

# Risico Inventarisatie & Evaluatie Peregrion

RI&E voor de handelingen binnen Peregrion voor analyse van <sup>14</sup>C

---

**auteur(s):** [REDACTED] **beoordeeld:** [REDACTED] (NRG)

---

[REDACTED] (NRG) [REDACTED] [REDACTED]

---

Page 1 of 30 **3 september 2024**

---

## Samenvatting

Peregrion B.V. voert analyses van  $^{14}\text{C}$  samples uit met AMS-toestellen op de locatie in Leiden. Om deze toestellen te mogen gebruiken en om de handelingen met  $^{14}\text{C}$  te verrichten is conform artikel 7.6 van het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming [1] en de Regeling stralingsbescherming beroepsmatige blootstelling [2] een risico-inventarisatie- en evaluatie (RI&E) opgesteld.

De algemene conclusie van deze RI&E is dat de medewerkers op basis van de berekende dosis niet als blootgesteld medewerkers hoeven worden ingedeeld.

De ruimtes waar de handelingen met de AMS-toestellen plaatsvinden hoeven niet ingedeeld te worden als bewaakte zone. De ruimtes waar de handelingen met  $^{14}\text{C}$  plaatsvinden hoeven eveneens niet worden ingedeeld als bewaakte zone.

Op basis van de hier gepresenteerde resultaten wordt voldaan aan de wettelijke limieten en zijn er geen aanvullende maatregelen nodig.

## 1 Inleiding

Peregrion is een onderneming die analyses uitvoert op samples met  $^{14}\text{C}$ . De samples met  $^{14}\text{C}$  worden verdund in de verschillende labs in bouwdeel 1. De samples worden daarna geanalyseerd met Accelerator Mass Spectrometers (AMS) van 1.1 MV of 230 kV. Daarnaast vinden er ijkingshandelingen plaats met  $^{14}\text{C}$ - gelabelde tracers en een ingekapselde  $^{152}\text{Eu}$  bron.

De risico-inventarisatie en -evaluatie voor handelingen met en analyse van  $^{14}\text{C}$  en ijking met  $^{152}\text{Eu}$  is uitgevoerd conform artikel 2.1 en bijlage A van de "Regeling stralingsbescherming beroepsmatige blootstelling 2018" [1].

De handelingen worden uitgevoerd volgens de Peregrion werkinstructies.

## 2 Risicoanalyse

De risicoanalyse is uitgevoerd conform artikel 2.1 en bijlage A van de "Regeling stralingsbescherming beroepsmatige blootstelling 2018".

### 2.1 Stap 1: Risico-identificatie

#### a. Zijn alle bronnen van ioniserende straling en hun eigenschappen geïnventariseerd?

De handelingen met open bronnen worden uitgevoerd met:

- $^{14}\text{C}$ - gelabelde samples
- $^{14}\text{C}$ - gelabelde tracers voor ijkingdoeleinden

De ijking met ingekapselde bronnen worden uitgevoerd met:

- $^{152}\text{Eu}$  bronnen (2x) met een activiteit van 0,7 MBq per bron. De bronnen zijn ingebouwd in analysetoestellen.

De analyse van de  $^{14}\text{C}$ - gelabelde samples worden uitgevoerd met:

- 2 AMS-toestellen met een maximale spanning van 230 kV
- 2 AMS-toestellen met een maximale spanning van 1.1 MV

## **b. Welke handelingen worden met de bronnen uitgevoerd?**

De AMS-toestellen worden gebruikt om ultra lage  $^{14}\text{C}$ -concentraties te bepalen in biologische samples. Daartoe worden verdunningen vanuit stock-oplossingen bereid en samples geperst of gepipetteerd, die in de AMS worden ingegeven. Veel voorkomende handelingen zijn pipetteren (bijvoorbeeld verdunnen openbronnen, samples), homogeniseren samples (oa mbv een ultra-turrax), vortexen, droogblazen, vriesdrogen etc. Daarnaast zijn de AMS-toestellen zelf een bron van straling.

De handelingen met radioactieve stoffen kunnen worden onderverdeeld in handelingen met  $^{14}\text{C}$ -gelabelde samples van proefpersonen; handelingen met  $^{14}\text{C}$  tracers voor ijk-doeleinden en handelingen met  $^{152}\text{Eu}$  voor ijk-doeleinden.

De handelingen kunnen worden opgedeeld in de volgende deelhandelingen:

- Handeling 1: Uitvoeren analyses met AMS
  - o Deelhandeling 1a: Uitvoeren analyses met 1.1 MV AMS
  - o Deelhandeling 1b: Uitvoeren analyses met 230 kV AMS
  - o Deelhandeling 1c: Opnieuw opstarten 1.1 MV AMS
  - o Deelhandeling 1d: Opnieuw opstarten 230 kV AMS
  - o Deelhandeling 1e: Onderhoud 1.1 MV AMS
  - o Deelhandeling 1f: Onderhoud 230 kV AMS
- Handeling 2: Handelingen met  $^{14}\text{C}$  samples
  - o Deelhandeling 2a: Verdunnen  $^{14}\text{C}$  samples
  - o Deelhandeling 2b: ██████ homogeniseren
  - o Deelhandeling 2c: Persen poedervormige samples
- Handeling 3: IJking met  $^{14}\text{C}$ -tracers
  - o Deelhandeling 3a: Poedervormige stocks oplossen
  - o Deelhandeling 3b: Verdunnen  $^{14}\text{C}$ -tracers
  - o Deelhandeling 3c: IJking met verdunde  $^{14}\text{C}$ -tracer
- Handeling 4: IJking met  $^{152}\text{Eu}$  bron

## **c. Hoeveel handelingen worden er op jaarbasis uitgevoerd en welke medewerkers kunnen daaraan blootgesteld worden?**

Handeling 1: De analyses worden gedurende 1440 uur per jaar op de 1.1 MV AMS en gedurende 1260 uur per jaar op de 230 kV AMS versnellers uitgevoerd. Daaronder valt ook het opnieuw opstarten. Het reguliere onderhoud wordt per AMS twee maal per jaar uitgevoerd en bedraagt 20 uur per jaar.

Handeling 2: De handelingen met de samples bedragen in totaal 1600 uur per jaar. Daarnaast wordt er 24 keer per jaar een verdunning uitgevoerd.

Handeling 3: De poedervormige stocks worden vier keer per jaar opgelost en eenmaal gedurende 20 uur geperst. De ██████ worden acht keer per jaar gehomogeniseerd.

Handeling 4: De ijking met de ingekapselde bronnen vindt continu op de achtergrond plaats zonder dat de medewerkers daar invloed op hebben.

De handelingen worden uitgevoerd door radiologisch werkers van Peregrion en TNO. Voor dosisberekeningen voor de reguliere handelingen is daarom gebruik gemaakt van een collectieve dosis. Daarnaast kunnen de medewerkers van de facilitaire dienst en/of schoonmaak worden

blootgesteld. Deze worden in de RI&E niet meegenomen, aangezien deze werkzaamheden kort duren en alleen plaatsvinden op minimaal 1 meter afstand van de AMS-toestellen of nadat eventuele besmettingen zijn opgeruimd door de laboranten.

