

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

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboudumc	RUMC

examendatum:

8 mei 2023

examenduur: 13.30 - 16.30 uur

Instructie:

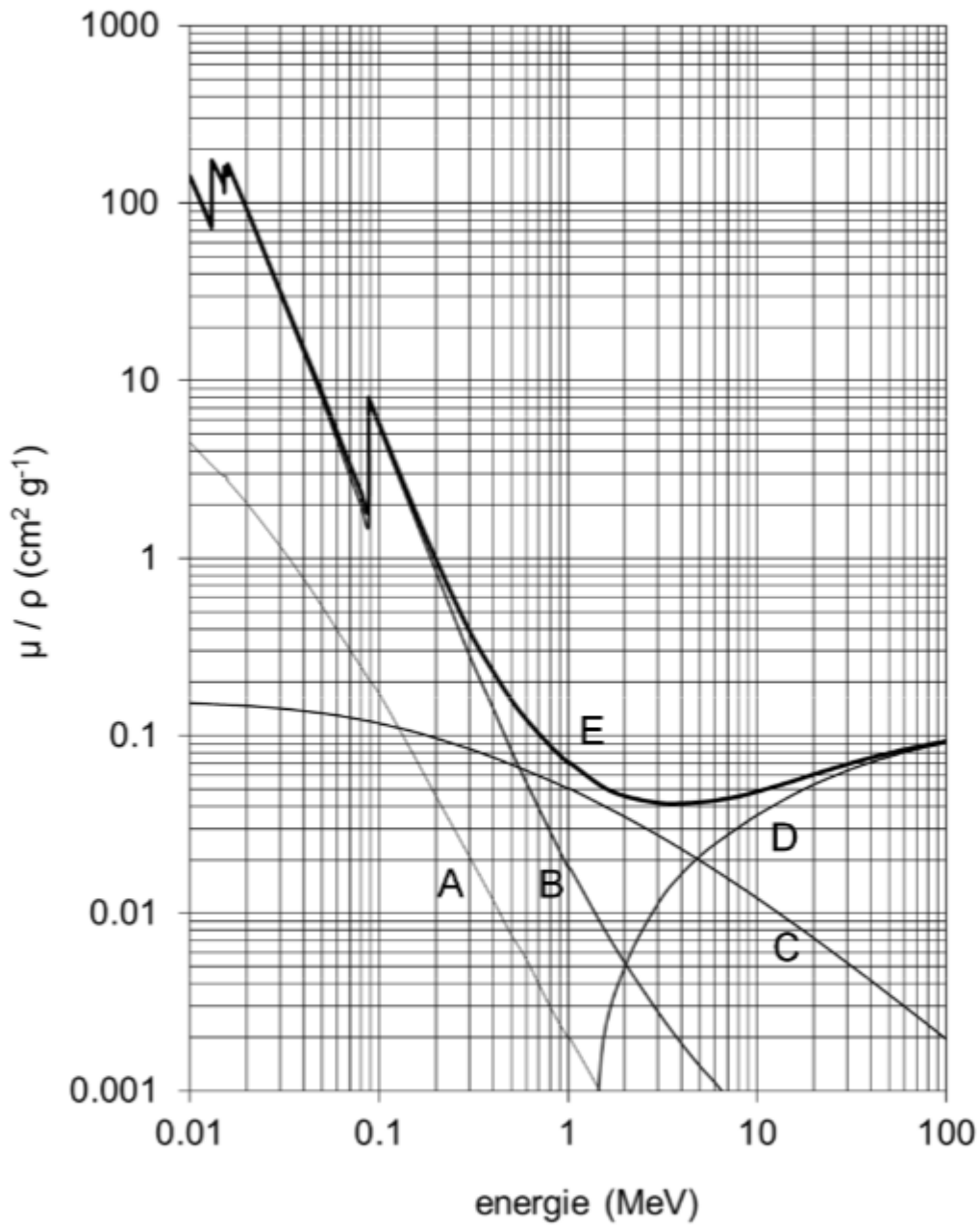
- ❑ Wanneer u andere gegevens gebruikt dan in deze bijlage zijn genoemd, vermeld dan de herkomst!
- ❑ Deze bijlage omvat 13 doorlopend genummerde pagina's. Controleer dit!

