



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

Contra expertise op bepalingen van radioactiviteit in afvalwater en ventilatielucht van **NRG Pallas**

Periode 2025

**Contra expertise op bepalingen van radioactiviteit
in afvalwater en ventilatielucht van NRG Pallas**
Periode 2025

RIVM-briefrapport 2026-0088

Colofon

© RIVM 2026

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.

DOI 10.21945/RIVM-2026-0088

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

Contact:

P.J.M. Kwakman

Centrum Veiligheid (VLH), Stralingsincidenten, Monitoring en Analyse (SMA)

pieter.kwakman@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS), in het kader van project 390220/25/CE, Contra Expertise.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Contra expertise op bepalingen van radioactiviteit in afvalwater en ventilatielucht van NRG Pallas

Periode 2025

Het bedrijf NRG Pallas in Petten meet hoeveel radioactiviteit het in het eigen afvalwater en ventilatielucht naar de omgeving loost. De monsters hiervoor worden verspreid over het jaar genomen. Het RIVM controleert deze metingen acht keer per jaar. De Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) gebruikt deze 'contra expertise' om in te schatten hoe betrouwbaar de metingen van de NRG Pallas zijn.

Net als in eerdere jaren komen de gamma-analyses van afvalwater uit de contra expertise in 2025 goed overeen.

De totaal-alfa resultaten in afvalwater stemmen goed overeen. De overeenstemming in de totaal-bèta resultaten is matig en kan worden verklaard door verschillen in de meetmethoden van NRG Pallas en het RIVM. De overeenstemming in de ³H-resultaten in afvalwater is zeer goed.

De meetresultaten in ventilatielucht komen goed overeen. Het RIVM heeft in een aantal monsters een lage activiteitsconcentratie van jodium-131, xenon-133, osmium-191, kwik-203 gevonden. De meeste van deze waarden vallen onder de detectiegrens van NRG Pallas, waardoor NRG Pallas ze niet heeft gerapporteerd.

Het RIVM heeft een zeer lage totaal-alfa-activiteit in de ventilatieluchtfilters aangetroffen, waar NRG Pallas niets vond. De meetwaarden voor zowel totaal-alfa als totaal-bèta in ventilatielucht komen overeen met wat er in buitenlucht in Bilthoven wordt gemeten en hebben waarschijnlijk een natuurlijke oorsprong.

Het RIVM voert de contra expertises elk jaar uit in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS).

Kernwoorden: NRG Pallas, radioactiviteit, lozingen, afvalwater, ventilatielucht

Synopsis

Counterchecks on measurements of radioactivity in wastewater and exhaust air at NRG Pallas

Period 2025

NRG Pallas in Petten measures how much radioactivity it discharges into the environment via the wastewater system and the exhaust air. To that end, NRG Pallas takes samples at various times throughout the year. RIVM verifies these measurements eight times a year. The Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection (ANVS) uses these counterchecks to assess the reliability of NRG Pallas's own analyses.

As in previous years, the gamma-ray spectrometry measurements for wastewater in 2025 demonstrated good consistency.

Data consistency with regard to gross alpha in the wastewater was good. Data consistency with regard to gross beta in wastewater was low, which can be explained by differences between the analytical methods applied by NRG Pallas and RIVM. Consistency with regard to the 3H data was very good.

The results obtained by RIVM and NRG Pallas for the exhaust air samples showed good consistency. RIVM detected low gamma activity for iodine-131, xenon-133, osmium-191 and mercury-203 in several samples. As the majority of these values were below NRG Pallas's detection limits, NRG Pallas did not report them.

RIVM detected very low gross alpha activity concentrations in the exhaust air samples, where NRG Pallas found none. The measurement results for both gross alpha and gross beta correspond to normal background radiation in Bilthoven, the Netherlands, and are likely due to naturally occurring radiation.

The ANVS commissions RIVM to carry out these counterchecks every year.

Keywords: NRG, radioactivity, wastewater, exhaust air

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

- 1.1 Rapportindeling — 11
- 1.2 Herkomst data van NRG Pallas en autorisatie van deze rapportage — 11
- 1.3 Opdrachtgever ANVS en opdrachtnemer RIVM — 11
- 1.4 Kwaliteitsborging — 12
- 1.5 Disclaimer met betrekking tot de scope van accreditatie — 12

2 Monsters en analyse — 13

3 Analysemethoden — 15

- 3.1 Tweevoudbepalingen — 15
- 3.2 Bepaling van de totaal-alfa-activiteitsconcentratie in afvalwater — 15
- 3.3 Bepaling van de totaal-bèta-activiteitsconcentratie in afvalwater — 16
- 3.4 Bepaling van de activiteitsconcentratie aan gammastraling uitzendende nucliden in afvalwater — 16
- 3.5 Bepaling van de ³H-activiteitsconcentratie in afvalwater — 17
- 3.6 Bepaling van de totaal-alfa- en totaal-bèta-activiteitsconcentratie in ventilatielucht — 17
- 3.7 Bepaling van de activiteitsconcentratie gammastraling uitzendende nucliden in ventilatielucht — 17
- 3.8 Onzekerheidsberekeningen — 17
- 3.9 Presentatie van resultaten en vergelijking — 18

4 Resultaten en discussie — 21

- 4.1 Meetresultaten — 21
- 4.2 Vergelijking van de resultaten in afvalwater-2025 — 21
- 4.3 Vergelijking van de NRG Pallas en RIVM meetwaarden in ventilatielucht HFR — 23

5 Conclusie over de contra expertise resultaten 2025 — 25

Referenties — 27

Bijlage 1 Vergelijking met meetresultaten NRG Pallas in 2025 — 29

Bijlage 2 Bemonstering en meting door NRG Pallas in 2025 — 37

Samenvatting

Het Centrum Veiligheid (VLH) van RIVM heeft in 2025 in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) radioactiviteitsmetingen uitgevoerd van lozingsmonsters afkomstig van zes nucleaire installaties in Nederland. Het RIVM vergelijkt deze metingen maximaal acht keer per jaar met de resultaten van de betreffende nucleaire installatie. De ANVS gebruikt deze 'contra expertise' om in te schatten hoe betrouwbaar de metingen van de nucleaire installatie zijn. Dit rapport gaat over lozingsmonsters van NRG Pallas in de periode 2025.

Dit voorliggende rapport behandelt de meetgegevens die door RIVM en NRG Pallas zijn bepaald voor afvalwatermonsters en ventilatieluchtmonsters. RIVM bepaalde de activiteitsconcentratie van gammastralers, totaal-alfa, totaal-bèta en tritium in afvalwater, en gammastralers, totaal-alfa en totaal-bèta in ventilatielucht. De mate van overeenstemming van de resultaten van het RIVM met die van de nucleaire installaties wordt ingedeeld in vier categorieën, in volgorde van afnemende overeenstemming A1, A2, B en C.

In 2025 is een steekproef van acht monsters afvalwater en ventilatielucht geanalyseerd. Net als in voorgaande jaren komen de gamma-analyses van afvalwater uit de contra expertise goed overeen. Ook de totaal-alfa resultaten stemmen goed overeen. De overeenstemming in de totaal-bèta resultaten is matig. Dit heeft te maken met verschillen in de meetmethoden van NRG Pallas en het RIVM. De overeenstemming in de ^3H -resultaten in afvalwater is zeer goed.

De meetresultaten in ventilatielucht komen goed overeen. Het RIVM heeft in een aantal monsters een lage activiteitsconcentratie aan ^{131}I , ^{133}Xe , ^{191}Os en ^{203}Hg aangetroffen. Het merendeel van deze waarden valt ruim onder de detectiegrens van NRG Pallas.

Het RIVM heeft in de acht ventilatieluchtfilters een zeer lage totaal-alfa-activiteit in ventilatielucht aangetroffen, waar NRG Pallas niets vond. De meetwaarden voor zowel totaal-alfa als totaal-bèta in ventilatielucht liggen in de range van wat er in buitenlucht aangetroffen wordt en hebben waarschijnlijk een natuurlijke oorsprong.

1 Inleiding

1.1 Rapportindeling

Het Centrum Veiligheid (VLH) van RIVM voert in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) radioactiviteitsmetingen uit van lozingsmonsters afkomstig van zes nucleaire installaties in Nederland. Het doel is het leveren van contra expertise op de metingen die door de installaties zelf zijn uitgevoerd. De contra expertisemonsters waar dit rapport over gaat, zijn afvalwatermonsters en ventilatieluchtmonsters afkomstig van de NRG Pallas te Petten en genomen in de periode januari - december 2025.

