Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

# SHINE EU Bronterm radioactieve stoffen (publieksversie)

## NVL2-TECRPT-2023-0003 Rev. 1

| Naam en functie | Datum | Handtekening |
|---|---|---|
| [redacted] | | |
| [redacted] | | |
| [redacted] | | |
| [redacted] | | |
| [redacted] | | |
| [redacted] | | |

**Ingangsdatum: 23 september 2025**

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51



# Revisiegeschiedenis

| Revisie | Paragraaf | Beschrijving | Datum |
|---|---|---|---|
| 0 | Alle | Nieuw document | 27 maart 2025 |
| 1 | 4.; tabel 3 en 4. | Aanpassingen n.a.v. verzoek aanvullende informatie ANVS | 23 september 2025 |

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51



# Inhoudsopgave

Inhoudsopgave ..... 3
Afkortingen ..... 4
1 Inleiding ..... 5
2 Beschrijving van de radioactieve bron ..... 5
3 Aannames voor de $Re_{inh}$-berekeningen ..... 6
4 Conclusie ..... 7
5 Referenties ..... 10

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51



# Afkortingen

| Afkorting | Beschrijving |
|---|---|
| CONF | Confidentieel (vertrouwelijk) |
| inh | Inademing |
| KC | Kwaliteitscontrole |
| $Re_{inh}$ | Radiotoxiciteitsequivalent voor geïnhaleerde radionuclide |
| Ti | Titanium |

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51



# 1 Inleiding

Het SHINE-proces maakt gebruik van Yb-targets. Na bestraling in een flacon op een externe locatie, wordt een deel van de Yb-stof in de target geconverteerd in Lu-177. Dit resulteert in een bestraalde flacon en een target dat Yb, Lu en sporen van, als gevolg van onzuiverheden, andere radionucliden bevat. SHINE verwerkt de targets met een initiële bulkscheiding en een aanvullende chromatografische scheiding.

De bijlage beschrijft globaal de radioactieve stoffen (brontrem) die in de faciliteit aanwezig zijn.

# 2 Beschrijving van de radioactieve bron

Het ruwe materiaal voor de targets bestaat uit Yb-176 (hoofdzakelijk), Yb-174, Yb-168 en onzuiverheden. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**1 vermeldt de belangrijkste radionucliden na bestraling.

Elke week arriveren targets op de faciliteit die worden verwerkt in één productielijn om de zuivere Lu-177 als eindproduct te produceren (1 verwerkte target wordt een batch genoemd). De vergunning is verleend voor één productielijn, daarom wordt de bronterm berekend voor een lijn.

De volgende radioactieve stoffen zijn geïdentificeerd:

- Batches worden verwerkt in één productielijn.
- 1 set ingekapselde bronnen in de faciliteit die worden gebruikt voor kalibratiedoeleinden. Hiervoor worden de actuele ingekapselde bronnen genomen die in de SHINE US-faciliteit worden gebruikt. Kleine afwijkingen tussen de vereiste ingekapselde bronnen zijn te verwachten. Zie tabellen 3 en 4.
- 1 tracer pellet (pellet afkomstig van bestraalde target bij aankomst) wordt om de week in het KC-laboratorium geanalyseerd. Zie tabel 5.
- In KC-laboratorium bewaarde monsters. Voor kwaliteitsdoeleinden worden 2 monsters per batch gedurende 6 maanden bewaard. Zie tabel 5-A.
- Voor het verval van de radioactieve stoffen in de bergplaats worden de radioactieve stoffen aangehouden die bestaan uit de inkomende activiteit – eindproduct (conservatieve aanname).
    - Targets
    - De vials van de targets worden ook in de bergplaats opgeslagen.
- Het materiaal wordt vervolgens 2 jaar opgeslagen om te vervallen, wat resulteert in een inventaris bestaande uit 104 weken verwerking. Zie tabel 6.
- Bij problemen bij de verzending van het eindproduct, wordt de activiteit die het gevolg is van deze onverwachte opslag van het eindproduct (1 batch) eveneens meegenomen in de totale radioactiviteit. Daarbij moet worden opgemerkt dat vanwege de korte halveringstijd van Lu-177 (ongeveer 6,6 dagen) en de verwachte waarschijnlijkheid van deze gebeurtenis, er slechts één week opslag wordt aangenomen in de maximale activiteit. Zie tabel 7.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51



Voor alle open radioactieve stoffen wordt de totale activiteit gespecificeerd, en vervolgens geconverteerd naar $Re_{inh}$ met gebruik van ICRP-119 [1] conform de ANVS-Verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming [2]. De gespecificeerde activiteit is afkomstig van bronbeschrijvingen (voor ingekapselde bronnen) of wordt verkregen door gedetailleerd technisch oordeel. Op basis hiervan wordt ten behoeve van de vergunningaanvraag een conservatieve marge aangehouden voor de totale radioactiviteit in de faciliteit zodat afwijkingen in de radioactieve bronnen, verschillen in bestraling (neutronenflux) en proceswijzigingen voldoende worden meegenomen.

