



Ingenieursuitdagingen bij nucleaire ontmanteling en de aanpak van **radioactief afval**

CMK
CENTRE FOR
ENVIRONMENTAL SCIENCES

Prof. dr. Wouter Schroeyers



▶▶ **UHASSELT**

Opleiding Nucleaire Technologie

1 ^e bachelor + 2 ^e bachelor (sem 1)	2 ^e bachelor (sem 2)	3 ^e bachelor	Master
Gemeenschappelijk programma Industrieel Ingenieur	Nucleaire Technologie (NT)	Optie / Afstudeerrichting 'Milieu'	
		Optie / Afstudeerrichting 'Nuclear & Medisch'	



Centrum voor MilieuKunde (CMK)

Multidisciplinair centrum

CMK - fundamenteel en toegepast onderzoek



1. Beter **invloed van** (gecontamineerde) **omgeving** op organismen begrijpen



2. Ontwikkelen en evalueren van duurzame **behandelingsmethoden** om invloed van omgeving op organismen aan te pakken



3. Het monitoren **en optimaliseren van de biodiversiteit en ecosystemendiensten** onder verschillende stresserende situaties, o.a. klimaatverandering

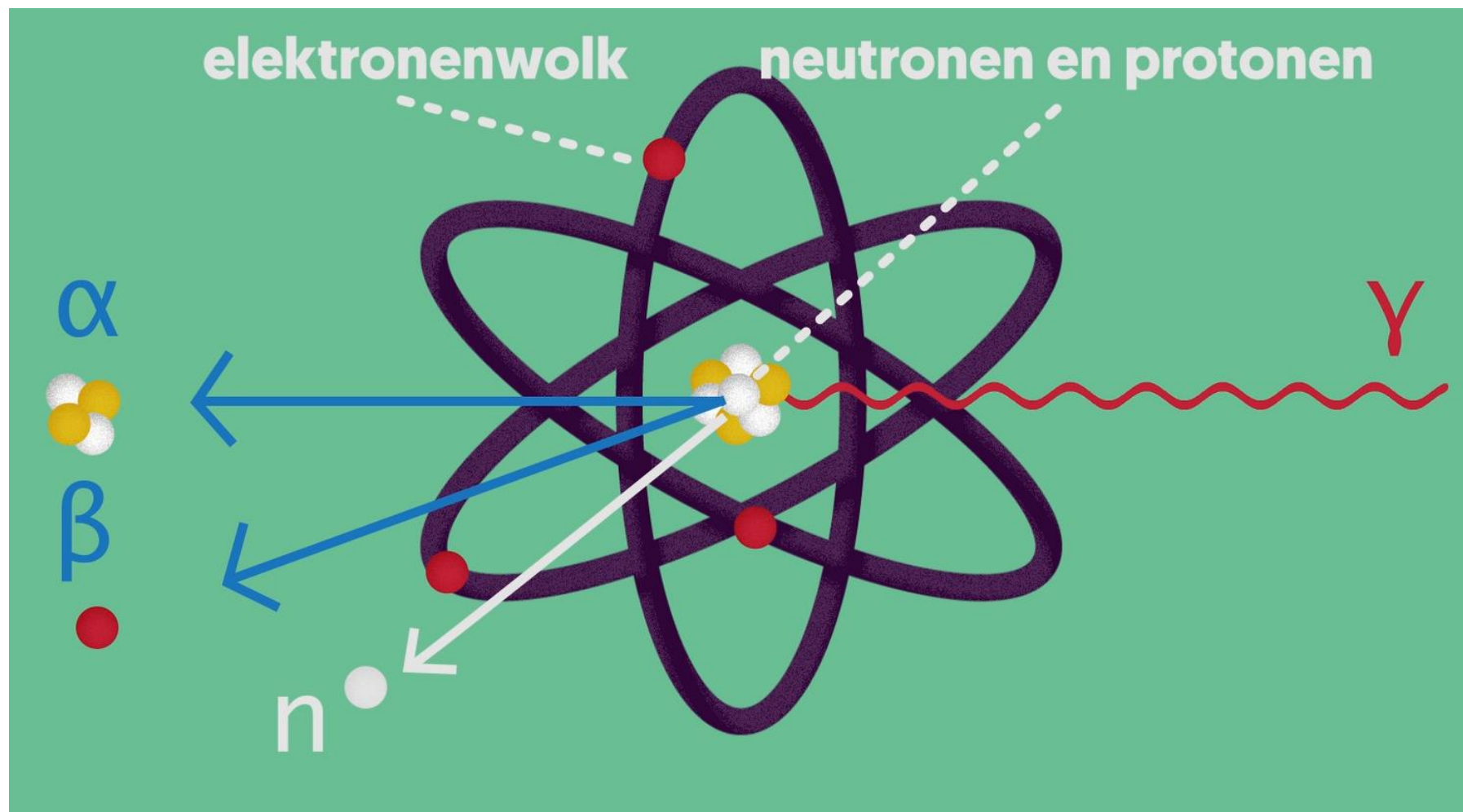
<https://www.uhasselt.be/cmkk>



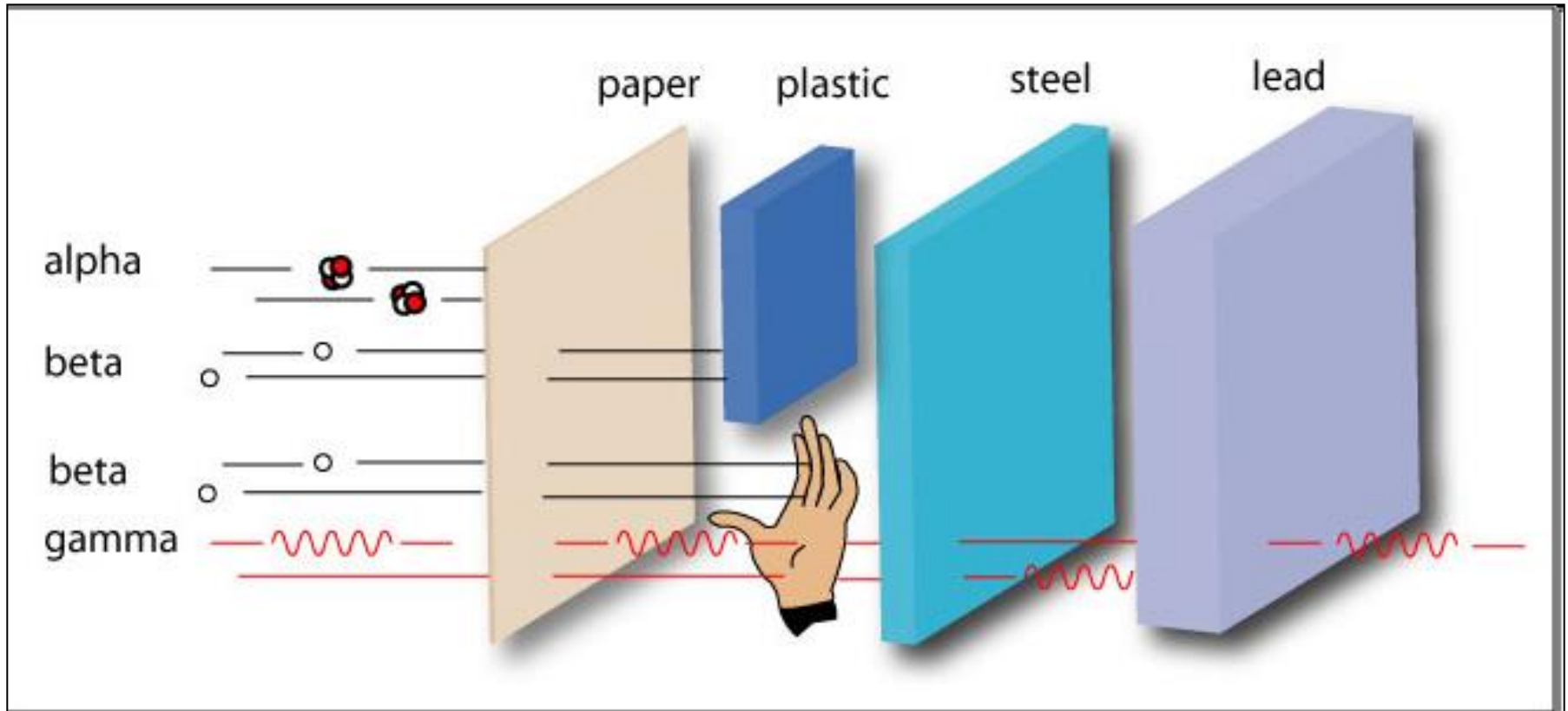
Overzicht

1. Stoomcursus stralingsbescherming

Soorten straling

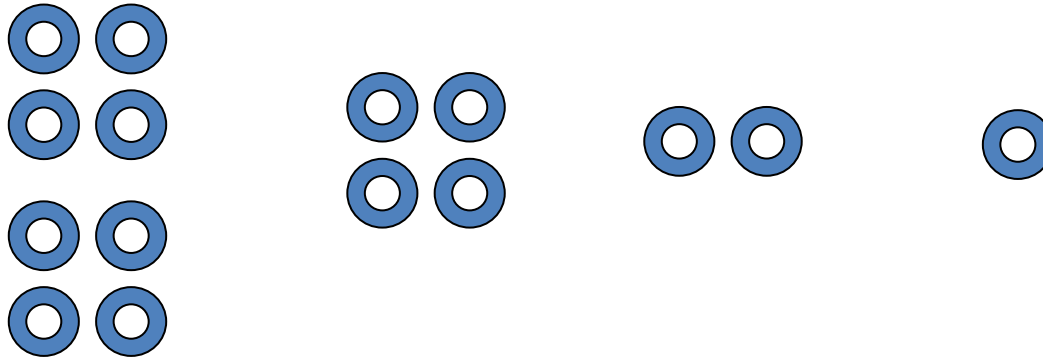


Soorten straling



- Bestraling & besmetting

Eenheid radioactief verval



- **Eenheid :**
1 Bq (Bequerel) = 1 transitie per seconde
 - activiteit zeewater: 12 Bq per l
 - activiteit menselijk lichaam: 120 Bq per kg
 - activiteit voor botscan: 100000 **kBq**

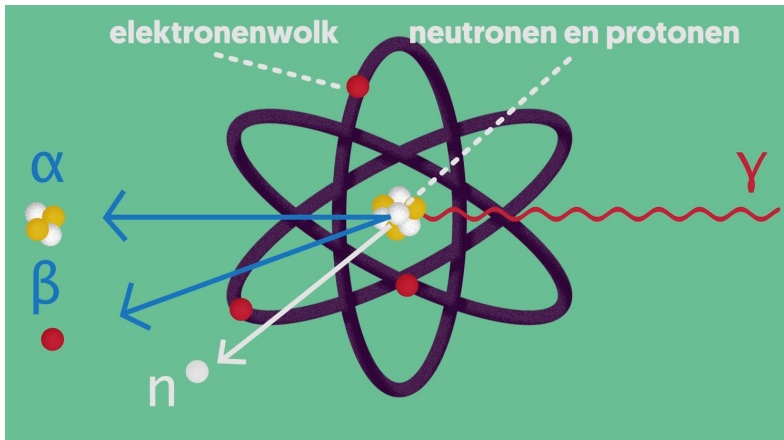
Geadsorbeerde dosis

- Verhouding van gemiddeld **overgedragen energie** door interactie met ioniserende straling tot de **massa**:

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}$$

$$\text{J/kg} = \text{Gy (gray)}$$

Equivalent dose ($H_{T,R}$)



- Afhankelijk van type straling