De indeling van dit rapport is als volgt. Na deze inleiding volgt hoofdstuk 2 met een beschrijving van de voor de contra expertise gebruikte monsters en de hiervan bepaalde radioactieve eigenschappen. In hoofdstuk 3 staat een beschrijving van de door RIVM toegepaste analysemethoden en de wijze waarop de resultaten van RIVM met die van NRG Pallas zijn vergeleken. Hoofdstuk 4 bevat een korte bespreking van de resultaten van het contra expertiseonderzoek. De meetresultaten van het RIVM zelf zijn – naast de resultaten van NRG Pallas – opgenomen in Bijlage 1. De bemonstering van de contra expertise monsters wordt door NRG Pallas zelf uitgevoerd. De door NRG Pallas toegepaste bemonsterings- en analysemethoden worden beschreven in Bijlage 2.

1.2 Herkomst data van NRG Pallas en autorisatie van deze rapportage

De meetgegevens van NRG Pallas die in deze rapportage zijn opgenomen zijn afkomstig uit de lozingsrapportages en kwartaalrapportages die NRG Pallas aan het RIVM opstuurt [1]. Aanvullende gegevens die niet in de kwartaalrapportages staan worden per e-mail verstuurd naar RIVM of bij het ophalen van de lozingsmonsters meegegeven. De data van NRG Pallas staan in alle betreffende tabellen met een vette en cursieve header "***NRG***" weergegeven.

Autorisatie van dit rapport wordt in het RIVM publicatieproces in 'RIVMdoc' afgehandeld. Vrijgave van het rapport gebeurt door het domein hoofd M&V of diens aangewezen vervanger, via de aanbiedingsbrief aan de opdrachtgever.

1.3 Opdrachtgever ANVS en opdrachtnemer RIVM

De Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS, Koningskade 4, Den Haag; www.anvs.nl) heeft RIVM, centrum Veiligheid, afdeling Stralingsincidenten, Monitoring en Analyses (adres: RIVM, Antonie van Leeuwenhoeklaan 9, 3721 MA Bilthoven) opdracht gegeven voor het uitvoeren van een contra expertise op de bepalingen van radioactiviteit in afvalwater en ventilatielucht door de nucleaire installaties KCB, COVRA, GKN, NRG, RID en Urenco. De ANVS projectnaam is 'Contra Expertise'.

Met contra expertise wordt bedoeld een vergelijking tussen de RIVM meetwaarden en de meetwaarden van de betreffende nucleaire installatie, zoals beschreven in hoofdstuk 3. Deze vergelijking valt niet onder de scope van de accreditatie waar VLH/SMA onder valt (zie paragraaf 1.4).

Het radiologisch laboratorium van het RIVM, centrum veiligheid/SMA bevindt zich op hetzelfde adres in Bilthoven als boven vermeld.

1.4 Kwaliteitsborging

De afdeling SMA van het Centrum Veiligheid van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM/VLH) is voor een aantal verrichtingen geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie volgens NEN-EN-ISO/IEC 17025:2017 (RvA: L153 Testen). Deze verrichtingen hebben betrekking op metingen die worden uitgevoerd in het kader van een contra expertise op de meetresultaten van de betreffende nucleaire installatie en zijn gemarkeerd met een 'Q' in Tabel 1 in hoofdstuk 2.

In het kader van de bewaking van de kwaliteit van de gebruikte analyse- en meetmethoden neemt RIVM jaarlijks deel aan de ringonderzoeken 'Abwasser' en 'Fortluft'. georganiseerd door het Duitse Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) [2, 3]. NRG neemt eveneens deel aan het 'Abwasser' en 'Fortluft' ringonderzoek.

1.5 Disclaimer met betrekking tot de scope van accreditatie

De accreditatie betreft specifiek de analyseresultaten van de verrichtingen. De opinies/interpretaties vermeld in dit rapport vallen buiten de scope van de accreditatie.

Uitvoering van bemonstering door de klant of andere partij

De resultaten van de bepalingen van RIVM zijn alleen van toepassing op de ontvangen monsters. Gegevens met betrekking tot de monsternamen, zoals de lozingsdatum en monsterperiode zijn aangeleverd door NRG Pallas middels kwartaalrapportages en bij het monster aangeleverde informatie. De kwaliteit van de bemonstering en van de bijgeleverde data valt onder de verantwoordelijkheid van NRG Pallas.

2 Monsters en analyse

RIVM voert zelf geen bemonstering uit van afvalwater en ventilatielucht, maar haalt periodiek afvalwater- en ventilatieluchtmonsters op bij NRG Pallas. De bemonstering wordt dus uitgevoerd door NRG Pallas. Van het afvalwater (batchmonsters) stelt NRG Pallas circa 1 liter ongegeleerd, geconditioneerd water (aangezuurd tot pH 2) beschikbaar voor contra expertise door RIVM.

Tabel 1 bevat een overzicht van het, vooraf met de ANVS overeengekomen, aantal monsters en de te verrichten analyses [4].

Tabel 1 Overzicht van aantal monsters en analyses per jaar

Monsters	Aantal	Analyses (Q#)
Afvalwater	8	Q: Totaal-alfa**, totaal-bèta**, gammastralers** en $^3\text{H}^*$
Ventilatielucht HFR (pakket: aerosolfilter, koolfilter, koolkorrels)	8	Q: gammastralers*; bij aantonen gammastralers in het pakket, tevens meting van de aparte filters waaruit het pakket is samengesteld*, Q: totaal-alfa*, totaal-bèta*: (alleen in aerosolfilter)

De aanduiding Q betekent dat de betreffende verrichting valt onder de lijst van geaccrediteerde verrichtingen volgens NEN-EN-ISO-17025 (registratienummer L153 testen).

* Analyse in enkelvoud

** Analyse in tweevoud

In 2025 zijn acht water- en ventilatieluchtmonsters opgehaald; NRG Pallas is daarvoor vijfmaal bezocht. Gegevens van de monsters staan in Tabel 2 en Tabel 3.

Tabel 2 Lozingsdatum, ophaaldatum en meetdatum afvalwater in 2025

Nr	Lozingsdatum 2025	Ophaaldatum	Datum gammaspectrometrie*
1	24 maart	16 april	24 april
2	31 maart	16 april	24 april
3	21 april	5 juni	6 juni
4	12 mei	5 juni	6 juni
5	9 juni	17 juli	18 juli
6	15 sept	16 okt	23 okt
7	6 okt	16 okt	24 okt
8	17 nov	27 nov	28 nov

* Bepaling met gammaspectrometrie is uitgevoerd in tweevoud; vermelding wegens afspraak om de meting te verrichten binnen 2 weken na ontvangst monsters (analyse gereed binnen 3 weken).

Tabel 3 Lozingsperiode, ophaaldatum en meetdatum van ventilatieluchtfilters in 2025

Nr	Monsterperiode 2025	Ophaaldatum	Datum gammaspectrometrie
1	31 maart – 4 april	16 april	23 april
2	5 – 13 april	16 april	24 april
3	18 – 25 mei	5 juni	6 juni
4	25 mei – 1 juni	5 juni	7 juni
5	5 – 12 juli	17 juli	22 juli
6	25 sept – 4 okt	16 okt	22 okt
7	4 – 12 okt	16 okt	23 okt
8	16 – 23 nov	27 nov	1 dec

3 Analysemethoden

Beschrijvingen van de bemonsterings- en analysemethoden toegepast op afvalwater en van ventilatielucht van HFR door NRG Pallas in 2025, zijn weergegeven in Bijlage 2.

In opdracht van de ANVS worden de randvoorwaarden uit de Kerntechnische Ausschuss (KTA-1503 [5] en KTA-1504 [6]) voor de uitvoering van de analyses aangehouden. Dit betreft bijvoorbeeld de samenstelling van de nuclidenbibliotheek en de detectiegrenzen die behaald moeten worden.

Indien mogelijk hanteert RIVM/VLH NEN-normen. Voor gammaspectrometrie wordt gewerkt conform NEN-EN-ISO 20042 [7]; voor gasdoorstroomtelling van filters wordt gewerkt conform NEN 5636 [8], en voor totaal-alfa, totaal-bèta in afvalwater gelijkwaardig aan NEN-EN-ISO 10704 [9]. Waar er geen Nederlandse norm voorhanden is, wordt gewerkt volgens eigen methoden met een onderliggend validatierapport. Dit geldt voor de bepaling van ^3H in afvalwater.

3.1 Tweevoudbepalingen

RIVM/VLH voert sommige analyses in tweevoud uit. Wanneer het verschil tussen de twee meetwaarden van een tweevoudbepaling groter is dan 4s (waarbij s de totale onzekerheid van de grootste van de twee meetwaarden is) wordt een tweevoudbepaling afgekeurd. In zo'n geval volgt een aanvullende controle; bijvoorbeeld een controle van de berekeningen, een herhaling van een meting of een nieuwe analyse met achtergehouden monstermateriaal. Het laatste gebeurt indien mogelijk bij afkeuring van een analyse op ^{60}Co of ^{137}Cs . Bij andere gammastralers dan ^{60}Co en ^{137}Cs worden in geval van een afgekeurde tweevoudbepaling de twee meetresultaten afzonderlijk gerapporteerd. Wordt het resultaat van een tweevoudbepaling niet afgekeurd, dan wordt het gemiddelde van de twee meetwaarden gerapporteerd. De analyses waarvan gedurende een langere periode gebleken is dat er weinig of geen afkeuringen plaatsvinden, worden uit oogpunt van efficiëntie in enkelvoud uitgevoerd. Welke analyses in enkelvoud en welke in tweevoud worden uitgevoerd, staat in hoofdstuk 2 (Tabel 1).

