

Verspreidbare Radioactieve Stoffen

Radionuclidenlaboratoria
H14.9 en 17

Andre Zandvoort,
27 februari 2024
Plv. ACD
SBE RUG



Inhoud

I. Radionuclidenlaboratoria

- Historie risicoanalyse open stoffen
- Richtlijn Radionuclidenlaboratoria

II. Praktische Stralingsbescherming (H 17)

- Veilig werken
- KEW dossier

III. Rekenregels lozingen

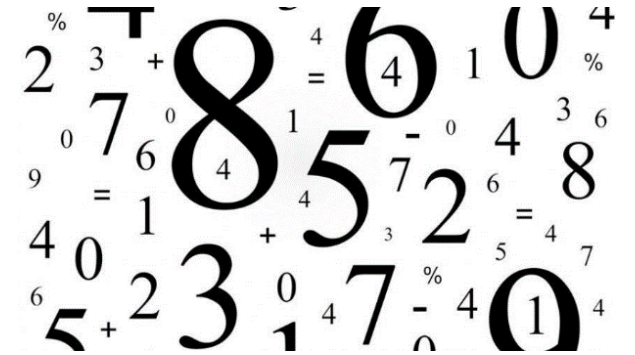
- AGIS
- Examenopgave

IV. Andere RI&E methoden

- HARAS
- Leidraad

V. Praktijk TMS

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



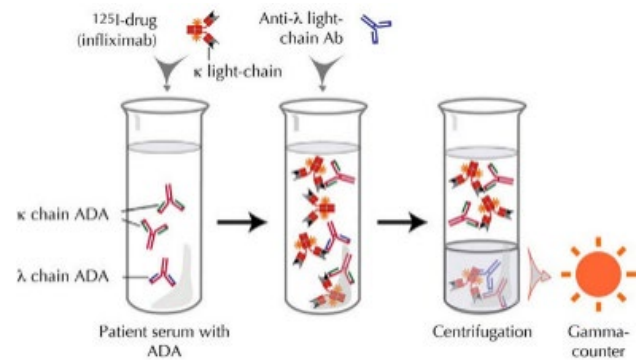
Open bronnen

- Extra: risico op uitwendige en inwendige besmetting
- 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 <

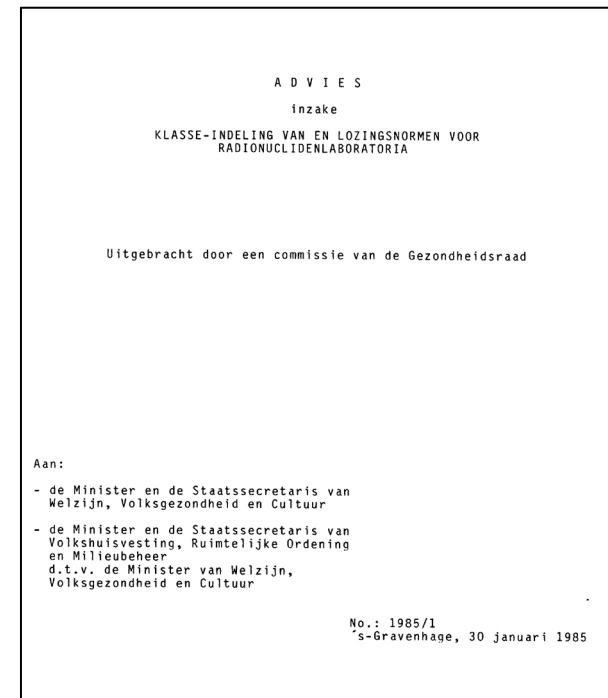
- Uitsluitend gebruiken in een radionuclidenlaboratorium
- Basis: Richtlijn Radionuclidenlaboratoria (RRNL)

I. Radionuclidenlaboratoria



Historie

- 1985 Gezondheidsraad
 - Oorsprong document 1958
 - Advies inzake klasse-indeling van en lozingsnormen voor radionuclidenlaboratoria
 - Risico: verspreidingskans bij reguliere werkzaamheden
 - Nog geen dosisnorm: voorstel 10% van dosislimiet
- 1994 Hoofdinspectie Milieuhygiëne (VROM)
Implementatie advies gezondheidsraad
>Richtlijn Radionuclidenlaboratoria RRNL<
Dosisnorm 0,2 mSv/j, 1% van jaarlijks dosislimiet BW
 - Inrichtingseisen
 - Begrenzungen aan werkzaamheden
 - Lozingen



Historie

- 2002 Bijlage Radionuclidenlaboratorium
Gepubliceerd door ANVS in 2018
Inrichtingseisen en risicoanalyse (pqr-formule)
Bijlage bij vergunning = verbindende status
- 2018 AGIS
Bijlage 10 ANVS-Verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming
Analyse Gevolgen Ioniserende Straling voor het milieu (AGIS)
Lozing (lucht/water) en externe bestraling



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).



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)

Historie

1997 TU-Eindhoven
“HARAS-studie”

HAnteerbaarheid van **RA**dioactieve **S**toffen

Risico's opnieuw geanalyseerd: *blootstelling voornamelijk door incidenten*

2006 VU-Amsterdam

“De Leidraad” of “Grimbergen en Wiegman”

Beheersing van risico's bij handelingen met open bronnen in laboratoria

Uitwerking HARAS studie

Leidraad voor beheersing van risico's bij handelingen met open bronnen

2010 RIVM Leidraad risicoanalyse stralingstoepassingen

Leidraad voor beheersing van risico's bij handelingen met open bronnen

Verwijzing naar HARAS

Handreiking voor het uitvoeren van een RI&E



Radionuclidenlaboratorium

- B-, C- en D-laboratoria
- **Inrichtingseisen**
 - Zijn het strengst voor een B-laboratorium
 - Het minst streng voor een D-laboratorium
- **Toegelaten activiteit RRNL**
 - B-laboratorium $2000 \text{ Re}_{\text{inh}}$
 - C-laboratorium $20 \text{ Re}_{\text{inh}}$
 - D-laboratorium $0,20 \text{ Re}_{\text{inh}}$



C/D lab

Bewaakte zone (1 - 6 mSv/j)

B lab

Gecontroleerde zone (6 - 20 mSv/j)

Inrichtingseisen (1)

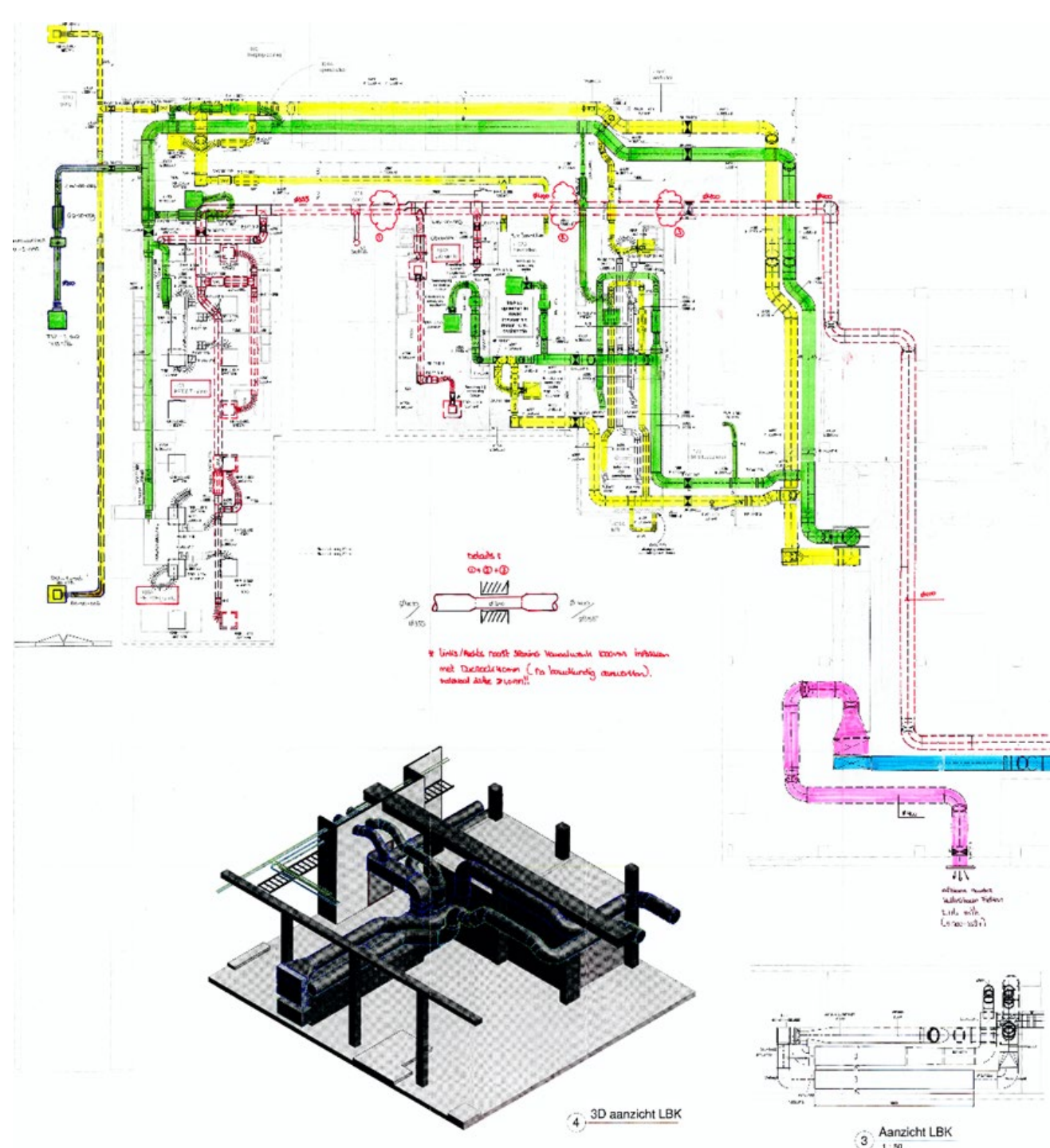
- 3 hoofdpunten:
 - Bouwkundig containment
 - Decontamineerbaarheid
 - Luchtverversing
- Zie tabel 14.8
- Classificatie (B-, C- en D-laboratoria)
- Toegang, waarschuwingssignalering, zonering, overstapbank, sluis
- Ruimteventilatie (8-voud per uur)
- Onderdruk
- Gesloten ramen



