

Stralingsdeskundigheid niveau 3

Inwendige besmetting



inwendige besmetting

deel 1:

- ◆ inwendige besmetting voor dummies
- ◆ risicoanalyse: maximaal toe te passen activiteit

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

Maar eerst:

wat weten we al over dosis?

$$D = \Phi E \mu_{\text{en}} / \rho \quad (\text{fotonen})$$

$$D = (\Gamma A / r^2) t \quad (\text{fotonen})$$

$$H_T = W_R * D_T \quad (\text{orgaan})$$

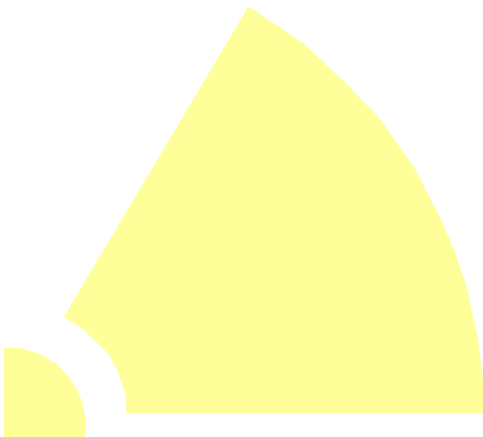
$$\begin{aligned} E &= W_T * H_T \quad (\text{totale lichaam, stochastisch}) \\ &= W_T * W_R * D_T \end{aligned}$$



Inwendige besmetting

deel 1

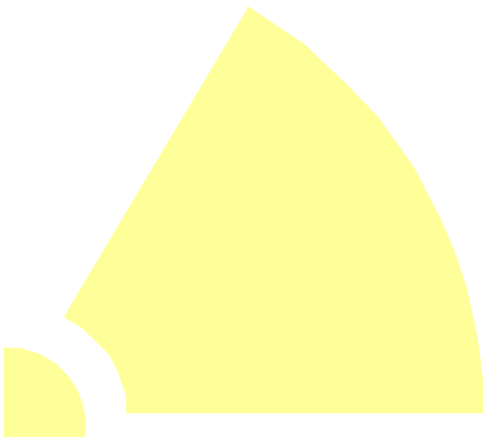
inwendige besmetting voor dummies





Externe bestraling

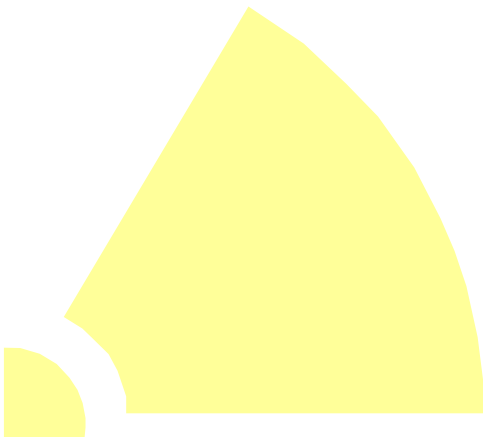
- Radioactieve bron buiten het lichaam
 - dosismeting met TLD of dosismonitor
 - dosisberekening
 - vuistregel of:
$$D = \Gamma \frac{A}{r^2}$$
 - bescherming
 - afscherming
 - afstand
 - tijd





Inwendige besmetting

- Radioactieve bron in het lichaam
 - dosismeting onmogelijk
 - dosisberekening wel
 - bescherming:
 - vooraf
 - achteraf vrijwel onmogelijk
 - “Voorkomen is beter dan genezen”