INHOUDSOPGAVE

Bladzijde

- 3 Massieke verzwakkingscoëfficiënten lood
- 4 Legenda nuclidekaart
- 5 De nettowaarde van het omgevingsdosisequivalenttempo $\dot{H}^*(10)$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) als functie van de tijd (h) na injectie.
- 6-7 Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 124-125: $^{99\text{m}}\text{Tc}$
- 8 Specifiek geabsorbeerde fractie $\text{SAF}(T \leftarrow S)$ (g^{-1}) in geval van doelorgaan = bronorgaan = "totale lichaam" voor verschillende waarden van de fotonenergie (MeV); uit publicatie ICRP-23, blz. 462.
- 9 Brief dierenarts
- 10-11 RI&E van de dierenarts
- 12 Stappenplan wanneer vraagt u een registratie of vergunning aan?
- 13 De ionisatie-energie W voor elektronen, protonen en alfadeeltjes in verschillende gassen

Massieke verzwakkingscoëfficiënten lood



Massieke verzwakkingscoëfficiënten van lood
 (A) Rayleigh-verstrooiing, (B) foto-elektrisch effect, (C) Compton-effect,
 (D) paarvorming en (E) de totale massieke verzwakkingscoëfficiënt μ/ρ

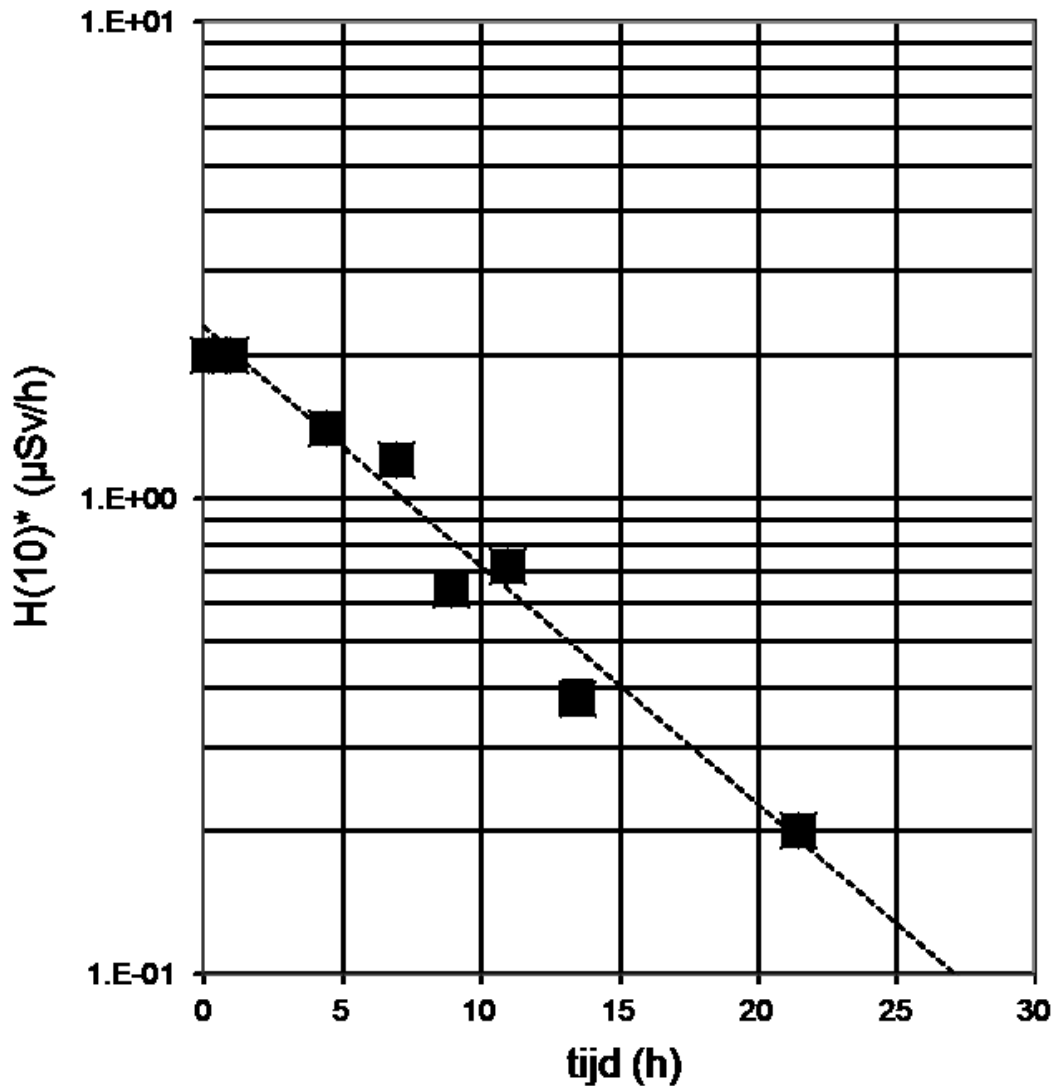
Legenda nuclidekaart

Arrangement of Symbols and Data

Anordnung der Symbole und Daten

<p>Elements symbol of the element standard atomic weight based on C 12 = 12</p> <p>absorption cross section for thermal neutrons (barn)</p>		<p>Elemente Elementsymbol Standard-Atomgewicht bezogen auf C 12 = 12</p> <p>Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen (barn)</p>
<p>Stable Nuclides symbol of the element, number of nucleons abundance in naturally occurring element (atom %)</p> <p>(n, γ)-cross sections for the formation of the metastable and the ground state of Te 127 by thermal neutrons (barn)</p>		<p>Stabile Nuklide Elementsymbol und Nukleonenzahl Häufigkeit im natürlichen Element (Atom %)</p> <p>(n, γ)-Querschnitt für die Bildung des metastabilen und des Grundzustandes des Te 127 mit thermischen Neutronen (barn)</p>
<p>symbol of the element, number of nucleons left hand side: half-life of metastable state; γ-energy (keV) of the isomeric transition</p> <p>right hand side: abundance in the natural element (atom %) (n, γ)-cross section for the thermal neutrons (barn)</p>		<p>Elemente Elementsymbol und Nukleonenzahl</p> <p>linke Spalte: Halbwertszeit des metastabilen Zustands; γ-Energie des Isomerenübergangs (keV)</p> <p>rechte Spalte: Häufigkeit im natürlichen Element (Atom %) (n, γ)-Querschnitt für thermische Neutronen (barn)</p>
