Basale dosimetrie deel 2

2026

Coördinerend stralingsdeskundige (CD)
Jenny Siegersma, klinisch fysicus & stralingsbeschermingsdeskundige



Vanmorgen:

- Exposie, kerma, geabsorbeerde dosis, equivalente dosis en effectieve dosis

- Aan het eind van de middag: kunnen jullie uitrekenen wat de effectieve dosis is van blootstelling van een bepaalde activiteit (Bq) van een bepaalde nuclide

Onderwerpen

- Bronconstante (dosis als gevolg van uitwendige bestraling)
- Vuistregels bronconstanten
- ICRU-bol (weefselequivalent)
- Omgevingsdosisequivalent H*(d)
- Bestralingsgeometrieën
- Persoonsdosisequivalent $H_p(d)$
- Persoonsdosis $H_p(0,07)$ en $H_p(10)$

Bronconstante

- In de praktijk: ik heb een radioactieve stof, ik wil gewoon snel kunnen berekenen wat de geabsorbeerde dosis is die iemand krijgt aan de hand van het aantal Bq…

Bronconstante!

§7.6

Bronconstante

- Constante waarmee je op een snelle manier activiteit (in Bq) naar geabsorbeerde dosis (in Gy) kan omrekenen

$$\dot{D} = d\frac{A}{x^2}$$

$\dot{D}$= dosistempo (in Gy/h)
A = activiteit (in Bq)
x = afstand (in m)
d = bronconstante (in $Gy \cdot h^{-1} \cdot Bq^{-1} \cdot m^2$)

Bronconstante vuistregels

Tabel 7.3 De bronconstante d voor α-, β- en γ-straling; energie E in MeV.

straling	*d* ($\mu Gy \cdot h^{-1} \cdot MBq^{-1} \cdot m^2$)	*E (MeV)*
α	10 000 / $\sqrt{E}$	2 - 10
β	9	1 - 10
γ	E / 7	0,06 - 2

Vraag 5

Een radioactieve bron zendt ɣ-fotonen uit met een energie van 1,6 MeV; de emissiewaarschijnlijkheid is 100%.

- Opdracht: maak een schatting van de bronconstante (in μGy h^{-1} MBq^{-1} m^2)

Aanwijzing: maak gebruik van de vuistregel $d_\gamma = \frac{E_\gamma}{7}$

Uitwerking vraag 5

- $d_\gamma = \frac{E_\gamma}{7} = \frac{1{,}6}{7} = 0{,}23\ \mu Gy \cdot h^{-1} \cdot MBq^{-1} \cdot m^2$

Bronconstante

- Snelle manier om de geabsorbeerde dosis te berekenen
- Nu: de equivalente dosis berekenen

Omgevingsdosisequivalent

- Constante waarmee je op een snelle manier van activiteit (in Bq) naar equivalente dosis (in Sv) kan omrekenen

$$\dot{H} = h\frac{A}{x^2}$$

In geval van emmissiewaarschijnlijkheid ≠100: neem de emmissiewaarschijnlijkheid mee!

$\dot{H}$ = equivalente dosistempo (in Sv/h)
A = activiteit (in Bq)
x = afstand (in m)
h = omgevingsdosisequivalenttempo (in $\text{Sv} \cdot h^{-1} \cdot Bq^{-1} \cdot m^2$)

Omgevingsdosisequivalenttempo vuistregels

- Voor β- en γ straling: $w_R = 1 \rightarrow h \approx d$
- Vuistregel: een β-bron met een activiteit van 1 MBq geeft op 1 meter afstand een equivalent dosistempo ter grootte van 9 $\mu Sv \cdot h^{-1}$ (voor E 0,2 – 20 MeV)
- Vuistregel: een γ-bron met een activiteit van 1 MBq geeft op 1 meter afstand een equivalent dosistempo ter grootte van $\frac{E_\gamma}{7}$ $\mu Sv \cdot h^{-1}$ (E_γ in MeV)

Omgevingsdosisequivalenttempo

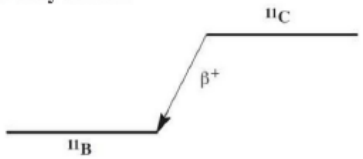
- Voor het examen: staat in handboek radionucliden van A.S. Keverling-Buisman

^{11}C Z = 6

Half-life, decay constant and carrier free specific activity

$T_{1/2} = 20{,}39$ min $= 1{,}22\times10^{3}$ s $\quad \lambda = 5{,}67\times10^{-4}$ s^{-1} $\quad A_{sp} = 3{,}10\times10^{19}$ Bq/g

Decay scheme



Emitted radiation

Type	y (Bq·s)$^{-1}$	E (keV)
β^+	1,00	385 | 960
$\gamma^{\pm}$	2,00	511

External irradiation

Ambient dose equivalent	0,14 µSv/h per MBq/m^2
Contamination skin dose equivalent	2,26 mSv/h per kBq/m^2

Exemption levels

Unlimited quantities of solid material	10^3 Bq/g
Moderate quantities, all materials	10 Bq/g
^{11}CO and $^{11}CO_2$	10^9 Bq
Other ^{11}C-compounds	10^6 Bq

Clearance level

Unlimited quantities of solid material	10^3 Bq/g

Transportation

$A_1 = 1$ TBq

$A_2 = 0{,}6$ TBq

Production and application

Carbon-11 is produced via the $^{11}B(p,n)$ or the $^{14}N(p,\alpha)$ reaction.
Applications usually involve medical positron-emission tomography (PET-scan).

