

Radioactiviteit en risico's

Frits de Mul
2011

^{131}I (I-131)

- Isotoop van jodium (net als I-125, I-127)
- Radioactief, vervalt naar ander nuclide (Xenon)
- Zendt β^- -deeltjes (electronen) uit,
 - en ook γ -straling (fotonen)
- Deze straling kan schade toebrengen
- Halveringstijd: 8 dagen (fysisch)

Wat betekent dat ?

Ioniserende Straling

Inhoud

1. Atoombouw: protonen, neutronen, electronen, positronen
2. Radioactief verval
3. Activiteit en halveringstijd; becquerel
4. Bundelverzwakking en halveringsdikte; transmissie
5. Dosimetrie: equivalente en effectieve dosis; sievert
6. Bestraling (uitwendig) en besmetting (inwendig/uitwendig)
7. Chernobyl: oorzaken en gevolgen.
8. Fukushima: oorzaken en gevolgen.

Ioniserende straling

Straling die ionisaties kan veroorzaken in het bestraalde medium

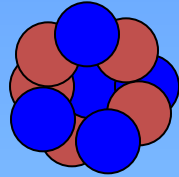
Deeltjesstraling

- ❑ Geladen deeltjes (elektronen e^- , β^- , positronen e^+ , β^+ , protonen p , alpha-deeltjes α , etc)
- ❑ Ongeladen deeltjes (neutronen etc)

Electromagnetische (EM) straling

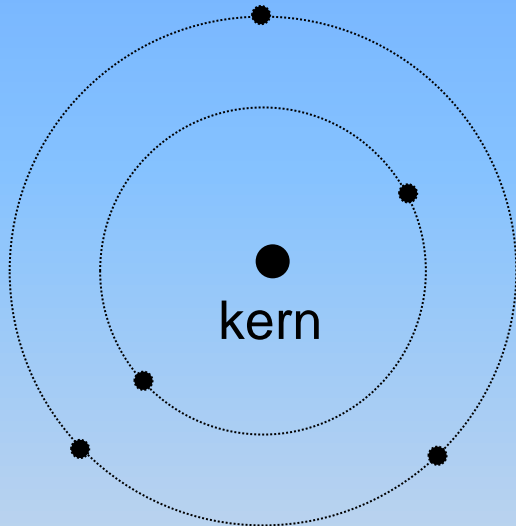
- ❑ Fotonen uit atoomkern: γ -straling
- ❑ Fotonen uit elektronenschillen:
röntgenstraling.... ultraviolet....

Het atoom






Kern :

protonen en neutronen

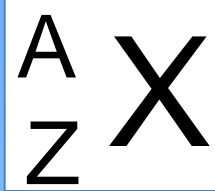
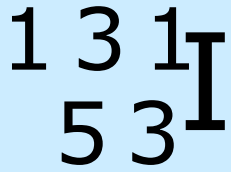


Electronen-
schillen

	<i>deeltje</i>	<i>massa</i>	<i>lading</i>
	proton	1 u	+1 e
	neutron	1 u	0
	electron	0.0005 u	-1 e
	positron	0.0005 u	+1 e

u = massa-eenheid; e = ladingseenheid

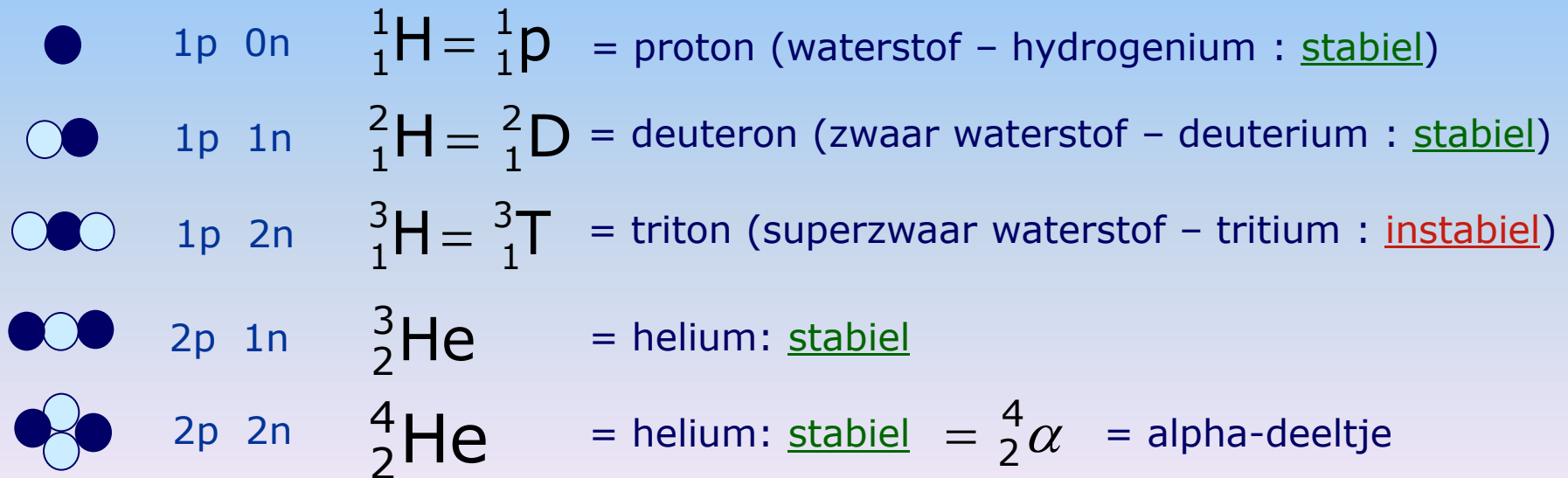
Het atoom



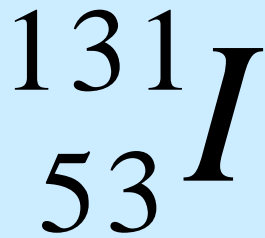
- Z = 53: aantal protonen (lading) = atoomnummer
- A: Z+N = 131: massagetal
- N: aantal neutronen (=131-53 = 78)

Protonen stoten elkaar af;
Neutronen zorgen voor "lijm".

Voorbeelden: (● p=protonen; ○ n=neutronen)



Jodium



- 53 protonen in kern
- 131 = massa kern
- 78 neutronen in kern (=131-53)

Jodium = element nr 53 in periodiek systeem

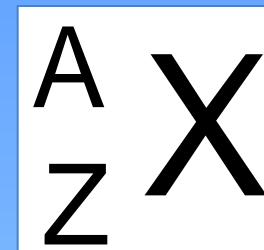
Jodium heeft 30 isotopen:

Belangrijkste: $(T_{1/2} = \text{halveringstijd})$

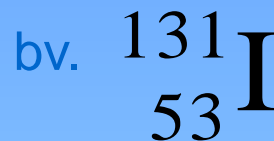
- ${}^{123}\text{I}$: $T_{1/2} = 13.2$ uur; gamma-emitter (\rightarrow diagnose)
- ${}^{125}\text{I}$: $T_{1/2} = 59.4$ dagen; positron-emitter
- ${}^{127}\text{I}$: stabiel.
- ${}^{129}\text{I}$: $T_{1/2} = 16$ miljoen jaar; electron+gamma -emitter
- ${}^{131}\text{I}$: $T_{1/2} = 8.0$ dagen; electron+gamma -emitter (\rightarrow therapie)

De isotopen verschillen in aantal neutronen in kern

Het atoom



Nuclide van element X met atoomnummer Z
en massagetal A:

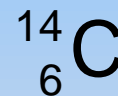
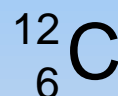
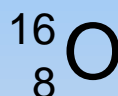
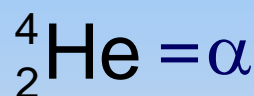


Z: aantal protonen (lading) = Atoomnummer

N: aantal neutronen

A: $Z+N$ = Massagetal

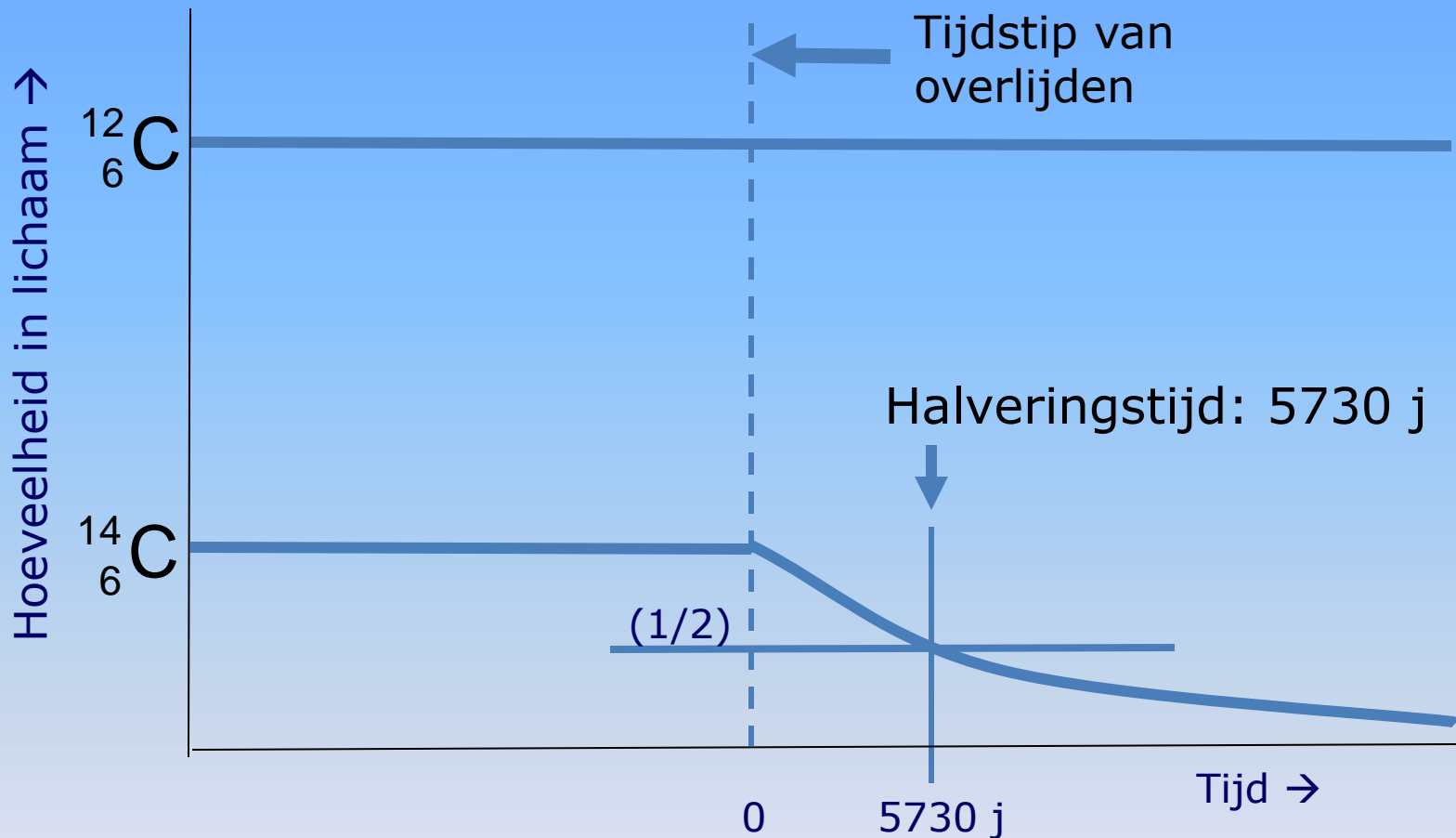
Bijvoorbeeld:



- Z: bepaalt soort atoom en chemische activiteit
- Verschillende nucliden met zelfde Z en andere A heten isotopen
- Een neutraal atoom bevat ook Z electronen (in de schillen)
- Een atoom kan door ionisatie electronen uit de schillen kwijtraken.
- Het vermelden van Z is eigenlijk overbodig.

