# Stralingsdeskundigheid niveau 3

# Inwendige besmetting

Paul Jonkergouw

Radboud Universiteit Nijmegen

# inwendige besmetting

deel 1:

- inwendige besmetting voor dummies

deel 2:

- wet- en regelgeving
- besmettingsroutes
- besmettingsmodellen
- dosisbegrip
- aanpak berekening van de volgdosis
- ICRP-aannamen (reference man)

deel 3:

- berekening van de volgdosis

deel 4:

- longmodel
- berekening equivalente huiddosis

## inwendige besmetting

deel 2

modellen

## wet- en regelgeving

Besluit Stralingsbescherming (2001)

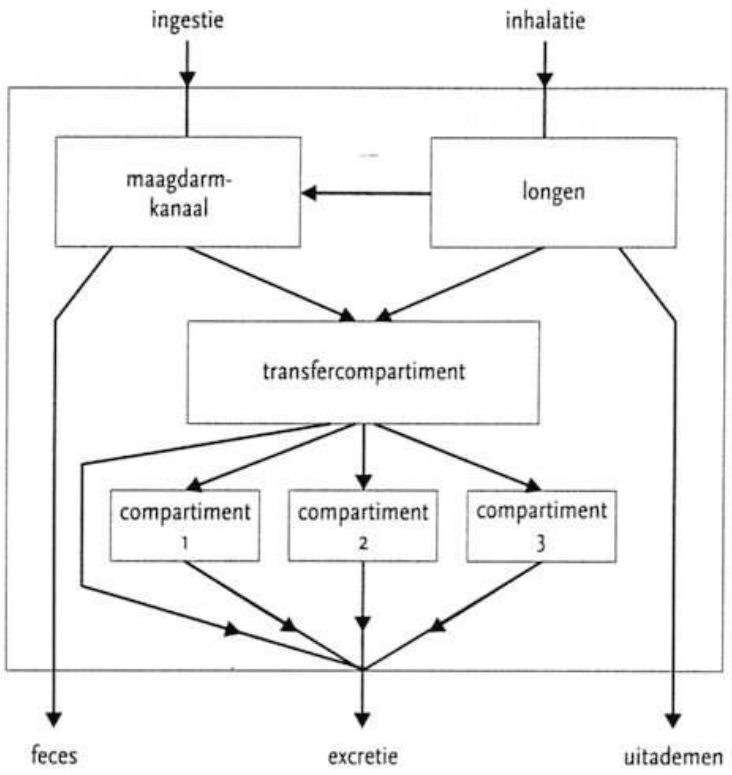
§7.1 dosislimieten en classificatie van werknemers:

- artikel 76 en 77, lid 2 (dosislimieten):

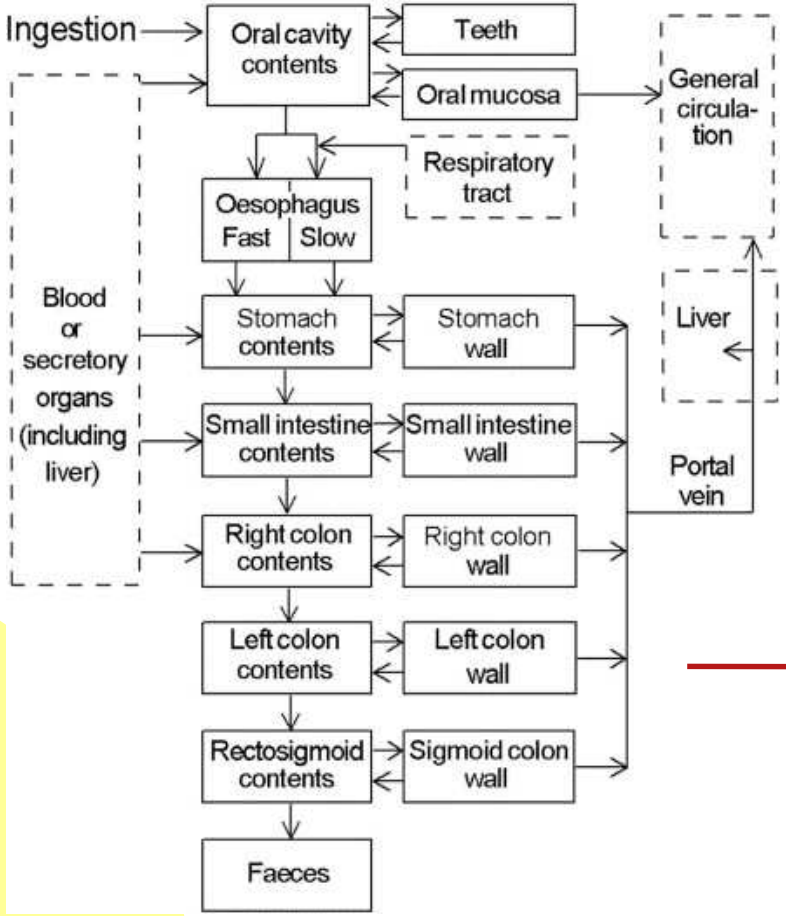
in het geval van inwendige besmetting wordt de effectieve volgdosis toegewezen aan het jaar van inname.

## besmettingsmodellen

- longmodel (respiratory tract)
  ICRP-66, 1994
  ICRP-SG3, 2002
- maag-darmmodel (HATM)
  ICRP-100, 2006
- botmodel (bone)
  ICRP-30, 1979-1982
- huidmodel (skin)
  ICRP-59, 1991



# Human Alimentary Tract Model (HATM)

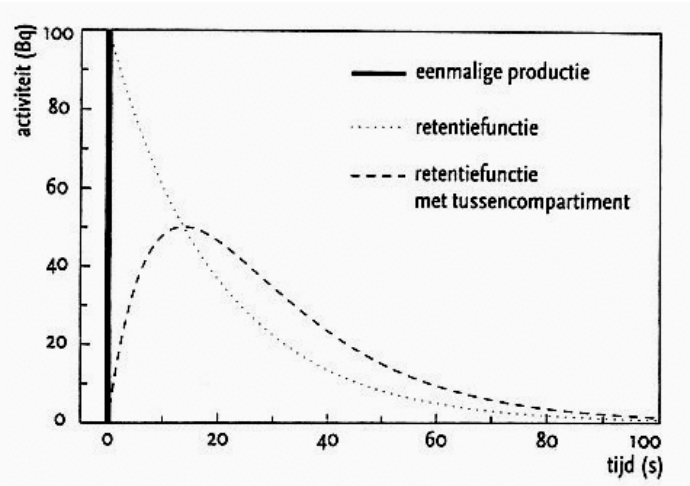



vergelijk boek ‘Bos’, p. 215

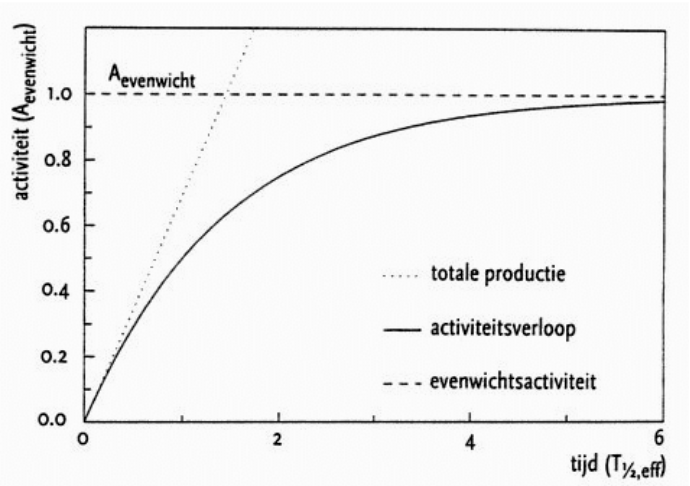
## compartimentmodel (1)

mate van inwendige besmetting wordt bepaald door:

- ingroei activiteit (A) in compartiment
- afname activiteit (A) uit compartiment




eenmalige toediening




continue toediening

# compartimentmodel (2)

- eenmalige toediening:

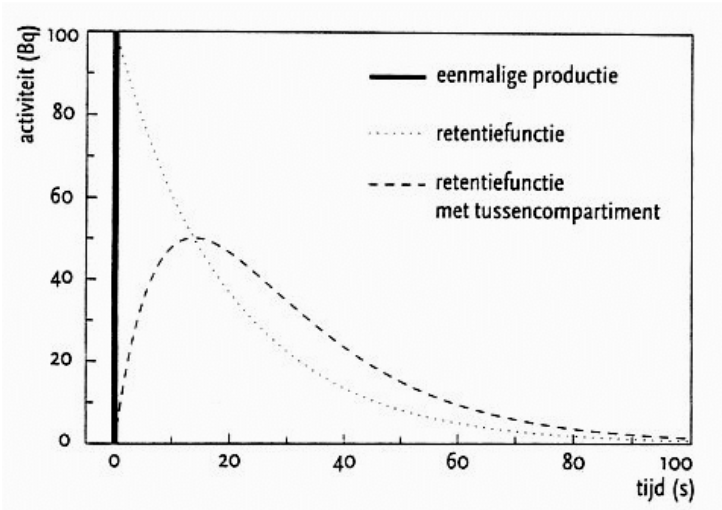
$$\frac{dA_{comp}}{dt} = -\lambda_{fys}A_{comp} - \lambda_{afvoer}A_{comp} = -(\lambda_{fys} + \lambda_{afvoer})A_{comp} \Leftrightarrow$$

$$\frac{dA_{comp}}{dt} = -\lambda_{eff}A_{comp} \Leftrightarrow$$

$$\int \frac{dA_{comp}}{dt} = \int -\lambda_{eff}A_{comp} \Leftrightarrow$$

$$A_{comp}(t) = P_0 e^{-\lambda_{eff}t}$$

$$\boxed{P_0 = A_{comp}(0)}$$




$$\boxed{A_{comp}(t) = P_0 e^{-\lambda_{eff}t} \quad analoog\ aan: A(t) = A(0)e^{-\lambda t}}$$

## compartimentmodel (3)

- intermezzo; effectieve halveringstijd:

$$\lambda_{eff} = \lambda_{fys} + \lambda_{afvoer} = \lambda_{fys} + \lambda_{bio}$$

$$\text{algemeen}: \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

$$\lambda_{eff} = \frac{\ln 2}{T_{1/2,fys}} + \frac{\ln 2}{T_{1/2,bio}} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{T_{1/2,eff}} = \frac{1}{T_{1/2,fys}} + \frac{1}{T_{1/2,bio}} \Leftrightarrow T_{1/2,eff} = \left[\frac{1}{T_{1/2,fys}} + \frac{1}{T_{1/2,bio}}\right]^{-1}$$

# compartimentmodel (4)

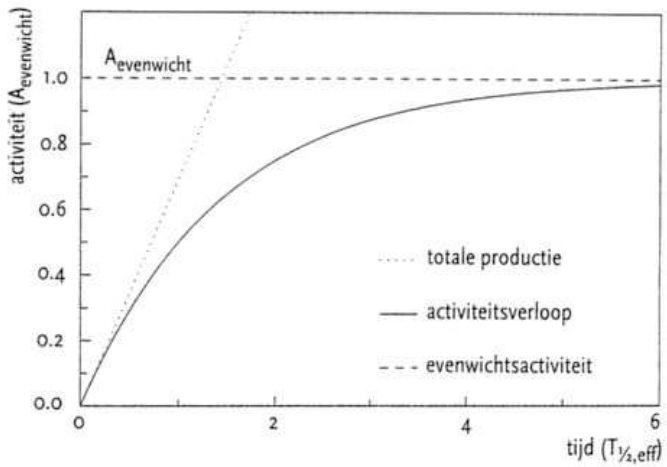
- continue toediening:

$$\frac{dA_{comp}}{dt} = \dot{P} - (\lambda_{fys} + \lambda_{afvoer})A_{comp} = \dot{P} - \lambda_{eff} A_{comp} \Leftrightarrow$$

$$\int \frac{dA_{comp}}{dt} = \int \dot{P} - \lambda_{eff} A_{comp} \Leftrightarrow$$

$$A_{comp}(t) = \frac{\dot{P}}{\lambda_{eff}}(1 - e^{-\lambda_{eff} t}) \qquad (A_{comp}(0) = 0)$$

$$A_{evenwicht} = \frac{\dot{P}}{\lambda_{eff}} \quad (t \to \infty) \quad ; \qquad A_{evenwicht} = \frac{\dot{P}}{\lambda_{bio}} \quad (\lambda_{bio} >> \lambda_{fys})$$




de $A_{evenwicht}$ formule is algemeen toepasbaar !!
bijvoorbeeld ook bij neutronenproduktie (hfdst. 1) en evenwichtsactiviteiten in het lichaam door continue blootstelling of voedselinname (natuurlijke activiteit)

## dosisbegrip

algemeen (hfdst.6):

- equivalente dosis ($H_T$): $$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$
- effectieve dosis (E): $$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

bij inwendige besmetting:

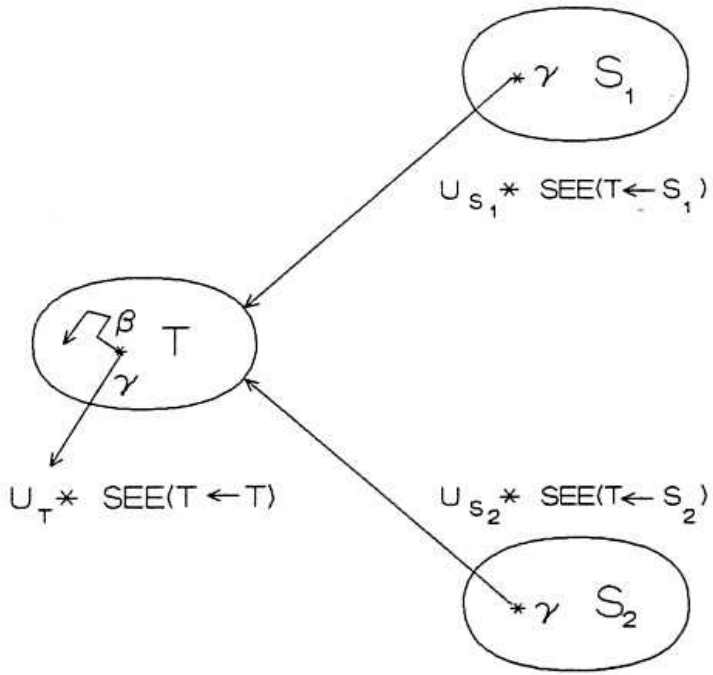
- equivalente volgdosis ($H_{50,T}$): $$H_{50,T} = \int_0^{50} \dot{H}_T(t)\, dt$$
- effectieve volgdosis ($E_{50}$): $$E_{50} = \sum_T w_T H_{50,T}$$

Let op:
de “volg”-tijd bij volwassenen bedraagt 50 jaar, bij kinderen ($70-t_0$) jaar.

## source en target

bronorgaan = source (S)

doelorgaan = target (T)




(T←S): stralingsenergieoverdracht van Source naar Target bij S≠T

(T←T): stralingsenergieoverdracht  Source naar Target bij S=T

# volgdosis (1)

generale aanpak effectieve volgdosis ($E_{50}$) berekening:

$E_i$ in J, $m_T$ in kg:

$$H_{50,T} = \frac{U_s \cdot y_i \cdot E_i \cdot AF(T \leftarrow S) \cdot w_R}{m_T} \qquad (\mathrm{Sv}\,(= \mathrm{J\,kg^{-1}}))$$

$$E_{50} = \sum_T w_T H_{50,T} \qquad \mathrm{Sv}$$

alternatief

$$H_{50,T}(T \leftarrow S) = U_S \cdot SEE(T \leftarrow S) \cdot 1{,}6 \times 10^{-10}\,(\mathrm{Sv})$$

$$SEE(T \leftarrow S)_i = \frac{y_i \cdot E_i \cdot AF(T \leftarrow S) \cdot w_R}{m_T} \qquad (\mathrm{MeV\ g^{-1}})$$

$$1\,\mathrm{eV} = 1{,}6 \times 10^{-19}\,\mathrm{J} \Rightarrow 1\,\mathrm{MeV\ g^{-1}} = 1{,}6 \times 10^{-10}\,\mathrm{J\,kg^{-1}}$$

# Inwendige besmetting

## alternatief

$$SAF(T \leftarrow S) = \frac{SAF(T \leftarrow S)}{m_t}$$

$$SEE(T \leftarrow S)_i = y_i \cdot E_i \cdot SAF(T \leftarrow S) \cdot w_R \qquad (\text{MeV g}^{-1})$$

$$H_{50,T}(T \leftarrow S) = U_S \cdot SEE(T \leftarrow S) \cdot 1{,}6 \times 10^{-10} (\text{Sv})$$

## volgdosis (2)

stappen effectieve volgdosis ($E_{50}$) berekening:

1. berekenen van het aantal desintegraties in bronorgaan ($U_S$) over 50 jaar
2. berekenen van de hoeveelheid energie die vanuit het bronorgaan in het doelorgaan wordt geabsorbeerd ($SEE_{T \leftarrow S}$)
3. berekenen equivalente volgdosis in doelorgaan ($H_{50,T}$)
4. berekenen effectieve volgdosis $E_{50}$

