



Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

# Meting van **gamma- en neutronendosis**tempo op het terrein van NRG, Petten, op 12 september 2023



**Meting van gamma- en neutronendosis tempo  
op het terrein van NRG, Petten,  
op 12 september 2023**

RIVM-briefrapport 2023-0445

## Colofon

© RIVM 2023

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van haar producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook [www.rivm.nl/toegankelijkheid](http://www.rivm.nl/toegankelijkheid).

DOI 10.21945/RIVM-2023-0445

P.J.M. Kwakman (auteur), RIVM

Contact:

P.J.M. Kwakman

Centrum Veiligheid, Stralingsincidenten, Monitoring en Analyses

Pieter.kwakman@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming in het kader van project Site Monitoring Straling

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

## Publiekssamenvatting

### **Meting van gamma- en neutronendosistempo op het terrein van NRG, Petten, op 12 september 2023**

Het RIVM heeft het stralingsniveau bij de Nuclear Research and Consultancy Group (NRG te Petten) gemeten. Dit is op 12 september 2023 gedaan op vier locaties op het terrein.

De metingen van slechts 90 minuten geven aan dat er in deze meetsessies vrijwel geen toegevoegd neutronen dosistempo meetbaar is. Dat wil zeggen dat er bijna geen verschil is met de dosis die er van nature is. Op drie van de vier locaties is er wel een toegevoegd gammadosistempo meetbaar. Dit is gemeten binnen het terrein nabij de hoge fluxreactor en bij de productiefaciliteit van molybdeen-99.

Het RIVM heeft niet aan de terreingrens van het onderzoeksterrein gemeten. Het RIVM kan uit de metingen die wel zijn gedaan geen conclusie trekken over de blootstelling van de bevolking aan een toegevoegde gammadosis.

De metingen zijn in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) gedaan. Doel is te meten wat het gamma- en neutronendosistempo is dat NRG aan de natuurlijke waarde in de omgeving (achtergrondwaarde) toevoegt.

Kernwoorden: NRG terreingrens, gammadosistempo, neutronendosistempo, Reuter Stokes



## Synopsis

### **Gamma dose rate and neutron dose rate measurements at the boundary of NRG on 12 September 2023**

The RIVM measured the neutron and gamma dose rate at the Nuclear Research and Consultancy Group (NRG at Petten). These measurements were carried out on September 12<sup>th</sup>, 2023 on four locations on the NRG terrain.

The RIVM measurements, lasting just 90 minutes each, indicate that during the measurement period an additional neutron dose rate can hardly be measured. This means there is almost no difference with the background neutron dose rate.

On three of the four locations an additional gamma dose rate is observed. This is measured close to the high flux reactor and close to the molybdenum-99 production facility.

RIVM did not carry out measurements at the outside fence of the research facilities. Based on the measurements in this report RIVM can not estimate an additional gamma dose to which the population can be exposed.

RIVM was commissioned by the Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection (ANVS) to conduct these measurements. The aim was the measurement of the gamma and neutron dose rates that NRG adds to the local background.

Keywords: NRG boundary, gamma dose rate, neutron dose rate, Reuter Stokes



## Inhoudsopgave

### **Samenvatting – 9**

#### **1 Inleiding en doel – 11**

1.1 Aanleiding en opdracht – 11

1.2 Vergunninghouders op de Onderzoekslocatie Petten (OLP) – 11

#### **2 Apparatuur en meetmethoden – 13**

2.1 Meetlocaties en meettijd – 13

2.2 Apparatuur – 14

2.2.1 Gammadosisequivalenttempo – 14

2.2.2 Neutronendosis tempo – 14

2.2.3 Gammaspectrometrie – 15

#### **3 Meetresultaten en discussie – 17**

3.1 Neutronendosis tempo bij de locaties 1-4 – 17

3.2 Gammadosisequivalenttempo metingen – 18

3.3 Gammaspectra op 4 locaties – 19

3.4 Vergelijking met meetresultaten uit 2018 – 22

#### **4 Conclusies en bevindingen – 25**

#### **5 Referenties – 27**



## Samenvatting

In opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) heeft het RIVM metingen uitgevoerd op de onderzoekslocatie Petten (OLP). Doel is te meten wat het gamma- en neutronendosis tempo is dat de Nuclear Research and Consultancy Group (NRG at Petten) aan de natuurlijke achtergrond toevoegt.

Het *neutronendosis tempo* gemeten door het RIVM op 4 locaties op het terrein is erg laag, 8-13 nSv/h. De metingen van slechts 90 minuten geven aan dat er in deze meetsessies vrijwel geen toegevoegd neutronen dosis tempo meetbaar is. Dat wil zeggen dat er bijna geen verschil is met de dosis die er van nature is.

Het *gammadosis tempo* van de achtergrond aan het hek aan de zuidkant tussen de receptie en het Forum, bedraagt  $54 \pm 7$  nSv/h. Bij de berekening van het toegevoegde gammadosis tempo is de meetwaarde gecorrigeerd voor de bijdrage van deze achtergrond.

Het toegevoegde *gammadosis tempo*, veroorzaakt door de Hoge Flux Reactor (HFR) en het primair pompgebouw (PPG) samen, bedraagt ongeveer  $151 \pm 16$  nSv/h in de meetperiode van 1,5 uur op 12 september 2023.

De netto bijdrage van de HFR aan het gammadosis tempo aan het hek nabij Curium, het bedrijf dat medische isotopen produceert, is  $28 \pm 11$  nSv/h. De bijdrage van het primair pompgebouw komt ruw geschat ongeveer overeen met  $(151 \pm 16) - (28 \pm 11) = 123 \pm 19$  nSv/h.