**d. Waar worden de handelingen verricht?**

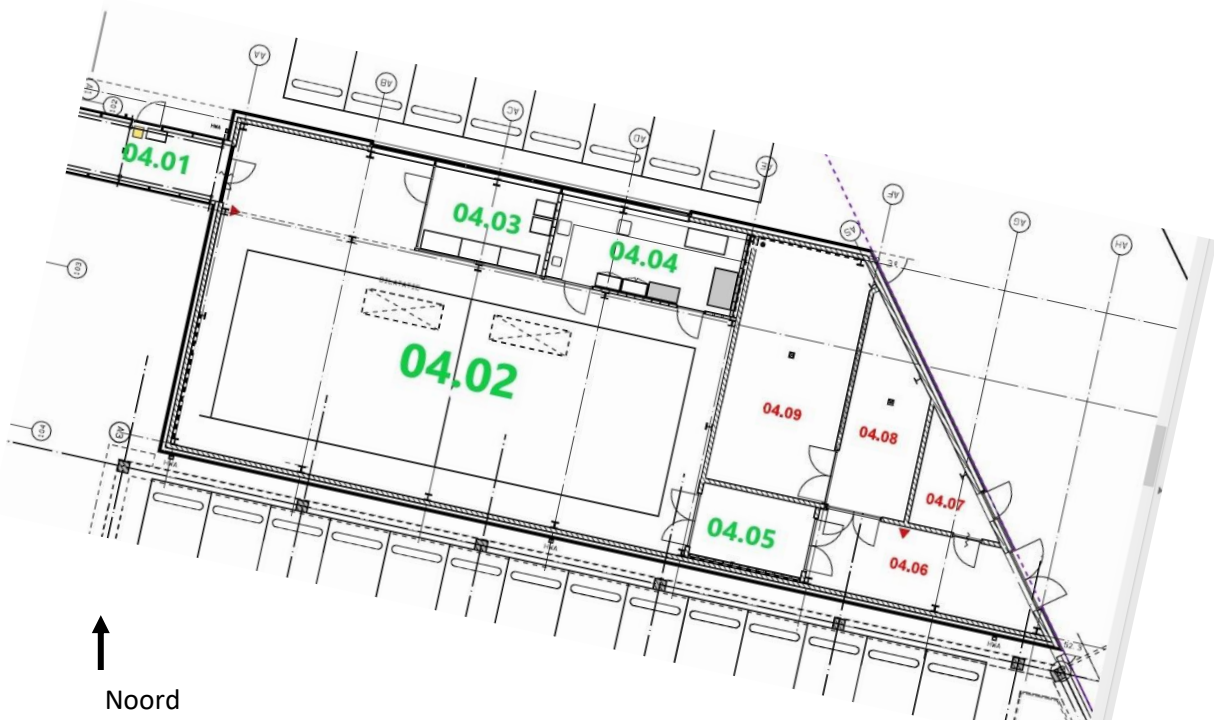
De twee 1.1 MV AMS versnellers zijn opgesteld in de AMS-hal in bouwdeel 4. De 230 kV AMS versnellers worden opgesteld op de begane grond bouwdeel 1. In hetzelfde bouwdeel vinden de doorverduningen van samples en tracers plaats op twee D-laboratoria met beperkte toegankelijkheid en in een niet-geclassificeerd radionuclide lab. Deze locaties staan weergegeven op de plattegronden in Figuur 1 en Figuur 2 en zijn samengevat in Tabel 1.

**e. Welke blootstellingspaden zijn aan de orde?**

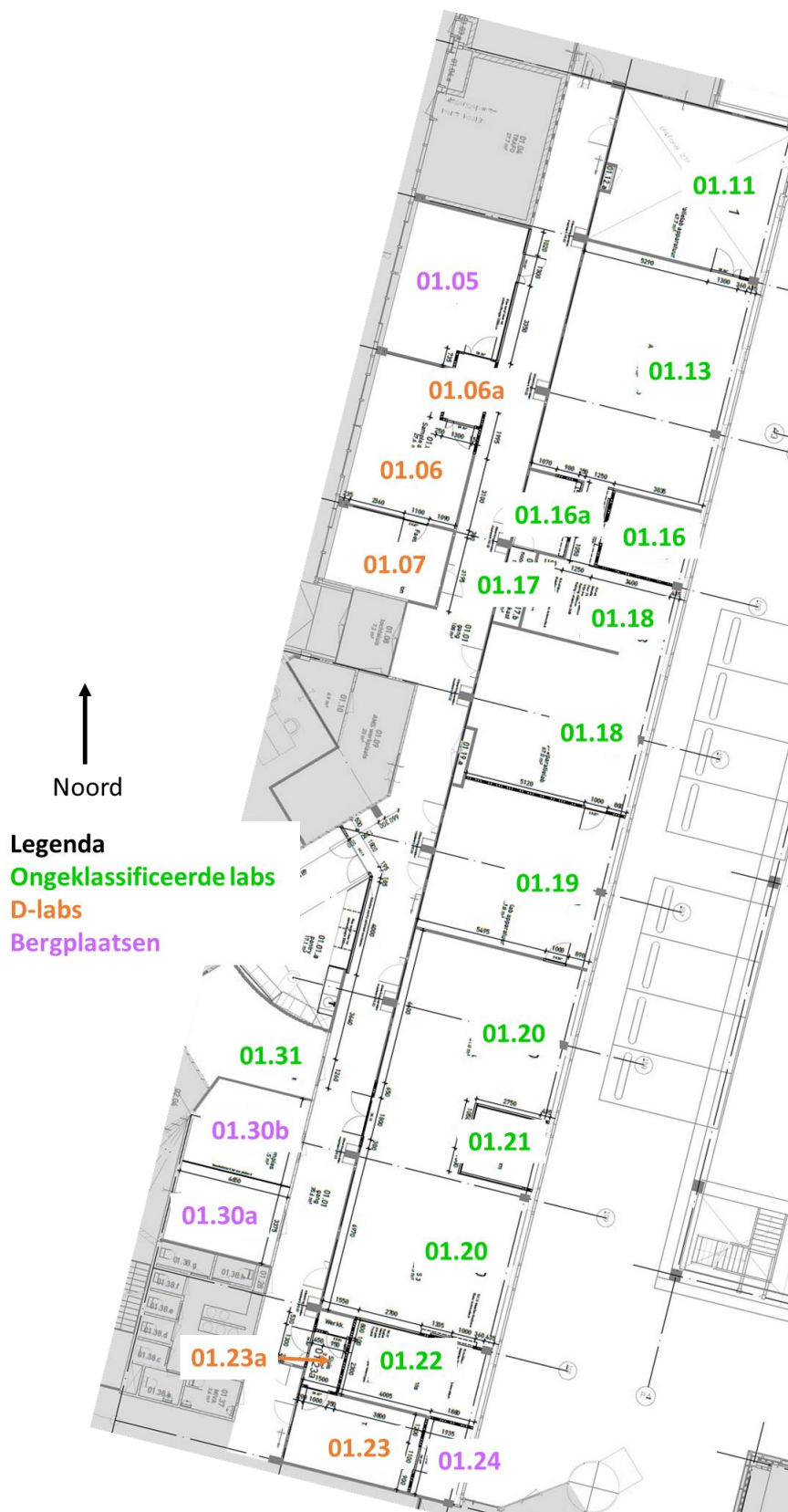
- Er is sprake van *externe blootstelling* door de strooistraling van de AMS-toestellen.
- Er is sprake van mogelijke *inwendige besmetting* door inhalatie of ingestie en *besmetting van de huid* als gevolg van de handelingen met de open  $^{14}\text{C}$  bronnen en dit zal worden meegenomen in de voorziene, onbedoelde gebeurtenissen. Blootstelling aan externe straling van deze open bronnen is niet verondersteld omdat de  $^{14}\text{C}$  gelabelde oplossingen zijn omhuld door glas/plastic van voldoende dikte om de vrijkomende bèta-deeltjes volledig te absorberen.
- De ijkbronnen zijn ingekapseld en dermate omhuld door de analyseapparatuur dat het niet aannemelijk is dat dit tot een significante blootstelling voor de werknemer leidt.

Tabel 1 Overzicht ruimtes Peregrion-laboratorium

<b>Ruimte nummer</b>	<b>Omschrijving</b>
04.01	Gang van AMS-labs naar AMS hal
04.02	AMS-hal (2x AMS 1.1 MV)
04.03	Operator room
04.04	Pressing room
04.05	Sluis naar technische gedeelte
01.05	Bergplaats (Samples)
01.06a	Sluis naar bergplaats, sample dilution en faceshomogenisatie labs
01.06	AMS sample dilution lab (D-lab) met automatische schuifdeur naar 01.07
01.07	██████████ (D-lab)
01.11	UPLC ruimte
01.13	Monsterbewerkingslab
01.16a	Sluis
01.16	Weegkamer
01.17	Nooddouche en schoonmaakhok
01.18	Monsterbewerkings lab
01.19	UPLC ruimte
01.20	AMS-hal (1x AMS 230 kV, ruimte voor 1 extra)
01.21	Operator room
01.22	Pressing room
01.23a	Sluis naar tracer dilution (D-lab)
01.23	Tracer dilution (D-lab)
01.24	Bergplaats (tracers)
01.30a	Bergplaats (samples)
01.30b	Bergplaats (samples)
01.31	Opslag consumables



Figuur 1 Overzicht ruimtes bouwdeel 4 (AMS-hal) met groen: Ongeclassificeerde labs en rood: omliggende ruimtes



Figuur 2 Overzicht ruimtes Bouwdeel 1. De ruimtes 01.06 en 01.07 zijn in praktijk één ruimte. Ruimte 01.07 is in principe alleen te bereiken via ruimte 01.06.

**f. Welke voorziene, onbedoelde gebeurtenissen kunnen bijdragen aan de potentiële blootstelling van werknemers?**

De volgende voorziene, onbedoelde gebeurtenissen (VOG) kunnen optreden.