§9.2.2

Omgevingsdosisequivalenttempo

- Voor in het echte leven:
  - Keverling-Buisman SUPER handig, maar niet alle nucliden staan erin.
- Handige bron:
  - “Personal dose-equivalent conversion coefficients for 1252 radionuclides” van Otto, 2016
  - “Radiation protection from external exposure to radionuclides: a monte carlo data handbook” van Amato, 2018

Cs ijkbron* → berekenen van de huiddosis t.g.v. de β- en γ-straling

Een ^{137}Cs-ijkbron met afmetingen
van 2 mm × 10 mm × 20 mm heeft
een activiteit van 370 kBq = 0,37 MBq.



De activiteit bevindt zich in het centrum van de ijkbron. Het nuclide is een β-emitter en zendt daarnaast een γ-foton uit met een energie 0,66 MeV met een emissiewaarschijnlijkheid f_γ = 0,85

* Zie ook Hoofdstuk 16.2.2 Boek SH

Als men de ijkbron aan de smalste zijde tussen duim en wijsvinger beetpakt, is de afstand tot de huid 1 mm.

a) Wat is de equivalente huiddosistempo van de β-straling?

b) Wat is de equivalente huiddosistempo van de γ-straling?

Een ^{137}Cs-ijkbron met afmetingen van 2 mm × 10 mm × 20 mm heeft een activiteit van 370 kBq = 0,37 MBq.

De activiteit bevindt zich in het centrum van de ijkbron. Het nuclide is een β-emitter en zendt daarnaast een γ-foton uit met een energie 0,66 MeV met een emissiewaarschijnlijkheid f_γ = 0,85

Wat is de equivalente huiddosistempo van de β-straling?

Vuistregel voor β-straling

Activiteit in MBq

- $H_\gamma = 9 \cdot \frac{0{,}37}{(10^{-3})^2} = 3{,}3 \cdot 10^6 \mu Sv \cdot h^{-1}$



Afstand tot huid (1mm) in kwadraat in m

Wat is de equivalente huiddosistempo van de γ-straling?

Foton energie + vuistregel voor γ -straling

emissiewaarschijnlijkheid

- $H_\gamma = \frac{0{,}66}{7} \cdot \frac{0{,}85}{(10^{-3})^2} \cdot 0{,}37 = 0{,}03 \cdot 10^6 \mu Sv \cdot h^{-1}$



Afstand in m

Activiteit in MBq

Wat is de equivalente huiddosistempo van de γ-straling? (alternatief)

- Gebruik de bronconstante uit Keverling-Buisman

$$H_\gamma = \frac{d \cdot A}{r^2} = \frac{0{,}078 \cdot 0{,}37}{(10^{-3})^2} \approx 0{,}03 \cdot 10^6 \, \mu Sv \cdot h^{-1}$$

- Let op: Emmissiewaarschijnlijkheid zit al in deze constante verwerkt

Stel dat de handeling 1 seconde duurt.
Als een werknemer dit gedrag tweemaal per dag herhaalt, wat is dan de equivalente jaardosis?

- 2 x per dag
- 5 dagen in de week
- 50 weken werken in een jaar
- $3{,}33 \cdot 10^{6} \mu Sv \cdot h^{-1}$ equivalente dosistempo
- 3600 s in 1 uur

$$2 \cdot 5 \cdot 50 \cdot 3{,}33 \cdot 10^{6} / 3600 \approx 500 \text{ mSv}$$

- Deze dosis H_{handen} is gelijk aan de jaarlimiet voor blootgestelde werknemers!

Dosisequivalenttempo wijziging

- Er zijn nieuwe dosisequivalenttempi berekend
- In de praktijk kan je de oude en de nieuwe waarden tegenkomen

N.B. Veranderingen ten aanzien van het (omgevings) dosisequivalenttempo van een radionuclide:

- Handboek Radionucliden (3e druk - A.S. Keverling Buisman)

^{60}Co → kermatempo in lucht = 0,31 µGy h^{-1} MBq^{-1} m^2

→ omgevingsdosisequivalenttempo = 0,36 µSv h^{-1} MBq^{-1} m^2

^{137}Cs → kermatempo in lucht = 0,077 µGy h^{-1} MBq^{-1} m^2

→ omgevingsdosisequivalenttempo = 0,093 µSv h^{-1} MBq^{-1} m^2

- Radionuclide Handbook (4th edition - A.S. Keverling Buisman)

^{60}Co → 'point source ambient dose equivalent' = 0,31 µSv h^{-1} MBq^{-1} m^2

^{137}Cs → 'point source ambient dose equivalent' = 0,078 µSv h^{-1} MBq^{-1} m^2

- Opmerkelijk is dat uit onderzoek is gebleken dat de nieuwe constanten voor het omgevingsdosisequivalenttempo voor deze energieën (^{60}Co – gemiddeld 1250 keV en ^{137}Cs – 662 keV) vrijwel gelijk zijn aan de ‘oude’ kermatempi in lucht……

- Handboeken (2015 en 2020) vergeleken:

^{60}Co → kermatempo in lucht = 0,31 µGy h^{-1} MBq^{-1} m^2
→ ‘point source ambient dose equivalent’ = 0,31 µSv h^{-1} MBq^{-1} m^2

^{137}Cs → kermatempo in lucht (Cs 137) = 0,077 µGy h^{-1} MBq^{-1} m^2
→ ‘point source ambient dose equivalent’ = 0,078 µSv h^{-1} MBq^{-1}

Omgevingsdosisequivalent

- Niet gedefinieerd in een mens maar…

In een bol!