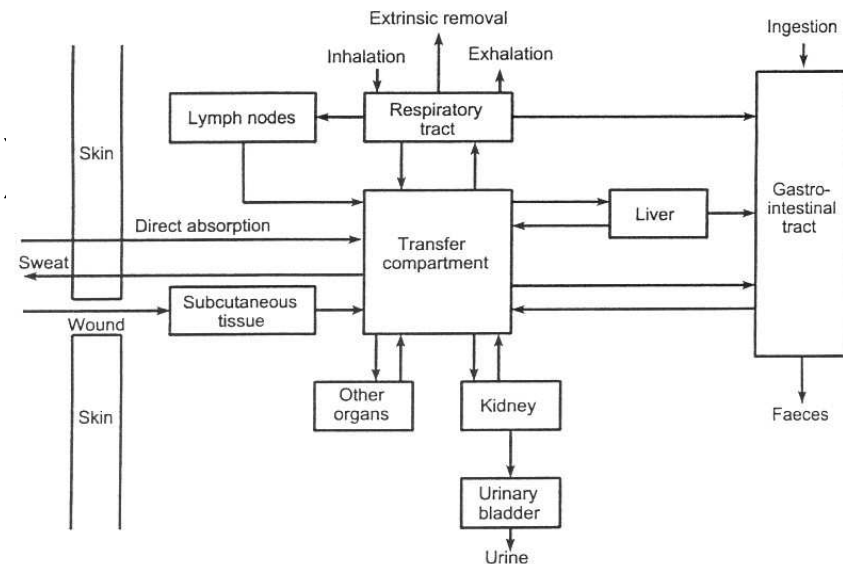




Inwendige besmetting

besmettingsroutes

- ◆ via luchtwegen (inhalatie)
- ◆ via maag-darmstelsel (ingestie)
- ◆ via beschadigde huid (wond*)
- ◆ via onbeschadigde huid (diffusie, b.v. ^3H , ^{125}I)
- ◆ activering door neutronen