Het netto toegevoegd gammadosis tempo midden voor het hek bij de Molybdeen Productie Faciliteit, bedraagt  $31 \pm 10$  nSv/h.

RIVM heeft geen metingen uitgevoerd aan het buitenhek van het onderzoeksterrein. RIVM kan uit de metingen in dit rapport geen conclusie trekken over de blootstelling van de bevolking aan een toegevoegde gammadosis.

De bevindingen op basis van de *gammaspectra* zijn slechts kwalitatief en informatief. Er zijn in het gammaspectrum een aantal nucliden identificeerbaar van natuurlijke en niet-natuurlijke oorsprong. Maar er kan geen uitspraak gedaan worden over de activiteit van deze nucliden door de onbekende afstand en afscherming tussen bron en meetapparaat.



## 1 Inleiding en doel

### 1.1 Aanleiding en opdracht

Het RIVM heeft in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) op 12 september 2023 terreingrensmetingen uitgevoerd op vier locaties bij NRG; zie Figuur 1. Het betreft het meten van het gammadosistempo en het neutronendostempo en het opnemen van een gammaspectrum. De gekozen locaties zijn in overleg met de ANVS vastgesteld. Doel is om het door NRG aan de achtergrondstraling toegevoegde gamma- en neutronendostempo te meten. Hieronder de doelstelling zoals geformuleerd door de ANVS.

#### **"Doelstelling**

*De ANVS heeft voor een inspectie op de terreingrensdosimetrie bij NRG behoefte aan aanvullende onafhankelijke metingen van de terreingrensdosis. Daartoe zet de ANVS een opdracht uit bij RIVM om de dosistemporen aan de terreingrens van NRG ten gevolge van externe gamma- en neutronenstraling te bepalen. De bijdragen aan de effectieve dosis aan de terreingrens door lozingen in lucht en water worden in deze opdracht buiten beschouwing gelaten".*

### 1.2 Vergunninghouders op de Onderzoekslocatie Petten (OLP)

Op het OLP terrein zijn diverse kernenergiewet vergunninghouders aanwezig, zie Figuur 1. Doordat de diverse terreinen op een gecompliceerde manier aan elkaar grenzen is niet altijd vast te stellen waar de toegevoegde omgevingsdosis vandaan komt. NRG is een van de grote vergunninghouders, naast Curium (medische isotopen) en GCO (Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek, <https://ec.europa.eu/jrc/en/about/jrc-site/petten>). Voor meer details over de verschillende vergunninghouders wordt verwezen naar de website van de ANVS ([www.autoriteitnvs.nl](http://www.autoriteitnvs.nl)).

NRG produceert met de Hoge Flux Reactor (HFR) verschillende isotopen voor medische toepassingen. Op dit moment voorziet de HFR in belangrijke mate in de Europese en de wereldwijde vraag naar medische radio-isotopen<sup>1</sup>.

NRG heeft, naast de HFR, een Kernenergiewetvergunning voor meerdere faciliteiten, waaronder laboratoria:

#### **Hot Cell laboratoria (HCL)**

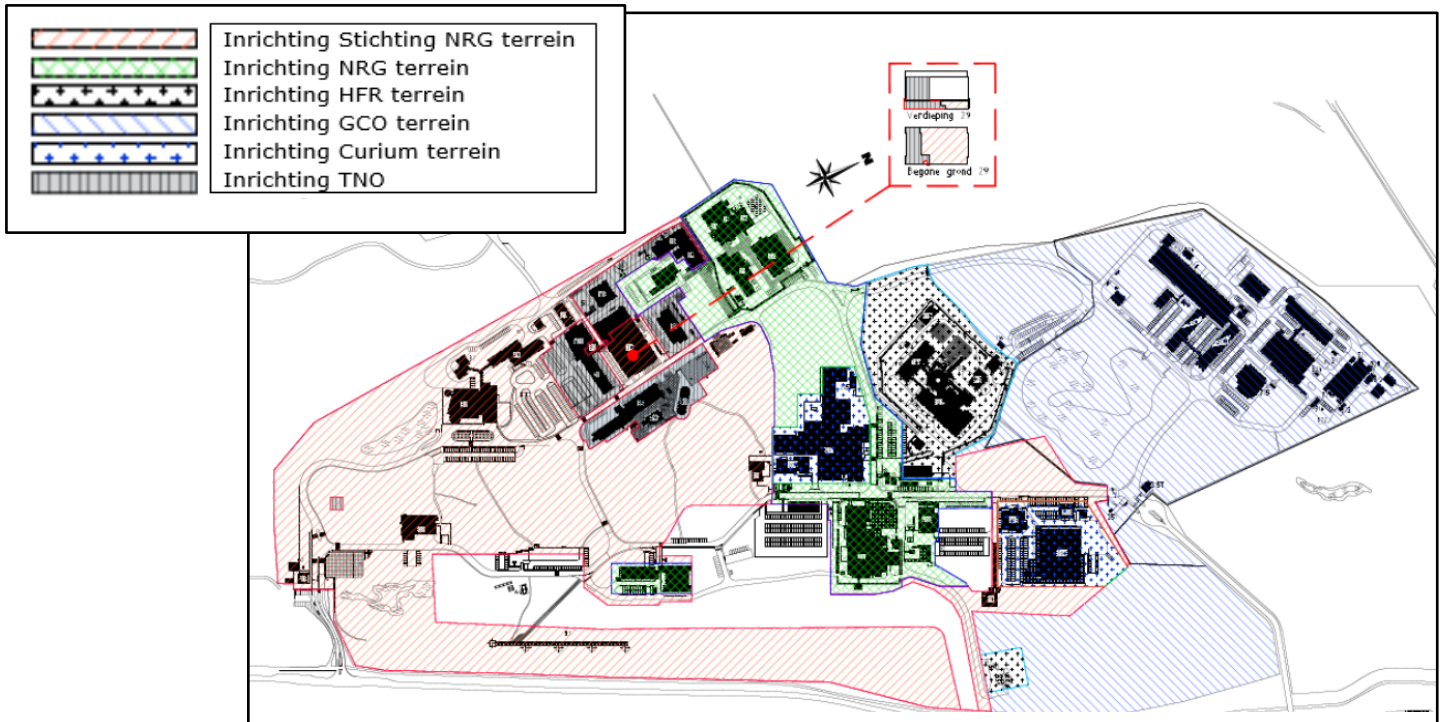
De Hot Cell Laboratories omvatten een aantal laboratoria:

- De Molybdeen Production Facility (MPF)  
Onder verantwoordelijkheid van NRG wordt in de MPF door Curium molybdeen-99 (Mo-99) als splijttingsproduct uit in de HFR bestraalde uranium-targets geogst.
- De STEK-hal  
Ontworpen als laboratorium dient dit gebouw al langere tijd als opslagplaats voor transportgereed afval. Hiervoor komt in 2022 de nieuw te bouwen Interim Storage Facility gereed.

## Decontamination and Waste Treatment (DWT)

Het DWT-complex bestaat uit gebouwen waar handelingen met radioactief materiaal plaatsvinden.

In Figuur 1 wordt de situatie van de verschillende vergunninghouders op het OLP terrein weergegeven.



Figuur 1 Verschillende vergunninghouders en bedrijven op het OLP terrein.

Het is mogelijk dat op het terrein op de grens van twee vergunninghouders een gammadosistempo wordt gemeten dat een som is van twee bronnen. Dit is bijvoorbeeld het geval tussen Curium en de HFR. Het is op basis van enkele metingen niet mogelijk om een onderscheid te maken tussen de individuele bijdragen aan het gammadosistempo. Daarvoor zullen rond het terrein van een vergunninghouder veel meer metingen verricht moeten worden. Dit was niet de opdracht van de ANVS in deze serie metingen.



Tabel 1 Omschrijving van de 4 meetlocaties op het NRG terrein, 12 september 2023

Locatie	Omschrijving (Fig 1)	Periode 12 september
Locatie 1	Aan de knik van het hek van de HFR aan de kant van het Primair Pompegebouw (PPG), nabij Curium	10:00 – 11:30 uur
Locatie 2	Aan het hek midden voor de Molybdeen Productie Faciliteit	11:40 – 13:15 uur
Locatie 3	Achtergrondlocatie aan het buitenhek in de bocht tussen de receptie en het Forum. Overnacht van 12 – 13 september background neutronen	13:30 – 15:00 uur Van 12/9 17:00 – tot 13/9 12:00
Locatie 4	Aan het hek met vrij zicht op de HFR, gezien vanaf noordzijde	15:15 – 16:45 uur

## 2.2 Apparatuur

### 2.2.1

#### *Gammadosisequivalenttempo*

De Reuter Stokes RS-S131-200 van het RIVM is een hoge druk ionisatiekamer met vlakke respons over een breed energiebereik. De Reuter Stokes meet ionisaties in een hoge druk argon-gevulde bol en dat is evenredig aan de hoeveelheid ionisaties die in lucht zouden plaatsvinden, uitgedrukt in Coulomb per massa (C/kg). De gebruikte eenheid voor exposie in de Reuter Stokes is doorgaans micro-Röntgen per uur ( $\mu\text{R/h}$ ). De Reuter Stokes is gekalibreerd met een Cs-137 bron (met certificaat) door het van Swinden Laboratorium (VSL) .

#### *Dataverwerking*

De meetperiode bedraagt steeds 5 seconden; het gemiddelde van alle meetperiodes wordt gerapporteerd met de standaarddeviatie als meetonzekerheid. De exposie data van de Reuter Stokes worden omgerekend naar Gray ( $\text{Gy} = \text{J/kg}$ ). De omrekenfactor is een fysische constante: 1 Röntgen is gelijk aan 8,77 mGy.

Voor gammastraling hangt de omrekening van Gray naar Sievert af van de gewenste grootte  $E$  (effectieve dosis) of  $H^*(10)$ , het omgevingsdosis equivalent. Dit is afhankelijk van de energie van de gammastraling, in dit geval het kalibratienuclide Cs-137.

### 2.2.2

#### *Neutronendosis tempo*

Neutronendosis tempo zijn door RIVM gemeten met een Biorem FHT752. Deze neutronendetector bevat een polyethyleen-moderator, een proportionele telbuis, , hoogspanning en voorversterker. De detector is gevuld met  $^{10}\text{BF}_3$  gas en heeft een bereik van 1 nSv/h – 400 mSv/h.

#### *Toelichting*

Als een neutron ingevangen wordt door B-10 wordt een alfa deeltje geproduceerd:  $\text{B-10} + \text{n} \rightarrow \text{Li-7} + \text{alfa}$ .

Dit alfa deeltje ondergaat een snelle interactie met het argon gas en vormt electron-ionparen. Onder invloed van een electricch veld vindt er gas-multiplicatie plaats, dit zorgt voor een duidelijk meetbare puls.

De Biorem FHT 752 detector heeft een kalibratiefactor van 2,20  $\mu\text{Sv/h}$  per  $\text{count}\cdot\text{s}^{-1}$  voor een  $^{252}\text{Cf}$ -neutronenbron en is zeer ongevoelig voor gammastraling ( $< 0,01$  cps bij 100 mSv/h voor een  $^{137}\text{Cs}$ -bron). De laatste kalibratie van september 2022 is uitgevoerd door Thermo Scientific en is herleidbaar naar een  $^{252}\text{Cf}$  bron van PTB (het metrologisch instituut in Duitsland) met nauwkeurig bekende activiteit. De afwijking van de nominale waarde van de  $^{252}\text{Cf}$  bron bedroeg 1%.