- Stralingsgewichtsfactor (w_R)

$$H_{T,R} = w_R D_{T,R}$$

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

- Eenheid: Sievert (Sv)

straling	Stralingsgewichtsfactor w_R
*Fotonen	1
*Elektronen	1
*Alfadeeltjes	20
*Neutronen	Continue functie van energie

Effectieve dosis (E)

Weefsel/orgaan	Weefselgewichts-factor w_T	Σw_T
Bot-oppervlak, huid, hersenen, speekselklier	0,01	0,04
Blaas, slokdarm, lever, schildklier	0,04	0,16
Beenmerg, darm, longen, maag, borst en 14 andere weefsels	0,12	0,72
Gonaden	0,08	0,08
Totale lichaamsbestraling		1,00

- Weefsels/organen:
 - Meer of minder gevoelig voor straling
- Weefselgewichtsfactor (w_T)

$$E = \sum_T w_T H_T$$

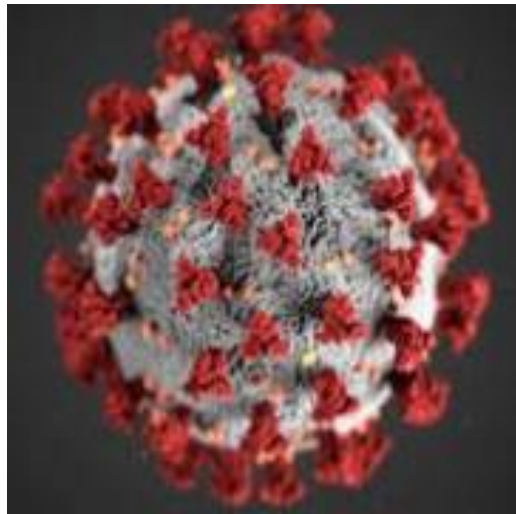
$$E = \sum_T w_T \left(\sum_R w_R D_{T,R} \right)$$

- *Eenheid: Sievert (Sv)*

Stralingsbescherming in de praktijk

▪ **ALARA**

- = acties optimaliseren om de opgelopen dosis 'As Low As Reasonable Achievable' te houden
- Voorbereiding (!) = **analyseren consequenties van acties**
- Veilige opereren in de buurt van hoge stralingsvelden



Stralingsbescherming in de praktijk



Afstand houden



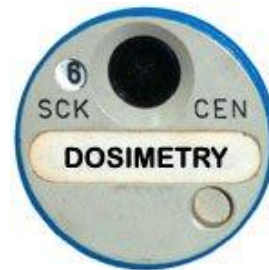
Blootstellingsduur
beperken



Afscherming
van bronnen

– Persoonlijke veiligheidscontrole: dosimeter

Officieel



Elektronisch

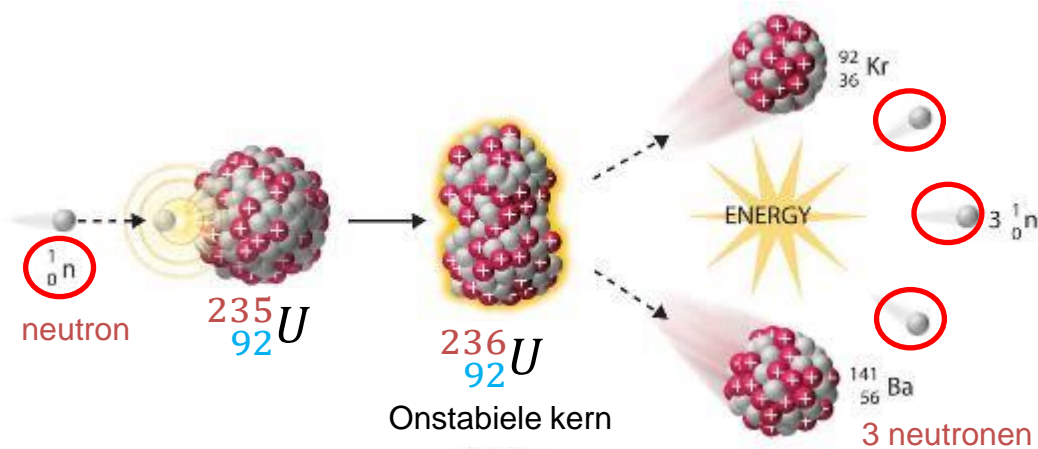


Overzicht

1. Stoomcursus stralingsbescherming

2. Nucleaire ontmanteling

Werking kerncentrale



- Energie die vrijkomt bij **kernsplijting**
 - Opwarmen water
 - Dynamo laten draaien
 - Productie elektriciteit

Kernenergie in België (7 reactoren)

Doel

~35 % elektriciteitsproductie

Tihange

In gebruik (1929 MW)

- Doel 1 (1975) → 2025
- Doel 2 (1975) → 2025
- Doel 4 (1985) → 2035

In ontmanteling

- Doel 3 (sinds 2022)