<p>Primordial radionuclides symbol of the element, number of nucleons abundance in naturally occurring element (atom %) half-life double β decay</p> <p>(n, γ) cross sections for the formation of the metastable and the ground state of Se 83 by thermal neutrons (barn)</p>		<p>Primordiale Radionuklide Elementsymbol und Nukleonenzahl Häufigkeit im natürlichen Element (Atom %) Halbwertszeit doppelter β-Zerfall</p> <p>(n, γ)-Querschnitte für die Bildung des metastabilen und des Grundzustandes des Se 83 mit thermischen Neutronen (barn)</p>
<p>Unstable Nuclides symbol of the element, number of nucleons half-life mode of decay, endpoint energy of β^- radiation (MeV) γ-energy (keV), conversion electrons, mode of decay, γ-energy (keV) < 1% (n, γ)-cross section (barn)</p>		<p>Instabile Nuklide Elementsymbol und Nukleonenzahl Halbwertszeit Zerfallsart und Maximalenergie der β-Strahlung (MeV) γ-Energie (keV), Konversionselektronen, Zerfallsart, γ-energy (keV) < 1% (n, γ)-Querschnitt (barn)</p>
<p>symbol of the element, number of nucleons half-lives</p> <p>both states decay by electron capture; the metastable state decays to the ground state with a branching ratio for IT in the range 50% – 95%</p>		<p>Elemente Elementsymbol und Nukleonenzahl Halbwertszeiten</p> <p>Beide Zustände zerfallen durch Elektroneneinfang; der metastabile Zustand fällt auf den Grundzustand zurück, wobei das Verzweungsverhältnis für IT in einem Bereich von 50% bis 95% liegt.</p>
<p>symbol of the element, number of nucleons left hand side: spontaneous fission isomer, $T < 0.1$ s</p> <p>right hand side: decay data of the ground state. "g" indicates that the daughter Np 236g is formed to at least 95%; a population of Np 236m up to 5% cannot be excluded.</p>		<p>Elemente Elementsymbol und Nukleonenzahl</p> <p>linke Spalte: Spontanspaltendes Isomer, $T < 0,1$ s</p> <p>rechte Spalte: Zerfallsdaten des Grundzustandes. „g“ bedeutet, daß die Tochter Np 236g mindestens zu 95% gebildet wird; eine Populierung des Np 236m bis zu 5% ist nicht ausgeschlossen.</p>
<p>symbol of the element, number of nucleons</p> <p>when emission of a particle results from a resonance state in an unstable nucleus, both the resonance width Γ (MeV) and the half-life $T_{1/2}$ are given</p>		<p>Elemente Elementsymbol und Nukleonenzahl</p> <p>Wenn die Emission eines Partikels aus einem Resonanzzustand eines instabilen Kerns resultiert, werden sowohl die Resonanzbreite Γ (MeV) als auch die Halbwertszeit $T_{1/2}$ angegeben</p>

