

**BIJLAGE bij  
Examen Coördinerend Deskundige  
Stralingsbescherming**

---

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

---

Examendatum: 12 december 2016

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

Pagina	
3	Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2 <sup>e</sup> druk 2007), blz. 26-27, gegevens <sup>18</sup> F
5	Figuur 2: Halveringsdikte van verschillende afschermingsmaterialen voor smalle-bundel fotonenstraling
6	Tabel 1: Broadbeam transmission factors at 511 keV (AAPM TaskGroup 108)
7	Tabel 2: Build-up factoren voor een isotrope puntbron
8	Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2 <sup>e</sup> druk 2007), blz. 42-43, gegevens <sup>40</sup> K
10	Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2 <sup>e</sup> druk 2007), blz. 164-165, gegevens <sup>131</sup> I
12	Tabel 3: Weefselweegfactoren (ontleend aan ICRP-60)
13	Figuur 3: Kermatempo in lucht van röntgenstraling door lood
14	Figuur 4: Verstrooiingsfractie van kerma in lucht

**Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2<sup>e</sup> druk 2007), blz. 26-27, gegevens <sup>18</sup>F**

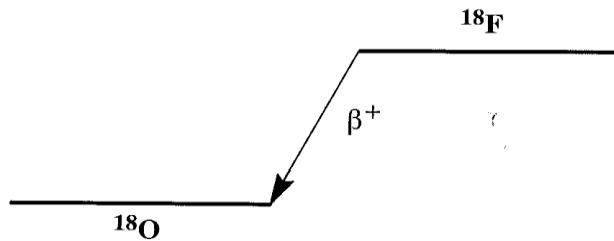
<sup>18</sup>F
Z = 9

**Halveringstijd en vervalconstante**

$T_{1/2} = 109,70 \text{ min} = 6,582 \times 10^3 \text{ s}$

$\lambda = 1,05 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

**Vervalschema**



**Belangrijkste uitgezonden straling**

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
$\beta^+$	1,000	250   634
$\gamma^\pm$	2,000	511

**Bronconstanten**

Kermatempo in lucht	$k = 0,135 \text{ }\mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,166 \text{ }\mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

**Diversen**

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 3,52 \times 10^{18} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^1 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^6 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 5 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 1,4 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 1 \text{ TBq}$ $A_2 = 0,6 \text{ TBq}$

**Productie en toepassingen**

Het radionuclide <sup>18</sup>F is een cyclotronproduct. Het nuclide wordt toegepast in de nucleaire geneeskunde voor het maken van afbeeldingen met behulp van positronen-emissie-tomografie (PET).

N = 9

 $^{18}\text{F}$ **Metabool model**

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat fluor na opname in het bloed volledig in het bot wordt opgenomen.

Gezien de korte fysische halveringstijd van  $^{18}\text{F}$  (110 minuten) is de biologische halveringstijd van geen belang.

**Ingestie- en longzuiveringsklassen**

Ingestie

Alle verbindingen  $f_1 = 1$ 

Inhalatie

Afhankelijk	$f_1 = 1$	Klasse S
van	$f_1 = 1$	Klasse M
bindingskation	$f_1 = 1$	Klasse F

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

	Ingestie $f_1 = 1$	Inhalatie F	Inhalatie M	Inhalatie S	
$e(50)(w)$	$4,9 \times 10^{-11}$	$5,4 \times 10^{-11}$	$8,9 \times 10^{-11}$	$9,3 \times 10^{-11}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$2,0 \times 10^{10}$	$1,9 \times 10^{10}$	$1,1 \times 10^{10}$	$1,1 \times 10^{10}$	Bq
$e(50)(b)$	$4,9 \times 10^{-11}$	$3,0 \times 10^{-11}$	$5,7 \times 10^{-11}$	$6,0 \times 10^{-11}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$2,0 \times 10^{10}$	$3,3 \times 10^{10}$	$1,8 \times 10^{10}$	$1,7 \times 10^{10}$	Bq