# 3 Aannames voor de $Re_{inh}$-berekeningen

In paragraaf 4 worden de radioactieve stoffen per stralingsbron en de totale radioactiviteit in de faciliteit beschreven. Op basis hiervan blijkt de belangrijkste stralingsbron in de faciliteit de radioactieve stoffen in de bergplaats te zijn.

Een gedetailleerde analyse van $Re_{inh}$ toont bovendien aan dat het materiaal dat in de faciliteit aankomt voornamelijk bestaat uit Lu- en Yb-radionucliden.

Het totale aantal radionucliden wordt berekend op basis van gedetailleerd technisch oordeel. Als het aantal radionucliden en de mogelijke dochters zeer groot is, kan vervolganalyse worden beperkt tot een representatieve selectie van die (dochter-)nucliden. De analyse van het genoemde gedetailleerde technische oordeel toont aan dat voor veel nucliden de bijdrage aan het totale $Re_{inh}$ lager is dan 1%.

Om de totale $Re_{inh}$ te bepalen worden alleen de radionucliden Lu-177, Yb-169 en Yb-175 gebruikt.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51



# 4 Conclusie

De maximale activiteit aan open radioactieve stoffen op enig moment van 5,50E+04 Re en een activiteit van 300 MBq aan ingekapselde bronnen kan worden berekend aan de hand van de hierboven genoemde methoden.

***Tabel 1 - Beschrijving van de open radioactieve stoffen : Aankomst in de faciliteit; belangrijkste isotopen***

[...]CONF

***Tabel 2 - Beschrijving van de open radioactieve stoffen : Aankomst per week in de faciliteit; belangrijkste isotopen***

[...]CONF

***Tabel 3 – Beschrijving: Ingekapselde bronnen deel 1; individuele stralingsbronnen***

| Radionuclide | activiteit (Bq) | Bronconstante µSv/uur per MBq/m² | Dosistempo op 1 m µSv/uur |
|---|---|---|---|
| Cs-137 | 9,32E+03 | 0,093 | ≤ 0,01 |
| Cs-137 | 8,55E+03 | 0,093 | ≤ 0,01 |
| Cs-137 | 5,81E+04 | 0,093 | ≤ 0,01 |
| Cs-137 | 4,55E+04 | 0,093 | ≤ 0,01 |
| Cs-137 | 1,10E+05 | 0,093 | ≤ 0,01 |
| Cs-137 | 7,40E+04 | 0,093 | ≤ 0,01 |
| Cs-137 | 1,71E+05 | 0,093 | 0,02 |
| Cs-137 | 1,68E+05 | 0,093 | 0,02 |
| Ba-133 | 1,04E+05 | 0,087 | ≤ 0,01 |
| Eu-152 | 3,89E+05 | 0,18 | 0,07 |
| Co-60 | 5,92E+07 | 0,36 | 21,31 |
| Cs-137 | 1,26E+08 | 0,093 | 11,72 |
| Co-57 | 9,25E+07 | 0,023 | 2,23 |
| **Totale activiteit** | **2,79E+08** | - | - |

***Tabel 4 – Beschrijving: Ingekapselde bronnen deel 2; gemengde stralingsbronnen***

| Type | Radionucliden | Activiteit (Bq) | Bronconstante µSv/uur per MBq/m² | Dosistempo op 1 m µSv/uur |
|---|---|---|---|---|
| Gemengd 1 | Cs-137 | 3,72E+03 | 0,093 | ≤ 0,01 |
| | Cd-109 | 2,22E+04 | 0,017 | ≤ 0,01 |
| | Co-57 | 8,68e+02 | 0,023 | ≤ 0,01 |
| | Te-123m | 1,18E+03 | 0 | ≤ 0,01 |
| | Cr-51 | 2,65E+04 | 0,0054 | ≤ 0,01 |

