

# Praktische stralingsbescherming

## Open bronnen



# STRALINGSHYGIËNE

voor toezichhoudend medewerkers stralingsbescherming

verspreidbare radioactieve stoffen

- niveau D (VRS-D)

meet- en regeltoepassingen

- ingekapselde radioactieve bronnen (MR-B)



Frits Pleiter  
Hielke Freerk Boersma

editie 2022

Hoofdstukken 7, 13, 15 en 17

# Open bronnen



- Toepassingen
- Signalering
- Radionuclidenlaboratorium
- Pqr-formule
- Oppervlaktebesmetting
- De toezichthouder, TMS
- Besmettingscontrole
- Afval
- RI&E
- KEW-dossier
- Veilig werken
- Afscherming en PBM
- Specifieke maatregelen
- Uitvoeren RI&E, rekenen
- Inwendige besmetting
- Uitwendige bestraling

# Stralingsbescherming

## verspreidbare radioactieve stoffen - D

Voorbeelden  
H7

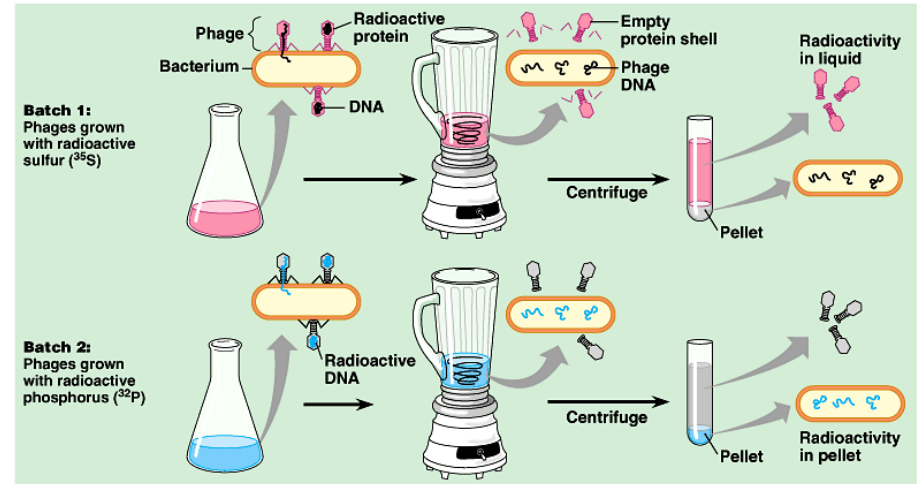
# Toepassingen

b.v. H-3, C-14, P-32, I-125

Ordergrootte: MBq

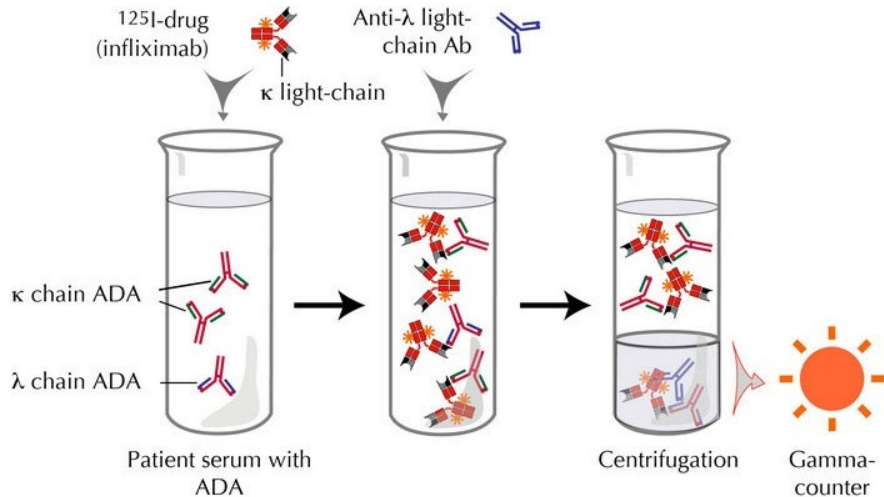


- 1 Mix radioactively labeled phages with bacteria. The phages infect the bacterial cells.
- 2 Agitate in a blender to separate phages outside the bacteria from the cells and their contents.
- 3 Centrifuge the mixture so bacteria form a pellet at the bottom of the test tube.
- 4 Measure the radioactivity in the pellet and the liquid.



(b) The experiment showed that T2 proteins remain outside the host cell during infection, while T2 DNA enters the cell.  
Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

<https://nl.wikipedia.org>

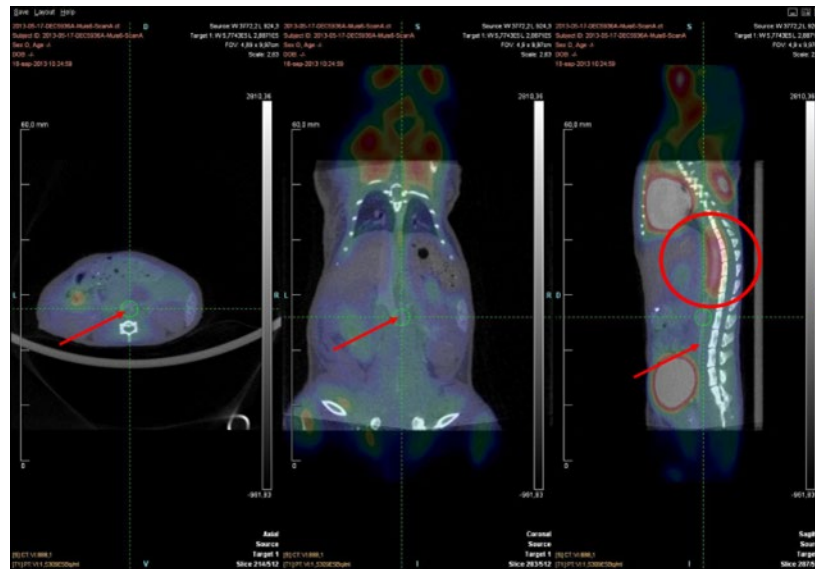
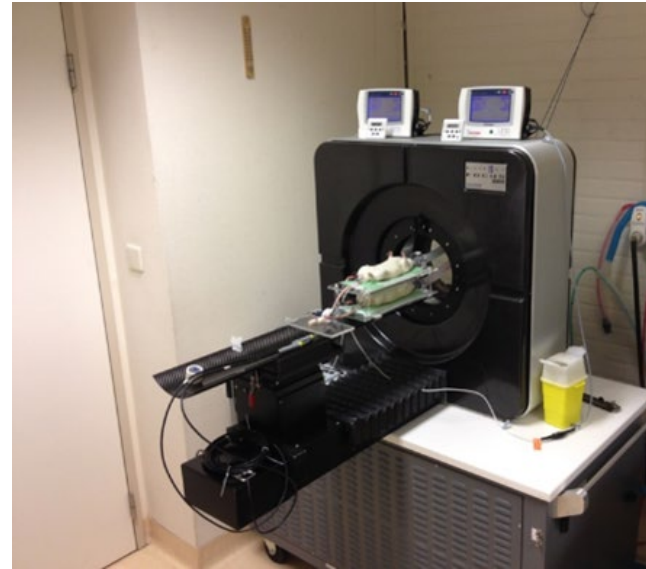