3.2 Bepaling van de totaal-alfa-activiteitsconcentratie in afvalwater

Van het monster wordt, na homogenisatie, in twee verschillende flesjes elk 10,0 ml gepipetteerd. Aan één van de flesjes wordt 0,100 ml van een ^{241}Am -oplossing met bekende activiteit toegevoegd en vervolgens gemengd. De twee oplossingen worden in porties op twee roestvast stalen telschaaltjes (geschuurd en ontvet) met een diameter van 50 mm overgebracht en drooggedampt in een stoof bij 60-80 °C. De metingen aan beide telschaaltjes worden uitgevoerd met proportionele gasdoorstroomtellers die zijn voorzien van een dun venster ($< 0,5 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$). De tellers hebben een lage achtergrond. De telopbrengst wordt berekend uit het verschil in de resultaten van de beide telpreparaten en de toegevoegde activiteit aan ^{241}Am .

Deze methode is vastgelegd in RIVM/VLH-procedure VLH-H-005: Handboek gasdoorstroomtelling.

3.3 **Bepaling van de totaal-bèta-activiteitsconcentratie in afvalwater**

Van het gehomogeniseerde monster wordt 10,0 ml drooggedampt op een roestvast stalen telschaaltje met een diameter van 50 mm. Het preparaat heeft een geringe laagdikte. De telefficiëntie wordt bepaald met behulp van een referentiestandaard: een telschaaltje waarop een bekende hoeveelheid ^{90}Sr is ingedampt [9]. De metingen worden uitgevoerd met proportionele gasdoorstroomtellers die zijn voorzien van een dun venster ($< 0,5 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$). De tellers hebben een lage achtergrond. Bij het droogdampen verdwijnen vluchtige bèta-stralers zoals ^3H en anorganisch ^{14}C ($^{14}\text{CO}_2$). Minder vluchtige ^{14}C -verbindingen dragen waarschijnlijk wel voor een deel bij aan de detectie met gasdoorstroomtelling.

Deze methode is vastgelegd in procedure VLH-H-005: Handboek gasdoorstroomtelling.

3.4 **Bepaling van de activiteitsconcentratie aan gammastraling uitzendende nucliden in afvalwater**

Van het ongegeleerde monster worden twee monsters van 250 ml afgemeten. Elk van deze monsters wordt in een teldoos gemengd met behangplaksel en geschud tot een homogene stijve massa verkregen is. Dit 'geleren' dient ter voorkoming van het uitzakken van de radioactieve componenten bij gammaspectrometrische analyses met lange teltijden [10]. De monsters worden gemeten conform NEN-EN-ISO 20042, op een N-type halfgeleiderdetector (Mirion; 45%; XtRa-type) gekoppeld aan een pulssorteerder (DSA-LX, Mirion) met 16384 kanalen over een energiebereik van 30 keV tot 2 MeV in een meettijd van 1000 minuten. Het spectrum wordt geanalyseerd met behulp van het analyseprogramma Apex-Gamma en Genie-2000 (Mirion). De door KTA 1504 [6] voorgeschreven radionucliden zijn in Tabel A2 aangegeven met een '*'. Daarnaast wordt door het analyseprogramma melding gemaakt van pieken die wel gedetecteerd zijn in het spectrum maar die niet aan één van de nucliden in de bibliotheek zijn toe te wijzen. Is dit het geval dan vindt een nadere analyse van het spectrum plaats. RIVM corrigeert net als NRG Pallas voor radioactief verval door de activiteitsconcentratie van de gedetecteerde nucliden terug te rekenen naar het bemonsteringstijdstip.

Indien door RIVM geen enkele gammastraler wordt aangetoond, wordt tenminste de detectielimiet voor ^{60}Co gegeven. De detectielimiet voor ^{60}Co geeft een indicatie van de bereikte meetgevoeligheid volgens KTA 1504 [6]. KTA 1504 eist dat bij het meten van gammastraling uitzendende radionucliden in gedestilleerd water de detectielimiet voor ^{60}Co kleiner is dan $1 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$.

Deze methode is vastgelegd in RIVM-procedure VLH-H-004: Handboek gammaspectrometrie.

3.5 Bepaling van de ^3H -activiteitsconcentratie in afvalwater

Aan 25 ml van het zure afvalwatermonster wordt 0,2 g Na_2CO_3 toegevoegd om het alkalisch te maken. Nadat een deel van dit monster is gedestilleerd, wordt door middel van LSC de activiteitsconcentratie van ^3H bepaald. Per monsterflesje wordt één telling tot een telonzekerheid van 1% of tot maximaal 200 min uitgevoerd. Het telpreparaat bestaat uit 10,0 ml destillaat en 10,0 ml scintillatie-vloeistof (Ultima Gold LLT).

Deze methode is vastgelegd in RIVM-procedure VLH-H-006: Handboek vloeistofscintillatie.

3.6 Bepaling van de totaal-alfa- en totaal-bèta-activiteitsconcentratie in ventilatielucht

Uit het aerosolfilter wordt een schijf met een diameter van 46 mm geponst. Met behulp van een proportionele gasdoorstroomteller met een lage achtergrond, die van een dun venster ($< 0,5 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$) is voorzien, wordt hiervan de alfa- en bèta-telsnelheid gemeten. In overeenstemming met NEN 5636 inzake de analyse van luchtstoffilters, wordt voor de bepaling van de totaal-bèta-activiteitsconcentratie ^{90}Sr en voor de bepaling van de totaal-alfa-activiteitsconcentratie ^{241}Am als referentienuclide toegepast [8]. Aangezien de invloed van de stofbelading op de totaal-alfa efficiëntie aanzienlijk kan zijn en per monster onbekend is, is in deze rapportage een onzekerheid van 30% in de waarde voor de totaal-alfa-activiteitsconcentratie opgenomen.

Deze methode is vastgelegd in RIVM-procedure VLH-H-005: Handboek gasdoorstroomtelling.

3.7 Bepaling van de activiteitsconcentratie gammastraling uitzendende nucliden in ventilatielucht

Per analyse wordt van het geponste (46 mm) aerosolfilter, een koolfilter en korrels met actieve kool een gamma-spectrum opgenomen conform NEN-EN-ISO 20042 [7] en geanalyseerd op dezelfde wijze als dit bij afvalwater gebeurt. De gevonden activiteiten in de afzonderlijke onderdelen worden gesommeerd tot een waarde voor het gehele pakket. Er wordt gecorrigeerd voor radioactief verval door de activiteit van de gedetecteerde nucliden terug te rekenen naar het midden van de monsterperiode.

Voor de meetnauwkeurigheid en voor de vereiste selectie aan te meten radionucliden (zie tabel A2) wordt gerefereerd aan KTA 1503.1 [5]. Deze eist dat bij het meten van gammastralers in ventilatielucht de detectielimiet voor ^{60}Co en ^{131}I minder dan $20 \text{ mBq}\cdot\text{m}^{-3}$ bedraagt.

Deze methode is vastgelegd in RIVM-procedure VLH-H-004: Handboek gammaspectrometrie.

3.8 Onzekerheidsberekeningen

De door RIVM opgegeven onzekerheid is het 1s-schattingsinterval. Voor het bepalen hiervan is gebruik gemaakt van NEN 1047 [11] (Receptbladen voor de statistische verwerking van waarnemingen) en ISO/IEC 98 [12] (*Guide to the expression of uncertainty in*

measurement). Indien de analyse in tweevoud is uitgevoerd wordt het gemiddelde en de onzekerheid daarin gerapporteerd. Bij het schatten van de totale onzekerheid worden telonzekerheden, kalibratieonzekerheden en experimentele onzekerheden meegenomen. Onder experimentele onzekerheden vallen bijvoorbeeld onzekerheden in wegingen en volumebepalingen. Waar van toepassing, is voor de volumebepaling in de hoeveelheid bemonsterde lucht een onzekerheid van 1% opgenomen in de experimentele onzekerheid. Een correctie voor de achtergrondstraling is in alle gevallen meegenomen in de activiteitsberekening en in de foutenberekening.

