



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

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

Periode 2022

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

Periode 2022

RIVM-briefrapport 2023-0387

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 zijn 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.

DOI 10.21945/RIVM-2023-0387

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

Contact:

P.J.M. Kwakman
Milieu en Veiligheid\Centrum Veiligheid
pieter.kwakman@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS), in het kader van project 390020/22/SM, Site Monitoring Straling

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.

Periode 2022

Het nucleair bedrijf Nuclear Research and Consultancy Group (NRG) in Petten meet hoeveel radioactiviteit het in het eigen afvalwater en de ventilatielucht naar de omgeving loost. De monsters hiervoor worden verspreid over het jaar genomen. Het RIVM controleert deze metingen acht keer per jaar. Met deze 'contra-expertise' controleert het RIVM of de analyses die NRG zelf uitvoert, betrouwbaar zijn. RIVM stelt vast dat de meetdata van NRG betrouwbaar zijn.

Net als in eerdere jaren komen de gamma-analyses van afvalwater uit de contra-expertise in 2022 goed overeen.

De totaal-alfa resultaten in afvalwater stemmen redelijk tot goed overeen. De overeenstemming in de totaal-bèta resultaten is matig en kan veel worden verbeterd. Dit resultaat wordt verklaard door de verschillen in de meetmethoden van NRG en het RIVM. De overeenstemming in de ^3H -resultaten in afvalwater is redelijk.

De resultaten in ventilatielucht komen goed overeen. Het RIVM heeft in een aantal monsters een lage activiteitsconcentratie van ^{131}I , ^{133}Xe , ^{191}Os en ^{203}Hg gevonden. Deze waarden vallen ruim onder de detectiegrens van NRG, waardoor ze niet worden opgemerkt.

Het RIVM heeft zes keer een zeer lage totaal-alfa activiteit in ventilatielucht aangetroffen, waar NRG niets vond. De meetwaarden voor zowel totaal-alfa als totaal-bèta in ventilatielucht liggen in de range van wat er in buitenlucht zit 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, radioactiviteit, lozingen, afvalwater, ventilatielucht

Synopsis

Contra-expertise on the determination of radioactivity of waste water and ventilation air of NRG.

Period 2022

The Nuclear Research and Consultancy Group at Petten (NRG) measures its own release of radioactivity into wastewater and atmosphere. NRG takes the samples of waste water and ventilation air at various time points dispersed throughout the years 2022. The RIVM performs eight times per year a contra expertise on these measurements. This form of contra-expertise is aimed at verifying and supporting the reliability of the analyses carried out by NRG. RIVM concludes that this is indeed the case.

The two different sets of measurements are generally in good agreement for gamma spectrometry.

The agreement in the waste water data for gross alpha is reasonable to good. The agreement in the data for gross beta in wastewater is poor, and can be improved further. This is explained by differences in the analytical methods applied by NRG and RIVM. The agreement in the ^3H data is reasonable.

The results obtained by RIVM and NRG in ventilation air samples compare well. RIVM detected a low gamma activity for ^{131}I , ^{133}Xe , ^{191}Os and for ^{203}Hg in some of the samples. Most of these values are well below the NRG detection limit.

In six of the ventilation air samples RIVM detected a very low gross alpha activity concentration, where NRG found nothing. The results obtained for gross alpha and gross beta are in the range of what is found in outside air in Bilthoven, and is probably caused by natural radioactivity.

RIVM carried out this contra-expertise on behalf of the Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection (ANVS).

Keywords: NRG, radioactivity, wastewater, ventilation, air

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

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

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 — 16
- 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 Kwaliteitsborging — 18
- 3.10 Presentatie van resultaten en vergelijking — 19

4 Resultaten en discussie — 21

- 4.1 Meetresultaten — 21
- 4.2 Vergelijking van de resultaten in afvalwater-2022 en discussie — 21
- 4.3 Vergelijking van de NRG en RIVM meetwaarden in ventilatielucht HFR — 23
- 4.4 Conclusie over de contra-expertise resultaten — 25

Bijlage A Vergelijking met meetresultaten NRG in 2022 — 27

Bijlage B Bemonstering en meting door NRG in de periode 2022 — 35

Referenties — 37

Samenvatting

Het Centrum Veiligheid (VLH) van RIVM heeft in 2022 in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) radioactiviteitsmetingen uitgevoerd van lozingsmonsters afkomstig van een zestal nucleaire installaties. Het doel is het leveren van contra-expertise op de metingen die door de installaties zelf zijn uitgevoerd. Dit rapport gaat over de periode 2022.

De contra-expertisemonsters waarvoor het rapport over gaat, zijn afvalwatermonsters en ventilatieluchtmonsters afkomstig van de Nuclear Research and Consultancy Group (NRG) te Petten. RIVM bepaalde de activiteitsconcentratie van gammastralers, totaal-alfa, totaal-bèta, 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 afnemende volgorde A1, A2, B en C.

In 2022 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. De totaal-alfa resultaten stemmen redelijk tot goed overeen. De overeenstemming in de totaal-bèta resultaten is matig en kan aanzienlijk worden verbeterd. Dit resultaat wordt verklaard door de verschillen in de meetmethoden van NRG en het RIVM. De overeenstemming in de ^3H -resultaten in afvalwater is redelijk.

De ventilatieluchresultaten geven geen reden voor discussie. 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.

Het RIVM heeft zesmaal een zeer lage totaal-alfa activiteit in ventilatielucht aangetroffen, waar NRG 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 een zestal nucleaire installaties. Het doel is het leveren van contra-expertise op de metingen die door de installaties zelf zijn uitgevoerd. Dit rapport gaat over de periode januari – december 2022.

De contra-expertisemonsters waar dit rapport over gaat, zijn afvalwatermonsters en ventilatieluchtmonsters afkomstig van de Nuclear Research and Consultancy Group (NRG) te Petten.

1.2 Herkomst data van NRG en autorisatie van deze rapportage

De meetgegevens van NRG die in deze rapportage zijn opgenomen zijn afkomstig uit de lozingsrapportages en kwartaalrapportages [12] die NRG opstuurt¹. Aanvullende gegevens die niet in de kwartaalrapportages staan worden per e-mail verstuurd naar RIVM of bij het ophalen van de lozingsmonsters meegegeven.