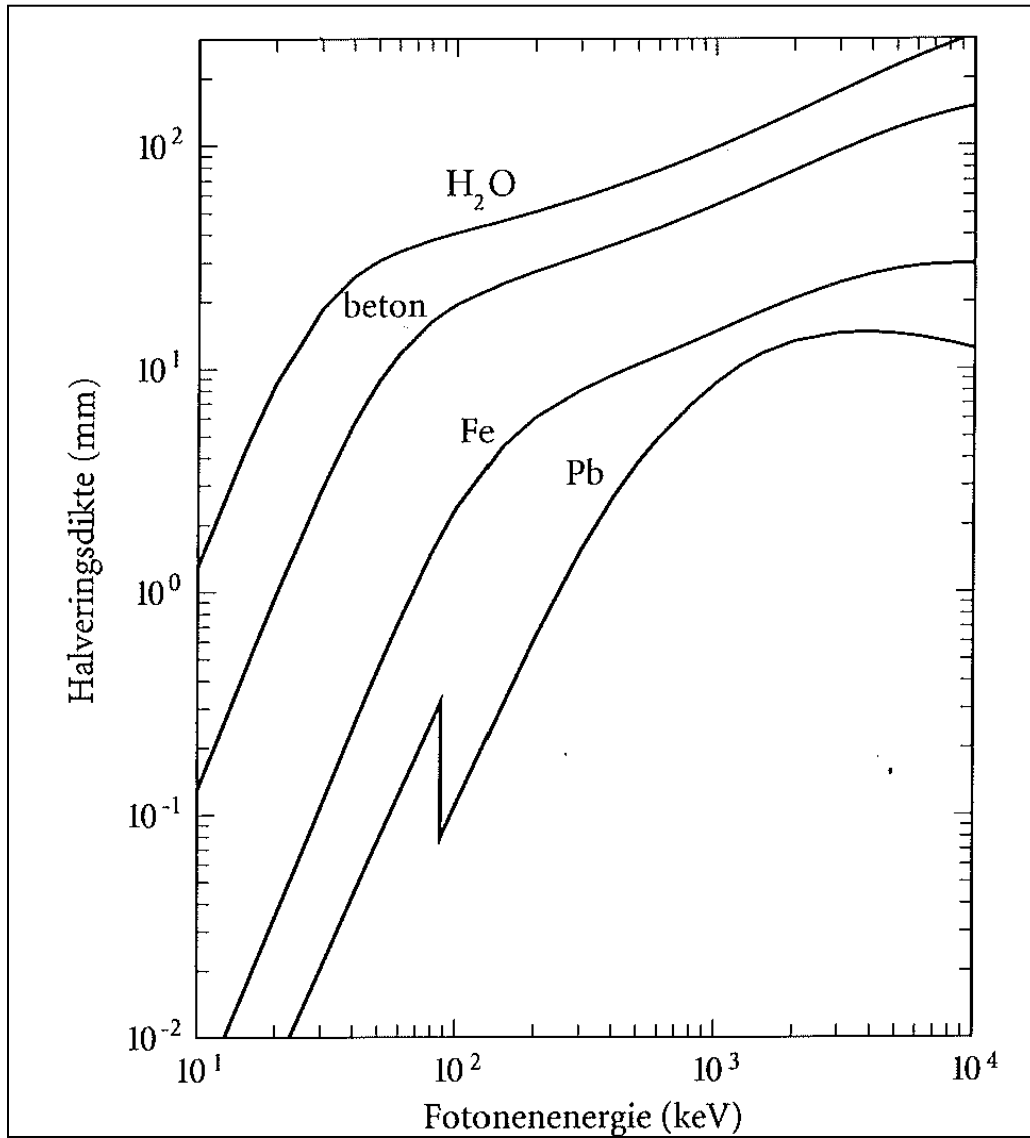
**Gegevens voor totale-lichaamstelling**

Na eenmalige inname

Tijd (d) Lichaamsactiviteit (Bq per Bq inname)

0,25	$1,0 \times 10^{-1}$	$7,7 \times 10^{-2}$	$7,7 \times 10^{-2}$	$7,7 \times 10^{-2}$
1	$1,1 \times 10^{-4}$	$6,8 \times 10^{-5}$	$6,8 \times 10^{-5}$	$6,8 \times 10^{-5}$