AMS gerelateerd:

- Gebeurtenis 1: Spanning valt uit (of andere storing) waardoor AMS opnieuw moet worden opgestart.
  - Tijdens het opstarten kan het zijn dat het dosistempo aan de buitenzijde van de AMS verhoogd is ten opzichte van reguliere dosistempi, omdat het conditioneren (op spanning brengen) van de verschillende onderdelen een piek kan geven in het vacuüm, wat resulteert een 'spike'. Dit hoge dosistempo zal echter maar voor enkele seconden aanwezig zijn en gedurende de rest van het opstartproces is het reguliere dosistempo aanwezig. De werknemers zijn gedurende het opstartproces in de operator room.

Laboratorium gerelateerd:

- Gebeurtenis 2: Ingestie als gevolg van opspatten.
  - Gebeurtenis 2a: ingestie van 1% van de traceroplossing met een activiteitsconcentratie van 37 MBq/ml.
  - Gebeurtenis 2b: ingestie van 0.1% van de tracer-stockoplossing met een activiteitsconcentratie van 100 kBq/ml.
- Gebeurtenis 3: Huidbesmetting als gevolg van opspatten.
  - Gebeurtenis 3a: huidbesmetting van 1% van de traceroplossing met een activiteitsconcentratie van 37 MBq/ml.
  - Gebeurtenis 3b: huidbesmetting van 1 ml van de tracer-stockoplossing met een activiteitsconcentratie van 100 kBq/ml.
- Gebeurtenis 4: Inhalatie van 0.1% van de poedervormige tracer.
  - Bij het persen van de poedervormige tracer met een activiteitsconcentratie van 1.36 MBq/mg kan het voorkomen dat een deel in de lucht vrijgezet wordt. Daarbij bestaat risico op inhalatie. Daarbij wordt uitgegaan van een vrijzetting van 10% in de zuurkast; bij een goed werkende zuurkast (DIN-gekeurd) is het uittreden naar de werkruimte < 1%.

Bij het werken met tracer-vials kan het in uitzonderlijke gevallen voorkomen dat de vial breekt en er een wondbesmetting optreedt. De kans op deze gebeurtenis is echter minder dan eenmaal per jaar, en zal daarom niet worden meegenomen in de berekening van de blootstelling van de werknemer.

Bovenstaande laboratorium-gerelateerde gebeurtenissen kunnen ook plaatsvinden tijdens het werken met de samples van proefpersonen. Deze samples bevatten echter een veel lagere activiteitsconcentratie (maximaal 3.7 kBq/ml) en blootstelling hieraan zal resulteren in een lagere dosis dan bij blootstelling aan de tracers. Blootstelling aan de samples zal dus niet worden meegenomen in deze RI&E.

**g. Welke technische en organisatorische maatregelen zijn genomen om de blootstelling van werknemers te voorkomen dan wel te minimaliseren?**

- Er zijn werkinstructies (Standard Operational Procedure, SOP) opgesteld voor de gebruik van het toestel en voor het werken met radioactieve stoffen op het lab.
- Gebruik van continue dosis tempometers met waarschuwingssignalering in AMS-ruimtes:
  - o 1.1 MV toestellen: bij de ESA en de bron van beide toestellen
  - o 230 kV toestellen: bij de ESA en bij de bron/versneller van beide toestellen.
- Dragen van een persoonlijke Mirion dosimeter.
- D-laboratorium kent een beperkte toegankelijkheid via passysteem
- Noodstop knoppen binnen en buiten de ruimte.
- Lood afscherming in het glas van de source
- Werken met persoonlijke bescherming middelen (PBM), zoals een jas, veiligheidsbril en handschoenen.

## 2.2 Stap 2: Bepaling van de blootstelling

### 2.2.1 Uitgangspunten berekening

De volgende uitgangspunten zijn gebruikt voor de berekeningen:

- Voor de reguliere blootstelling wordt enkel de dosis ten gevolge van externe straling in beschouwing genomen. De dosis ten gevolge van inwendige besmetting en huidbesmetting wordt enkel beschouwd onder potentiële blootstelling.
- De equivalente ooglensdosis wordt gelijkgesteld aan de effectieve dosis, aangezien de afstand van het lichaam tot de bron nagenoeg gelijk is aan de afstand van de ogen tot de bron.
- De handen zijn bij de reguliere handelingen met open bronnen dichterbij de bron dan het lichaam, maar de bron wordt dermate afgeschermd dat dit niet tot verhoogde blootstelling van de extremiteiten leidt.
- Bij de handelingen met de AMS-toestellen is het ook aannemelijk dat de afstand van de handen tot het toestel vergelijkbaar zal zijn met de afstand tot het lichaam. Daarom wordt voor de reguliere blootstelling ook de equivalente huiddosis gelijk gesteld aan de effectieve dosis.
- De reguliere dosis wordt eerst bepaald als een collectieve dosis voor alle werknemers, en daarna verdeeld over de 10 werknemers die daar werkzaam zijn.
- Er wordt verondersteld dat de afschermende werking van de ramen en/of gipsen wanden nihil is.

In Bijlage 1 en 2 zijn de gebruikte parameters weergegeven in de tabellen.

#### 2.2.1.1 AMS-toestellen

Voor de handelingen met de AMS-toestellen is er enkel sprake van blootstelling aan strooistraling. Voor de dosisbepalingen worden de dosistempi gehanteerd volgens de opgave van de leverancier [3] en op basis van historische gegevens van TNO.

Het dosistempo wat gebruikt is voor de berekeningen ten gevolge van strooistraling van de 1.1 MV AMS-toestellen, tijdens regulier gebruik, is 0.2  $\mu\text{Sv}/\text{uur}$ , zie Tabel 2. Dit is een conservatieve schatter is op basis van meetgegevens (max 0.13  $\mu\text{Sv}/\text{uur}$  op 1.5 m, zie Bijlage 3) en het maximale dosistempo volgens de fabrikant (0.5  $\mu\text{Sv}/\text{uur}$ ) op 1 meter afstand van de bron, versneller en ESA. Tijdens onderhoud kan het dosistempo ter hoogte van de versneller oplopen tot 20  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  en bij de ESA 550  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ . Dit hoge dosistempo bij de ESA zal echter maar enkele fracties van seconden duren. Tijdens het



onderhoud wordt daarom generiek uit gegaan van een dosistempo van 50  $\mu\text{Sv/h}$  bij de ESA. De operators zullen tijdens onderhoud echter op afstand aanwezig zijn, in de operator room. Voor de 230 kV AMS is het dosistempo van de strooistraling tijdens regulier gebruik kleiner dan 0,3  $\mu\text{Sv/uur}$  op 10 cm van de verschillende onderdelen, zie Tabel 3. Tijdens onderhoud kan dit oplopen tot 25  $\mu\text{Sv/h}$  bij de versneller en 5  $\mu\text{Sv/h}$  bij de ESA, beide op 10 cm afstand [4].

Voor de berekening is het dosistempo gebruikt van het onderdeel wat het dichtst bij de desbetreffende positie van de medewerker is.

Tabel 2 Dosistempi rondom de 1.1 MV AMS versneller

Bron	Dosistempo op 1 m ( $\mu\text{Sv/h}$ )
Source	0.2
Versneller	0.2
ESA	0.2
Versneller – onderhoud	20
ESA - opstarten	50

Tabel 3 Dosistempi rondom de 230 kV AMS versneller

Bron	Dosistempo op 10 cm ( $\mu\text{Sv/h}$ )
Source	0.3
Versneller	0.3
ESA	0.3
Versneller – onderhoud	25
ESA - opstarten	5

Voor de berekening van de werknemerdosिस zijn bovenstaande dosistempi met behulp van de kwadratenwet verdisconteerd naar de relevante afstanden waarop de medewerkers zich bevinden. De posities waar de medewerkers zich bevinden zijn genummerd van 1 t/m 10, zie Figuur 3 voor de 1.1 MV AMS toestellen en Figuur 4 voor de 230 kV toestellen. Vervolgens zijn de dosistempi vermenigvuldigd met de verblijfsduur per jaar om zo de jaardosis te bepalen. De afstanden en verblijfstijden staan in Tabel 8 en Tabel 9 in Bijlage 1 voor de reguliere handelingen, en in Tabel 10 en Tabel 11 in Bijlage 2 voor de gebeurtenissen.

Een voorbeeld van een berekening is opgenomen in Bijlage 1.