- Een ICRU-bol om precies te zijn

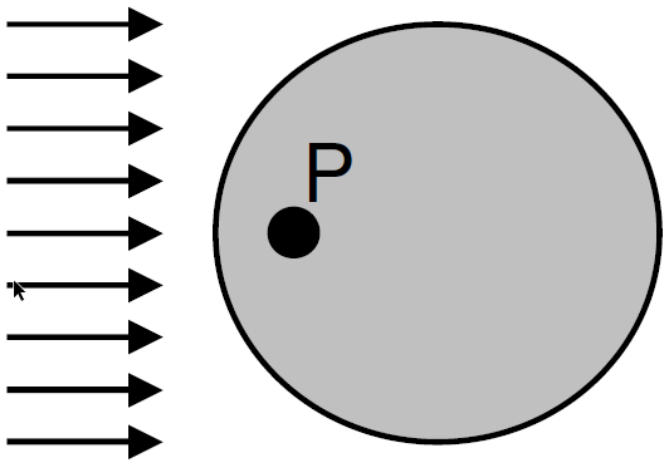
§9.2.1

ICRU-bol

Fantoom dat wordt gebruikt in de omgevingsdosimetrie

Bol met diameter 30 cm en een dichtheid van 1 $g\ cm^{-3}$

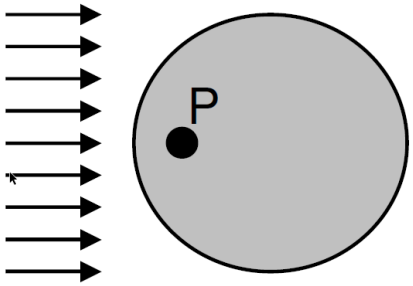
Omgevingsdosisequivalent H*(d) gedefinieerd als de equivalente dosis in P (d in mm)



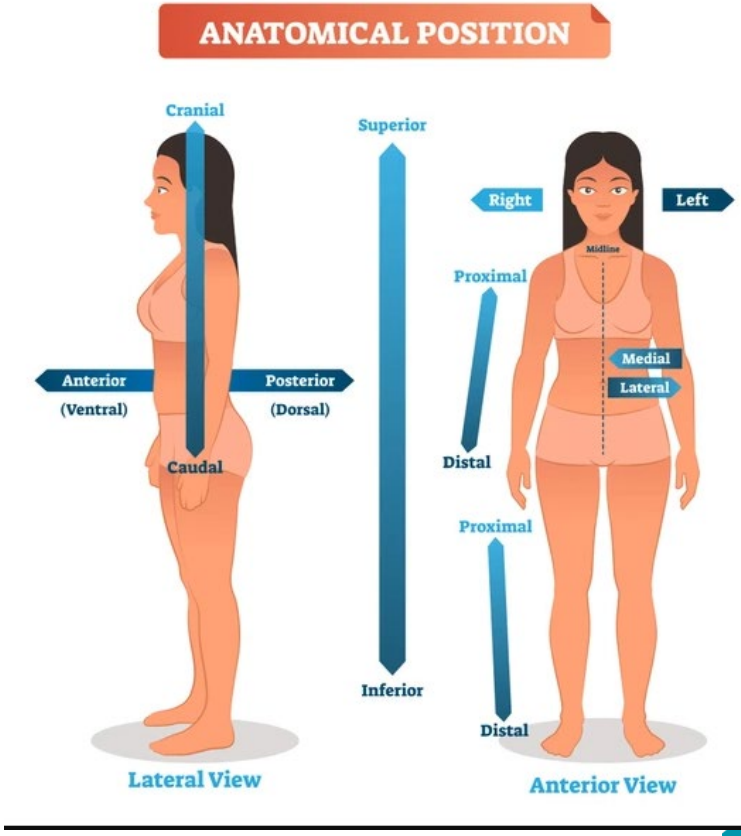
Figuur 9.2 De ICRU-bol.

Omgevingsdosisequivalent

- Is per definitie niet afhankelijk van de werkelijke richting waarvan de straling komt
- De effectieve dosis is dat wel!