**Figuur 2: Halveringsdikte van verschillende afschermingsmaterialen voor smalle-bundel fotonenstraling**



**Tabel 1: Broadbeam transmission factors at 511 keV (AAPM Task Group 108)**

Thickness <sup>a, b</sup>	Transmission Factors		
	Lead	Concrete <sup>c</sup>	Iron
0	1.0000	1.0000	1.0000
1	0.8912	0.9583	0.7484
2	0.7873	0.9088	0.5325
3	0.6905	0.8519	0.3614
4	0.6021	0.7889	0.2353
5	0.5227	0.7218	0.1479
6	0.4522	0.6528	0.0905
7	0.3903	0.5842	0.0542
8	0.3362	0.5180	0.0319
9	0.2892	0.4558	0.0186
10	0.2485	0.3987	0.0107
12	0.1831	0.3008	0.0035
14	0.1347	0.2243	0.0011
16	0.0990	0.1662	0.0004
18	0.0728	0.1227	0.0001
20	0.0535	0.0904	
25	0.0247	0.0419	
30	0.0114	0.0194	
40	0.0024	0.0042	
50	0.0005	0.0009	

Broadbeam transmission factors at 511 keV in lead, concrete, iron.

<sup>a</sup>Thickness in mm for lead.

<sup>b</sup>Thickness in cm for concrete and iron.

<sup>c</sup>Concrete density = 2.35 g / cm<sup>3</sup> .

**Tabel 2: Build-up factoren voor een isotrope puntbron**

materiaal	Fotonenenergie E (MeV)	$\mu d$						
		1	2	4	7	10	15	20
water	0,255	3,09	7,14	23,0	72,9	166	456	982
	0,5	2,52	5,14	14,3	38,8	77,6	178	334
	1,0	2,13	3,71	7,68	16,2	27,1	50,4	82,2
	2,0	1,83	2,77	4,88	8,46	12,4	19,5	27,7
	3,0	1,69	2,42	3,91	6,23	8,63	12,8	17,0
aluminium	0,5	2,37	4,24	9,47	21,5	38,9	80,8	141
	1,0	2,02	3,31	6,57	13,1	21,2	37,9	58,5
	2,0	1,75	2,61	4,62	8,05	11,9	18,7	26,3
	3,0	1,64	2,32	3,78	6,14	8,65	13,0	17,7
ijzer	0,5	1,98	3,09	5,98	11,7	19,2	35,4	55,6
	1,0	1,87	2,89	5,39	10,2	16,2	28,3	42,7
	2,0	1,76	2,43	4,13	7,25	10,9	17,6	25,1
	3,0	1,55	2,15	3,51	5,85	8,51	13,5	19,1
lood	0,5	1,24	1,42	1,69	2,00	2,27	2,65	2,73
	1,0	1,37	1,69	2,26	3,02	3,74	4,81	5,86
	2,0	1,39	1,76	2,51	3,66	4,84	6,87	9,00
	3,0	1,34	1,68	2,43	3,75	5,30	8,44	12,3

**Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2<sup>e</sup> druk 2007), blz. 42-43, gegevens <sup>40</sup>K**

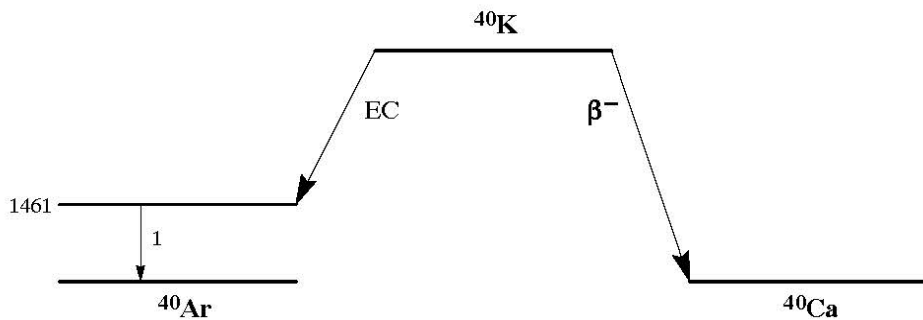
<sup>40</sup>K
Z = 19

**Halveringstijd en vervalconstante**

$T_{1/2} = 1,277 \times 10^9 \text{ j} = 4,03 \times 10^{16} \text{ s}$

$\lambda = 1,72 \times 10^{-17} \text{ s}^{-1}$

**Vervalschema (vereenvoudigd)**



**Belangrijkste uitgezonden straling**

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
$\beta^-$	0,893	585   1312
$\gamma_1$	0,107	1461
KLL	0,065	3