Bepaling van de totaal-alfa- en totaal-bèta-activiteitsconcentratie in afvalwater

Voor de totaal-alfa-bepaling wordt per analyse gebruik gemaakt van een preparaat zonder en een preparaat met een ^{241}Am -standaard. De totale onzekerheid in de totaal-alfa-activiteitsconcentratie is samengesteld uit een telonzekerheid van het preparaat zonder standaard, een telonzekerheid van het preparaat met standaard, een kalibratieonzekerheid en een experimentele onzekerheid.

De totale onzekerheid in de totaal-bèta-activiteitsconcentratie is samengesteld uit een telonzekerheid van het preparaat, een kalibratieonzekerheid en een experimentele onzekerheid.

Gammaspectrometrie

Voor de gammastralers vindt rapportage plaats met een onzekerheid voortkomend uit telstatistiek, kalibratie, achtergrond, onzekerheid in de opbrengst en monster-voorbehandeling. Indien cascadeverval optreedt wordt daarvoor gecorrigeerd met een correctiefactor; dit leidt tot een extra bijdrage aan de onzekerheid.

Bepaling van de tritium-activiteitsconcentratie in afvalwater

De totale onzekerheid is samengesteld uit de telonzekerheid, een kalibratieonzekerheid en een experimentele onzekerheid.

Bepaling van de totaal-alfa- en totaal-bèta-activiteitsconcentratie in ventilatielucht

Omdat bij de totaal-alfa-bepaling de invloed van de stoflaag op de telefficiëntie groot en per monster verschillend kan zijn wordt een onzekerheid van 30 % in de berekening van de totale onzekerheid verwerkt. De totale onzekerheid in de totaal-alfa en totaal-bèta-activiteitsconcentratie in luchtstof is samengesteld uit een telonzekerheid van beide deelpreparaten, een kalibratieonzekerheid, een experimentele onzekerheid (inclusief de 1% onzekerheid als gevolg van het ponsen van een deel uit het gehele filter), en alleen voor totaal-alfa de stoflaagonzekerheid van 30 %.

3.9 Presentatie van resultaten en vergelijking

De door NRG Pallas bepaalde activiteitsconcentraties worden met de afronding zoals die door RIVM wordt gehanteerd (volgens NEN 1047 [11]) overgenomen uit de opgave van NRG Pallas [1].

In het kort: afronding vindt plaats met de grootste decimale eenheid (10; 1; 0,1 ; 0,01) onder $\frac{1}{2} s$, waarin s de totale onzekerheid is zoals in paragraaf 3.8 is uitgelegd. Voorbeeld: $48,42 \pm 0,58$. $\frac{1}{2} s = 0,29$; dus grootste decimale eenheid is 0,1. Afronding leidt tot $48,4 \pm 0,6$.

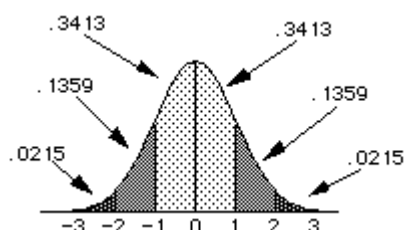
De overeenkomst tussen de meetresultaten van RIVM en die van NRG Pallas wordt ingedeeld in één van de categorieën A1, A2, B, of C, die gekoppeld zijn aan een waarschijnlijkheid. Vergelijking vindt alleen plaats als zowel RIVM als NRG Pallas een activiteit hebben aangetoond en opgegeven.

Het vergelijken van de gemeten waarden x_{NRG} en x_{RIVM} is ook te verwoorden als het bepalen van het verschil $\Delta = x_{NRG} - x_{RIVM}$. Het verschil tussen de meetwaarden wordt berekend uit de getallen zoals deze worden weergegeven, dus na afronding van de meetwaarde van RIVM (volgens NEN 1047 [11]). De onzekerheid in dit verschil is: $s_{\Delta} = \sqrt{(s_{NRG}^2 + s_{RIVM}^2)}$. Indien NRG Pallas geen opgave doet van de onzekerheid in het analyseresultaat, wordt verondersteld dat de onzekerheid in de meetwaarde van NRG Pallas, s_{NRG} , gelijk is aan de onzekerheid in de meetwaarde van RIVM, s_{RIVM} . Uitzondering is de toekenning van een onzekerheid aan de meetwaarde van een ventilatieluchtpakket. NRG Pallas geeft geen meetonzekerheid omdat het niet duidelijk is waar de activiteit zich in het pakket bevindt. Om toch een vergelijking uit te kunnen voeren is, gegeven de grote kalibratieonzekerheid en het zeer lage activiteitsconcentratieniveau, gekozen voor een arbitraire onzekerheid van 20% in de activiteit in een NRG Pallas ventilatieluchtpakket.

Het is bij de vergelijking van de meetdata van RIVM en de nucleaire installatie van belang, dat beide partijen een gedegen foutenberekening uitvoeren. In het ideale geval, bij een voldoende groot aantal metingen van hetzelfde monster, ligt het gemiddelde ten opzichte van de toevallige variaties zeer dicht bij de 'ware waarde' en komt de standaarddeviatie van de meetwaarden overeen met de opgegeven onzekerheden. Als de spreiding benaderd kan worden met de normale verdeling (Gauss curve; zie Figuur 1), dan kunnen de volgende waarschijnlijkheden van voorkomen van de categorieën verwacht worden:

A1:	$ \Delta \leq s_{\Delta}$	~68%, ofwel circa 2 uit 3 ("Goed")
A2:	$s_{\Delta} < \Delta \leq 2 s_{\Delta}$	~27%, ofwel circa 1 uit 4 ("Goed")
B:	$2 s_{\Delta} < \Delta \leq 3 s_{\Delta}$	~4,3%, ofwel circa 1 uit 20 ("Redelijk")
C:	$3 s_{\Delta} < \Delta $	~0,26%, ofwel circa 1 uit 400 ("Matig")

Figuur 1 Schematische weergave van een Gauss curve.



In de praktijk wijkt de verdeling vaak af van de normale verdeling waardoor rekening gehouden moet worden met iets meer voorkomen van de categorie C dan hierboven wordt gesuggereerd. Het veel vaker dan verwacht voorkomen van B's en C's is echter een aanwijzing voor niet onderkende, mogelijk systematische, onderlinge afwijkingen in de meetresultaten van de twee meetlaboratoria (RIVM en NRG Pallas).

4 Resultaten en discussie

Disclaimer - herkomst data en uitvoering van bemonstering. RIVM heeft de meetdata van NRG Pallas overgenomen uit de lozingsrapportages en de kwartaal-rapportages [1]. De kwaliteit van deze data valt onder de verantwoordelijkheid van NRG Pallas. In de tabellen in de Bijlage zijn alle data die aangeleverd zijn door NRG Pallas gemarkeerd met "**NRG**". De bemonstering van afvalwater en ventilatielucht is uitgevoerd door NRG Pallas. Monstergegevens, lozingsdatum en monsterperiode, zijn aangeleverd door NRG Pallas. De resultaten van de bepalingen van RIVM zijn alleen van toepassing op de ontvangen monsters.

4.1 Meetresultaten

De resultaten van de metingen door RIVM en NRG Pallas zijn te vinden in Bijlage 1. In Tabel A1 zijn alleen die gammastralers opgenomen die zijn aangetoond. Als een gammastraler wel door NRG Pallas maar niet door RIVM wordt aangetoond dan wordt de detectielimiet van RIVM voor het betreffende nuclide in deze tabel opgenomen. In de tabellen staan tevens de onzekerheden in de meetwaarden (zie Tabel A1).

4.2 Vergelijking van de resultaten in afvalwater-2025

Het resultaat van de vergelijking zoals beschreven in paragraaf 3.9 is in Tabel A1 van Bijlage 1 vermeld onder de kop 'V'. De vergelijking van de resultaten van NRG Pallas met die van het RIVM is samengevat in Tabel 4.

Afvalwater gammaspectrometrie

De gammaspectrometrie vergelijkingsresultaten zijn in deze rapportageperiode goed; de categorie [A1+A2] is binnen de verwachting. De categorieën B en C zijn daarentegen vaker dan de verwachting aangetroffen; zie paragraaf 3.9. Het is niet duidelijk wat hiervan de oorzaak is.

Afvalwater totaal-alfa

In twee van de acht monsters toonden RIVM en NRG Pallas beiden een geringe totaal-alfa-activiteit aan. De overeenkomst was goed (tweemaal A1). In de overige 6 monsters heeft NRG Pallas geen activiteit boven de detectiegrens aangetoond.

Afvalwater totaal-bèta

De vergelijking van de totaal-bèta resultaten is matig met een A2, B en zesmaal C. In alle monsters rapporteert NRG Pallas een totaal-bèta-activiteitsconcentratie die ongeveer een factor 2-3 hoger is dan de som van veel voorkomende bèta/gamma-stralers, zoals ^{60}Co , ^{124}Sb , ^{125}Sb en ^{137}Cs .

Opmerking

In april 2026 is overleg tussen NRG Pallas en RIVM gestart om de systematische verschillen tussen de analyseresultaten van de droogdampmethode van RIVM en de LSC methode van NRG Pallas te onderzoeken.