#### 2.2.1.2 Open bronnen

De externe straling ten gevolge van de  $^{14}\text{C}$  bronnen is nihil [5]. Daarom wordt er voor de open bronnen enkel gerekend met inwendige besmettingsscenario's en huidbesmetting. Voor de berekening van de equivalente huid dosis en/of de effectieve volg dosis wordt gemaakt van de relevante dosis(conversie)coëfficiënten uit Keveling-Buisman [5], een activiteit per sample van 37 MBq voor de tracer-oplossing, 35 MBq voor de tracer-stockoplossing en 4.8 MBq voor de poedervormige tracer. De aanname is dat er maximaal 1% van een sample wordt ingeslikt of op de huid terecht komt, en maximaal 0.1% wordt geïnhaled. De uitwerking van de berekening voor blootstelling aan de open bronnen staat in Tabel 12 in Bijlage 2.

## 2.2.2 Blootstelling

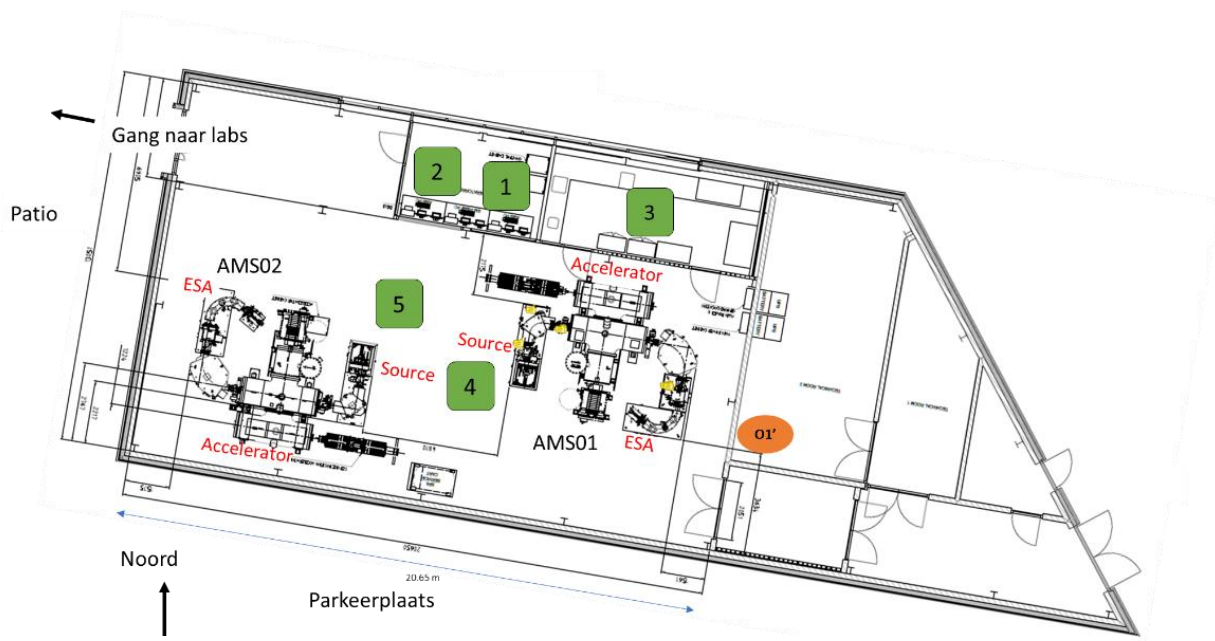
### a. Wat is de reguliere blootstelling van werknemers?

De reguliere blootstelling van de werknemers bestaat uit blootstelling ten gevolge van handelingen met de AMS versnellers. De blootstelling ten gevolge van handelingen met radioactieve stoffen in reguliere omstandigheden is verwaarloosbaar, aangezien de externe straling van  $^{14}\text{C}$  verwaarloosbaar is. Voor de berekening is het toekomstige tweede 230 kV toestel ook meegenomen. De resultaten van de dosisberekeningen is weergegeven in Tabel 4.

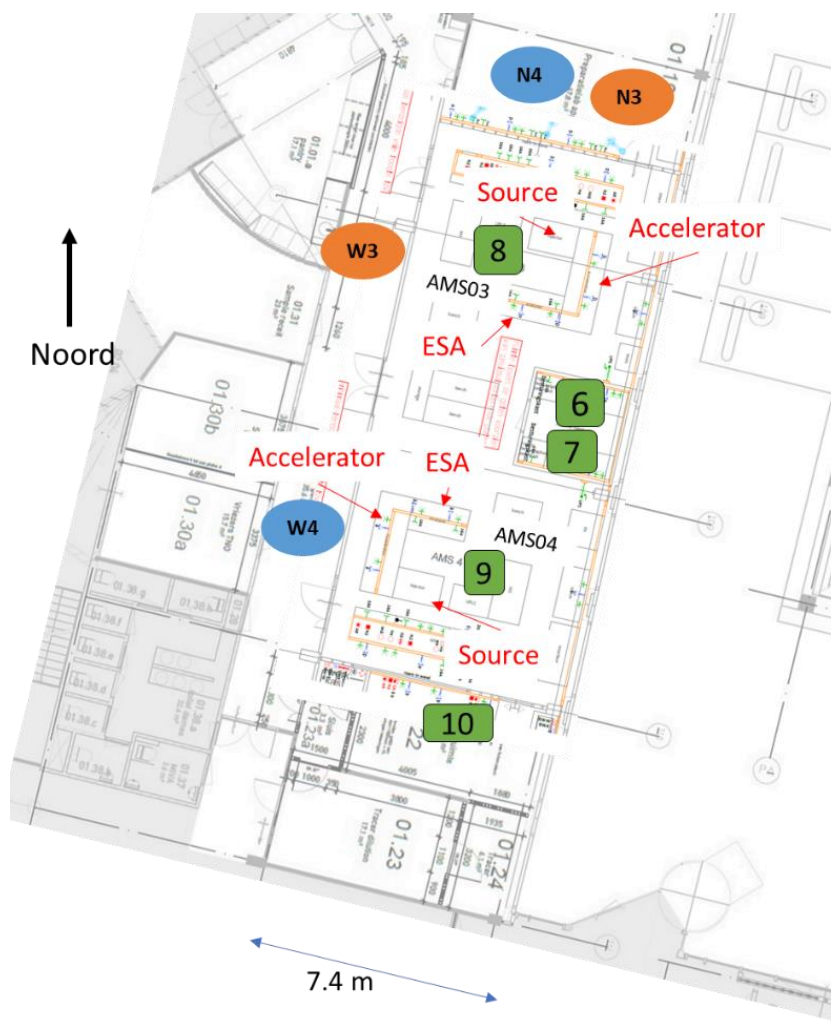
De totale collectieve effectieve dosis per jaar is 281  $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$  (0.28 mSv/jaar).

Tabel 4 Werknemer dosis ten gevolge van reguliere handelingen

Handeling	Equivalentente huiddosis [ $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ ]	Effectieve dosis [ $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ ]
H1: Uitvoeren analyses AMS	281	281
H2: Handelingen met $^{14}\text{C}$ samples	<0.001	<0.001
H3: IJking met $^{14}\text{C}$ -tracers	<0.001	<0.001
H4: IJking met ingekapselde bronnen	<0.001	<0.001
<b>Collectieve dosis (10 werknemers) (mens-<math>\mu\text{Sv}</math>)</b>	<b>281</b>	<b>281</b>



Figuur 3 Posities medewerkers bij de 1.1 MV AMS toestellen (posities nr. 1 t/m 5) en dosispunt 01' voor omliggende ruimte.



Figuur 4 Posities medewerkers bij de 230 kV AMS toestellen (posities nr. 6 t/m 10) en dosispunten voor omliggende ruimten (N3, N4, W3 en W4)

## b. Wat is de potentiële blootstelling van werknemers?

Voor de potentiële blootstelling is gesteld dat de voorziene onbedoelde gebeurtenissen bij de AMS versnellers twee keer per jaar voorkomt en dat de blootstellingsroute externe straling betreft. Voor de berekening is het toekomstige tweede 230 kV toestel ook meegenomen. Er wordt aangenomen dat er enkel medewerkers aanwezig zijn in de operator rooms en niet in de overige werkruimtes.

De potentiële blootstelling voor één werknemer, ten gevolge van blootstelling aan stroostraling van de AMS en aan C-14 wordt bepaald door externe straling, inhalatie, ingestie en huidbesmetting en bedraagt 284  $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$  (0.28 mSv/jaar) voor de huiddosis en 243  $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$  (0.24 mSv/jaar) voor de effectieve dosis.

De resultaten van de dosisberekeningen is weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 Werknemer dosis ten gevolge van gebeurtenissen

Gebeurtenis	Equivalenten huiddosis [ $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ ]	Effectieve dosis [ $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ ]
G1: AMS opstarten na storing	1.9	1.9
G2: Ingestie tracer	-	235
G3: Huidbesmetting tracer	282	3
G4: Inhalatie tracer	-	3
<b>Totale dosis, potentieel (<math>\mu\text{Sv}</math>)</b>	<b>284</b>	<b>243</b>

## c. Wat is de kans op het zich voordoen van de voorziene, onbedoelde gebeurtenis?

De kans op AMS-uitval door spanning of andere storingen is 2x per jaar. Gesteld wordt dat elke werknemer kans heeft dat de gebeurtenis met radioactieve stoffen eenmaal per jaar voorkomt.