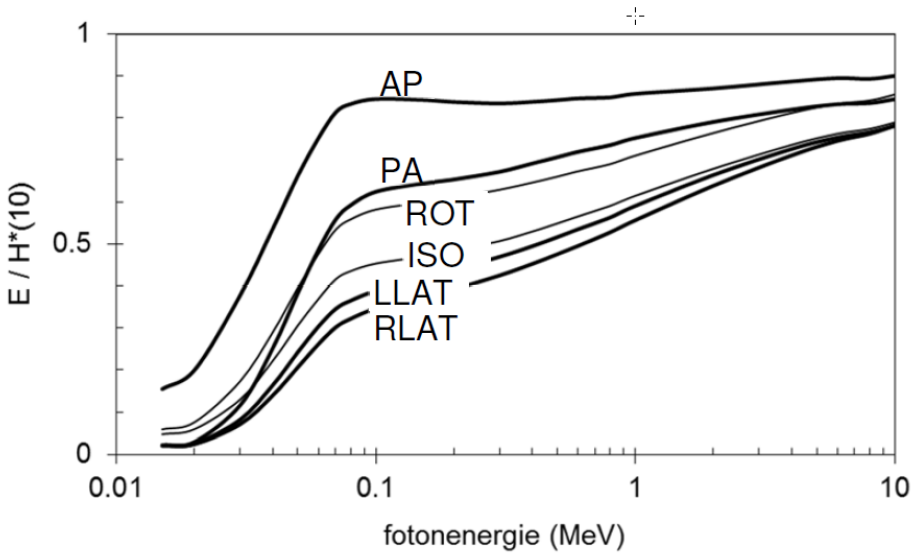


Figuur 9.2 De ICRU-bol.



Omgevingsdosisequivalent

- H*(10) is een lichte overschatting van de effectieve dosis indien AP aangestraald. Voor straling vanuit andere richting is het een grotere overschatting



Figuur 9.3 Verhouding van effectieve dosis E en omgevingsdosisequivalent H(10) voor verschillende geometrieën, als functie van de fotonenergie (ontleend aan [3]).*

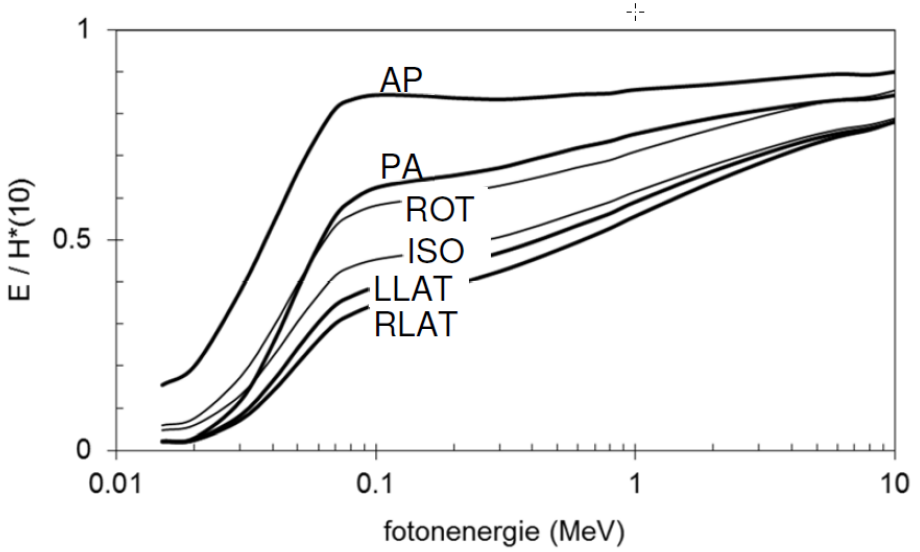
Definitie van verschillende waardes voor de equivalente dosis [H*(d)]

- H*(10) goede benadering van de effectieve dosis (E) in AP geometrie;
- H*(0,07) goede schatter van de equivalente huiddosis;
- H*(3) voor de equivalente oog(lens) dosis

Hoofdstuk 9 vraag 3

Tijdens een isotrope bestraling met 100 keV fotonen wordt een effectieve dosis van 10 mSv ontvangen. Wat zou de effectieve dosis zijn geweest bij een bestraling van ……

a) Voren
b) Achteren
c) Links
d) rechts

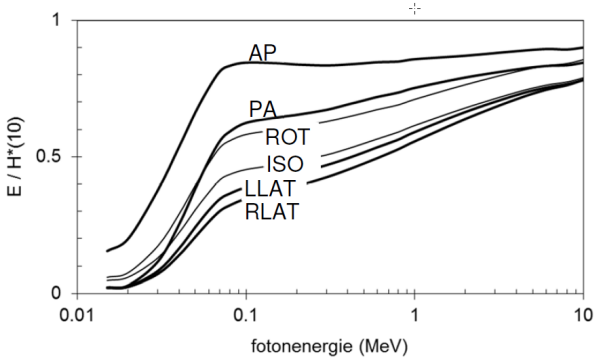


Figuur 9.3 Verhouding van effectieve dosis E en omgevingsdosisequivalent H(10) voor verschillende geometrieën, als functie van de fotonenergie (ontleend aan [3]).*

Uitgangspunt ‘uniform vanuit alle richtingen’ (= ‘isotroop’)

- Curve isotroop: E(ISO)/H*(10) = 0,45
- Effectieve dosis ISO: 10 mSv
- → $\frac{10\ mSv}{H*(10)} = 0{,}45$ → H*(10) =$\frac{10\ mSv}{0{,}45} = 22{,}22$

- Curve AP: E(AP)/H*(10) = 0,85
- → $\frac{E(AP)}{22{,}22} = 0{,}85$
- →$E(AP) = 0{,}85 * 22{,}22 = 18{,}9$