Afvalwater tritium

De overeenstemming in de ^3H -data was uitstekend, achtmaal A1.

Vergelijking ^3H resultaten behaald in BfS Abwasser 2025

In het BfS-ringonderzoek in 2025 hebben NRG Pallas en RIVM in Modellwasser ^3H bepaald, beide met een afwijking van de doelwaarde van slechts -2 %. Dit wordt weerspiegeld in de overeenkomst in de ^3H data van NRG Pallas en RIVM.

Tabel 4 Samenvatting van vergelijkingsresultaten van gamma-metingen, totaal-alfa, totaal-bèta en tritium in NRG Pallas afvalwater in 2025

Nuclide	1	2	3	4	5	6	7	8	ΣA1	ΣA2	ΣB	ΣC
Na-22	A1	A2	B	B	A1	A2	A2	A1	3	3	2	0
Mn-54	A1	A2	A2	A1	B	A2	A1	B	3	3	2	0
Co-57	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	8	0	0	0
Co-58	A1	B	A1	A1		A1	A1	A2	5	1	1	0
Co-60	A2	A2	B	B	B	A2	B	A2	0	4	4	0
Zn-65				A1		A1	A2	A2	2	2	0	0
Cd-109					A1	A1	A2	A2	2	2	0	0
Sb-124		A2	A1	A2	A2	A2	A1	A1	3	4	0	0
Sb-125	A1	A1	A2	C	C	A1	A2	A1	4	2	0	2
Cs-134	A1	A1			C		B		2	0	1	1
Cs-137	A2	A2	A2	A2	B	A1	A1	A1	3	4	1	0
W-181	A1	A1	A1	A1	A2	A1			5	1	0	0
W-188	A1								1	0	0	0
Totaal*									41 (47-61)	26 (15-28)	11 (1-7)	3 (0-1)
Tot-alfa				A1		A1			2	0	0	0
Tot-bèta	C	C	C	B	C	C	C	A2	0	1	1	6
^3H	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	8	0	0	0

* De range tussen haakjes geeft het 95% interval aan van de verwachte aantallen in de betreffende categorie (A1-A2-B-C) bij een standaard normale verdeling (Figuur 1).

In een aantal gevallen zijn nucliden aangetoond alleen door RIVM of alleen door NRG Pallas; zie Tabel 5. Het betreft voor de genoemde gevallen activiteitsconcentraties vlak bij de detectiegrens.

Tabel 5 Gammastralers in 2025 in afvalwater, alleen door RIVM of door NRG Pallas

Monsternr	Alleen door RIVM	Alleen door NRG*
1	^{109}Cd , ^{124}Sb	^{177}Lu
2	^{65}Zn , ^{103}Ru , ^{109}Cd	^{177}Lu
3	^{109}Cd	^{134}Cs , ^{177}Lu
4	^{109}Cd , ^{134}Cs	^{177}Lu
5	^{58}Co , ^{109}Cd	
6	^{103}Ru , ^{109}Cd , ^{134}Cs	^{188}W , ^{177}Lu
7	^{103}Ru , ^{181}W , ^{188}W	^{177}Lu
8	^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{181}W	

* NRG Pallas rapporteert in 6 van de 8 monsters Lu-177. Door de halveringstijd van 6,7 d en de lage gammayield van 11% is dit nuclide nauwelijks aantoonbaar door RIVM.

4.3 Vergelijking van de NRG Pallas en RIVM meetwaarden in ventilatielucht HFR

Werkwijze

Eerst wordt als signalering het gehele filterpakket (aerosolfilter + koolfilter + koolpatroon) gammaspectrometrisch onderzocht. Indien er geen activiteit wordt aangetroffen, wordt het pakket niet verder onderzocht. Indien er wel activiteit wordt aangetroffen, worden, zoals beschreven in paragraaf 3.7, de afzonderlijke onderdelen van het pakket gemeten op gamma-activiteit met behulp van een gekalibreerde meting. Daarnaast wordt het aerosolfilter ook gemeten op totaal-alfa- en totaal-bèta-activiteit.

Gammaspectrometrie gehele filterpakket (Tabel A3)

RIVM trof in alle acht *filterpakketten* een zeer geringe hoeveelheid van een of meerdere van de nucliden ^{131}I , ^{133}Xe , ^{191}Os of ^{203}Hg (zie Tabel A3). NRG Pallas rapporteert in het 3^e pakket ^{131}I met een A2 overeenkomst. In het 4^e en 8^e pakket rapporteert NRG Pallas ^{133}Xe met tweemaal een A1 overeenkomst. NRG Pallas rapporteert voor deze metingen geen onzekerheid. Voor het uitvoeren van de vergelijking heeft RIVM de NRG Pallas meetdata aan het pakket voorzien van een onzekerheid van 20%.

RIVM heeft in de *aerosolfilters* geen gamma-activiteit aangetroffen. NRG Pallas heeft de aerosolfilters niet separaat geanalyseerd.

In de acht *koolfilters* trof RIVM (1,3 – 4,7) $\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$ aan van ^{191}Os ; en (0,39 – 2,7) $\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$ aan ^{131}I . Tevens is in monsters 1 en 7 (0,3 – 0,56) $\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$ aan ^{203}Hg aangetroffen. De activiteitsconcentratie voor deze nucliden was erg laag en onder de detectiegrens van NRG Pallas.

In de *koolkorrels* van de monsters 4 t/m 8 in 2025 vindt RIVM (1,8 – 9) $\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$ van ^{133}Xe . RIVM rapporteert in het 7^e monster ook ^{191}Os en ^{203}Hg , echter onder de detectiegrens van NRG Pallas.

Totaal-alfa en totaal-bèta (Tabel A4)

RIVM heeft in de acht aerosolfilters een zeer geringe totaal-alfa-activiteit en totaal-bèta-activiteit aangetroffen, waar NRG Pallas niets vond; zie Tabel A4. De waarden van RIVM liggen ruim onder de detectiegrens van NRG Pallas.

De RIVM-maatwaarden voor totaal-alfa en totaal-bèta in ventilatielucht verschillen niet significant van de waarden in buitenlucht die door RIVM met een high volume sampler wekelijks worden aangetoond in Bilthoven: het weekgemiddelde voor 2020-2021 (en representatief voor 2025) voor totaal-alfa varieert tussen 0,02 en 0,03 mBq·m⁻³ en voor totaal-bèta 0,2 en 0,9 mBq·m⁻³ ($\pm 1s$) [13]. Dit houdt in dat de totaal-alfa- en totaal-bèta-activiteit in de gemeten ventilatielucht van de HFR waarschijnlijk van natuurlijke oorsprong is.

5 Conclusie over de contra expertise resultaten 2025

In de periode 2025 is de overeenstemming tussen RIVM en NRG Pallas in de gammaspectrometriresultaten in afvalwater goed. De vergelijking in de ^3H resultaten in afvalwater is zeer goed. De totaal-alfa resultaten stemmen goed in 2025 overeen. De overeenstemming in de totaal-bèta resultaten in afvalwater is matig en kan verbeterd worden, en wordt deels verklaard door een verschil in analysemethodiek.

De activiteitsconcentraties in ventilatielucht zijn zeer laag en vallen ruim onder de detectiegrens van NRG Pallas ($< 20 \text{ mBq.m}^{-3}$ voor ^{131}I). Er is in een aantal monsters door RIVM een zeer lage activiteitsconcentratie aan ^{131}I , ^{133}Xe , ^{191}Os en ^{203}Hg aangetroffen.

De RIVM meetwaarden voor totaal-alfa en totaal-bèta in ventilatielucht liggen in de range van wat er in buitenlucht aangetroffen wordt en hebben waarschijnlijk een natuurlijke oorsprong. NRG Pallas heeft een wat hogere detectiegrens voor totaal-alfa en totaal-bèta; de RIVM meetwaarden liggen ruim onder deze detectiegrens.

Ter wille van de overzichtelijkheid is in Tabel 6 een samenvatting gegeven van de uitgevoerde contra expertise in 2025.

Tabel 6 Overeenstemming tussen NRG Pallas en RIVM meetresultaten in 2025

Parameter	Afvalwater 2025	Ventilatielucht 2025
Totaal-alfa	Goed	$< \text{MDA (NRG)}$
Totaal-bèta	Matig	$< \text{MDA (NRG)}$
Gammaspectrometrie:	Redelijk / goed	Meest $< \text{MDA (NRG)}$
Tritium	Zeer goed	

MDA = minimaal detecteerbare activiteit. Met MDA wordt bedoeld dat de activiteitsconcentraties zo laag zijn dat RIVM of NRG Pallas, of beiden, geen activiteit heeft kunnen aantonen waardoor er geen vergelijking mogelijk is.