### 2.2.3

#### *Gammaspectrometrie*

Gammaspectra zijn opgenomen met een AEGIS van Mirion, een mobiele gammaspectrometrie meetopstelling met een high-purity Germanium detector (HPGe). De AEGIS is elektrisch gekoeld en kan minimaal 4 uur continu meten voordat batterijen verwisseld moeten worden. De energierange beslaat 20 keV tot 3 MeV over maximaal 8192 kanalen. Data worden geanalyseerd met het softwarepakket Genie-2000 van Mirion.

Het gammaspectrum heeft als doel om mogelijke gammastralers, in dit geval met name splijtingsproducten, te identificeren, en tevens een beoordeling van het gehele gammaspectrum. Omdat de meeste geometrische parameters van de bron (afmetingen, zelfabsorptie, afscherming) onbekend zijn, is er geen poging gedaan om de resultaten van gammaspectrometrie te kwantificeren. De resultaten moeten dus als zuiver kwalitatief beschouwd worden.



### 3 Meetresultaten en discussie

#### 3.1 Neutronendosistempo bij de locaties 1-4

Op de locaties 1, 2 en 4 is het neutronendosistempo 90 min gemeten, verdeeld over drie periodes van 30 min. Op locatie 3 heeft een achtergrond neutronendosis-tempometing geduurd van 12 sept 17 uur tot 13 september 12 uur. Alle dosistempometingen waren erg laag, tussen de 8 en 12 nSv/h.

In Tabel 2 is een kort overzicht gegeven van de metingen van het neutronendosistempo op 4 locaties. Tijdens deze meetsessies van 90 min is er vrijwel geen verschil waarneembaar is tussen het dosistempo van de achtergrond (locatie 3) en van de meetlocaties 1, 2 en 4. Om het verschil met de achtergrond beter te zien zou langer meten (bijvoorbeeld 24 uur) aan te raden zijn.

Ter illustratie: een dosistempo van 11 nSv/h levert 27 counts op in een periode van 90 min. Bij dit dosistempo is de meetonzekerheid in de orde van 5,2 counts (19%), bij een meettijd van 90 min. Indien de neutronen dosistempometingen worden gecorrigeerd voor het teltempo van de achtergrond, gemeten op locatie 3, dan wordt de totale meetonzekerheid nog hoger.

*Tabel 2 Neutronendosistempometingen op 3 locaties op het NRG terrein, 12 september 2023; meting locatie 1 aan hek nabij Curium uit meetsessie van 2018.*

Meetlocatie	Bruto Neutronen dosistempo (nSv/h) (niet gecorrigeerd voor achtergrond)	Netto toegevoegd dosistempo (nSv/h)
Loc 1 HFR nabij Curium (2018)	13,8 ± 2,1 <sup>#</sup>	5 ± 2 (± 44%)
Loc 2 Midden voor MPF	7,5 ± 1,8 <sup>##</sup>	0,0 ± 1,9
Loc 3 Background overnacht (19 uur) 12 – 13 september	8,8 ± 0,5	
Loc 4 HFR vanaf noordzijde	11 ± 2 <sup>##</sup>	2 ± 2 (± 94%)

<sup>#</sup> Bij het verplaatsen van de meetapparatuur is het data-geheugen van de FH40 uitleesmonitor per ongeluk gewist. Het gegeven dosistempo is afkomstig uit rapport 2020-0081<sup>2</sup>, gemeten op dezelfde locatie.

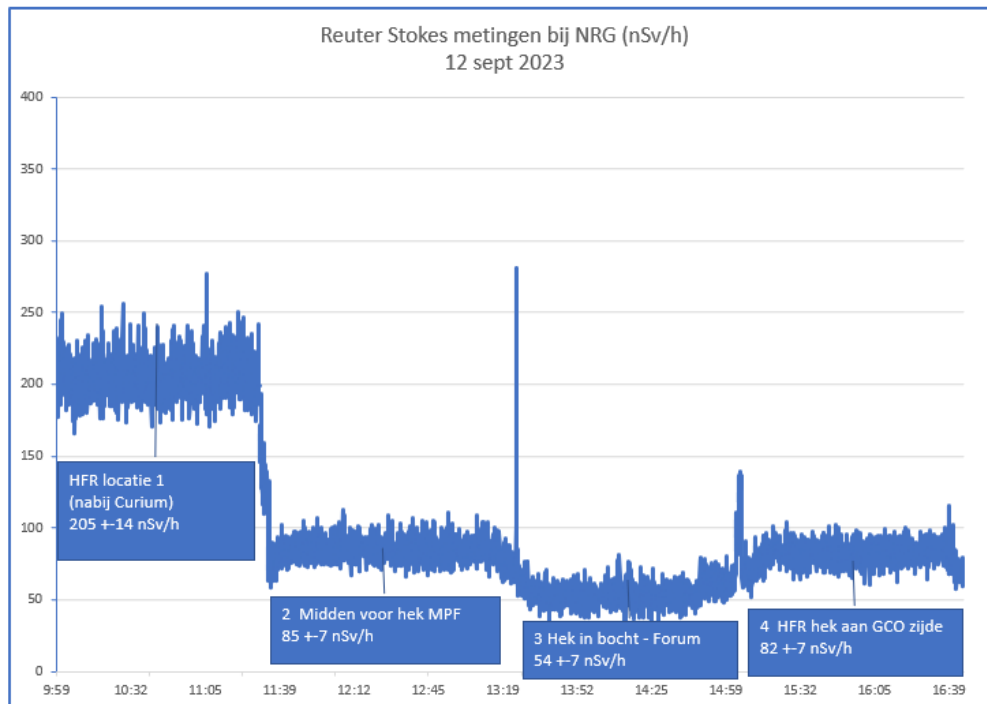
<sup>##</sup> Het betreft 3 metingen van 30 min per locatie. Uitgaande van het aantal counts in 90 min is de telonzekerheid (1s) berekend.