Autorisatie van dit rapport wordt in het RIVM publicatieproces in RIVM-doc automatisch afgehandeld. In het geval van rapporten die stralingsmetingen betreffen is het afdelingshoofd van de betreffende afdeling VLH/SMA degene die het rapport autoriseert en daarmee vrijgeeft.

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 Metingen Nucleaire Installaties'.

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

1.4 Disclaimer met betrekking tot de scope van accreditatie

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. De accreditatie betreft specifiek de analyseresultaten van de verrichtingen.

¹ De autorisatie en herkomst van externe data is een bevinding vastgelegd in intern document iTask 5724

De opinies/interpretaties vermeld in dit rapport vallen buiten de scope van de accreditatie.

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.

Herkomst van meetdata en 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 middels kwartaalrapportages en bij het monster aangeleverde informatie. De kwaliteit van deze data valt onder de verantwoordelijkheid van NRG. De door NRG aangeleverde data zijn gemarkeerd met **NRG** in de tabellen in de bijlagen.

2 Monsters en analyse

RIVM voert zelf geen bemonstering uit van afvalwater en ventilatielucht, maar haalt periodiek afvalwater- en ventilatieluchtmonsters op bij NRG. De bemonstering wordt dus uitgevoerd door NRG zelf. Van het afvalwater (batchmonsters) stelt NRG het eigen gelpreparaat en 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 [1].

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: gamma-emitters*; bij aantonen van mogelijk vluchtige gamma-emitters, tevens meting van de aparte filters waaruit het pakket is samengesteld* alleen aerosolfilter: totaal-alfa*, totaal-bèta*

Q 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 2022 zijn acht water- en ventilatieluchtmonsters opgehaald; NRG is daarvoor vijfmaal bezocht. Gegevens van de monsters staan in Tabel 2 en Tabel 3.

Tabel 2 Lozingsdatum, ophaaldatum en meetdatum afvalwater in 2022

Nr.	Lozingsdatum	Ophaaldatum	Data gammaspectrometrie*
1	07-feb	3 maart	7 maart
2	30-mei	16 juni	20 juni
3	06-juni	16 juni	20 juni
4	04-juli	28 juli	29 juli
5	11-juli	28 juli	29 juli
6	22-aug	28 sep	29 sep
7	12-sep	28 sep	29 sep
8	07-nov	23 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 HFR ventilatieluchtfilters in 2022

Nr.	Monsterperiode	Ophaaldatum	Datum gammaspectrometrie
1	20 feb - 27 feb	3 maart	7 maart
2	29 mei - 05 jun	16 juni	17 juni
3	05 jun - 12 jun	16 juni	17 juni
4	10 jul - 17 jul	28 juli	29 juli
5	17 jul - 24 jul	28 juli	1 aug
6	11 sep - 18 sep	28 sep	30 sep
7	18 sep - 25 sep	28 sep	30 sep
8	06 nov - 13 nov	23 nov	28 nov

3 Analysemethoden

Beschrijvingen van de bemonsterings- en analysemethoden toegepast op afvalwater door NRG in 2022, zijn gereproduceerd in Bijlage B. Voor de bemonstering en analyse van ventilatielucht van HFR (gedurende 2022) zijn de beschrijvingen samengevat in Bijlage B.

In opdracht van de ANVS worden de randvoorwaarden uit de Kerntechnische Ausschuss (KTA-1503 [2] en KTA-1504 [3]) voor de uitvoering van de analyses aangehouden. Dit betreft bijvoorbeeld de samenstelling van de nuclidenbibliotheek en de detectiegrenzen die behaald moeten kunnen worden.

Indien mogelijk hanteert RIVM/VLH NEN-normen. Voor gamma-spectrometrie wordt gewerkt conform NEN 5623 [4]; voor gasdoorstroomtelling van filters wordt gewerkt conform NEN 5636 [5]. Waar er geen Nederlandse norm voorhanden is, wordt gewerkt volgens eigen methoden met een onderliggend validatierapport. Dit geldt voor totaal alfa en totaal bèta in afvalwater en voor de bepaling van ^3H in afvalwater.

3.1 Tweevoudbepalingen

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 efficiency in enkelvoud uitgevoerd. Welke analyses in enkelvoud en welke in tweevoud worden uitgevoerd, staat in hoofdstuk 2.

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 gedeelten 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 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 standaard, een telschaaltje waarop een bekende hoeveelheid ^{90}Sr is ingedampt. Hier is afgeweken van de Nederlandse Norm die ^{40}K als referentienuclide voorschrijft [6]. 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 [7]. De monsters worden gemeten op een N-type halfgeleiderdetector gekoppeld aan een pulssorteerder met 8192 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 Genie2000 aan de hand van een nuclidenbibliotheek. De door KTA 1504 [3] 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 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 [3]. 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 procedure VLH-H-004; Handboek Gammaspectrometrie.

3.5 Bepaling van de ^3H -activiteitsconcentratie in afvalwater

Aan 25 ml van het monster 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 procedure VLH-H-006: Handboek vloeistofscintillatietelling.

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

Uit het aërosolfilter 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 NVN 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 in deze rapportage een onzekerheid van 30 % in de waarde voor de totaal-alfa activiteitsconcentratie opgenomen. Deze methode is vastgelegd in 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) aërosolfilter, een koolfilter en korrels met actieve kool een gamma-spectrum opgenomen 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 wordt gerefereerd aan KTA 1503.1 [2]. 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 procedure VLH-H-004 (Genie2000 onder APEX); Handboek Gammaspectrometrie.

3.8 Onzekerheidsberekeningen

De door RIVM opgegeven onzekerheid is het 1s-schattingsinterval. Voor het bepalen hiervan is gebruik gemaakt van NEN 1047 [9](Receptbladen voor de statistische verwerking van waarnemingen) en NEN 3114 [10] (Nauwkeurigheid van metingen, termen en definities). 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 achtergrond 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 α -bepaling wordt per analyse gebruik gemaakt van een preparaat zonder en een preparaat met een ^{241}Am -standaard. De totale onzekerheid in de totaal α -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 β -activiteitsconcentratie is samengesteld uit een telonzekerheid van het preparaat, een kalibratieonzekerheid en een experimentele onzekerheid.