**Bronconstanten**

Kermatempo in lucht	$k = 0,018 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,021 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

**Diversen**

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 2,59 \times 10^5 \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^2 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^6 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 5 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 5,1 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 0,9 \text{ TBq}$ $A_2 = 0,9 \text{ TBq}$

**Productie en toepassingen**

Kalium-40 is een primordiaal radionuclide, dat wil zeggen het is sinds de nucleogenese (het moment van ontstaan van de zwaardere nucliden) nog niet vervallen. Het komt voor



N = 21

<sup>40</sup>K

in het menselijk lichaam, via ingestie. De <sup>40</sup>K-activiteit in de referentiemens bedraagt 4000 Bq. Natuurlijk kalium heeft een <sup>40</sup>K-gehalte van 0,0118% (at), hetgeen leidt tot een specifieke activiteit van kalium van 30 Bq/g. Het nuclide wordt veel gebruikt als ijkbron, aangezien de activiteit door weging kan worden gevonden.

### Metabool model

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat kalium zich vanuit het bloed homogeen over alle organen/weefsels verdeelt.

De biologische halveringstijd voor deze organen/weefsels wordt gesteld op 30 dagen.

### Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie

Alle verbindingen  $f_1 = 1$

Inhalatie

Alle 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	
$e(50)(w)$	$6,2 \times 10^{-9}$	$3,0 \times 10^{-9}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$1,6 \times 10^8$	$3,3 \times 10^8$	Bq
$e(50)(b)$	$6,2 \times 10^{-9}$	$2,1 \times 10^{-9}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$1,6 \times 10^8$	$4,8 \times 10^8$	Bq

### Gegevens voor totale-lichaamstelling

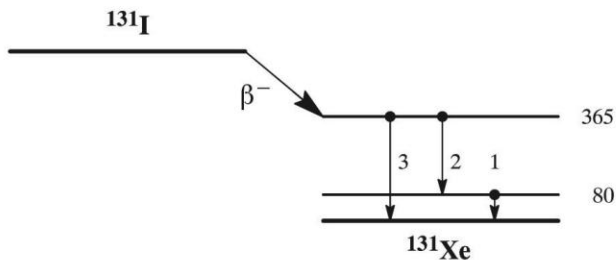
Na eenmalige inname

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

**Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2<sup>e</sup> druk 2007), blz. 164-165, gegevens <sup>131</sup>I****<sup>131</sup>I****Z = 53****Halveringstijd en vervalconstante**

$$T_{1/2} = 8,021 \text{ d} = 6,93 \times 10^5 \text{ s}$$

$$\lambda = 1,00 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

**Vervalschema (vereenvoudigd)****Belangrijkste uitgezonden straling**

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
$\beta^-$	0,894	192   606
$\gamma_1$	0,026	80
ce K $\gamma_1$	0,036	46
$\gamma_2$	0,061	284
$\gamma_3$	0,812	365

**Bronconstanten**

Kermatempo in lucht	$k = 0,052 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,066 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

**Diversen**

Specifieke activiteit	$A_{\text{sp}} = 4,60 \times 10^{15} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^2 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^6 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 4 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 2,2 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 3 \text{ TBq}$
	$A_2 = 0,7 \text{ TBq}$

**Productie en toepassingen**

Het radionuclide <sup>131</sup>I is een belangrijk splijttingsproduct. Het wordt veelvuldig toegepast in de diagnostische en therapeutische nucleaire geneeskunde.

