,83	19,81	0,03	29,1	24,6	24,6
0,0291947	7,61	6,83	6,82	0,04	13,80	11,83	11,78
K edge				0,05	7,71	6,57	6,54
0,0291947	45,4	16,70	16,69	0,06	4,87	4,11	4,08
				0,08	2,37	1,924	1,908
0,030	42,1	16,18	16,17	0,088005	1,865	1,494	1,481
0,04	18,77	9,97	9,97	K edge			
0,05	10,20	6,25	6,24	0,088005	7,30	2,47	2,47
0,06	6,34	4,20	4,19				
0,08	3,07	2,19	2,18	0,10	5,78	2,28	2,28
				0,15	2,07	1,164	1,154
I <sub>0,10</sub>	1,720	1,257	1,250	0,2	1,014	0,637	0,629
T <sub>0,15</sub>	0,634	0,446	0,442	0,3	0,406	0,265	0,259
0,20	0,333	0,211	0,209				
I <sub>0,30</sub>	0,1649	0,0853	0,0843	0,4	0,233	0,1474	0,1432

**it**

Tabel 11.1 *Exposie-opbouwfactor voor isotrope puntbron*

Materiaal	Foton-energie E (MeV)	$\mu d$					
		1	2	4	7	10	15
Water	0,255	3,09	7,14	23,0	72,9	166	456
	0,5	2,52	5,14	14,3	38,8	77,6	178
	1,0	2,13	3,71	7,68	16,2	27,1	50,4
	2,0	1,83	2,77	4,88	8,46	12,4	19,5
	3,0	1,69	2,42	3,91	6,23	8,63	12,8
Aluminium	0,5	2,37	4,24	9,47	21,5	38,9	80,8
	1,0	2,02	3,31	6,57	13,1	21,2	37,9
	2,0	1,75	2,61	4,62	8,05	11,9	18,7
	3,0	1,64	2,32	3,78	6,14	8,65	13,0
IJzer	0,5	1,98	3,09	5,98	11,7	19,2	35,4
	1,0	1,87	2,89	5,39	10,2	16,2	28,3
	2,0	1,76	2,43	4,13	7,25	10,9	17,6
	3,0	1,55	2,15	3,51	5,85	8,51	13,5
Lood	0,5	1,24	1,42	1,69	2,00	2,27	2,65
	1,0	1,37	1,69	2,26	3,02	3,74	4,81
	2,0	1,39	1,76	2,51	3,66	4,84	6,87
	3,0	1,34	1,68	2,43	3,75	5,30	8,44



## Vraagstuk 2: Wetenschappelijk experiment met jodium in zuur milieu

Eén van de gouden regels in de radiochemie luidt: gebruik nooit een jodiumverbinding in zuur milieu. Maar zoals altijd zijn er uitzonderingen: het joderen van TTD-PC (een organisch molecuul)<sup>1</sup> kan alleen maar succesvol worden uitgevoerd in een azijnzure oplossing. Om het risico op inwendige besmetting door het vrijkomen van jodium in dampvorm tot een minimum te beperken, is er een speciale werkwijze ontwikkeld waarbij alle chemische reacties plaatsvinden in een gesloten ampul.

### Gegevens:

- TTD-PC wordt geïodeerd met 110 MBq <sup>125</sup>I.
- Het experiment wordt slechts één keer uitgevoerd.
- **Bijlage, blz. 10-11:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), blz. 160 en 161, gegevens <sup>125</sup>I.
- **Bijlage, blz. 12-14:** Vergunningsbijlage 'Bijlage radionucliden-laboratorium', blz. 10, 11 en 12.

### Vraag 2.1

Ga door berekening na of en zo ja, onder welke condities de hierboven beschreven jodering volgens de 'Bijlage radionucliden-laboratorium' is toegestaan. Ga hierbij uit van de meest ongunstige longzuiveringsklasse.

In het kader van de risico-inventarisatie en -evaluatie (RI&E) wordt het breken van de ampul tijdens het experiment als belangrijkste voorziene onbedoelde gebeurtenis meegenomen. Vanwege dit scenario is op voorhand besloten het experiment in een DIN-gekeurde zuurkast uit te voeren.

### Vraag 2.2a

Bereken de maximaal mogelijke effectieve volgdozis voor de onderzoeker als de ampul tijdens het experiment breekt. Ga ervan uit dat de zuurkast goed functioneert (d.w.z. zoals bedoeld in de Vergunningsbijlage, blz.12).

De onderzoeker voert geen andere handelingen met radioactieve stoffen uit.

### Vraag 2.2b

Geef aan of de onderzoeker uitsluitend op grond van uw antwoord op vraag 2.2a als blootgestelde werknemer moet worden aangemerkt en zo ja, in welke categorie hij moet worden ingedeeld. Benoem tevens één stralingsbeschermingsmaatregel die u voor dit specifieke experiment kunt nemen.

---

1 TTD-PC = 1-O-hexadecanoyl-2-O-[9-[[[2-(tributylstannyl)-4-(trifluoro-methyl-3Hdiazirin-3-yl)benzyl]oxy]carbonyl]nonanyl]-sn-glycero-3-phosphocholine, ofwel een zogenaamde foto-activeerbare fosfolipide.



**Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), gegevens <sup>125</sup>I**

**<sup>125</sup>I**

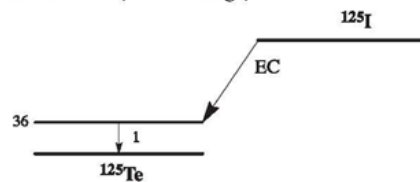
**Z = 53**

**Halveringstijd en vervalconstante**

$T_{1/2} = 59,39 \text{ d} = 5,13 \times 10^6 \text{ s}$

$\lambda = 1,35 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$

**Vervalschema (vereenvoudigd)**



**Belangrijkste uitgezonden straling**

Straling	y (Bq·s) <sup>-1</sup>	E (keV)	Straling	y (Bq·s) <sup>-1</sup>	E (keV)
$\gamma_1$	0,067	35	L $\alpha$	0,061	4
ce K $\gamma_1$	0,803	4	L $\beta$	0,059	4
ce L $\gamma_1$	0,105	31	KLL	0,132	23
K $\alpha$	1,140	27	KLX	0,060	26
K $\beta$	0,255	31	LMM	1,010	3
			LXY	0,590	4

**Bronconstanten**

Kermatempo in lucht	$k = 0,034 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,034 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

**Diversen**

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 6,51 \times 10^{14} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^3 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^6 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 4 \times 10^{-12} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 1,5 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 20 \text{ TBq}$ $A_2 = 3 \text{ TBq}$

**Productie en toepassingen**

Het radionuclide <sup>125</sup>I is een cyclotronproduct. Het wordt toegepast in de nucleaire geneeskunde, onder meer bij brachytherapie. Het vindt tevens toepassing als gamma-referentiebron.



**N = 72** **125I**

**Metabool model**

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat jodium zich vanuit het bloed als volgt verdeelt: 70% directe uitscheiding en 30% naar de schildklier. Jodium in de schildklier verblijft aldaar met een biologische halveringstijd van 80 dagen, van waaruit het in de vorm van organisch jodium homogeen over het lichaam wordt verdeeld. Het verblijft in andere organen/weefsels dan de schildklier geschiedt met een halveringstijd van 12 dagen. Een tiende van het organisch jodium wordt onmiddellijk uitgescheiden via de faeces, terwijl de rest (90%) terugkeert in het transfercompartiment. Zodoende wordt de biologische halveringstijd in de schildklier effectief gelijk aan 90 dagen.  
 N.B. Dit model geldt niet voor patiënten, zie pagina 14.

**Ingestie- en longzuiveringsklassen**

Ingestie		
Alle verbindingen	$f_1 = 1$	
Inhalatie		
Damp ( $I_2$ )	$f_1 = 1$	Klasse SR-1
Damp ( $CH_3I$ )	$f_1 = 1$	Klasse SR-1 70% depositie
Overige verbindingen	$f_1 = 1$	Klasse F

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

	Ingestie $f_1 = 1$	Inhalatie F	Inhalatie $I_2$	Inhalatie $CH_3I$	
$e(50)(w)$	$1,5 \times 10^{-8}$	$7,3 \times 10^{-9}$	$1,4 \times 10^{-8}$	$1,1 \times 10^{-8}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$6,7 \times 10^7$	$1,4 \times 10^8$	$7,1 \times 10^7$	$9,1 \times 10^7$	Bq
$e(50)(b)$	$1,5 \times 10^{-8}$	$5,3 \times 10^{-9}$	$1,4 \times 10^{-8}$	$1,1 \times 10^{-8}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$6,7 \times 10^7$	$1,9 \times 10^8$	$7,1 \times 10^7$	$9,1 \times 10^7$	Bq

**Gegevens voor schildkliertelling (na eenmalige inname)**

Tijd (d)	Activiteit in schildklier (Bq per Bq inname)			
	$f_1 = 1$	F	$I_2$	$CH_3I$
0,25	$6,1 \times 10^{-2}$	$5,3 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$
1	$2,6 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^{-1}$	$2,4 \times 10^{-1}$	$1,9 \times 10^{-1}$
2	$2,9 \times 10^{-1}$	$1,4 \times 10^{-1}$	$2,6 \times 10^{-1}$	$2,0 \times 10^{-1}$
3	$2,8 \times 10^{-1}$	$1,4 \times 10^{-1}$	$2,6 \times 10^{-1}$	$2,0 \times 10^{-1}$
5	$2,7 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^{-1}$	$2,5 \times 10^{-1}$	$1,9 \times 10^{-1}$
7	$2,6 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^{-1}$	$2,4 \times 10^{-1}$	$1,8 \times 10^{-1}$



## Vergunningsbijlage radionucliden-laboratorium, blz. 10, 11 en 12

### 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 radiotoxiciteitsequivalent 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:

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

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.



### 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.

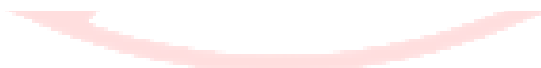
### 2.2.3 Verspreidingsparameter $p$

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 spuiten 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.



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

- $X_{j,i}$         =    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  $i$ .