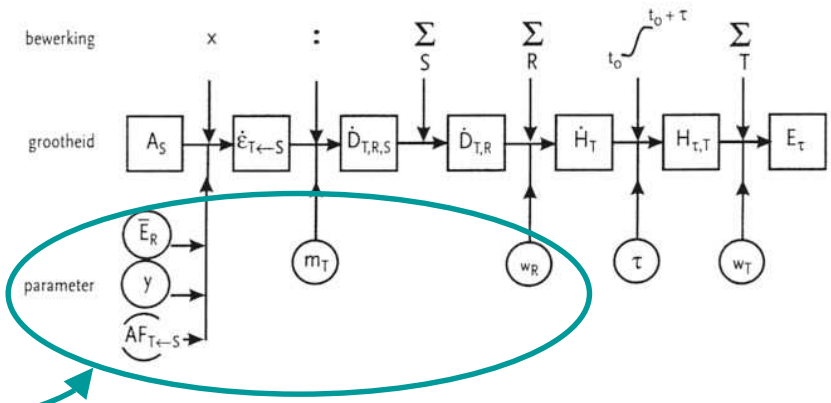
$$E_{50} = 1{,}6 \times 10^{-10} \cdot \sum_T \left[ \left[ \sum_S U_S \cdot \sum_i SEE(T \leftarrow S)_i \right] \cdot w_T \right]_T \quad (Sv)$$

## volgdosis (3)

gedetailleerde aanpak effectieve volgdosis ($E_{50}$) berekening:

1. activiteit in bronorganen: $A_S$ (integreren over de tijd → # desintegraties)
2. aantal desintegraties in bronorganen: $U_S$
3. *maal* (gemiddelde) stralingsenergie: $E_\gamma$ of $\bar{E}_\beta$
4. *maal* yield: $y_i$
5. *maal* absorption factor: AF(T←S)
6. *gedeeld door* orgaanmassa: $m_T$
7. *maal* stralingsweegfactor: $w_R$
8. *maal* correctiefactor: $1{,}6 * 10^{-10}$
9. *maal* weefselweegfactor: $w_T$

SEE



# deel 3

Inwendige besmetting voor gevorderden

# berekening volgdosis (1)

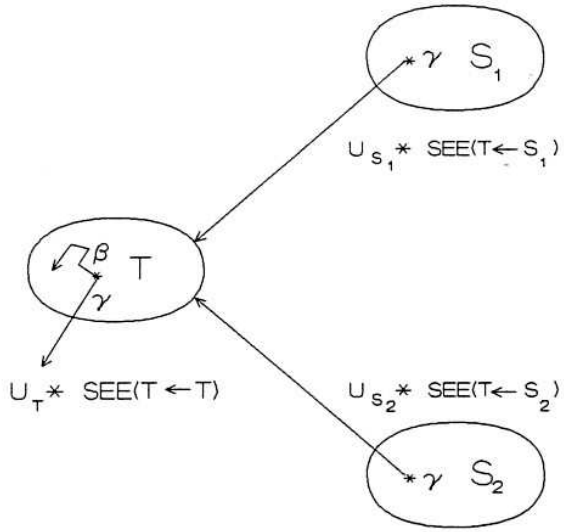
## Specific Effective Energy: SEE(T←S)

1. berekenen SEE per stralingssoort en –energie: *sommeren*
2. berekenen SEE per radionuclide: *sommeren*
3. berekenen SEE per bronorgaan (S): *sommeren*

$$SEE(T \leftarrow S)_i = \frac{y_i \cdot E_i \cdot AF(T \leftarrow S) \cdot w_R}{m_T} \qquad (MeV\ g^{-1})$$

of : $SEE(T \leftarrow S)_i = y_i \cdot E_i \cdot SAF(T \leftarrow S) \cdot w_R \quad (MeV\ g^{-1})$

$$SEE(T \leftarrow S)_{i,j,S} = \sum_S \sum_j \sum_i SEE(T \leftarrow S)_i \qquad (MeV\ g^{-1})$$



## berekening volgdosis (2)

- een-compartiment model (bronorgaan bestaat uit 1 compartiment)

activiteit in bronorgaan: $A_S(t)$

$$A_S(t) = A_S(0) \cdot e^{-\lambda_{eff} t}$$

aantal desintegraties in bronorgaan over 50 jaar: $U_S$

$$U_S = \int_0^{50} A_S(t)dt = \int_0^{50} A_S(0) \cdot e^{-\lambda_{eff} t} dt \Leftrightarrow U_S = \frac{A_S(0)}{\lambda_{eff}}(1 - e^{-\lambda_{eff} 50})$$

in de praktijk: $T_{½,eff}$<< 50 jaar

$$U_S = \frac{A_S(0)}{\lambda_{eff}} = \frac{T_{1/2,eff}}{\ln 2} \cdot A_S(0)$$

## berekening volgdosis (3)

- meercompartiment model
  - bronorgaan bestaat uit meerdere compartimenten
  - aantal desintegraties in bronorgaan over 50 jaar: $U_S$

$$U_S = \int_0^{50} A_0 \cdot R(t) \cdot e^{-\lambda_{fys} t} dt$$

R(t) = retentiefunctie; deze beschrijft de fracties van de beginactiviteit A(0) die in de verschillende lichaamscompartimenten achterblijft in de tijd; hierin is de biologische halveringstijd verdisconteerd.
(zie voorbeeld in boek: mangaan blz. 200-201)

Wordt verder niet behandeld

## berekening volgdosis (4)

equivalente volgdosis: $H_{50,T}$

$$H_{50,T} = 1{,}6 \times 10^{-10} \cdot \sum_S \sum_j \left[ U_S \cdot \sum_i SEE(T \leftarrow S)_i \right]_j \quad Sv$$

effectieve volgdosis: $E_{50}$

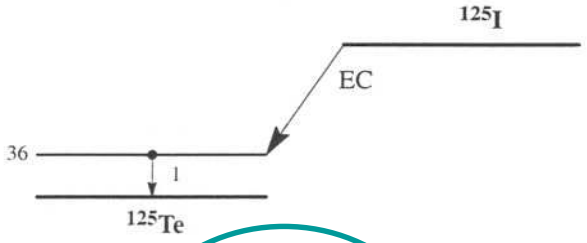
$$E_{50} = 1{,}6 \times 10^{-10} \cdot \sum_T \left[ \left[ \sum_S U_S \cdot \sum_i SEE(T \leftarrow S)_i \right] \cdot w_T \right]_T \quad (Sv)$$

# $^{125}I$ Z = 53 N = 72 $^{125}I$

### Halveringstijd en vervalconstante

$T_{1/2}$ = 59,39 d = $5{,}13\times10^{6}$ s $\lambda = 1{,}35\times10^{-7}\ s^{-1}$

### Vervalschema (vereenvoudigd)




### Belangrijkste uitgezonden straling

| Straling | $y$ (Bq·s)$^{-1}$ | $E$ (keV) | Straling | $y$ (Bq·s)$^{-1}$ | $E$ (keV) |
|---|---|---|---|---|---|
| $\gamma_1$ | 0,067 | 35 | $L_\alpha$ | 0,061 | 38 |
| ce K $\gamma_1$ | 0,803 | 4 | $L_\beta$ | 0,059 | 41 |
| 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 |
| | | | LMX | 0,517 | 4 |

### Bronconstanten

Kermatempo in lucht $k = 0{,}034\ \mu Gy\cdot m^2\cdot MBq^{-1}\cdot h^{-1}$
Omgevingsdosistempo $h = 0{,}034\ \mu Sv\cdot m^2\cdot MBq^{-1}\cdot h^{-1}$

### Diversen

| | |
|---|---|
| Specifieke activiteit | $A_{sp} = 6{,}51\times10^{17}\ Bq\cdot kg^{-1}$ |
| Radiotoxiciteit | Gemiddeld (3) |
| Vrijstellingsgrenzen | $10^3\ Bq\cdot g^{-1}$ en $10^6$ Bq |
| Huidbesmetting | $H_{huid} = 4\times10^{-12}\ Sv\cdot s^{-1}\cdot Bq^{-1}\cdot cm^2$ |
| Wondbesmetting | $e(50) = 1{,}5\times10^{-8}\ Sv\cdot Bq^{-1}$ |
| Vervoer | $A_1$ = 20 TBq |
| | $A_2$ = 2 TBq |

### Produktie en toepassingen

Het radionuclide $^{125}I$ is een cyclotronprodukt. Het wordt toegepast in de nucleaire geneeskunde, onder meer bij brachytherapie. Het vindt tevens toepassing als gamma-referentiebron.

### Inwendige besmetting

Metabolisch model.
Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat jodium zich vanuit het bloed als volgt verdeelt: 70% directe excretie 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.

### Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie
Alle verbindingen $f_1 = 1$

Inhalatie
Damp ($I_2$) $f_1 = 1$ Klasse SR-1
Overige verbindingen $f_1 = 1$ Klasse F

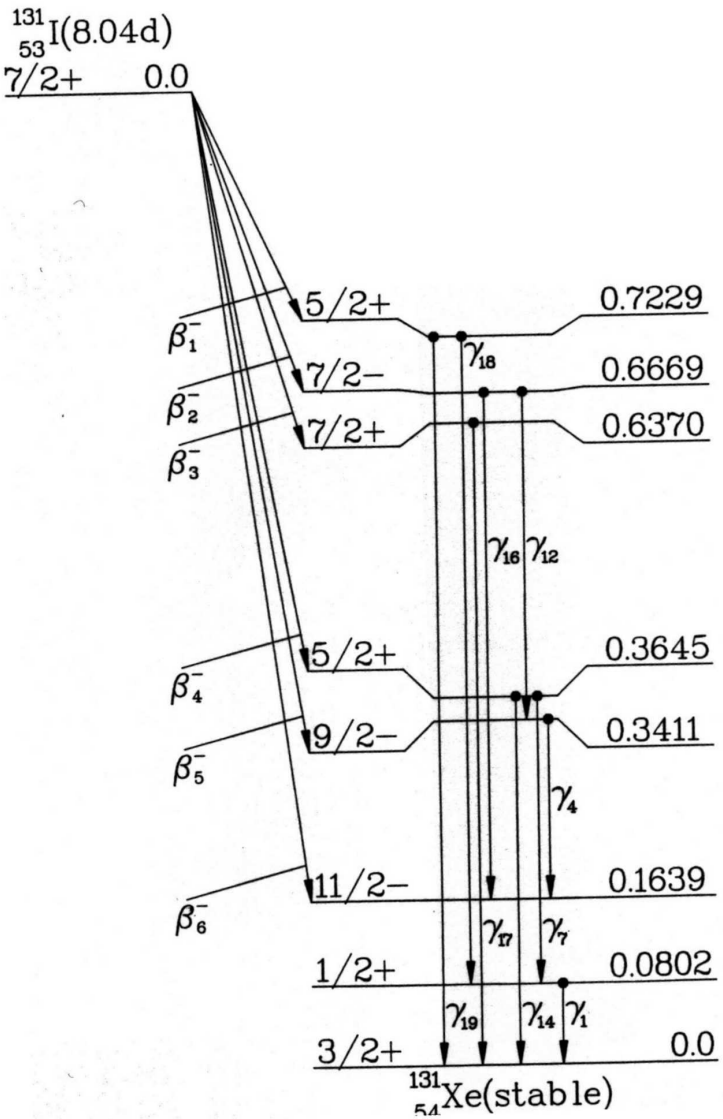
### Dosisconversiecoëfficiënten na inwendige besmetting

| | Ingestie $f_1 = 1$ | Inhalatie F | Inhalatie SR-1 |
|---|---|---|---|
| $e(50)$ (Sv/Bq) | $1{,}5\times10^{-8}$ | $7{,}3\times10^{-9}$ | $1{,}4\times10^{-8}$ |
| $RE$ (Bq) | $7\times10^{7}$ | $2\times10^{8}$ | $7\times10^{7}$ |

### Gegevens voor schildkliertelling

Eenmalige inname

| Tijd (d) | Activiteit in schildklier (Bq per Bq inname) | | |
|---|---|---|---|
| 0,25 | $1{,}3\times10^{-1}$ | $6{,}7\times10^{-2}$ | $1{,}1\times10^{-1}$ |
| 1 | $2{,}6\times10^{-1}$ | $1{,}3\times10^{-1}$ | $2{,}1\times10^{-1}$ |
| 2 | $2{,}7\times10^{-1}$ | $1{,}4\times10^{-1}$ | $2{,}2\times10^{-1}$ |
| 3 | $2{,}5\times10^{-1}$ | $1{,}4\times10^{-1}$ | $2{,}2\times10^{-1}$ |
| 5 | $2{,}3\times10^{-1}$ | $1{,}4\times10^{-1}$ | $2{,}2\times10^{-1}$ |
| 7 | $2{,}0\times10^{-1}$ | $1{,}3\times10^{-1}$ | $2{,}1\times10^{-1}$ |
| Continue inname | | | |
| Bq/(Bq·d$^{-1}$) | 53 | 7,8 | 17 |
| Sv·j$^{-1}$·Bq$^{-1}$ | $1{,}3\times10^{-6}$ | $5{,}1\times10^{-7}$ | $5{,}1\times10^{-7}$ |




## 53-IODINE-131

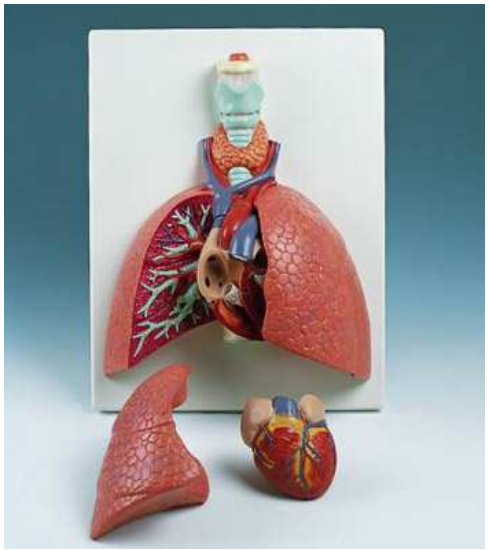
HALFLIFE = 8.04 DAYS 21-JAN-76
DECAY MODE(S): $\beta^-$

| RADIATION | y(i) (Bq-s)$^{-1}$ | E(i) (MeV) | y(i)×E(i) |
|---|---|---|---|
| $\beta^-$ 1 | 2.13E-02 | 6.935E-02* | 1.48E-03 |
| $\beta^-$ 2 | 6.20E-03 | 8.693E-02* | 5.39E-04 |
| $\beta^-$ 3 | 7.36E-02 | 9.660E-02* | 7.11E-03 |
| $\beta^-$ 4 | 8.94E-01 | 1.915E-01* | 1.71E-01 |
| $\beta^-$ 6 | 4.20E-03 | 2.832E-01* | 1.19E-03 |
| $\gamma$ 1 | 2.62E-02 | 8.018E-02 | 2.10E-03 |
| ce-K, $\gamma$ 1 | 3.63E-02 | 4.562E-02 | 1.66E-03 |
| ce-$L_1$, $\gamma$ 1 | 4.30E-03 | 7.473E-02 | 3.21E-04 |
| $\gamma$ 4 | 2.65E-03 | 1.772E-01 | 4.70E-04 |
| $\gamma$ 7 | 6.06E-02 | 2.843E-01 | 1.72E-02 |
| ce-K, $\gamma$ 7 | 2.48E-03 | 2.497E-01 | 6.20E-04 |
| $\gamma$ 12 | 2.51E-03 | 3.258E-01 | 8.18E-04 |
| $\gamma$ 14 | 8.12E-01 | 3.645E-01 | 2.96E-01 |
| ce-K, $\gamma$ 14 | 1.55E-02 | 3.299E-01 | 5.10E-03 |
| ce-$L_1$, $\gamma$ 14 | 1.71E-03 | 3.590E-01 | 6.13E-04 |
| $\gamma$ 16 | 3.61E-03 | 5.030E-01 | 1.82E-03 |
| $\gamma$ 17 | 7.27E-02 | 6.370E-01 | 4.63E-02 |
| $\gamma$ 18 | 2.20E-03 | 6.427E-01 | 1.41E-03 |
| $\gamma$ 19 | 1.80E-02 | 7.229E-01 | 1.30E-02 |
| $K\alpha_1$ X-ray | 2.59E-02 | 2.978E-02 | 7.72E-04 |
| $K\alpha_2$ X-ray | 1.40E-02 | 2.946E-02 | 4.12E-04 |

| | |
|---|---|
| LISTED X, $\gamma$ AND $\gamma\pm$ RADIATIONS | 3.80E-01 |
| OMITTED X, $\gamma$ AND $\gamma\pm$ RADIATIONS** | 1.09E-03 |
| LISTED $\beta$, ce AND Auger RADIATIONS | 1.90E-01 |
| OMITTED $\beta$, ce AND Auger RADIATIONS** | 1.86E-03 |
| LISTED RADIATIONS | 5.70E-01 |
| OMITTED RADIATIONS** | 2.95E-03 |

* AVERAGE ENERGY (MeV)
** EACH OMITTED TRANSITION CONTRIBUTES <0.100% TO Σy(i)×E(i) IN ITS CATEGORY.
XENON-131M DAUGHTER, YIELD 1.11E-02, IS RADIOACTIVE.
XENON-131 DAUGHTER, YIELD 9.889E-01, IS STABLE.