Gebruik van C-14 als ouderdomsdatering

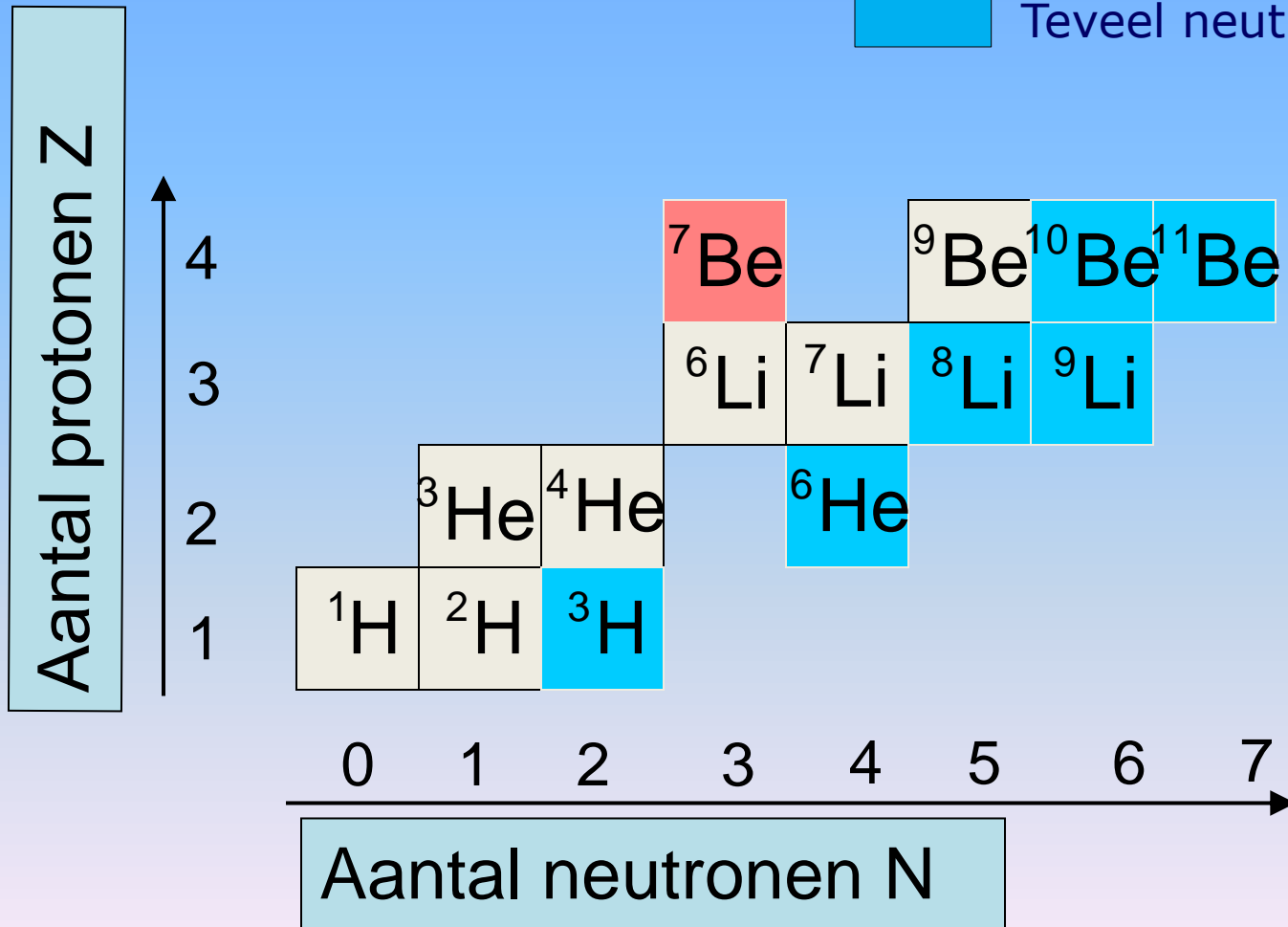
In levende "materie" vindt continu uitwisseling plaats tussen C-12 en C-14, waardoor dan hun verhouding constant blijft.



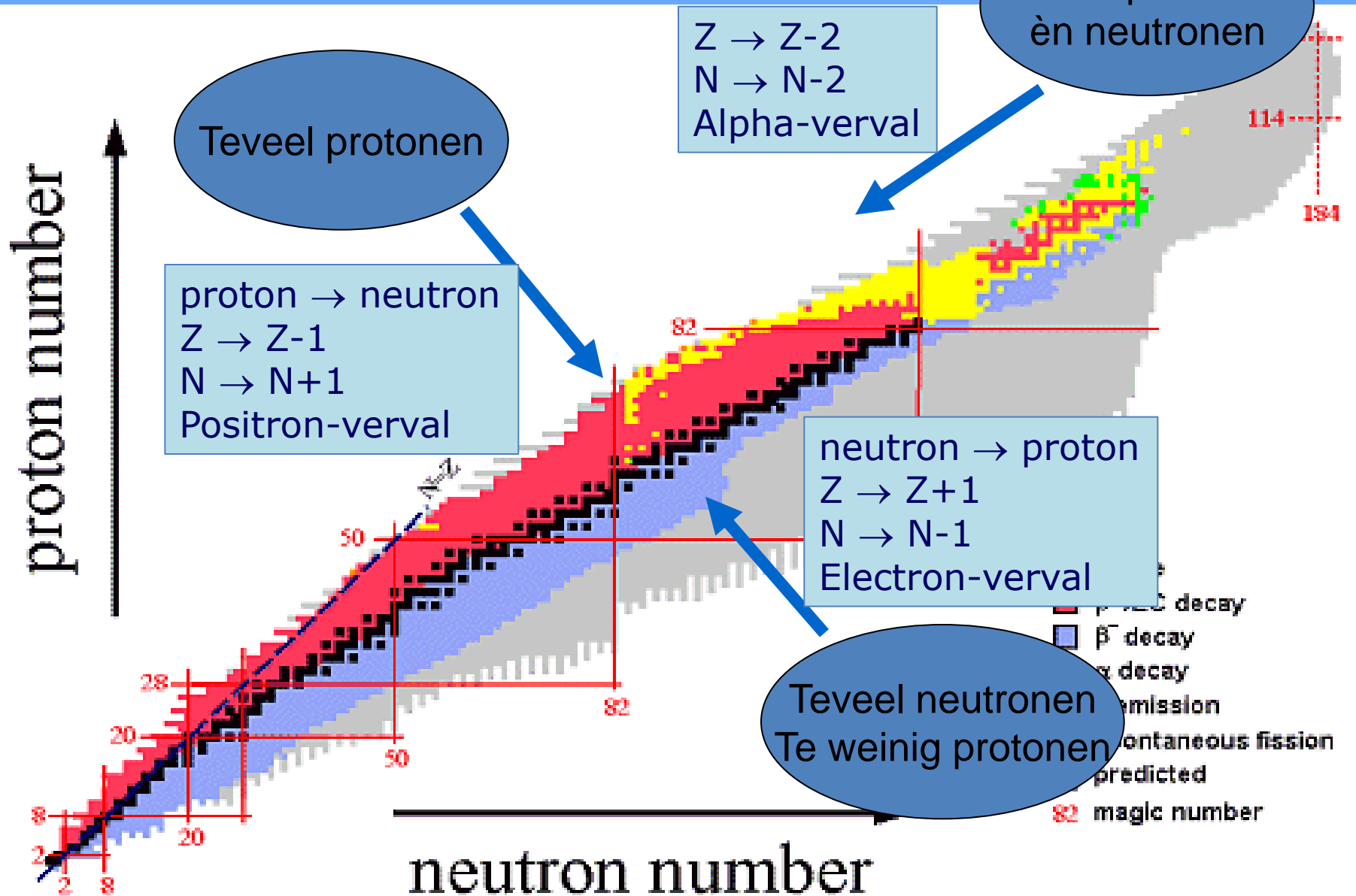
Verhouding C-14 / C-12 is een maat voor de verstreken tijd na overlijden.

Nuclidenkaart

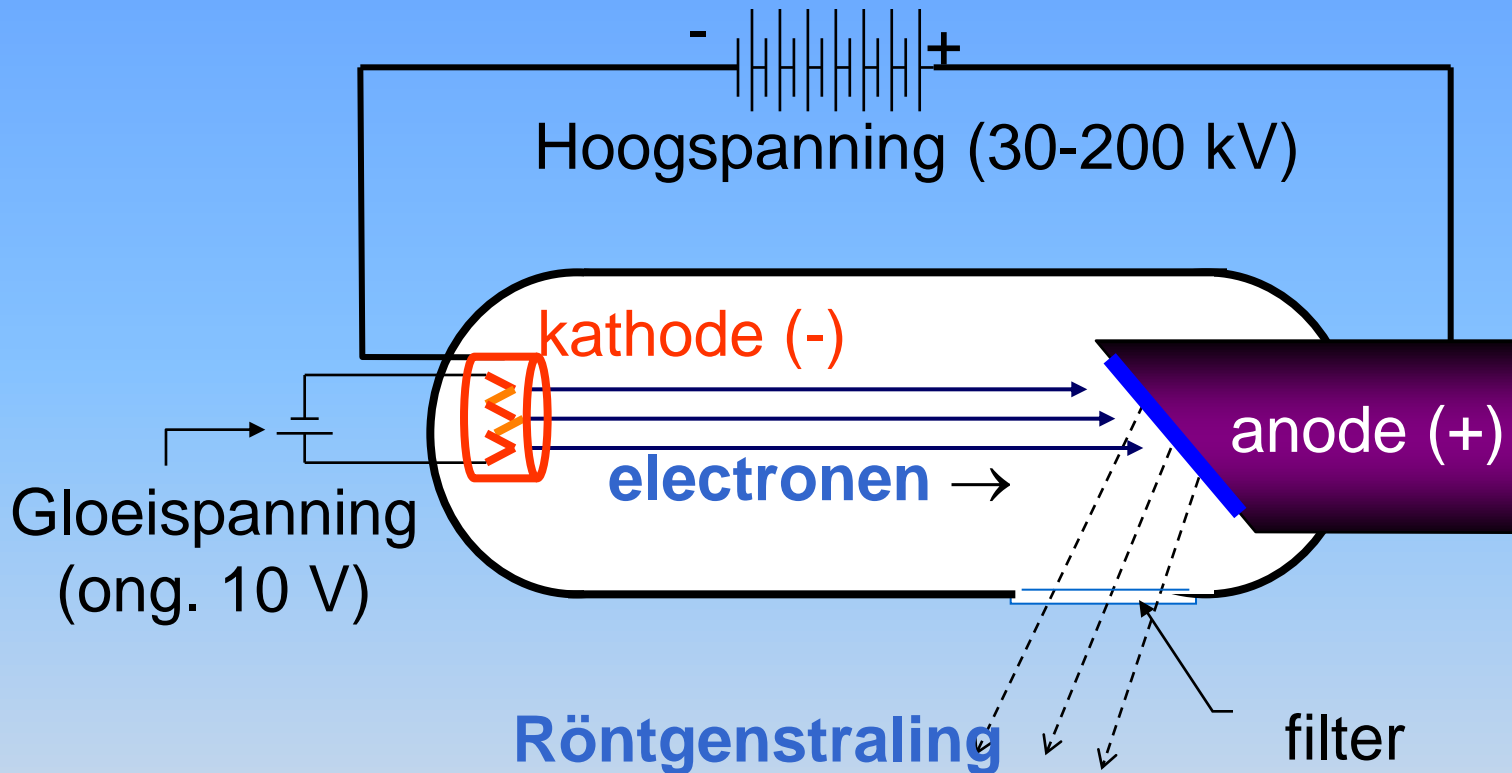
Teveel protonen
Stabiel
Teveel neutronen



Nuclidenkaart



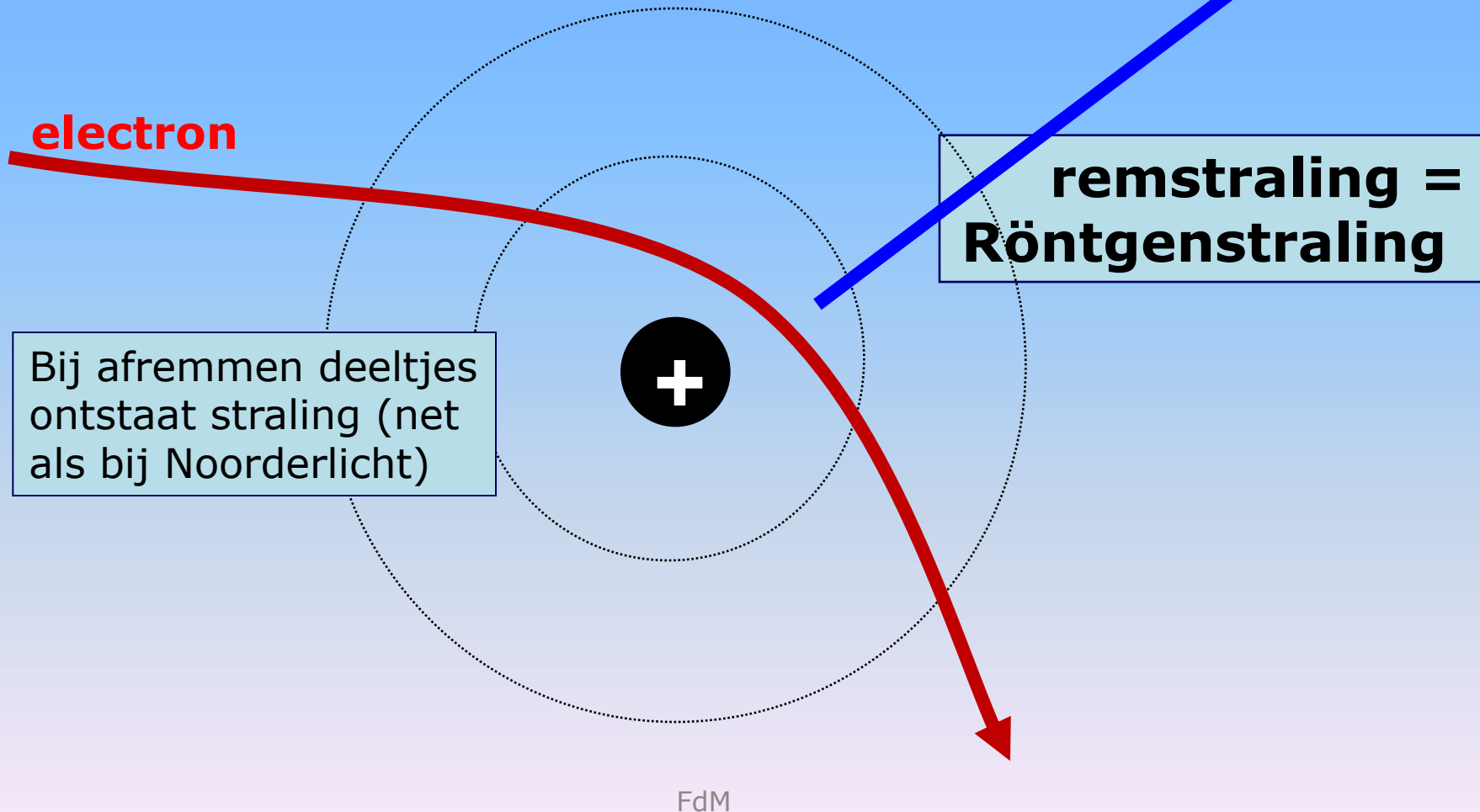
Röntgenstraling uit toestellen



Door verwarming worden electronen uit de kathode vrijgemaakt en naar de anode versneld.
Ze treffen daar de atomen van de anode.....