# Toepassingen

B.v.: F-18, C-11, Tc-99m

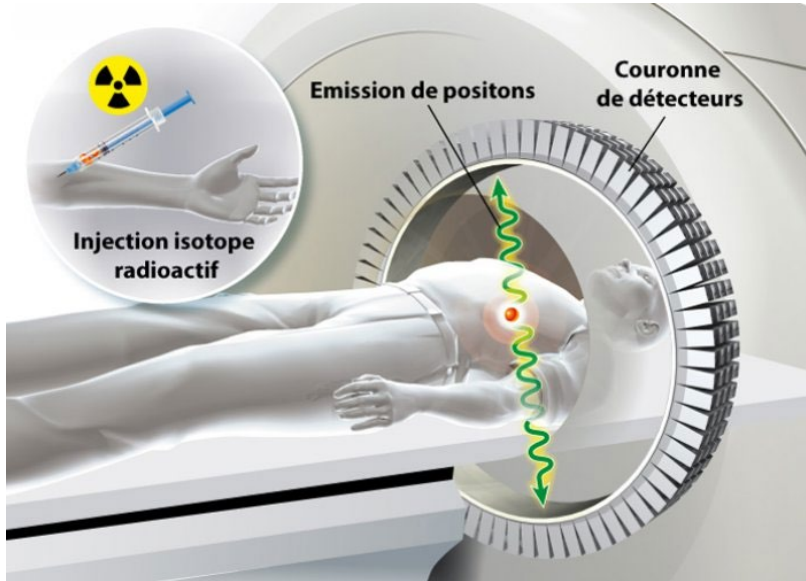
Ordergrootte: MBq



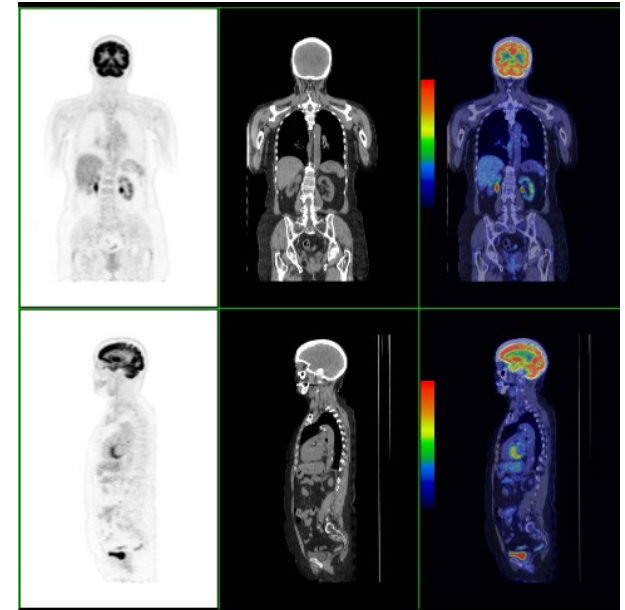
# Toepassingen

B.v.: F-18, C-11, Tc-99m, Lu-177

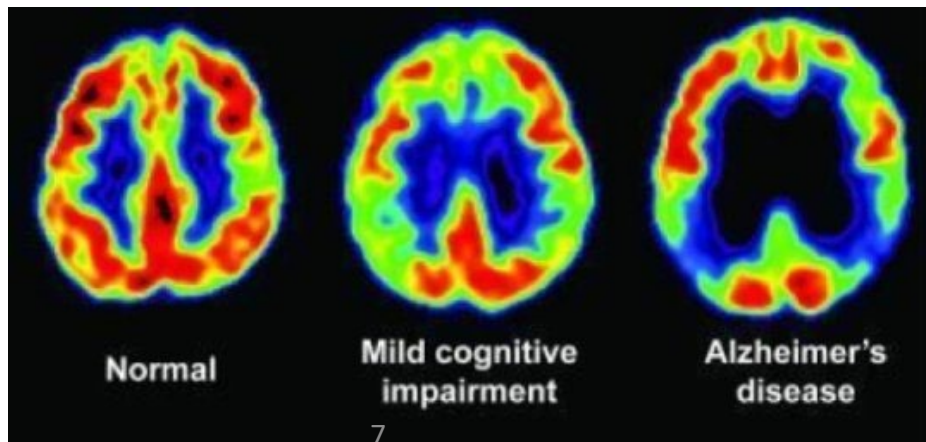
Ordergrootte: MBq-GBq



<https://ramsaygds.fr/>



<https://www.lakemedicalimaging.com>



# Stralingsbescherming

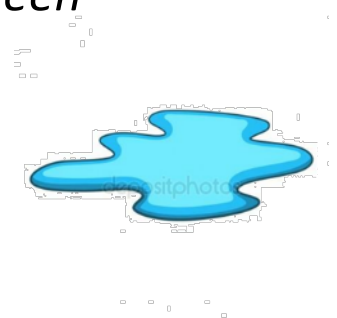
verspreidbare radioactieve stoffen - D

## Specifieke regelgeving H13



# Specifieke regelgeving

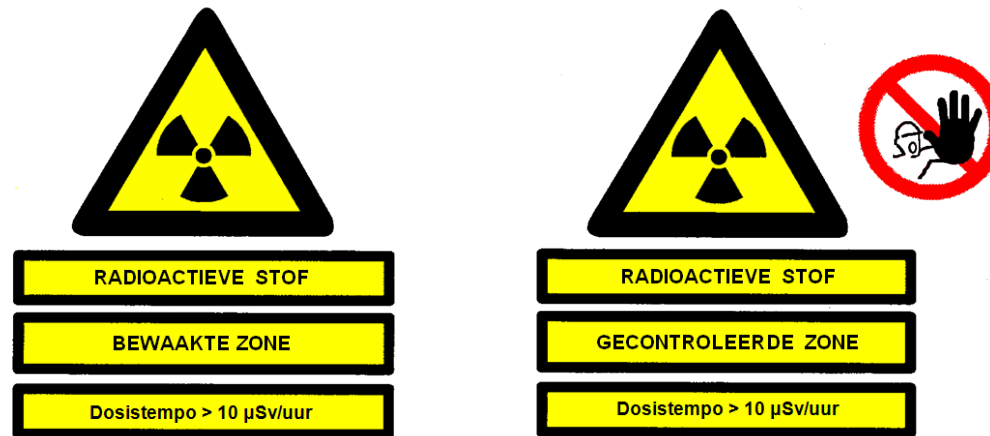
*Open bron: Bron, niet zijnde een ingekapselde bron en niet zijnde een toestel of versneller. (Bbs art. 1.2, bijlage)*



In Rbs bijlage 2.1: gerechtvaardigde toepassingen  
Open bronnen:

		<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ olie- en gastransport</li> <li>♦ geothermie</li> </ul>		
I.B.3	Onderzoek en experimenten	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ industriële-, onderzoeks- en ziekenhuisradio-nuclidenlaboratoria</li> <li>♦ Hoge Flux Reactor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ uitvoering van experimenten</li> <li>♦ <i>in vivo</i> onderzoek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ bevordering van kennis</li> <li>♦ benutten van fysische mogelijkheden</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Hoger Onderwijs Reactor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ labeling</li> <li>♦ kernfysisch- en materiaal-onderzoek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ optimalisatie van processen</li> <li>♦ verbetering volksgezondheid</li> </ul>
I.B.4	Tracermetingen	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ verrichten van biologisch en/of milieukundig onderzoek in het vrije</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ tracermetingen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ bevordering van kennis en inzicht</li> <li>♦ kostenbesparing</li> </ul>

# Specifieke regelgeving signalering



plaats bij bewaakte zone een waarschuwbord met de tekst  
**radioactieve stof** en **bewaakte zone (< 6 mSv)**

plaats bij gecontroleerde zone een waarschuwbord met de tekst  
**radioactieve stof** en **gecontroleerde zone (< 20 mSv)**

# Specifieke regelgeving

## signalering

voeg (indien relevant) de tekst **dosistempo > 10  $\mu$ Sv/uur** toe

plaats verbodsbord met de tekst **geen toegang voor onbevoegden**  
als fysieke toegangscontrole bij gecontroleerde zone ontbreekt

plaats waarschuwingsetiket op

- voorraadpotjes activiteit
- besmette oppervlakken (vloeren, tafels, voorwerpen)  
**vermeld radionuclide, datum en activiteit**
- deuren (voorzover niet gezoneerd)



# Specifieke regelgeving oppervlaktebesmetting

werkplekken in radionuclidenlaboratorium moeten regelmatig worden gecontroleerd op oppervlaktebesmetting

maximaal toelaatbare afwrijfbare oppervlaktebesmetting

$\alpha$ -emitters 0,4 Bq/cm<sup>2</sup>

andere nucliden 4 Bq/cm<sup>2</sup>

markeer rest bemetting met een waarschuwingsteken



voor voorwerpen die het laboratorium verlaten zijn de waarden een factor 10 kleiner

toezichthouder (TMS) neemt resultaten van besmettingscontroles op in kernenergiewetdossier

# Specifieke regelgeving toezicht

toezichthouder (TMS) VRS-D mag toezicht houden op

1. toepassingen met een activiteit van ten hoogste  $0,2 Re_{\text{inhalatie}}$   
(= maximale activiteit in een D-laboratorium)
2. kleine ingekapselde bronnen voor meet- of ijkdoeleinden

toezichthouder (TMS) VRS-D werkt onder verantwoordelijkheid van stralingsbeschermingsdeskundige (CD) die fungeert als eerste aanspreekpunt bij onder meer incidenten



# Specifieke regelgeving

## radionuclidenlaboratorium

open radioactieve stoffen mogen **uitsluitend** worden toegepast in een radionuclidenlaboratorium

B-, C- en D-laboratoria

- inrichtingseisen het meest streng voor een B-laboratorium
- inrichtingseisen het minst streng voor een D-laboratorium

B-laboratorium  $2000 Re_{inh}$  (TMS VRS-B = CD)

C-laboratorium  $20 Re_{inh}$  (TMS VRS-C)

D-laboratorium  $0,20 Re_{inh}$  (TMS VRS-D)

# Radiotoxiciteitsequivalent, herhaling

Het *radiotoxiciteitsequivalent*  $Re$  van een radionuclide is de activiteit die bij volledige directe inname (ingestie of inhalatie) daarvan een effectieve volgdosis van 1 sievert tot gevolg heeft.