Gammaspectrometrie

Voor de γ -stralers 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 kan zijn en per monster verschillend 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 **Kwaliteitsborging**

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-17025 (registratienummer L153 testen). Deze verrichtingen hebben betrekking op metingen die worden uitgevoerd in het kader van het toezicht op nucleaire installaties (ANVS) en zijn gemarkeerd met een 'Q'. Zie 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 het ringonderzoek 'Abwasser', georganiseerd door het Duitse Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) [11]. Voor ventilatieluchtmonsters wordt indien mogelijk deelgenomen aan relevante ringonderzoeken, zoals het door BfS georganiseerde Fortluft.

3.10 Presentatie van resultaten en vergelijking

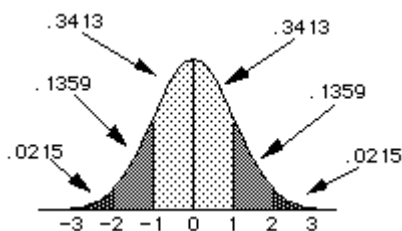
De door NRG bepaalde activiteitsconcentraties worden met de afronding zoals die door RIVM wordt gehanteerd (volgens NEN 1047 [9]) overgenomen uit de opgave van NRG [12].

In het kort : afronding vindt plaats met de grootste decimale eenheid (..10; 1; 0,1 ; 0,01) onder 1/2 s. 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 de onderzochte nucleaire installatie (NI) 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 het onderzochte bedrijf een activiteit hebben aangetoond en opgegeven. Het vergelijken van de gemeten waarden X_{NI} en X_{RIVM} is ook te verwoorden als het bepalen van het verschil $\Delta = X_{NI} - X_{RIVM}$. 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 [9]). De onzekerheid in dit verschil is: $s_{\Delta} = \sqrt{(S_{NI}^2 + S_{RIVM}^2)}$. Indien de NI geen opgave doet van de onzekerheid in het analyseresultaat, wordt verondersteld dat de onzekerheid in de meetwaarde van de NI, S_{NI} , gelijk is aan de onzekerheid in de meetwaarde van RIVM, S_{RIVM} .

Het is hierbij in het bijzonder van belang, dat alle partijen (RIVM en NI's) 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 fouten. Als de spreiding benaderd kan worden met de normale verdeling (zie figuur), dan kunnen de volgende frequenties of waarschijnlijkheden van voorkomen van de categorieën verwacht worden:

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



Figuur 1 Schematische weergave van een Gauss verdeling

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. Veel vaker dan verwacht voorkomen van B's en C's is echter een aanwijzing voor niet onderkende, mogelijk systematische, fouten.

4 Resultaten en discussie

4.1 Meetresultaten

De resultaten van de metingen door RIVM en NRG zijn te vinden in Bijlage A. De data van NRG zijn overgenomen uit de kwartaalrapportages die NRG [12] elk kwartaal opstuurt naar RIVM. In Tabel A1 van deze bijlage zijn alleen die gammastralers opgenomen die zijn aangetoond. Als een gammastraler wel door NRG 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 (fouten) in de meetwaarden (zie paragraaf 3.8).

4.2 Vergelijking van de resultaten in afvalwater-2022 en discussie

Het resultaat van de vergelijking zoals beschreven in paragraaf 3.10 is in tabel A1 van Bijlage A vermeld onder de kop 'V'. De vergelijking van de resultaten van NRG met die van het RIVM is samengevat in Tabel 4. In deze tabel is tevens tussen haakjes het volgens een normale verdeling verwachte voorkomen aan categorieën A1-A2-B-C te zien. Zo is af te lezen of er significant meer of minder resultaten in een categorie vallen dan verwacht.

Afvalwater gammaspectrometrie

De gammaspectrometrie vergelijkingsresultaten zijn in deze rapportageperiode goed; de categorie A1+A2 is volgens verwachting. Daar staat tegenover dat er iets meer categorie B en C is aangetroffen.

totaal-alfa

In alle acht monsters toonden RIVM en NRG een totaal alfa-activiteit aan. De overeenkomst was goed met zesmaal een A1, een A2, en een B. Kanttekening is dat NRG een erg grote onzekerheid rapporteert voor totaal-alfa in de monsters 1-5 en 7; namelijk $0,3 \pm 0,3$ of $0,4 \pm 0,4$ kBq.m⁻³. Met dergelijke onzekerheden is de waarde van de vergelijking van de meetresultaten gering.