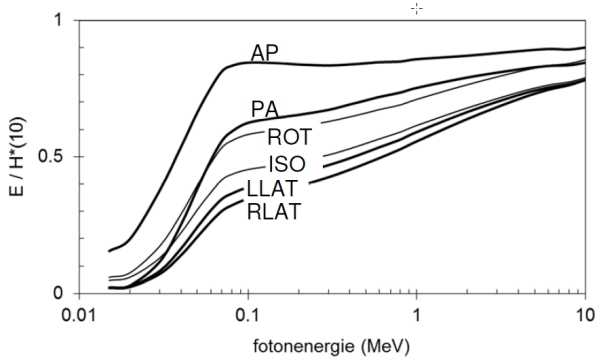


Figuur 9.3 Verhouding van effectieve dosis E en omgevingsdosisequivalent H(10) voor verschillende geometrieën, als functie van de fotonenergie (ontleend aan [3]).*

Uitgangspunt ‘uniform vanuit alle richtingen’ (= ‘isotroop’)

- Curve isotroop: E/H*(10) = 0,45

- E(AP)/H*(10) = 0,85 → E(AP) = 0,85/0,45 x 10 mSv (18,9)
- E(PA)/H*(10) = 0,63 → E(PA) = 0,63/0,45 x 10 mSv (14,0)
- E(LL)/H*(10) = 0,39 → E(LL) = 0,39/0,45 x 10 mSv (8,7)
- E(RL)/H*(10) = 0,35 → E(RL) = 0,35/0,45 x 10 mSv (7,8)



Figuur 9.3 Verhouding van effectieve dosis E en omgevingsdosisequivalent H(10) voor verschillende geometrieën, als functie van de fotonenergie (ontleend aan [3]).*

Praktijk situatie

- Bij radionucliden gebruik ik de omgevingsequivalent voor het berekenen van:
  - De terreingrensdosis (H*(10))
  - De geschatte effectieve dosis van mijn medewerkers en omstanders (H*(10))
  - Geschatte huiddosis (H*(0,07))
  - Geschatte ooglensdosis (H*(3))

Persoonsdosis meten

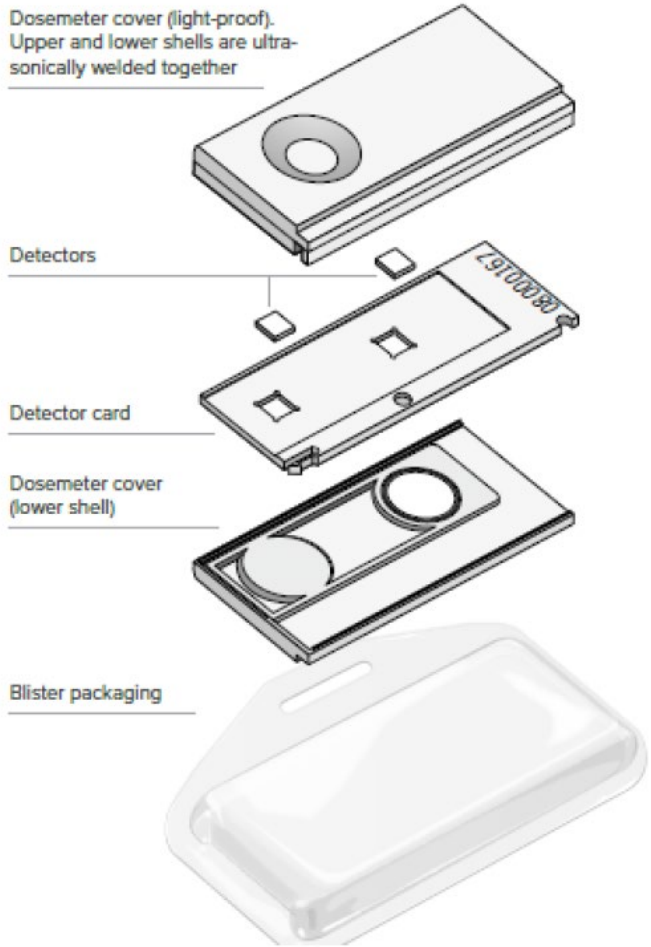
- Voor blootgestelde medewerkers is de werkgever verplicht de persoonsdosis te meten



Persoonsdosis $H_p(0,07)$ en $H_p(10)$

- Mirion stralingsbadge (BeOSL)
- Meet huid- en dieptedosis ($H_p(0,07)$ en $H_p(10)$)
- Indien nodig een badge voor betas of neutronen





Dosisrapport Persoonsdosimetrie
Mirion Dosimetry Services

Postbus 60067, 6800 JB Arnhem
Tel: (026) 791 10 11 E-mail: dosimetrie-nl@mirion.com

DOSIMETRY SERVICES
A MIRION MEDICAL COMPANY

Groep	Periodiciteit	Jaar/Periode	Versie nr.	Soort	Datum rapportage
V8341	MD	2025/07	1	X,γ	27/08/2025

MARTINI ZIEKENHUIS
T.A.V. NUCLEAIRE GENEESKUNDE
POSTBUS 30033
9700RM GRONINGEN

Aantallen dosismeters	
Terugontvangen deze periode	
Idem van overige periodes	
Verzonden voor nieuwe periode	
Dosismeter voor nieuwe of andere drager	
Niet terugontvangen van deze periode	
Idem van 1 periode geleden	
Idem van 2 perioden geleden	