Referenties

- 1 NRG Pallas. E-mail van J. Kok (NRG Pallas) aan P. Kwakman (RIVM) met een bijgevoegde Excel sheet met lozingsdata :
Radioactieve componenten zeelozing 2025 :
 NRG Pallas 1e kwartaal 2025 d.d. 17 april 2025.
 NRG Pallas 2e kwartaal 2025 d.d. 22 juli 2025.
 NRG Pallas 3e kwartaal 2025 d.d. 8 oktober 2025.
 NRG Pallas 4e kwartaal 2025 d.d. 5 januari 2026.
Radioactieve componenten in HFR lozingslucht 2025 :
 E-mail van J. Kok (NRG Pallas) aan P. Kwakman (RIVM) met een bijgevoegde Excel sheet met lozingsdata
 "Rapportage_koolpakketten HFR 2025", d.d. 5-1-2026.
- 2 S. Hofmann. K. Schmidt. *Abwasser aus kerntechnischen Anlagen, Ringversuch 2025, UR-04/2025*. November 2025, Bundesamt für Strahlenschutz, www.bfs.de, Salzgitter, Duitsland,
- 3 BfS, 46. Ringversuch "Fortluft 2024"; BfS report BfS-UR 3-102/2025, juni 2025, Salzgitter, Duitsland.
- 4 ANVS Ondersteuning Inspectie en Monitoring, Contra expertise metingen nucleaire installaties. M/390220/25/CE – Jaarplan 2025.
- 5 KTA 1503.1. Überwachung der Ableitung gasförmiger und an Schwebstoffen gebundener radioaktiver Stoffe. Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb, KTA, 2022-11.
- 6 KTA 1504. Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser. KTA, 2022-11.
- 7 NEN-EN-ISO 20042. Measurement of radioactivity - Gamma-ray emitting radionuclides - Generic test method using gamma-ray spectrometry.
- 8 NEN 5636. Radioactiviteitsmetingen. Bepaling van de kunstmatige totale alfa-, kunstmatige totale bèta-activiteit en gammaspectrometrie van luchtfilters en berekening van de volumieke activiteit van de bemonsterde lucht. Nederlands Normalisatie Instituut (NEN), Delft.
- 9 NEN-EN-ISO 10704 Water - Totaal-alfa en totaal-bèta activiteitsconcentratie - Dunne-laag-methode. Nederland Normalisatie Instituut (NEN), Delft
- 10 Voorschrift monstervoorbereiding en monsterbehandeling van vloeibare afvalstoffen. Brief van VLH aan de nucleaire installaties d.d. 18 september 1990, kenmerk 1364/90 VLH Sm/eh.
- 11 NEN 1047. Receptbladen voor de statistische verwerking van waarnemingen. Nederlands Normalisatie Instituut. NEN, Delft, 1991.
- 12 ISO/IEC 98. ISO/IEC Guide 98-1:2024 Guide to the expression of uncertainty in measurement.
- 13 Monitoring of radioactivity in the Netherlands. Airdust and deposition – results in 2020 and 2021. RIVM letter report 2023-0087. Editor P.P. Bosch.

Bijlage 1 Vergelijking met meetresultaten NRG Pallas in 2025

Afvalwater – 2025

Alle meetdata afkomstig van de lozingsrapportages en de kwartaalrapportages van NRG Pallas [1] zijn aangegeven in de kolom met erboven in vette en cursieve letters "**NRG**". Zie de disclaimer in Hoofdstuk 4.

Tabel A1 Vergelijking van de activiteitsconcentratie van gammastralers, totaal-alfa, totaal-bèta (kBq·m⁻³) en ³H (MBq·m⁻³) in afvalwater

Periode Nuclide	periode 1 (2025)			periode 2 (2025)		
	RIVM	V	NRG	RIVM	V	NRG
Na-22	1,9 ± 0,3	A1	1,5 ± 0,3	7,9 ± 0,4	A2	6,6 ± 0,5
Mn-54	27,9 ± 1,4	A1	28,8 ± 1,5	6,3 ± 0,4	A2	5,5 ± 0,5
Co-57	12,3 ± 1,0	A1	13,2 ± 0,7	24,4 ± 1,8	A1	25,0 ± 1,0
Co-58	20,9 ± 1,3	A1	21,8 ± 1,2	3,0 ± 0,3	B	4,4 ± 0,5
Co-60	2270 ± 70	A2	2410 ± 70	294 ± 10	A2	316 ± 10
Zn-65				3,2 ± 0,5		*
Ru-103				6,6 ± 0,9		*
Cd-109	13 ± 2		*	24 ± 4		*
Sb-124	8,2 ± 0,7		*	7,5 ± 0,4	A2	6,7 ± 0,6
Sb-125	72 ± 3	A1	70 ± 2	20,7 ± 1,3	A1	19,5 ± 1,5
Cs-134	10,3 ± 0,5	A1	9,7 ± 0,6	3,6 ± 0,2	A1	3,6 ± 0,4
Cs-137	2940 ± 150	A2	3150 ± 130	5400 ± 300	A2	5900 ± 300
W-181	204 ± 13	A1	206 ± 14	23,7 ± 1,5	A1	24,9 ± 1,9
W-188	17 ± 3	A1	14 ± 2			
Totaal-alfa	0,28 ± 0,06		< 0,5	0,34 ± 0,07		< 0,6
Totaal-bèta	5200 ± 200	C	13000 ± 2000	5700 ± 300	C	10600 ± 1600
H-3	87 ± 3	A1	86 ± 4	59 ± 2	A1	58 ± 3

* Het betreffende nuclide is < MDA waarde

Tabel A1 Vervolg (2)

Periode Nuclide	periode 3 (2025)			periode 4 (2025)		
	RIVM	V	NRG	RIVM	V	NRG
Na-22	4,4 ± 0,3	B	3,1 ± 0,4	5,0 ± 0,3	B	3,6 ± 0,4
Mn-54	7,8 ± 0,5	A2	8,8 ± 0,6	11,1 ± 0,6	A1	10,2 ± 0,7
Co-57	18,4 ± 1,4	A1	18,5 ± 0,8	19,9 ± 1,4	A1	21,2 ± 0,9
Co-58	3,3 ± 0,4	A1	3,6 ± 0,5	2,5 ± 0,4	A1	2,6 ± 0,4
Co-60	431 ± 14	B	473 ± 14	342 ± 11	B	379 ± 12
Zn-65				8,4 ± 0,7	A1	8,9 ± 1,2
Cd-109	30 ± 4		*	30 ± 4		*
Sb-124	42,3 ± 1,6	A1	43,8 ± 1,4	17,3 ± 0,7	A2	15 ± 2
Sb-125	72 ± 3	A2	79 ± 2	44 ± 2	C	54 ± 2
Cs-134	< 2		4,7 ± 0,4	2,9 ± 0,2		*
Cs-137	5500 ± 300	A2	6100 ± 300	6100 ± 300	A2	6700 ± 300
W-181	40 ± 3	A1	39 ± 3	19,2 ± 1,3	A1	19,9 ± 1,7
Totaal-alfa	0,52 ± 0,08		< 0,5	0,78 ± 0,10	A1	0,7 ± 0,4
Totaal-bèta	6100 ± 300	C	13100 ± 1900	6500 ± 300	B	12000 ± 1800
H-3	66 ± 2	A1	68 ± 3	83 ± 3	A1	83 ± 4

* Het betreffende nuclide is < MDA waarde

Tabel A1 Vervolg (3)

Periode Nuclide	periode 5 (2025)			periode 6 (2025)		
	RIVM	V	NRG	RIVM	V	NRG
Na-22	4,2 ± 0,3	A1	4,3 ± 0,4	18,3 ± 1,1	A2	21,4 ± 1,6
Mn-54	6,6 ± 0,4	B	7,9 ± 0,5	52 ± 2	A2	58 ± 3
Co-57	14,0 ± 1,0	A1	13,6 ± 0,6	26,3 ± 1,8	A1	25,9 ± 1,1
Co-58	1,9 ± 0,3		*	10,4 ± 1,1	A1	10,5 ± 0,9
Co-60	303 ± 10	B	338 ± 10	559 ± 18	A2	600 ± 18
Zn-65				15,1 ± 1,6	A1	14 ± 2
Ru-103				6,3 ± 1,3		*
Cd-109	20 ± 3	A1	21 ± 17	42 ± 11	A1	54 ± 5
Sb-124	47,4 ± 1,7	A2	52 ± 3	4500 ± 140	A2	4690 ± 70
Sb-125	113 ± 4	C	132 ± 3	690 ± 20	A1	702 ± 12
I-131				< 140		8,2 ± 0,9
Cs-134	2,3 ± 0,5	C	4,8 ± 0,3	6,4 ± 0,4		*
Cs-137	3680 ± 180	B	4220 ± 180	1500 ± 70	A1	1590 ± 70
W-181	53 ± 3	A2	60 ± 4	108 ± 7	A1	106 ± 4
W-188				< 20		10,9 ± 1,9
Totaal-alfa	0,30 ± 0,08		< 0,5	1,11 ± 0,13	A1	1,2 ± 0,4
Totaal-bèta	5000 ± 200	C	11300 ± 1800	5400 ± 300	C	22000 ± 3000
H-3	73 ± 2	A1	73 ± 3	115 ± 4	A1	113 ± 5