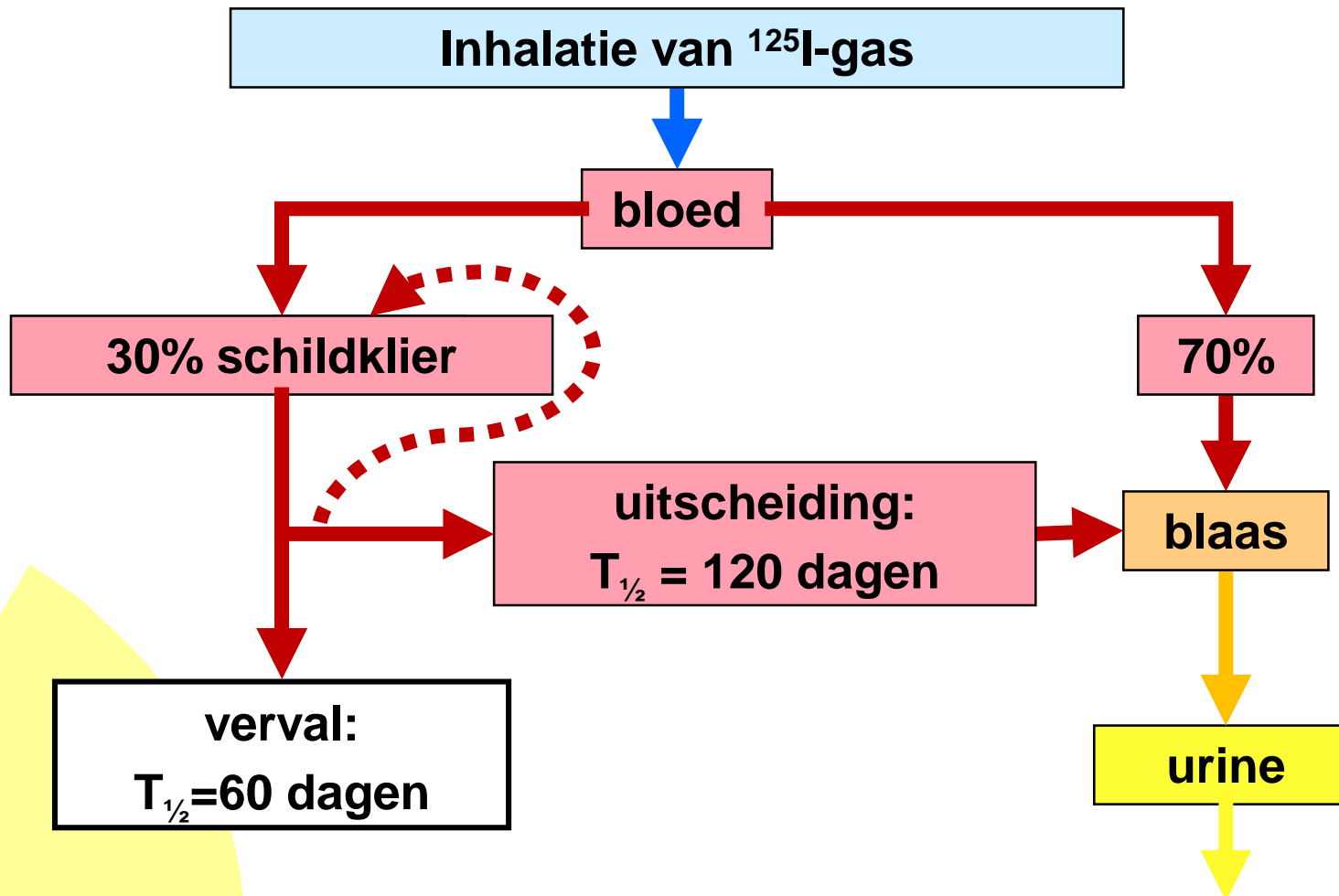


* voor stralingsbeschermingsberekeningen wordt een inwendige besmetting via een injectie gelijk gesteld aan die via een wond



Inwendige besmetting

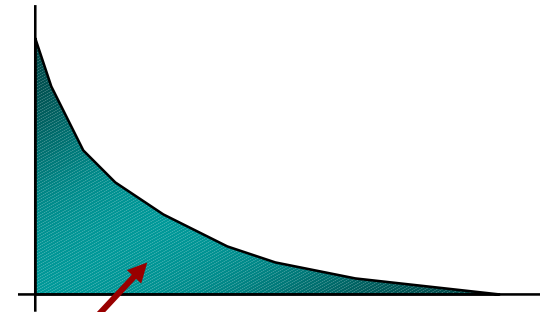
Inwendige besmetting: voorbeeld





Volgdosis

- Dosistempo neemt af door
 - verval
 - uitscheiding



- Totale dosis volgend op inwendige besmetting:

volgdosis

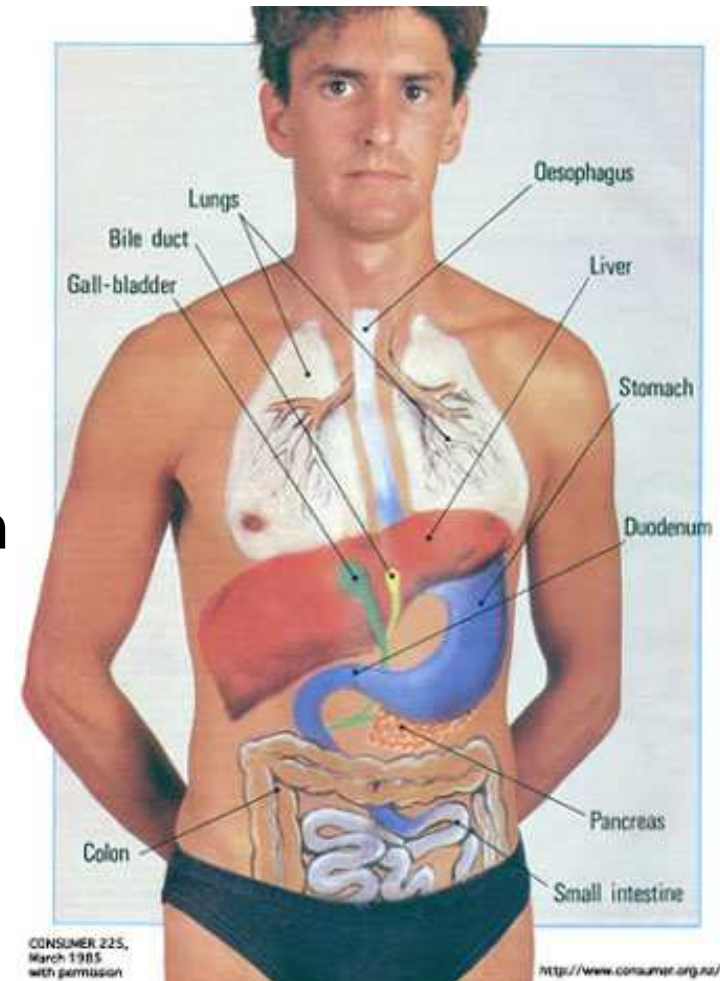
- Periode:
 - rest van het leven
 - afspraak: 50 jaar



Inwendige besmetting

Effectieve volg dosis, E_{50}

- Volg dosis, gecorrigeerd voor
 - stralingsweegfactor, W_R
 - weefselweegfactor, W_T
- E_{50} is optelsom van $H_T \cdot W_T$ van alle afzonderlijke organen
- Eenheid: sievert (Sv)