- **$A = Re / e(50)$  ( $\Rightarrow A$  die 1 Sv volgdosis oplevert)**
- **$Re = A \times e(50)$**
- Denk om route!  $Re_{(inh)}$  en  $Re_{(ing)}$

# Radiotoxiciteitsequivalent, herhaling

Bijvoorbeeld:

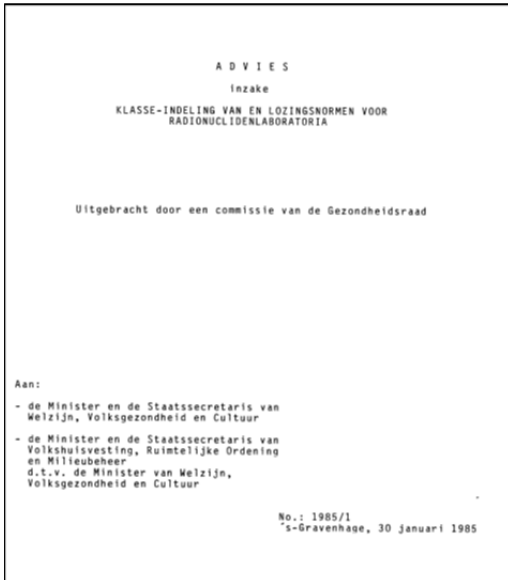
Hoeveel MBq is 1 Re van een stof met een  $e(50)$  van  $5 \times 10^{-9}$  Sv/Bq?

$$\Rightarrow 1 \text{ Re} / 5 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq} = 200 \text{ MBq}$$

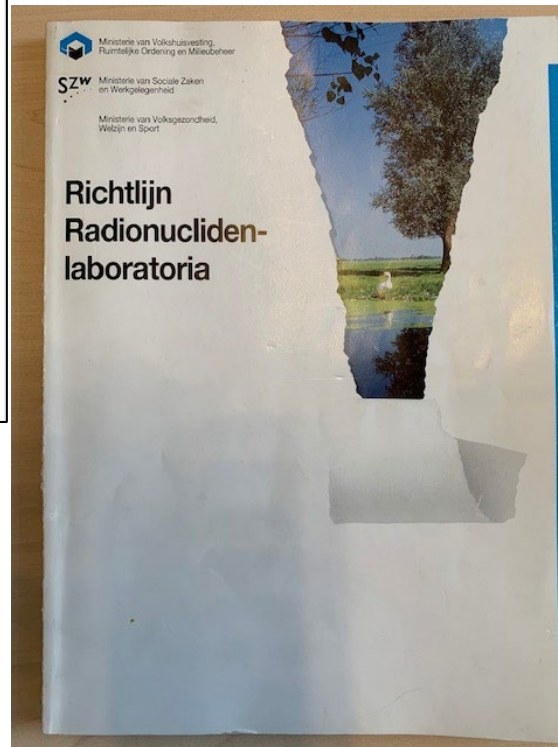
Hoeveel Re is 10 MBq van een stof met een  $e(50)$  van  $5 \times 10^{-9}$  Sv/Bq?

$$\Rightarrow 10 \text{ MBq} \times 5 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq} = 0,05 \text{ Re}$$

# Richtlijn Radionuclidenlaboratoria RRNL



1985



1994

2018



**STAATSCOURANT**  
Officiële uitgave van het Koninkrijk der Nederlanden sinds 1814.

Nr. 2035  
31 januari  
2018

Verordening van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming van 9 januari 2018, nr. ANVS-2018/137, houdende nadere regels ter bescherming van personen tegen de gevaren van blootstelling aan ioniserende straling (ANVS-verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming)

De Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming,



Autoriteit Nucleaire Veiligheid en  
Stralingsbescherming

**Bijlage radionucliden-laboratorium**

**1 Algemene eisen voor een radionucliden-laboratorium**

**1.1 Inleiding**  
Een radionucliden-laboratorium is een laboratorium waarin met radioactieve stoffen mag worden gewerkt. In deze bijlage worden de eisen beschreven die vanuit het oogpunt van stralingsbescherming gelden. Daarnaast gelden de bepalingen uit de Arbeidsomstandighedenwet voor het werken met stoffen in een laboratorium.

Radionucliden-laboratoria worden ingedeeld in de klassen B, C en D (naar volgorde van afnemend risico).

# Inrichtingseisen

## Richtlijn Radionuclidenlaboratoria RRNL

- Eisen aan luchtverversing (8-voudig)
- Decontamineerbaarheid
- Brandwerendheid, 60 minuten
- Zuurkasten
- Afsluitbare toegang
- Ramen
- (Niet) handbediende kranen
- Onderdruk
- Luchtafvoer
- Opslag
- Schoonmaak(spullen)



# RRNL - Risicoanalyse

## Richtlijn Radionuclidenlaboratoria 1994

### Risico:

**Bepaald door herhaalde opname van kleine hoeveelheden radioactieve stof**

(Basis: Gezondheidsraad, 1985)

Dosisnorm < 10% van jaarlimiet bij reguliere werkzaamheden

Andere opvatting:

Risico wordt bepaald door incidenten

- HARAS-rapport, 1997
- Leidraad (Grimberg en Wiegman), 2006



# Radionuclidenlaboratoria

**A<sub>max</sub>**

$$A_{\max} = \frac{0,02 \times 10^{p+q+r}}{e(50)_{\text{inhalatie}}}$$

**Maximaal te hanteren activiteit:**

**Let op: per toepassing/handeling!**

$$A_{\max} = 0,02 \times 10^{p+q+r} / e(50)_{\text{inh}}$$

(A<sub>max</sub> in Bq, e(50) in Sv/Bq)

**p** = verspreidingsparameter

**q** = laboratoriumparameter

**r** = lokale ventilatieparameter

(let op: **r** ≤ **q**)



# Radionuclidenlaboratoria

**A<sub>max</sub>**

**p = verspreidingsparameter**

<b>p</b>	<b>toepassing</b>
-4	sterk spattende bewerking hanteren van poeders in open systemen
-3	labeling met vluchtig nuclide koken van vloeistof in gesloten systeem
-2	labeling met niet vluchtig nuclide eenvoudige chem. bepaling met tracers (RIA)
-1	kort, zeer eenvoudig nat werk opslag van afval in werkruimte

P=0: opslag in speciale berging

P=-3, -4 moeten in een goede zuurkast



# Radionuclidenlaboratoria

$A_{\max}$

$q$  = laboratoriumparameter

$q$	ruimte
0	werkruimte buiten laboratoriumbeheer
1	D-laboratorium nevenruimte bij laboratorium
2	C-laboratorium
3	B-laboratorium

# Radionuclidenlaboratoria

$A_{\max}$

$r =$  lokale ventilatieparameter (let op:  $r \leq q$ )

$r$	lokale ventilatievoorziening
0	geen voorzieningen
1	zuurkast (geen NEN-keur)
2	zuurkast (wel NEN-keur)
3	gesloten werkkast

$$\rightarrow A_{\max} = 0,02 \times 10^{p+q+r} / e(50)_{\text{inh}}$$





Hot Cell Laboratory (HCL) NRG (Petten)

r=3  
gesloten werkkast

## Handschoenenkast



# Belastingsfactor B

- Meerdere toepassingen in een laboratorium(ruimte)
- Per week
- **B moet kleiner dan of gelijk zijn aan 1.**

$$B_w = \sum_j \sum_i [ (X_{j,i} / X_{\max,j,i}) \times (t_i / 40) ] \leq 1$$

j = radionuclide

i = handeling

$$B_w = \sum_i \frac{A_i}{A_{\max,i}} \times \frac{t_i}{40} \leq 1$$

Voorbeeld experiment:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
10		Verbinding :		<sup>32</sup> P-orthophosphate										
11		T <sub>1/2</sub> :		14,3	d									
12		DCC <sub>inh</sub> :		1,10E-09	Sv /Bq									
13		Re <sub>inh</sub> :		9,09E+08	Bq /Sv									
14		A in experiment :		30	MBq =									
15				0,811	mCi =									
16				3,30E-02	Re <sub>inh</sub>									
17			Bw per MBq =		4,05E-04									
18														
19		Korte beschrijving protocol :				lokale ventilatievoorziening :								
20							labtafel		r=0					
21														
22	2	Incubation at 37C with shaking					zuurkast		r=2					
23	3	centrifuge the cultures (4000 rpm)					zuurkast		r=2					
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30	Stap #	Handeling				p	q	r	Tijd	Fractie	A x fractie			
31									uur	label	A <sub>max</sub>	/ A <sub>max</sub>	B <sub>w</sub>	
32	1	Pipetting of label into 6 cell cultures in tube				-1	3	0	0,1	1	1,82E+03	1,65E-02	4,13E-05	
33	2	Incubation at 37C with shaking				-3	3	2	18	1	1,82E+03	1,65E-02	7,43E-03	closec
34	3	centrifuge the cultures (4000 rpm)				-3	3	2	0,2	1	1,82E+03	1,65E-02	8,25E-05	fumeh
35	4	remove supernatant				-2	3	0	0,1	1	1,82E+02	1,65E-01	4,13E-04	
36	5	add cell lysis buffer, incubate at 4C				-1	3	0	0,2	0,1	1,82E+03	1,65E-03	8,25E-06	
37	6	vortex 10 x 1 min				-3	3	0	0,2	0,1	1,82E+01	1,65E-01	8,25E-04	
38	7	lysate into new tubes, incubate 30 min at 4				-2	3	0	0,1	0,1	1,82E+02	1,65E-02	4,13E-05	
39	8	centrifuge the tubes (14000 rpm, 5 min)				-2	3	0	0,1	0,1	1,82E+02	1,65E-02	4,13E-05	
40	9	pipette sup in new tubes, +IPbuffer+antibo				-1	3	0	0,1	0,1	1,82E+03	1,65E-03	4,13E-06	
41	10	incubate 1hr at 4C				-2	3	0	1	0,1	1,82E+02	1,65E-02	4,13E-04	
42	11	add sepharosebeads				-2	3	0	0,1	0,1	1,82E+02	1,65E-02	4,13E-05	
43	12	incubate 1hr at 4C				-2	3	0	1	0,1	1,82E+02	1,65E-02	4,13E-04	
44	13	centrifuge the tubes (short spin, 5 sec)				-3	3	0	0,05	0,1	1,82E+01	1,65E-01	2,06E-04	
45	14	wash beads (pellet) 7 x with 1 ml buffer				-2	3	0	0,2	0,1	1,82E+02	1,65E-02	8,25E-05	
46	15	resuspend pellet in SDS-Page buffer				-2	3	0	0,1	0,1	1,82E+02	1,65E-02	4,13E-05	
47	16	incubate 5 min at 95C				-2	3	0	0,1	0,1	1,82E+02	1,65E-02	4,13E-05	
48	17	Loading on gel				-2	3	0	0,1	0,1	1,82E+02	1,65E-02	4,13E-05	
49	18	Electrophoresis and drying				-2	3	0	3	0,1	1,82E+02	1,65E-02	1,24E-03	
50	19	Placing into phosphorscreen cassette				-1	3	0	0,2	0,1	1,82E+03	1,65E-03	8,25E-06	
51	20	illumination of phosphorscreen (total: 18h)				-1	3	0	18	0,1	1,82E+03	1,65E-03	7,43E-04	
52	21	remove from phosphorscreen				-1	3	0	0,2	0,1	1,82E+03	1,65E-03	8,25E-06	
53									uur					
54									Totaal	43,15	Totaal :		1,22E-02	
55											Bw per MBq =		4,05E-04	
56														