## d. Wat is het effect van persoonlijke beschermingsmiddelen?

De getroffen technische en organisatorische maatregelen om de blootstelling van werknemers en derden te voorkomen of te beperken zijn beschreven in paragraaf 2.3, onderdeel g. Tijdens de uitvoering van de (deel)handelingen met de AMS-toestellen worden geen persoonlijke beschermingsmiddelen toegepast die een afschermende werking hebben. De source van beide AMS toestellen is voorzien van een loodraam en loodschermb. Tijdens de uitvoering van de (deel)handelingen met C-14 worden een labjas, veiligheidsbril en handschoenen gedragen. Dit voorkomt contaminatie van kleding, huid en ogen.

## 2.3 Stap 3: Risico-evaluatie

Wordt voldaan aan de wettelijk vereiste:

**a. Bepalingen t.a.v. rechtvaardiging en optimalisatie?**

De toepassing behoort tot de algemeen gerechtvaardigde handelingen vallend binnen categorie I.C.1, analyse en onderzoek d.m.v. ioniserende straling en staat benoemd in Bijlage 2.1 van de Regeling basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Rbs). Met de maatregelen uit paragraaf 2.1, *onderdeel g* wordt invulling gegeven aan het optimalisatieprincipe.

**b. De dosislimieten?**

Voor de effectieve lichaamsdosis is het wettelijke dosislimiet voor blootgestelde werknemers 20 mSv/jaar en voor niet-blootgestelde werknemers 1 mSv/jaar. De collectieve dosis in Tabel 6 toont aan dat de dosislimieten voor niet-blootgestelde werknemers niet worden overschreden. Hierbij is de totale collectieve dosis van 281  $\mu$ Sv/jaar voor reguliere blootstelling verdeeld over tien werknemers, resulterend in een persoonsdosis van 28  $\mu$ Sv/jaar voor reguliere blootstelling en 242  $\mu$ Sv/jaar voor potentiële blootstelling.

De maximale totale blootstelling (regulier en voorzien, onbedoeld) blijft beperkt tot 0.3 mSv. Dit is beneden de wettelijke limieten voor niet-blootgestelde werkers (1 mSv/jaar).

Tabel 6 Totale reguliere en potentiële persoonsdosis

	Equivalente huiddosis [ $\mu$ Sv/jaar]	Effectieve dosis [ $\mu$ Sv/jaar]
Regulier (totale collectieve dosis)	281	281
Aantal werknemers	10	10
Regulier (totale persoonsdosis)	28	28
Potentieel (totale persoonsdosis)	284	242
<b>Totale persoonsdosis (regulier + potentieel) [<math>\mu</math>Sv/jaar]</b>	<b>312</b>	<b>270</b>

**c. De dosisbeperkingen?**

Gezien de berekende dosis worden er verder geen dosisbeperkingen doorgevoerd.

**d. De identificatie van de blootgestelde werknemers op basis van de reguliere en potentiële blootstelling?**

De hierboven genoemde totale doses ten gevolge van reguliere en potentiële blootstelling is beneden de dosislimiet voor niet-blootgestelde werknemers.

**e. De indeling van blootgestelde werknemers in categorie A of B op basis van de reguliere en potentiële blootstelling?**

Op basis van de blootstellingsgegevens betreft het niet blootgesteld werknemers en is een indeling in categorie A of B niet relevant.

**f. De identificatie en indeling van ruimten in gecontroleerde of bewaakte zone?**

De ruimtes met de AMS-toestellen en het laboratorium waar gewerkt wordt met de verdunde monsters hoeven niet geclassificeerd te worden als bewaakte of gecontroleerde zone. De laboratoria op D-niveau worden geclassificeerd als bewaakte zones.

**g. De noodzaak tot actualisering van getroffen maatregelen?**

Er is geen noodzaak tot het actualiseren van de getroffen maatregelen.

### 3 Dosisbepaling omliggende ruimtes

Aanvullend op de berekening van de werknemerdosis voor de werknemers die zich tijdens de handelingen in de ruimte zelf bevinden is de dosis in de aangrenzende ruimtes berekend rondom de AMS-toestellen.

Rondom de 1.1 MV AMS-toestellen zijn dit de technische ruimtes ter hoogte van punt O1', zie Figuur 3. Men zal in de ruimte bij punt O1' alleen aanwezig zijn buiten de onderhoudsmomenten.

De omliggende ruimtes rondom de 230 kV toestellen zijn het niet-geclassificeerde lab aan de noordzijde van de AMS-ruimte (punten N3 en N4) en de gang aan de westzijde (punten W3 en W4), zie Figuur 4. De verblijfsfactor voor het verblijf op de gang (W4) is  $1/20^e$  van 2000 uur per jaar [6].

Voor de dosisberekening wordt gebruik gemaakt van de dosistempi uit Tabel 2 en Tabel 3 en de verblijfsduur uit de tweede kolom in Tabel 7.

Er wordt verondersteld dat de afschermdende werking van de ramen en/of gipsen wanden nihil is.

Conclusie: op basis van deze berekeningen blijft de dosis in de aangrenzende ruimten in alle gevallen onder de wettelijke limiet van 1 mSv.

Tabel 7 Effectieve dosis in omliggende ruimtes.

Ruimte	Verblijfsduur [h/jaar]	Effectieve dosis [ $\mu$ Sv/jaar]
<b>Omliggende ruimte bij 1.1 MV AMS</b>		
O1'	8 (niet tijdens onderhoud)	1.5
<b>Omliggende ruimtes bij 230 kV AMS</b>		
N3 (UPLC)	1800	2.2
N4 (UPLC)	1800	1.1
W3 (koffiecorner)	400	0.5
W4 (gang)	100	8.4

## Bibliografie

- [1] *Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming 2017, Stb. 2017, 404.*
- [2] *Regeling Stralingsbescherming beroepsmatige blootstelling (SZW, 2018) Bijlage A, behorende bij artikel 2.1; Nadere eisen en elementen betreffende de risico-inventarisatie en –evaluatie.*
- [3] H. V. E. E. B.V., *Radiation Safety Report 1.0 MV Tandetron Accelerator Mass Spectrometer Model 4110Bo*, Amersfoort: High Voltage, 2018.
- [4] H. V. E. E. B.V., *Radiation Safety and Security Report HVE Model 4102Bo-AMS system*, Amersfoort, 2022.
- [5] A. Keverling-Buisman, *The radionuclide handbook*, Schoorl: Uitgeverij Nucleus, 2020.
- [6] *NCRP report nr. 147 Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities, Appendix A en B (gepubliceerd in 2004).*

## Bijlage 1 Dosisberekening reguliere handelingen

Voorbeeldberekening voor dosispunt 1. Operator ruimte ten gevolge van handelingen met de 1.1 AMS toestellen.

$$\text{Dosis op relevante afstand van AMS – onderdeel } (\mu\text{Sv}) = \frac{\text{dosistempo op 1 m } (\frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}})}{\text{afstand}^2 (\text{m}^2)} * \text{verblijfsduur (h)}$$

NB: de dosistempi zoals weergegeven in Tabel 2 gelden als maximaal dosistempo op 1 m buiten het desbetreffende AMS-deel. Als men dichterbij de versneller is dan bij de source, zal er dus geen sommatie plaatsvinden over eventuele dosis ten gevolge van de overige onderdelen. De stralingsbelasting van de overige onderdelen zijn al onderdeel van het dosistempo in dat punt.

Voor de operator op dosispunt 1 die gedurende 360 uur per jaar wordt blootgesteld aan de verstrooide straling van de versneller resulteert dit in:

$$\frac{0.2}{3.1^2} * 360 = 7.5 \mu\text{Sv/jaar}$$

De effectieve jaardosis is de som van de dosis per AMS onderdeel:

$$\text{Effectieve jaardosis } (\mu\text{Sv}) = \sum \text{dosis op relevante afstand van AMS – onderdeel } (\mu\text{Sv})$$

Voor dosispunt 1 is dit 11  $\mu\text{Sv/jaar}$ .