Op locatie 1 nabij de HFR en het PPG is gebruik gemaakt van de meetwaarde uit 2018, gemeten gedurende 120 min. Gecorrigeerd voor een achtergrondmeting van 20 uur op locatie 3 resulteert dit in een netto toegevoegde neutronendosistempo van 5 ± 2 nSv/h. Door de lage telnelheden is een veel langere meettijd noodzakelijk voor een nauwkeurige bepaling van een toegevoegd neutronendosistempo.

### 3.2 Gammadosisequivalenttempo metingen

De meting van het gammadosisequivalenttempo is met de Reuter Stokes ionisatiekamer uitgevoerd in dezelfde meettijd en op dezelfde locaties als de neutronendosismetingen; zie Fig. 1. De meting van de achtergrond is uitgevoerd op locatie 3, dat wil zeggen aan het hek zo ver mogelijk van de nucleaire werkzaamheden vandaan. In Figuur 2 is op elk van de vier locaties een verschillend gammadosis tempo waarneembaar.

De snelle respons van de Reuter Stokes maakt het mogelijk om langrijdende transporten waar te nemen. Dit heeft geleid tot enkele verhogingen die niet langer dan 10-15 seconden hebben geduurd. Deze verhogingen zijn verwijderd uit de berekeningen van het gemiddelde en de standaarddeviatie. De piek rond 13:20 vond plaats tijdens de verplaatsing van locatie 2 naar locatie 3 en is niet meegenomen in de berekeningen.



Figuur 2 Gammadosis tempi gemeten met de Reuter Stokes ionisatiekamer op 4 locaties op het binnenterrein van de Onderzoekslocatie Petten. Zie Figuur 1 voor de locaties. Kortdurende verhogingen door transporten zijn verwijderd.

In Tabel 3 zijn de bruto meetwaarden gecorrigeerd voor de achtergrond, gemeten op locatie 3. Er is een duidelijk verschil tussen de netto meetwaarde nabij Curium, dat wil zeggen aan de kant van het primair pompgebouw, en de ertegenoverliggende locatie aan de noordzijde.

Tabel 3 Reuter Stokes gammadosistempometingen

Locatie	Bruto H*(10) (nSv/h)	Netto H*(10) (nSv/h)	Opmerkingen
1 HFR + PPG nabij Curium	205 ± 14	151 ± 16	Primair Pompgebouw voor de HFR
2 Midden voor MPF	85 ± 7	31 ± 10	Meetapparatuur op de betonnen veiligheidspaaltes
3 Hek in bocht naar Forum (=achtergrond)	54 ± 7	nvt	Naast de TLD paaltjes van NRG
4 HFR noordzijde	82 ± 7	28 ± 11	Vrij zicht op de HFR

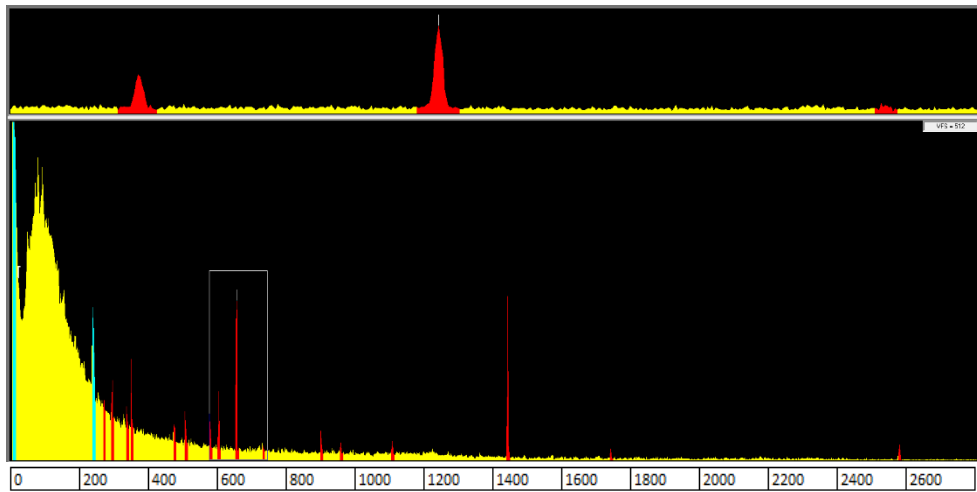
De meting op locatie 1 bevestigt de eerdere meting uit 2018 (rapport 2020-0081). Op locatie 1 (nabij Curium) aan het hek met zicht op de HFR is er een significante bijdrage van het Primair Pompgebouw aan de omgevingsdosis H\*(10). Het netto toegevoegde dosistempo op locatie 1, veroorzaakt door de HFR en het primair pompgebouw samen, bedraagt  $151 \pm 16$  nSv/h in de meetperiode van 1,5 uur op 12 september 2023. De netto bijdrage van de HFR op locatie 4 (noordzijde) is  $28 \pm 11$  nSv/h. Het ligt voor de hand dat op locatie 4 de bijdrage van het primair pompgebouw veel lager is dan op locatie 1, vanwege de grotere afstand en de afscherming van de koepel van de HFR.

Indien de afstand van locatie 1 en locatie 4 tot de HFR ongeveer gelijk is, dan komt de bijdrage van het primair pompgebouw op locatie 1 ongeveer overeen met  $(151 \pm 16) - (28 \pm 11) = 123 \pm 19$  nSv/h. Het netto toegevoegd dosistempo op locatie 2, midden voor het hek bij de MPF, bedraagt  $31 \pm 10$  nSv/h.