In gebruik (3008 MW)

- Tihage 1 (1975) → 2025
- Tihage 3 (1985) → 2035

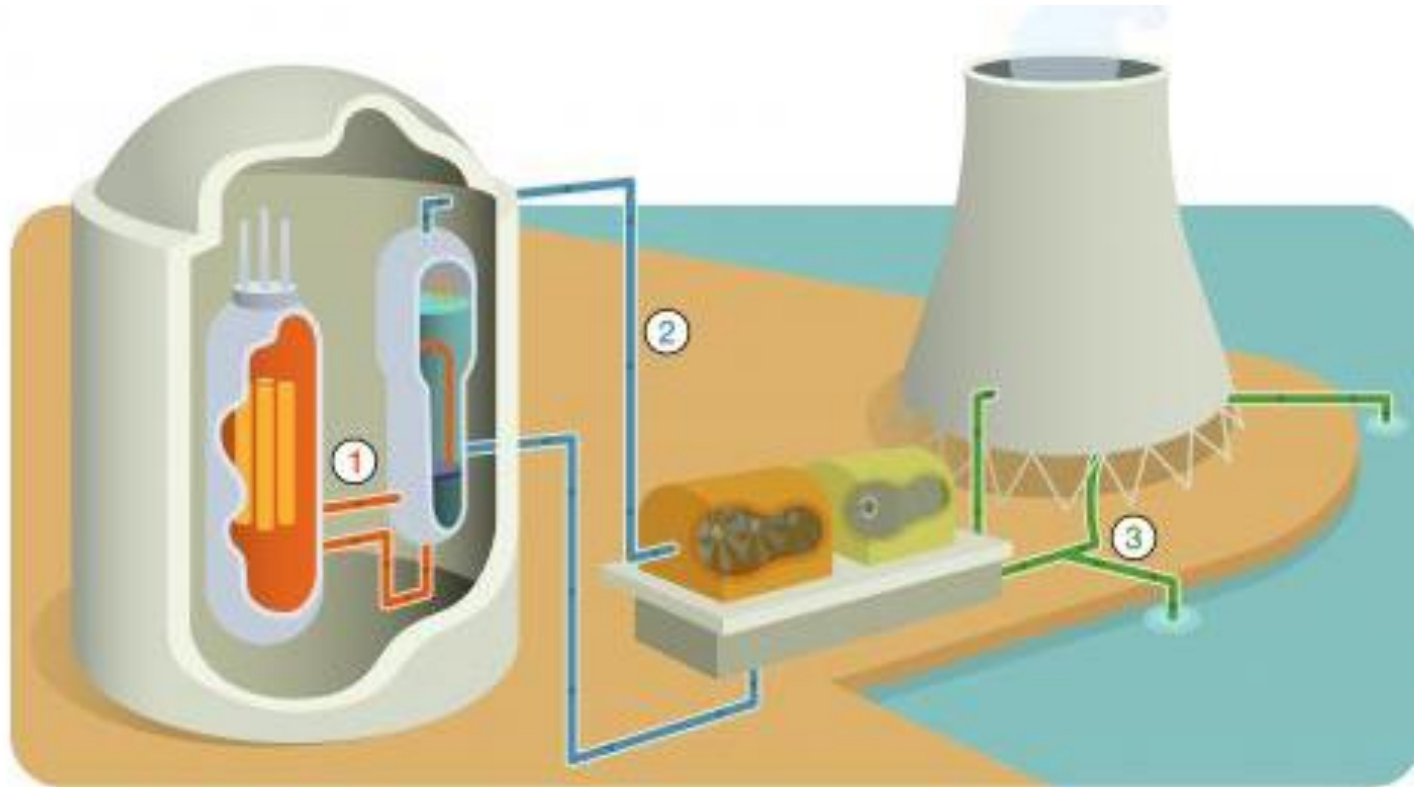
In ontmanteling

- Tihage 2 (sinds 2023)

Nucleaire ontmanteling



Postoperationele fase (5 jaar)



© AFCN - FANC

1. Primaire kring

2. Secundaire kring

3. Koelkring

Postoperationele fase (5 jaar)

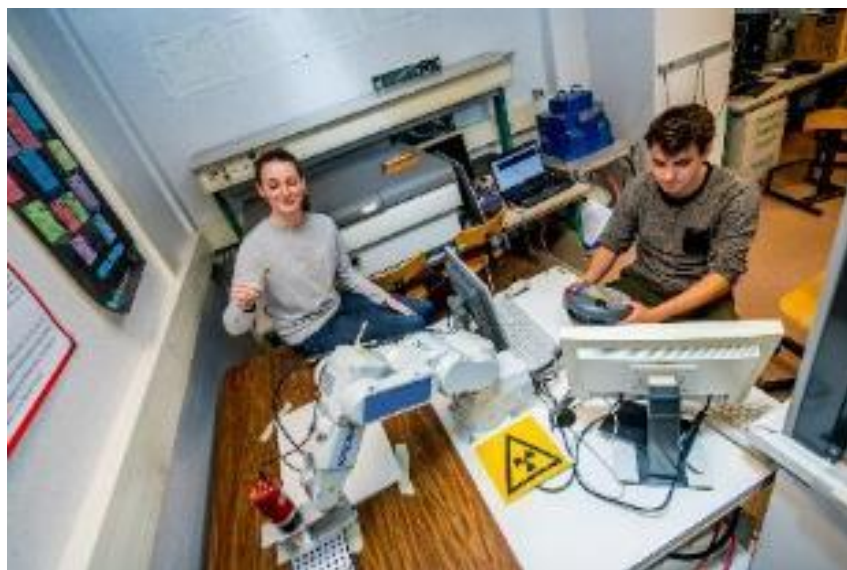
- Stap voor stap:
 - **Reactorontlading** (brandstofstaven eruit halen en stockeren op de site)
 - **Primaire circuit** reinigen
 - **Brandstofstaven** verplaatsen naar **containers** (na koelperiode van 3 jaar)

Eigenlijke ontmanteling (10 jaar)

- Stap voor stap:
 - **Inwendige delen** van **reactorvat**
 - Ontmanteling van verschillende delen **gecontroleerde zone**
 - Ontmanteling en vrijgave **gebouwen**
 - **Afvalverwerking** en **beheer**



Karakterisatie bij nucleaire ontmanteling



Stralingsbescherming bij nucleaire ontmanteling

- Veranderende omgeving
 - Risico's nemen toe als afscherming verwijderd wordt
- Besmettingsrisico's
- Hoge dosissen
- Bijzondere ingenieursuitdaging

Algemene stralingsbeschermingsprincipes



Bewustwording – betrokkenheid – optimalisatie



- Werk**attitude** – menselijk veiligheidsgedrag



- **Impact en nut** van stralingsbeschermingsmaatregelen **zichtbaar maken** en uitleggen



- Training in “**real live**” condities?



Training van werkers - Nuclear Virtual Reality Simulator



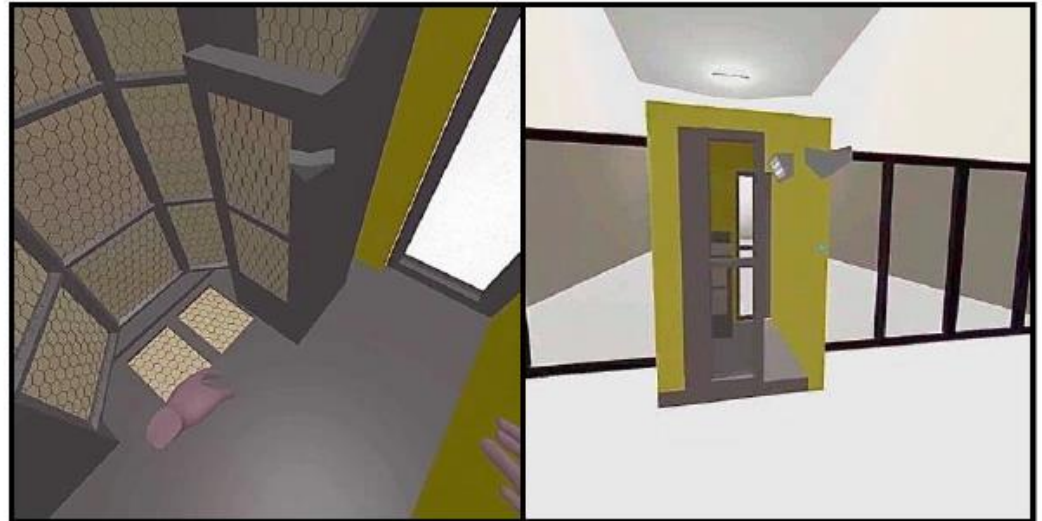
Training van werkers - Nuclear Virtual Reality Simulator