Tabel 4 Vergelijkingsresultaten in NRG afvalwater in 2022 samengevat

Nuclide	1	2	3	4	5	6	7	8	SA1 *	SA2 *	SB *	SC *
Be-7									0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)
Na-22	A1	A1	A2	A2	B	A1	A2	B	3 (3-7)	3 (0-4)	<u>2</u> (0-1)	0 (0-0)
Mn-54	A1	A2	A1	A1	A1	A1	B	A2	5 (3-7)	2 (0-4)	1 (0-1)	0 (0-0)
Co-57	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	8 (3-7)	0 (0-4)	0 (0-1)	0 (0-0)
Co-58	A2	A2			A2		B		<u>0</u> (1-4)	3 (0-3)	1 (0-1)	0 (0-0)
Co-60	A1	A2	A1	A2	A1	A1	A2	A2	4 (3-7)	4 (0-4)	0 (0-1)	0 (0-0)
Zn-65	A1	A2	A2	B	A1	A1	A2	A1	4 (3-7)	3 (0-4)	1 (0-1)	0 (0-0)
Nb-95				A2			A1		1 (0-2)	1 (0-2)	0 (0-1)	0 (0-0)
Ru-103	A1	B	A1	A1	A1	B	A2	B	4 (3-7)	1 (0-4)	<u>3</u> (0-1)	0 (0-0)
Cd-109	A1	A1	A1	A2	A1	A1	A1	A1	7 (3-7)	1 (0-4)	0 (0-1)	0 (0-0)
Sb-124	A1	A2	A1	A1	A1	A1	A2		5 (3-7)	2 (0-4)	0 (0-1)	0 (0-0)
Sb-125	B	B	A1	A1	A1	A1	B	A2	4 (3-7)	1 (0-4)	<u>3</u> (0-1)	0 (0-0)
I-131		A1	A1						2 (0-2)	0 (0-2)	0 (0-1)	0 (0-0)
Cs-134	A1	A1	A1	B	A1	A1	C	A1	6 (3-7)	0 (0-4)	1 (0-1)	<u>1</u> (0-0)
Cs-137	A2	A1	A1	A1	A1	A1	A2	A1	6 (3-7)	2 (0-4)	0 (0-1)	0 (0-0)
W-181	A1	A2	A1		A2				2 (1-4)	2 (0-3)	0 (0-1)	0 (0-0)
W-188	A1								1 (0-1)	0 (0-1)	0 (0-0)	0 (0-0)
Totaal									62 (61-76)	25 (20-35)	<u>12</u> (1-8)	1 (0-1)
Tot-alfa	A1	B	A2	A1	A1	A1	A1	A1	6 (3-7)	1 (0-4)	1 (0-1)	0 (0-0)
Tot-beta	A2	A1	A1	A2	C	A1	A1	A1	5 (3-7)	2 (0-4)	0 (0-1)	<u>1</u> (0-0)
³ H	A2	A2	A2	B	C	B	A2	A2	<u>0</u> (3-7)	<u>5</u> (0-4)	<u>2</u> (0-1)	<u>1</u> (0-0)

* Aantallen beneden of boven de range tussen haakjes zijn onderstreept (beide situaties hebben kans < 2,5%).

In een aantal gevallen zijn nucliden aangetoond alleen door RIVM of alleen door NRG; zie Tabel 5. Het betreft voor de genoemde gevallen activiteitsconcentraties die vlak boven de detectiegrens liggen of nucliden die betrekkelijk kortlevend zijn.

Tabel 5 Gammastralers aangetoond in 2022 in afvalwater, alleen door RIVM of door NRG

Monsternr	Alleen door RIVM	Alleen door NRG
1		⁹⁹ Mo
2		
3	⁵⁸ Co	⁹⁹ Mo
4	⁶⁵ Zn, ¹⁸¹ W	
5	⁹⁵ Nb	
6	⁸³ Rb	
7	⁵⁸ Co, ⁸³ Rb, ¹²⁵ I, ¹⁸¹ W	
8	⁵⁶ Co, ⁵⁸ Co, ⁸³ Rb, ⁹⁵ Nb, ⁹⁹ Mo, ¹²⁴ Sb, ¹³¹ I, ¹⁸¹ W	

totaal-bèta

De vergelijking van de totaal-bèta resultaten is schijnbaar redelijk met vijfmaal A1, tweemaal A2 en een C. Echter, in enkele monsters rapporteert NRG dermate grote onzekerheden dat het resulteert in een vergelijkingscriterium van A1/A2/B waar een C meer terecht zou zijn geweest. Feitelijk zou in dit rapportagejaar voor totaal-bèta achtmaal een C gegeven moeten worden. Nu is door de grote onzekerheden de toegevoegde waarde van deze vergelijking zeer gering.

Waarschijnlijk spelen zaken zoals de verschillende meetmethodes een belangrijke rol; zie ook Bijlage B. NRG meet met LSC alle bèta stralers met een energie boven die van ³H (> 18 keV), waar RIVM met gasdoorstroomtelling hoofdzakelijk de bèta stralers met een energie boven 140-150 keV bepaalt. Het is niet duidelijk in hoeverre alle beta/gammastralers, en eventueel ¹⁴C, bijdragen aan de totaal-bèta activiteitsconcentratie gemeten volgens de methode van NRG en volgens de methode van RIVM. Dit is wellicht een (deel van de) verklaring voor de systematische verschillen.

tritium

Het vergelijken van ³H-activiteitsconcentraties resulteerde achtereenvolgens in vijfmaal A2, tweemaal B, en een C. De overeenstemming in de ³H data is redelijk, maar kan nog verder verbeterd worden.

Vergelijking ³H resultaten behaald in BfS Abwasser 2022

In het BfS-ringonderzoek in 2022 hebben NRG en RIVM in Modellwasser ³H bepaald met een afwijking van de doelwaarde van 0 - 2 % (RIVM), en -2,8 / -5,6 % (NRG) . Dit verklaart enigszins de aangetroffen verschillen in de afvalwatermonsters, aangezien NRG in alle gevallen een lagere ³H activiteit rapporteert dan RIVM.

4.3 Vergelijking van de NRG en RIVM meetwaarden in ventilatielucht HFR

Werkwijze

Eerst wordt 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

par. 3.7, de onderdelen van het pakket gemeten. De gesommeerde activiteiten van de drie onderdelen worden vergeleken met de waarden die NRG rapporteert voor het pakket; zie Tabel A3.

totaal-alfa en totaal-bèta (Tabel A4)

RIVM heeft in het 1^e, 2^e, 4^e, 5^e 7^e en 8^e aerosolfilter een zeer geringe alfa-activiteit aangetroffen, waar NRG niets vond; zie tabel A4. De alfa activiteitsconcentratie is echter zeer laag. RIVM treft in zeven van de acht monsters een zeer geringe bèta activiteit aan. In buitenlucht worden dergelijke activiteitsconcentraties aangetroffen voor natuurlijke radioactiviteit [14].

De waarden van RIVM liggen doorgaans ruim onder de detectiegrens van NRG.

De RIVM-metwaarden voor totaal-alfa in ventilatielucht verschillen niet significant van de waarden in buitenlucht die door RIVM met een high volume sampler wekelijks wordt aangetoond in Bilthoven: het weekgemiddelde voor 2022 voor totaal-alfa bedraagt $0,018 \pm 0,010$ mBq·m⁻³ en voor totaal-bèta $0,39 \pm 0,20$ mBq·m⁻³ ($\pm 1s$) [13]. Dit houdt in dat de totaal-alfa en totaal-bèta activiteit in ventilatielucht van de HFR waarschijnlijk van natuurlijke oorsprong is.