Berekening van E_{50}

- Bepalende factoren:
 - activiteit (Bq)
 - distributie
 - verblijftijd per orgaan
 - soort straling
 - stralingsweegfactor
 - absorptie
 - stralingsenergie
 - weefselweegfactor



Eenvoudige methode

- De E_{50} berekening is complex.
- Eenvoudiger is gebruik van een “Dosis Conversie Coëfficiënt” (DCC)
 - algemene term
 - omrekening: blootstelling \Rightarrow dosis
- Effectieve dosiscoëfficiënt e_{50}
 - inwendige besmetting \Rightarrow effectieve volgdosis
 - E_{50} per Bq



Verschillende waarden van e_{50} voor:

- isotoop

^{125}I : $7,3 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$

^{241}Am : $2,7 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/Bq}$

- inhalatie/ingestie

inhalatie ^{125}I (AMAD = 1 μm): $5,3 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$

inhalatie ^{125}I (AMAD = 5 μm): $7,3 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$

ingestie ^{125}I : $1,5 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$

- chemische vorm

inhalatie ^{125}I -verbindingen: $7,3 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$

inhalatie $^{125}\text{I}_2$: $1,4 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$

- leeftijd

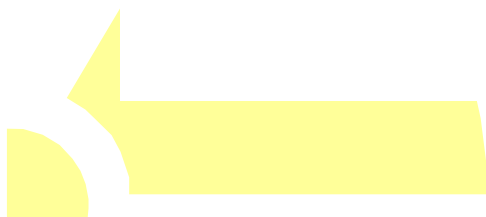
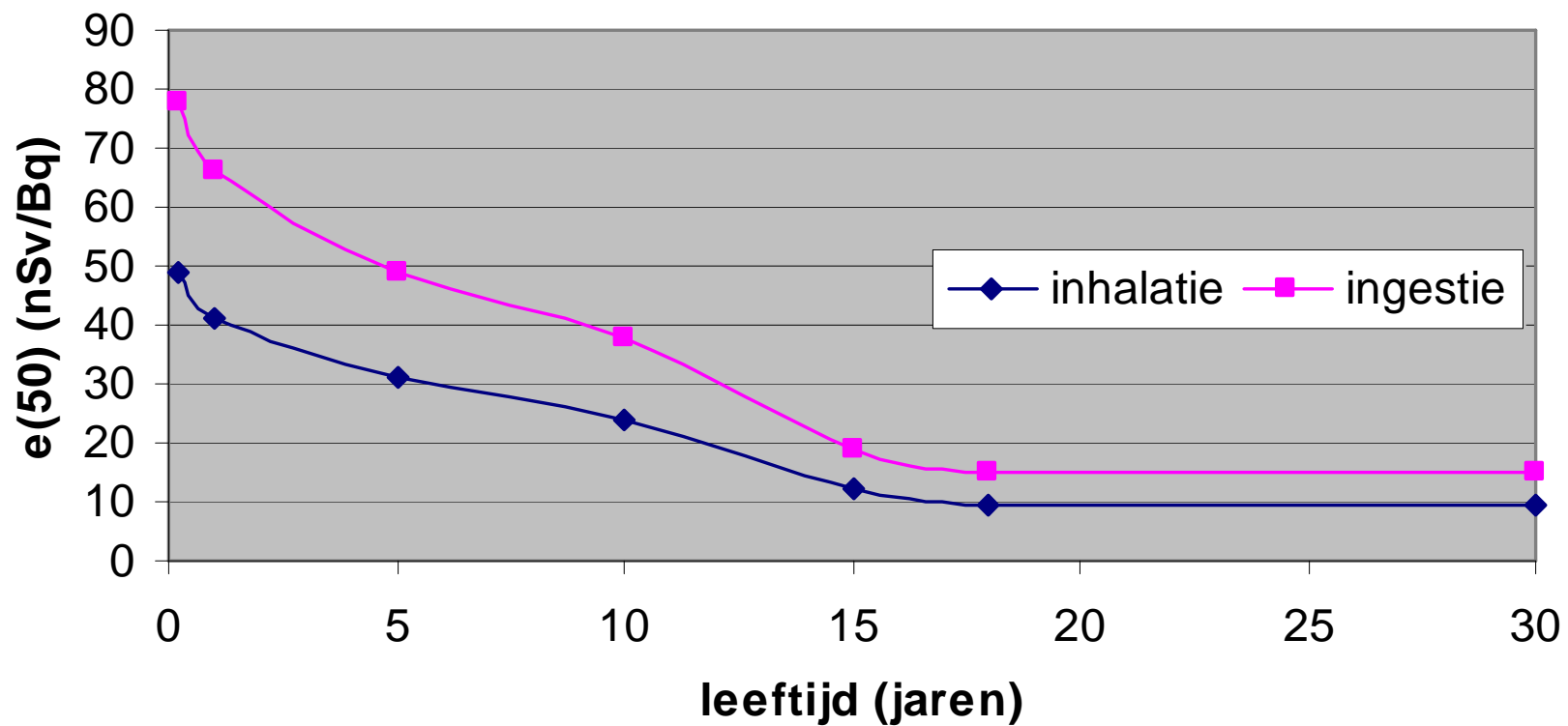
inhalatie ^{125}I , volwassenen: $7,3 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$