Het dosistempo op locatie 3, het hek aan de zuidkant tussen de receptie en het Forum, bedraagt  $54 \pm 7$  nSv/h. Dit is toegepast als achtergrond dosistempo.

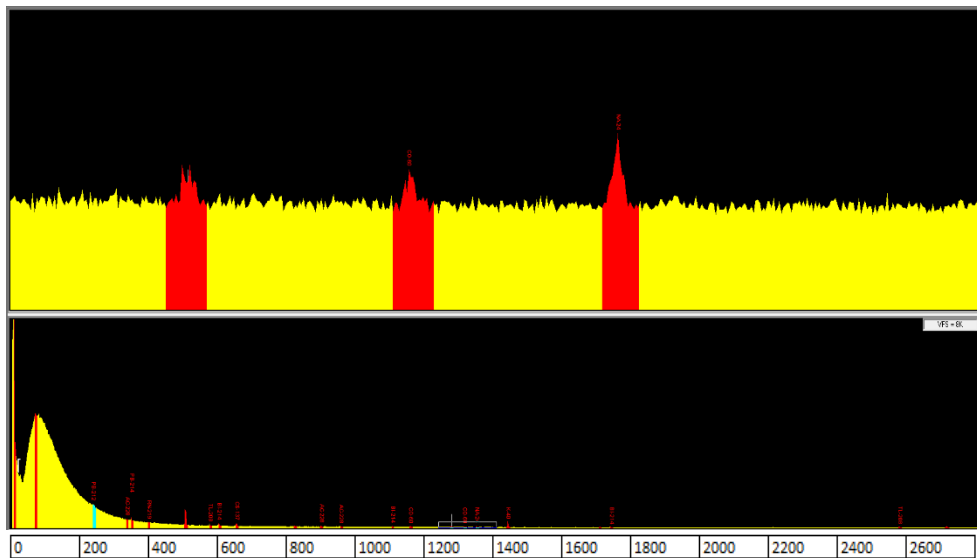
### 3.3 Gammaspectra op 4 locaties

Op Figuur 3-6 staan de gammaspectra die opgenomen zijn op locatie 1-2-3 en 4. Er is naast Cs-137, alleen bij de MPF ook Cs-134 gevonden dat mogelijk gevormd kan worden door kernsplijting in de reactor. Het meest aangetroffen nuclide is Cs-137 dat waarschijnlijk afkomstig is van het Chernobyl reactor ongeval. Dit nuclide wordt namelijk in dezelfde mate aangetroffen in het gammaspectrum op locatie 3, het hek aan de zuidkant tussen receptie en het Forum.



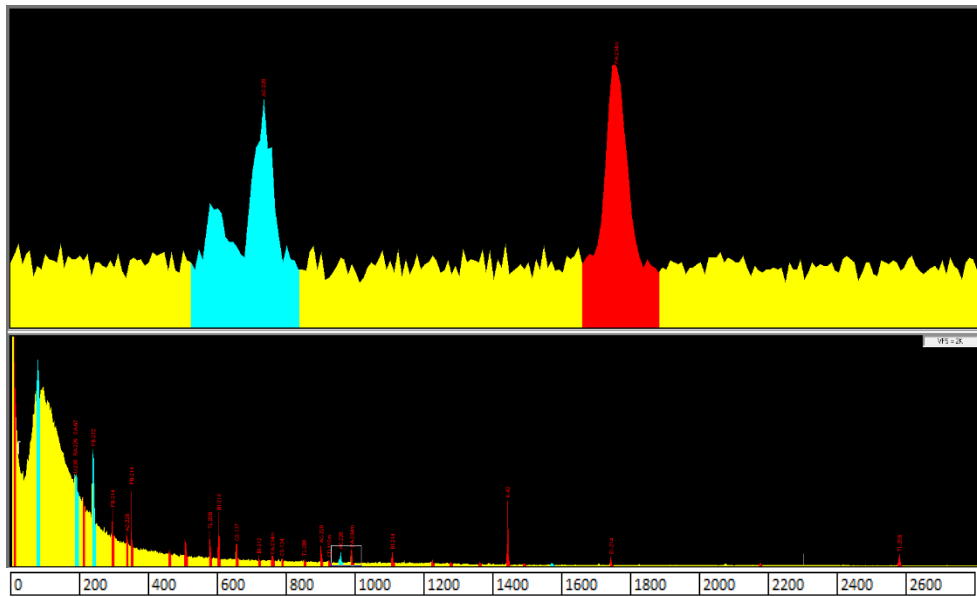
Figuur 3 Achtergrond spectrum (onder) en ingezoomd op regio rond 661 keV (Cs-137) (boven). Meting uitgevoerd op locatie 3.

Op locatie 3 zijn de volgende radionucliden aangetroffen : Cs-137 en de natuurlijke radionucliden: K-40, Be-7, en dochters van U-238 en Th-232.