- Stap 1 binnentreden in gecontroleerde zone



Training van werkers - Nuclear Virtual Reality Simulator

- Stap 1 binnentreden in gecontroleerde zone
 - Full-Body Contaminatie monitor



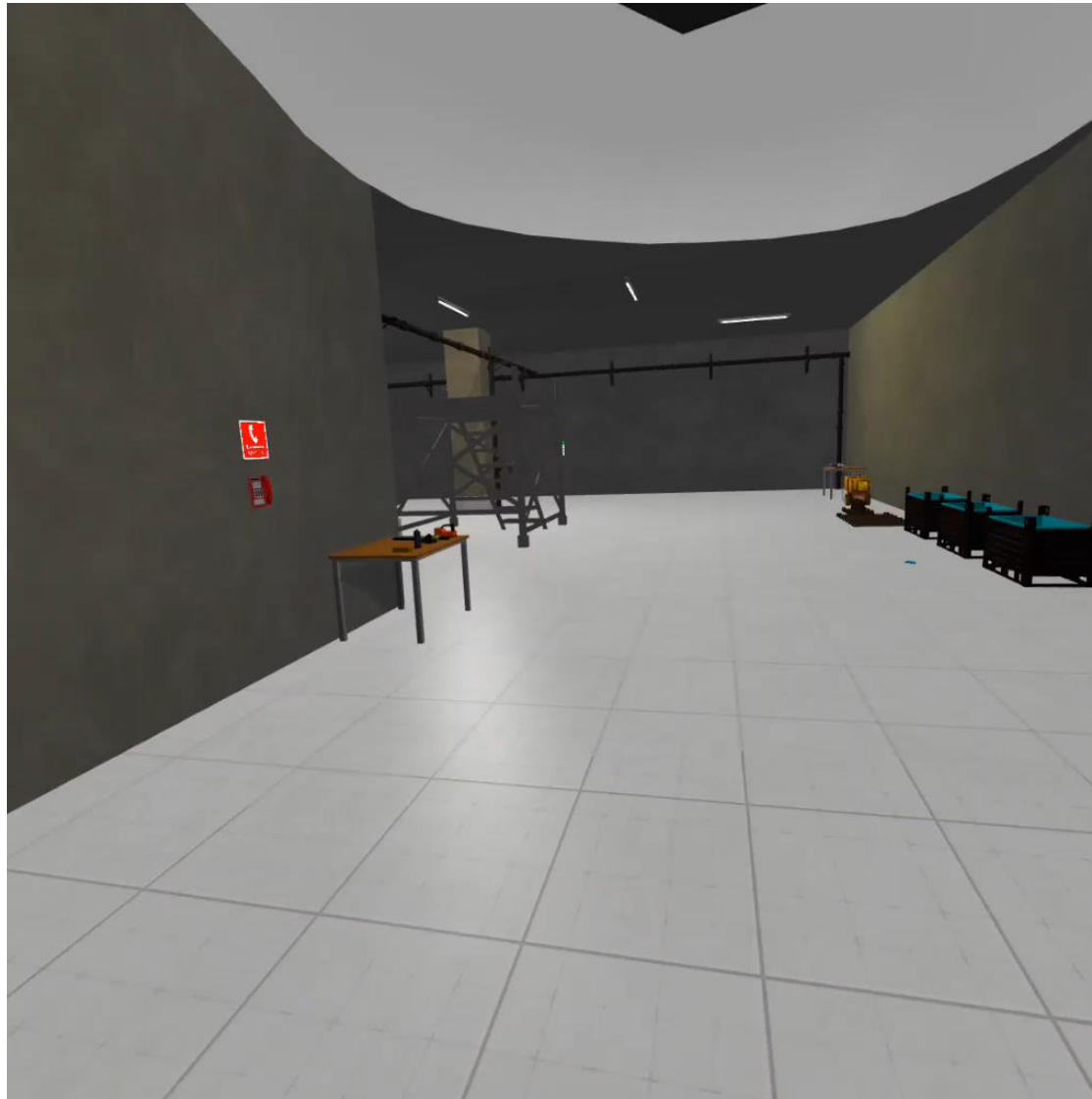
- Juiste beschermingsmiddelen en aankleding



- Elektronische dosimeter
- Badge
- TLD

Training van werkers - Nuclear Virtual Reality Simulator

- Stap 2 problemen opsporen



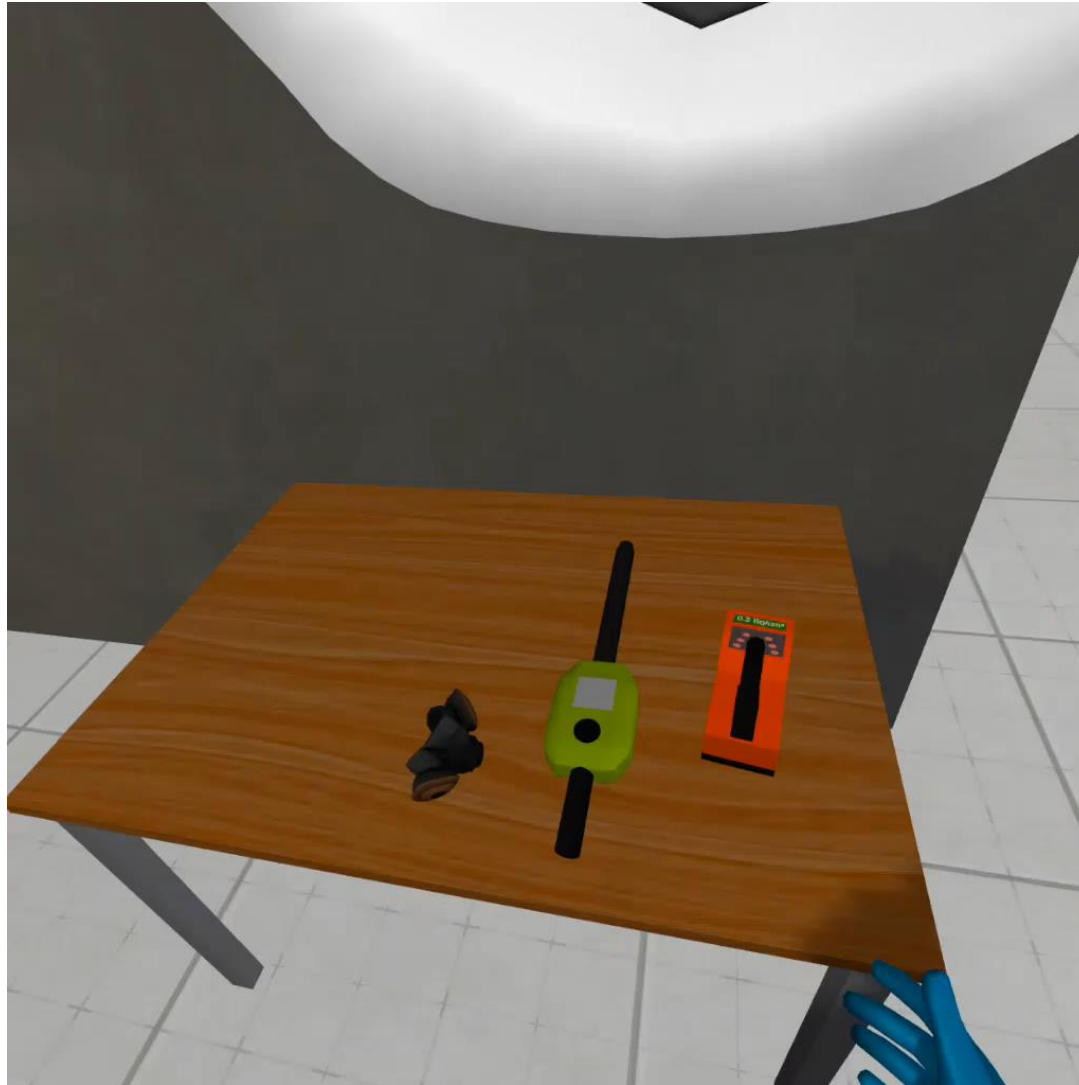
Training van werkers - Nuclear Virtual Reality Simulator