Röntgenstraling uit toestellen

In de anode worden de binnenkomende electronen afgebogen en afgeremd door atoomkernen



Stralingsschade

<i>Soort straling</i>	<i>Doordringend vermogen</i>	<i>Waar schade?</i>	<i>Effect</i>
Deeltjes (α , β^+ , β^-)	Gering ($< \approx$ cm's)	Alles \approx ter plekke	Inwendig (besmetting)
Fotonen (Rö, γ)	Groot (meters)	Gespreid over volume	Uitwendig (bestraling)

^{131}I zendt zowel β' s (electronen) als γ' s uit.

γ : overschot aan energie, in de vorm van fotonen.

- β 's : dracht in weefsel: ≈ 0.3 cm max. \rightarrow alleen schildklier
- γ 's : halveringsdikte in weefsel: ≈ 30 cm \rightarrow omgeving

Activiteit

Als verhouding aantal protonen/neutronen "ongunstig", dan nuclide **instabiel**

"ongunstig" : verhouding \gg of \ll 1.

Instabiele kernen vervallen onder uitzending van een radioactief deeltje ("desintegratie")

Activiteit A : aantal kernen dat per seconde vervalt

Eenheid A: becquerel (Bq)

1 Bq = 1/s (één desintegratie per seconde)

Activiteit

Activiteit A : aantal kernen dat per seconde vervalst

Eenheid A: becquerel (Bq)

1 Bq = 1 /s (één desintegratie per seconde)

Oude eenheid: 1 Ci (curie) = 3.7×10^{10} /s

Vraag: 100 Bq =

- a. 6000 desintegraties/minuut
- b. 60 desintegraties/minuut
- c. 100 desintegraties/minuut
- d. 1000 desintegraties/minuut

Antwoord: a.

Intermezzo

- 1 kBq = 1000 Bq
- 1 MBq = 1.000.000 Bq = 1000 kBq
- 1 GBq = 1.000.000.000 Bq = 1000 MBq

- 1 kBq = 10^3 Bq
- 1 MBq = 10^6 Bq
- 1 GBq = 10^9 Bq

- 1 mBq = 0.001 Bq
- 1 μ Bq = 0.001 mBq = 0.000.001 Bq

- 1 mBq = 10^{-3} Bq
- 1 μ Bq = 10^{-3} mBq = 10^{-6} Bq

Activiteit

Kunnen we berekenen hoe de activiteit verloopt in de tijd?

Voorbeeld: stel aantal kernen $N = 1000$, verval = 0.1 per sec

Vraag: hoeveel % vervalt elke seconde?

10 %

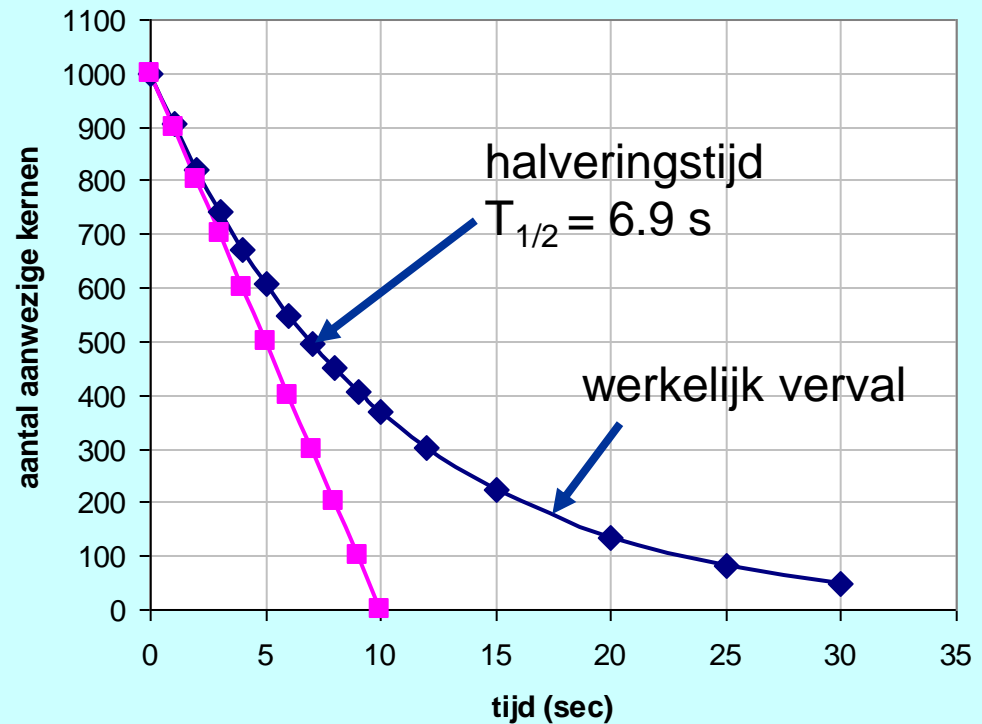
Vraag: zijn na 10 s alle kernen vervallen?

Antwoord:

telkens vervalt
10% van de
dan aanwezige
kernen.

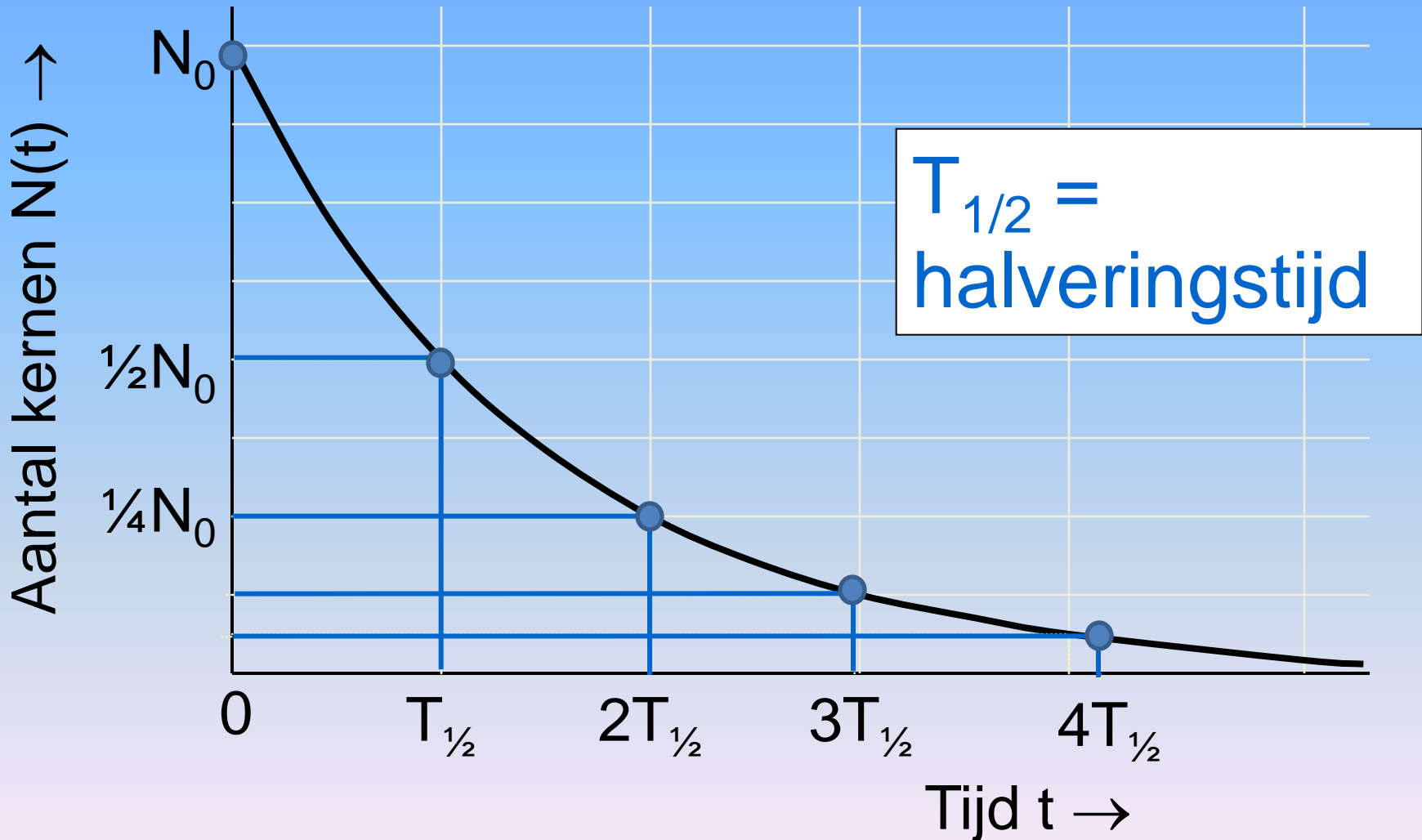
Dus over:

na sec. 1: 900,
na sec. 2: 810,
na sec. 3: 729



Verval

Stel: $N_0 = 1000$ kernen op tijdstip $t = 0$



Verval

131I:

- Voorbeeld:
- **halveringstijd $T_{1/2} = 8$ dagen**
- Na **1** x 8 dagen over: **$1/2$**
- Na **2** x 8 = 16 dagen over: **$1/4 = 1/2^2$**
- Na **3** x 8 = 24 dagen over: **$1/8 = 1/2^3$**
-
- Na **10** x 8 = 80 dagen \approx 3 mnd. over: **$1/1024 = 1/2^{10}$**
-
- Na **20** x 8 = 160 dagen \approx 1/2 jaar over: \approx **$1/1.000.000 = 1/2^{20}$**