# Oefeningen



# pqr

<b>p</b>	<b>vorm van stof / werkzaamheden</b>
-4	gas poeders mengen of malen vloeistof tegen kookpunt spattende bewerkingen
-3	vluchtige nucliden ( $^3\text{H}$ -damp, jodium) poeders in gesloten systeem centrifugeren, vortexen
-2	eenvoudige bewerking (RIA) labeling niet-vluchtige stof
-1	bewerking in gesloten systeem (elutie Tc) meten aan gesloten ampul pipetteren niet vluchtige stof opslag in laboratorium

<b>q</b>	<b>laboratorium</b>
0	buiten laboratorium
1	D-laboratorium
2	C-laboratorium
3	B-laboratorium

<b>r</b>	<b>lokale ventilatie</b>
0	buiten zuurkast, op tafel
1	zuurkast (niet NEN-EN 14175)
2	zuurkast (wel NEN-EN 14175) air-flow isolator (veiligheidsklasse 2)
3	air-flow isolator (veiligheidsklasse 3) glove box

# 1. RIA kit

## Werken met een RIA kit

inkoop	20 MBq $^{125}\text{I}$
werkvoorraad	60 kBq $^{125}\text{I}$
werktijd	1 uur
aantal experimenten	5 per week
e(50)inhalatie voor	$^{125}\text{I}$ $7,3 \times 10^{-9}$ Sv/Bq
Afgieten vloeistof	Wat is de bijbehorende p-waarde?



P=-3: handeling met jodium

Bij p=-3: verplicht in een goede zuurkast, p=-3 handelingen mogen niet op een D-lab.

Maximaal op het D-lab: 0,2 Re. Hoeveel MBq is dit?

$$A = Re/e(50) = 0,2 / 7,3 \times 10^{-9} = 27,4 \text{ MBq}$$

Maximaal op het C-lab: 20 Re. Hoeveel MBq is dit?

$$A = Re/e(50) = 20 / 7,3 \times 10^{-9} = 2740 \text{ MBq}$$

# 1. RIA kit

Voor het afgieten van het centrifugaat in de zuurkast geldt op een C-lab:

$$p = -3, q = 2 \text{ en } r = 2.$$

Wat is maximaal toegestaan voor deze handeling en wat is de belastingfactor?

$$0,02 \times 10^{-3+2+2} = 0,2 / 7,3 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq} = 27,4 \text{ MBq}.$$

De genoemde werkvoorraad blijft onder dit maximum.

Belastingfactor:

$$B = \frac{5 \times 1h}{40 h} \times \frac{60 \text{ kBq}}{27 \text{ MBq}} = 2,8 \times 10^{-4}$$

Dit is veel kleiner dan 1. Er mogen dus nog meer experimenten worden uitgevoerd in hetzelfde laboratorium en in dezelfde week.

*Denk om sommeren van experimenten!*

## 2. Cesiumchloride

Mag in een C-laboratorium een oplossing met 37 MBq  $^{137}\text{CsCl}_2$  op tafel gepipetteerd worden?

voor  $^{137}\text{Cs}$  is  $e(50)_{\text{inh}} = 6,7 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$

pipetteren	$p = -1$
C-laboratorium	$q = 2$
werken op tafel	$r = 0$

$$X_{\text{max}} = 0,02 \times 10^{p+q+r} = 0,02 \times 10^1 = 0,2$$

$$A_{\text{max}} = X_{\text{max}} / e(50)_{\text{inh}} = 29,9 \text{ MBq}$$

het mag dus niet (37 MBq)



## 2. Cesiumchloride

En in een NEN-zuurkast?  
37 MBq  $^{137}\text{CsCl}_2$

voor  $^{137}\text{Cs}$  is  $e(50)_{\text{inh}} = 6,7 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$

pipetteren  $p = -1$   
C-laboratorium  $q = 2$   
werken in zuurkast  $r = 2$

$$X_{\text{max}} = 0,02 \times 10^{p+q+r} = 0,02 \times 10^3 = 20$$

$$A_{\text{max}} = X_{\text{max}} / e(50)_{\text{inh}} = 2985 \text{ MBq}$$

Geen probleem (37 MBq)

## 2. Cesiumchloride

Bereken de Belastingfactor voor dit experiment  
37 MBq  $^{137}\text{CsCl}_2$

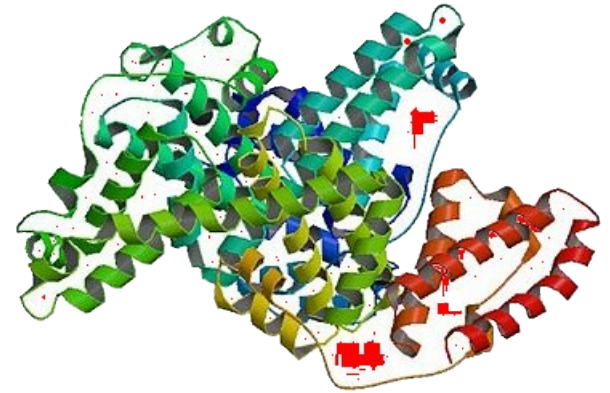
Maximaal 3000 MBq  
Experiment 37 MBq  
Tijd exp 2 h  
Aantal 2 x per week

$$B_w = \sum_i \frac{A_i}{A_{max,i}} \times \frac{t_i}{40} \leq 1$$

$$B = \frac{2 \times 2h}{40 h} \times \frac{37 \text{ MBq}}{3000 \text{ MBq}} = 1,2 \times 10^{-3}$$

# 3. Runderalbumine

radiofarmacon	eiwit-oplossing
	gebufferd (pH = 7,5)
toepassing	groei van celcultures
radionuclide	$^{125}\text{I}$
werkplek	C-laboratorium
activiteit	60 MBq stock
	1,5 MBq per experiment



# 3. Runderalbumine

mag de stock bewaard worden in een chemicaliënkast?

opslag	$p = -1$
C-laboratorium	$q = 2$
plaatselijke afzuiging	$r = 1$
$e_{\text{inhalatie}}(50)$	$1,4 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$

$$\begin{aligned} \rightarrow A_{\text{max}} &= 0,02 \times 10^{p+q+r} / e_{\text{inhalatie}}(50) \\ &= 0,02 \times 10^2 / 1,4 \times 10^{-8} = 1,4 \times 10^8 \text{ Bq} = 140 \text{ MBq} \end{aligned}$$

activiteit stock-voorraad = 60 MBq

→ het mag

### 3. Runderalbumine

mag het experiment uitgevoerd worden in gekeurde zuurkast?

vluchtig nuclide	$p = -3$
C-laboratorium	$q = 2$
gekeurde zuurkast	$r = 2$
$e_{\text{inhalatie}}(50)$	$1,4 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$

$$\begin{aligned} \rightarrow A_{\text{max}} &= 0,02 \times 10^{p+q+r} / e_{\text{inh}}(50) \\ &= 0,02 \times 10^1 / 1,4 \times 10^{-8} = 1,4 \times 10^7 \text{ Bq} = 14 \text{ MBq} \end{aligned}$$

activiteit per experiment = 1,5 MBq

→ het mag

# **Stralingsbescherming**

**verspreidbare radioactieve stoffen - D**

## **Praktische stralingsbescherming**

### **H15**

# Praktische stralingsbescherming

## voorlichting, instructie en bijscholing



TMS wijst werknemer er op dat

- open radioactieve stoffen zich gemakkelijk kunnen verspreiden
- daardoor inwendige besmetting kan optreden
- gebruikt glaswerk (reageerbuizen, bekeerglazen, telpotjes, ...) met waarschuwingsteken voor radioactiviteit bij radioactief afval hoort
- open radioactieve stoffen alleen mogen worden toegepast in een radionuclidenlaboratorium dat expliciet in de vergunning wordt genoemd
- eten, drinken, roken en make-up verboden zijn in radionuclidenlaboratorium

TMS ziet toe op

- (inhoud van) kluis
- uitgifteregister van radioactieve stoffen
- veilig en netjes werken

# Praktische stralingsbescherming

## voorlichting, instructie en bijscholing

TMS draagt zorg voor

- schriftelijke werk- en veiligheidsinstructies
- periodieke bijscholing van zichzelf
- periodieke bijscholing van werknemers voor wie hij verantwoordelijk is

**weet wat je niet weet!**



# Praktische stralingsbescherming

## besmettingscontrole en decontaminatie

TMS ziet toe dat na afloop van iedere handeling de werkplek wordt gecontroleerd op besmetting

TMS controleert periodiek (bijvoorbeeld eens per maand) alle werkplekken op besmetting