*** Indien DNO's van 2 perioden geleden NIET voor 19/09/2025 terug dan volgt een factuur!

Betekenis afkortingen	
'<'	= kleiner dan 0,01 mSv
	(../..) = jaar/periode, indien afwijkend
DNO	(../..) = dosismeter nog niet ontvangen
NAG	(../..) = nagekomen rapportage
TVO	(../..) = dosismeter te vroeg ontvangen
BES	(../..) = dosismeter beschadigd
DMV	(../..) = dosismelding volgt
NEV	(../..) = dosismeter niet evalueerbaar
GEC	(../..) = gecorrigeerde dosis

						Dosisresultaten (mSv)				NDRIS cumulatieve dosisgegevens (mSv)		
						Periode		2025				
NDRIS-nummer	Abonnement	Naam	Man/ vrouw	Soort werk	Bijzonderheden	Oppervlakte dosis	Diepte dosis	Diepte dosis	m/n	2025	Levens dosis	Sedert

Collectieve effectieve dosis

- De sommatie van de effectieve dosis van alle individuen in een bepaalde groep (eenheid: mens-Sievert, mensSv)

- Gebruik in praktijk: hoeveel mensSv scheelt het als ik deze looddikte gebruik als afscherming?

Vraag 1

In een gemengd stralingsveld loopt een werknemer een exposie op van 70 mR ten gevolge van γ-fotonen en een geabsorbeerde dosis van 0,5 mGy ten gevolge van neutronen. De W_r van de neutronen is 8 Sv Gy^{-1}: ga ervan uit dat het gehele lichaam gelijkmatig is bestraald.

Bereken de effectieve dosis (1R $\approx$ 0,01Gy)

Uitwerking vraag 1

Het lichaam is gelijkmatig bestraald: equivalente dosis = effectieve dosis

Gamma straling

$w_R = 1\ Sv \cdot Gy^{-1}$

Effectieve dosis:

$70\ \text{mR} \cdot 0{,}01\ \text{mGy} \cdot \text{mR}^{-1}$
$= 0{,}70\ \text{mGy}$
$1\ \text{mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot 0{,}70\ \text{mGy}$
$= 0{,}70\ \text{mSv}$

neutronenstraling

$w_R = 8\ Sv \cdot Gy^{-1}$

Effectieve dosis:

$8\ Sv \cdot Gy^{-1} \cdot 0{,}5\ \text{mGy}$
$= 4{,}0\ \text{mSv}$

Totale effectieve dosis:

0,7 mSv + 4,0 mSv = **4,7 mSv**

Vraag 2

De bijdrage tot de effectieve dosis t.g.v. bestraling van de longen door de α-emitter radon bedraagt 0,90 mSv jaar^{-1}. De W_r voor α-straling is 20 en de weefselweegfactor (W_T) voor de longen is 0,12.

a) Hoeveel bedraagt de equivalente longdosis jr^{-1}?
b) Bereken de geabsorbeerde jaardosis van de longen.

Uitwerking vraag 2

a) Van effectieve dosis naar equivalente dosis:

$$\mathrm{H_{long}} = \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{w_{long}}} = \frac{0{,}90\ \mathrm{mSv \cdot j^{-1}}}{0{,}12} = 7{,}5\ \mathrm{mSv \cdot j^{-1}}$$

b) Van equivalente dosis naar geabsorbeerde dosis:

$$\mathrm{D_{long}} = \frac{H_{long}}{w_R} = \frac{7{,}5\ mSv \cdot j^{-1}}{20\ Sv \cdot Gy^{-1}} = 0{,}38\ mGy$$