Tabel 8 Werknemerdosिस ten gevolge van handelingen met de 1.1 MV AMS-toestellen

		Afstand (m)				
		1. Operator ruimte (links)	2. Operator ruimte (rechts)	3. Pressing room	4. Werkplaats (links)	5. Werkplaats (rechts)
<b>AMS01</b>						
	Source	3.3	3.3	2.4	1.5	4.2
	Versneller	3.1	3.1	1.8	4.4	7
	ESA	7.6	7.6	6	6.4	9
<b>AMS02</b>						
	Source	5.9	5.9	8.1	4.2	1.5
	Versneller	9.4	9.4	11.8	7	4.4
	ESA	8.3	8.3	12.5	9	6.3
Dosistempo op 1m (μSv/h) vlg fabrikant en metingen		Dosistempo op relevante afstand (μSv/h)				
	<b>AMS01</b>	μSv/h	μSv/h	μSv/h	μSv/h	μSv/h
	Source	0.2				0.01
	Versneller	0.2	0.02	0.02	0.06	0.01
	ESA	0.2				
	Versneller - onderhoud	20	2.08	2.08	-	-
	ESA - opstarten	50	0.87	0.87	-	-
	<b>AMS02</b>	μSv/h	μSv/h	μSv/h	μSv/h	μSv/h
	Source	0.2	0.01	0.01	0.00	0.01
	Versneller	0.2				
	ESA	0.2				
	Versneller - onderhoud	20	0.23	0.23	-	-
	ESA - opstarten	50	0.73	0.73	-	-
	<b>Dosistempo totaal, regulier (μSv/h)</b>		<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>
	<b>Dosistempo max, onderhoud (μSv/h)</b>		<b>2.1</b>	<b>2.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>

		Aantal uur per jaar aanwezig				
<b>AMS01</b>		<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>
Source		360	360	720	360	360
Versneller		360	360	720	360	360
ESA		360	360	720	360	360
Versneller - onderhoud		0.4	0.4	-	-	-
ESA - opstarten		0.017	0.017	-	-	-
<b>AMS02</b>		<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>
Source		360	360	720	360	360
Versneller		360	360	720	360	360
ESA		360	360	720	360	360
Versneller - onderhoud		0.4	0.4	-	-	-
ESA - opstarten		0.017	0.017	-	-	-
		Dosis per AMS-onderdeel				
<b>AMS01</b>		<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>
Source		0.0	0.0	0.0	0.0	4.1
Versneller		7.5	7.5	44.4	3.7	0.0
ESA		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Versneller - onderhoud		0.8	0.8	-	-	-
ESA - opstarten		0.0	0.0	-	-	-
<b>AMS02</b>		<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>
Source		2.1	2.1	2.2	4.1	32.0
Versneller		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ESA		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Versneller - onderhoud		0.1	0.1	-	-	-
ESA - opstarten		0.0	0.0	-	-	-
<b>Dosis (μSv/jaar) - regulier</b>		<b>11</b>	<b>11</b>	<b>47</b>	<b>8</b>	<b>36</b>
Afschermingsmateriaal		Glas	Glas	Glas	Geen	Geen
Afschermingsdikte (cm)		1.6	1.6	1.6	0.0	0.0
Transmissie		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Dosis (μSv/jaar) - regulier</b>		<b>11</b>	<b>11</b>	<b>47</b>	<b>8</b>	<b>36</b>

Tabel 9 Werknemerdosistenen gevolge van handelingen met de 230 kV AMS-toestellen

		Afstand (m)				
		6. Operator ruimte (rechts)	7. Operator ruimte (links)	8. Werkplaats (rechts)	9. Werkplaats (links)	10. Pressing room
<b>AMS03</b>						
	Source	4.4	4.4	1	8	4.2
	Versneller	2.2	2.2	2.5	9.5	7
	ESA	3.3	3.3	1	8	9
<b>AMS04</b>						
	Source	5.3	5.3	8	1	1.5
	Versneller	4.8	4.8	9.5	2.5	4.4
	ESA	3.3	3.3	8	1	6.3
Dosistempo op 1m (μSv/h) vlg fabrikant en metingen		Dosistempo op relevante afstand (μSv/h)				
<b>AMS03</b>		μSv/h	μSv/h	μSv/h	μSv/h	μSv/h
	Source	0.3				
	Versneller	0.3	0.00	0.00		
	ESA	0.3		0.00	0.00	0.00
	Versneller - onderhoud	25	0.05	0.05	-	-
	ESA - opstarten	5	0.00	0.00	-	-
<b>AMS04</b>		μSv/h	μSv/h	μSv/h	μSv/h	μSv/h
	Source	0.3				
	Versneller	0.3				0.00
	ESA	0.3	0.00	0.00	0.00	0.00
	Versneller - onderhoud	25	0.01	0.01	-	-
	ESA - opstarten	5	0.00	0.00	-	-
<b>Dosistempo totaal, regulier (μSv/h)</b>		<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Dosistempo max, onderhoud (μSv/h)</b>		<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>

		Aantal uur per jaar aanwezig				
<b>AMS03</b>		<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>
Source		720	720	540	540	720
Versneller		720	720	540	540	720
ESA		720	720	540	540	720
Versneller - onderhoud		0.4	0.4	-	-	-
ESA - opstarten		0.017	0.017	-	-	-
<b>AMS04</b>		<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>
Source		720	720	540	540	720
Versneller		720	720	540	540	720
ESA		720	720	540	540	720
Versneller - onderhoud		0.4	0.4	-	-	-
ESA - opstarten		0.017	0.017	-	-	-
		Dosis per AMS-onderdeel				
<b>AMS03</b>		<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>
Source		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Versneller		0.4	0.4	0.0	0.0	0.0
ESA		0.0	0.0	1.6	0.0	0.0
Versneller - onderhoud		0.0	0.0	-	-	-
ESA - opstarten		0.0	0.0	-	-	-
<b>AMS04</b>		<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>	<b>μSv/jaar</b>
Source		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Versneller		0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
ESA		0.2	0.2	0.0	1.6	0.0
Versneller - onderhoud		0.0	0.0	-	-	-
ESA - opstarten		0.0	0.0	-	-	-
<b>Dosis (μSv/jaar) - regulier</b>		<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>1.6</b>	<b>1.6</b>	<b>0.1</b>
Afschermingsmateriaal		Glas	Glas	Geen	Geen	Geen
Afschermingsdikte (cm)		1.6	1.6	0.0	0.0	0.0
Transmissie		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Dosis (μSv/jaar) - regulier</b>		<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>1.6</b>	<b>1.6</b>	<b>0.1</b>

## Bijlage 2 Dosisberekening gebeurtenissen

Tabel 10 Werknemer dosis ten gevolge van gebeurtenissen bij de 1.1 MV AMS-toestellen

		Afstand (m)	
		1. Operator ruimte (links)	2. Operator ruimte (rechts)
<b>AMS01</b>			
Versneller		3.1	3.1
ESA		7.6	7.6
<b>AMS02</b>			
Versneller		9.4	9.4
ESA		8.3	8.3
Dosistempo op 1m ( $\mu\text{Sv/h}$ ) vlg fabrikant en metingen		Dosistempo op relevante afstand ( $\mu\text{Sv/h}$ )	
<b>AMS01</b>		$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$
Versneller - onderhoud	20	2.08	2.08
ESA - opstarten	50	0.87	0.87
<b>AMS02</b>		$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$
Versneller - onderhoud	20	0.23	0.23
ESA - opstarten	50	0.73	0.73
<b>Dosistempo max, onderhoud (<math>\mu\text{Sv/h}</math>)</b>		<b>2.1</b>	<b>2.1</b>
		Aantal uur per jaar aanwezig	
<b>AMS01</b>		<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>
Versneller - onderhoud		0.8	0.8
ESA - opstarten		0.03	0.03
<b>AMS02</b>		<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>
Versneller - onderhoud		0.8	0.8
ESA - opstarten		0.03	0.03
<b>Dosis (<math>\mu\text{Sv/jaar}</math>)</b>		<b>1.9</b>	<b>1.9</b>
Afschermingsmateriaal		Glas	Glas
Afschermingsdikte (cm)		1.6	1.6
Transmissie		1.00	1.00
<b>Dosis (<math>\mu\text{Sv/jaar}</math>)</b>		<b>1.9</b>	<b>1.9</b>

Tabel 11 Werknemerdosistenen gevolge van gebeurtenissen met 230 kV AMS-toestellen