inhalatie ^{125}I , baby: $4,9 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$



Inwendige besmetting

effectieve dosiscoëfficiënt I-125





Rekenen met e_{50} : voorbeeld

- Een volwassene inhaleert 10 kBq $^{125}\text{I}_2$.
- De effectieve dosiscoëfficiënt is: $1,4 \cdot 10^{-8}$ Sv/Bq



Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie

Alle verbindingen

$$f_1 = 1$$

volledige opname in bloed

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)	$1,5 \times 10^{-8}$	$7,3 \times 10^{-9}$	$1,4 \times 10^{-8}$
RE (Bq)	7×10^7	2×10^8	7×10^7

Gegevens voor schildkliertelling

Enmalige inname

Tijd (d)

Activiteit in schildklier (Bq per Bq inname)

0,25

$1,3 \times 10^{-1}$

$6,7 \times 10^{-2}$

$1,1 \times 10^{-1}$

1

$2,6 \times 10^{-1}$

$1,3 \times 10^{-1}$

$2,1 \times 10^{-1}$

2

$2,7 \times 10^{-1}$

$1,4 \times 10^{-1}$

$2,2 \times 10^{-1}$

3

$2,5 \times 10^{-1}$

$1,4 \times 10^{-1}$

$2,2 \times 10^{-1}$

5

$2,3 \times 10^{-1}$

$1,4 \times 10^{-1}$

$2,2 \times 10^{-1}$

7

$2,0 \times 10^{-1}$

$1,3 \times 10^{-1}$

$2,1 \times 10^{-1}$

Continue inname

Bq/(Bq·d⁻¹)

53

7,8

17

Sv·j⁻¹·Bq⁻¹

$1,3 \times 10^{-6}$

$5,1 \times 10^{-7}$

$5,1 \times 10^{-7}$



ICRP aannamen (1)

- ◆ ICRP 23, 1975; referentiemens (reference man):
(in 2002 vervangen door publicatie 89)
 - lichaamsgewicht: 70 kg (source/targets: tabel 9-1)
 - volume 24-uurs urine: 1,4 liter
 - ademvolumetempo \dot{V} : 1,2 m³/h (lichte werkzaamheden)
- ◆ radioactiviteit is homogeen verdeeld over orgaan/weefsel
- ◆ “holle” organen (maag, darm, blaas): source (S) = inhoud m.u.v. longen en botweefsel
- ◆ biologisch model vlgs. eerste-orde kinetiek (e-macht functies)
- ◆ intake zonder dochternucliden; in evenwichtssituaties rekening houden met totaalactiviteit (moeder+dochter)



ICRP aannamen (2)

- ◆ $e(50)$ (DCC) berekend voor eenmalige inname
- ◆ AMAD voor werkers is $5 \mu\text{m}$; AMAD voor bevolking is $1 \mu\text{m}$
- ◆ voor geladen deeltjes (α - en β -straling) geldt:
 - bronorgaan = doelorgaan ($S=T$)
 - absorptiefactor:
 - $AF(T \leftarrow S) = 0$ voor $T \neq S$
 - $AF(T \leftarrow S) = 1$ voor $T = S$
- ◆ voor β -straling wordt bij berekeningen de gemiddelde energie gebruikt