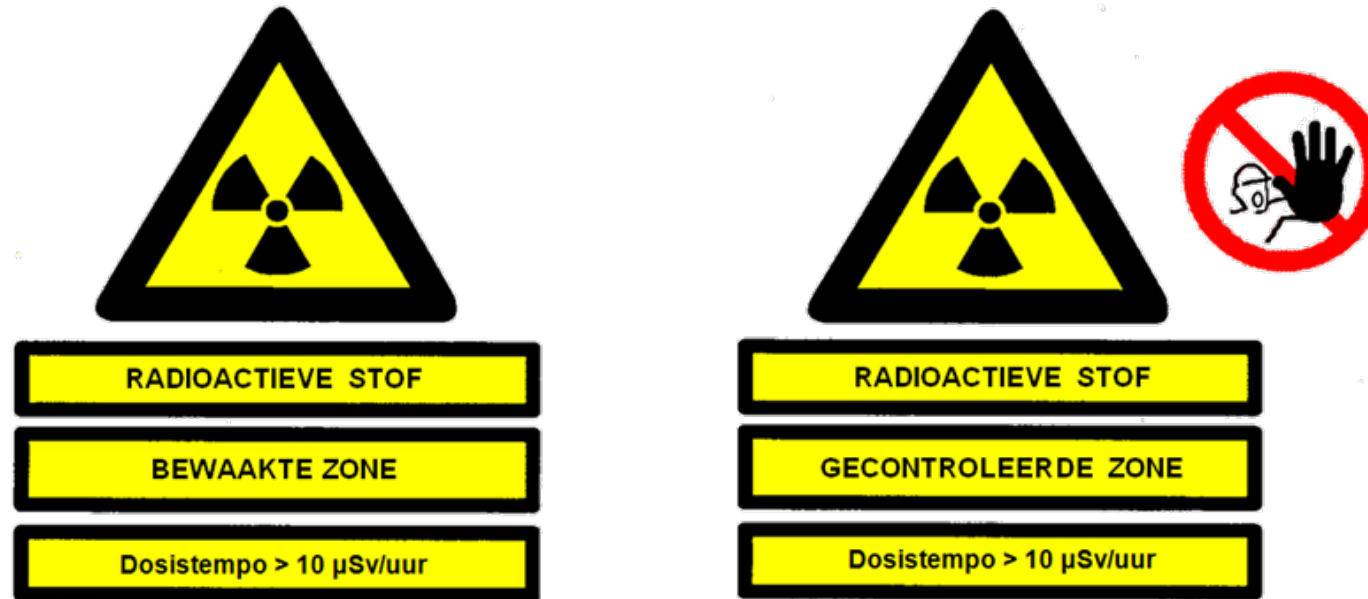
Inrichtingseisen (2)

- Terugslagklep in luchtaanvoer
- Gescheiden luchtafvoer
- Afwerking (decontamineerbaarheid)
- Elleboog bediening kranen
- Ingebouwde verlichting
- Brandwerendheid 60 min.
- Zuurkast

Afhankelijk van classificatie lab



Waarschuwingssignalering



De teksten, gaan, indien het mogelijk aanwezig dosisequivalenttempo in de zone meer dan $10 \mu\text{Sv/uur}$ bedraagt, vergezeld van de goed leesbare tekst: Dosistempo > $10 \mu\text{Sv/uur}$.

Waarschuwingstekens op alle bronnen en toestellen!

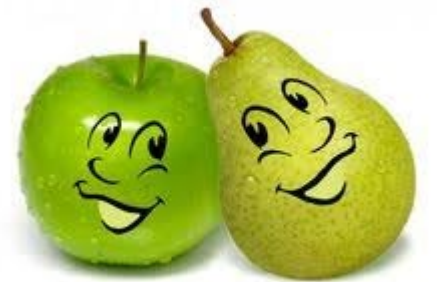
Risico-inschatting, rekenregels RRNL (Maximale activiteit)

- Opgelopen dosis < 1% van de dosislimiet, **onder normale omstandigheden**
- Inhalatie wordt als belangrijkste blootstellingsroute beschouwd
- Gevaren
 - Hoeveelheid activiteit
 - Radiotoxiciteit
 - Verspreiding (aard van de handeling)
- Beheersing
 - **Laboratoriumvoorzieningen** (ruimteventilatie, afscherming, zuurkast etc.)
 - Veilig werken (organisatorisch)
 - Persoonlijke beschermingsmiddelen
- Rechtvaardiging en optimalisatie (**ALARA**)

Herhaling: Radiotoxiciteitsequivalent

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

- $1 Re = 1 Sv / e(50)$ (\Rightarrow A die 1 Sv oplevert)
- $X Re = A \times e(50)$
- $Re_{(inh)}$ en $Re_{(ing)}$



$$X \text{ Re} = A \times e(50)$$
$$A = X \text{ Re} / e(50)$$

Herhaling: Radiotoxiciteitsequivalent

Bijvoorbeeld:

Hoeveel MBq is 1 Re van een stof met een $e(50)$ van 5×10^{-8} Sv/Bq?

$$\Rightarrow 1 \text{ Re} / 5 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq} = 20 \text{ MBq}$$

Hoeveel Re is 10 MBq van een stof met een $e(50)$ van 5×10^{-8} Sv/Bq?

$$\Rightarrow 10 \text{ MBq} \times 5 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq} = 0,5 \text{ Re}$$

Richtlijn Radionuclidenlaboratoria

“pqr-formule”

Verspreidingsparameter p

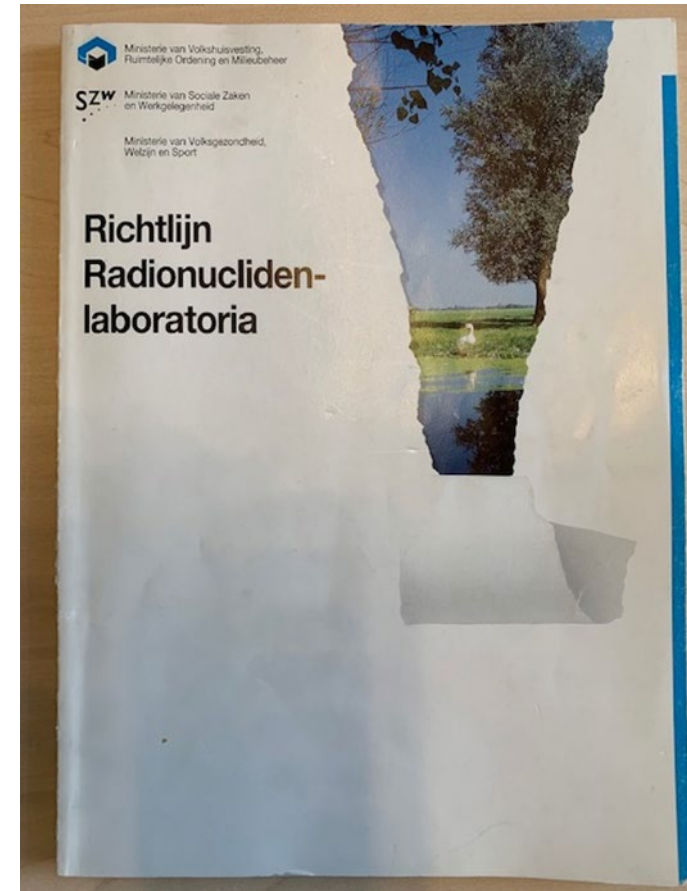
- handelingen

Laboratoriumparameter q

- Laboratoriumtype

Ventilatieparameter r

- Ventilatie/zuurkast



Berekening van het risico

- Relatie tussen hoeveelheid activiteit A [Bq] en X [Re_{inh}], radiotoxiciteit $e(50)_{inh}$ [Sv/Bq], verspreidingskans p, type laboratorium q, en type ventilatie r

$$X_{max} = 0,02 \times 10^{p+q+r} [Re_{inh}]$$

$$A_{max} = X_{max} / e(50)_{inh} \text{ in [Bq]}$$

Verspreidingskansparameter p

P Lek fractie/week	Toepassing
-1 < 0.01%	kort, zeer eenvoudig nat werk opslag van afval in werkruimte
-2 < 0.1%	labeling met niet vluchtig nuclide eenvoudige chem. bepaling met tracers (RIA)
-3 < 1%	labeling met vluchtig nuclide koken van vloeistof in gesloten systeem
-4 < 10%	sterk spattende bewerking hanteren van poeders in open systemen

- **Let op:** neem $p = 0$ voor opslag in een speciale bergplaats (Vbs)

Laboratoriumparameter q

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

Ventilatieparameter r

r	ventilatievoorziening
0	geen voorzieningen
1	zuurkast (niet DIN-gekeurd) / lokale afzuiging
2	zuurkast (wel DIN-gekeurd)
3	gesloten werkkast

- **Let op:** r mag nooit groter dan q worden genomen
Dus: D lab is 1 => r Kleiner of gelijk aan 1
- **Let op:** p = -3 of -4: alleen in zuurkast B/C-lab



Hot Cell Laboratory (HCL) NRG (Petten)

r=3
gesloten werkkast

Handschoenenkast



Opgaven



1. Mag in een C-laboratorium een oplossing met $37 \text{ MBq } ^{137}\text{CsCl}_2$ op tafel gepipetteerd worden?
 - voor ^{137}Cs is $e(50)_{\text{inh}} = 6,7 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ (klasse F)
2. Wat is de maximale hoeveelheid ^{32}P die in opslag mag zijn in een D-laboratorium?
 - voor ^{32}P is $e(50)_{\text{inh}} = 2,9 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ (klasse M)

Antwoorden (1)

pipetteren $p = -1$

C-laboratorium $q = 2$

werken op tafel $r = 0$

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

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

$$A_{\text{max}} = X_{\text{max}} / e(50)_{\text{inh}} = 0,2 / 6,7 \times 10^{-9} = 30 \text{ MBq}$$

Antwoorden (1)

pipetteren $p = -1$

C-laboratorium $q = 2$

werken op tafel $r = 0$

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

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

$$A_{\text{max}} = X_{\text{max}} / e(50)_{\text{inh}} = 0,2 / 6,7 \times 10^{-9} = 30 \text{ MBq}$$

het mag dus niet (37MBq)

Opgaven

- ~~1. Mag in een C-laboratorium een oplossing met 37 MBq $^{137}\text{CsCl}_2$ op tafel gepipetteerd worden?~~
 - ~~■ voor ^{137}Cs is $e(50)_{\text{inh}} = 6,7 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ (klasse F)~~
2. Wat is de maximale hoeveelheid ^{32}P die in opslag mag zijn in een D-laboratorium?
 - voor ^{32}P is $e(50)_{\text{inh}} = 2,9 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ (klasse M)

Antwoorden (2)

geen bergplaats $p = -1$ (opslag in werkruimte)
D-laboratorium $q = 1$
hoogste r $r = q = 1$ (**r mag nooit groter zijn dan q**)
voor ^{32}P is $e(50)_{\text{inh}} = 2,9 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ (klasse M)

$$X_{\text{max}} = 0,02 \times 10^{p+q+r} = 0,02 \times 10^1 = 0,2 \text{ Re}_{\text{inh}}$$
$$A_{\text{max}} = X_{\text{max}} / e(50)_{\text{inh}} = 0,2 / 2,9 \times 10^{-9} = 69 \text{ MBq maximal}$$

Bij speciale bergplaats: $p = 0$ →

$$X_{\text{max}} = 0,02 \times 10^{p+q+r} = 0,02 \times 10^2 = 2 \text{ Re}_{\text{inh}}$$
$$A_{\text{max}} = X_{\text{max}} / e(50)_{\text{inh}} = 690 \text{ MBq}$$

Of 10x activiteit dat maximaal in de werkruimte opgeslagen mag worden.

Belastingsfactor (sommen)

- Maat voor de “belasting” van het lab
- Totale hoeveelheid activiteit waarmee op een lab wordt gewerkt
- Sommen van experimenten
- Op basis van werkweek 40h
- B mag niet groter zijn dan 1

Belastingsfactor

- Meerdere toepassingen in een laboratorium(ruimte)!
- Per week
- Per nuclide, per handeling

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

i = radionuclide
j = handeling

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

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

Opgave

- In een C-laboratorium worden de volgende handelingen verricht

^{32}P , $e(50)_{inh} = 2,9 \times 10^{-9}$ Sv/Bq, op tafel, labeling

- 2,6 MBq per handeling
- 33 uur per week

^{14}C , $e(50)_{inh} = 6,2 \times 10^{-12}$ Sv/Bq, op tafel, labeling

- 3,6 MBq per handeling
- 2 uur per week

Hoe groot is de belastingsfactor?