Gammaspectrometrie (Tabel A3)

NRG heeft in drie van de acht monsters een geringe activiteitsconcentratie aangetroffen voor ¹³⁷Cs in het 5^e, ¹³³Xe in het 6^e filterpakket, en voor ¹³¹I in het 7^e filterpakket.

gehele filterpakket (Tabel A3)

RIVM trof in het 2^e, 3^e, 4^e, 6^e, 7^e en 8^e van de acht pakketten een zeer geringe hoeveelheid van een of meerdere van de nucliden ¹³¹I, ¹³³Xe, of ¹⁹¹Os; dit was ruim onder de detectiegrens van NRG. RIVM gebruikt de pakketmeting als signalering en voert vervolgens een gekalibreerde meting uit voor de drie onderdelen van het pakket.

RIVM en NRG hebben beide in de *aerosolfilters* geen gamma-activiteit aangetroffen.

In het 2^e, 3^e, 4^e, 6^e en 7^e van de acht *koolfilters* trof RIVM (1,0 – 2,6) mBq·m⁻³ aan van ¹⁹¹Os; en in dezelfde filters (1,0 – 1,5) mBq·m⁻³ aan ¹³¹I. Tevens in monsters 2, 7 en 8 (0,3 – 1,3) mBq·m⁻³ van ²⁰³Hg. De activiteitsconcentratie voor deze nucliden was erg laag en onder de detectiegrens van NRG.

In de *koolkorrels* van de monsters 3, 4, en 6 trof RIVM (4 – 7) mBq·m⁻³ aan van ¹³³Xe. NRG rapporteert in monster 6 ook ¹³³Xe en de vergelijking met de meetwaarden van RIVM is goed (A2).

In het 2^e, 7^e en 8^e koolkorrelmonster treft RIVM nog een zeer lage activiteitsconcentratie aan van ²⁰³Hg (0,4 – 1,6) mBq·m⁻³, en in het 7^e monster ¹³¹I, evenals als NRG, met een C als vergelijking.

4.4 Conclusie over de contra-expertise resultaten

Op basis van de contra-expertise gegevens in de periode 2022 wordt de overeenstemming in de gammaspectrometriresultaten in afvalwater beoordeeld als goed. De vergelijking in de ^3H resultaten in afvalwater is redelijk, maar kan nog verbeterd worden.

De totaal-alfa resultaten stemmen redelijk/goed overeen.

De overeenstemming in de totaal-bèta resultaten in afvalwater is matig en kan verbeterd worden.

De ventilatieluchresultaten geven geen reden voor discussie. Er is in een aantal monsters door RIVM een zeer lage activiteitsconcentratie aan ^{131}I , ^{133}Xe , ^{191}Os en ^{203}Hg aangetroffen. Deze waarden vallen ruim onder de detectiegrens van NRG.

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 heeft een 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 2022.

Tabel 6 Overzicht van overeenstemming tussen NRG en RIVM meetresultaten in 2022

Parameter	Afvalwater 2022	Ventilatielucht 2022
Totaal-alfa	Redelijk	~ MDA
Totaal-beta/rest-beta	Matig	~ MDA
Gammaspectrometrie:	Goed	~ MDA
Tritium	Redelijk	-

MDA = minimaal detecteerbare activiteit. Met ~MDA wordt bedoeld dat de activiteitsconcentraties zo laag zijn dat RIVM of NRG, of beiden, een < MDA heeft gerapporteerd waardoor er geen vergelijking mogelijk is.

RIVM concludeert dat de meetresultaten van NRG betrouwbaar zijn.

Bijlage A Vergelijking met meetresultaten NRG in 2022

Disclaimer - herkomst data en uitvoering van bemonstering. RIVM heeft de meetdata van NRG overgenomen uit de lozingsrapportages en de kwartaal-rapportages [12]. De kwaliteit van deze data valt onder de verantwoordelijkheid van NRG. In de tabellen in de Bijlage zijn alle data die aangeleverd zijn door NRG gemarkeerd met "**NRG**". De bemonstering van afvalwater en ventilatielucht is uitgevoerd door NRG. Monstergegevens, lozingsdatum en monsterperiode, zijn aangeleverd door NRG. De resultaten van de bepalingen van RIVM zijn alleen van toepassing op de ontvangen monsters.

Afvalwater – 2022

Alle meetdata afkomstig van de lozingsrapportages en de kwartaalrapportages van NRG [12] 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 ($\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$) en ^3H in afvalwater ($\text{MBq}\cdot\text{m}^{-3}$)

Periode Nuclide	periode 1 (2022)			periode 2 (2022)		
	RIVM	V	NRG	RIVM	V	NRG
Na-22	7,7 ± 0,4	A1	8,1 ± 0,6	17,7 ± 0,8	A1	18,0 ± 0,9
Mn-54	10,7 ± 0,6	A1	9,6 ± 1,0	19,3 ± 1,0	A2	20,9 ± 1,0
Co-56						
Co-57	18,9 ± 1,2	A1	19,4 ± 0,6	25,7 ± 1,6	A1	26,1 ± 1,0
Co-58	2,6 ± 0,3	A2	3,9 ± 0,7	4,1 ± 0,5	A2	3,0 ± 0,4
Co-60	190 ± 6	A1	193 ± 4	700 ± 20	A2	730 ± 20
Zn-65	89 ± 4	A1	86 ± 4	14,1 ± 1,2	A2	17,1 ± 1,3
Nb-95						
Mo-99	< 200		2,8 ± 0,5			
Ru-103	3,6 ± 0,3	A1	3,4 ± 0,8	3,7 ± 0,5	B	5,6 ± 0,5
Cd-109	50 ± 5	A1	46 ± 8	98 ± 9	A1	97 ± 6
Sb-124	64 ± 2	A1	67 ± 3	99 ± 3	A2	90 ± 4
I-125						
Sb-125	87 ± 3	B	97 ± 3	181 ± 6	B	198 ± 4
I-131				9,6 ± 1,5	A1	8,7 ± 0,7
Cs-134	1,6 ± 0,3	A1	2,2 ± 0,9	39,7 ± 1,4	A1	40,5 ± 1,1
Cs-137	23,9 ± 1,2	A2	25,8 ± 1,1	170 ± 8	A1	180 ± 8
W-181	111 ± 7	A1	108 ± 13	8,6 ± 0,6	A2	10,6 ± 1,0
W-188	17,8 ± 1,6	A1	16 ± 2			
Totaal-alfa	0,43 ± 0,07	A1	0,4 ± 0,4	0,96 ± 0,12	B	0,3 ± 0,3
Tot./rest-β	790 ± 40	A2	3500 ± 1600	1270 ± 60	A1	2600 ± 1600
^3H	114 ± 4	A2	108 ± 3	110 ± 4	A2	102 ± 3