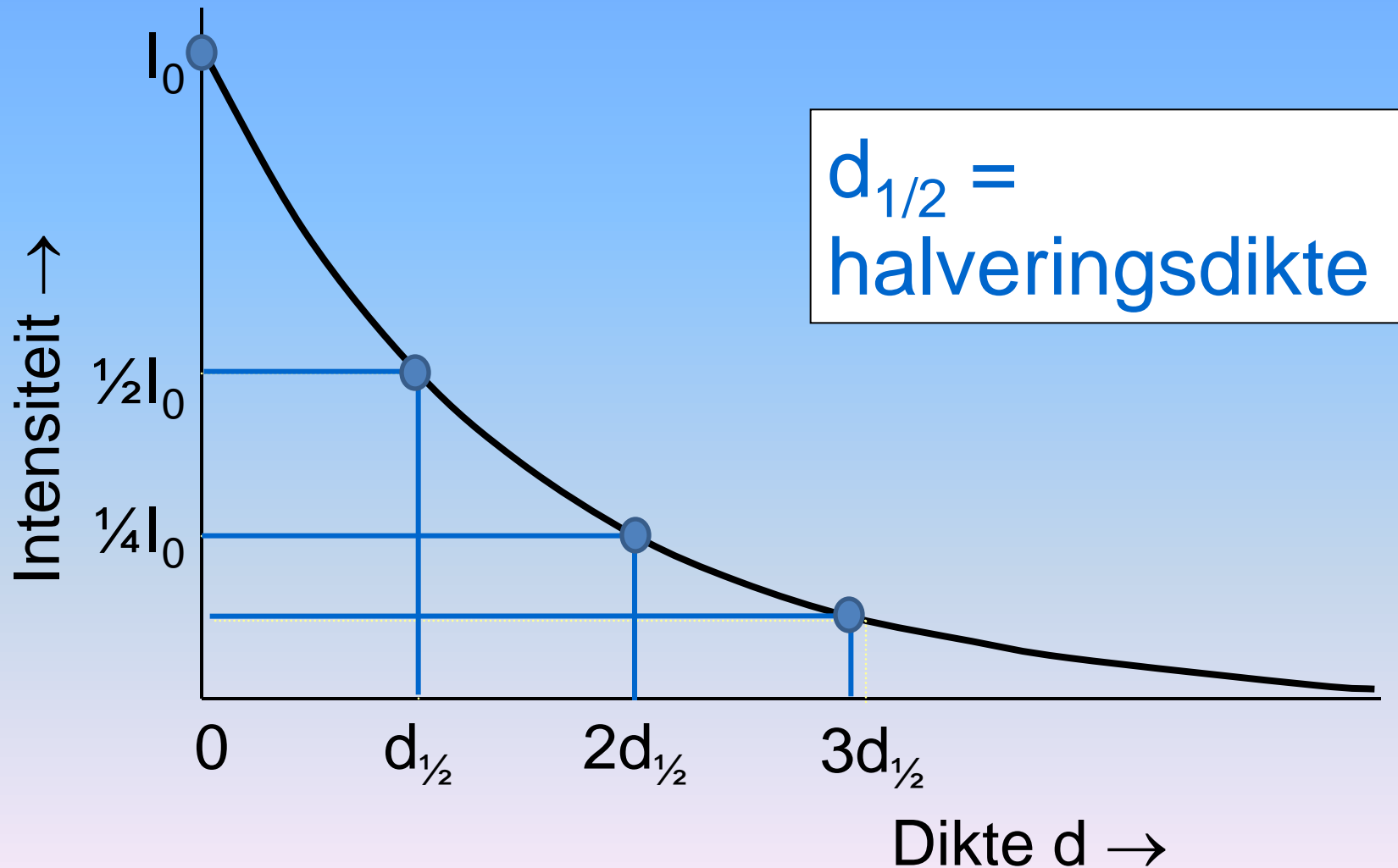
Activiteit

- Vraag :
- De grote boosdoener na Chernobyl was ^{131}I ($T_{1/2} = 8$ dagen, transport en neerslag via aerosolen en damp) dat vooral naar de schildklier migreerde (mede wegens een endemisch jodiumtekort). Vooral bij kinderen geboren vóór de ramp (in 1986) leverde dat problemen.
- Waarom was dat bij kinderen die erná geboren zijn, veel minder het geval? De grond was toch besmet?
 - a. Het jodium werd stevig gebonden aan mineralen in de grond.
 - b. De activiteit nam zeer snel af.
 - c. Er werden snel jodiumtabletten verstrekt.
 - d. Alle pasgeborenen werden grondig gecontroleerd en eventueel direct behandeld.

Antwoord: b.

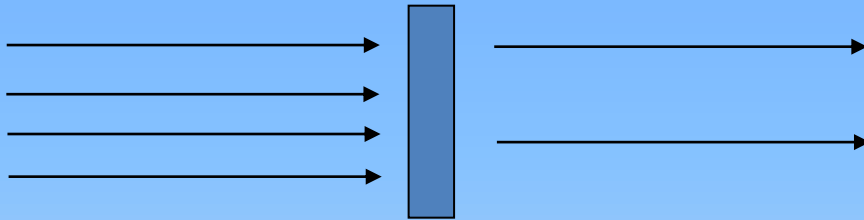
Verzwakking door materialen

Intensiteit: bv. $I_0 = 1000$ deeltjes/fotonen per sec;
valt op afschermingsplaat. Hoeveel komt erdoorheen?



Bundelverzwakking

- Voorbeeld:



Plaat afschermingsmateriaal
met halveringsdikte $d_{1/2} = 5$ cm.

- Achter 5 cm: over $1/2 = 1/2^1$: transmissie = 50%
- achter 10 cm: $1/4 = 1/2^2$ 25%
- Achter 15 cm: $1/8 = 1/2^3$ 12.5%

Rö- en gamma-bundelverzwakking

- Voor verzwakking is dichtheid van het materiaal belangrijk:
- **Indien dichtheid = 2 x , dan halveringsdikte $\approx 1/2$ x**

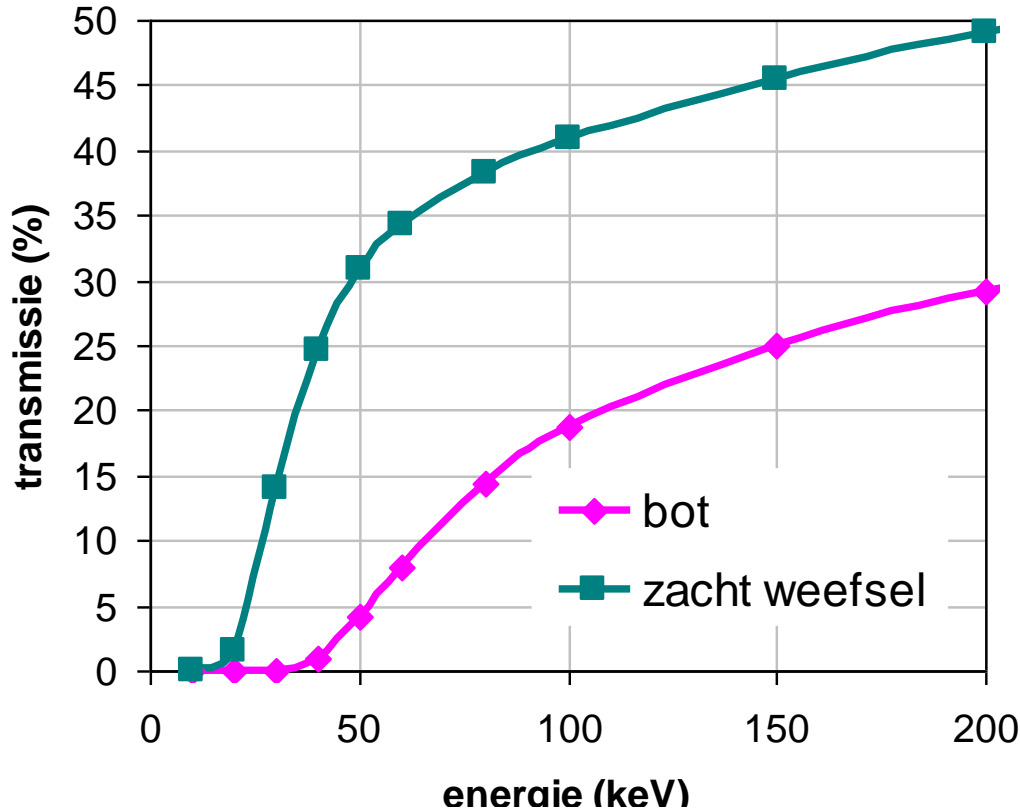
- Vb. Dichtheid lucht $\approx 1/1000$ x dichtheid water.

- Dus:
- **1 km lucht geeft zelfde verzwakking als 1 m water**
- (ongeveer 200 x)

- Dus 2 km lucht (of 2 m water):
- verzwakking $\approx 200 \times 200 = 40\ 000$ x

- Dus 3 km lucht (of 3 m water):
- verzwakking $\approx 200 \times 200 \times 200 = 8\ 000\ 000$ x

Transmissie Röntgen door weefsel (5 cm dik)



Hoogspanning Röntgen-toestel (kV)

Hoogspanning (kV)	Contrast (Verhouding weefsel/bot)
10	> 1.000.000.000
20	> 1.000.000
30	1022
40	27
50	8
60	4
80	2,6
100	2,2
150	1,8
200	1,7
300	1,6

Dus: lagere hoogspanning → beter contrast !!

Nodig voor (bv.) mammografie (veel zacht weefsel)

Stralingsschade en Dosimetrie

Wisselwerking: ionisaties

Ionisaties: straling slaat electronen los uit de atoomschillen. Deze electronen gaan "zwerven" en beschadigen andere atomen, totdat ze hun energie kwijt zijn ("stilstaan").

Ionisaties in weefsel

■ α



< 100 μm

■ β

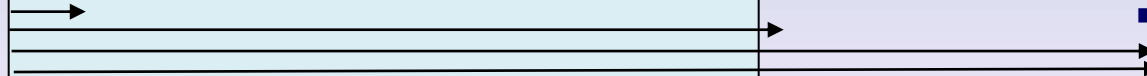


mm

■ R \ddot{o}



■ γ



Aantal ionisaties
per mm diepte

■ Zeer groot

■ Groot

■ Matig

■ Gering

Stralingsschade

<i>Soort straling</i>	<i>Doordringend vermogen</i>	<i>Waar schade?</i>	<i>Effect</i>
Deeltjes (α , β^+ , β^-)	Gering ($< \approx$ cm's)	Alles \approx ter plekke	Inwendig (besmetting)
Fotonen (Rö, γ)	Groot (meters)	Gespreid over volume	Uitwendig (bestraling)

^{131}I zendt zowel β' s (electronen) als γ' s uit.

γ : overschot aan energie, in de vorm van fotonen.

- β 's : dracht in weefsel: ≈ 0.3 cm max. \rightarrow alleen schildklier
- γ 's : halveringsdikte in weefsel: ≈ 30 cm \rightarrow omgeving

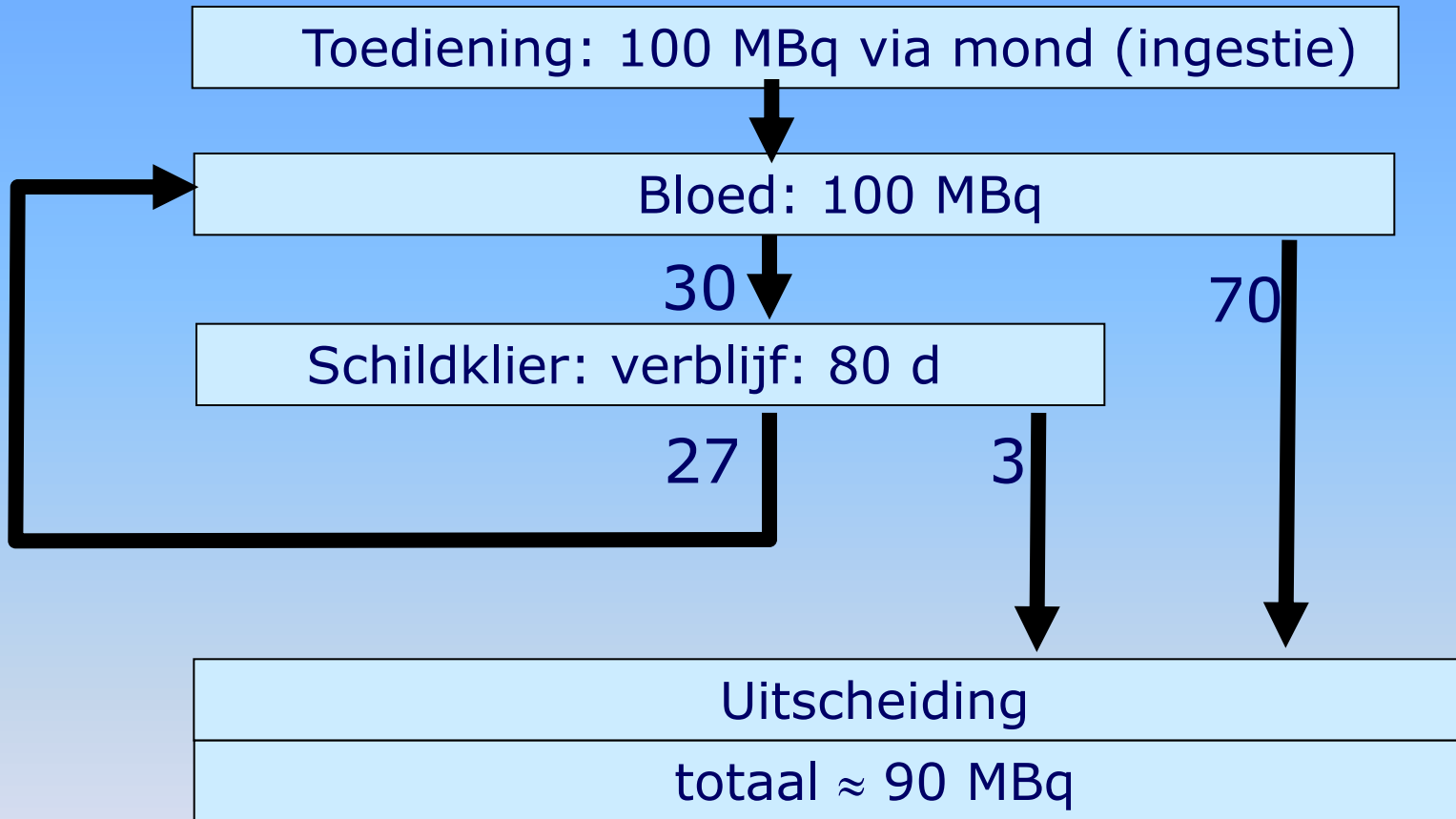
Dosimetrie

Hoe kwantificeer je de stralingsbelasting van materialen en personen?