Antwoord

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

labeling, niet vluchtig
C-laboratorium
werken op tafel

p = -2
q = 2
r = 0

$$X_{max} = 0,02 \times 10^0 = 0,02 \text{ Re}_{inh}$$

$$^{32}\text{P} \quad A_{max} = 0,02 / 2,9 \times 10^{-9} = 6,9 \text{ MBq}$$

$$^{14}\text{C} \quad A_{max} = 0,02 / 6,2 \times 10^{-12} = 3225 \text{ MBq}$$

$$B_w = ((2,6 / 6,9) \times (33 / 40)) + ((3,6 / 3225) \times (2 / 40)) = \mathbf{0,31}$$

merk op dat ^{14}C nauwelijks meedoet

Voorbeeld experiment:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
10		Verbinding :		³² P-orthophosphate												
11		T _{1/2} :		14,3	d											
12		DCC _{inh} :		1,10E-09	Sv /Bq											
13		Re _{inh} :		9,09E+08	Bq /Sv											
14		A in experiment :		30	MBq =											
15				0,811	mCi =											
16				3,30E-02	Re _{inh}											
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 _{max}	/ A _{max}	B _w			
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	closed tubes		
34	3	centrifuge the cultures (4000 rpm)				-3	3	2	0,2	1	1,82E+03	1,65E-02	8,25E-05	fumehood		
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	Electroforesis 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																

Wat is het voordeel maar tevens ook het nadeel van deze rekenregels?

**Erg vereenvoudigd
maar daarom erg
Conservatief**

II. Praktische stralingsbescherming (H17)



Veilig werken (1)

- **Vóór** de werkzaamheden

- o Spullen klaarzetten

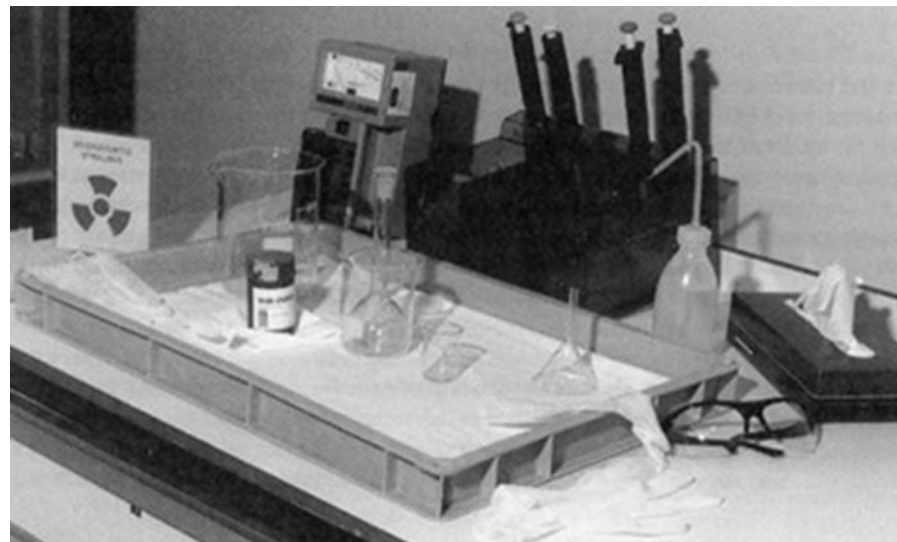
- Morsbak
 - Afscherming
 - Tissues
 - Afstandsgereedschap
 - Persoonlijke beschermingsmiddelen

- o Werking zuurkast en dosimeter controleren

- o Eventueel eerst 'droog oefenen' en/of 'pilot' met geringe activiteit

- o Protocol opstellen

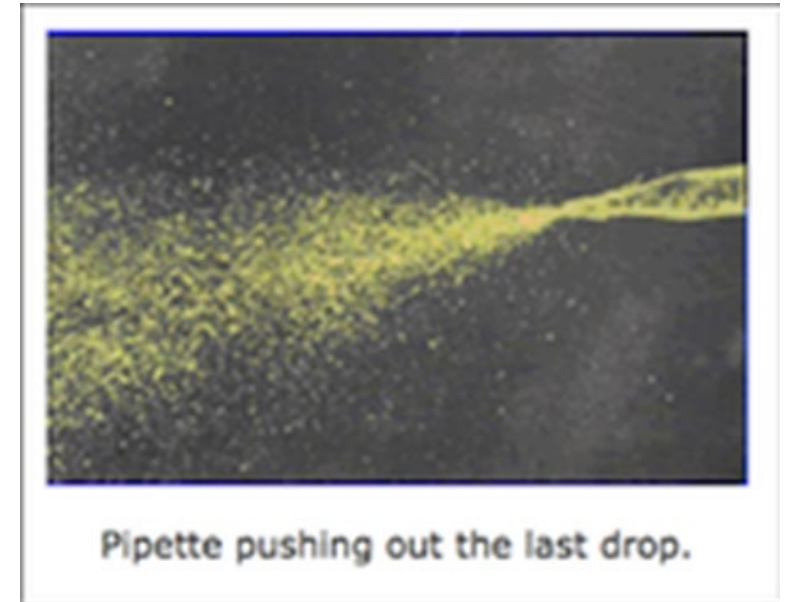
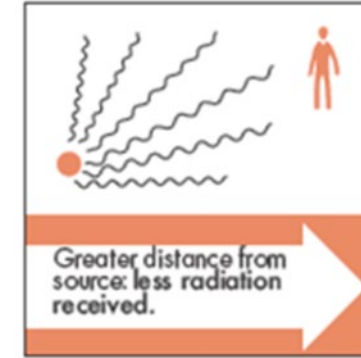
- o Duidelijkheid over "handschoenbeleid"



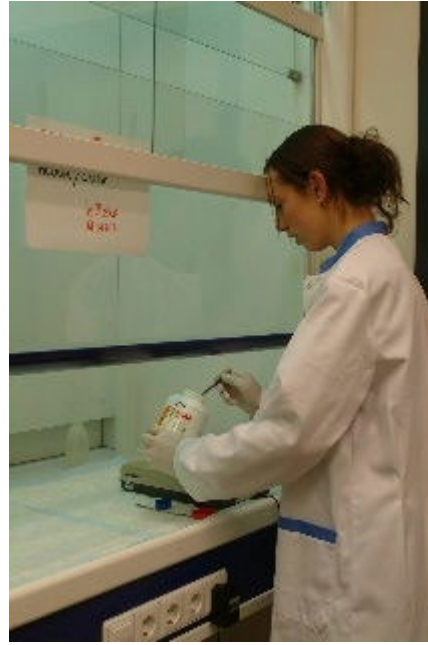
Veilig werken (2)

- **Tijdens** de werkzaamheden

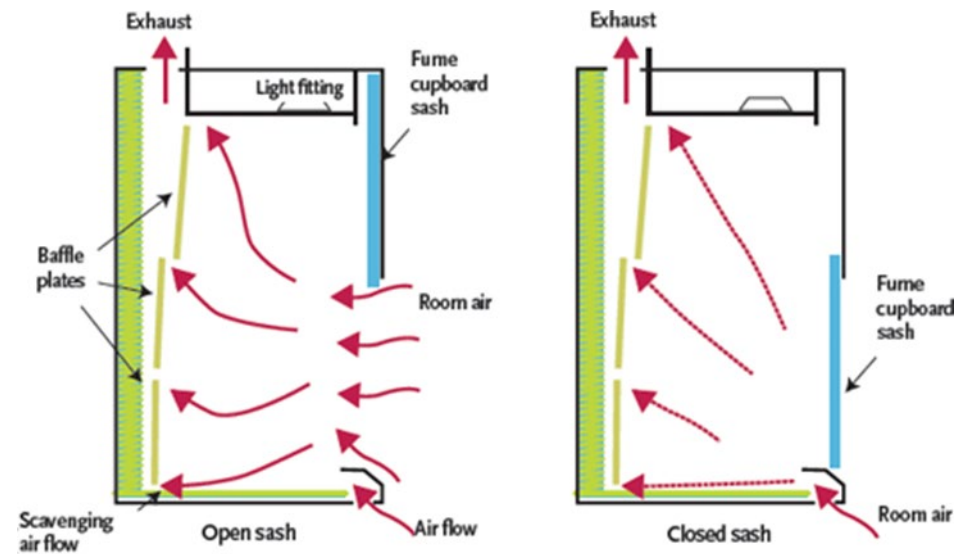
- o Tijd, afstand, afscherming, meten
- o Juist gebruik van
 - Morsbak
 - Afscherming
 - Afstandsgereedschap
 - Persoonlijke beschermingsmiddelen (Labjas, handschoenen, veiligheidsbril etc)
 - Zuurkast
 - Tissues
- o Voorkom aërosolvorming
- o Protocol volgen
- o Geen hand-gezichtcontact
- o Niet eten en drinken
- o Labjas blijft op het lab



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
- Wervelingen bij passeren
- Jaarlijkse controle



Veilig werken (3)

Goed of fout?



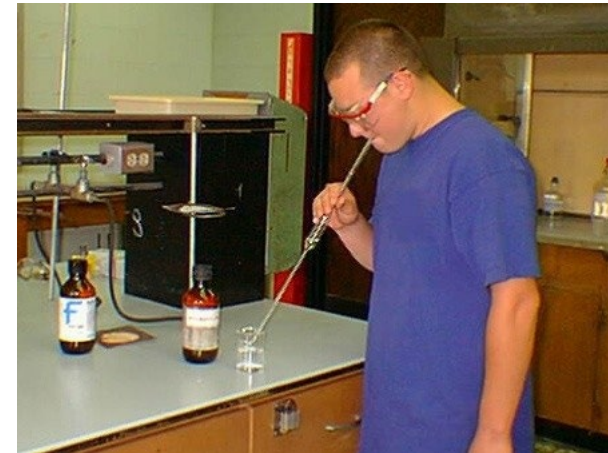
Veilig werken (3)

Goed of fout?



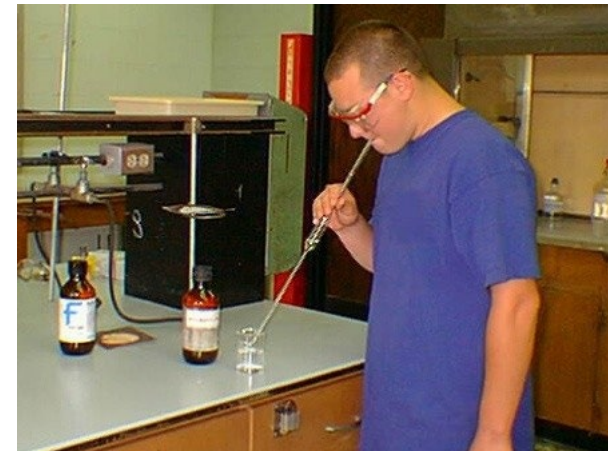
Veilig werken (3)

Goed of fout?



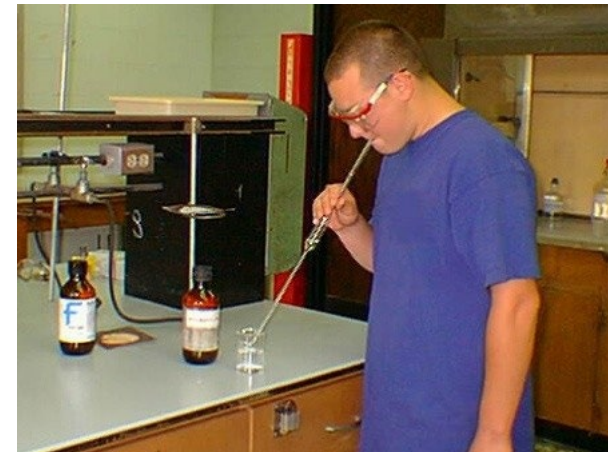
Veilig werken (3)

Goed of fout?