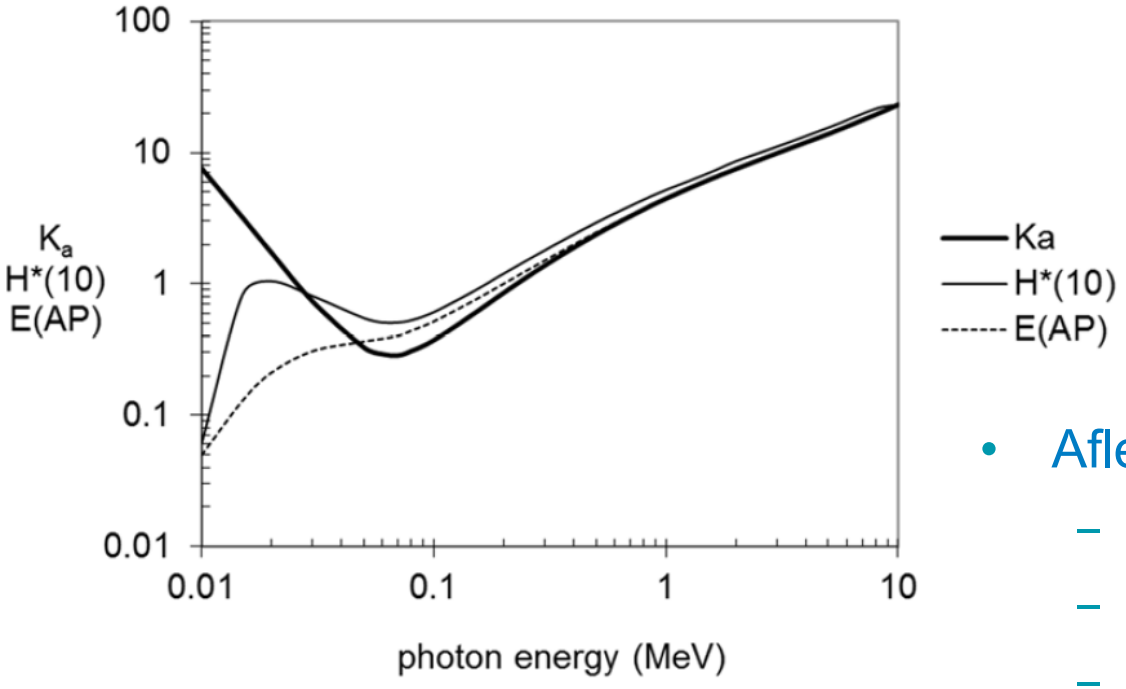
Vraag 4

In een veld van 20 keV fotonen bedraagt het fluentietempo $\varphi = 1{,}0\times10^{9}\ cm^{-2}\ s^{-1}$. De fotonen komen uitsluitend van voren.

a) Hoeveel bedraagt het kermatempo in lucht?
b) Wat is het omgevingsdosisequivalenttempo?
c) Hoeveel bedraagt de (het) effectieve dosis(tempo…)?

Gebruik figuur 9.5 uit het boek

K_a, $H^*(10)$ en E(AP) per eenheid van fluentie als functie van E_γ



Figuur 9.5 Kerma in lucht K_a (in pGy), omgevingsdosisequivalent $H^*(10)$ (in pSv) en effectieve dosis E(AP) (in pSv) per eenheid van fluentie (in cm^{-2}) als functie van de fotonenergie (ontleend aan [3]).

- Aflezen uit figuur bij 0,02 MeV:
  - $K_a = 1{,}3\ \mathrm{pGy} \cdot \mathrm{cm}^2$
  - $H^*(10) = 1{,}0\ \mathrm{pSv} \cdot \mathrm{cm}^2$
  - $E(AP) = 0{,}2\ \mathrm{pSv} \cdot \mathrm{cm}^2$

Uitwerking vraag 4

a) Kermatempo in lucht:

$K_a \cdot \varphi = 1{,}3 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{Gy} \cdot \mathrm{cm}^2 \cdot 1{,}0 \cdot 10^9\ \mathrm{cm}^{-2} \cdot \mathrm{s}^{-1} = 1{,}3 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{Gy} \cdot \mathrm{s}^{-1} = \mathbf{1{,}3\ mGy \cdot s^{-1}}$

b) Omgevingsdosisequivalenttempo:

$H^*(10) \cdot \varphi = 1{,}0 \cdot 10^{-12}\mathrm{Sv} \cdot \mathrm{cm}^2 \cdot 1{,}0 \cdot 10^9\ \mathrm{cm}^{-2} \cdot \mathrm{s}^{-1} = 1{,}0 \cdot 10^{-3}\mathrm{Sv} \cdot \mathrm{s}^{-1} = \mathbf{1{,}0\ mSv \cdot s^{-1}}$

c) Effectieve dosistempo:

$E(AP) \cdot \varphi = 0{,}2 \cdot 10^{-12}\mathrm{Sv} \cdot \mathrm{cm}^2 \cdot 1{,}0 \cdot 10^9 \mathrm{cm}^{-2} \cdot \mathrm{s}^{-1} = 0{,}2 \cdot 10^{-13}\mathrm{Sv} \cdot \mathrm{s}^{-1} = \mathbf{0{,}2\ mSv \cdot s^{-1}}$