Benodigde informatie:

- Bij uitwendige bestraling: welke lichaamsdelen of organen?
- Bij inwendige besmetting:
 - Door ingestie (eten/drinken) of inhalatie (inademen)?
 - Waar komt de besmetting terecht?
 - Hoe lang blijft de besmetting daar?
- Hoeveel activiteit (in Bq)?
- Hoeveel schade wordt berokkend? (welke maat?)

Jodium in het lichaam (niet-patiënt)

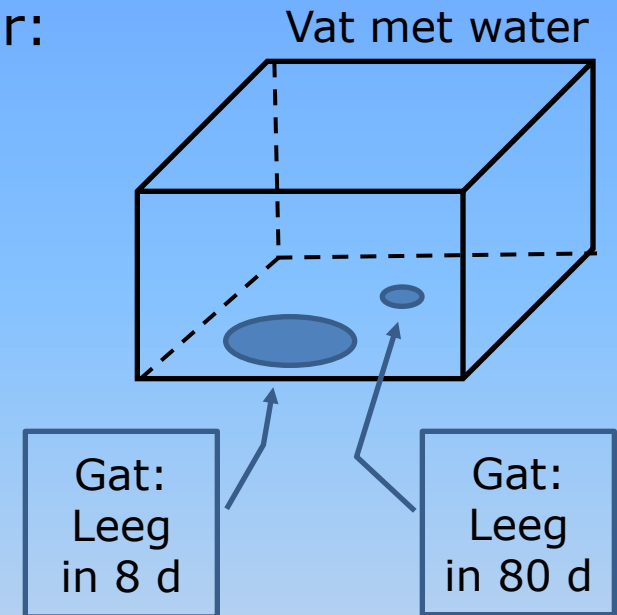


NB. Proces gaat door tot schildklier "verzadigd" is;
Daarna totale uitscheiding.

Jodium in het lichaam (niet-patiënt)

Effectieve halveringstijd in de schildklier:

- Fysisch: 8 dagen
- Fysiologisch: 80 dagen
- Effectief:
 ≈ 7 dagen (dan $\frac{1}{2}$ over)



Vraag:

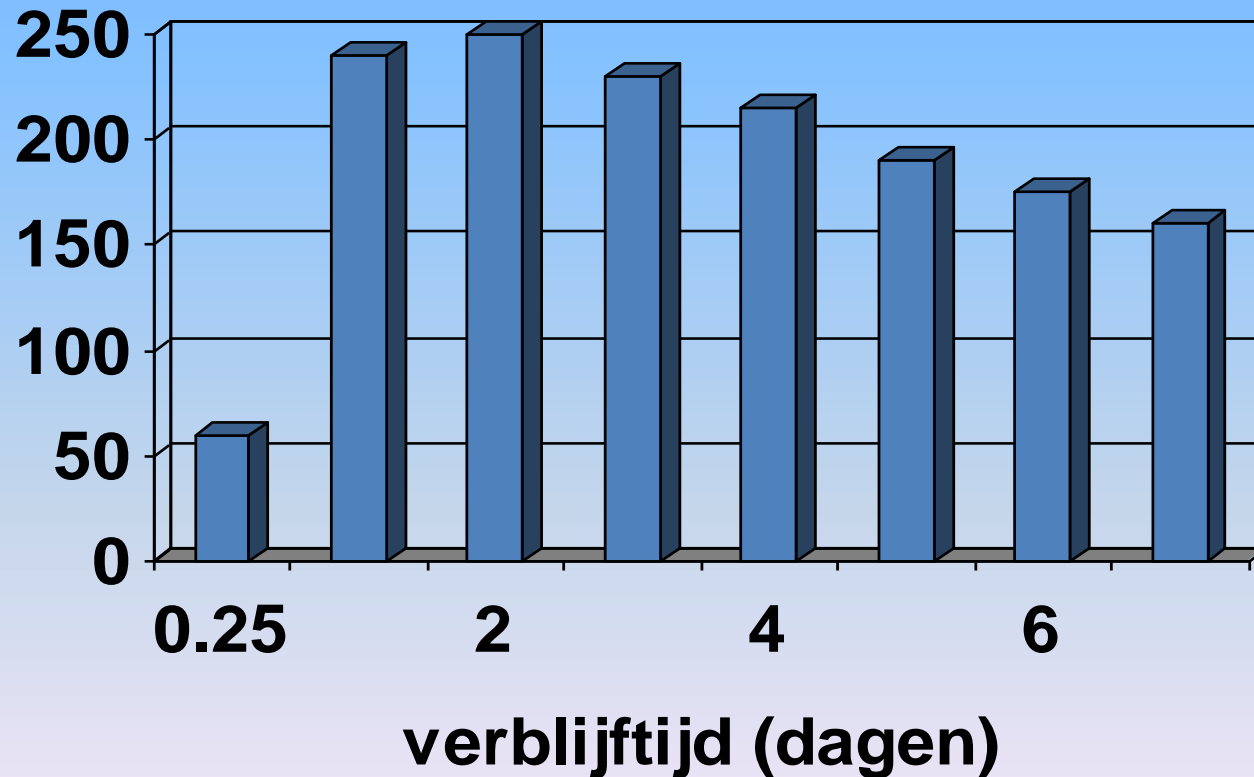
Hoeveel % is over na 21 dagen?

- a. $\frac{3}{7} = 43 \%$
- b. $\frac{1}{8} = 12.5 \%$
- c. $\frac{1}{21} = 5 \%$
- d. $\frac{1}{3} = 33 \%$

Antwoord: b.

Jodium in de schildklier (niet-patiënt)

**activiteit in schildklier na 1000 MBq
inname**



Cesium in het lichaam

Cesium verdeelt zich homogeen over het lichaam en wordt langzaam weer uitgescheiden.

Effectieve halveringstijd van Cs-137 :

- Fysisch: 30 jaar
- Fysiologisch: 10 %: 2 dagen
- 90 %: 110 dagen

- Effectief: \approx 20 dagen (dan $\frac{1}{2}$ over)

Dosimetrie

Hoe kwantificeer je de stralingsbelasting van materialen en personen?

J/kg (joules per kg) = hoeveelheid energie, gedeponeed per kg materiaal

J/kg = mJ/g

(oud: 1 J \approx 0.25 cal.)

- **Dosis (D)**

- algemeen, materiaal

Gy (gray) = J/kg

- **Equivalente dosis (H)**

- weefsel en organen

Sv (sievert) = J/kg

- **Effectieve dosis (E)**

- "total body"

Sv (sievert) = J/kg

Equivalente dosis

Voor weefsel wordt de equivalente dosis gebruikt

Equivalente dosis

sievert (Sv) = J/kg

NB. In het dagelijks spraakgebruik wordt het woord "equivalent" vaak weggelaten.

Dosistempo: Sv/h, Sv/j

Het effect van (bv.):

- een dosis op de **hand**, en
 - dezelfde dosis op de **maag**,
- zal voor het **lichaam-als-geheel** niet hetzelfde zijn.

Hoe wordt dit meegerekend?

Effectieve dosis: voorbeeld

- Hand in Röntgenbundel:
- huiddosis door Röntgenstraling: 1 Sv
- Bereken de **effectieve dosis**
- (= voor het lichaam-als-geheel: "total body").
- gegeven: weefselweegfactor $w_{\text{huid}} = 0.01$ (1 %)

Weefselweegfactor = het percentage waarmee de orgaandosis meetelt in de totale-lichaamsdosis (effectieve dosis)

Equivalentente dosis op de huid: $H_T = 1 \text{ Sv}$

Effectieve dosis $E = 1 \text{ Sv} \times 0,01 = 0,01 \text{ Sv} = 10 \text{ mSv}$

Vraag:

Is dit gevaarlijk?

Weefselweegfactoren w_T

•	ICRP90	ICRP103
•gonaden	0,20	0.08
•beenmerg	0,12	0.12
•dikke darm	0,12	0.12
•longen	0,12	0.12
•maag	0,12	0.12
•blaas	0,05	0.04
•borst	0,05	0.12
•lever	0,05	0.04
•slokdarm	0,05	0.04
•schildklier	0,05	0.04

•	ICRP90	ICRP103
•huid	0,01	0.01
•bot-oppervlak	0,01	0.01
•hersens	--	0.01
•speekselklieren	--	0.01
•overige	0,05	0.12
<hr/>		
•totaal	1,00	1.00

ICRP 90 resp. 103: thans geldend, resp. voorgesteld.

Effectieve dosis (E) ("total body") sommeert de (gewogen) bijdragen van alle bestraalde organen.

Voorbeeld: 2 mSv op longen + 5 mSv op huid →

Effectieve dosis: $2 \times 0.12 + 5 \times 0.01 = 0.24 + 0.05 = \underline{0.29 \text{ mSv}}$.

Effecten van straling

Effecten op cellen

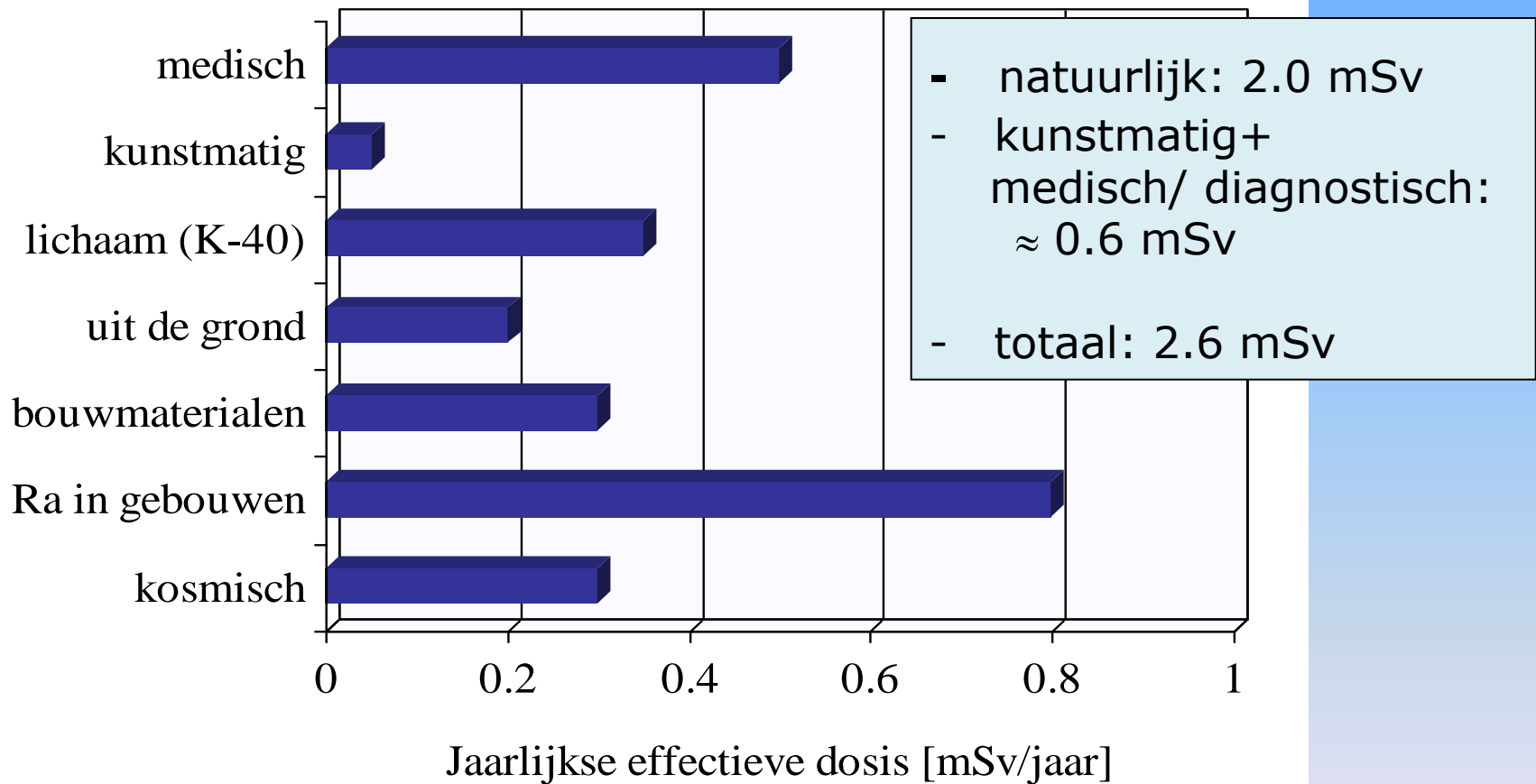
Stralings-belasting	Effect op cel	risico
laag	Geringe beschadiging → herstel	Geen
matig	Beschadiging → radicalen → mutaties in DNA	Mogelijk
hoog	Ernstige beschadiging → celdood (apoptose)	Geen, mits niet teveel cellen