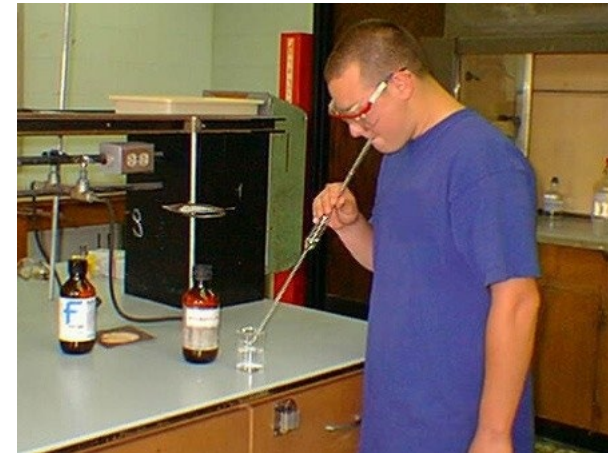
Veilig werken (3)

Goed of fout?



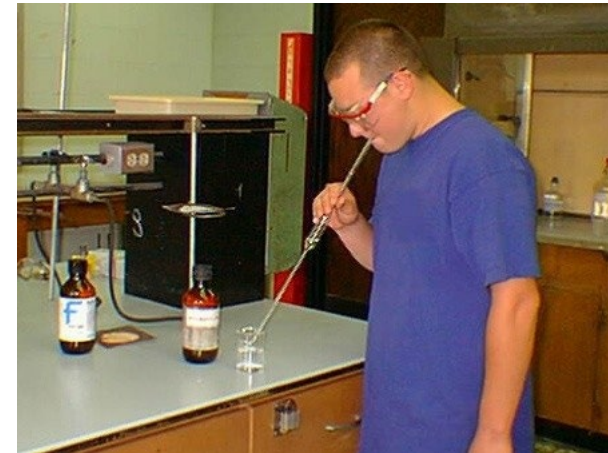
Veilig werken (3)

Goed of fout?



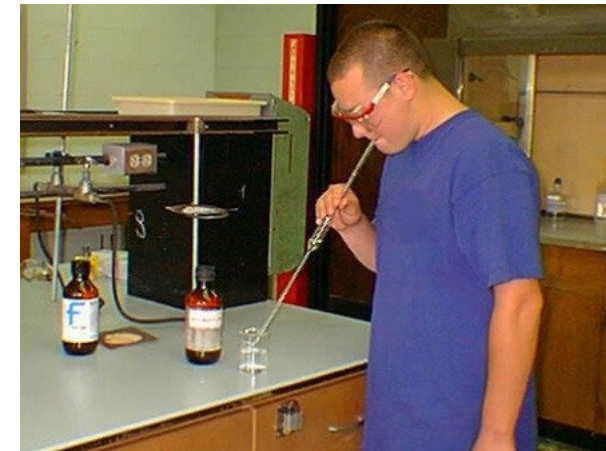
Veilig werken (3)

Goed of fout?



Veilig werken (3)

Goed of fout?



Veilig werken (4)

- Na de werkzaamheden
 - o Afval inzamelen
 - o Handen wassen
 - o Besmettingscontrole van werkoppervlak en personen
 - besmettingsnorm β en γ : 4 Bq/cm²
 - besmettingsnorm α : 0,4 Bq/cm²
 - juiste meter!
 - o Bij materiaal dat lab verlaat: 10x strenger!
 - o Labjas blijft op het lab!
 - o Reguliere besmettingscontrole
 - o Bij contaminatie
 - Omvang en aard contaminatie vaststellen
 - Decontaminatie => werk 'van buiten naar binnen', voorkom verdere verspreiding

Incident

- Persoonlijk ongeval? TMS is contactpersoon naar BHV
- ***Levensbedreigend? Noodnummer instelling
(UMCG 22222 / RUG 8050)***
- Ontruiming
- Personeel controleren op besmetting
- Laboratoriumdeel afsluiten
- Laboratoriumdeel systematisch nazoeken op besmetting
- Rapportage, evt aan overheid

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

(Wp = 10)

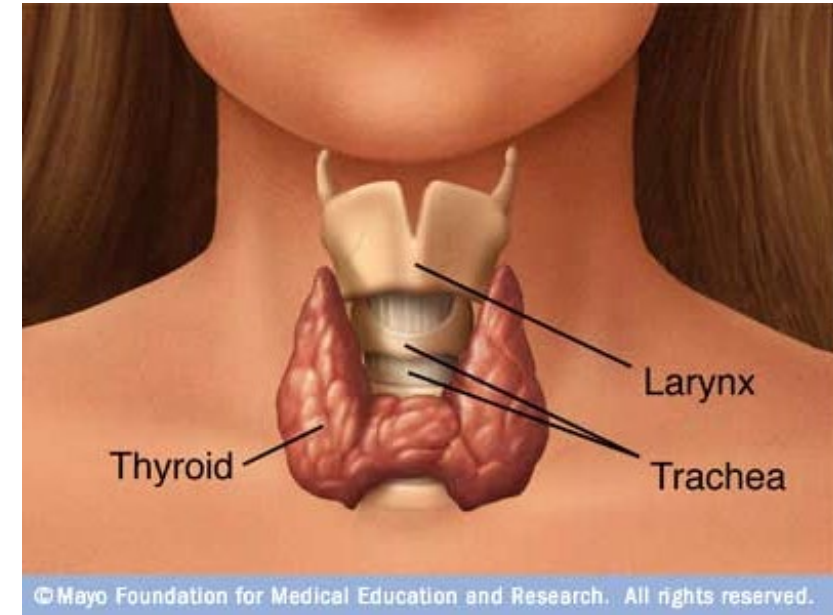


Bijzondere stoffen

Jodium: ^{125}I en ^{131}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!
- Jodering: $p=-3$
- Vloeibaar afval: houd $\text{pH} > 4$ en binden (aan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ of Na_2S)



Bijzondere stoffen

Tritium: ^3H

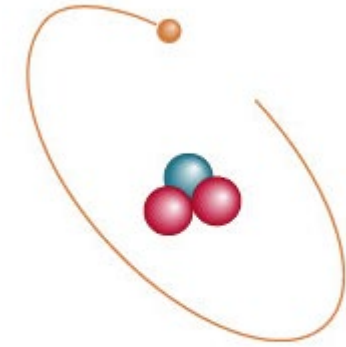
Risico op uitwisseling met waterstof in bijv. water

- Condensatie ^3H -waterdamp (koelkast / vriezer)
- Meetbaar met besmettingsmonitor?

Risico op inwendige besmetting

(echter lage e(50))

- Diffusie door parafilm / handschoenen



Tritium



Radioactief afval

Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA)

- Juiste containers
- Juiste markering
- Afval opslag locatie
- Administratie
- Werkinstructies
- Kortlevend afval: vervallen binnen 2 jaar
- Langlevend afval: COVRA
- Scheiden van afval
- Afval maximaal 2 jaar opslaan tenzij bestemd voor hergebruik
- Vrijgave: zeer complex!

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

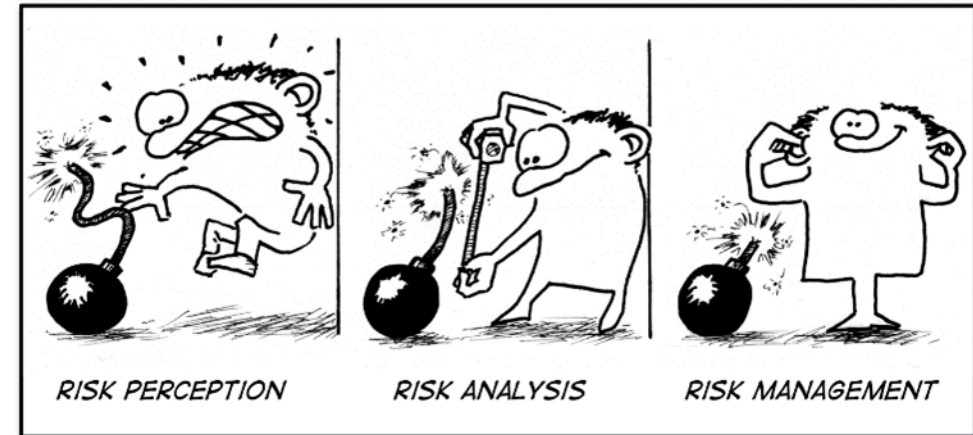


Kernenergiewetdossier

- Vergunning
- Organisatie, aanwijzing verantwoordelijk deskundige, vervanger
- Correspondentie
- Plattegronden, ruimtenummers
- Instructies, protocollen (inclusief belastingsfactoren)
- RI&E (incl voorziene onbedoelde gebeurtenissen)
- Incidentenplan
- Voorraadbeheer
- Resultaten van besmettingscontroles (maandelijks)
- Lekteten bronnen
- Dosisgegevens
- Keuringsgegevens van A-werkers
- Gegevens stralingsarts
- Afvalstoffen administratie
- Afvoer radioactieve stoffen
- Lozing radioactieve stoffen
- Fabrieksgegevens van bronnen en meetapparatuur
- Onderhoudsrapporten

Risico Inventarisatie en Evaluatie RI&E

- Gegevens bron, nuclide
- Emissiegegevens: α , β , γ , energieën etc.
- Fysische en chemische eigenschappen
- Blootstellingstijd, gebruikersuren
- Afstanden (m)
- Afscherming (cm)
- **Verspreidingskans p**
- **Voorziene onbedoelde gebeurtenissen**
- Toegestaan?
 - Op te lopen dosis
 - Maximaal toegestaan
 - Lozing
 - Terreingrens
 - Afval?
- Conclusie:
 - Blootgestelde werkers?
 - Klasse laboratorium?
 - Bewaakte/gecontroleerde zone?



Nadere eisen en elementen betreffende de risico-inventarisatie en -evaluatie

1. Risico-identificatie.

Te stellen vragen:

- a. Zijn alle bronnen van ioniserende straling en hun eigenschappen geïnventariseerd?
- b. Welke handelingen worden er verricht met deze bronnen? Zo nodig worden de handelingen opgesplitst in deelhandelingen om de verschillende blootstellings-risico's te kunnen specificeren.
- c. Hoeveel handelingen, en in voorkomend geval deelhandelingen, worden er op jaarbasis verricht en hoeveel en welke werknemers kunnen daarbij blootgesteld worden?
- d. Waar worden de handelingen, en in voorkomend geval deelhandelingen, verricht?
- e. Welke blootstellingspaden zijn aan de orde?
- f. Welke voorziene onbedoelde gebeurtenissen kunnen bijdragen aan de potentiële blootstelling van de werknemers? en
- g. Welke technische en organisatorische maatregelen zijn genomen om de blootstelling van werknemers te voorkomen of, indien dat redelijkerwijs niet mogelijk is, zoveel mogelijk te beperken?

2. Bepaling van de blootstelling.

Te stellen vragen:

- a. Wat is de reguliere blootstelling van de werknemers?
- b. ~~Wat is de potentiële blootstelling van de werknemers?~~
- c. ~~Wat is de kans op het zich voordoen van de voorziene onbedoelde gebeurtenissen.~~
- d. ~~Wat is het effect van persoonlijke beschermingsmiddelen.~~

3. Risico-evaluatie.

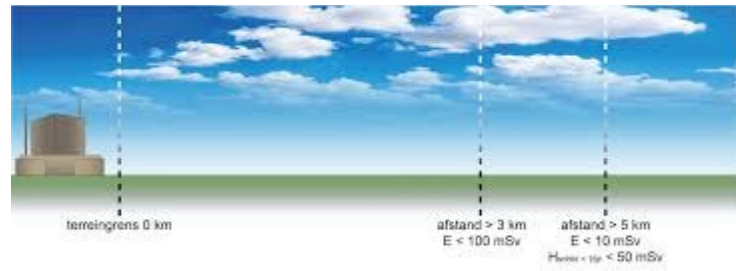
Wordt voldaan aan het bij of krachtens het besluit gestelde met betrekking tot:

- a. de basisprincipes met betrekking tot rechtvaardiging en optimalisatie;
- b. de dosislimieten;
- c. de dosisbeperkingen;
- d. de identificatie van blootgestelde werknemers op basis van de bepaalde reguliere en potentiële blootstelling;
- e. de indeling van blootgestelde werknemers in categorie A of B op basis van de bepaalde reguliere en potentiële blootstelling;
- f. de identificatie en indeling van ruimten in gecontroleerde zone of bewaakte zone; en
- g. de noodzaak tot actualisering van getroffen maatregelen.