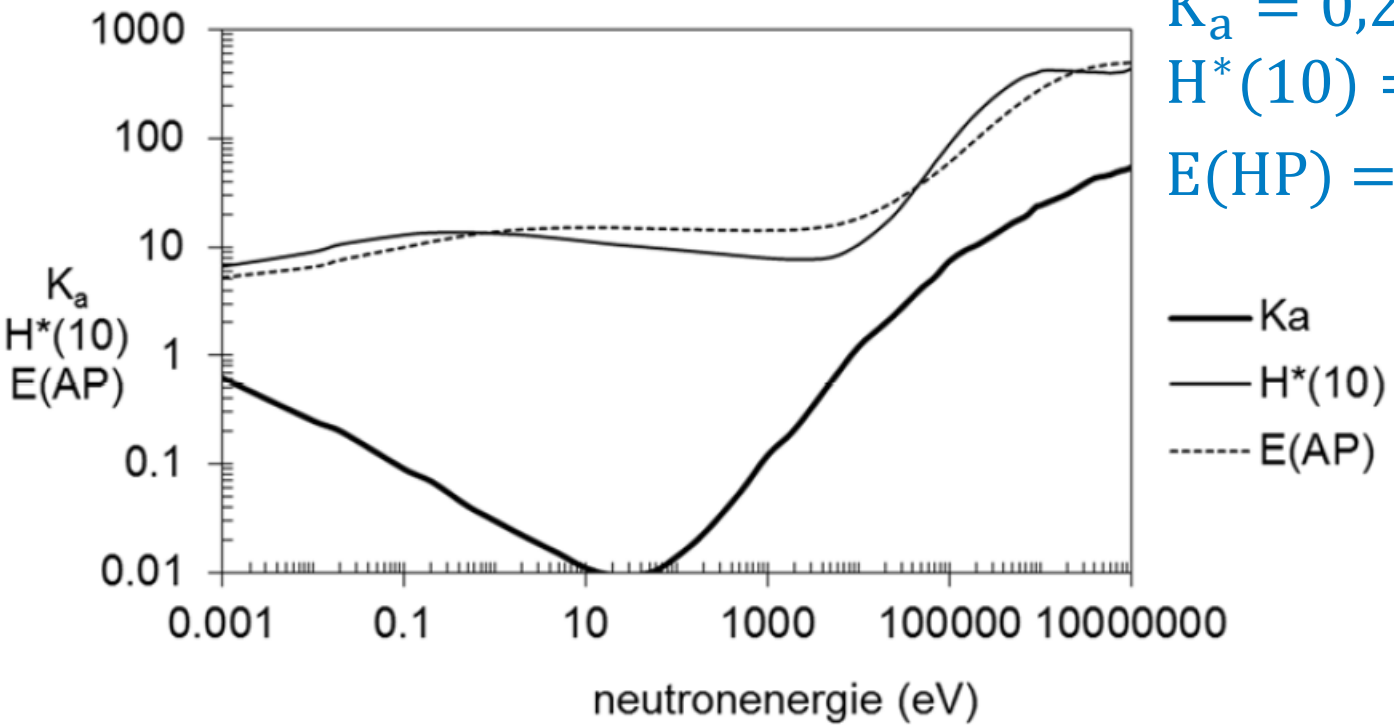
Vraag 5

In een veld van thermische neutronen met energie E_n = 25 meV bedraagt de kerma in lucht 1 mGy. De neutronen komen uitsluitend van voren.

a) Bepaal het omgevingsdosisequivalent.
b) Bepaal de effectieve dosis.

Gebruik figuur 9.6 uit het boek

K_a, $H^*(10)$ en $E(AP)$



$K_a = 0{,}2\ \mathrm{pGy \cdot cm^2}$

$H^*(10) = 10\ \mathrm{pSv \cdot cm^2}$

$E(HP) = 7\ \mathrm{pSv \cdot cm^2}$

Figuur 9.6 Kerma in lucht K_a (in pGy), omgevingsdosisequivalent $H^*(10)$ (in pSv) en effectieve dosis E(AP) (in pSv) per eenheid van fluentie (in cm^{-2}) als functie van de neutronenergie (ontleend aan [3]).

Uitwerking vraag 5 a

Afgelezen waarden:
$K_a = 0{,}2\ \mathrm{pGy \cdot cm^2}$
$H^*(10) = 10\ \mathrm{pSv \cdot cm^2}$
$E(HP) = 7\ \mathrm{pSv \cdot cm^2}$

- Uit figuur: $H^*(10) = 10\ \mathrm{pSv \cdot cm^2}$
- Maar dan zijn we er nog niet! Dit is voor 1 fluentie (Φ).

- Om uit te rekenen hoeveel Φ wij hebben gebruiken we de gegeven luchtkerma en de afgelezen luchtkerma:

- $K(\emptyset)_l = K_a \cdot \emptyset \rightarrow \emptyset = \frac{K(\emptyset)_l}{K_a}$
- $\emptyset = \frac{1\ mGy}{0{,}2\ pGy \cdot cm^2} = \frac{1\ mGy}{0{,}2 \cdot 10^{-9} mGy \cdot cm^2} = 5 \cdot 10^9 cm^{-2}$

Uitwerking vraag 5 a

Afgelezen waarden:

$K_a = 0{,}2\ \mathrm{pGy \cdot cm^2}$

$H^*(10) = 10\ \mathrm{pSv \cdot cm^2}$

$E(HP) = 7\ \mathrm{pSv \cdot cm^2}$

- We weten nu de fluentie, nu kunnen we het omgevingsequivalent uitrekenen:
- $H(\emptyset)^*(10) = H^*(10) \cdot \emptyset$
- $= 10\ pSv \cdot cm^2 * 5 \cdot 10^9 cm^{-2}$
- $= 50 \cdot 10^9\ pSv = 50\ mSv$

Uitwerking vraag 5b

Afgelezen waarden:

$K_a = 0{,}2\ \mathrm{pGy \cdot cm^2}$

$H^*(10) = 10\ \mathrm{pSv \cdot cm^2}$

$E(HP) = 7\ \mathrm{pSv \cdot cm^2}$

- We weten de flux en kunnen nu de effectieve dosis berekenen
- $E(\emptyset) \quad = E(HP) \cdot \emptyset$
- $= 7\ pSv \cdot cm^2 * 5 \cdot 10^9 cm^{-2}$
- $= 35 \cdot 10^9\ pSv = 35\ mSv$

Basale dosimetrie

2026

Coördinerend stralingsdeskundige (CD)
Jenny Siegersma, klinisch fysicus & stralingsbescherming deskundige