Effecten van straling

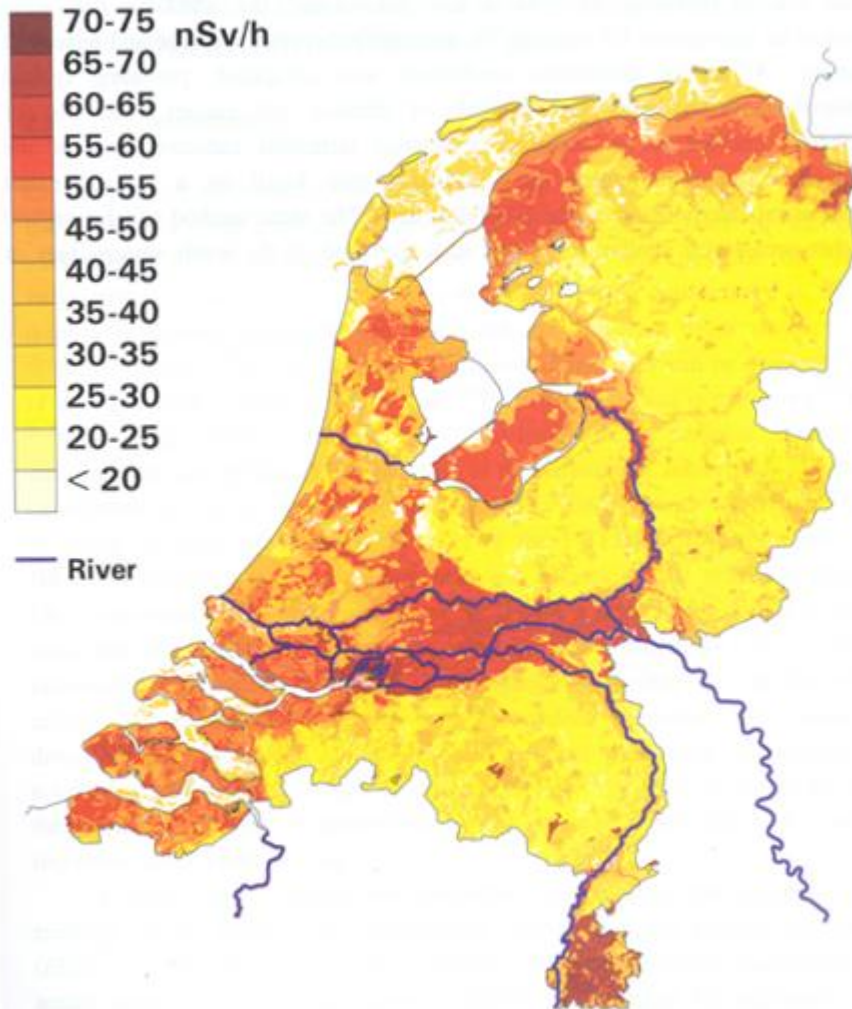
soort effect	kans	ernst	dosis	voorbeeld
Kansgebonden (afh. toeval, kans)	afh. dosis	100 %	alle	Leukemie, genetisch(?)
Deterministisch ("zeker")	100 % +drempel !!	afh. dosis	$> \approx 1 \text{ Sv}$	Zie onder

Deterministische effecten:	Dosis (Sv)	Sterftekans
Cataract (staar)	> 0.5	--
Tijdelijke steriliteit	> 1	--
"Beenmergsyndroom" (bloedcellen)	> 2	$< 50\%$ in < 1 maand
Stralingsziekte (misselijk....)	> 3	$> 50\%$ in < 1 maand
"Maag-darm-syndroom"	> 10	< 1 week
"Centraal-zenuwstelsel-syndroom"	> 50	< 1 dag

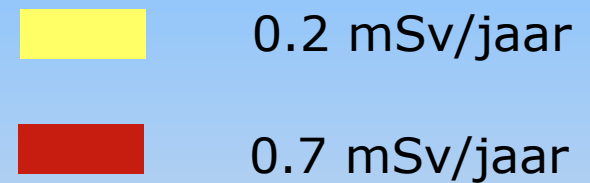
Gemiddelde stralingsbelasting in Nederland per jaar



Per jaar: ong. 9000 uur; → 2 mSv/jaar ≈ 0.2 μ Sv/h



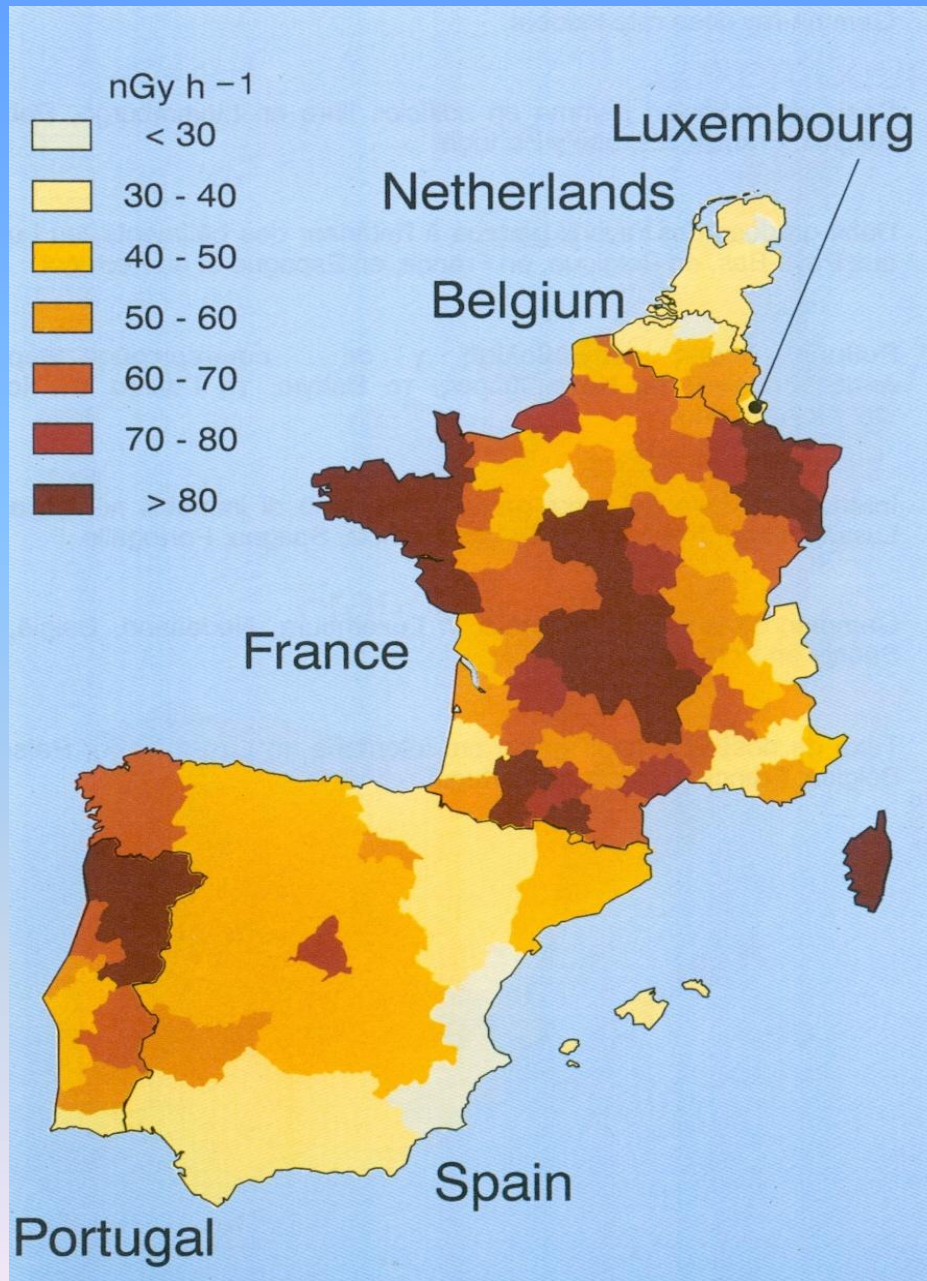
Straling uit de bodem




NB. Gemiddelde natuurlijke achtergrond in Nederland:
2.0 mSv/j.

Figure 6.19B Terrestrial radiation map (ambient dose rate at 1-m height) derived from the 1:250,000 soil map [Stl85], using conversion parameters as given in Appendix 2.