# Inwendige besmetting



deel 4

longmodel

en

huidmodel

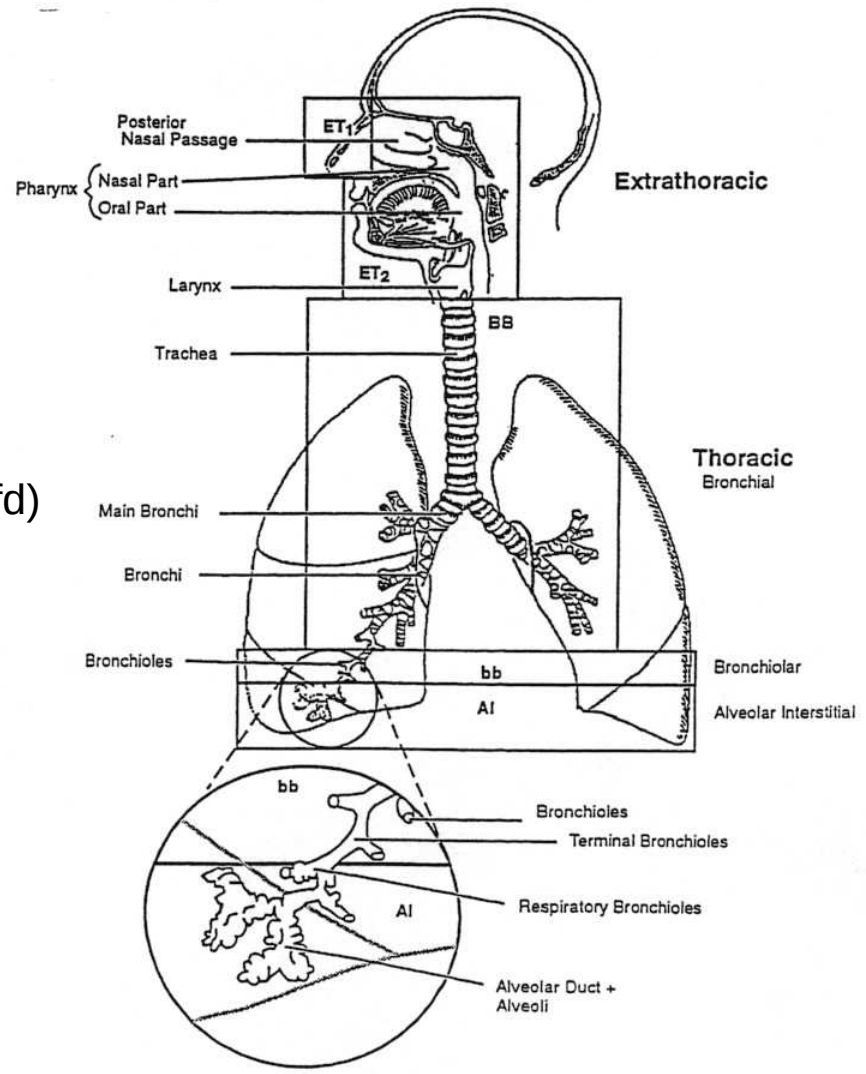
# Inwendige besmetting

## longmodel

ICRP-66 (1994)

compartimenten:

- extrathoracaal (ET):
  - $ET_1$ (buitenneus)
  - $ET_2$ (binnenneus, keelholte, strottenhoofd)
- thoracaal (TH):
  - BB (luchtpijp en grotere bronchiën)
  - bb (kleinere bronchiën)
  - AI (longblaasjes)
- lymfeweefsel:
  - $LN_{ET}$ (lymfeweefsel in ET-compartiment)
  - $LN_{TH}$ (lymfeweefsel in TH-compartiment)

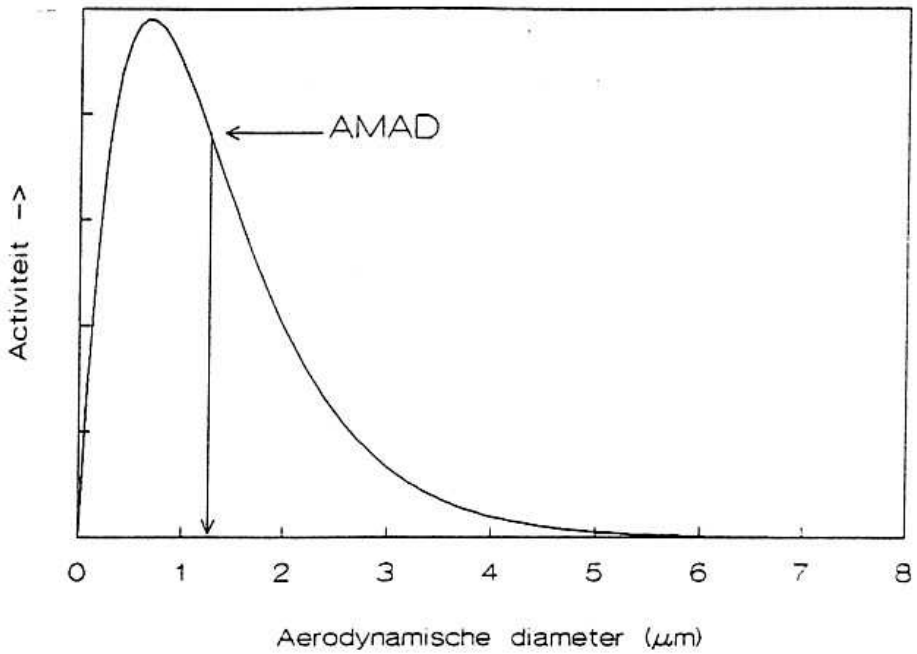


## aërosolen

Activiteits-Mediane-Aërodynamische Diameter

(AMAD: deeltjesgrootte 0,1 – 100 µm)

- werknemers: 5 µm
- bevolking: 1 µm




Activiteits-Mediane-Thermodynamische Diameter

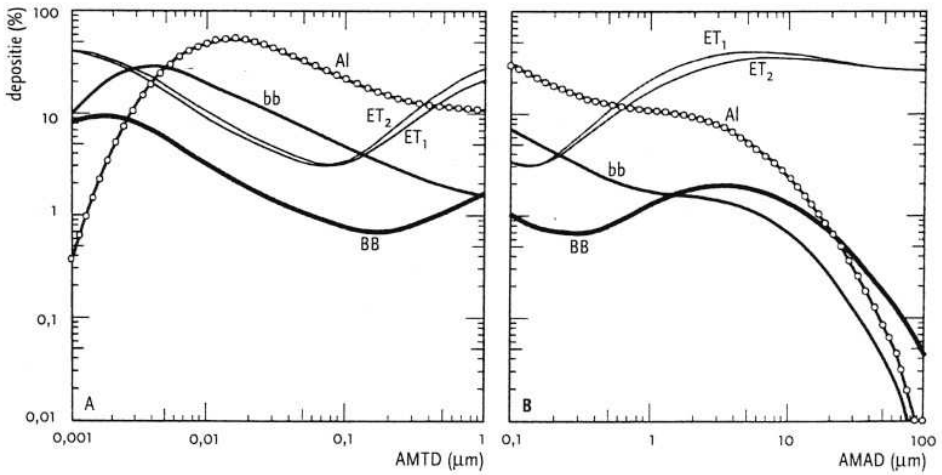
(AMTD: deeltjesgrootte <0,1 µm)

# longdepositie

longmodel wordt beschreven door:

- depositie
- zuivering

| gebied | 1 µm | 5µm |
|---|---|---|
| $ET_1$ | 16,5 | 33,9 |
| $ET_2$ | 21,1 | 39,9 |
| BB | 1,2 | 1,8 |
| bb | 1,7 | 1,1 |
| AI | 10,7 | 5,3 |
| totaal | 51,2 | 82,0 |




mechanismen voor depositie:

- sedimentatie: uitzakken door zwaartekracht
- impaktie: uit de bocht vliegen van deeltjes tegen de wand
- diffusie: beweging via botsing met lucht-moleculen

## stralingsgevoeligheid

relatieve stralingsgevoeligheid
(op basis van natuurlijke kankerincidentie)

extrathoracaal:

- ET1: 0,001
- ET2: 1
- LN(ET): 0,001

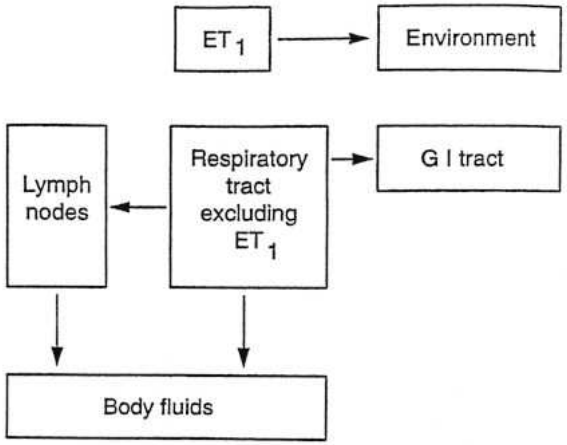
thoracaal:

- BB: 0,8
- bb: 0,15
- AI: 0,05
- LN(TH): 0,001

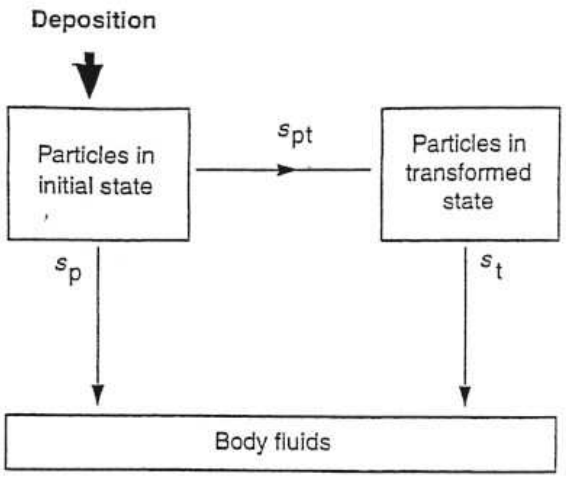
# longzuivering (1)

mechanismen voor longzuivering:

- mechanisch transport via trilhaarepitheel onafhankelijk van oplosbaarheid

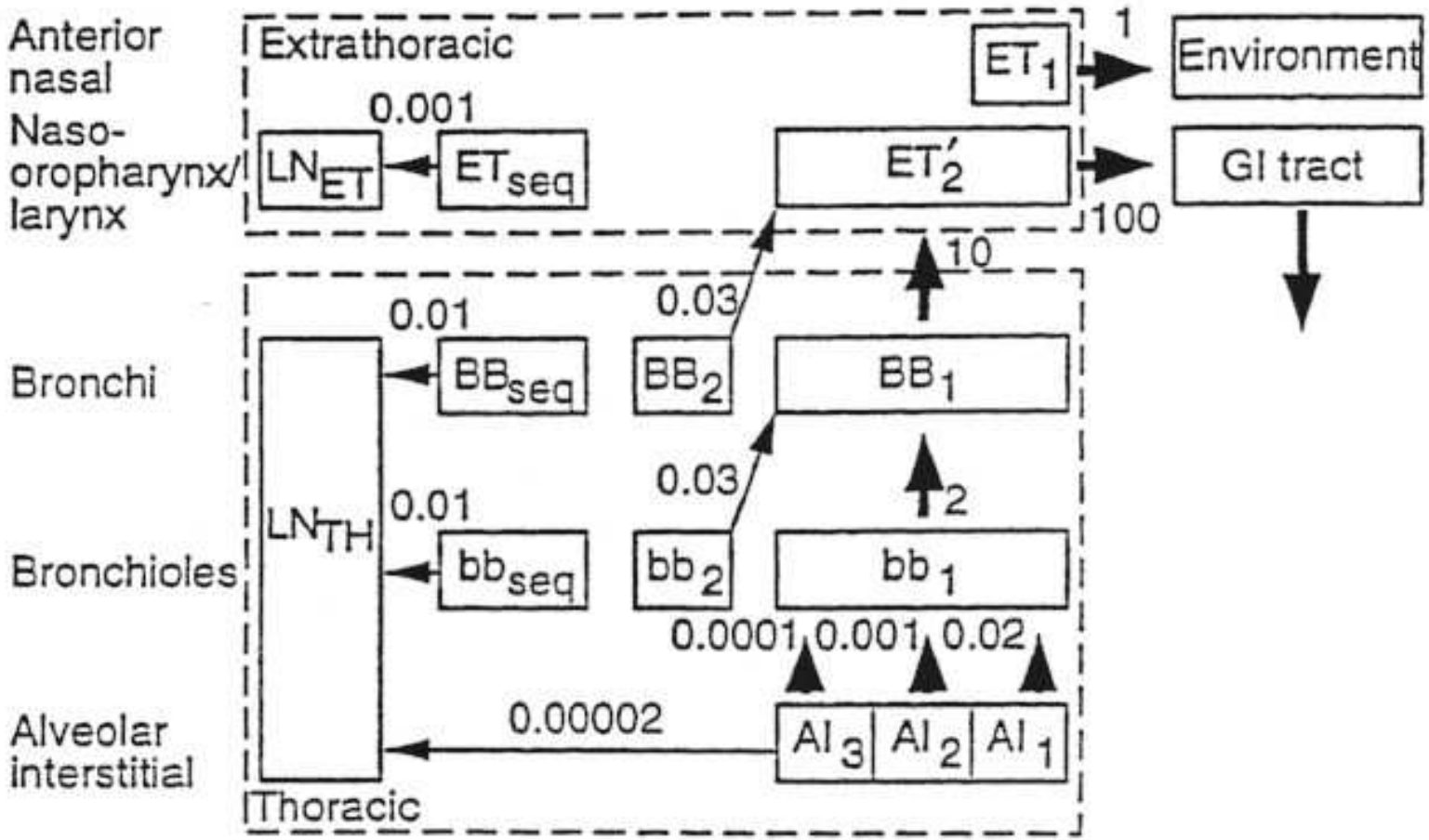



- "chemisch" transport naar bloed afhankelijk van oplosbaarheid:
  - klasse F (fast): $T_{½,bio}$=10 min (100%)
  - klasse M (moderate):$T_{½,bio}$=10 min (10%) 140 dagen (90%)
  - klasse S (slow): $T_{½,bio}$=10 min (0,1%) en 7000 dagen (99,9%)



# longzuivering (2)

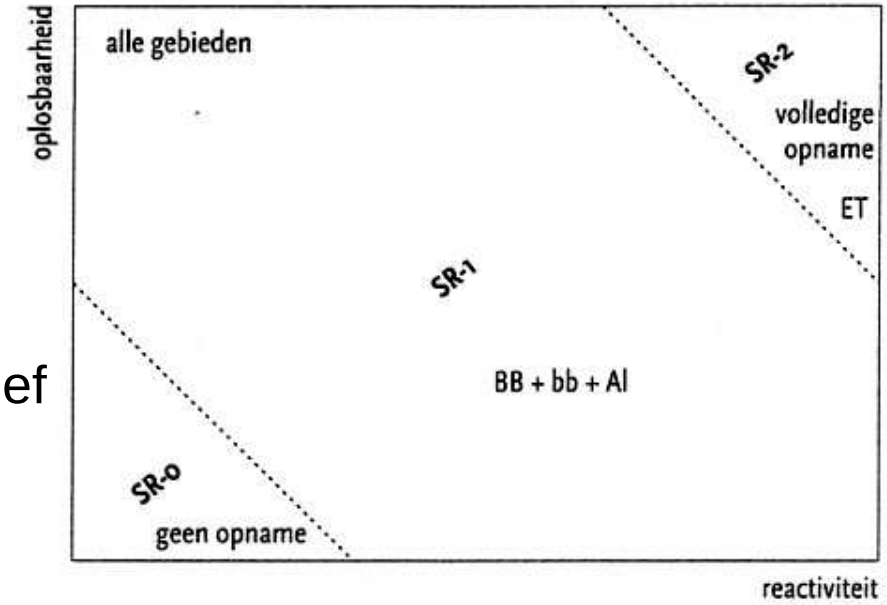
mechanisch transport, gedetailleerd



## gassen en dampen

indeling gassen en dampen:

- SR-0: onoplosbaar, niet-reactief
  (geen inwendige besmetting)
  - edelgassen
- SR-1: oplosbaar, reactief
  (alle longcompartimenten)
  - $I_2$-damp
  - Hg-damp
  - CO
- SR-2: goed oplosbaar, sterk reactief
  (alleen $ET_2$)
  - HTO
  - $SO_2$
  - $CO_2$

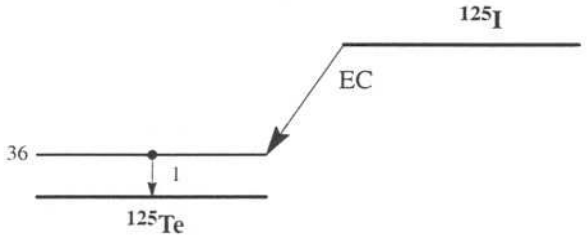


# $^{125}I$ Z = 53 N = 72 $^{125}I$

### Halveringstijd en vervalconstante

$T_{1/2}$ = 59,39 d = $5{,}13\times10^{6}$ s $\lambda = 1{,}35\times10^{-7}\ s^{-1}$

