



Kennisnotitie

Verificatie van radioactiviteitsmetingen in enkele waterlozingen van Reactorinstituut Delft in 2025

Inleiding

In opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) heeft het RIVM metingen verricht aan twee in 2025 genomen afvalwatermonsters uit twee verschillende tanks van het Reactor Instituut Delft (RID). Het doel van deze metingen is een verificatie van de meetresultaten van RID.

Korte samenvatting

In 2025 is in twee monsters afvalwater van RID de gamma-activiteit, de totaal-alfa/bèta activiteit en de activiteit van ^3H bepaald. Het RIVM heeft in beide monsters een (zeer geringe) totaal-alfa activiteit aangetroffen van 0,24 en 0,37 kBq.m⁻³. Verder is er een geringe totaal-bèta activiteit gemeten van 0,6 en 2,6 kBq.m⁻³. Er is door het RIVM in het monster van de afvalwatertank V727 een gamma-activiteit voor het nuclide ^{60}Co aangetroffen van 1,3 kBq.m⁻³. Het RIVM trof in de twee monsters, beiden genomen op 31-3-2025, een ^3H activiteit aan van 185 en 1500 kBq.m⁻³. In beide gevallen liggen deze waarden onder het referentieniveau dat de WHO hanteert voor ^3H in drinkwater. RID heeft zelf geen bepaling van ^3H uitgevoerd op deze monsters.

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

Disclaimer en herkomst van RID data

De resultaten van de bepalingen van RIVM zijn alleen van toepassing op de monsters die door RID genomen zijn en vervolgens door RIVM zijn ontvangen. Gegevens met betrekking tot de monsternamen en analyse door RID zijn aangeleverd door RID en met **RID** aangeduid in tabel 2. De kwaliteit van deze data valt onder de verantwoordelijkheid van RID.

RIVM

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

T 088 689 89 89

Auteurs:

PJM Kwakman

Centrum:

VLH

Contact:

pieter.kwakman@rivm.nl

Kenmerk:

KN-2026-0033

DOI:

10.21945/RIVM-KN-2026-0033

Datum:

4 juni 2026

Monsters en analyses

Het RIVM heeft 31 maart 2025 twee afvalwatermonsters opgehaald van de tanks bij RID met nummers V720 en V727. In tabel 1 staan de door ANVS in opdracht gegeven bepalingen aan deze monsters¹.

Tabel 1. Overzicht van het in opdracht gegeven aantal monsters en analyses in 2025.

Monsters	Aantal	Soort monster	Analyses (Q*)
Water	2	Afvalwater van lozingstanks	Q: Gamma-spectrometrie*, Q: totaal-alfa/beta**, Q: tritium*

Q De aanduiding Q betekent dat de betreffende verrichting valt onder de scope van accreditatie (registratienummer L153 Testen).

* Analyse in enkelvoud.

** Analyse in tweevoud.

Bepaling van de totaal alfa en bèta-activiteitsconcentratie in afvalwater

Van het monster wordt, na homogenisering, in twee verschillende flesjes elk 10,0 mL gepipetteerd. Aan één van de flesjes wordt 0,100 mL van een ²⁴¹Am-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 mg·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 ²⁴¹Am.

De bèta-telsnelheid van de telpreparaten (zonder ²⁴¹Am) wordt met een telefficiëntie die bepaald is met een separate ⁹⁰Sr bron omgerekend naar een totaal-bèta activiteit.

Deze methode is vastgelegd in procedure VLH-H-005: Handboek gasdoorstroomtelling (intern document, niet openbaar).

Bepaling van de activiteitsconcentratie van gammastraling uitzendende nucliden in afvalwater

Van het ontvangen afvalwatermonster wordt een deelmonster van 250 ml afgemeten. Het monster 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. De monsters worden gemeten op een N-type halfgeleiderdetector gekoppeld aan een pulssorteerder 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 Genie2000 onder Apex-gamma van Mirion aan de hand van een nuclidenbibliotheek.