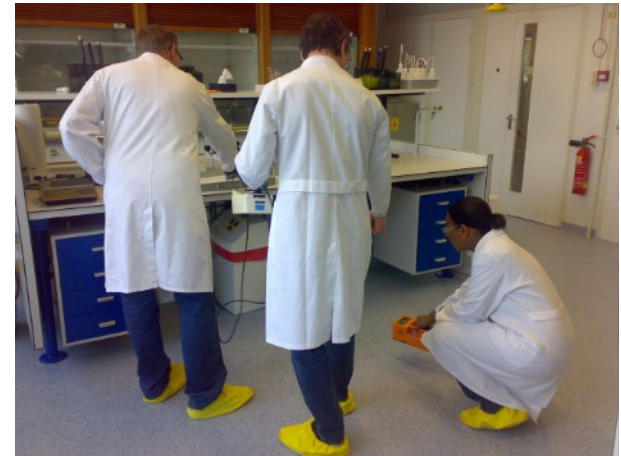
TMS neemt resultaten van besmettingscontroles op in kernenergiewetdossier

# Oeps...

## Besmetting: maatregelen

ontsmettingsprocedure (in deze volgorde)

1. betrokken laboratoriumgedeelte ontruimen en afsluiten
2. personeel bij het verlaten controleren op besmetting
3. laboratoriumgedeelte systematisch nazoeken op besmetting
4. besmette plekken voorzichtig (laten) schoonpoetsen altijd van buiten naar binnen werken



# Praktische stralingsbescherming

## besmettingscontrole en decontaminatie

TMS waarschuwt onmiddellijk CD in geval van besmetting

CD beslist over maatregelen die genomen moeten worden

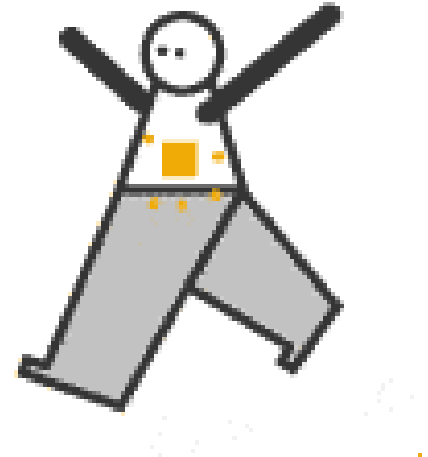
CD zal (waarschijnlijk) uitvoerende taak delegeren aan TMS

TMS zal (waarschijnlijk) uitvoerende taak delegeren aan veroorzaker

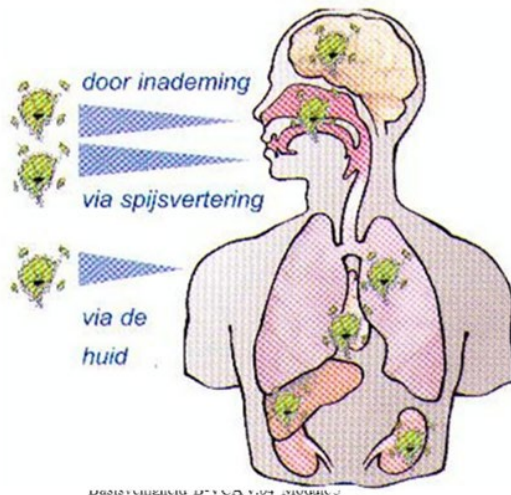
# Inwendige besmetting

## Inwendige besmettingsroutes:

- Inslikken – **Ingestie**
- Inademen - **Inhalatie**  
(gas of aërosolen)
- Opname via de **huid**
- **Wondbesmetting**
- **Injectie**
- **(Wp = 10)**



## Opnamewegen gevaarlijke stoffen



## Verdwijnt door:

- Verval
- Urine
- Ontlasting
- Snuiten
- Zweten
- Uitademen



# Praktische stralingsbescherming

## besmettingscontrole en decontaminatie

als medewerker mogelijk inwendig is besmet, moet TMS zo snel mogelijk uitsluitel zien te verkrijgen

methodes

- medewerker snuit neus
- medewerker verzamelt 24-uursurine
- medewerker verzamelt 24-uursontlasting

TMS handelt onmiddellijk want uitscheiding komt snel op gang

TMS neem zo snel mogelijk contact op met CD

**CD bepaalt of incident moet worden gerapporteerd aan overheid**

# Praktische stralingsbescherming

## radioactief afval

afvoer van radioactief afval is erg duur  
kosten voor vast afval in standaard 90-liter vat  
kan oplopen tot meer dan € 8000, afhankelijk  
van stralingsniveau en persresidu

beperk afval

- gebruik zo weinig mogelijk activiteit
- gebruik (indien mogelijk) kortlevende nucliden
- bewaar (indien mogelijk) afval om te laten vervallen
- scheid actieve en niet actieve materialen
- scheid organisch en anorganisch afval

waarschuwingsteken voor radioactiviteit niet bij gewoon bedrijfsafval  
afvoer naar de COVRA altijd door of in opdracht van CD

**Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA)**



# Radioactief Afval

Radioactieve stoffen (vast) mogen worden overgedragen aan reguliere afvalverwerkers mits

- De activiteitsconcentratie **beneden** de vrijgavegrens is
- Actueel: Probleem met vrijgeven vloeistoffen  
(Voorbeeld: Vbs art 3.18 lid 2 en lid 4)
- Zeer complex: meerder tabellen, vloeibaar vs. vast, bulk vs. beperkte hoeveelheden (Bbs, Rbs, Vbs)

Nuclide	vrijgavegrens (Bq/g)
---------	-------------------------

3H	<b>100</b>
14C	1
32P	1000
99mTc	100
131I	10

*De vrijgavegrenzen zijn gekoppeld aan de e(50)*

# Lozen (AGIS)

Lozing is aan zeer strenge regels gebonden

- lozing naar de lucht
- lozing naar het riool
- Vbs bijlage 10

(deze regels vallen buiten het bestek van de cursus VRS-D/MR)



*"What'll I do with the nuclear wastes?"*



# Praktische stralingsbescherming

## risicoanalyse

benodigde gegevens voor elke bron

- nuclide, activiteit (Bq), bronconstante, effectieve dosiscoëfficiënt
- emissiegegevens ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , energie)
- fysische en chemische eigenschappen
- aantal gebruiksuren per jaar
- afstand tot alle naastgelegen ruimtes (m)
- materiaal en dikte van eventuele afschermingen (cm)
- afstand tot de terreingrens (m)  
dit kan ook de muur van naastgelegen ruimte of plafond zijn

deze gegevens zijn te vinden in het **kernenergiewetdossier**

# Praktische stralingsbescherming

## risicoanalyse

TMS stelt voor elke handeling een protocol op en controleert

- is activiteit lager dan maximaal toegestane activiteit per handeling?
- is belastingfactor kleiner of gelijk aan 1, rekening houdend met andere handelingen in hetzelfde laboratorium en in dezelfde week?
- worden lozingsnormen overschreden?

TMS voert dosisberekeningen uit voor

1. werknemers die met de open bronnen werken  
houd hierbij rekening met mogelijke dosis door inwendige besmetting en met op te lopen huiddosis
2. naastgelegen ruimtes binnen het gebouw
3. terreingrens  
doe dit voor dichtstbij gelegen terreingrens  
herhaal berekening indien in andere richting minder afscherming is

# Terreingrens



**RENOVOI SITUATIE**

- bestaande situatie
- te vernieuwen situatie
- te vernieuwen situatie met 20% meer oppervlakte
- te vernieuwen situatie met 10% meer oppervlakte
- te vernieuwen situatie met 5% meer oppervlakte
- te vernieuwen situatie met 0% meer oppervlakte

**Notitie**  
 De afbeelding is een conceptueel ontwerp en kan afwijken van de werkelijkheid. Het is niet bedoeld als juridisch document. Het is niet bedoeld als bouwplan. Het is niet bedoeld als vergoeding van schade. Het is niet bedoeld als aansprakelijkheid. Het is niet bedoeld als garantie. Het is niet bedoeld als verzekering. Het is niet bedoeld als aansprakelijkheid. Het is niet bedoeld als vergoeding van schade. Het is niet bedoeld als aansprakelijkheid. Het is niet bedoeld als vergoeding van schade.

1:500  
 100%  
 100%

**RUG**  
**Entiteit**  
**Geneeskunde &**  
**Farmacie**

Antonie Deusingen 1  
 3712 AB Groningen



CONCEPT

situatietekening gebouwnummers	A1	1: 500
10.12.2021	K687	Rijksuniversiteit Groningen
K687 TO KAA B ZZ XX DR 1007		

KAAN Architecten

BOUWPLAN EN ALLE OVERIGE TECHNISCHE PLANNEN  
 1:100 (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B11, B12, B13, B14, B15, B16, B17, B18, B19, B20)



# Oefening



## 4. Terreingrens

Dosisberekening op de **terreingrens** bij maximaal 0,2 Re Co-60 bron

Dosislimiet op de terreingrens is 0,1 mSv

Totaal aantal uren per jaar: **8760**

Terreingrens op 10 meter

Bronconstante  $h(60\text{-Co}) = 0,36 \mu\text{Sv/uur}$  per MBq op 1 m

$e(50) = 1,7 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$

Hoeveel MBq is de bron?