Regeling
stralingsbescherming
beroepsmatige
blootstelling 2018:

**BIJLAGE A, BEHOREND
BIJ ARTIKEL 2.1, EERSTE
EN TWEEDE LID**

III. Rekenregels lozingen



Inleiding

- Analyse Gevolgen Ioniserende Straling voor het milieu (AGIS)
- Ondergebracht in Bijlage 10 van Vbs (Deel 1 en 2)
- Berekeningsmethoden voor lucht- en waterlozingen, en externe dosis op de terreingrens
- Toetsing aan het secundair niveau (SN)
 - o Deel 1: eenvoudige rekenregels
 - o Deel 2: complexe rekenregels

Rekenregels Deel 1 toepassen mits:

- Alleen gamma- en röntgenstraling bij externe straling
- Puntbron
- Lucht: inhalatie
- Water: Ingestie
- Riolering aangesloten op waterzuiveringsinstallatie

Anders Nadere Analyse (Deel 2)

Secundair Niveau

- SN = dosisbelasting buiten de inrichting (gesommeerd)
 - o 1 μSv per jaar bij lozingen
 - o 10 μSv per jaar bij externe bestraling (terreingrens)
- Als uitkomst van de rekenregels deel 1 < SN
 - o **geen** extra eisen aan ALARA, er is voldoende voldaan aan ALARA
- Als uitkomst van de rekenregels deel 1 > SN
 - o gebruik de complexe rekenregels van deel 2, Bijlage 10 Vbs

Terreingrensdosis

Deel 1 (ID):

$$H^* = \sum_i \frac{h_i A_i T_i t_i}{r_i^2}$$

- Rekenregels **Deel 2** alleen voor die bijdrage die SN overschrijdt:
 - **Individuele Dosis (ID)**, op terreingrens (= Deel 1)
 - Correctiefactor 0,25 geeft de **Multifunctionele ID (MID)**
 - MID bepalen

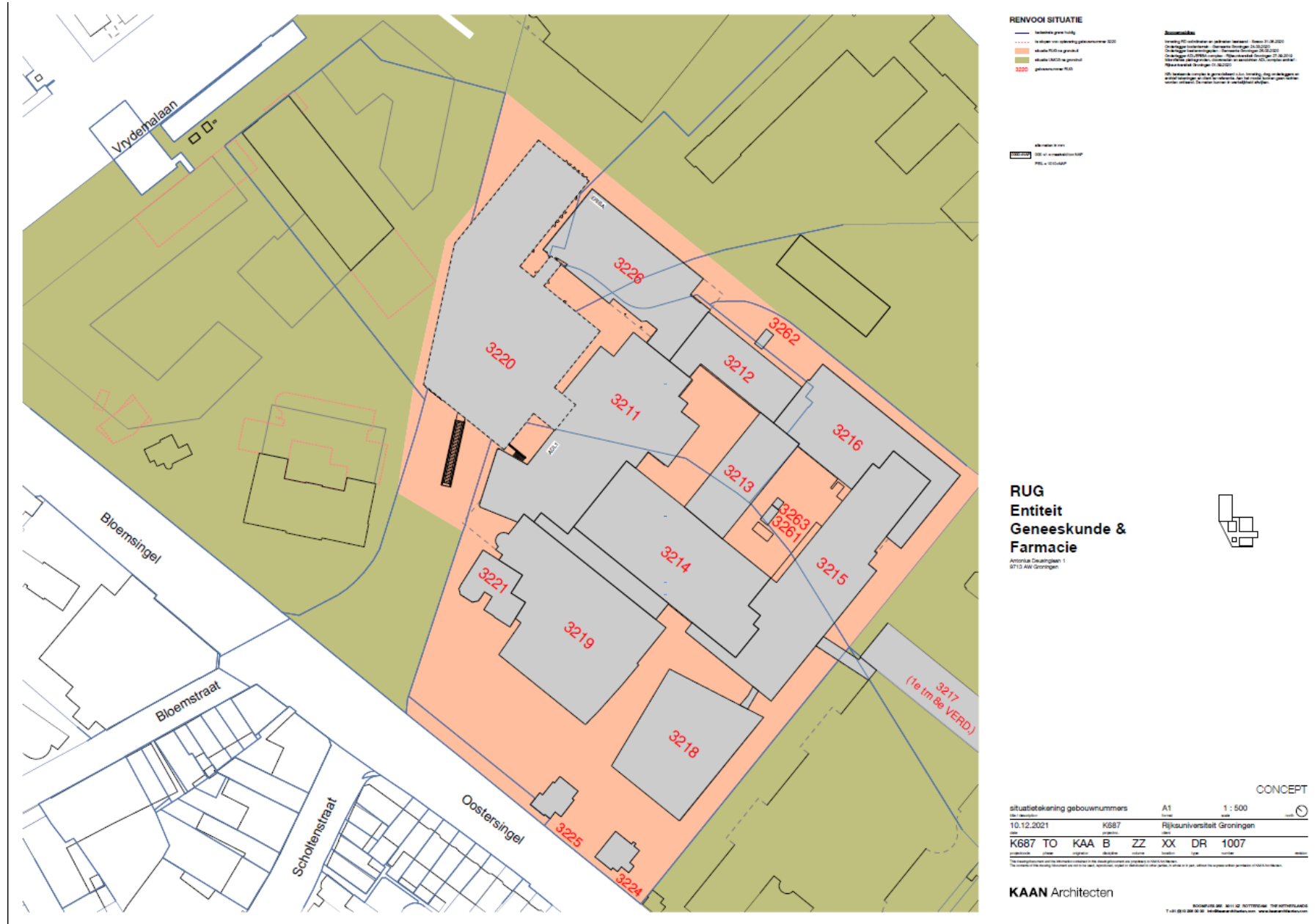
$$\text{MID} = 0,25 \times \text{ID}$$

- Indien nieuwe MID > SN, **Actuele ID (AID)** bepalen

$$\text{AID} = \text{ABC} \times \text{ID}$$

- In de praktijk niveau CD deskundige: alleen externe stralingsbelasting > SN (dus Deel 2)
- Actuele Blootstelling Correctiefactor (ABC-factor): tabel 14.22
- Als AID > 100 $\mu\text{Sv/j}$ dan geen vergunningverlening

Terreingrens



Berekening lozing in **lucht (Deel 1)**

$$\Sigma X_{L,max} = R_L \times X_{inkoop} \times 10^{-p-s-4} [Re_{inh}]$$

- R_L halveringstijdparameter (1 – 100)
- X_{inkoop} **ingekochte** hoeveelheid activiteit in Re_{inh}
- p verspreidingsparameter
- s filterparameter (<90% - 99.99%)
- sommatie over alle handelingen

Halveringstijd	Halveringsparameter:
$\leq 25j$	1
$\leq 250j$	10
$> 250j$	100

Toetsing aan Secundair Niveau

$$\sum \sum X_{L,\max} \leq L_{SN} [Re_{inh}]$$

- sommatie over alle nucliden
- SN gebaseerd op factor 10^6 verdunning ($1 Re_{inh} \Rightarrow 1 \mu Sv$)
- $L_{SN} = 1 - 100$, afhankelijk van de afstand tot de terreingrens
- Meerdere lozingspunten: alleen $> 0,1 L_{sn}$ meenemen

Lozingspunt-terreingrens	Toetsingsniveau $L_{sn} Re_{inh}$
$\leq 50m$	1
$\leq 150m$	10
$>150m$	100

Berekening lozing in riool (Deel 1)

$$\sum X_{W,\max} = R_W \times X_{\text{inkoop}} \times V \times Z \times W \times 10^{-s} [\text{Re}_{\text{ing}}]$$

- R_W halveringstijdparameter (0,001 – 100)
- X_{inkoop} **ingekochte** hoeveelheid activiteit in Re_{ing}
- V lozingskansparameter (mag altijd 0,1 worden genomen, soort stof)
- Z en W uitscheidingsfracties voor patiënt en proefdier
- s filter/tankparameter (<90% - 99.99%)
- sommatie over alle handelingen

Toetsing aan Secundair Niveau

$$\sum \sum X_{W,\max} \leq W_{SN} [Re_{ing}]$$

- sommatie over alle nucliden
- SN gebaseerd op factor 10^8 verdunning
($100 Re_{ing} \rightarrow 1 \mu\text{Sv}$)
- $W_{SN} = 100 Re_{ing}$

Lucht- en waterlozingen

- Lozingslimieten

Limiet voor luchtlozing per vergunning

- o UMCG 30 Re_{inh}
- o RUG 20 Re_{inh}

Limiet voor waterlozing per vergunning

- o UMCG 100 Re_{ing}
- o RUG 100 Re_{ing}

Examenopgave Peptide-labeling met ^{125}I

- Onderzoek van het gedrag van lichaamseigen eiwitfragmenten (peptiden) in cellen van het afweersysteem (immuuncellen) bij de mens
- Labeling van 10 μg peptide met 18,5 MBq ^{125}I
- Zuivering om niet-gebonden ^{125}I en niet-peptidefragmenten te verwijderen
- Efficiency van labeling blijkt 54% te zijn
- Alle handelingen in een C-laboratorium

Handelingen

- Handeling 1:
 - o labeling van peptide
 - o 1 keer per week
 - o 30 min per handeling
 - o in NEN-gekeurde zuurkast
- Handeling 2:
 - o toediening van 10% van gezuiverd en gelabeld peptide
 - o opwerking van celmembranen
 - o 4 keer per week
 - o 6 uur per handeling
 - o op laboratoriumtafel

Vragen

1. Hoeveel labelingen mogen tegelijkertijd in het C-laboratorium worden uitgevoerd?
2. Voldoet de belastingsfactor B van het C-laboratorium voor het gehele experiment (handeling 1 + handeling 2) aan de norm?
3. Kan met betrekking tot lozing in lucht en water volstaan worden met deel 1 van de rekenregels?