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Sn-113<br>Sr-85<br>Y-88<br>Co-60 | 4,75E+03<br>5,22E+03<br>8,53E+03<br>4,49E+03 | 0,020<br>0,10<br>0,38<br>0,36 | ≤ 0,01<br>≤ 0,01<br>≤ 0,01<br>≤ 0,01<br>Totaal ≤ 0,01 |
| Gemengd 2 | Cs-137<br>Cd-109<br>Co-57<br>Te-123m<br>Cr-51<br>Sn-113<br>Sr-85<br>Y-88<br>Co-60 | 3,66E+03<br>2,14E+04<br>8,31E+02<br>1,13E+03<br>2,71E+04<br>4,07E+03<br>5,18E+03<br>8,36E+03<br>4,29E+03 | 0,093<br>0,017<br>0,023<br>0<br>0,0054<br>0,020<br>0,10<br>0,38<br>0,36 | ≤ 0,01<br>≤ 0,01<br>≤ 0,01<br>≤ 0,01<br>≤ 0,01<br>≤ 0,01<br>≤ 0,01<br>≤ 0,01<br>≤ 0,01<br>Totaal ≤ 0,01 |
| **Totale activiteit** | | **1,52E+05** | - | - |

***Tabel 5 – Beschrijving van de stralingsbron: KC-laboratorium tracer pellets***

| **KC-laboratorium tracer pellet** | | |
|---|---|---|
| **Radionuclide** | Activiteit (Bq) | $Re_{inh}$ |
| **Lu-177** | 7,12E+08 | 7,8E-01 |
| **Yb-175** | 9,83E+07 | 6,9E-02 |
| **Yb-169** | 6,98E+05 | 1,7E-03 |
| **Totaal Reinh** | | **8,51E-01** |

***Tabel 5-A – Beschrijving van de bron: In KC-laboratorium bewaarde monsters***

| **In KC-laboratorium bewaarde monsters** | | |
|---|---|---|
| **Radionuclide** | Activiteit (Bq) | $Re_{inh}$ |
| **Lu-177** | 3,3E+11 | 3,63E+02 |
| **Totaal $Re_{inh}$** | | **3,63E+02** |

***Tabel 6 – Beschrijving van de bron: Stabiele inventaris in verval in opslag***

| **Radionuclide** | **Activiteit (Bq)** | **$Re_{inh}$** |
|---|---|---|
| **Lu-177** | 8,70E+12 | 9,57E+03 |
| **Yb-175** | 4,01E+12 | 2,81E+03 |
| **Yb-169** | 1,85E+11 | 4,45E+02 |
| **Tm-170** | 3,69E+10 | 1,92E+02 |
| **Sc-46** | 1,98E+10 | 9,49E+01 |
| **Sc-47** | 1,21E+10 | 8,85E+00 |
| **Fe-55** | 1,12E+10 | 1,03E+01 |
| **Eu-152** | 8,91E+09 | 2,41E+02 |
| **Eu-154** | 7,11E+09 | 2,49E+02 |

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51



| | | |
|---|---|---|
| **Ca-45** | 6,68E+09 | 1,54E+01 |
| **+ andere onzuiverheden** | | 3,10E+01 |
| **Totaal $Re_{inh}$** | **1,37E+04** | |

***Tabel 7 – 1 batch opgeslagen eindproduct***

| Radionuclide | Activiteit (Bq) | $Re_{inh}$ |
|---|---|---|
| **Lu-177** | 5,99E+12 | 6,59E+03 |
| **Totaal $Re_{inh}$** | **6,59E+03** | |

***Tabel 8 – Beschrijving van de diverse open radioactieve stoffen en maximumhoeveelheid Re op enig moment in de faciliteit***

| Naam | $Re_{inh}$ | Percentage totale $Re_{inh}$ |
|---|---|---|
| Maximaal Re van Lu-batches | 3,34E+04 | 62% |
| KC-laboratorium tracerpellet | 8,51E-01 | <1% |
| Door KC bewaarde monsters | 3,63E+02 | <1% |
| Ruimte verval in opslag | 1,37E+04 | 26% |
| 1 batch eindproduct opgeslagen | 6,59E+03 | 12% |
| **Totaal $Re_{inh}$** | **5,41E+04** | |

***Tabel 9 – Maximumactiviteit (MBq) van ingekapselde bronnen op enig moment in de faciliteit***

| Naam | Activiteit (MBq) |
|---|---|
| Ingekapselde bronnen in de faciliteit | **279** |

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51



# 5 Referenties

[1] ICRP, K. Eckerman, J. Harrison, H. G. Menzel, and C. H. Clement, "ICRP publication 119: Compendium of dose coefficients based on ICRP publication 60," *Ann ICRP*, vol. 42, no. 4, p. e1, 2013, doi: 10.1016/J.ICRP.2013.05.003.

[2] ANVS, "ANVS-verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming," [Online]. Available: https://wetten.overheid.nl/BWBR0040581/2023-07-01