**0,2 Re /  $e(50) = 0,2 / 1,7 \times 10^{-8} = 12 \text{ MBq}$  maximaal**

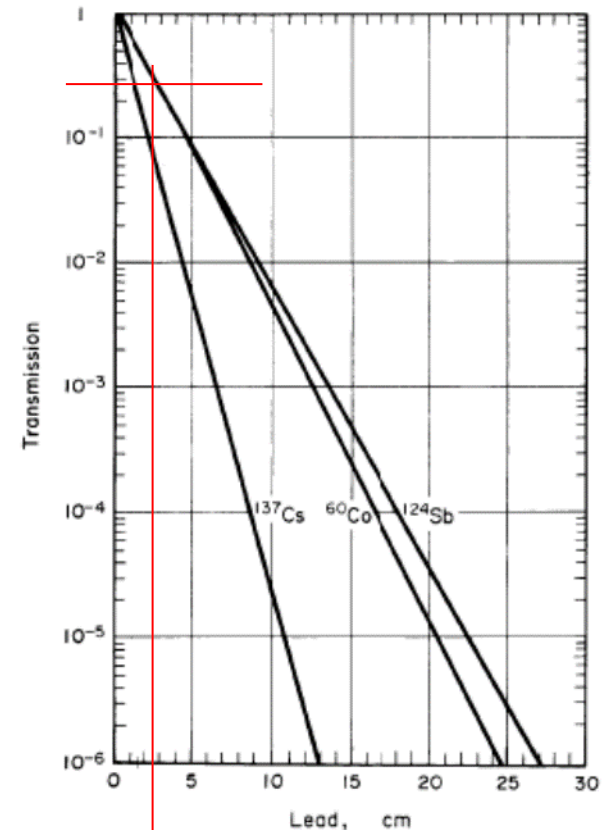
Dosis op terreingrens?

$$E = \frac{h \times A \times t \times T}{r^2} = \frac{0,36 \times 12 \times 8760 \times 1}{10^2} = 378 \mu\text{Sv} = 0,38 \text{ mSv}$$

Hoe dik moet de loodafscherming zijn?

$$T = 0,1 \text{ mSv} / 0,38 \text{ mSv} = 0,26$$

**Minimaal 2,5-3 cm lood.**



# Praktische stralingsbescherming

## risicoanalyse

- maak altijd behoudende schatting
- neem altijd incidentsituaties mee
- neem altijd gevolgen van inwendige besmetting mee
- bij meerdere afschermingen kan meestal volstaan worden met de afscherming die grootste stralingsreductie oplevert
- sommeer bijdragen van alle aanwezige bronnen
- vergelijk resultaten met dosislimieten

TMS zorgt dat de risicoanalyse actueel blijft: als uitgangspunten voor de analyse veranderen, moet de analyse worden aangepast

overleg altijd met CD voor aan risicoanalyse te beginnen

**risicoanalyse moeten getoetst en goedgekeurd worden door CD**

# Praktische stralingsbescherming

## risicoanalyse

### Werkelijke dosis is vaak lager:

- Afscherming door muren etc. vaak niet meegenomen
- Berekening transmissie geeft vaak overschatting
- Terreingrensdosis wordt met een vereenvoudigd, conservatief model berekend
- Hoeveelheid activiteit bij incident wordt vaak overschat

# Praktische stralingsbescherming

## kernenergiewetdossier

TMS beheert kernenergiewetdossier en houdt dit actueel

globale inhoud van dossier

- bedrijfsgegevens
- gegevens per bestelling
- organisatorische gegevens





*Tabel 19.1 Inhoud van het kernenergiewetdossier open bronnen.*

<i>Bedrijfsgegevens</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• vergunning of registratie, inclusief aanvraag</li><li>• aanwijzing en diploma van toezichthouder stralingsbescherming</li><li>• overeenkomst met stralingsbeschermingsdeskundige</li><li>• plattegronden van het gebouw, inclusief terreingrens</li><li>• werkprotocollen, veiligheidsinstructies</li><li>• overzicht blootgestelde werknemers <sup>a</sup></li><li>• uitslagen persoonsdosimeters <sup>a</sup></li></ul>
<i>Gegevens per bestelling</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• documenten waaruit batch-nummer, leverancier en leverdatum blijken</li><li>• nuclide, halveringstijd, chemische samenstelling</li><li>• ruimtenummer, exacte plaatsaanduiding</li><li>• overzicht van mutaties</li></ul>
<i>Organisatorisch</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• actuele risico-inventarisatie en -evaluatie</li><li>• resultaten periodieke besmettingsmetingen</li><li>• kalibratierapporten monitoren</li><li>• onderhoudsrapporten technische voorzieningen</li><li>• lozingsgegevens</li><li>• bewijs van afvoer via COVRA</li><li>• incidenten</li></ul>

<sup>a</sup> indien van toepassing

# Veilig werken: werknemer



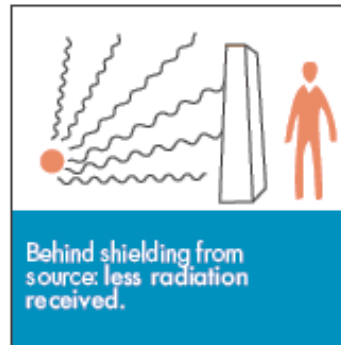
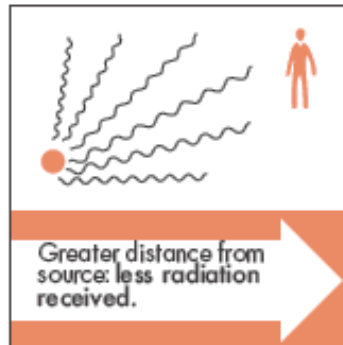
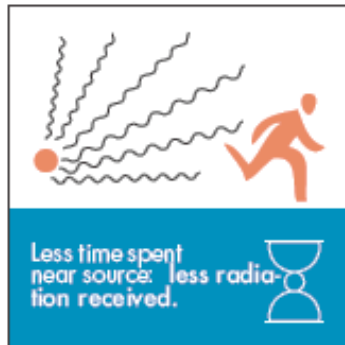
Goed of fout?



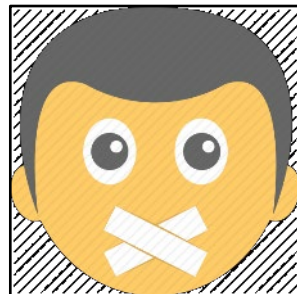
# Praktische stralingsbescherming

## organisatorische maatregelen

### Bescherming tegen uitwendige bestraling:



### Bescherming tegen inwendige besmetting



# Stralingsbescherming

## verspreidbare radioactieve stoffen - D

- Inperking van het risico
  1. Maatregelen van organisatorische aard  
Hoeveelheden, aantal exp, ALARA, rechtvaardiging etc.
  2. Maatregelen van technische aard  
Afscherming, zuurkast, decontamineerbaarheid etc
  3. PBM

> Brongerichte strategie <

# Praktische stralingsbescherming

## organisatorische maatregelen

sla werkvoorraden van verspreidbare radioactieve stoffen op in afsluitbare, geventileerde (chemie)kast of in afsluitbare koelkast

haal voor elke handeling de volgens het protocol benodigde activiteit uit de werkvoorraad en noteer activiteit in het uitgifteregister

# Praktische stralingsbescherming

## principes van veilig werken

### voorkom verspreiding

hou afstand tot stralingsbron door reageerbuis niet met de handen vast te pakken, maar met een hulpmiddel (pincet, tang, ...)

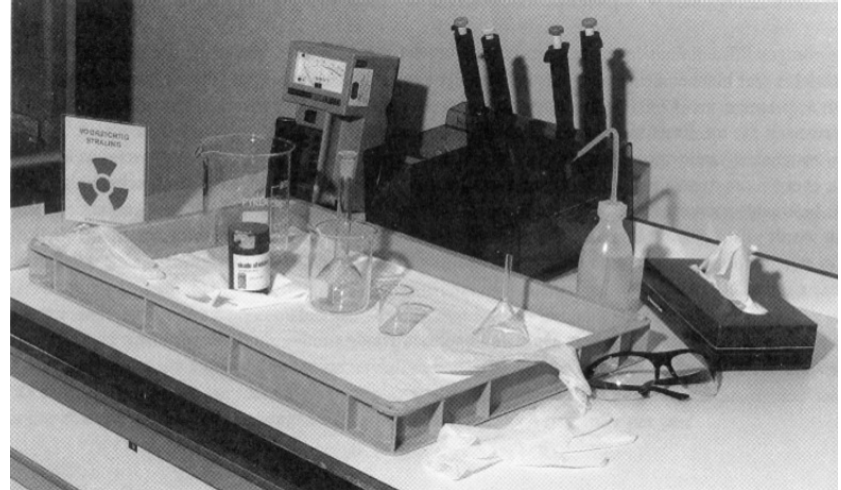
in D-laboratorium is dit niet (altijd) nodig: bekersglas kan uit pincet glijpen, waardoor besmetting ontstaat en middel erger is dan kwaal

gebruik smal en hoog bekersglas: bij overschenken zal de activiteit slechts een fractie van een seconde in de buurt van de vingers komen en de huiddosis verwaarloosbaar klein zijn



# Praktische stralingsbescherming

## principes van veilig werken



leg vooraf alles klaar

- handschoenen
- pincetten, scharen, stickers
- reageerbuisjes, houder voor reageerbuisjes
- tissues, kleine afvalvaten voor vast en vloeibaar afval
- Decontaminatiemiddelen

“droog” of “koud” oefenen

# Praktische stralingsbescherming

## voorkom verspreiding van activiteit

veiligheidsmaatregelen bij open radioactieve stoffen zijn gebaseerd op principe van containment:

- werk in radionuclidenlaboratorium
- werk binnen radionuclidenlaboratorium in een morsbak (opstaande rand, groot genoeg om lekkage op te vangen, vocht absorberende laag)
- bewaar binnen morsbak de activiteit in een bekeerglas of voorraadfles

activiteit mag zich tijdens het werk niet ongewild verspreiden vanuit flessen, morsbak, afvalvat, radionuclidenlaboratorium, ...

beperkt verspreiding zoveel mogelijk als de verspreiding eenmaal heeft plaatsgevonden door breuk, lekkage, besmetting, ...