Maximaal toe te passen activiteit



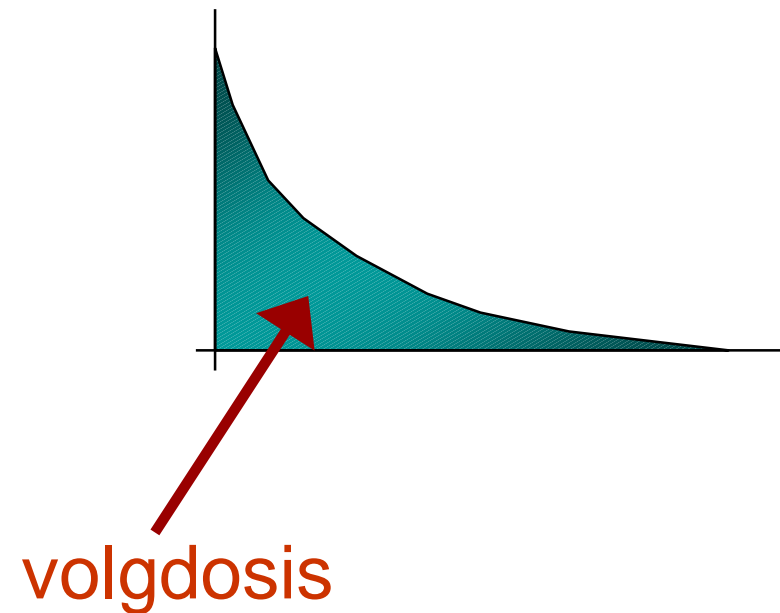
Eenvoudige methode

- De E_{50} berekening is complex.
- Eenvoudiger is gebruik van een “Dosis Conversie Coëfficiënt” (DCC)
 - algemene term
 - omrekening: blootstelling \Rightarrow dosis
- Effectieve dosiscoëfficiënt e_{50}
 - inwendige besmetting \Rightarrow effectieve volgdosis
 - E_{50} per Bq



Volgdosis

- Totale dosis volgend op inwendige besmetting
- effectieve volgdosis E_{50}
- eenvoudig berekenen met e_{50}
- e_{50} = effectieve dosiscoëfficiënt





Inwendige besmetting



Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer



Ministerie van Sociale Zaken
en Werkgelegenheid

Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Richtlijn Radionucliden- laboratoria



Nu geregeld in de vergunning
(bijlage blok Praktische Stralingshygiene)



Maximaal toe te passen activiteit, A_{\max}

- Doel: risicobeperking bij open bronnen.
- Constateringen:
 - geen inwendige besmetting in normale situaties
 - wel mogelijk bij ongelukjes (“incidenten”)
 - limiet 20 mSv/j
- Uitgangspunt:
 - Bij ongelukjes moet de ontvangen effectieve volg dosis onder de limiet blijven.



Risico inschatting

- Hoe gevaarlijk is het nuclide bij inwendige besmetting?
 - e_{50}
- Hoe groot is de kans op inwendige besmetting?
 - niet in getal uit te drukken
 - wel in categorieën in te delen:
 - kleine verspreidingskans
 - grote verspreidingskans





Annual Limit on Intake, ALI

- ALI
 - jaarlimiet voor inname
 - activiteit die effectieve volgdozis van 20 mSv veroorzaakt:

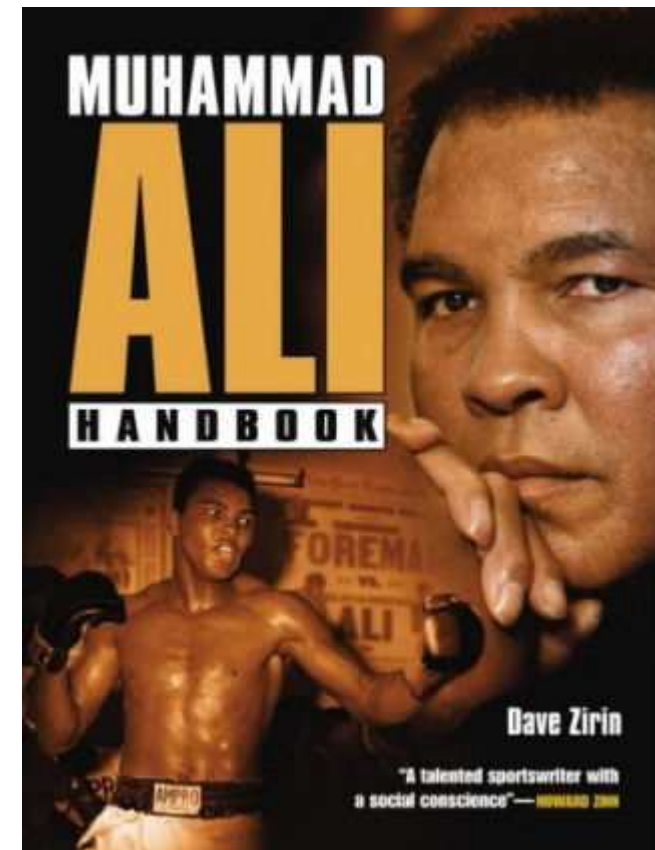
$$\frac{0,02(Sv)}{e_{50}(Sv / Bq)} = ALI(Bq)$$