- Stap 3 Ruimte radiologisch in kaart brengen (1)



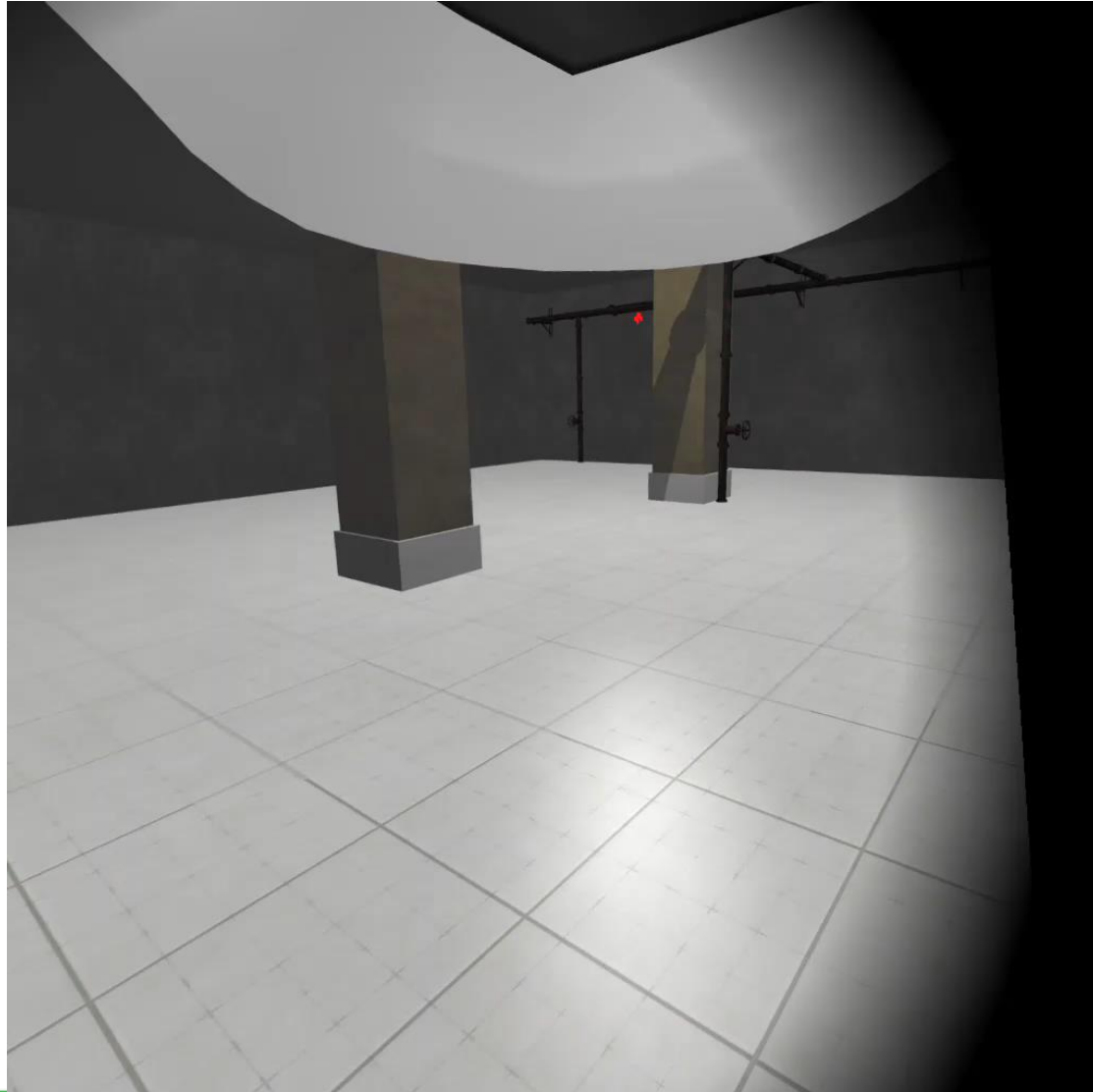
Training van werkers - Nuclear Virtual Reality Simulator

- Stap 3 Ruimte radiologisch in kaart brengen (2)



Training van werkers - Nuclear Virtual Reality Simulator

- Stap 4 Verwijderen contaminatie (1)



Training van werkers - Nuclear Virtual Reality Simulator

- Stap 4 Verwijderen contaminatie (2)



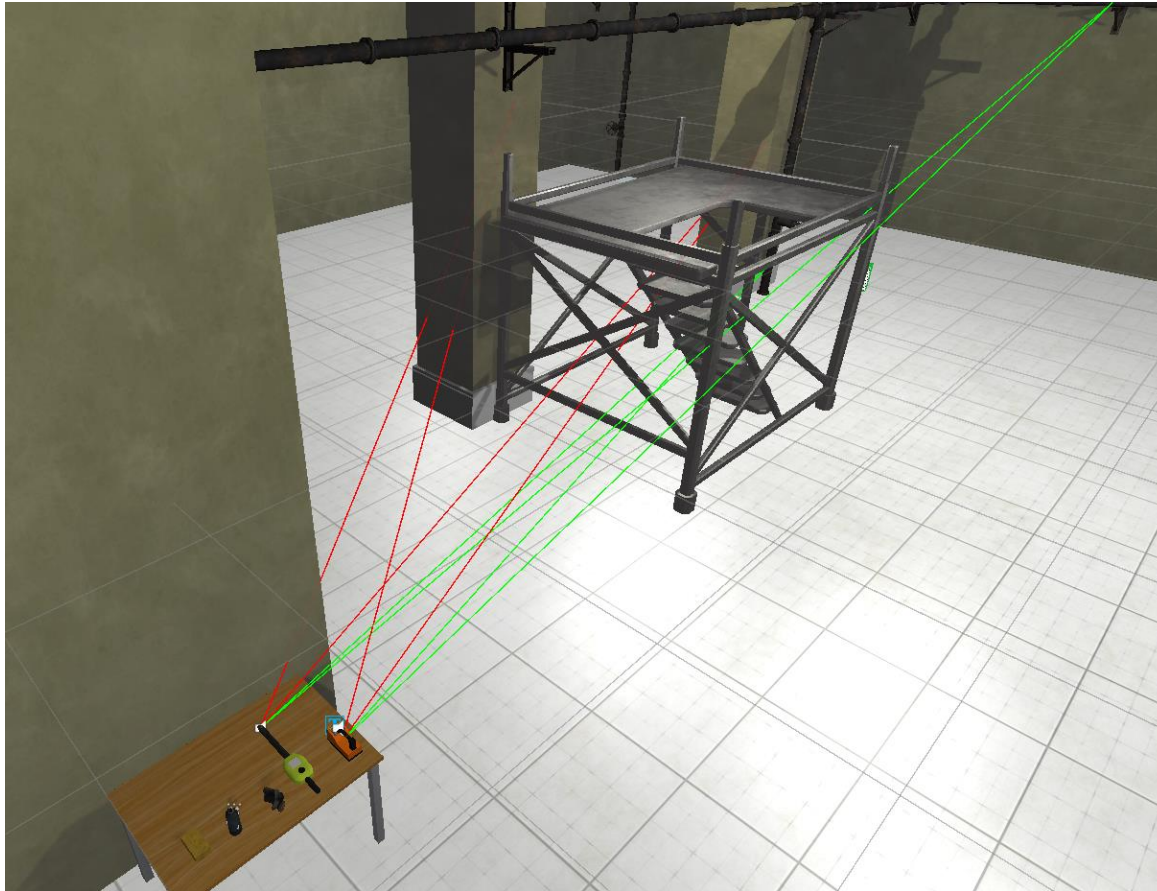
Training van werkers - Nuclear Virtual Reality Simulator