De nettowaarde van het omgevingsdosisequivalenttempo $\dot{H}^*(10)$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) als functie van de tijd (h) na injectie



De nettowaarde van het omgevingsdosisequivalenttempo $\dot{H}^*(10)$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) als functie van de tijd (h) na injectie. De stippellijn komt overeen met de fysische halveringstijd $T_{1/2} = 6,006$ h van $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

**Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman
(3e druk 2015), blz. 124-125: ^{99m}Tc**

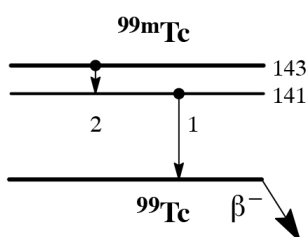
^{99m}Tc
Z = 43

Halveringstijd en vervalconstante

$$T_{1/2} = 6,006 \text{ h} = 2,17 \times 10^4 \text{ s}$$

$$\lambda = 3,21 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	y (Bq·s) ⁻¹	E (keV)
γ ₁	0,889	141
ce M γ ₂	0,914	2
ce N γ ₂	0,076	2
K _α	0,062	18
LMX	0,102	2

Bronconstanten

Kermatempo in lucht	$k = 0,018 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,023 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 1,95 \times 10^{17} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^2 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^7 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 5 \times 10^{-11} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 1,1 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 10 \text{ TBq}$ $A_2 = 4 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ^{99m}Tc is de dochter van ⁹⁹Mo. Het wordt geproduceerd in een Mo/Tc-generator en op zeer grote schaal in de nucleaire geneeskunde gebruikt voor diagnostische doeleinden: voor afbeeldingen en functiestudies.