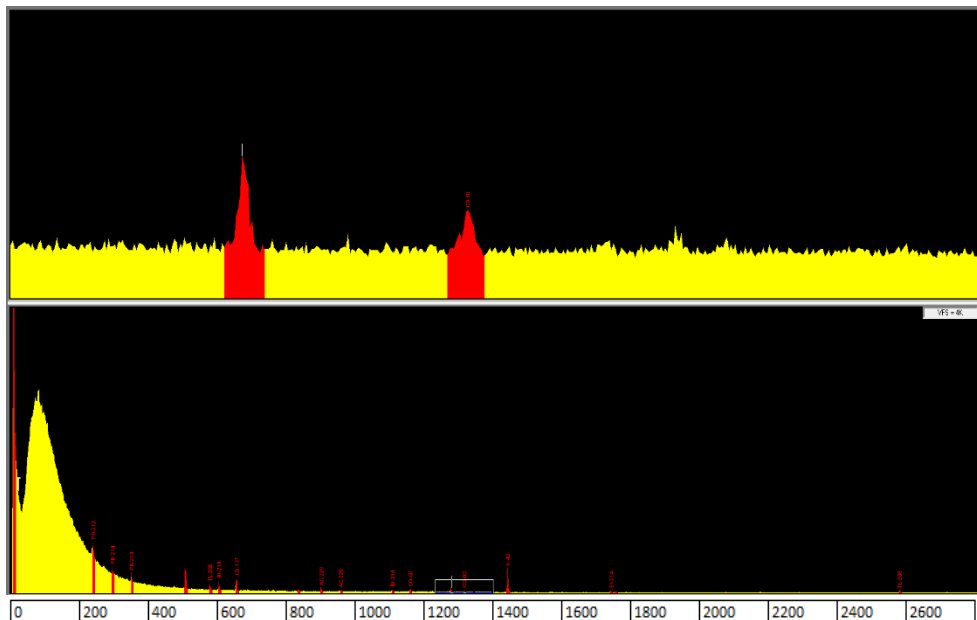
Figuur 4 Gammaspectrum op HFR locatie 1 (onder) en ingezoomd (boven) op de regio rond 1332 keV (van links naar rechts: Ar-41, Co-60 en Na-24)

Op locatie 1 zijn de volgende radionucliden aangetroffen Na-24, Ar-41, Co-60 en Cs-137 en de natuurlijke radionucliden K-40 en dochters van U-238 en Th-232.



Figuur 5 Gammaspectrum aan het hek van MPF, locatie 2 (onder). Ingezoomd op de regio rond 1000 keV (van links naar rechts: Ac-228 en Pa-234m) (boven)

Op locatie 2 zijn de volgende radionucliden aangetroffen : Cs-134, Cs-137, en natuurlijke radionucliden K-40 en dochters van U-238 en Th-232.



Figuur 6 Gammaspectrum op HFR locatie 4 (onder) en ingezoomd op de regio rond 1332 keV (van links naar rechts: Ar-41 en Co-60) (boven)

Op locatie 4 zijn de volgende radionucliden aangetroffen : Ar-41, Co-60 en Cs-137, natuurlijke radionucliden K-40 en dochters van U-238 en Th-232.

De bevindingen op basis van de gammaspectra zijn slechts kwalitatief en informatief. Er zijn in het gammaspectrum een aantal nucliden identificeerbaar van natuurlijke (K-40, Th-232 reeks, U-235 en U-238

reeks) en niet-natuurlijke oorsprong, zoals Na-24 (activering van Na-23), Ar-41 en Co-60 (activering), Cs-134 en Cs-137 (splijtingsproducten). Maar er kan geen uitspraak gedaan worden over de activiteit van deze nucliden door de onbekende afstand en afscherming tussen bron en meetapparaat.

#### *Toelichting*

Ar-41 wordt gevormd door neutronenactivering van Ar-40 in de lucht; buitenlucht bevat van nature 0,94 % Ar-40. Het is aannemelijk dat de koepel van de HFR tijdens de productietijd gevuld is met een gering percentage Ar-41. Bij het uitschakelen van de HFR, bijvoorbeeld bij de start van een onderhoudsperiode, vervalt Ar-41 met een halveringstijd van 1,83 h met het uitzenden van een gammafoton van 1293 keV. Na-24 wordt gevormd door neutronenactivering van Na-23. Na-24 vervalt snel (halveringstijd van 14,96 h) met het uitzenden van twee gammafotonen; van 1368 en van 2754 keV.

De spectra worden gedomineerd door een grote bijdrage van strooistraling onder de 300 keV. Deze strooistraling wordt veroorzaakt door afscherming bij de bron en door afscherming tussen de bron en de detector. De piekhoogten van de gevonden nucliden in het spectrum zijn lager dan de piekhoogte van het natuurlijke nuclide K-40.

In alle spectra is Cs-137 aanwezig, ook in het spectrum van de achtergrond op locatie 3. Daar, ver verwijderd van alle nucleaire activiteit, is Cs-137 waarschijnlijk afkomstig van depositie na de kernramp bij Chernobyl.

In beide gammaspectra bij de HFR is een kleine piek van Ar-41 te zien, afkomstig van neutronenactivering van Ar-40 in de lucht van de reactorhal.

Alleen aan de kant van het primair pompgebouw is Na-24 te zien. Dit nuclide wordt waarschijnlijk geconcentreerd in de ionenwisselaarsharsen in het primair pompgebouw en is daarom alleen van die kant te meten.

Bij de MPF zijn gammalijnen van nucliden gemeten die wijzen op grote hoeveelheden (verrijkt) uranium: U-235 en Pa-234m (kortlevende dochter van U-238, wat zelf geen gamma's uit zendt). De verrijkingsgraad is op basis van deze (niet-kwantitatieve) metingen niet vast te stellen.

### **3.4 Vergelijking met meetresultaten uit 2018**

In 2018<sup>2</sup> is gedurende vijf maanden op 3 plaatsen aan het hek nabij Curium en de HFR het gammadosis tempo gemeten met autonome Saphymo gammamonitoren. Tevens zijn er op 9 november 2018 met de Reuter Stokes gammadosis tempometingen uitgevoerd, met de Falcon-5000 zijn gammaspectra opgenomen en met de Biorem 752 FHT is het neutronendosis tempo gemeten. In tabel 4 zijn de meetresultaten uit 2018 en 2023 weergegeven.