N = 78

131I

**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 verblijf 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 <sub>2</sub> )	$f_1 = 1$	Klasse SR-1
Damp (CH <sub>3</sub> I)	$f_1 = 1$	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 <sub>2</sub>	Inhalatie CH <sub>3</sub> I	
$e(50)(w)$	$2,2 \times 10^{-8}$	$1,1 \times 10^{-8}$	$2,0 \times 10^{-8}$	$1,5 \times 10^{-8}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$4,5 \times 10^7$	$9,1 \times 10^7$	$5,0 \times 10^7$	$6,7 \times 10^7$	Bq
$e(50)(b)$	$2,2 \times 10^{-8}$	$7,6 \times 10^{-9}$	$2,0 \times 10^{-8}$	$1,5 \times 10^{-8}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$4,5 \times 10^7$	$1,3 \times 10^8$	$5,0 \times 10^7$	$6,7 \times 10^7$	Bq

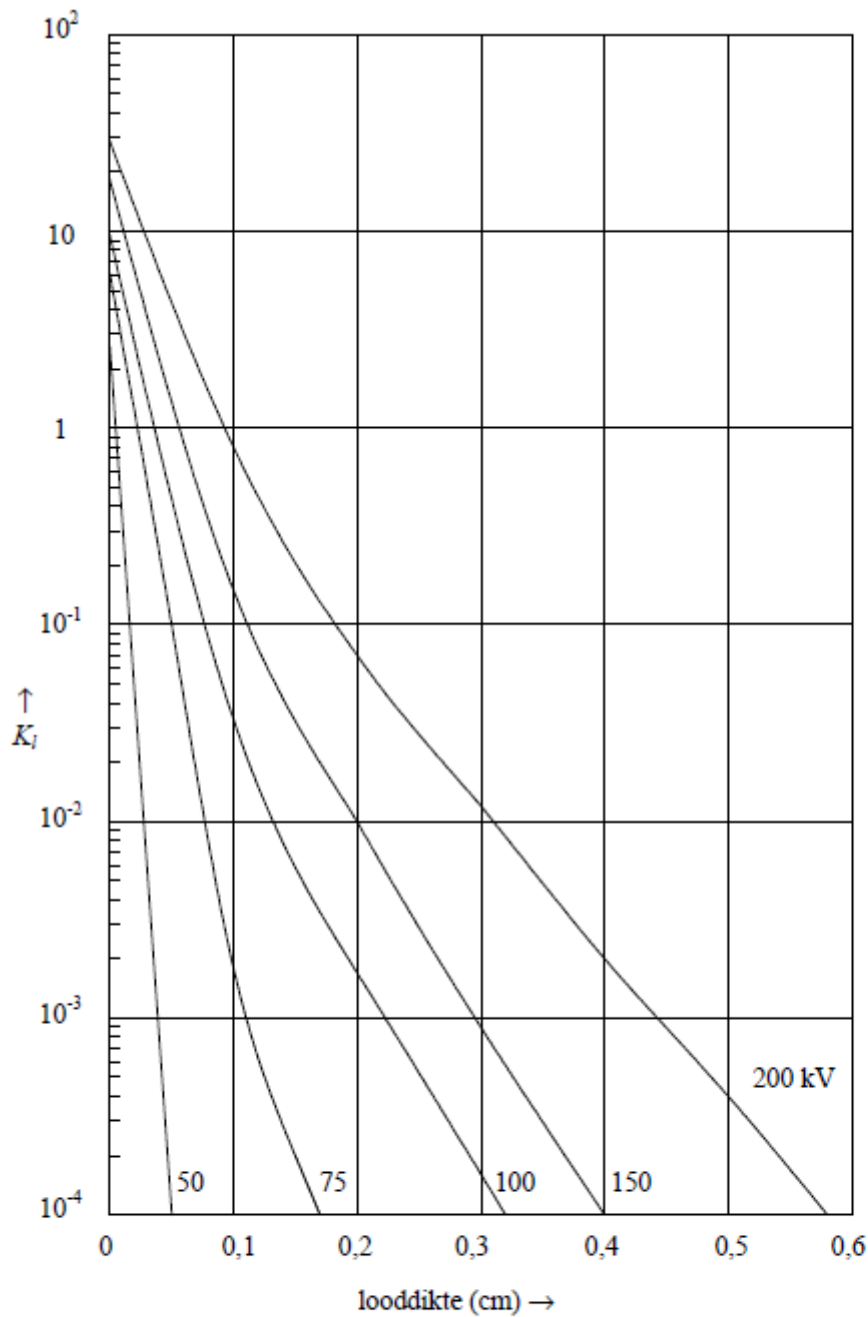
**Gegevens voor schildkliertelling (na eenmalige inname)**