### Vervalschema (vereenvoudigd)




### Belangrijkste uitgezonden straling

| Straling | $y$ (Bq·s)$^{-1}$ | $E$ (keV) | Straling | $y$ (Bq·s)$^{-1}$ | $E$ (keV) |
|---|---|---|---|---|---|
| $\gamma_1$ | 0,067 | 35 | $L_\alpha$ | 0,061 | 38 |
| ce K $\gamma_1$ | 0,803 | 4 | $L_\beta$ | 0,059 | 41 |
| 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 |
| | | | LMX | 0,517 | 4 |

### Bronconstanten

Kermatempo in lucht $k$ = 0,034 $\mu Gy\cdot m^2\cdot MBq^{-1}\cdot h^{-1}$
Omgevingsdosistempo $h$ = 0,034 $\mu Sv\cdot m^2\cdot MBq^{-1}\cdot h^{-1}$

### Diversen

| | |
|---|---|
| Specifieke activiteit | $A_{sp}$ = $6{,}51\times10^{17}$ $Bq\cdot kg^{-1}$ |
| Radiotoxiciteit | Gemiddeld (3) |
| Vrijstellingsgrenzen | $10^3$ $Bq\cdot g^{-1}$ en $10^6$ Bq |
| Huidbesmetting | $H_{huid}$ = $4\times10^{-12}$ $Sv\cdot s^{-1}\cdot Bq^{-1}\cdot cm^2$ |
| Wondbesmetting | $e(50)$ = $1{,}5\times10^{-8}$ $Sv\cdot Bq^{-1}$ |
| Vervoer | $A_1$ = 20 TBq |
| | $A_2$ = 2 TBq |

### Produktie en toepassingen

Het radionuclide $^{125}I$ is een cyclotronprodukt. Het wordt toegepast in de nucleaire geneeskunde, onder meer bij brachytherapie. Het vindt tevens toepassing als gamma-referentiebron.

### Inwendige besmetting

Metabolisch model.
Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat jodium zich vanuit het bloed als volgt verdeelt: 70% directe excretie 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.

### Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie
Alle verbindingen $f_1$ = 1

Inhalatie
Damp ($I_2$) $f_1$ = 1 Klasse SR-1
Overige verbindingen $f_1$ = 1 Klasse F

### Dosisconversiecoëfficiënten na inwendige besmetting

| | Ingestie $f_1$ = 1 | Inhalatie F | Inhalatie SR-1 |
|---|---|---|---|
| $e(50)$ (Sv/Bq) | $1{,}5\times10^{-8}$ | $7{,}3\times10^{-9}$ | $1{,}4\times10^{-8}$ |
| $RE$ (Bq) | $7\times10^{7}$ | $2\times10^{8}$ | $7\times10^{7}$ |

### Gegevens voor schildkliertelling

Eenmalige inname

| Tijd (d) | Activiteit in schildklier (Bq per Bq inname) | | |
|---|---|---|---|
| 0,25 | $1{,}3\times10^{-1}$ | $6{,}7\times10^{-2}$ | $1{,}1\times10^{-1}$ |
| 1 | $2{,}6\times10^{-1}$ | $1{,}3\times10^{-1}$ | $2{,}1\times10^{-1}$ |
| 2 | $2{,}7\times10^{-1}$ | $1{,}4\times10^{-1}$ | $2{,}2\times10^{-1}$ |
| 3 | $2{,}5\times10^{-1}$ | $1{,}4\times10^{-1}$ | $2{,}2\times10^{-1}$ |
| 5 | $2{,}3\times10^{-1}$ | $1{,}4\times10^{-1}$ | $2{,}2\times10^{-1}$ |
| 7 | $2{,}0\times10^{-1}$ | $1{,}3\times10^{-1}$ | $2{,}1\times10^{-1}$ |

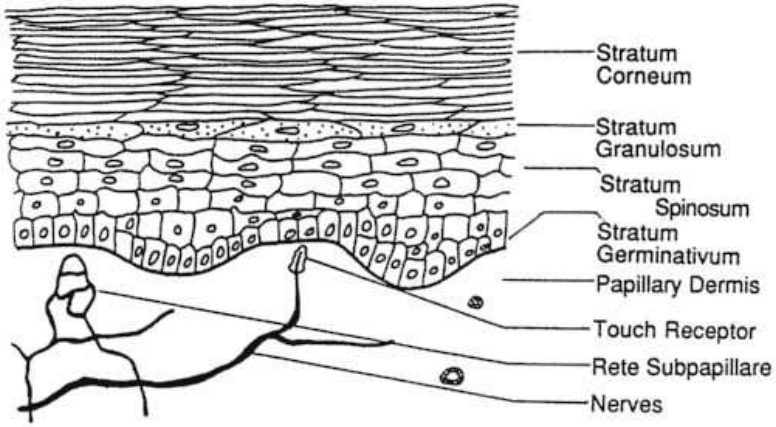
Continue inname

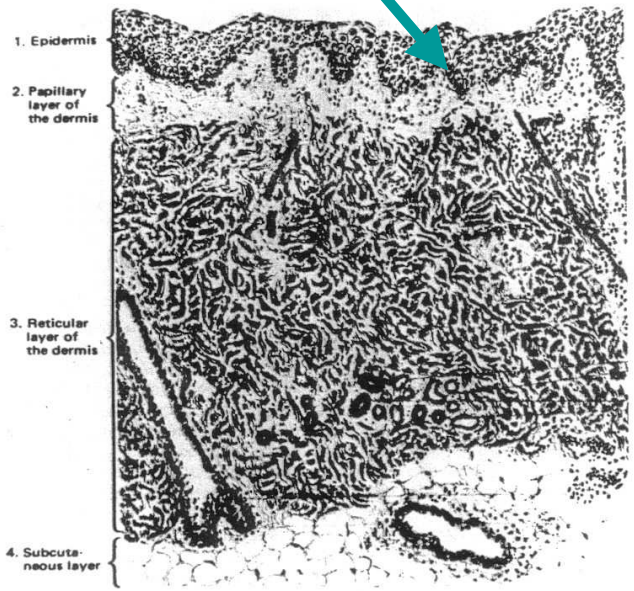
| | | | |
|---|---|---|---|
| Bq/(Bq·d$^{-1}$) | 53 | 7,8 | 17 |
| Sv·j$^{-1}$·Bq$^{-1}$ | $1{,}3\times10^{-6}$ | $5{,}1\times10^{-7}$ | $5{,}1\times10^{-7}$ |

# huidanatomie (1)

anatomie van de huid

- opperhuid (epidermis)
- lederhuid (dermis)
- onderhuids bindweefsel (hypodermis)