N = 56

^{99m}Tc

Metabool model

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat technetium zich vanuit het bloed als volgt over de verschillende organen en weefsels van het lichaam verdeelt: 4% naar de schildklier, 10% naar de maagwand, 3% naar de lever en de rest naar de overige organen/weefsels. De biologische halveringstijd voor verblijf in het bloed is gesteld op 0,02 dagen, terwijl voor de organen/weefsels wordt aangenomen:

Fractie	$T_{1/2}$
0,75	1,6 d
0,20	3,7 d
0,05	22 d

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

Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie

Alle verbindingen $f_1 = 0,8$

Inhalatie

Halogenide, nitraat, hydroxide, oxide	$f_1 = 0,8$	Klasse M
Overige verbindingen	$f_1 = 0,8$	Klasse F

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

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

Gegevens voor totale-lichaamstelling

Na eenmalige inname

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

Specifiek geabsorbeerde fractie SAF(T ← S) (g⁻¹)

	Fotonenergie (in MeV)			
	0,050	0,100	0,200	0,500
SAF (in g⁻¹)	8,13E-6	5,41E-6	4,95E-6	4,97E-6

Specifiek geabsorbeerde fractie SAF(T ← S) (g⁻¹)
doelorgaan = bronorgaan = "totale lichaam" voor verschillende waarden van de fotonenergie (MeV); uit publicatie ICRP-23, blz. 462.

Brief dierenarts

Beste stralingsbeschermingsdeskundige,

Hierbij vraag ik u om voor onze dierenartspraktijk een registratie voor een C-boog aan te vragen. Het gaat om een tweedehands systeem, aangeschaft bij de fabrikant. Deze 80-kV-C-boog vervangt de huidige 80-kV-röntgenopstelling.

De C-boog zal vooral gebruikt worden voor orthopedische operaties bij honden. Naar verwachting zal het gaan om 150 verrichtingen per jaar met een gemiddelde doorlichttijd van 10 seconden per verrichting.

De C-boog gaat gebruikt worden in onze röntgenkamer. Tijdens de verrichtingen zullen een dierenarts en een assistent aanwezig zijn, die allebei een loodschort dragen. Om de stroostralingsdosis zo laag mogelijk te houden wordt het toestel altijd gebruikt met een verticale bundel met de röntgenbuis onder de tafel.

Om uw arbeidsuren laag te houden heb ik alvast een risicoanalyse opgesteld. Hiervoor heb ik metingen gedaan met de oude opstelling, om de afscherming van onze röntgenkamer vast te stellen.

Als meer gegevens nodig zijn kan ik die uiteraard opsturen.

M.v.g., de dierenarts

RI&E van de dierenarts

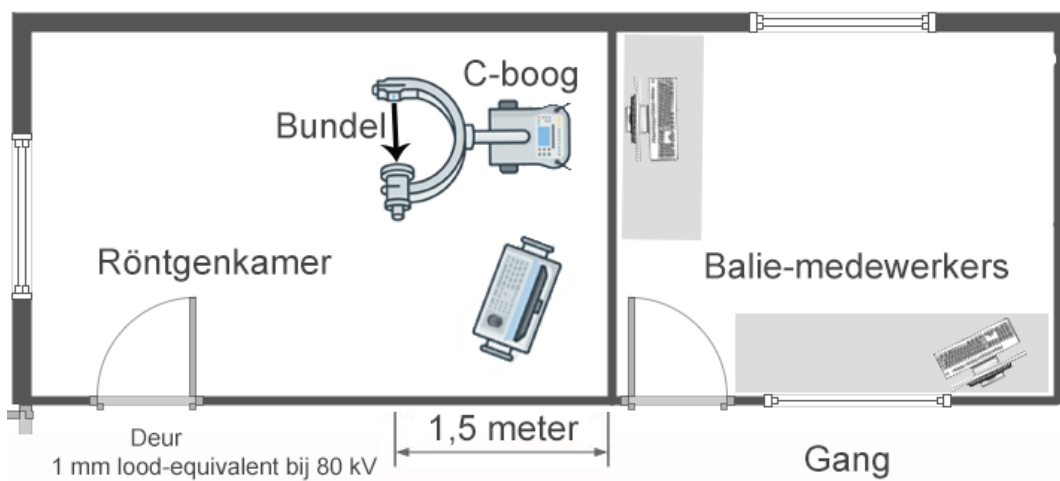
1. Blootstelling en indeling medewerkers in röntgenkamer