# Praktische stralingsbescherming

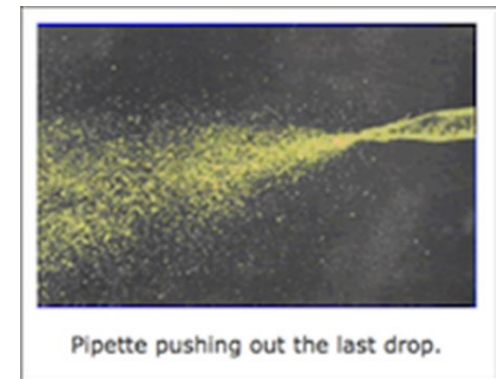
## voorkom verspreiding van activiteit

### aerosolen

- kleine vloeistofdeeltjes in de lucht
- kunnen ontstaan bij werk met open radioactiviteit
- kunnen inwendige besmetting via longen veroorzaken
- afvoer zo dicht mogelijk bij de werkplek
- laminaire luchtstroomkast, zuurkast
- controleer werking van zuurkast

### risico van aerosolvorming bij:

- schudden en vortexen
- centrifugeren
- openen van flesje
- leegdrukken van injectiespuit
- overschenken van vloeistof



[http://www.dartmouth.edu/~ehs/biological/biological\\_research.html](http://www.dartmouth.edu/~ehs/biological/biological_research.html)

# Praktische stralingsbescherming

## afscherming



### afscherming $\beta$ -straling

gebruik perspex

$^3\text{H}$  en  $^{14}\text{C}$  → 1 mm of 50 cm lucht

$^{32}\text{P}$  → 1 cm of 10 m lucht

afscherming is 100%

### afscherming $\gamma$ -straling

gebruik lood, ijzer, beton

dikte lood (in cm) > dikte beton (in cm)

afscherming is nooit 100%

pas in radionuclidenlaboratorium altijd alzijdige afscherming toe

# Praktische stralingsbescherming

## persoonlijke beschermingsmaatregelen

eten, drinken en make-up aanbrengen  
verboden in radionuclidenlaboratorium



draag tijdens het werk in radionuclidenlaboratorium altijd

- veiligheidsbril (controleer dikte)
- laboratoriumjas
- wegwerphandschoenen

handschoenen kunnen leiden tot huid- of ademhalingsproblemen

buiten radionuclidenlaboratorium geen laboratoriumjas of handschoen

# Praktische stralingsbescherming

## persoonlijke beschermingsmaatregelen

### wegwerphandschoenen

- 1 of 2 handschoenenbeleid?
- zorgvuldig aan- en uittrekken
- pak pipet, telefoon, deurknop, ... nooit met handschoen aan
- pak rand afvalvat, apparatuur in zuurkast, ... altijd met handschoen aan
- gebruik tissue om zeer besmette voorwerpen aan te pakken
- controleer en vervang handschoenen regelmatig

### TLD-badge

- draag deze zichtbaar
- heeft geen afschermende werking
- waarschuwt wanneer slordig wordt gewerkt
- is voor TMS middel om ALARA te controleren



# Praktische stralingsbescherming

## specifieke maatregelen

voorkom rechtstreekse opname in de bloedbaan

- werk niet met open wonden
- krab niet bij jeuk
- voorkom opname van  $^3\text{H}$  via huid
- > wissel regelmatig handschoenen
- wees voorzichtig met injectienaalden

gelabelde eiwitten

- na inname kunnen moleculen zich hechten op specifieke plaatsen in de menselijke cel
- e(50) kan factor 10 groter zijn dan voor andere stoffen

# Praktische stralingsbescherming

## specifieke maatregelen

controleer regelmatig

- besmetting van kleding
  - besmetting van handschoenen
  - besmetting van werkplek
  - stralingsniveau
- 
- kijk of de monitor geschikt is voor doel (raadpleeg TMS/CD bij twijfel)
  - controleer batterijspanning van monitor
  - gebruik geen dosistempometer voor besmettingscontrole
  - gebruik geen besmettingsmonitor voor meting stralingsniveau



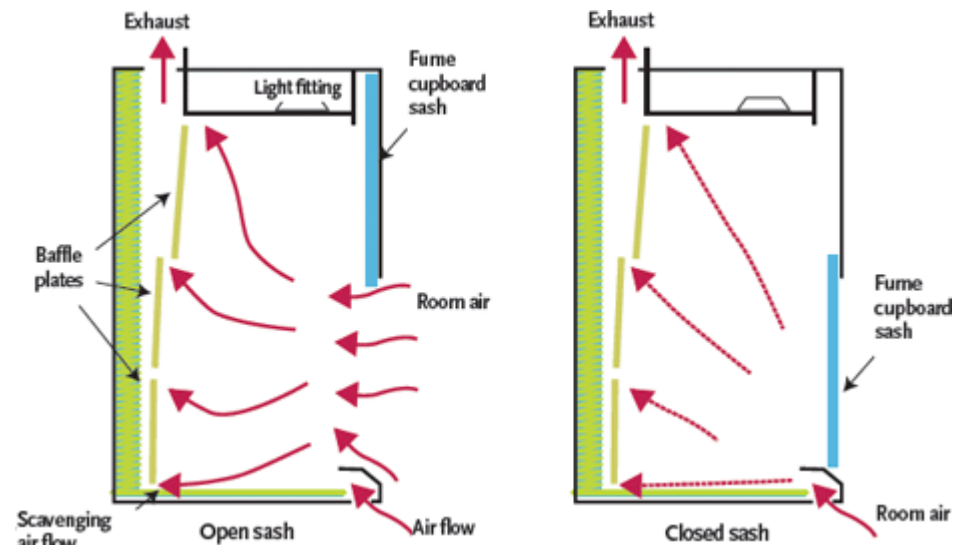
**waarschuw onmiddellijk TMS als een persoon besmet of bestraald is**

# Praktische stralingsbescherming

## zuurkast

- Zo ver mogelijk naar achteren werken
- Niet te vol
- Raam zo veel mogelijk sluiten
- Hoofd buiten zuurkast
- Geen heftige bewegingen
- Controleer op besmetting
- Controleer op juiste werking
- (Twee)jaarlijkse controle

- [Video](#)



# Praktische stralingsbescherming

## bijzondere nucliden

### Tritium: $^3\text{H}$

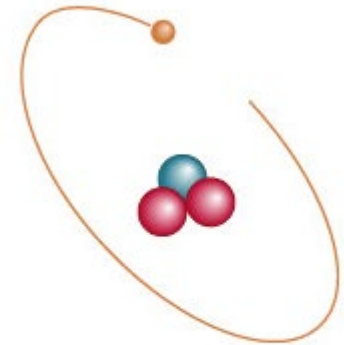
**Risico op uitwisseling met waterstof in bijv. water**

- Condensatie  $^3\text{H}$ -waterdamp (koelkast / vriezer)

### Risico op inwendige besmetting

(echter lage  $e(50)$ )

- Diffusie door parafilm / handschoenen



Tritium



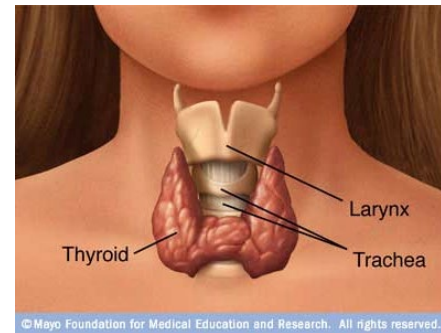
# Praktische stralingsbescherming

## bijzondere nucliden

**Jodium:  $^{125}\text{I}$  en  $^{131}\text{I}$**

**Risico:  
Vorming van vluchtig jodium**

**Hoge equivalente dosis op de schildklier**



### Maatregelen:

- Voorraadpotjes / afvalvaten zo kort mogelijk openen
- Niet in zuur milieu
- Parafilm laat jood door!
- Vloeibaar afval: houd  $\text{pH} > 4$  en binden (aan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  of  $\text{Na}_2\text{S}$ )

# Stralingsbescherming

## verspreidbare radioactieve stoffen - D

### Risicoanalyse

### H17

# Dosimetrie Uitwendige bestraling

## $\gamma$ -straling : bronconstante

Met de bronconstante kun je activiteit omrekenen naar effectieve dosis:

$$E = h \times A \times t / r^2$$

- Effectieve dosis E
- Equivalente dosis H

**h = bronconstante**

**A = activiteit**

**t = tijd**

**r = afstand**

nuclide	h ( $\mu\text{Sv h}^{-1}$ per MBq M <sup>-2</sup> )
<sup>22</sup> Na	0,33
<sup>60</sup> Co	0,36
<sup>99m</sup> Tc	0,023
<sup>131</sup> I	0,066
<sup>137</sup> Cs	0,093
<sup>192</sup> Ir	0,14
<sup>241</sup> Am	0,017