Gegevens:

- o $T_{1/2} = 59 \text{ d}$
- o $e(50)_{\text{inh}} = 7,3 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ (klasse F)
- o $e(50)_{\text{ing}} = 1,5 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$
- o dit is het enige experiment in het betreffende kalenderjaar
- o de lucht wordt ongefilterd geloosd binnen 50 m van de terreingrens
- o afvalwater wordt rechtstreeks op het riool geloosd

- Labeling van 10 µg peptide met 18,5 MBq ¹²⁵I
- Zuivering om niet-gebonden ¹²⁵I en niet-peptidefragmenten te verwijderen
- Efficiency van labeling blijkt 54% te zijn
- Alle handelingen in een C-laboratorium

- Handeling 1:
 - labeling van peptide
 - 1 keer per week
 - 30 min per handeling
 - in NEN-gekeurde zuurkast
- Handeling 2:
 - toediening van 10% van gezuiverd en gelabeld peptide
 - opwerking van celmembranen
 - 4 keer per week
 - 6 uur per handeling
 - op laboratoriumtafel

- 1. Hoeveel labelingen mogen tegelijkertijd in het C-laboratorium worden uitgevoerd?**
- 2. Voldoet de belastingsfactor B van het C-laboratorium voor het gehele experiment (handeling 1 + handeling 2) aan de norm?**
- 3. Kan met betrekking tot lozing in lucht en water volstaan worden met deel 1 van de rekenregels?**

Gegevens:

- o $T_{1/2} = 59 \text{ d}$
- o $e(50)_{inh} = 7,3 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ (klasse F)
- o $e(50)_{ing} = 1,5 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$
- o dit is het enige experiment in het betreffende kalenderjaar
- o de lucht wordt ongefilterd geloosd binnen 50 m van de terreingrens
- o afvalwater wordt rechtstreeks op het riool geloosd

Antwoorden (1)

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

$$A_{max} = 0,02 \times 10^{p+q+r} \times Re_{inh}$$

labeling met jodium $p = -3$

C-laboratorium $q = 2$

NEN-zuurkast $r = 2$

voor ^{125}I is $e(50)_{inh} = 7,3 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$

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

$$A_{max} = 0,2 Re_{inh} / 7,3 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq} = 27,4 \text{ MBq}$$

1 exp is 18,5 MBq

aantal handelingen: $27,4 / 18,5 = 1,5$ dus 1 handeling

Antwoorden (2)

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

- Handeling 1

$$X_{max,1} = 0,02 \times 10^{-3+2+2} = 0,02 \times 10^1 = 0,2 \text{ Re}_{inh}$$

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

$$A = 18,5 \text{ MBq}$$

$$B_{w,1} = (18,5 / 27,4) \times (0,5 / 40) = 0,008$$

- Handeling 2 (Wat is A_{max} en wat is A?)

$$X_{max,2} = 0,02 \times 10^{-2+2+0} = 0,02 \times 10^0 = 0,02 \text{ Re}_{inh}$$

$$A_{max} = 0,02 / 7,3 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq} = 2,74 \text{ MBq}$$

$$A = 10\% \times 0,54 \text{ eff} \times 18,5 = 1,0 \text{ MBq}$$

$$B_{w,2} = (1,0 / 2,74) \times (4 \times 6 / 40) = 0,22$$

$$B = B_1 + B_2 = 0,008 + 0,22 = 0,23 < 1$$

voldoet dus aan de norm

Antwoorden (3)

▪ Lozing in lucht

$$X_{\text{inkoop}} = 7,3 \times 10^{-9} \times 18,5 \cdot 10^6 = 0,135 \text{ Re}_{\text{inh}}$$
$$X_{\text{max}} = R_L \times X_{\text{inkoop}} \times 10^{-p-s-4} = 1 \times 0,135 \times 10^{3-0-4}$$
$$= 0,0135 \text{ Re}_{\text{inh}}$$

$$L_{\text{SN}} = 1 \text{ Re}_{\text{inh}}$$

dus deel 1 volstaat

- R_L halveringstijdparameter (1 – 100)
- X_{inkoop} ingekochte hoeveelheid activiteit in Re_{inh}
- p verspreidingsparameter
- s filterparameter (<90% - 99.99%)

▪ Lozing in water

$$X_{\text{inkoop}} = 18,5 \cdot 10^6 \times 1,5 \cdot 10^{-8} = 0,28 \text{ Re}_{\text{ing}}$$
$$X_{\text{max}} = R_W \times X_{\text{inkoop}} \times V \times Z \times W \times 10^{-s}$$
$$= 1 \times 0,28 \times 0,1 \times 1 \times 1 \times 10^0 = 0,028 \text{ Re}_{\text{ing}}$$

$$W_{\text{SN}} = 100 \text{ Re}_{\text{ing}}$$

dus deel 1 volstaat

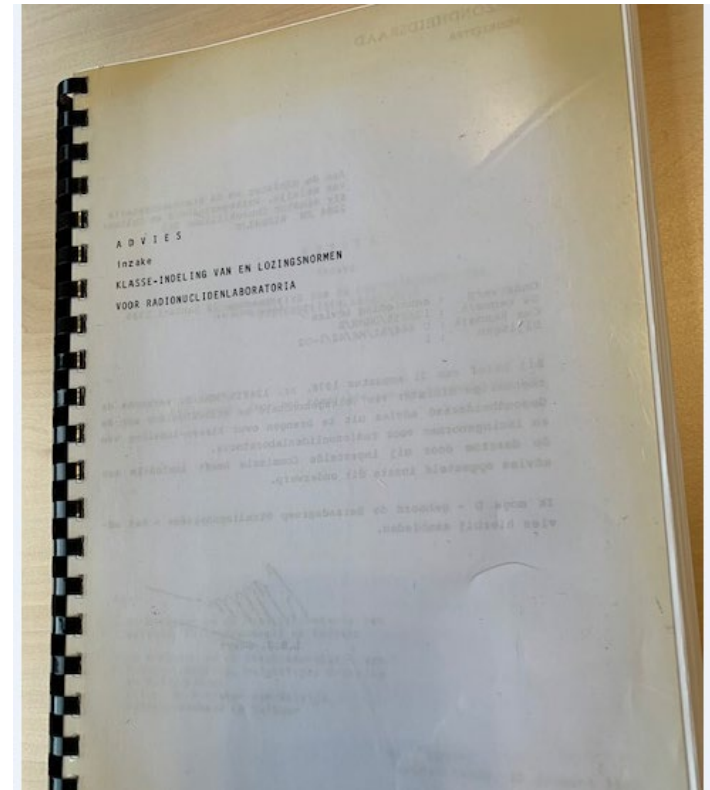
- R_W halveringstijdparameter (0,001 – 100)
- X_{inkoop} ingekochte hoeveelheid activiteit in Re_{ing}
- V lozingskansparameter (mag altijd 0,1 worden genomen, soort stof)
- Z en W uitscheidingsfracties voor patiënt en proefdier
- s filter/tankparameter (<90% - 99.99%)

IV. Andere RI&E methodieken



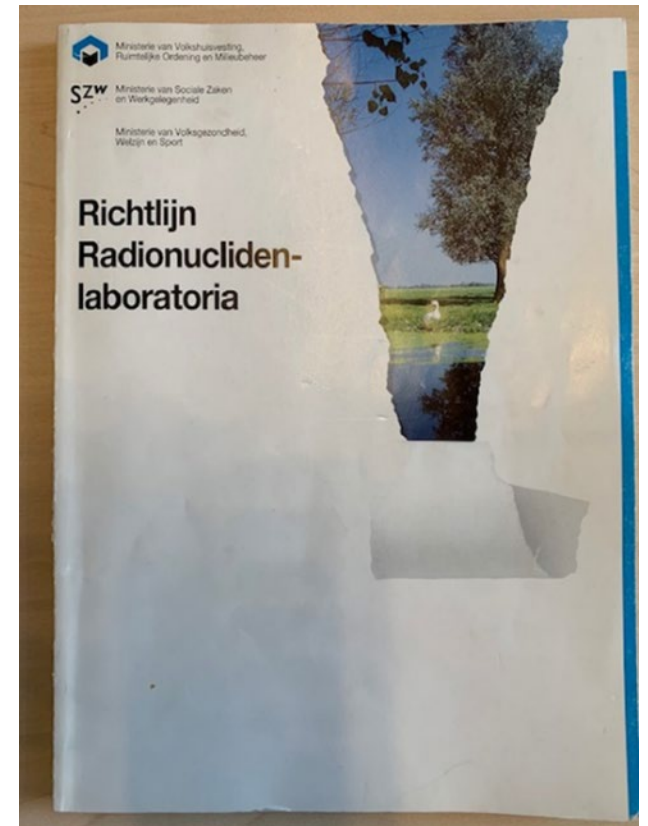
Achtergronden

- Gezondheidsraad (1985)
 - Gezondheidsraad ging uit van kleine verspreidingskans bij alle reguliere werkzaamheden (0,1% per week bij p=0)
 - beperk dosis ten gevolge van chronische blootstelling
 - parameters p, q en r gebaseerd op rapport Gezondheidsraad
 - $X_{\max} = ALI \times 10^{p+q+r}$
 - Nog geen dosisnorm: voorstel 10% van dosislimiet



RRNL

- Richtlijn Radionuclidenlaboratoria (1994)
 - Gebaseerd op rapport Gezondheidsraad
 - maar...
 - waarde van p met 2 verlaagd
 - waarde van q met 1 verhoogd
 - A_{\max} = factor 10 lager t.o.v. GR
 - dosisnorm = $1\% \times$ jaarlimiet = 0,2 mSv
 - tijdfactor geldt wel voor belastingfactor B maar niet voor X_{\max}
 - → RRNL i.h.a. erg conservatief en gericht op regulier werk



Achtergronden

- Gezondheidsraad (1985; $p = 0 \leftrightarrow p = -2$ RRNL enz)

Tabel 1: Indicatie voor de waarde van verspreidingsparameter p voor enkele toepassingen in radionuclidenlaboratoria.

p	Corresponderende verspreiding in lucht als fractie per week	soort toepassing*
-3	1	- gasvormige activiteit, lozing gehele werkvoorraad per week
-2	10^{-1}	- gasvormige activiteit, lek enkele procenten per dag - mengen, malen van poeders - vloeistoffen met temperatuur tegen kookpunt - sterk spattende bewerking van vloeistoffen
-1	10^{-2}	- gasvormige activiteit in goed gesloten vat (lek < 1% per week) - eenvoudige bewerking van poeders - bewerking van vloeistoffen met spatten en morsen
0	10^{-3}	- niet spattende bewerking van vloeistoffen - beperkte hantering van poeders (afwegen)
1	10^{-4}	- beperkte hantering vloeistoffen - opslag van poeders
2	10^{-5}	- opslag van vloeistof in goed gesloten vat

GR	RRNL
-3	
-2	-4
-1	-3
0	-2
1	-1
2	0

HARAS

- HARAS-studie (1997)
 - Besmetting = $TFW \times \text{activiteit}$
 - TFW = transferfractie naar werknemer**
 - TFW = Fractie f_b voor luchtverspreiding en parameter λ voor verspreidingssnelheid
 - niet de normale werkomstandigheden, maar **incidenten** zijn bepalend, ofwel $TFW = TFWI (= TWF_{\text{incident}})$
 - Clustering van bewerkingen
 - **HARAS-parameter h**
 - $h = {}^{10}\log(TFW)$
 - **Grenswaarde = dosisnorm $\times 10^h$**



Technische Universiteit Eindhoven

HARAS

Beschrijving en resultaten van een analysemethode voor risico-evaluatie van het werken met open radioactieve stoffen

HOEVEELHEID	WERKSCENARIO		BSMETTING	GEVOLG	
KARAKTERISERING HOEVEELHEID RADIOACTIEVE STOF WAARME WERKZAAMHEDEN WORDEN UITGEVOERD activiteit muriel (ACT/DOCC)	KARAKTERISERING WERKZAAMHEDEN	OMSTANDIGHEDEN NORMAAL	RHALATIE	gering aanval dosis normaal	gering aanval dosis normaal
	KARAKTERISERING BESCHERMING VOORZIEHMEN	OMSTANDIGHEDEN INCIDENT	HARAS rekenmodel voor lucht verspreiding	gering aanval dosis incident	gering aanval dosis incident
	Johannes Gibert LAP-zaal Aur in stuurkast Aur in stuurkast Aur in stuurkast etc.	OMSTANDIGHEDEN ONGEVAL	INGESTE PRIKKEN NIET BESMETTING	gering aanval dosis ongeval	gering aanval dosis ongeval