Tabel 4 Gammadosis- en neutronendosis- tempometingen (nSv/h) op het terrein van NRG; data uit 2018 en 2023.

	Data 2018 (nSv/h)	Data 2023 (nSv/h)	Opmerkingen
Reuter Stokes: Gammadosis tempo aan hek nabij Curium, zicht op PPG.	179 ± 15 Netto: 123 ± 17	204 ± 16 Netto: 151 ± 19	Zaagtandpatroon: Dosis-tempo niet constant gedurende de meet-tijd.
Reuter Stokes: Background	56 ± 7 (parkeerterrein bij Forum)	54 ± 7 (hek in bocht tussen receptie en Forum)	
Neutronen dosis-tempo : tempo aan hek nabij Curium, zicht op PPG.	13,8 ± 2,1 Netto : 5 ± 4	13,8 ± 2,1* Netto: 5 ± 2	Meettijden van 24 uur per locatie zijn sterk aan te bevelen.
Neutronen background	8,8 ± 3,7	8,8 ± 0,5 (overnacht)	
Gammaspectra: gevonden nucliden.	U en Th reeks, Na-24, K-40, Ar-41, Co-60,	Bij HFR: U en Th reeks, Na- 24, K-40, Ar- 41, Co-60, Cs- 137. Bij MPF: ook Cs-134.	

\* De neutronenmeting aan het hek nabij Curium is mislukt door een onbedoeld gewist geheugen. De meetwaarde uit 2018 is daarvoor gebruikt.

#### Vergelijking van 2018 en 2023 meetresultaten.

Opvallend is de goede overeenkomst tussen de resultaten uit 2018 en 2023 voor het gammadosis-tempo, het neutronendosis-tempo en de aangetroffen nucliden in het gammaspectrum. Ook de achtergrondmeetwaarden van het gammadosis-tempo, gemeten met de Reuter Stokes, als die van het neutronendosis-tempo, komen goed overeen. Kanttekening blijft wel dat voor nauwkeurige metingen van het neutronendosis-tempo meet-tijden van 24 uur per locatie noodzakelijk zijn.



## 4 Conclusies en bevindingen

Het *neutronendosis*tempo gemeten door het RIVM op 4 locaties op het terrein is erg laag, 8-13 nSv/h. Op locatie 1 nabij de HFR en het PPG is gebruik gemaakt van de meetwaarde uit 2018, gemeten gedurende 120 min. Gecorrigeerd voor een achtergrondmeting van 20 uur op locatie 3 resulteert dit in een netto toegevoegde neutronendosis tempo van  $5 \pm 2$  nSv/h. Door de lage telsnelheden is een veel langere meettijd noodzakelijk voor een nauwkeurige bepaling van een toegevoegd neutronendosis tempo.

Het neutronendosis tempo op locatie 3 aan het hek tussen receptie en Forum, is vergelijkbaar met achtergrondmeetwaarden elders in Nederland, zoals in Bilthoven op het RIVM terrein<sup>2</sup> (ca. 8-9 nSv/h, afhankelijk van meettijd en type detector).

Het netto toegevoegde *gammadosis* tempo op locatie 1, veroorzaakt door de HFR en het primair pompgebouw samen, bedraagt ongeveer  $151 \pm 16$  nSv/h in de meetperiode van 1,5 uur op 12 september 2023.

De netto bijdrage van de HFR aan het gammadosis tempo op locatie 4 is  $28 \pm 11$  nSv/h.

Indien de afstand van locatie 1 en locatie 4 tot de HFR ongeveer gelijk is, dan komt de bijdrage van het primair pompgebouw op locatie 1 ongeveer overeen met  $(151 \pm 16) - (28 \pm 11) = 123 \pm 19$  nSv/h.

Het netto toegevoegd gammadosis tempo op locatie 2, midden voor het hek bij de MPF, bedraagt  $31 \pm 10$  nSv/h.

Het gammadosis tempo op locatie 3, het hek aan de zuidkant tussen de receptie en het Forum, bedraagt  $54 \pm 7$  nSv/h. Dit is toegepast als achtergrond gammadosis tempo.

RIVM heeft geen metingen uitgevoerd aan het buitenhek van het onderzoeksterrein. RIVM kan uit de metingen in dit rapport geen conclusie trekken over de blootstelling van de bevolking aan een toegevoegd gammadosis tempo.

### *Gammaspectra*

De bevindingen op basis van de gammaspectra zijn slechts kwalitatief en informatief. Er zijn in het gammaspectrum een aantal nucliden identificeerbaar van natuurlijke en niet-natuurlijke oorsprong. Maar er kan geen uitspraak gedaan worden over de activiteit van deze nucliden door de onbekende afstand en afscherming tussen bron en meetapparaat.

De spectra worden gedomineerd door een grote bijdrage van strooi straling onder de 300 keV. De piekhoogten van de gevonden nucliden in het spectrum zijn lager dan de piekhoogte van het natuurlijke nuclide K-40.

Opvallend is de goede overeenkomst tussen de resultaten uit 2018 en 2023 voor het gammadosistempo, het neutronendosistempo en de aangetroffen nucliden in het gammaspectrum.

## 5 Referenties

- 1 Zie [www.autoriteitnvs.nl/onderwerpen/hoge-flux-reactor](http://www.autoriteitnvs.nl/onderwerpen/hoge-flux-reactor).
- 2 Metingen van het gamma- en neutronendosis tempo aan de terreingrens van de Hoge Flux Reactor en bij de Stekhal van NRG te Petten in 2018. RIVM briefrapport 2020-0081 (Revisie van rapport 2018-0182), PJM Kwakman en CP Tanzi.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

november 2023

De zorg voor morgen  
begint vandaag