- Bij normale handelingen:
 - maximaal 1 ALI gebruiken
 - bij incident komt slechts een deel in het lichaam



Handboeken

- Ali-waarden gekoppeld aan limiet
- Limieten veranderen:
 - 50 mSv
 - 20mSv
- Verschillende waarden





Maximaal toe te passen activiteit

$$A_{\max} = \frac{0,02}{DCC} \times 10^{p+q+r} \text{ (Bq)} \quad \text{(formules 12.5 + 12.6)}$$

- $DCC = e_{50}$ (AMAD = 5 μm)
- p = verspreidingskans (-1 t/m -4)
- q = laboratorium (0 t/m 3)
- r = zuurkast (0 t/m 3)



Inwendige besmetting

Verspreidingsparameter p

1

- opslag, ampul, spuit
- pipetteren uit voorraadoplossing
- elutie Tc-generator

2

- pipetteren
- mengen
- labeling (niet-vluchtig)
- RIA



3

- vluchtig nuclide
- centrifugeren
- vortexen



vortex

4

- gassen
- poeders
- spattende bewerking
- (bijna) koken





Inwendige besmetting

Laboratoriumparameter q

0 • buiten isotopenlaboratorium

1 • D-laboratorium

2 • C-laboratorium

3 • B-laboratorium





Ventilatievoorziening r

0

– Buiten zuurkast

2

– Goede zuurkast

– DIN-zuurkast

– LAF-kast

– Klasse 2 kabinet

1

– Plaatselijke afzuiging

– Zuurkast

– Niet-DIN getest

3

– Gesloten werkkast

– Klasse-III kabinet

– Glove box





Inwendige besmetting

Maximaal toe te passen activiteit

Bij normale handelingen maximaal 1 ALI:

- pipetteren, labeling, RIA
- C-lab
- op labtafel (buiten zuurkast)

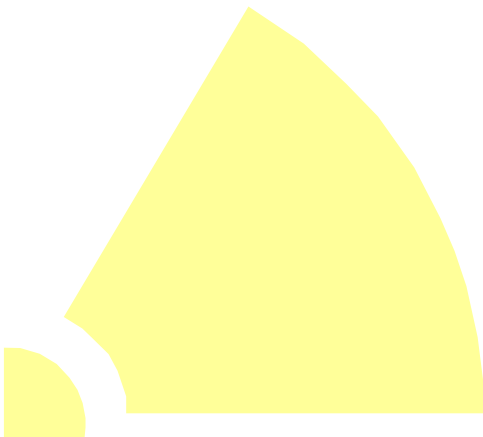
$$ALI = \frac{0,02}{e_{50}}$$





Alternatieven voor richtlijn

- Haras
 - meer keus uit parameters
 - meer eigen invloed
 - complexer
- werkdocument SZW
 - volgt Haras methodiek
- eigen modellen





Belastingsfactor

- A_{\max} :
 - maximale activiteit
 - 40 uur per week
 - per radionuclidenlaboratorium
- Bij meerdere handelingen:
 - verdelen van
 - activiteit
 - tijd
 - plaats



Belastingsfactor

- Belastingsfactor voor 1 handeling:

$$B = \frac{t_{handeling}}{40} \times \frac{A_{handeling}}{A_{max}} \quad (12.11)$$

- $t_{handeling}$ = tijdsduur van de handeling
- $A_{handeling}$ = gebruikte activiteit
- Eis:
 - per ruimte
 - som van alle belastingsfactoren < 1



Inwendige besmetting

Risicoanalyse t.b.v. interne toestemming (1)