		Afstand (m)	
		6. Operator ruimte (links)	7. Operator ruimte (rechts)
<b>AMS03</b>			
Versneller		2.2	2.2
ESA		3.3	3.3
<b>AMS04</b>			
Versneller		4.8	4.8
ESA		3.3	3.3
Dosistempo op 1m ( $\mu\text{Sv/h}$ ) vlg fabrikant en metingen		Dosistempo op relevante afstand ( $\mu\text{Sv/h}$ )	
<b>AMS03</b>		$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$
Versneller - onderhoud	25	0.05	0.05
ESA - opstarten	5	0.00	0.00
<b>AMS04</b>		$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$
Versneller - onderhoud	25	0.01	0.01
ESA - opstarten	5	0.00	0.00
<b>Dosistempo max, onderhoud (<math>\mu\text{Sv/h}</math>)</b>		<b>0.1</b>	<b>0.1</b>
		Aantal uur per jaar aanwezig	
<b>AMS03</b>		<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>
Versneller - onderhoud		0.8	0.8
ESA - opstarten		0.03	0.03
<b>AMS04</b>		<b>h/jaar</b>	<b>h/jaar</b>
Versneller - onderhoud		0.8	0.8
ESA - opstarten		0.03	0.03
<b>Dosis (<math>\mu\text{Sv/jaar}</math>)</b>		<b>0.1</b>	<b>0.1</b>
Afschermingsmateriaal		Glas	Glas
Afschermingsdikte (cm)		1.6	1.6
Transmissie		1.00	1.00
<b>Dosis (<math>\mu\text{Sv/jaar}</math>)</b>		<b>0.1</b>	<b>0.1</b>

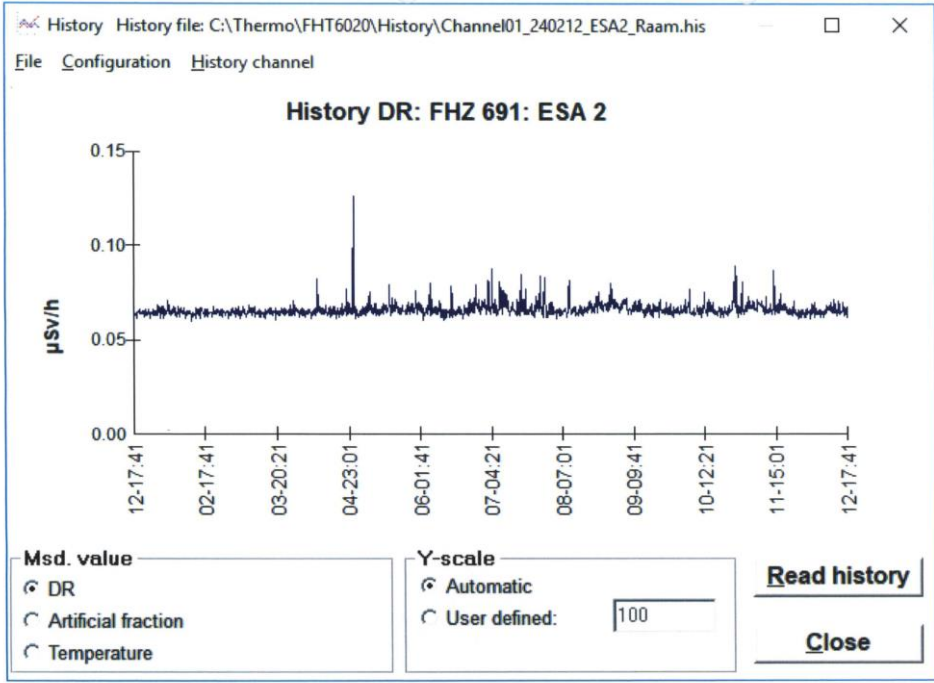
Tabel 12 Werknemerdosिस ten gevolge van gebeurtenissen met C-14

	Activiteits-concentratie (MBq/ml)	Inhoud (ml)	Activiteit sample (MBq)	Fractie ingestie	Activiteit ingestie (MBq)	e50 ingestie (Sv/Bq)	Ingestie-dosis (μSv)				
<b>Gebeurtenis 2a: Ingestie traceroplossing</b>	37	1	37	1%	0.37	5.80E-10	<b>215</b>				
<b>Gebeurtenis 2a: Ingestie tracer-stockoplossing</b>	0.1	350	35	0.1%	0.035	5.80E-10	<b>20</b>				
	Activiteits-concentratie (MBq/ml)	Inhoud (ml)	Activiteit sample (MBq)	Fractie huidbesmetting	Activiteit huidbesmetting (MBq)	Blootstellings-duur (s)	Oppervlakte (cm <sup>2</sup> )	Activiteit per cm <sup>2</sup> (MBq/cm <sup>2</sup> )	hp(0.07) (Sv/s per Bq/cm <sup>2</sup> )	Equivalenten huiddosis (μSv)	Effectieve dosis (μSv)
<b>Gebeurtenis 3a: Huidbesmetting traceroplossing</b>	37	1	37	1%	0.37	60	5	0.07	5.00E-11	<b>222</b>	<b>2.22</b>
<b>Gebeurtenis 3a: Huidbesmetting tracer-stockoplossing</b>	0.1	350	35	0.3%	0.1	60	5	0.02	5.00E-11	<b>60</b>	<b>0.60</b>
	Activiteits-concentratie (MBq/mg)	Gewicht (mg)	Activiteit sample (MBq)	Fractie inhalatie	Activiteit inhalatie (MBq)	e50 inhalatie organische gassen (Sv/Bq)	Inhalatie-dosis (μSv)				
<b>Gebeurtenis 4: Inhalatie poedervormige tracer</b>	1.36	3.5	4.76	0.1%	0.00476	5.80E-10	<b>3</b>				

### Bijlage 3 Historische meetgegevens 1.1 MV AMS



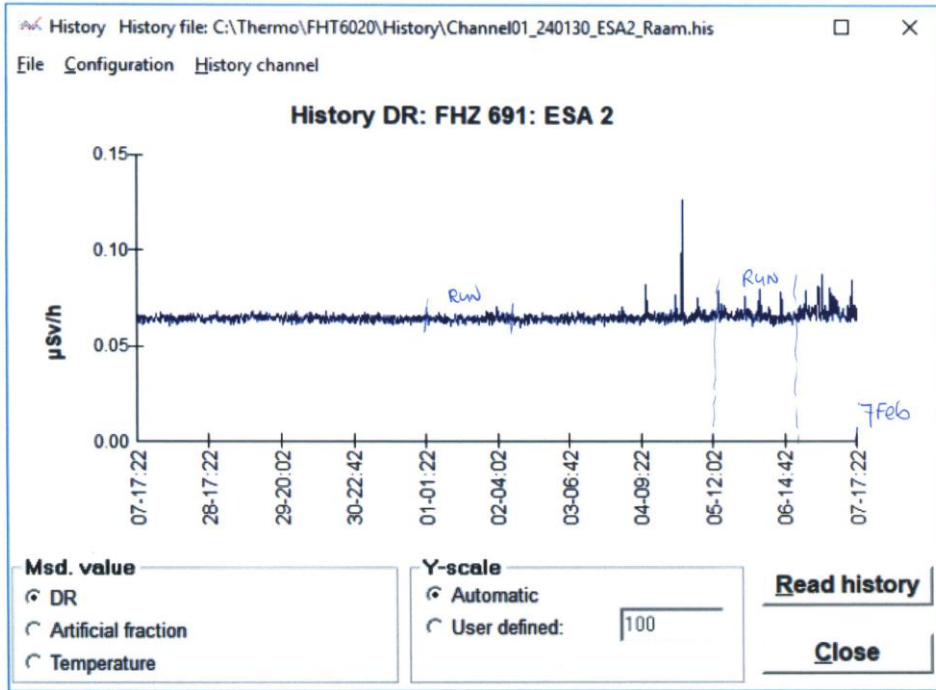




5 Feb 24  
 tk  
 12 Feb 24  
 Ams -ews ①  
 5 Feb: started 14:42  
 ↓  
 6 Feb 1:20 END

②  
 7 Feb started: 14:50  
 ↓  
 END: 8 Feb 8:23

③  
 started 9 Feb 14:16  
 ↓  
 END 10 Feb 00:25



AMS - runs:

1 Feb 24 13:52



2 Feb 4:18

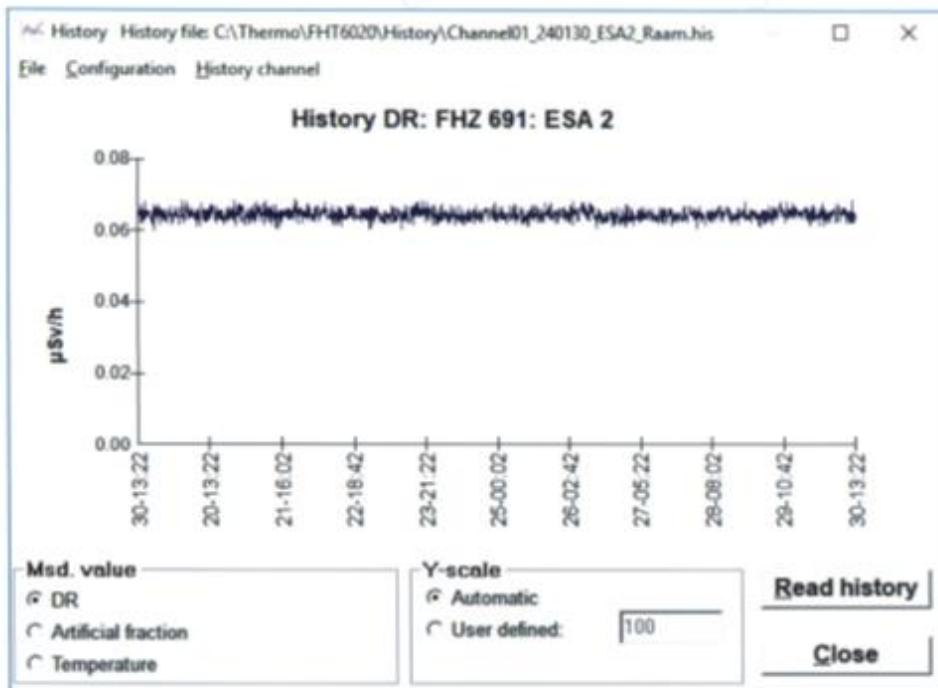
(↓ No AMS run.  
5 Feb  
↓)

5 Feb 24 (14:42)



6 Feb 24 (1:20)

7 Feb 24 (14:50)  
Started.



Run 1

24 Jan 24

started: 15:50



25 Jan 24

stopped: 21:40

Run 2

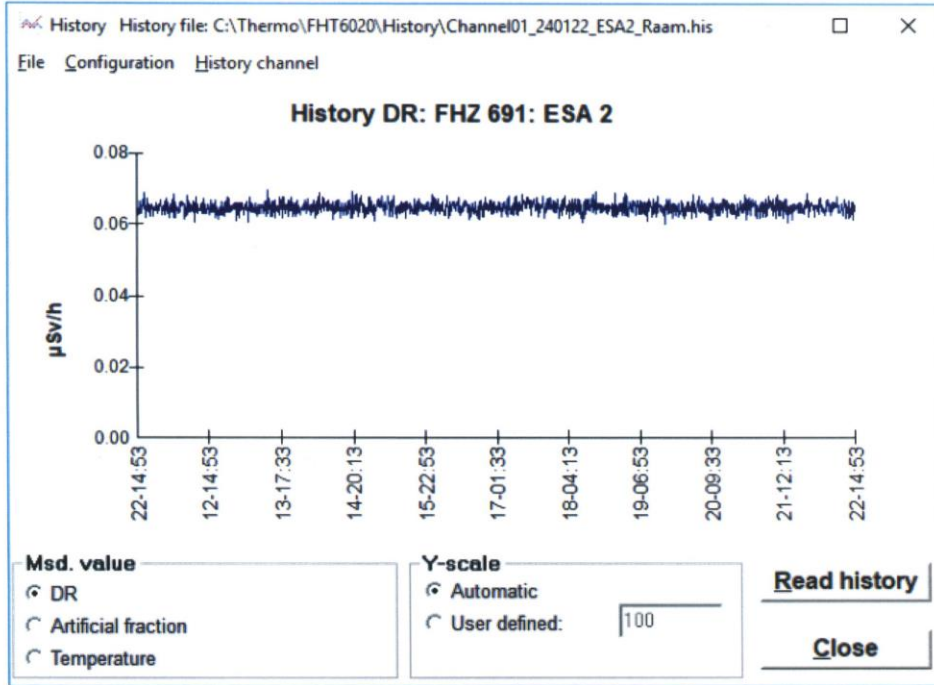
26 Jan 24

started: 15:55



27 Jan 24

stopped: 13:35



AMS-runs:

15/1/24 (15:57)

↓ ①

17/1/24 (11:15)

18/1/24 (12:06)

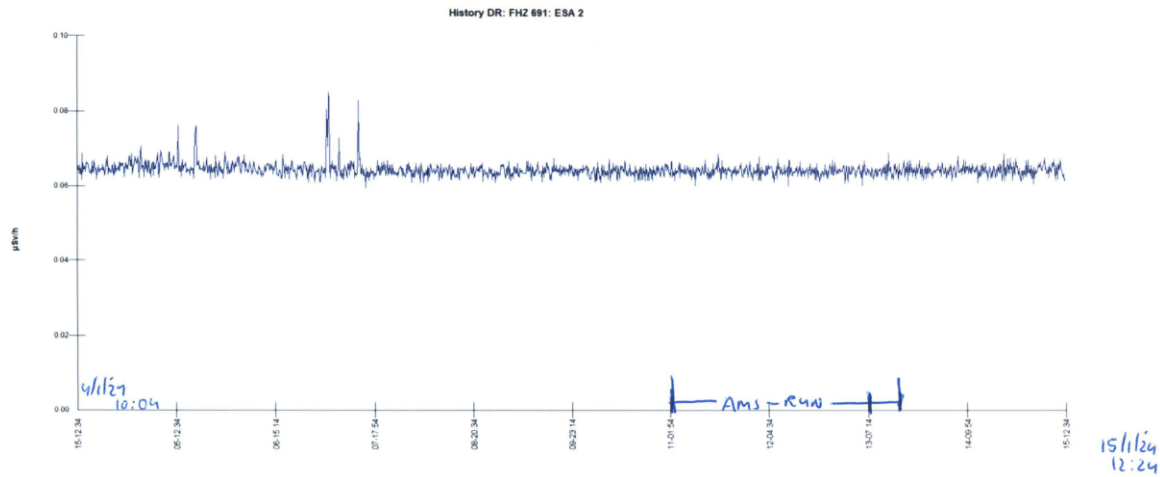
↓ ②

19/1/24 (7:30)

19/1/24 (11:21)

↓ ③

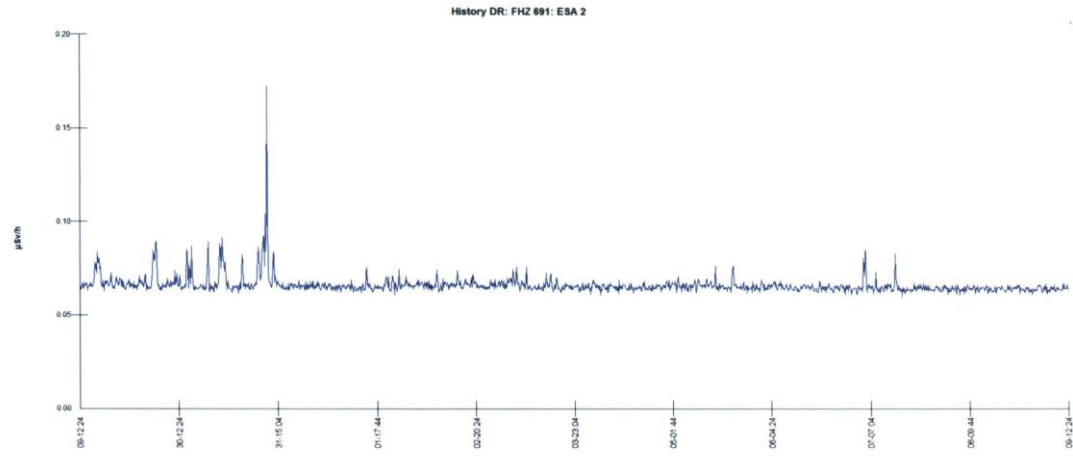
20/1/24 (3:04)



<p><b>Msd. value</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> DR</li> <li><input type="radio"/> Artificial fraction</li> <li><input type="radio"/> Temperature</li> </ul>	<p><b>Y-scale</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> Automatic</li> <li><input type="radio"/> User defined: <input style="width: 50px; text-align: center;" type="text" value="100"/></li> </ul>	<p><b>Read history</b></p> <hr/> <p><b>Close</b></p>
---	--	--

AMS-Run: 11/1/23 → 15:15 started  
 13/1/23 → 5:18 ended.

ESA in Ramposite.



<b>Msd. value</b> <input type="radio"/> DR <input type="radio"/> Artificial fraction <input type="radio"/> Temperature	<b>Y-scale</b> <input type="radio"/> Automatic <input checked="" type="radio"/> User defined: <input type="text" value="100"/>	<b>Read history</b>  <b>Close</b>
---	--	---

VAN 2g12123 (g:54) → g1124 (12:14).

2m VAN ESA (ANSOZ)  
(before window).