Tabel A1 Vervolg (2)

Periode Nuclide	periode 3 (2022)			periode 4 (2022)		
	RIVM	V	NRG	RIVM	V	NRG
Na-22	11,8 ± 0,5	A2	13,4 ± 0,9	2,03 ± 0,16	A2	1,65 ± 0,19
Mn-54	7,0 ± 0,5	A1	6,5 ± 0,6	2,7 ± 0,2	A1	2,6 ± 0,2
Co-56						
Co-57	19,8 ± 1,3	A1	19,4 ± 0,9	3,6 ± 0,3	A1	3,9 ± 0,2
Co-58	2,4 ± 0,3					
Co-60	454 ± 15	A1	459 ± 14	75 ± 2	A2	79 ± 2
Zn-65	10,7 ± 0,8	A2	8,5 ± 1,3	4,5 ± 0,4	B	3,2 ± 0,4
Nb-95				2,6 ± 0,3	A2	2,0 ± 0,2
Mo-99	< 14		1,18 ± 0,19			
Ru-103	3,5 ± 0,4	A1	3,0 ± 0,4	4,9 ± 0,4	A1	4,5 ± 0,3
Cd-109	98 ± 9	A1	106 ± 5	53 ± 5	A2	60 ± 3
Sb-124	69 ± 2	A1	66,2 ± 1,9	6,0 ± 0,3	A1	5,8 ± 0,3
I-125						
Sb-125	134 ± 5	A1	135 ± 3	16,8 ± 0,7	A1	16,6 ± 0,6
I-131	3,7 ± 0,7	A1	3,3 ± 0,4			
Cs-134	24,4 ± 0,9	A1	24,7 ± 0,9	3,23 ± 0,17	B	3,74 ± 0,19
Cs-137	115 ± 6	A1	119 ± 5	72 ± 4	A1	75 ± 3
W-181	11,9 ± 0,8	A1	10,8 ± 0,9	1,78 ± 0,16		
W-188						
Totaal- α	1,39 ± 0,18	A2	0,3 ± 0,3	0,30 ± 0,05	A1	0,4 ± 0,4
Tot./rest- β	1000 ± 50	A1	1600 ± 1000	262 ± 12	A2	600 ± 200
H-3	82 ± 3	A2	78 ± 2	12,1 ± 0,4	B	11,0 ± 0,3

Tabel A1 Vervolg (3)

Periode Nuclide	periode 5 (2022)			periode 6 (2022)		
	RIVM	V	NRG	RIVM	V	NRG
Na-22	8,0 ± 0,4	B	6,3 ± 0,6	1,7 ± 0,2	A1	1,7 ± 0,3
Mn-54	6,0 ± 0,4	A1	6,5 ± 0,5	4,6 ± 0,3	A1	4,4 ± 0,4
Co-56						
Co-57	20,4 ± 1,3	A1	20,7 ± 0,8	51 ± 3	A1	49,6 ± 1,6
Co-58	1,7 ± 0,3	A2	2,2 ± 0,4	2,6 ± 0,3	C	1,2 ± 0,2
Co-60	265 ± 9	A1	259 ± 8	91 ± 3	A1	93 ± 3
Zn-65	8,1 ± 0,8	A1	7,2 ± 1,1	36,6 ± 1,6	A1	35 ± 2
Rb-83				3,7 ± 0,3		
Nb-95	1,9 ± 0,3					
Mo-99						
Ru-103	5,4 ± 0,4	A1	6,0 ± 0,5	3,7 ± 0,3	B	2,7 ± 0,3
Cd-109	145 ± 14	A1	152 ± 7	124 ± 12	A1	130 ± 6
Sb-124	22,8 ± 0,9	A1	21,7 ± 0,9	4,5 ± 0,2	A1	4,5 ± 0,4
I-125						
Sb-125	66 ± 2	A1	63,6 ± 1,6	25,3 ± 1,0	A1	24,4 ± 0,8
I-131						
Cs-134	11,8 ± 0,5	A1	11,5 ± 0,5	3,76 ± 0,19	A1	3,5 ± 0,2
Cs-137	103 ± 5	A1	101 ± 4	54 ± 3	A1	54 ± 2
W-181	5,2 ± 0,4	A2	4,5 ± 0,5			
W-188						
Totaal-α	0,32 ± 0,06	A1	0,4 ± 0,4	0,50 ± 0,07	A1	0,66 ± 0,19
Tot./rest-β	650 ± 30	C	2900 ± 700	395 ± 18	A1	600 ± 500
H-3	48,1 ± 1,6	C	39,0 ± 1,1	35,7 ± 1,2	B	32,4 ± 1,0

Tabel A1 Vervolg (4)