Straling uit de bodem

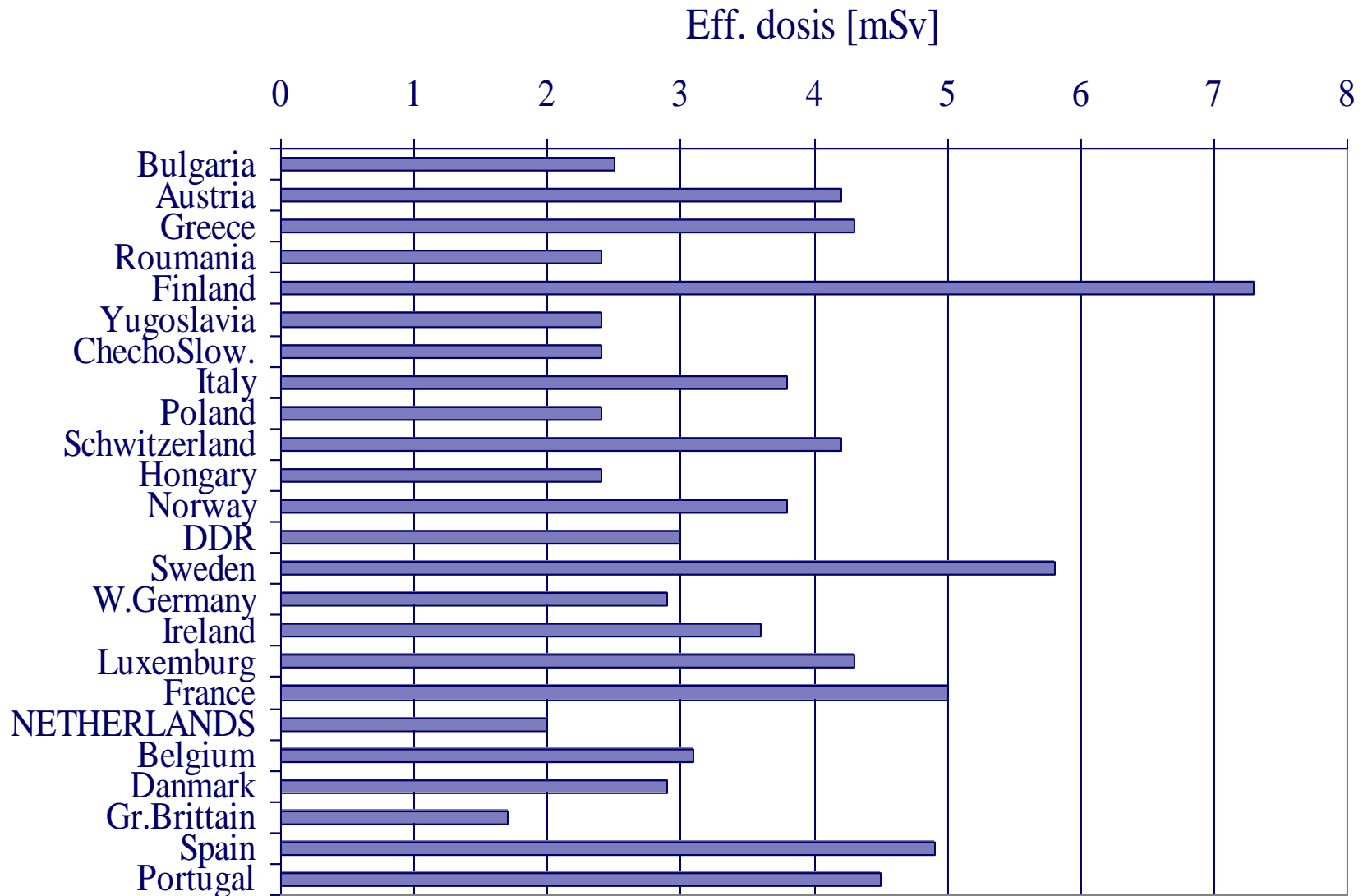


 < 0.3 mSv/j

 > 1.0 mSv/j

NB. Gemiddelde natuurlijke achtergrond in **Nederland**:
Bodem: 0.5 mSv/j

Gemiddelde jaarlijkse dosis door natuurlijke straling

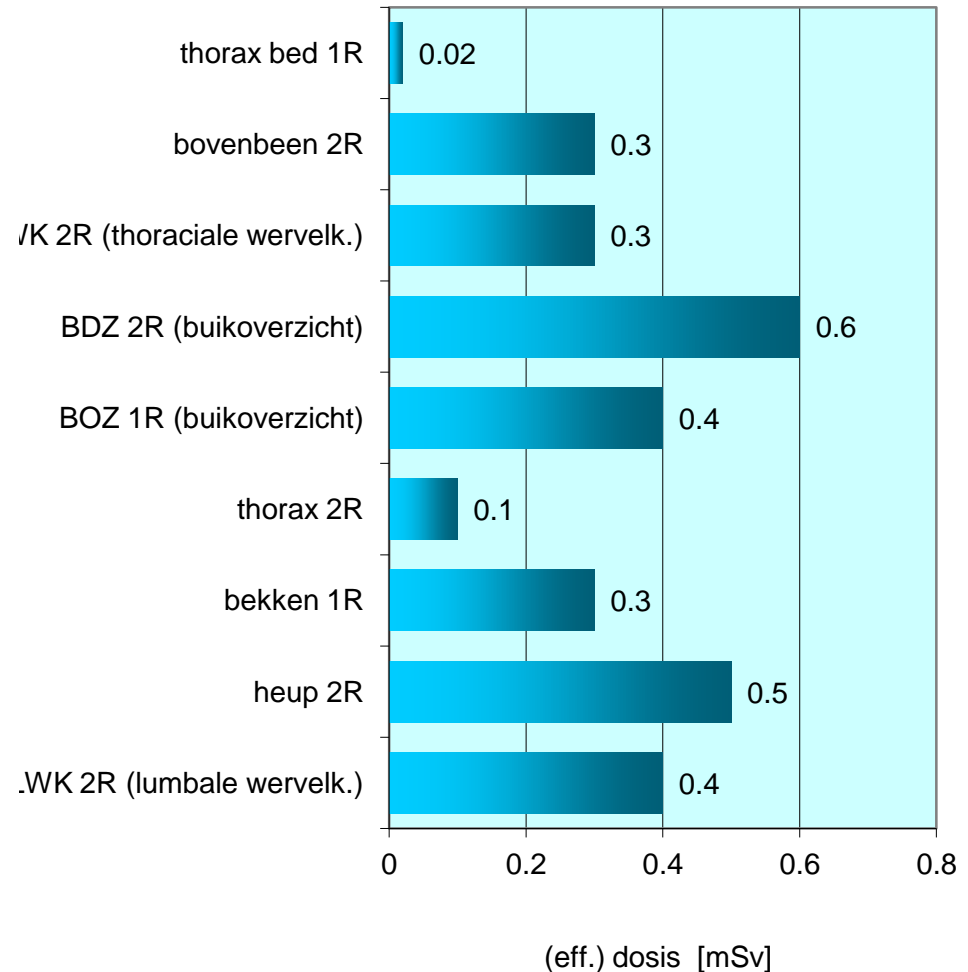
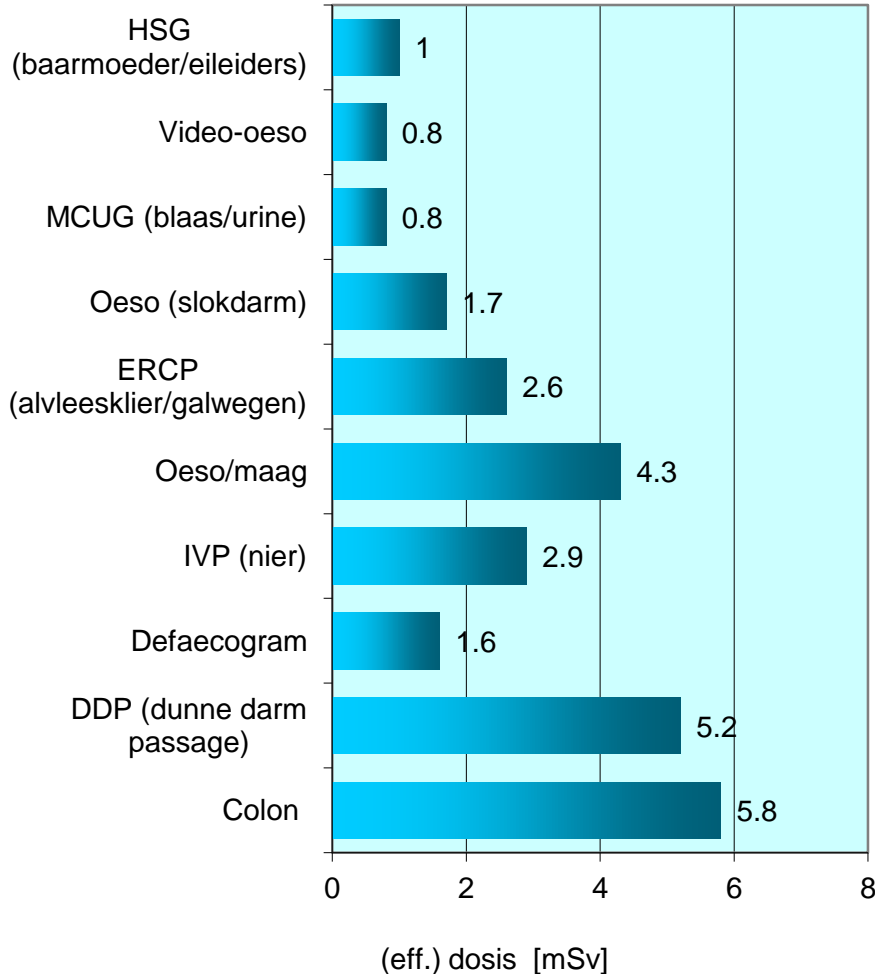


Voorbeelden van achtergrondstraling

Lokatie / activiteit	Gemiddelde dosis per jaar (mSv)
Wonen in Nederland	2
Wonen in Finland	7
Wonen in Guarapari (Brazilië)	15
Wonen in Madras/Kerala (India)	16
Ramsar (Iran; geneeskrachtige bronnen)	200
Strand Guarapari (Brazilië)	790
2 weken wintersport	0,03
Gevolgen Chernobyl in Ned. (1986)	0.05
Vliegretour New York	0,06
idem bemanning	1-20
Astronaut (90 dagen)	100
Tandfoto	< 0,03
100 kg voedsel met 600 Bq/kg Cs-137	0,6

Medische stralingstoepassingen

Bron: RIVM: Informatiesysteem Medische Stralingstoepassingen

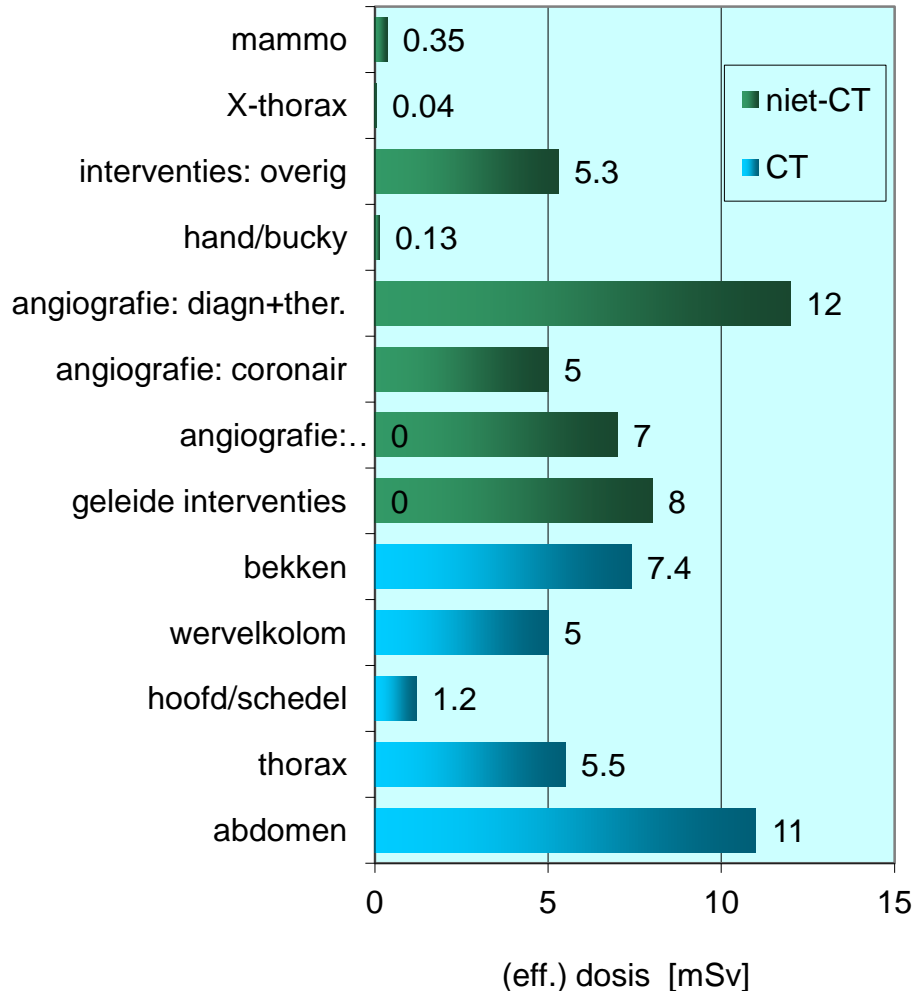


In Ned.: Natuurlijke + medisch-diagnostische straling = 2.6 mSv/jaar

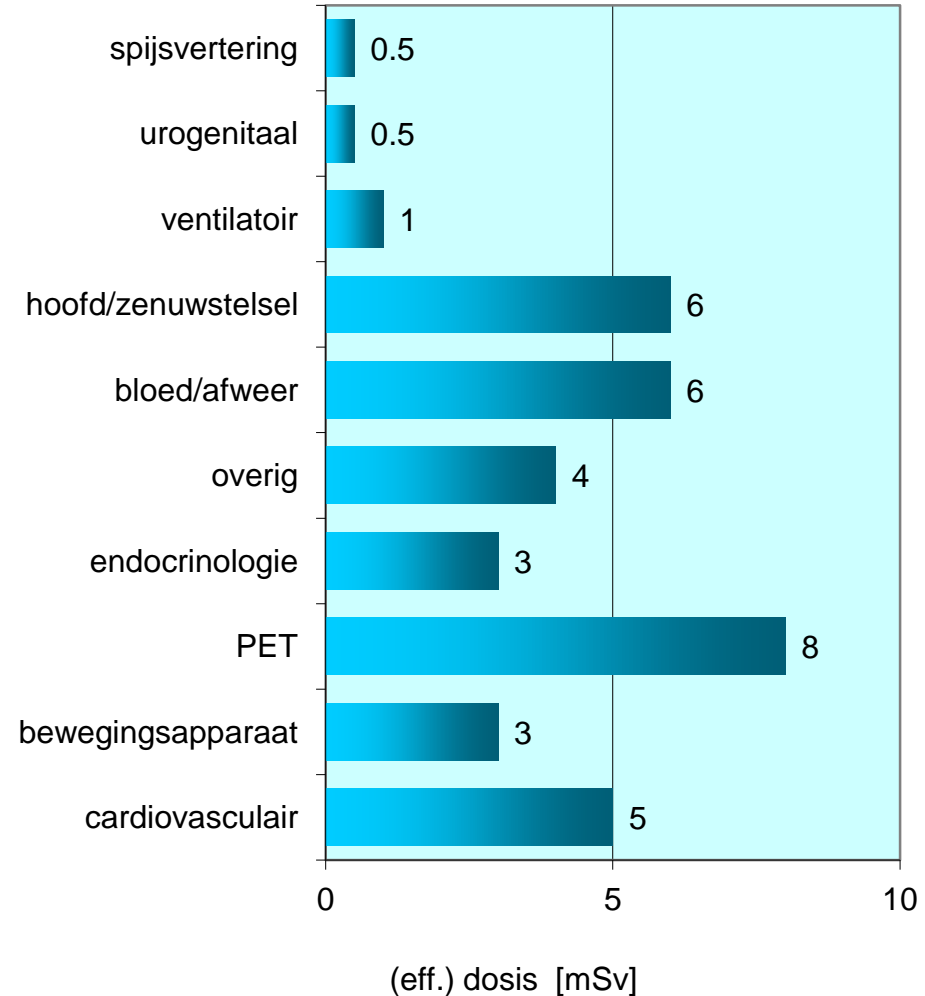
Medische stralingstoepassingen

Bron: RIVM: Informatiesysteem Medische Stralingstoepassingen

Interventies



Nucl. geneeskunde



In Ned.: Natuurlijke + medisch-diagnostische straling = 2.6 mSv/jaar

Effecten van straling

- **Stochastisch (kansgebonden):**

Persoonlijke kans op fatale tumoren: **5 % per Sv**

- **Dus:** bij 2 mSv/jaar (= 0.002 Sv/j: natuurlijke dosis):
persoonlijke kans per jaar: $0.002 \times 5 \% = \mathbf{0,010 \%} = \mathbf{1 / 10.000}$
dus: 1 geval op 10.000 personen, per jaar

- **Nederlandse bevolking:**

16.000.000 = 1600 x 10.000 personen

Dus jaarlijks **1600** doden door natuurlijke straling!

(maar dit is “statistisch” gesproken)

Effecten van straling

Nederlandse bevolking:

16.000.000 = 1600 x 10.000 personen

Dus jaarlijks **1600** doden door natuurlijke straling!