* Het betreffende nuclide is < MDA waarde

Tabel A1 Vervolg (4)

Periode Nuclide	periode 7 (2025)			periode 8 (2025)		
	RIVM	V	NRG	RIVM	V	NRG
Na-22	17,0 ± 0,9	A2	15,5 ± 1,1	5,0 ± 0,5	A1	4,4 ± 0,5
Mn-54	66 ± 3	A1	70 ± 3	24,8 ± 1,2	B	28,9 ± 1,4
Co-57	26,4 ± 1,7	A1	27,9 ± 1,0	13,8 ± 1,0	A1	14,7 ± 0,6
Co-58	10,7 ± 0,8	A1	11,7 ± 0,9	5,8 ± 0,8	A2	7,3 ± 0,7
Co-60	720 ± 20	B	810 ± 20	272 ± 9	A2	295 ± 9
Zn-65	12,3 ± 1,4	A2	8,3 ± 1,7	29,4 ± 1,5	A2	32 ± 2
Ru-103	6,2 ± 1,8		*	3,5 ± 0,6		*
Ru-106				10 ± 2		*
Cd-109	48 ± 7	A2	57 ± 4	150 ± 13	A2	134 ± 6
Sb-124	1180 ± 40	A1	1200 ± 20	1970 ± 60	A1	1950 ± 30
Sb-125	416 ± 14	A2	438 ± 8	350 ± 12	A1	360 ± 6
I-131				10 ± 3		*
Cs-134	8,5 ± 0,6	B	10,4 ± 0,6	2,2 ± 0,2		*
Cs-137	960 ± 50	A1	1000 ± 40	450 ± 20	A1	470 ± 20
W-181	172 ± 11		*	21,1 ± 1,3		*
W-188	22 ± 3		*			
Totaal-alfa	0,79 ± 0,10		< 1,0	0,41 ± 0,07		< 1,0
Totaal-bèta	5600 ± 300	C	23000 ± 3000	2590 ± 120	A2	4400 ± 1000
H-3	130 ± 4	A1	129 ± 6	60 ± 2	A1	61 ± 3

* Het betreffende nuclide is < MDA waarde

Tabel A2 De nucliden in de bibliotheek voor analyse van gammaspectra van monsters afvalwater en ventilatielucht

⁷ Be	⁶⁵ Zn*	¹⁰³ Ru*	¹²⁵ I	¹³⁶ Cs	¹⁸⁸ W	²¹⁹ Rn
²² Na	⁶⁷ Ga	¹⁰⁶ Ru*	¹²⁵ Sb [†]	¹³⁷ Cs*	¹⁹¹ Os	²²³ Ra
²⁴ Na	⁷⁵ Se	¹⁰⁹ Cd	¹²⁹ I	¹³⁹ Ce	²⁰² Tl	²²⁶ Ra
⁴⁰ K	⁸² Br	^{110m} Ag*	¹²⁹ Te	¹⁴⁰ Ba*	²⁰³ Hg	²²⁷ Th
⁵¹ Cr*	⁸³ Rb	¹¹¹ In	^{129m} Te	¹⁴⁰ La*	²⁰³ Pb	²²⁸ Ac
⁵⁴ Mn*	⁸⁵ Sr	¹¹³ Sn	¹³¹ I*	¹⁴¹ Ce*	²⁰⁸ Tl	²³⁰ Th
⁵⁶ Co	⁸⁸ Y	¹¹⁵ Cd	¹³² I	¹⁴⁴ Ce*	²¹⁰ Pb	²³¹ Pa
⁵⁷ Co*	⁹⁵ Nb*	^{115m} Cd	¹³² Te	¹⁵² Eu	²¹² Bi	^{234m} Pa
⁵⁸ Co*	^{95m} Tc	¹²¹ Te	¹³³ I	¹⁸¹ W	²¹² Pb	²³⁴ Th
⁵⁹ Fe [†]	⁹⁵ Zr*	^{123m} Te [†]	¹³³ Xe	¹⁸⁵ W	²¹⁴ Bi	²³⁵ U
⁶⁰ Co*	⁹⁹ Mo	¹²⁴ Sb*	¹³⁴ Cs*	¹⁸⁶ Re	²¹⁴ Pb	²⁴¹ Am

* Volgens KTA 1503.1 [5] en KTA 1504 [6] te onderzoeken nucliden

† Volgens KTA 1504 [6] te onderzoeken nucliden

Overige nucliden zonder (*) of (†) zijn opgenomen in de generieke gammabibliotheek die ook voor afvalwater van KCB, COVRA, Urenco en RID wordt toegepast.

NRG Pallas ventilatielucht - 2025*Tabel A3 Meetresultaten gammaspectrometrie aerosolfilter en koolfilter, ventilatielucht HFR in 2025 (mBq m⁻³)*

Monsternr Periode 2025	Nuclide	Aerosolfilter RIVM	Koolfilter RIVM
1 31 maart – 4 april	¹³¹ I	< 1,9	1,6 ± 0,4
	¹³³ Xe	< 6	< 6
	¹⁹¹ Os	< 1,1	1,3 ± 0,3
	²⁰³ Hg	< 0,3	0,31 ± 0,07
2 5 – 13 april	¹³¹ I	< 0,5	0,39 ± 0,11
	¹³³ Xe	< 1,0	< 1,1
	¹⁹¹ Os	< 0,4	0,64 ± 0,12
	²⁰³ Hg	< 0,16	< 0,2
3 18 – 25 mei	¹³¹ I	< 0,7	2,6 ± 0,3
	¹³³ Xe	< 1,3	< 1,6
	¹⁹¹ Os	< 0,6	1,3 ± 0,2
	²⁰³ Hg	< 0,2	< 0,19
4 25 mei – 1 juni	¹³¹ I	< 0,4	2,0 ± 0,2
	¹³³ Xe	< 0,6	< 0,4
	¹⁹¹ Os	< 0,4	1,5 ± 0,2
	²⁰³ Hg	< 0,18	< 0,18
5 5 – 12 juli	¹³¹ I	< 0,5	2,7 ± 0,3
	¹³³ Xe	< 0,8	< 1,2
	¹⁹¹ Os	< 0,4	2,0 ± 0,3
	²⁰³ Hg	< 0,17	< 0,16
6 25 sept – 4 okt	¹³¹ I	< 0,9	1,4 ± 0,2
	¹³³ Xe	< 3	< 3
	¹⁹¹ Os	< 0,6	1,8 ± 0,3
	²⁰³ Hg	< 0,16	< 0,16
7 4 – 12 okt	¹³¹ I	< 0,4	2,6 ± 0,2
	¹³³ Xe	< 0,8	< 0,9
	¹⁹¹ Os	< 0,3	4,7 ± 0,6
	²⁰³ Hg	< 0,11	0,56 ± 0,06
8 16 – 23 nov	¹³¹ I	< 0,3	0,92 ± 0,11
	¹³³ Xe	< 0,6	< 0,6
	¹⁹¹ Os	< 0,4	1,5 ± 0,2
	²⁰³ Hg	< 0,13	< 0,11

Tabel A3 (vervolg) Meetresultaten gammaspectrometrie koolkorrels en totaal filterpakket, ventilatielucht HFR in 2025 (mBq m⁻³)