- Stap 5 Verlaten gecontamineerde ruimte



Training van werkers - Nuclear Virtual Reality Simulator

- Realistische dosis inschatting

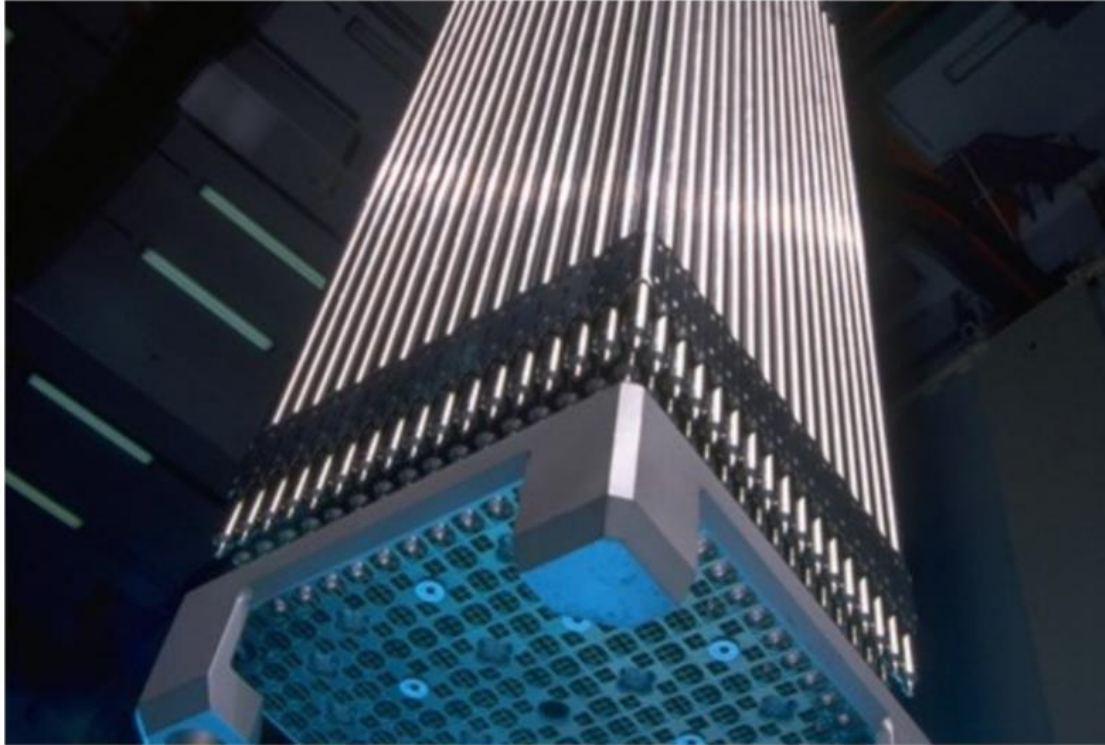


Overzicht

1. Stoomcursus stralingsbescherming
2. Nucleaire ontmanteling
- 3. Radioactief afval**

Hoe ziet radioactief afval er uit?

- **1) Verbruikte kernbrandstof**



Overgebleven: vaste UO_2
Splijttingsproducten
Langlevende actinides

Hoe ziet radioactief afval er uit?

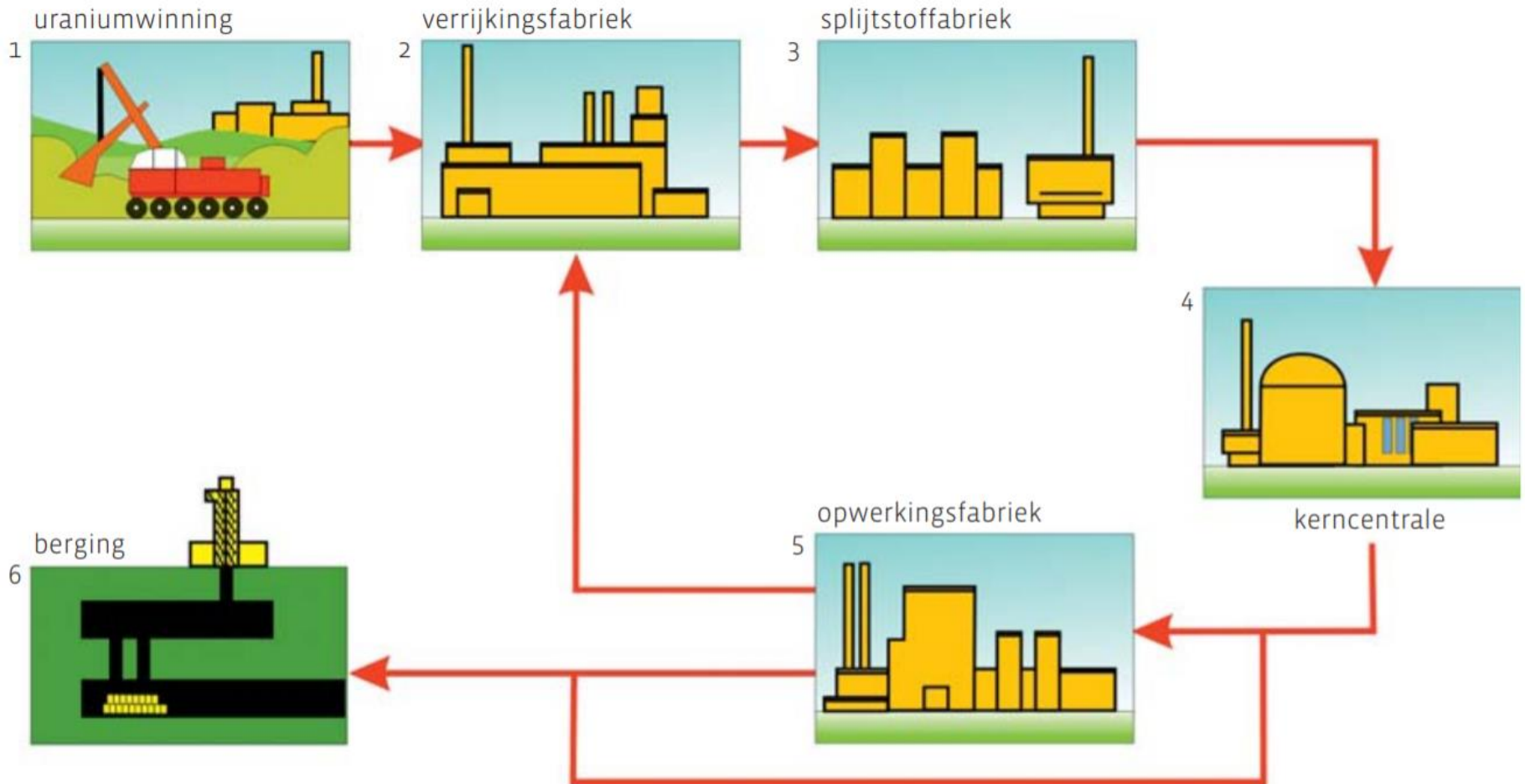


▪ 2) Afval bij uitbating kerncentrales

- Buizen, kleppen, ... die moeten vervangen worden (net zoals bij normale industrie)
- Beschermende kleding
- Afval van water- en gaszuivering (slib, harsen, filters,...)

Hoe ziet radioactief afval er uit?

▪ 3) Afval van de splijtstofcyclus



Hoe ziet radioactief afval er uit?