Centrum Stralingsbescherming en Dosimetrie SBD/TUE Stralingsbeschermingsdienst

Leidraad (Grimbergen en Wiegman)

- Leidraad voor handelingen met open radioactieve stoffen (2006)
 - algemene dosisbeperking $X_{\max} = 10\,000 \text{ Re}_{\text{inh}}$ (opslag)
 - activiteitsbeperking E_2 op grond van laboratoriumklasse
 - $X_{\max} = 1000 \text{ Re}_{\text{inh}}$ B-laboratorium
 - $X_{\max} = 10 \text{ Re}_{\text{inh}}$ C-laboratorium
 - $X_{\max} = 0,1 \text{ Re}_{\text{inh}}$ D-laboratorium
 - $X_{\max} = 0,01 \text{ Re}_{\text{inh}}$ nevenruimte



Leidraad

Leidraad voor handelingen met open radioactieve stoffen
(2005)

- dosisbeperking bij incidentele blootstelling =
dosisnorm (E_1) $\times 10^h$
 - dosisnorm 1 mSv in B-laboratorium
 - dosisnorm 0,1 mSv in ander laboratorium
- HARAS-parameter h gesplitst in twee parameters f en g
- HARAS-parameter h hangt af van
 - fysisch-chemische vorm (f)
 - type bewerking en specifieke afzuiging (g)

Leidraad

- **Parameter f = 0 - 6**
parameter voor fysisch-chemische vorm
- **Parameter g = 0 - 4**
parameter voor type bewerking en specifieke afzuiging
- **Beperkingen E₁ en E₂ (Dosisnorm)**
waarde E₁ 10⁻³ in B-laboratorium
 10⁻⁴ elders
waarde E₂ 10³ in B-laboratorium
 10¹ in C-laboratorium
 10⁻¹ in D-laboratorium
 10⁻² elders

$$X_{\max} = \min(E_1 \times 10^{f+g}, E_2) [Re_{inh}]$$

- **Vergelijking met p-waarde uit RRNL**
'herwaardering' p-waardes

Tabel 11. Parameter f: effect van fysisch-chemische vorm

<i>fysisch-chemische vorm</i>	<i>f</i>
gas	0
vluchtige vloeistof	1
waterige vloeistof, gel (<i>vervluchtigen</i>)	1
waterige vloeistof, gel (<i>alle andere bewerkingen</i>)	2
minder vluchtige vloeistof (<i>vervluchtigen</i>)	2
minder vluchtige vloeistof (<i>alle andere bewerkingen</i>)	3
zeer stoffige vaste stof	3
stoffige vaste stof	4
vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	6
vaste stof in moeilijk verspreidbare vorm	6

Tabel 12. Parameter g: effect van type bewerking en van specifieke afzuigvoorziening

<i>specifieke afzuigvoorziening</i>	<i>type bewerking</i>	<i>g</i>
geen	vervluchten	0
	spattende bewerking	0
	rustige bewerking	0
	bewerking met een gesloten systeem	0
afzuigpijp	vervluchten	0
	spattende bewerking	1
	rustige bewerking	1
	bewerking met een gesloten systeem	1
zuurkast	vervluchten	0
	spattende bewerking	2
	rustige bewerking	3
	bewerking met een gesloten systeem	3
gekeurde zuurkast	vervluchten	0
	stoffige bewerking	0
	spattende bewerking	2
	rustige bewerking	3
	bewerking met een gesloten systeem	4

BEWERKING IN ZUURKAST OP STANDAARD-LABORATORIUM	HARAS		RICHTLIJN		onderschatting ≥ factor 10 OF overschatting ≥ factor 10 #
	$\frac{TFWI_R}{TFWI_A}$	P*	P	$\frac{(10^P)_A}{(10^P)_R}$	
Open koken van een vluchtige vloeistof	0,0006	-5,2	-4	0,01	onderschatting
Open koken van een waterige vloeistof	0,0006	-5,2	-4	0,01	onderschatting
Open koken van een minder vluchtige vloeistof	0,001	-5	-4	0,01	onderschatting
Zeer stoffige bewerking	0,007	-4,2	-4	0,01	
Spattende bewerking met een vluchtige vloeistof	0,06	-3,2	-4	0,01	
Gas of damp in een houder	0,07	-3,2	-4 -3	0,01 (gas) 0,1 (damp)	
Stoffige bewerking	0,07	-3,2	-4	0,01	
Spattende bewerking met een waterige vloeistof	0,1	-3	-4	0,01	overschatting
Natte bewerking met een vluchtige vloeistof	0,6	-2,2	-3	0,1	
Spattende bewerking met een minder vluchtige vloeistof	0,7	-2,2	-4	0,01	overschatting
Natte bewerking met een waterige vloeistof	1	-2	-2	1	per definitie
Optrekken van spuiten met een vluchtige vloeistof	6	-1,2	-1	10	
Natte bewerking met een minder vluchtige vloeistof	5	-1,3	-2	1	
Open koken van een vloeistof waarin een niet vluchtige radionuclide is opgelost	7	-1,2	-4	0,01	overschatting
Optrekken van spuiten met een waterige vloeistof	10	-1	-1	10	
Optrekken van spuiten met een minder vluchtige vloeistof	70	-0,2	-1	10	
Spattende bewerking met een vloeistof waarin een niet vluchtige radionuclide is opgelost	700	0,8	-4	0,01	overschatting
Natte bewerking met een vloeistof waarin een niet vluchtige radionuclide is opgelost	7000	1,8	-2	1	overschatting
Optrekken van spuiten met een vloeistof waarin een niet vluchtige radionuclide is opgelost	70000	2,8	-1	10	overschatting

pqr-formule:

Risicovolle handelingen: onderschatting risico

Eenvoudige handelingen: overschatting risico

RRNL vs Leidraad (Grimbergen en Wiegman)

nucl.	bewerking	vorm	lab	afzuiging	leidraad (Re_{inh})	RRNL (Re_{inh})
^{83}Sr	spattend	vloeistof, niet vluchtig nuclide	B	gekeurde zuurkast	1000	0,2
^{83}Rb	vervluchtigen	vloeistof, niet vluchtig nuclide	B	tafel	1000	0,02
^{111}In	vervluchtigen	vloeistof, niet vluchtig nuclide	B	tafel	1000	0,02
^{175}Hf	stoffige bewerking	stoffige vaste stof	B	zuurkast	10	0,2
^{83}Rb	bewerking in gesloten systeem	vaste stof	C	tafel	10	0,2
^{83}Rb	bewerking in gesloten systeem	vaste stof	-	tafel	0,01	0,002

‘Consequenties’ voor lozingen

nucl.	bewerking	vorm	lab	afzuiging	leidraad p-waarde	RRL p-waarde
⁸³ Sr	spattend	vloeistof, niet vluchtig nuclide	B	gekeurde zuurkast	-2	-4
⁸³ Rb	vervluchtigen	vloeistof, niet vluchtig nuclide	B	tafel	-2	-3
¹¹¹ In	vervluchtigen	vloeistof, niet vluchtig nuclide	B	tafel	-2	-3
¹⁷⁵ Hf	stoffige bewerking	stoffige vaste stof	B	zuurkast	-4	-4
⁸³ Rb	bewerking in gesloten systeem	vaste stof	C	tafel	-1	-1
⁸³ Rb	bewerking in gesloten systeem	vaste stof	-	tafel	-1	-1

Maar: verplicht p van RRNL gebruiken voor lozing (AGIS)!

Vergelijking

	RRNL	HARAS/Leidraad
Blootstelling	Regulier	Incident
Complexiteit	Eenvoudig	Complexer
Bescherming	Conservatief	Realistisch
Gebruik voor	Eenvoudige handelingen	Eenvoudige en complexere handelingen
Bekendheid	Onderdeel opleidingen	Minder bekend
Vershil meest eenvoudig/meest complexe handeling	1000	10 ⁹
Factor goede vs gekeurde zuurkast	100	10.000

RI&E vs werkelijke dosis

Werkelijke dosis is vaak lager:

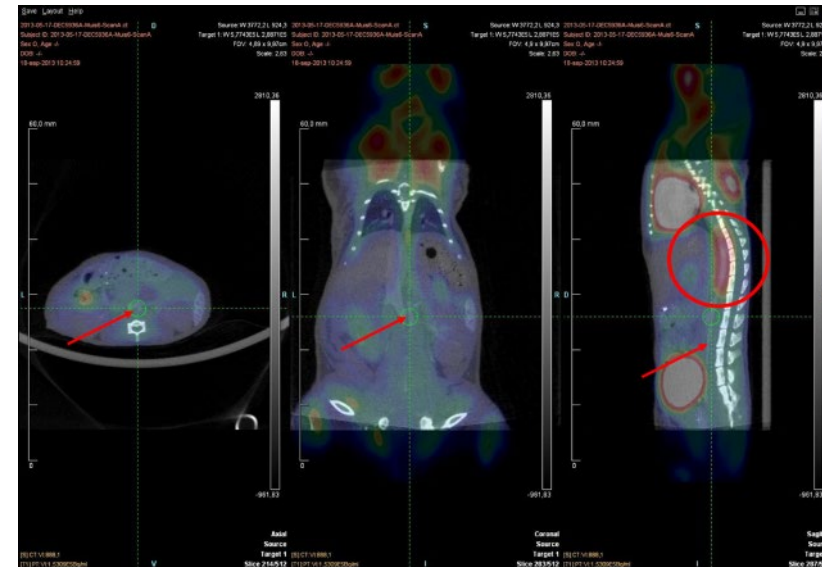
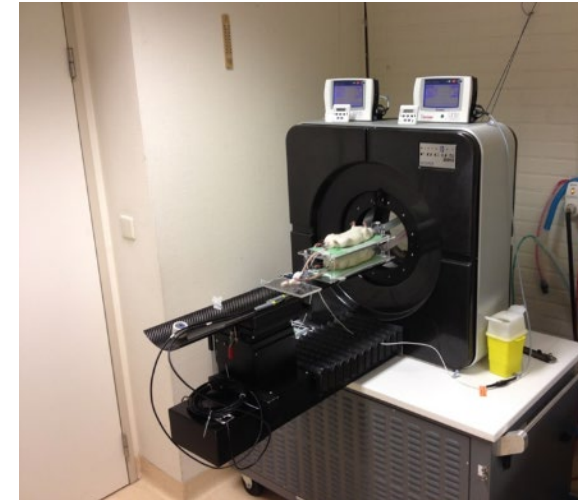
- Afscherming door muren etc. vaak niet meegenomen
- Berekening transmissie geeft vaak overschatting
- Terreingrensdosis wordt met een vereenvoudigd, conservatief model berekend
- Hoeveelheid activiteit bij incident wordt vaak overschat

Keuze RI&E methodiek:

- Ondernemer is vrij te kiezen voor de methode!
- **Let op:** Methode kan beschreven staan in vergunning.

V. TMS in de praktijk

- C-lab
- Centrale Dienst Proefdieren
- Ratten en muizen
- UMCG
- Medisch onderzoek



Experiment 1

Onderzoeker stelt het volgende dierexperiment voor:

- 20 muizen IP-injecteren met I-131
- 10 MBq/muis
- 4 weken huisvesting
- C-lab (gekeurde zuurkast) met dierverblijf
- e(50)inh: 2×10^{-8} Sv/Bq
- Experiment 1 uur
- Dierverzorging 2 uur/w

Kun u, als TMS, het experiment goedkeuren?

Uitwerking

Mag dit experiment in het C-lab?

Injectie $p = -2$

C-laboratorium $q = 2$

Zuurkast $r = 2$

voor I-131 is $e(50)_{inh} = 2,0 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$

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

$$A_{\max} = X_{\max} / e(50)_{inh} = 100 \text{ MBq}$$

- Aanvraag is 200 MBq per experiment!