- Totale doorlichttijd is 150x10 seconden = 1500 seconden
- Volgens de fabrikant is het omgevingsdosisequivalenttempo haaks op de röntgenbundel van het nieuwe toestel maximaal $\dot{H}^*(10) = 1 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ op 1 meter afstand
- Maximale jaardosis is $1 \text{ mSv/uur} / (1500 / (60 \times 60)) = 2,38 \text{ mSv}$

Mensen in de röntgenkamer moeten dus worden ingedeeld als B-werkers. Deze mensen dragen nu al TLD-badges en een loodschort. De hoogste badgeuitslag is tot nog toe 0,32 mSv/jaar geweest.

2. Meting aanwezige afscherming en overzicht van de ruimte

Strooiestraling uit een emmer water, gemeten met geleende detector met NaI-kristal.



Locatie	Wijzeruitslag
Gemeten in de deuropening	4000 cps
Gemeten achter de muur, net naast de deur	30 cps
Gemeten achter de looddeur	10 cps
Gemeten met uitgeschakeld toestel	5 cps

De 5 cps is gelijk bij alle metingen en kan dus verwaarloosd worden.

Zie volgende pagina voor het vervolg.

3. Loodequivalent

Op de deur staat een sticker met "1 mm loodequivalent bij 80 kV". Dit geldt voor de stroostraling die vrijkomt bij het doorstralen van een fantoom met een bij 80 kV opgewekte röntgenbundel.

De muur laat 3x meer straling door dan deze deur en is dus minder dan 1 mm loodequivalent. Het loodequivalent van de muur is $1 \text{ mm} \times (10/30) = 0,33 \text{ mm}$.

4. Afschermings- en dosisberekening baliemedewerker

De halveringsdikte van lood bij deze röntgenstraling is 0,10 mm. De muur laat dan dus nog $100\% \times 0,5^{(0,33/0,1)} = 10\%$ van de straling door.

De dichtstbijzijnde muur is op 1,5 meter van de bundel. Achter deze muur zit een baliemedewerker. De baliemedewerker ontvangt dus maximaal $0,10 \times 2,38 \text{ mSv} \times (1/1,5)^2 = 0,16 \text{ mSv}$ per jaar.

Dit is onder de limiet voor niet-blootgestelde medewerkers.

Stappenplan wanneer vraagt u een registratie of vergunning aan?

Het stappenplan is een weergave van de tekst in het hoofdstuk 3 van het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming.
 (<https://www.autoriteitnvs.nl/binaries/anvs/documenten/publicatie/2018/01/30/stappenplan/Stappenplan+controlestelsel.pdf>)

NB Dit is een deel van het stappenplan, niet-relevante stappen zijn weggelaten.



De ionisatie-energie W voor elektronen, protonen en alfadeeltjes in verschillende gassen

Gas	Elektronen $E > 10 \text{ keV}$	α -deeltjes $E = 5,3 \text{ MeV}$	Protonen $E = 1 \text{ MeV}$
CH	27,3	29,1	30,0
C ₂ H ₂	25,8	27,4	
C ₂ H ₄	25,8	27,9	
H ₂	36,5	36,4	
N ₂	34,8	36,4	36,5
O ₂	30,8	32,2	
H ₂ O	29,6		
CO ₂	33,0	34,2	34,5
Ar	26,4	26,3	26,5
Droge lucht	33,97	35,1	35,2

Gemiddelde energie W in eV, nodig om een ion-elektronpaar te creëren (ontleend aan ICRU 31).