**Uitwendig: huidbesmetting**

Vuistregel: **dosistempo op de huid (Equivalente dosis)**

**H  $\approx$  2 mSv/h Bij 1 kBq/cm<sup>2</sup>**

# Dosimetrie Inwendige besmetting

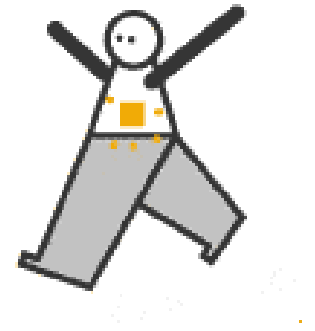
## Effectieve volgdosis

Wordt toegekend in het jaar van inname

$$E(50) = A \times e(50)$$

A = activiteit (Bq)

$e(50)$  = *eff. volgdosiscoëfficiënt* (Sv·Bq<sup>-1</sup>)



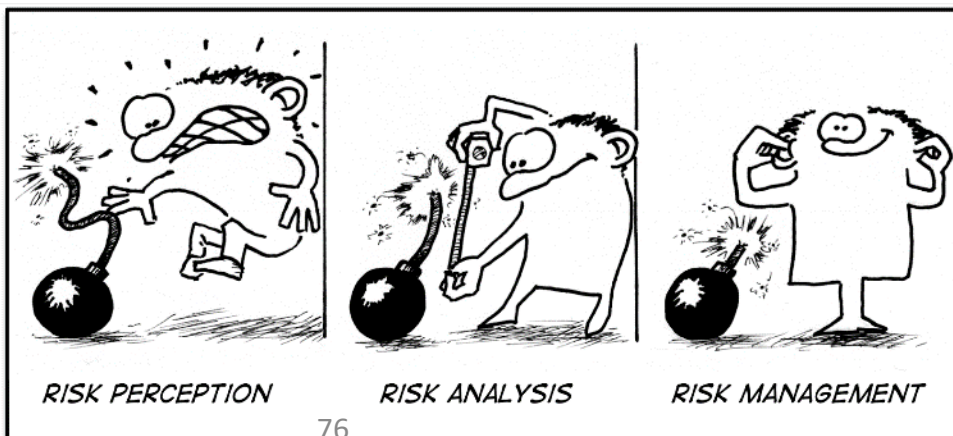
$e(50)$  hangt af van

- **radiotoxiciteit** van het nuclide ( $T_{1/2}$ , verblijftijd, organen)
- **besmettingsroute** (ingestie, inhalatie, wondbesmetting, huid)

# RI&E opstellen: voorbeelden

- Reguliere handelingen
- De voorziene, onbedoelde gebeurtenis (VOG)

Voorafgaand aan werkzaamheden!



# Oefeningen



## 5. Huiddosis en jaardosis

**Wat is de effectieve jaardosis (E) en equivalente huiddosis (H) voor een verpleegkundige bij NG?**

Activiteit F-18: 200 MBq  
transmissie 0,2 mm lood: 0,75  
afstand hand – spuit: 1 cm  
afstand werknemer – spuit: 60 cm  
Blootstellingstijd: 10 s per injectie  
aantal injecties: 500 per jaar  
de verpleegkundige is een blootgesteld werknemer

De blootstellingstijd:

$$t = 10 \text{ (s/injectie)} \times 500 \text{ (injecties/j)} = 5000 \text{ s} = 1,4 \text{ uur.}$$

Volgens Tabel 16.1 is de bronconstante  $h = 0,17 \mu\text{Sv/uur}$  per MBq op 1 m.

## 5. Huid dosis en jaardosis

$$H_{\text{huid}} = \frac{h \times A \times t \times T}{r^2} = \frac{0,17 \times 200 \times 1,4 \times 0,75}{0,01^2} = 357000 \mu\text{Sv} = 357 \text{ mSv}$$

$$E = \frac{h \times A \times t \times T}{r^2} = \frac{0,17 \times 200 \times 1,4 \times 0,75}{0,6^2} = 99 \mu\text{Sv} = 0,1 \text{ mSv}$$

De jaarlimieten  $H_{\text{huid}} = 500 \text{ mSv}$  en  $E = 20 \text{ mSv}$  voor blootgestelde medewerkers (A-werker) worden geen van beiden overschreden.

In het kader van ALARA.....



## 6. Injectie incident

### VOG: Injectie incident:

0,05 ml radioactieve vloeistof (tetrofosfine) geïnjecteerd

Activiteitsconcentratie 300 kBq  $^{99m}\text{Tc}$  per ml tetrofosfine  
 $e(50)_{\text{injectie}}$  voor tetrofosfine  $1,1 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq}$   
de laborant is geen blootgesteld werknemer

Er is  $300 \text{ kBq/ml} \times 0,05 \text{ ml} = 15 \text{ kBq} = 15 \times 10^3 \text{ Bq}$   $^{99m}\text{Tc}$  geïnjecteerd.  
De effectieve volg dosis is:

$$E(50) = 1,1 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq} \times 15 \times 10^3 \text{ Bq} = 1,7 \times 10^{-7} \text{ Sv} = 0,2 \text{ } \mu\text{Sv}$$

Dit is ruim onder de jaarlimiet van een niet-blootgesteld werknemer.



## 7. Huidbesmetting

### VOG: Huidbesmetting:

Blotgesteld werker met huidbesmetting gedurende 30 dagen

$$100 \text{ Bq} / 2 \text{ cm}^2 = 50 \text{ Bq} / \text{cm}^2$$

### Vuistregel:

$$H_{\text{huid}} \approx 2 \text{ mSv/uur per kBq/cm}^2$$

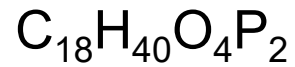
$$50 \text{ Bq} / \text{cm}^2 = 0,05 \text{ kBq/cm}^2$$

$$30 \text{ d} \times 24 \text{ uur/d} = 720 \text{ uur}$$

$$2 \text{ mSv/uur per kBq/cm}^2 \times 0,05 \text{ kBq/cm}^2 \times 720 \text{ h} = 72 \text{ mSv}$$

# 8. Vullen van injectiespuit

Radiofarmacon:

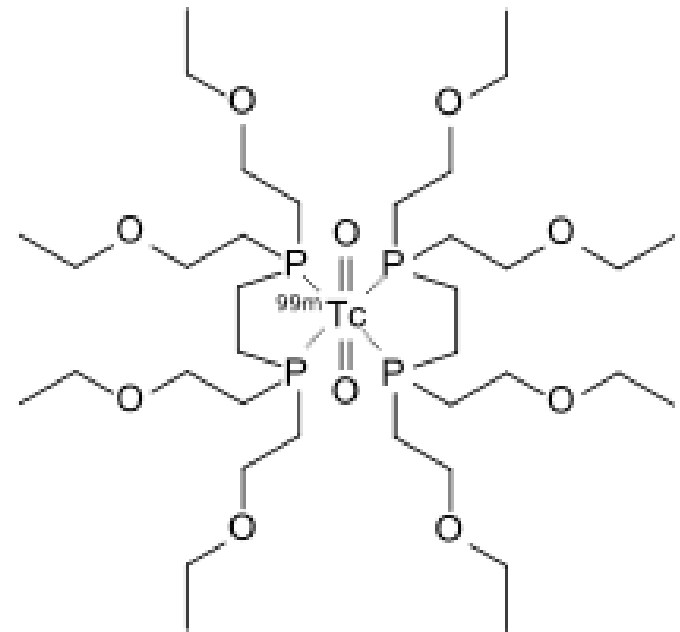


Toepassing:

angioscan

Radionuclide:

$^{99\text{m}}\text{Tc}$



tetrofosfine

# 8. Vullen van injectiespuit

bereken de equivalente huiddosis per jaar

bronconstante	$0,02 \mu\text{Sv h}^{-1} \text{MBq}^{-1} \text{m}^2$
activiteit	600 MBq per keer
tijd per keer	0,5 min = 0,008 h
aantal keren	1500 per jaar
totale duur	$1500 \times 0,008 \text{ h} = 12 \text{ h}$
afstand	5 cm = 0,05 m

$$\begin{aligned} \rightarrow H_{\text{huid}} &= h \times A \times t / r^2 \\ &= 0,02 \mu\text{Sv h}^{-1} \text{MBq}^{-1} \text{m}^2 \times 600 \text{MBq} \times 12 \text{ h} / (0,05 \text{ m})^2 \\ &= 6 \times 10^4 \mu\text{Sv} = 60 \text{ mSv} \end{aligned}$$

# 8. Vullen van injectiespuit

**wat is de jaarlimiet voor een niet-blootgesteld werknemer?  
wordt deze limiet overschreden?**

jaarlimiet huiddosis voor een niet-blootgesteld werknemer = **50 mSv**  
ontvangen equivalente huiddosis = 60 mSv per jaar

→ de jaarlimiet wordt overschreden

- TMS moet maatregelen nemen
- Werknemer => indelen als B-werker
- vullen van spuit automatiseren (met bijvoorbeeld elektromotor)
- opstelling achter loodglas
- gevulde spuiten kopen

## Praktische stralingsbescherming open bronnen

- Toepassingen
- Signalering
- Radionuclidenlaboratorium
- Pqr-formule
- Oppervlaktebesmetting
- De toezichthouder, TMS
- Besmettingscontrole
- Afval
- RI&E
- KEW-dossier
- Veilig werken
- Afscherming en PBM
- Specifieke maatregelen
- Uitvoeren RI&E, rekenen
- Inwendige besmetting
- Uitwendige bestraling

# LAB SAFETY TIPS

1.



TRY NOT TO RUN WITH A LIT  
BUNSEN BURNER TOWARD  
AN EXPLOSIVE BARREL UNDER  
A HANGING RABBIT CAGE.