- **4) Afval van nucleaire ontmanteling**

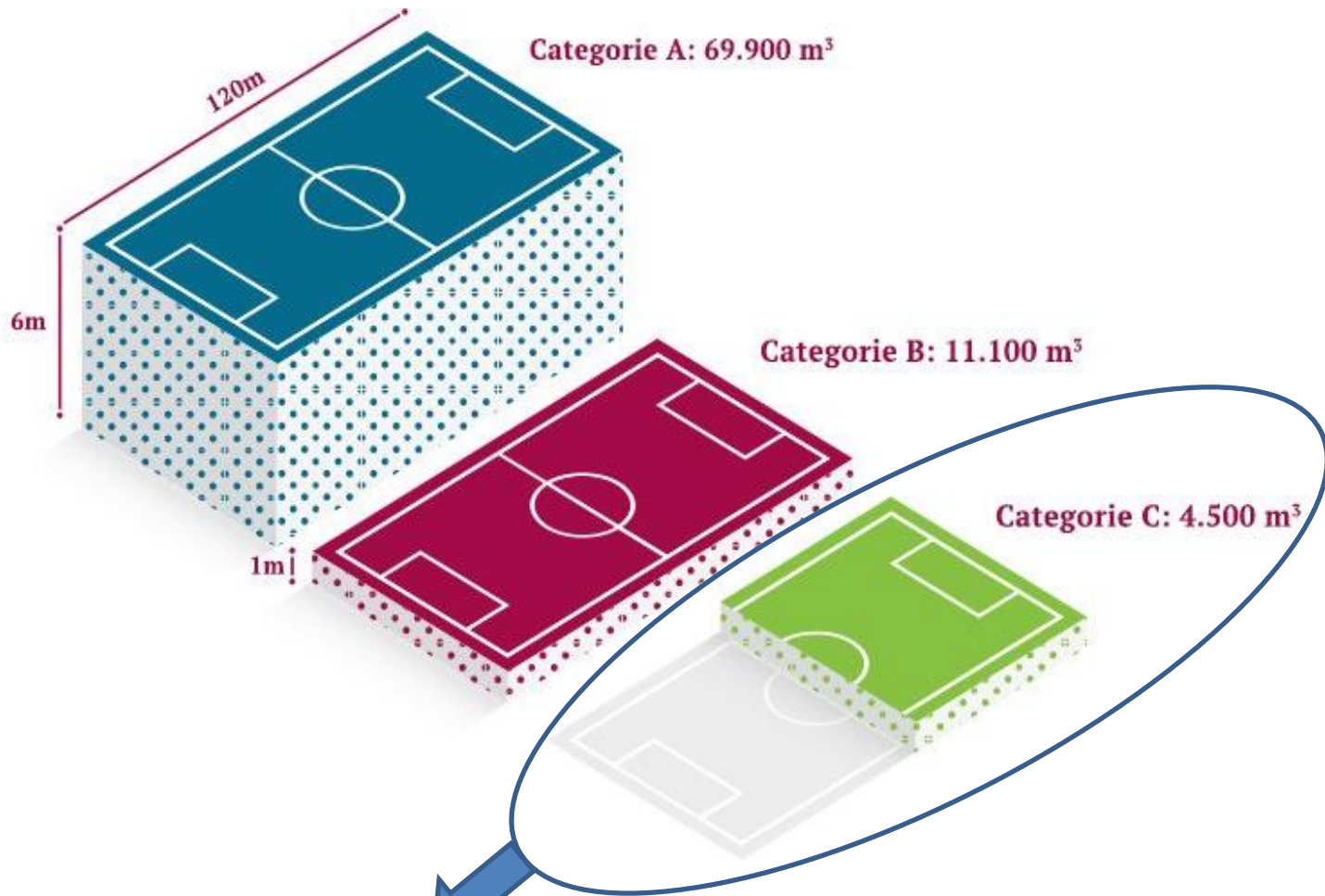


Classificatie radioactief afval (België)

- Categorie **A** – **B** – **C** afval

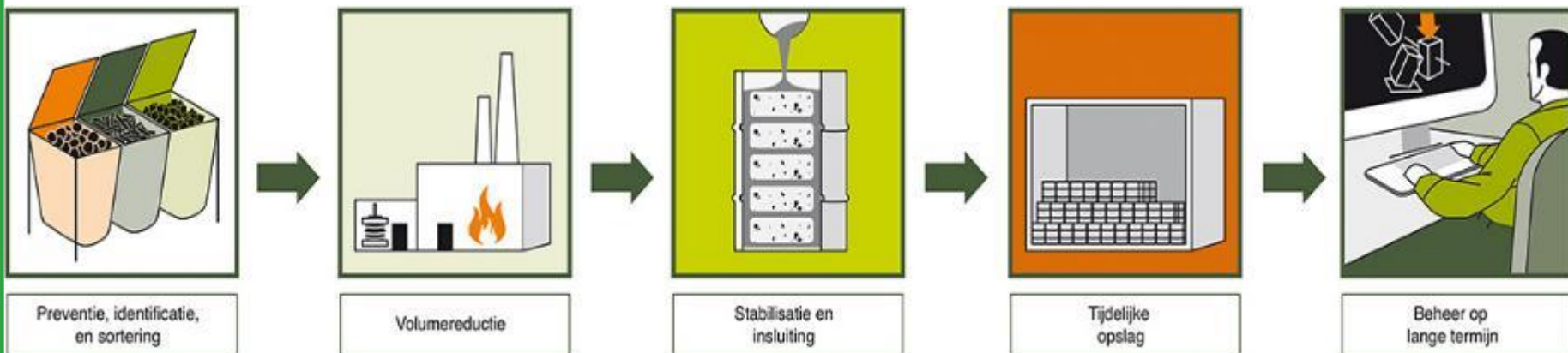
	Lage Activiteit [< 5 mSv/h]	Middel Actief	Hoge Activiteit [> 2 Sv/h]
Korte halveringstijd [minder dan 30 jaar]	A	A	C
Lange halveringstijd [meer dan 30 jaar]	B	B	C

Classificatie radioactief afval (België)



1 % van het totale **volume**
97,5 % van de totale **activiteit !!!**

Beheer radioactief afval



Voorbehandeling radioactief afval



- Belgoprocess
 - Vast niet-brandbaar radioactief afval
 - **Supercompactatie** met drukken tot 2000 t
 - → platte schijf van 25 cm hoogte