Periode Nuclide	periode 7 (2022)			periode 8 (2022)		
	RIVM	V	NRG	RIVM	V	NRG
Na-22	1,50 ± 0,14	A2	1,2 ± 0,2	1,44 ± 0,12	B	0,9 ± 0,2
Mn-54	2,5 ± 0,2	B	3,2 ± 0,3	4,0 ± 0,2	A2	4,6 ± 0,4
Co-56				0,64 ± 0,19		
Co-57	36 ± 2	A1	37,6 ± 1,2	32,2 ± 1,9	A1	31,7 ± 1,1
Co-58	1,90 ± 0,19	B	1,2 ± 0,2	1,13 ± 0,13		
Co-60	45,4 ± 1,5	A2	47,9 ± 1,6	28,3 ± 1,0	A2	26,7 ± 1,0
Zn-65	24,6 ± 1,1	A2	26,5 ± 1,6	46,6 ± 1,9	A1	49 ± 3
Rb-83	1,8 ± 0,3			2,9 ± 0,2		
Nb-95	7,1 ± 0,4	A1	7,4 ± 0,5	1,20 ± 0,16		
Mo-99				42 ± 7		
Ru-103	8,1 ± 0,5	A2	9,3 ± 0,5	3,1 ± 0,2	B	2,3 ± 0,3
Cd-109	79 ± 7	A1	87 ± 4	44 ± 4	A1	44 ± 2
Sb-124	2,18 ± 0,18	A2	2,6 ± 0,3	0,8 ± 0,2		
I-125	25 ± 6			25 ± 4		
Sb-125	13,5 ± 0,7	B	15,7 ± 0,6	7,2 ± 0,4	A2	6,5 ± 0,4
I-131				8,1 ± 0,8		
Cs-134	1,89 ± 0,15	C	2,9 ± 0,2	1,36 ± 0,09	A1	1,25 ± 0,14
Cs-137	124 ± 6	A2	135 ± 6	61 ± 3	A1	60 ± 3
W-181	3,6 ± 0,3			1,5 ± 0,2		
W-188						
Totaal-α	0,64 ± 0,09	A1	0,3 ± 0,3	0,49 ± 0,08	A1	0,6 ± 0,2
Tot./rest-β	405 ± 19	A1	800 ± 400	216 ± 10	A1	600 ± 400
H-3	24,9 ± 0,8	A2	23,7 ± 0,7	23,1 ± 0,8	A2	21,3 ± 0,6

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*		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 en KTA 1504 te onderzoeken nucliden^{2,3}

† Volgens KTA 1504 te onderzoeken nucliden³

Overige nucliden zijn opgenomen in de generieke gammabibliotheek die ook voor afvalwater van KCB, COVRA, Urenco en RID wordt toegepast.

NRG ventilatielucht - 2022Tabel A3 Meetresultaten gammaspectrometrie in ventilatielucht HFR in 2022 (mBq m⁻³)

Monsternr Periode 2022	Nuclide	Aërosolfilter RIVM	Koolfilter RIVM
1 20 feb - 27 feb	¹³¹ I	< 0,4	< 0,4
	¹³³ Xe	< 0,9	< 0,7
	¹⁹¹ Os	< 0,4	< 0,4
	²⁰³ Hg	< 0,2	< 0,1
2 29 mei - 05 jun	¹³¹ I	< 0,8	1,65 ± 0,19
	¹³³ Xe	< 2,0	< 0,8
	¹⁹¹ Os	< 0,5	1,33 ± 0,19
	²⁰³ Hg	< 0,2	0,30 ± 0,04
3 05 jun - 12 jun	¹³¹ I	< 0,5	1,14 ± 0,13
	¹³³ Xe	< 0,9	< 0,7
	¹⁹¹ Os	< 0,4	1,32 ± 0,19
	²⁰³ Hg	< 0,2	< 0,1
4 10 jul - 17 jul	¹³¹ I	< 1,1	1,1 ± 0,2
	¹³³ Xe	< 3,0	< 0,8
	¹⁹¹ Os	< 0,6	1,08 ± 0,17
	²⁰³ Hg	< 0,2	< 0,1
5 17 jul - 24 jul	¹³¹ I	< 0,4	< 0,2
	¹³³ Xe	< 0,8	< 0,3
	¹⁹¹ Os	< 0,4	< 0,2
	²⁰³ Hg	< 0,1	< 0,1
6 11 sep - 18 sep	¹³¹ I	< 0,9	1,08 ± 0,18
	¹³³ Xe	< 2,0	< 1,0
	¹⁹¹ Os	< 0,6	1,4 ± 0,2
	²⁰³ Hg	< 0,2	< 0,2
7 18 sep - 25 sep	¹³¹ I	< 0,4	1,51 ± 0,15
	¹³³ Xe	< 0,6	< 0,6
	¹⁹¹ Os	< 0,3	2,6 ± 0,3
	²⁰³ Hg	< 0,1	1,36 ± 0,10
8 06 nov - 13 nov	¹³¹ I	< 1,0	< 1,0
	¹³³ Xe	< 3,0	< 3,0
	¹⁹¹ Os	< 0,6	< 0,7
	²⁰³ Hg	< 0,2	0,34 ± 0,06

Tabel A3 (vervolg)

Monsternr.	Nuclide	Koolkorrels		Pakket	
		RIVM	Verg.	RIVM	V NRG
1 20 feb - 27 feb	¹³¹ I	< 0,6		< 0,5	<
	¹³³ Xe	< 1,1		< 0,8	
	¹⁹¹ Os	< 0,6		< 0,4	
	²⁰³ Hg	< 0,2		< 0,2	
2 29 mei - 05 jun	¹³¹ I	< 1,1		0,86 ±0,15	<
	¹³³ Xe	< 3,0		< 1,6	
	¹⁹¹ Os	< 0,8		0,71 ±0,14	
	²⁰³ Hg	0,36 ± 0,08		0,33 ±0,05	
3 05 jun - 12 jun	¹³¹ I	< 1,0		0,69 ±0,08	<
	¹³³ Xe	4,4 ± 0,8		0,88 ±0,12	
	¹⁹¹ Os	< 1,1		0,60 ±0,10	
	²⁰³ Hg	< 0,4		< 0,1	
4 10 jul - 17 jul	¹³¹ I	< 1,7		0,71 ±0,13	<
	¹³³ Xe	5,0 ± 1,1		< 1,2	
	¹⁹¹ Os	< 1,5		0,62 ±0,12	
	²⁰³ Hg	< 0,4		< 0,2	
5 17 jul - 24 jul	¹³¹ I	< 0,8		< 0,4	
	¹³³ Xe	< 2,0		< 0,6	
	¹³⁷ Cs	< 0,4		< 0,6	3,6
	¹⁹¹ Os	< 0,9		< 0,4	
	²⁰³ Hg	< 0,3		< 0,1	
6 11 sep - 18 sep	¹³¹ I	< 1,2		0,76 ±0,15	
	¹³³ Xe	7,2 ± 1,2		1,2 ±0,3	A2 5 ± 0,8
	¹⁹¹ Os	< 1,0		0,69 ±0,14	
	²⁰³ Hg	< 0,3		< 0,2	
7 18 sep - 25 sep	¹³¹ I	53 ± 3		12,2 ±0,8	C 40 ± 2,2
	¹³³ Xe	< 1,4		< 0,4	
	¹⁹¹ Os	< 1,0		1,4 ±0,2	
	²⁰³ Hg	1,61 ± 0,14		1,29 ±0,10	
8 06 nov - 13 nov	¹³¹ I	< 1,7		< 0,5	
	¹³³ Xe	< 4,0		< 0,9	
	¹⁹¹ Os	< 1,1		< 0,4	
	²⁰³ Hg	0,58 ± 0,11		0,31 ±0,05	