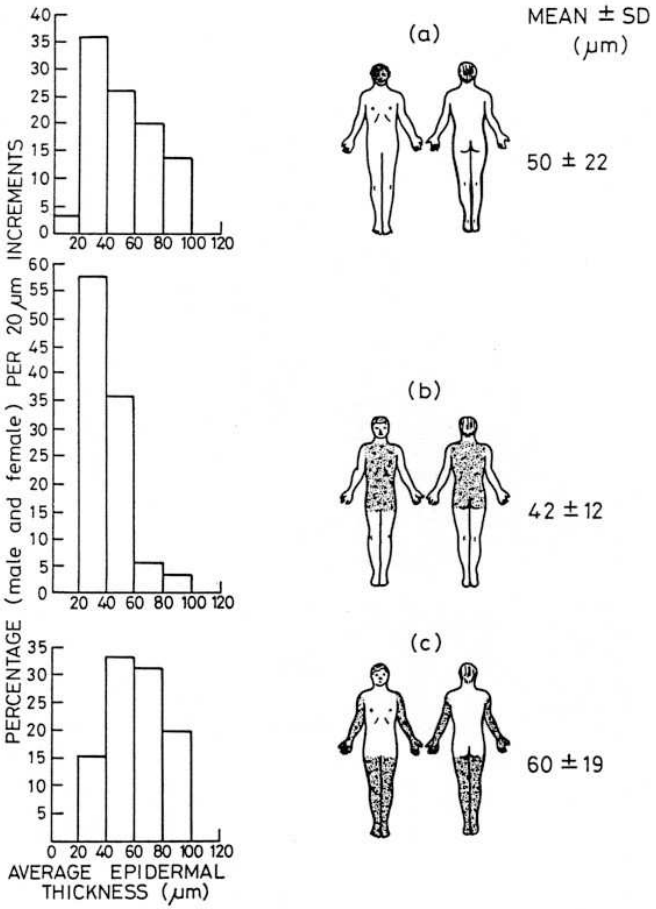

40 - 400 µm

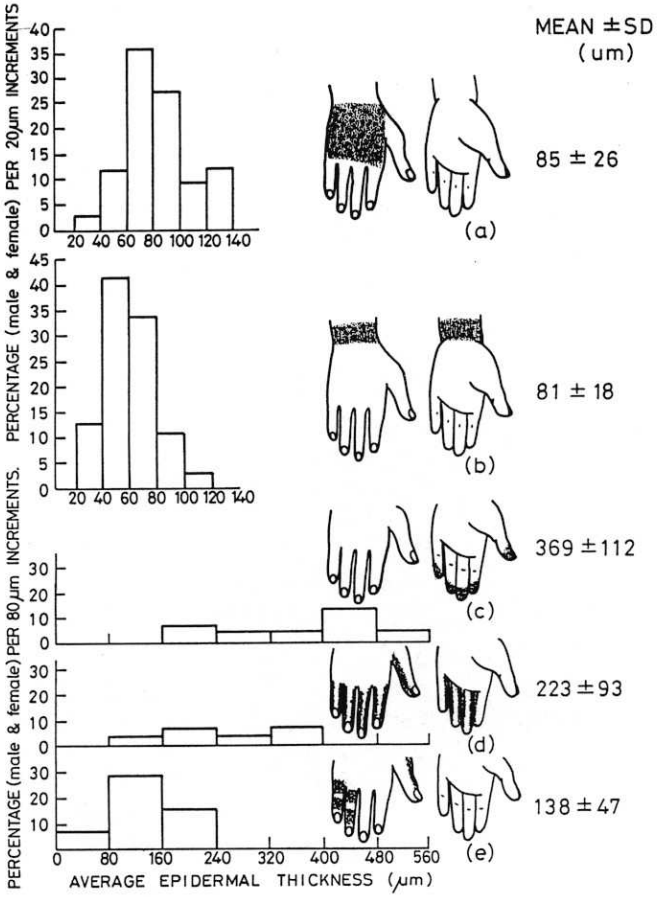
1-3 mm

tot enkele cm's

# huidanatomie (2)

dikte van de epidermis



# Inwendige besmetting

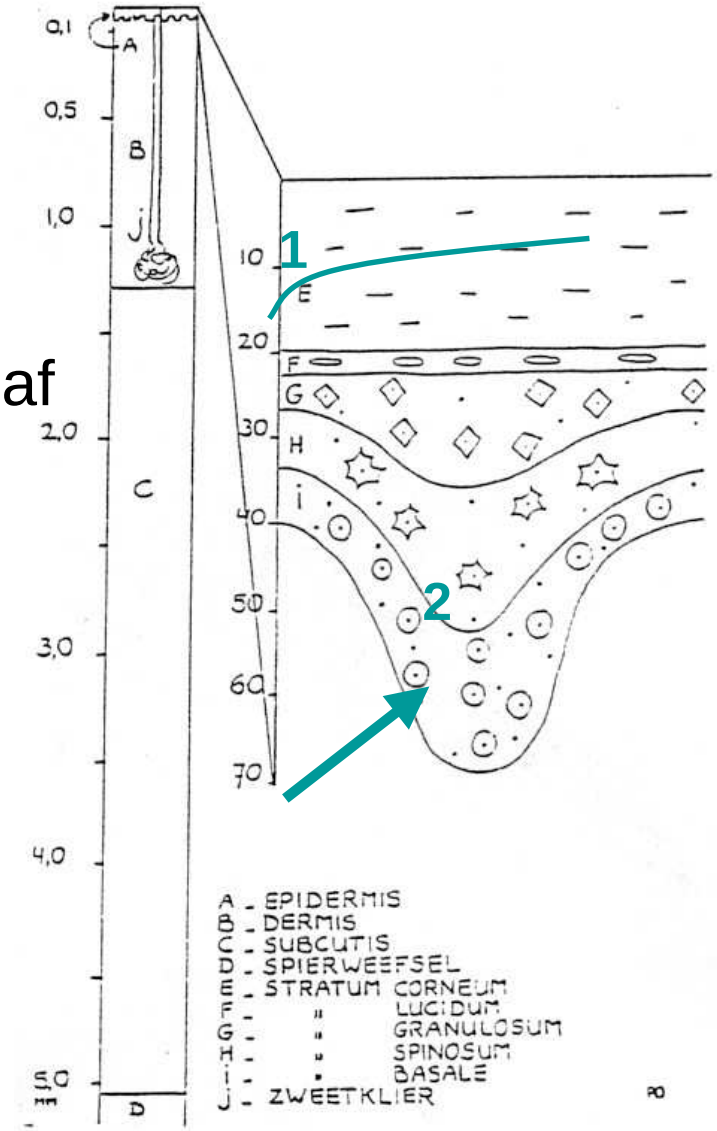
## source en target

brongebied huid (source):

- hoornlaag epidermis tot 20 µm
  radioactiviteit neemt exponentiëel af

doelgebied huid (target):

- kiemlaag ca. 70 µm:
  - basaal cellen
  - plaveiselcellen
  - melanocyten



# berekening huiddosis

voor de huid (oppervlaktebesmetting) geldt een aparte conversiecoëfficiënt:

- $h_{huid}$ [Sv s$^{-1}$ Bq$^{-1}$ cm$^2$ ]

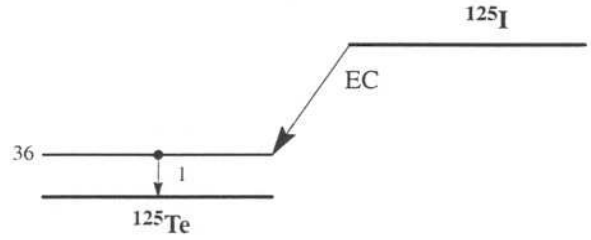
- gaat uit van besmetting totale huid
- bij deelbesmetting:
  - $h_{huid}$ voor besmette oppervlak,
  - middelen over totale orgaan!

## $^{125}$I  Z = 53

**Halveringstijd en vervalconstante**

$T_{1/2}$ = 59,39 d = 5,13×10$^6$ s  $\lambda$ = 1,35×10$^{-7}$ s$^{-1}$

**Vervalschema (vereenvoudigd)**




**Belangrijkste uitgezonden straling**

| Straling | $y$ (Bq·s)$^{-1}$ | $E$ (keV) | Straling | $y$ (Bq·s)$^{-1}$ | $E$ (keV) |
|---|---|---|---|---|---|
| $\gamma_1$ | 0.067 | 35 | $L_\alpha$ | 0,061 | 38 |
| ce K $\gamma_1$ | 0.803 | 4 | $L_\beta$ | 0,059 | 41 |
| 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 |
| | | | LMX | 0,517 | 4 |

**Bronconstanten**

Kermatempo in lucht  $k$ = 0,034 µGy·m$^2$·MBq$^{-1}$·h$^{-1}$
Omgevingsdosistempo  $h$ = 0,034 µSv·m$^2$·MBq$^{-1}$·h$^{-1}$

**Diversen**

Specifieke activiteit  $A_{sp}$ = 6,51×10$^{17}$ Bq·kg$^{-1}$
Radiotoxiciteit  Gemiddeld (3)
Vrijstellingsgrenzen  10$^3$ Bq·g$^{-1}$ en 10$^6$ Bq
Huidbesmetting  $H_{huid}$ = 4×10$^{-12}$ Sv·s$^{-1}$·Bq$^{-1}$·cm$^2$
Wondbesmetting  $e(50)$ = 1,5×10$^{-8}$ Sv·Bq$^{-1}$
Vervoer  $A_1$ = 20 TBq
$A_2$ = 2 TBq

**Produktie en toepassingen**

Het radionuclide $^{125}$I is een cyclotronprodukt. Het wordt toegepast in de nucleaire geneeskunde, onder meer bij brachytherapie. Het vindt tevens toepassing als gamma-referentiebron.

## Huidbesmetting

- Tijdens het werken met $^{125}I$ spat een beetje vloeistof op en komt op de huid.
  De besmetting wordt direct afgespoeld, waarna met een besmettingmonitor de restactiviteit wordt gemeten: 3000 Bq
- geschatte oppervlak: 8 $cm^2$

1. Bereken het equivalente dosistempo
2. Bereken de effectieve dosis, ga uit van 5 dagen

Gegevens:

- $h_{huid}$ = $4x10^{-12}$ [Sv $s^{-1}$ $Bq^{-1}$ $cm^2$]
- Totale huidoppervlak is 2 $m^2$
- $W_{huid}$ = 0,01

## voorbeeldopgave huidbesmetting

Met een monitor wordt een besmetting op de hand geconstateerd.

- De monitor toont een besmettingsgraad van 50 Bq/cm$^2$
- Het detectoroppervlak is 100 cm$^2$
- Het besmette huidoppervlak is 5 cm$^2$
- Het totale huidoppervlak is 2 m$^2$

1. Bereken de activiteit op de huid.
2. Bereken de besmettingsgraad van de huid.
3. Bereken het equivalente dosistempo voor de besmette huid.
4. Bereken het equivalente dosistempo voor de totale huid.