Monsternr periode 2025	Nuclide*	Koolkorrels RIVM	Pakket** RIVM	V	NRG
1 31 maart – 4 april	¹³¹ I	< 5	1,6 ± 0,4		
	¹³³ Xe	< 20			
	¹⁹¹ Os	< 3	1,3 ± 0,3		
	²⁰³ Hg	< 0,7	0,31 ± 0,07		
2 5 – 13 april	¹³¹ I	< 1,5	0,39 ± 0,11		
	¹³³ Xe	< 5			
	¹⁹¹ Os	< 1,3	0,64 ± 0,12		
	²⁰³ Hg	< 0,4			
3 18 – 25 mei	¹³¹ I	< 3	2,6 ± 0,3	A2	2,1 ± 0,4
	¹³³ Xe	< 11			
	¹⁹¹ Os	< 2	1,3 ± 0,2		
	²⁰³ Hg	< 0,5			
4 25 mei – 1 juni	¹³¹ I	< 1,7	2,0 ± 0,2		
	¹³³ Xe	5,4 ± 0,9	5,4 ± 0,9	A1	7,3 ± 1,5
	¹⁹¹ Os	< 1,6	1,5 ± 0,2		
	²⁰³ Hg	< 0,5			
5 5 – 12 juli	¹³¹ I	< 1,4	2,7 ± 0,3		
	¹³³ Xe	9,0 ± 1,2	9,0 ± 1,2		
	¹⁹¹ Os	< 1,6	2,0 ± 0,3		
	²⁰³ Hg	< 0,4			
6 25 sept – 4 okt	¹³¹ I	< 1,6	1,4 ± 0,2		
	¹³³ Xe	6,4 ± 1,5	6,4 ± 1,5		
	¹⁹¹ Os	< 1,2	1,8 ± 0,3		
	²⁰³ Hg	< 0,3			
7 4 – 12 okt	¹³¹ I	< 0,7	2,6 ± 0,2		
	¹³³ Xe	1,8 ± 0,5	1,8 ± 0,5		
	¹⁹¹ Os	0,7 ± 0,2	5,4 ± 0,6		
	²⁰³ Hg	1,21 ± 0,13	1,77 ± 0,14		
8 16 – 23 nov	¹³¹ I	< 0,7	0,92 ± 0,11		
	¹³³ Xe	8,5 ± 1,0	8,5 ± 1,0	A1	7,4 ± 1,5
	¹⁹¹ Os	< 0,7	1,5 ± 0,2		
	²⁰³ Hg	< 0,3			

* Voor de vergelijking van de data in het pakket is de opgave van NRG Pallas (mBq.m⁻³) arbitrair voorzien van een onzekerheid van 20%.

** Voor de berekening van de activiteitsconcentratie in RIVM meting van het pakket zijn de activiteitsconcentraties in het aerosolfilter, het koelfilter en de koolkorrels gesommeerd. In de som zijn detectiegrenzen niet inbegrepen. NRG Pallas rapporteert alleen een pakketmeting.

Tabel A4 Vergelijking van de activiteitsconcentratie meetresultaten totaal-alfa en totaal-bèta in ventilatielucht HFR in 2025 (mBq.m⁻³); NRG Pallas resultaten van aerosolfilter.

Nr	2025 Monsterperiode	Totaal-alfa (mBq.m ⁻³) aerosolfilter			Totaal-bèta (mBq.m ⁻³) aerosolfilter		
		RIVM	V	NRG	RIVM	V	NRG
1	31 mrt – 4 april	0,021 ± 0,006		< 0,15	0,24 ± 0,02		< 0,5
2	5 – 13 april	0,017 ± 0,004		< 0,10	0,152 ± 0,014		< 0,4
3	18 – 25 mei	0,028 ± 0,006		< 0,13	0,172 ± 0,018		< 0,5
4	25 mei – 1 juni	0,015 ± 0,005		< 0,13	0,172 ± 0,018		< 0,5
5	5 – 12 juli	0,029 ± 0,006		< 0,15	0,20 ± 0,02		< 0,5
6	25 sept – 4 okt	0,024 ± 0,005		< 0,12	0,153 ± 0,016		< 0,4
7	4 – 12 okt	0,025 ± 0,005		< 0,09	0,122 ± 0,012		< 0,3
8	16 – 23 nov	0,024 ± 0,005		< 0,11	0,202 ± 0,016		< 0,4

Bijlage 2 Bemonstering en meting door NRG Pallas in 2025

Bemonsterings- en meetplan voor radioactieve stoffen in ventilatielucht van de Hoge Flux Reactor

Aerosolmeting vindt plaats via een zgn, koelfilterpakket met 3 filters (glasvezel, koelfilter, geactiveerd kool)

Verwisseling van de filters vindt wekelijks plaats.

Analyse van de filters gebeurt via een gammaspectrometrische meetmethode: volgens de richtlijnen in KTA-1503.

Bemonsterings- en meetplan voor radioactieve stoffen in gereinigd afvalwater uit de zeeleiding.

Monsterneming NRG Pallas

Per week kunnen bij NRG Pallas in "batches" van 75 m³ een of meer lozingen van gereinigd afvalwater op de Noordzee plaatsvinden. Bij de lozing voert NRG Pallas een automatische debiet proportionele bemonstering uit met het Hobre-systeem (omvat tevens conservering), waarbij per batch van 75 m³ een monster van ca. 4 liter wordt genomen. Het weekmonster wordt opgevangen in een polytheen verzamelvat van 25 liter waarin ter conservering van het monster reeds 400 ml verdund salpeterzuur (1:1) is afgewogen. Na verwisseling van het vat aan het begin van een nieuwe lozingsweek wordt uit het verzamelvat onder roeren een deelmonster van 1 liter genomen voor RIVM en een deelmonster van 1 liter voor NRG Pallas. Aan beide deelmonsters wordt een evenredige hoeveelheid drageroplossing toegevoegd om het optreden van inhomogeniteiten en adsorptie aan de fleswand tegen te gaan [RIVM referentie 10]. De deelmonsters worden vervolgens tot moment van verwerking opgeslagen.

Analyseprocedure NRG Pallas

Van elk weekmonster worden de volgende concentraties bepaald:

- *Gammastralers*
Voor de bepaling van activiteitsconcentratie van de gamma-emitterende radionucliden wordt onder roeren 250 ml van het deelmonster afgewogen in een 500 ml polytheenfles.
Om uitzakken van het monster tijdens de meting te voorkomen wordt 10 gram geleermiddel, behangplaksel merk Perfax blauw, aan het monster toegevoegd en goed gemengd. Het aldus gegeleerde monster wordt gedurende 16 uur gemeten op een N-type high-purity germanium detector in lage-achtergrond meetopstelling. De methode is conform NEN 5623. Daarnaast voldoet de meetmethode aan de door de Duitse overheid gehanteerde normen zoals weergegeven in het voorschrift KTA-1504 [RIVM referentie 6].
- *Totaal-alfa-bepaling.*
De bepaling van de totaal-alfa wordt uitgevoerd met behulp van ZnS-scintillatiemetingen.
Van het gehomogeniseerde monster wordt in twee monstervaatjes elk 5 ml gepipetteerd. Aan een van de monstervaatjes wordt een bekende hoeveelheid ²⁴¹Am-oplossing

toegevoegd. Vervolgens worden beide monsters ingedampt tot droog op vooraf geprepareerde rvs-plaatjes met een diameter van 35 mm en gedurende 16 uur geteld onder een scintillatieteller met een lage achtergrond. Uit de additie van de ^{241}Am -oplossing wordt de correctiefactor bepaald voor de zelfabsorptie in het ingedampte preparaat ten gevolge van de aanwezige zoutrest. Deze wijze van totaal-alfabepaling is (destijds) goedgekeurd door de VROM inspectie, regio Zuid-West.

- *Tritium bepaling*

Tritium en totaal-bèta's worden bepaald met behulp van vloeistofscintillatie-spectrometrie volgens een methode waarbij gecorrigeerd wordt voor quenching.

Na homogeniseren van het monster wordt ongeveer 50 ml overgebracht in een bekersglas met daarin een driepoot met een opvangbakje. Vervolgens wordt 250 mg Na_2CO_3 toegevoegd en verwarmd tot kookpunt. Na enige minuten koken wordt het bekersglas afgedekt met een rondbodemkolf gevuld met ijswater en wordt het tritium na condenseren opgevangen in het opvangbakje. Het opvangbakje bevat uiteindelijk 15-20 ml destillaat. Vervolgens wordt 10 ml destillaat gemengd met 10 ml Ultima Gold LLT en m.b.v. de LSC wordt gedurende 5 maal 6 minuten de activiteit in de energieband 0-19 keV bepaald. De methode is conform NEN-EN-ISO 9698. Echter wordt er geen natriumthiosulfaat toegevoegd.

- *Totaal-bèta-bepaling*

Voor het bepalen van de totaal-bèta-activiteit wordt naast de meting van het gedestilleerde monster tevens een direct meting van het watermonster uitgevoerd. Vanuit deze direct meting wordt, rekening houdend met de correctie voor quenching, na aftrek van de tritiumactiviteit de totaal-bèta-activiteit berekend.

Referenties van NRG Pallas

- ECN-CX--96-059. C.J.H. van Maurik, A.W. van Weers, *Bemonsterings- en meetplan voor radioactieve stoffen in het afvalwater uit de zeeleiding*. maart 1998.
- ECN-R--97-003. N.D. Engeltjes, C.J.H. van Maurik, T.J.H. de Groot, J. Zwaard, A.W. van Weers. *Testresultaten van het Hobre-systeem voor bemonstering van radioactief afvalwater uit de zeeleiding*. Oktober 1997.
- Weers AW van, Maurik CJH van, Groot TJH de, *Vergelijking Gamma-metingen van zeelozingsmonsters COBRA versus Hobre*. NRG-rapport 25115.20.30/99.22940, Petten, NRG, 16 juni 1999.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

september 2026

De zorg voor morgen
begint vandaag