Tabel A4 Vergelijking van de activiteitsconcentratie meetresultaten totaal-alfa en totaal-bèta in ventilatielucht HFR in 2022 ($\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$); NRG resultaten van glasvezelfilter.

Nr	2022 Monsterperiode	Totaal-alfa			Totaal-bèta		
		RIVM	V	NRG	RIVM	V	NRG
1	20 feb - 27 feb	0,029 ± 0,005		< 0,12	0,134 ± 0,014		< 0,4
2	29 mei - 05 jun	0,012 ± 0,004		< 0,10	0,129 ± 0,012		< 0,4
3	05 jun - 12 jun	< 0,011		< 0,11	< 0,03		< 0,4
4	10 jul - 17 jul	0,023 ± 0,005		< 0,11	0,180 ± 0,014		< 0,4
5	17 jul - 24 jul	0,020 ± 0,005		< 0,10	0,105 ± 0,012		< 0,3
6	11 sep - 18 sep	< 0,014		< 0,13	0,158 ± 0,016		< 0,5
7	18 sep - 25 sep	0,013 ± 0,004		< 0,10	0,136 ± 0,012		< 0,3
8	06 nov - 13 nov	0,013 ± 0,004		< 0,13	0,102 ± 0,014		< 0,4

Bijlage B Bemonstering en meting door NRG in de periode 2022

Procedures geldig ten tijde van rapportageperiode 2022.

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

Zie (bestaande) lozingsmonitoringsprogramma:
Aerosolmeting vindt plaats via een zgn. koolfilterpakket met 3 filters (glasvezel, koolfilter, 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

Per week kunnen bij NRG, in "batches" van 75 m³ een of meer lozingen van gereinigd afvalwater op de Noordzee plaatsvinden. Bij de lozing voert NRG 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. Aan beide deelmonsters wordt een evenredige hoeveelheid drageroplossing toegevoegd om het optreden van inhomogeniteiten en adsorptie aan de fleswand tegen te gaan⁷.
De deelmonsters worden vervolgens tot moment van verwerking opgeslagen.

Analyseprocedure NRG

Van elk weekmonster worden de volgende concentraties bepaald:

- Gammastralers
Voor de bepaling van activiteitconcentratie 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.
- 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 ^{241}Am -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 en totaal bèta-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 er wordt geen natriumthiosulfaat toegevoegd.

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, rekeninghoudend met de correctie voor quenching, na aftrek van de tritiumactiviteit de totaal bèta-activiteit berekend.

Referenties van NRG

- 1 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.
- 2 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.
- 3 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.

Referenties

- 1 A3.1 Ondersteuning Inspectie en Monitoring, Contra expertise metingen nucleaire installaties. M/390220/21/SM – Jaarplan 2022; aangepaste versie op 2-2-2022 akkoord bevonden.
- 2 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, 2016-11.
- 3 KTA 1504. Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser. KTA, 2017-11.
- 4 NEN 5623. Radioactiviteitsmetingen - Bepaling van de activiteit van gammastraling uitzendende nucliden in een telmonster met halfgeleider-gammaspectrometrie. Nederlands Normalisatie Instituut. NEN, Delft.
- 5 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.
- 6 NEN 6421. Water. Bepaling van de totale bèta-activiteitsconcentratie en rest- bèta-activiteitsconcentratie van niet vluchtige bestanddelen. Delft, Nederlands Normalisatie Instituut. NEN, Delft.
- 7 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.
- 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 1047. Receptbladen voor de statistische verwerking van waarnemingen. Nederlands Normalisatie Instituut. NEN, Delft, 1991.
- 10 NEN 3114. Nauwkeurigheid van metingen, termen en definities. Delft, Nederlands Normalisatie Instituut. NEN, Delft, 1990.
- 11 S. Hofmann, K. Schmidt, C. Wittwer, Abwasser aus kerntechnischen Anlagen, Ringversuch 2022, UR – 04/2022, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, Duitsland. www.bfs.de.
- 12 Nuclear Research and Consultancy Group. E-mail van J. Kok (NRG) aan P. Kwakman (RIVM) met een bijgevoegde Excel sheet met lozingsdata : *Radioactieve componenten zeelozing 2022* :
NRG 1e kwartaal 2022 d.d. 9 mei 2022.
NRG 2e kwartaal 2022 d.d. 4 augustus 2022.
NRG 3e kwartaal 2022 d.d. 17 oktober 2022.
NRG 4e kwartaal 2022 d.d. 5 januari 2023.
Radioactieve componenten in HFR lozingslucht 2022 :
E-mail van J. Kok (NRG) aan P. Kwakman (RIVM) met een bijgevoegde Excel sheet met lozingsdata "NRG_koolpakket_2022", d.d. 5-1-2023.
- 13 Resultaat milieumonitoring in 2022 met de High Volume Sampler, RIVM, Bilthoven.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

december 2023

De zorg voor morgen
begint vandaag