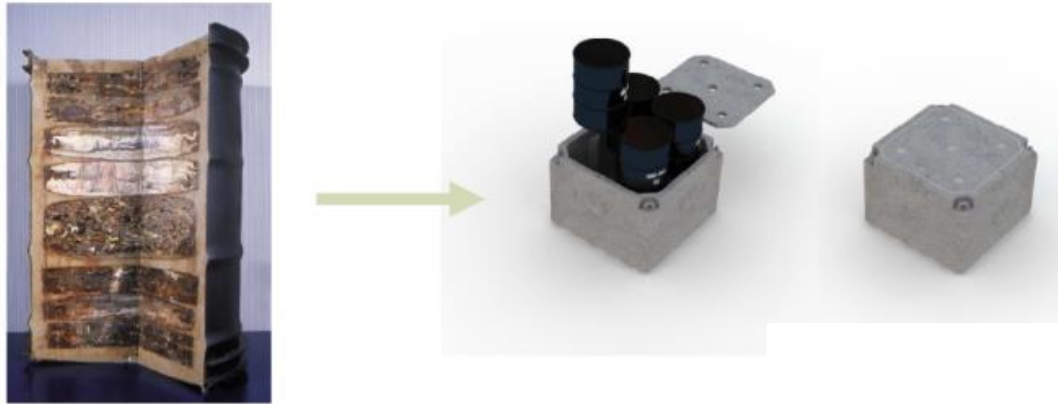
Conditionering radioactief afval

- Cementering
- 4-6 'perslingen' in 200 l vat met beton



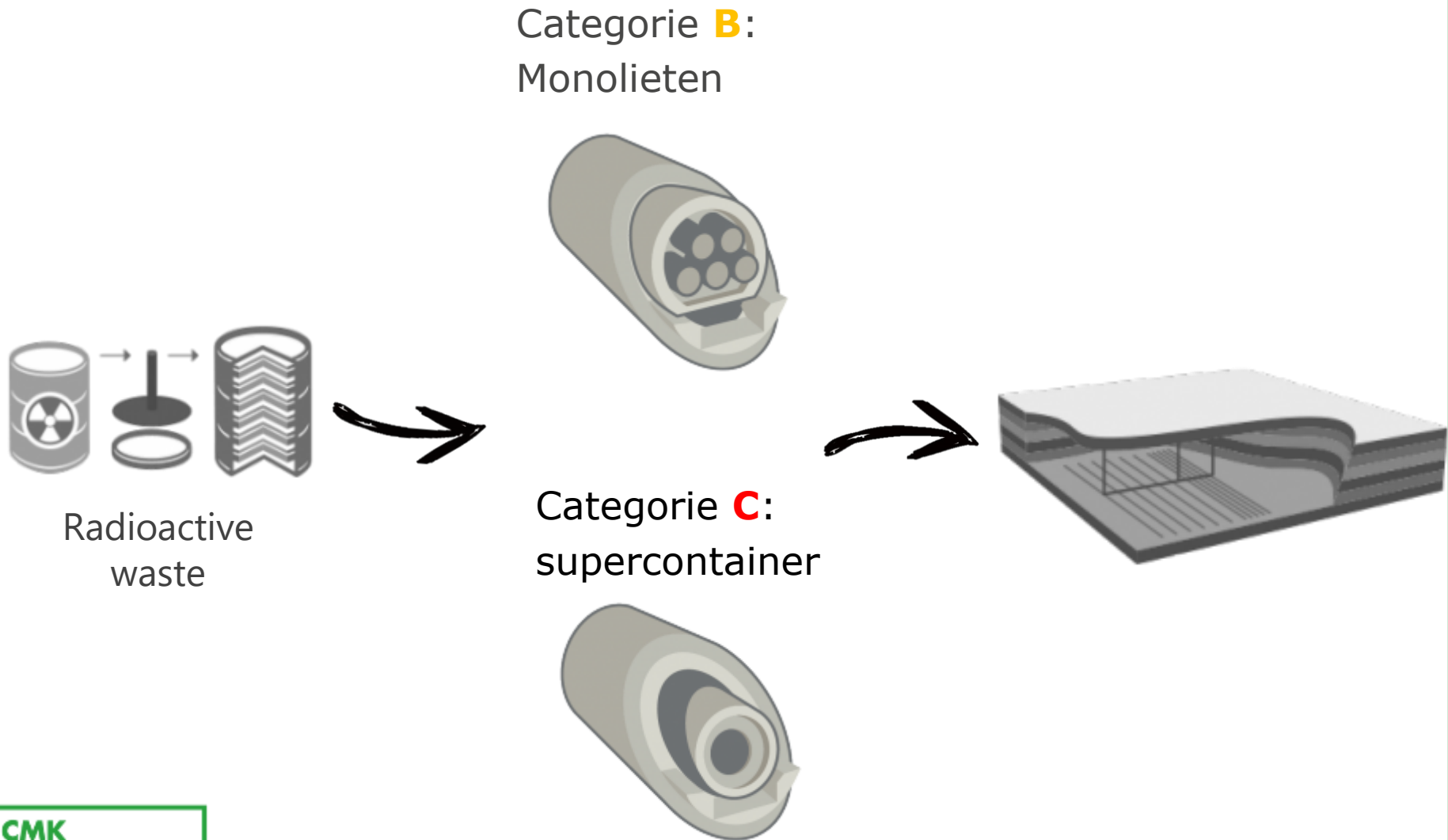
1. Perslingen of bronafval
2. Beton
3. Gegalvaniseerd vat

cAt-project: oppervlakteberging in België

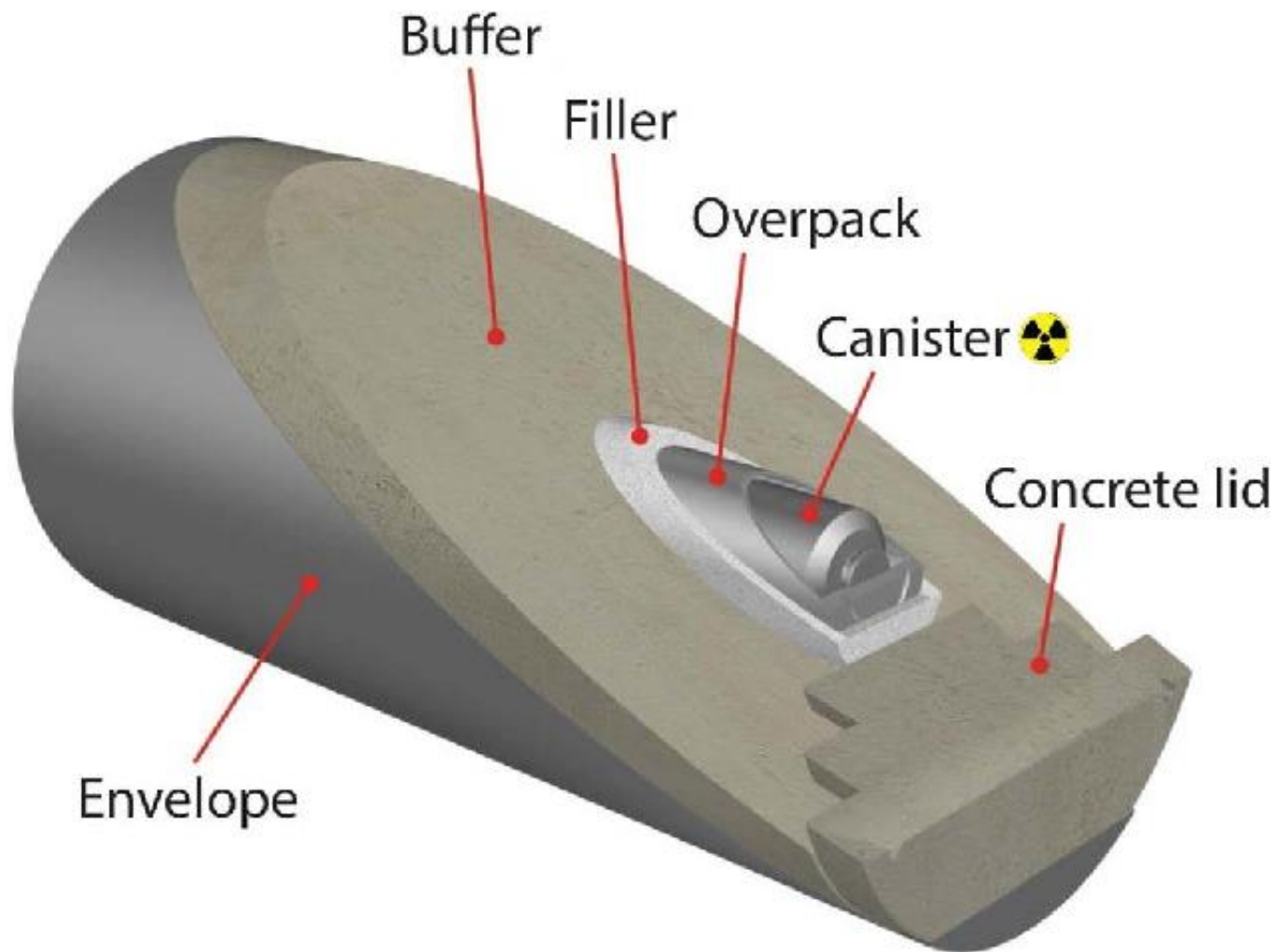


- **Caisson:** betonnen kisten
- In caissons: categorie A afval ingekapseld met mortel (betonnen monolieten)

Categorie **B** en **C** afval: diepe geologische berging

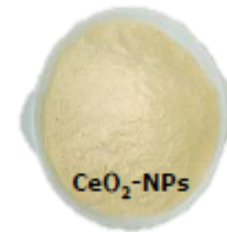


Categorie C afval: supercontainer



Onderzoek naar alternatieve cementbinders

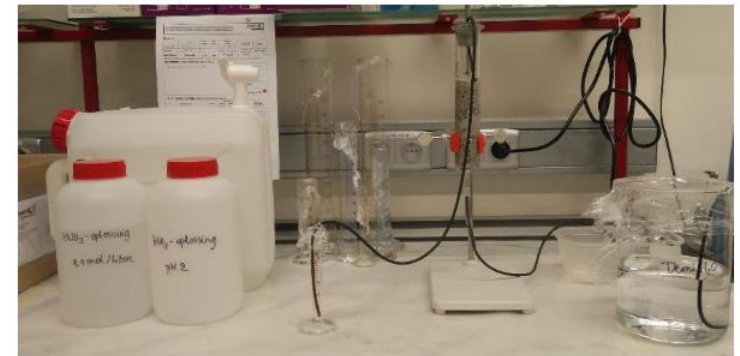
- Ontwikkeling betere encapsulatiematrix voor (vloeibaar) radioactief afval



Cerium Oxide Nanoparticles (CeO₂ NPs)



- Adsorption op nanoparticles
- Finale immobilisatie in nieuwe type cement binders (geopolymeren)



Bedankt voor uw aandacht!!!