Uitwerking

Kunnen de dieren gehuisvest worden in de stal?

Huisvesting (opslag) $p = 0$

C-laboratorium $q = 2$

Zuurkast $r = 0$

voor I-131 is $e(50)_{inh} = 2,0 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$

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

$$A_{max} = X_{max} / e(50)_{inh} = 100 \text{ MBq}$$

- **Belastingsfactor:**

$$B_w = ((100 / 100) \times (1 / 40)) + ((100 / 100) \times (2 / 40)) \\ = 0,075$$

Geen probleem!

Conclusie

- Experiment moet in twee fasen uitgevoerd worden.
- Belastingsfactor:

$$B_w = ((100 / 100) \times (1 / 40)) + ((100 / 100) \times (2 / 40))$$
$$= 0,075$$

Geen probleem!

- Restrictie tot 10 muizen per experiment ondanks lage belasting.
- Beperking: 100 MBq max op het lab

Voorziene onbedoelde gebeurtenissen

- En wat als de biotechnicus zich in de vinger prikt?
- Of langdurig bij een niet-afgeschermdde voorraad staat?
- Of een huidbesmetting krijgt?
- Of met een besmette handschoen aan het gezicht zit?
- Of er gaat wat over de vloer?
- Of....
- Of...

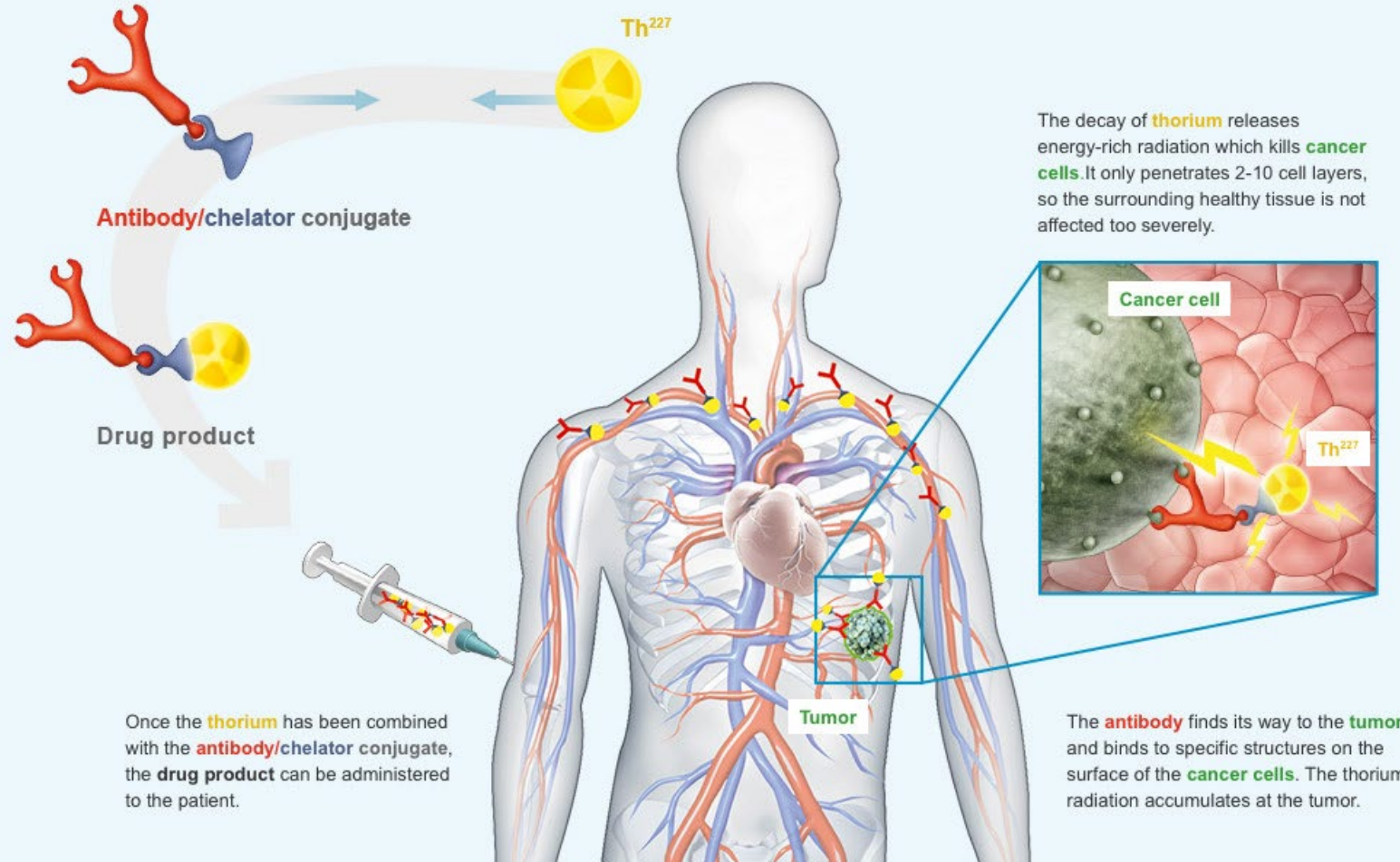
Risico's inventariseren i.r.t. kans dat een V.O.G. optreedt!

Experiment 2

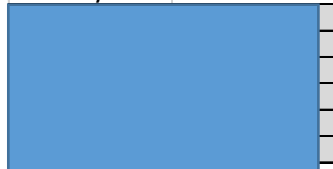
- Aanvraag voor gebruik Th-227 in muizen
- Alfa emitter
- $e(50) = 7,6 \cdot 10^{-6}$
- $1\text{MBq} = 7,6 \text{ Sv}$
- Aanvraag 0,5MBq
- Slik.....

Combination to treat tumors

Specific antibodies carry their highly effective payload to the tumor: the radioactive element thorium then releases its energy-rich radiation directly and locally at the cancer cells.



Risicoanalyse CDP



Gegevens isotoop

e50inhalatie	7,80E-06	bs2001
e50ingestie	8,90E-09	
e50injectie	7,80E-06	e50inh gekozen als schatter
h	0,023	

Belastingsfactor lab stal (opslag) Dierversz (1,5h/w)

Reinh=	1,28E+05	1,28E+05	1,28E+05
Factoren:			
p=	-2	-1	-1
q=	2	2	2
r=	2	1	1
p+q+r	2	2	2
Amax	2,56E+05	2,56E+05	2,56E+05
MBq max	0,26	0,26	0,26
Factor:	0,004	0,282	0,011

Totaal belasting:	0,01	Onafgeschermd
BW/MBq	0,195	

Opmerkingen: Conservatieve schatting: 5 min per dier

Aantal scans/dagen: microSv

				som
	dosis hand	2,2	0,0	2,2
	dosis body	0,0	0,0	0,0
	dosis transport	0,0	0,0	0,0
	dosis inj	23,4	0,0	
aantal scans/dagen				
2	dosis hand	4,3	0,0	4,3
	dosis body	0,0	0,0	0,0
	dosis transport	0,0	0,0	0,0

Isotoop:	Th227
Aantal dieren:	12
MBq/dier:	0,0125
Aantal dierensimultaan:	6
Tijd per exp (h):	0,5
MBq/exp:	0,075
Bq/ml:	1,50E+05

Externe bestraling experiment

Op handen (m)	0,02
Op lichaam (m)	0,50
H (hand)= (microSv/h)	4,31
H (lichaam)= (microSv/h)	0,01
Bestraling hand (microSv):	2,16
Bestraling lichaam (microSv):	0,00

Externe bestraling transport PET>CDP RA dieren

Bestraling op lichaam (80cm, 10 min, microSv)	0,00
---	------

Calamiteit (20 microliter ingestie, inhalatie)

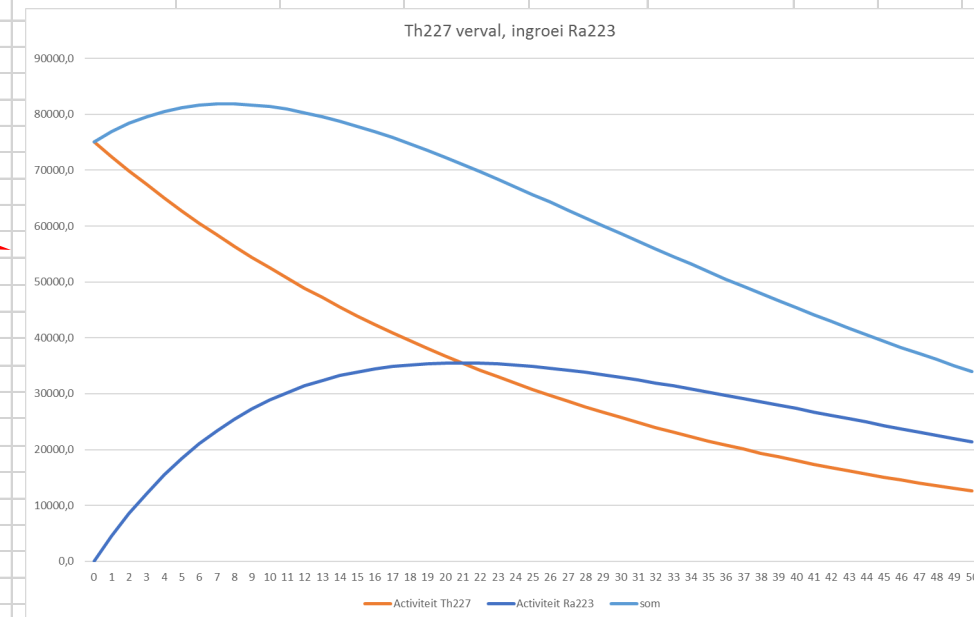
20microliter (MBq):	3,00E+03
Dosis inh:	2,34E-02
Dosis ing:	2,67E-05
Dosis inj:	2,34E-02
Dosis mSv inh:	23,40
Dosis mSv ing:	0,03
Dosis mSv inj:	23,40

injectie incident

Volgdosis bij opname 75kBq	e(50)		Max	som A max	
	ing	inh	Activiteit	ing (Sv)	inh (Sv)
Thorium-227	8,90E-09	7,80E-06	7,50E+04	6,68E-04	5,85E-01 bij 100% inname
Radium-223	1,00E-07	6,90E-06	3,50E+04	3,50E-03	2,42E-01
Radon-219					
Polonium-215					
Lead-211					
Bismuth-211					
Thallium-207					
Lead-207					

Overige dochters niet meegenomen ivm korte halfwaardetijd en/of lage e(50)
 Risico op inwendige besmetting voorkomen door zuurkast, handschoenen, stofmasker, verbod scherpe naalden
 Huisvesting in IVC met afvoer naar afvoer kanaal
 Alle materialen laten uitstralen Stock maximaal 150kBq
 Bij 1/1000 inname: 0,82mSv
 Alleen ervaren biotechnicus en ervaren niveau 5 toestaan

Voor Th227 activiteit op T=0 genomen, voor Ra223 maximale activiteit op T=21



p= verspreidingskans: in dier -1, lab-2
 q= C-lab, 2
 r= ventilatie 1, goede zuurkast 2, stal 0

r=1: dieren in IVC huisvesting met afvoer naar centrale afzuiging.

Onderwerpen behandeld:

Praktische stralingsbescherming open bronnen

- Verspreiding!
- Risicoanalyse, RI&E
- pqr-formule
- Belastingsfactor
- Veilig werken
- Afstand, Tijd, Afscherming
- KEW dossier
- Lozing, AGIS
- Andere methoden

Vragen?