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

**Tabel 3: Weefselweegfactoren (ontleend aan ICRP-60)**

<b>Weefsel of Orgaan</b>	<b>Weefselweefactor (<math>w_T</math>)</b>
<b>Gonaden</b>	0,20
<b>Rode beenmerg</b>	0,12
<b>Dikke darm</b>	0,12
<b>Longen</b>	0,12
<b>Maag</b>	0,12
<b>Borstweefsel</b>	0,05
<b>Blaas</b>	0,05
<b>Lever</b>	0,05
<b>Slokdarm</b>	0,05
<b>Schildklier</b>	0,05
<b>Huid</b>	0,01
<b>Botoppervlak</b>	0,01
<b>Overige organen</b>	0,05

**Figuur 3: Kermatempo in lucht van röntgenstraling door lood**



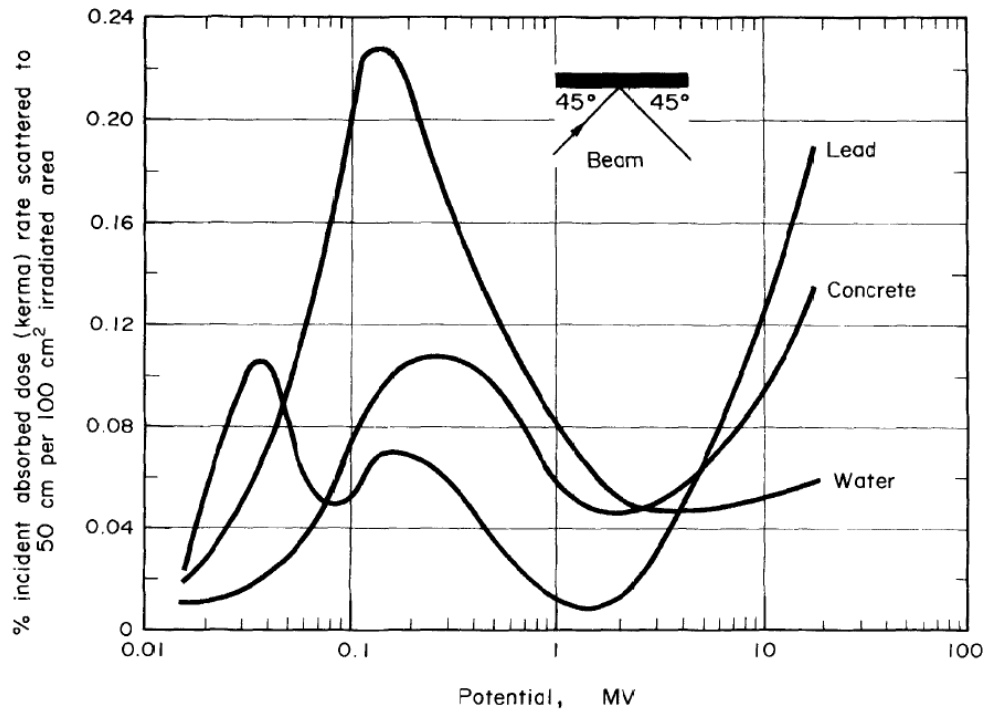
Opbrengst van een brede bundel röntgenstraling door lood, uitgedrukt in kerma  $K_l$  in lucht: in  $\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  als functie van hoogspanning in kV.

Constante hoogspanning; wolfram target; 2 mm Al voorfiltering

Snijpunten met Y-as, dus kerma zonder afscherming ( $\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ):

50 kV	2,6	75 kV	6,1	100 kV	9,6	150 kV	18,3	200 kV	28,7
-------	-----	-------	-----	--------	-----	--------	------	--------	------

**Figuur 4: Verstrooiingsfractie van kerma in lucht**



Variation with potential of the absorbed dose (kerma)rate measured in air due to X-rays scattered at 90° from various materials (ICRP 33, Figure 21)