Voorraad en gebruik ^{223}Ra


Risico-analyse voor personen, ruimten en milieu											
Ruimte belasting bepaald door werkzaamheden											
Ruimtenummer		M379.-1.225								Hmax	9,28E-07
										Wmax	0,00E+00
										Lmax	8,89E+01
Risico-analyse:		Berekening ruimtebelasting door werkzaamheden							BW Totaal: 1,04E-01		
handeling	korte omschrijving	tijdsduur	ruimte	activiteit	dosistempo	verspreiding parameter	laboratorium parameter	ventilatie parameter		rad.tox.eq. handeling max.	belastings factor laboratorium
j	Voorraad en gebruik ^{223}Ra	tj [u/wk]	M379.-01.225	Aj [Bq]	p	q	r	p+q+r	Amax,j	Bw = tj/40*Aj/Amax,j	
1	Voorraad	40,000		3,00E+07	-1	3	3	5	3,51E+08	8,55E-02	
2	Dosiscalibratie	0,170		6,00E+06	-1	3	2	4	3,51E+07	7,27E-04	
3	optrekken spuit	0,170		6,00E+06	-1	3	2	4	3,51E+07	7,27E-04	
4	afval	40,000		6,00E+06	-1	3	3	5	3,51E+08	1,71E-02	



Inwendige besmetting

Risicoanalyse t.b.v. interne toestemming (2)

Gegevens handeling

1			
2	Radboud Universiteit Nijmegen		UMC St Radboud
3			
4	Korte beschrijving van de te verrichten handeling	Voorraad en gebruik 223Ra	
5	Nummer interne toestemming ruimte		nvt
6	Ruimte nummer		M379.-1.225
7	Afstand tot de terreingrens (m)		90
8			
9	Kenmerken stralingsbron:		
10	open bron met het radionuclide:		223Ra
11	chemische verbinding en fysieke toestand		RaCl
12	Dosisconversie coëfficiënt DCC_{inh} of $e_{50,inh}$ (Sv/Bq)		5,70E-06 Sv/Bq
13	Radiotoxiciteitsequivalent (Re)		1,75E+05 1/dcc
14	Soort straling		α, γ
15	Fysische halveringstijd		11,435 dagen
16	Plaats van opslag		M379.-1.225
17	Activiteit per standaard experiment in Bq		6,00E+06 Bq
18	Activiteit per standaard experiment in Re		34,2 Re
19	Dosistempo		3,60E-01 μ Sv/Hr
20	Aantal experimenten per week		5
21	Activiteit per week		3,00E+07 Bq
22	Hoeveelheid uitgedrukt in massa of volume		
23	Wijze van afvoer		vast



Inwendige besmetting

Risicoanalyse t.b.v. interne toestemming (3)

Optelling van alle uitkomsten

bladen	Lmax	Wmax	Hmax	B	ruimte	Naam
toepassing2	2,12E+00	4,23E+00	3,92E-08	6,36E-05	M379.-1.225	labelen met 131I
toepassing3	1,40E+00	2,89E+01	3,25E-06	6,79E-03	M379.-1.225	Voorraad+labelen met 125I
toepassing4	5,96E-02	5,58E-04	8,41E-06	2,89E-04	M379.-1.225	Voorraad+labelen met 111In
toepassing5	1,27E+02	2,54E+02	3,79E-04	2,21E-01	M379.-1.225	Voorraad+bereiding ther. Dosis 131I
toepassing6	3,00E-02	1,27E-03	9,19E-05	1,45E-04	M379.-1.225	Voorraad+68Ge/68Ga generator voor labelling
toepassing7	6,24E-02	0,00E+00	8,28E-06	6,71E-04	M379.-1.225	Voorraad+Bereiding 64Cu label
toepassing8	8,89E+01	0,00E+00	9,28E-07	1,04E-01	M379.-1.225	Voorraad en gebruik 223Ra
toepassing9	2,03E+01	3,23E-01	0,00E+00	8,49E-07	M379.-1.225	Voorraad+Bereiding 90Y voor therapie
toepassing10	5,72E+01	2,76E+00	4,73E-06	2,75E-04	M379.-1.225	Voorraad+Bereiding 177Lu voor therapie
toepassing11	1,21E+00	2,50E-02	4,72E-07	3,15E-06	M379.-1.225	Voorraad+Bereiding 124I voor diagnostiek
totaal	2,20E+02	2,87E+02	4,91E-04	3,33E-01		