(maar dit is “statistisch” gesproken).

Andere oorzaken:

- Stel gemiddelde levensduur = 80 jaar.
- Per jaar sterven $16.000.000/80 = 200.000$ personen
- Hiervan 30 % door fatale tumoren = **60.000** personen per jaar.

Stralingsbelasting: limieten

•Dosislimieten: per jaar:

-Blootgestelde werknemers: A-categorie: 20 mSv

-Idem: B-categorie: 6 mSv

-Andere werknemers en bevolking: 1 mSv

-Zwangeren na melding zwangerschap: 1 mSv

-NB. Natuurlijke stralingsbelasting (Ned.): 2 mSv

- id. medische diagnostiek (gemidd.): 0,5 mSv

NB. Deze limieten gelden voor “onvrijwillige blootstelling”;
Dus niet voor diagnose en therapie.

Besmetting en Bestraling

Welke mogelijkheden voor stralings schade zijn er?

- Inwendige besmetting
- Uitwendige bestraling
- Uitwendige besmetting

1. Inwendige besmetting, voorbeeld

Voorbeeld van de rekenmethode :

Iemand krijgt van een nuclide een activiteit binnen van

$$A = \mathbf{10 \text{ kBq}} (= 10.000 \text{ Bq})$$

Voor dit nuclide geldt dat **1 Bq** een belasting van

3 μSv oplevert (uit de internationale tabellen).

a). Hoe groot is de effectieve dosis E (in Sv)?

b). Is dit toegestaan (de persoon is een A-medewerker (jaarlimiet 20 mSv)?

1. Inwendige besmetting, voorbeeld

Voorbeeld van de rekenmethode:

Iemand krijgt van een nuclide een activiteit binnen van

$$A = \mathbf{10 \text{ kBq}} (= 10.000 \text{ Bq})$$

Voor dit nuclide geldt dat **1 Bq** een belasting van

3 μSv oplevert (uit de internationale tabellen).

Het aantal **Sv/Bq** heet: **Dosiscoëfficiënt**

Hier: **3 $\mu\text{Sv/Bq}$**

Voor alle nucliden is internationaal vastgelegd (en voorgeschreven):

- Transport in het lichaam en verblijftijd ("metabolisme")
- Dosiscoëfficiënten (voor inhalatie en ingestie)

1. Inwendige besmetting, voorbeeld

Voorbeeld van de rekenmethode :

Iemand krijgt van een nuclide een activiteit binnen van

$$A = \mathbf{10 \text{ kBq}} (= 10.000 \text{ Bq})$$

Voor dit nuclide geldt dat **1 Bq** een belasting van

$$\mathbf{3 \text{ }\mu\text{Sv}}$$
 oplevert (**dosiscoëfficiënt = $3 \text{ }\mu\text{Sv} / \text{Bq}$**)

a). Hoe groot is de effectieve dosis E (in Sv)?

b). Is dit toegestaan (de persoon is een A-medewerker (jaarlímiet 20 mSv)?

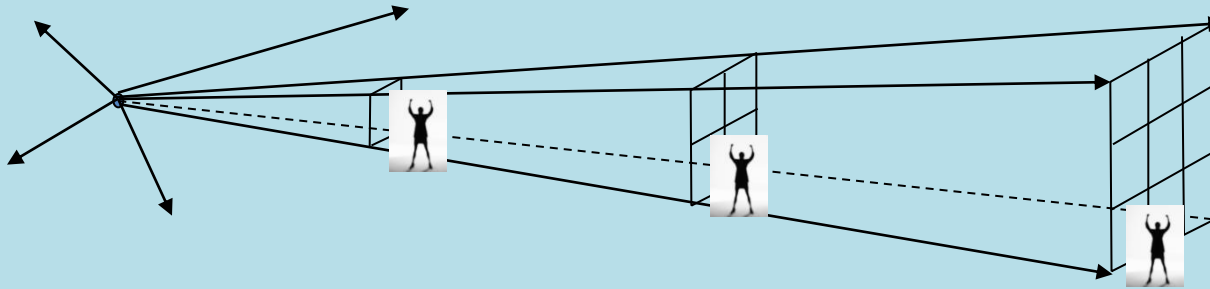
Uitwerking:

a) $10.000 \times 3 \text{ }\mu\text{Sv} = 30.000 \text{ }\mu\text{Sv} = \mathbf{30 \text{ mSv}}$.

b) Dit is meer dan zijn límiet. Niet toegestaan dus.

2. Uitwendige bestraling ("puntbron")

Equivalente dosis : [Sv] is evenredig met:



Afstand:
2x..3x :
Schade:
verspreid
over 4x..9x
zo groot
oppervlak

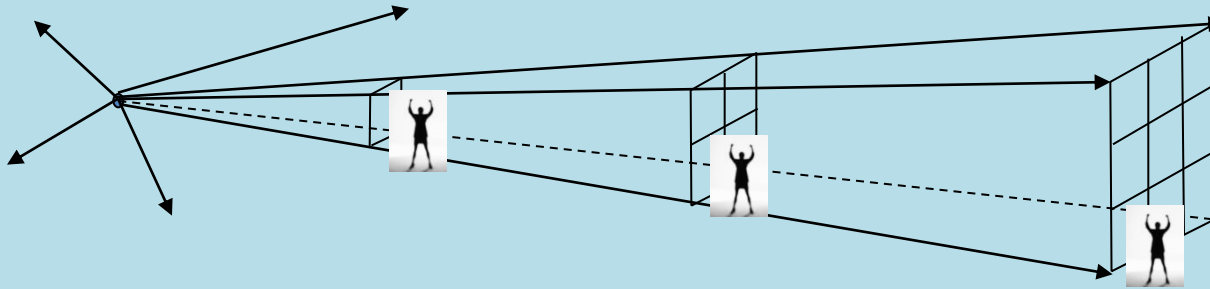
- $\sim 1/(\text{afstand tot bron})^2$ (2 x zo veraf \rightarrow 4 x zo weinig)
(3 x zo veraf \rightarrow 9 x zo weinig)

kwadratenwet

- 2 x zo ver: dosis $\frac{1}{4}x$
- 2 x zo dichtbij: dosis $4x$

2. Uitzwendige bestraling ("puntbron")

Equivalente dosis : [Sv] is evenredig met:



Afstand:
2x..3x :
Schade:
verspreid
over 4x..9x
zo groot
oppervlak

- $\sim 1/(\text{afstand tot bron})^2$ (2 x zo veraf \rightarrow 4 x zo weinig)
(3 x zo veraf \rightarrow 9 x zo weinig)

Voor alle bronnen (nucliden en toestellen) is internationaal vastgelegd (en voorgeschreven):

- Hoeveel **Sv/h** een activiteit van **1 Bq** op **1 meter** afstand oplevert
- (bronconstante: "**omgevingsdosisequivalenttempoconstante**").

2. Uitwendige bestraling, voorbeeld

Vraag: Voor een behandeling moet 1 GBq activiteit worden bereid.

Wat is beter?

- De werktijd 8 x zo kort nemen
- De werkafstand 3 x zo groot nemen
- 20% van de activiteit gebruiken
- Een loodschoot dragen (transmissie 16%)?

- a: dosis = $1/8$
- b: dosis = $1/9$ ($=1/3^2$)
- c: dosis = $1/5$
- d: dosis $\approx 1/6$

Antwoord: b.

3. Uitwendige besmetting, voorbeeld

Uitwendige besmettingen (tafels, handen, huid, etc.) worden gemeten m.b.v. "groot-oppervlak besmettingsmonitoren" en/of "veegproeven".

Er zijn internationale regels voor de stralingsbelasting :
→ aantal **Sv/h** per **Bq/cm²** besmetting.

Schoonmaken totdat besmetting $< 4 \text{ Bq/cm}^2$ (0.4 voor α 's)
(over oppervlak $> 300 \text{ cm}^2$).

Vraag:

In een ruimte wordt een uitgebreide besmetting over meerdere m^2 geconstateerd met een vloeibaar nuclide (β 's; $T_{1/2} = 10 \text{ min.}$). Wat moet men doen?

- Alle besmette apparatuur en meubilair in het laboratorium volgens de regels schoonmaken.
- De ruimte gedurende een etmaal (24 uur) afsluiten.
- De ruimte gedurende een etmaal zeer goed ventileren.
- De besmette apparatuur afvoeren als radioactief afval.

Antwoord: b.

3. Uitwendige besmetting, voorbeeld

Uitwendige besmettingen (tafels, handen, huid, etc.) worden gemeten m.b.v. "groot-oppervlak besmettingsmonitoren" en/of "veegproeven".

Er zijn internationale regels voor de stralingsbelasting :
→ aantal **Sv/h** per **Bq/cm²** besmetting.

Schoonmaken totdat besmetting $< 4 \text{ Bq/cm}^2$ (0.4 voor α 's)
(over oppervlak $> 300 \text{ cm}^2$).

Vraag:

Op een container zit een besmetting van 4 Bq/cm^2 Cs-137. Iemand veegt daarover met zijn hand $10 \times 10 \text{ cm}^2$ af en likt dit op. Hoe gevaarlijk is dit?

Antwoord: Voor Cs-137 geldt: dosiscoëfficiënt = $0,02 \text{ } \mu\text{Sv/Bq}$.

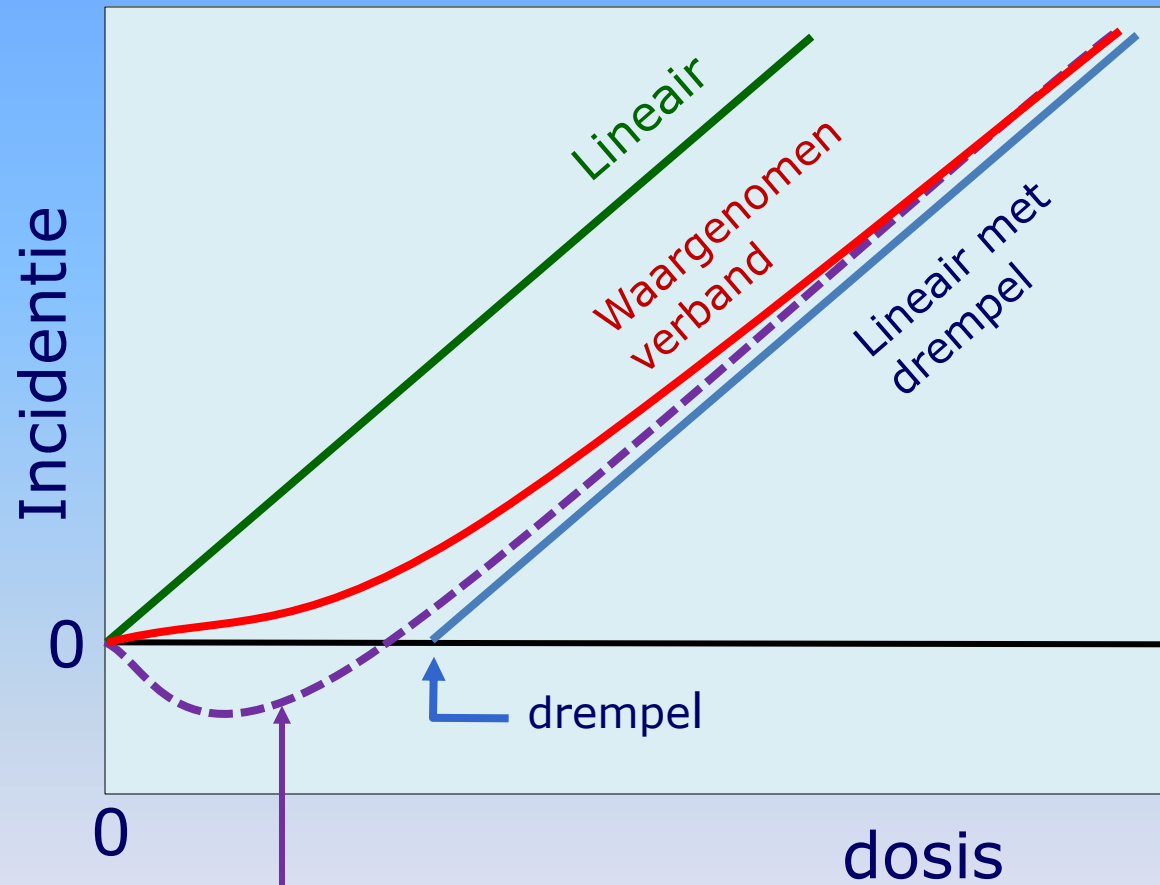
Dus voor $100 \times 4 = 400 \text{ Bq}$:

Dosis = $400 \times 0,02 = \underline{8 \text{ } \mu\text{Sv}}$.

(Vgl. natuurlijke dosis: 2 mSv/jaar)

EINDE deel 1

Kansgebonden effecten



Nieuwste inzichten voor lage doses: "hormese"

Lineair verband: gebruikt in dosimetrie : 5 % per Sv