Tevens 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.

¹ Jaarplan project M/390220/24/CE – Jaarplan 2025; besproken op 9-01-2025 met P. Arends, N. Beuker (ANVS); aangepaste versie op 26-06-2025 akkoord bevonden.

Het RIVM corrigeert voor radioactief verval, door de activiteitsconcentratie van de gedetecteerde nucliden terug te rekenen naar 12.00 uur op de dag van de lozingsdatum.

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

Deze methode is vastgelegd in RIVM procedure VLH-H-004: Handboek Gammaspectrometrie (intern document, niet openbaar).

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 dit monster is gedestilleerd, wordt door middel van LSC-meting de activiteitsconcentratie van tritium bepaald. Per monsterflesje wordt één telling tot een telfout van 1% of tot maximaal 200 minuten uitgevoerd. Het telpreparaat bestaat uit 10,0 mL destillaat en 10,0 mL scintillatievloeistof (Ultima Gold LLT).

Deze methode is vastgelegd in procedure VLH-H-006: Handboek Vloeistofscintillatietelling (intern document, niet openbaar).

Meetresultaten van RIVM en RID in afvalwater van RID uit 2025

In Tabel 2 zijn de meetresultaten samengevat die RID en het RIVM behaald hebben in de afvalwatermonsters, bemonsterd op 31 maart 2025. De meetresultaten van RID zijn aangeleverd door RID.

Tabel 2. Vergelijking activiteitsconcentraties gamma-stralers, totaal-alfa en totaal- bèta, en tritium in afvalwater van tanks V720 en V727 ($\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$), bemonsterd op 31 maart 2025.

Bepaling	V720 (31-3-2025)		
	RIVM	V**	RID
Gamma			< 5,5
Co-60*	< 0,5		
Totaal-alfa	$0,24 \pm 0,06$		< 0,5
Totaal-bèta	$0,64 \pm 0,09$	C	$2,2 \pm 0,3$
H-3	185 ± 7		NA

Bepaling	V727 (31-3-2025)		
	RIVM	V**	RID
Gamma			< 5,5
Co-60*	$1,34 \pm 0,08$		
Totaal-alfa	$0,37 \pm 0,15$		< 0,5
Totaal-bèta	$2,64 \pm 0,15$	B	$2,22 \pm 0,13$
H-3	1500 ± 50		NA

* Voor Co-60 dient een detectiegrens van $< 0,5 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ behaald te worden. Er zijn geen andere gammastralers aangetroffen.

NA = niet geanalyseerd.

** In Bijlage 2 wordt een mogelijke vergelijking tussen de RID en RIVM meetresultaten toegelicht.

Indien RID geen opgave doet van de onzekerheid in het analyseresultaat, wordt verondersteld dat de fout in de meetwaarde van RID, s_{RID} , gelijk is aan de relatieve fout in de meetwaarde van RIVM, s_{RIVM} . Zie Bijlage 2.

Bevindingen en conclusie

In monsters van afvalwater van RID heeft RIVM de gamma-activiteit, de totaal-alfa/bèta activiteit en de activiteit van ^3H bepaald.

Het RIVM heeft in beide op 31-3-2025 genomen monsters een (zeer geringe) totaal-alfa activiteit aangetroffen van 0,24-0,37 kBq.m⁻³. Verder is er een geringe totaal-bèta activiteit gemeten van 0,6 en 2,6 kBq.m⁻³. Er is door het RIVM in het monster van de afvalwatertank V720 een gamma-activiteit van 1,3 kBq.m⁻³ aan ^{60}Co aangetroffen.

Het RIVM vond in de monsters een lage ^3H activiteit; tank V720 bevatte 185 ± 7 kBq.m⁻³, en tank V727 1500 ± 50 kBq.m⁻³. Deze waarden liggen onder het referentieniveau dat de WHO voor ^3H in drinkwater hanteert².

RID heeft geen bepaling van ^3H uitgevoerd op deze monsters.

Het uitvoeren van een contra expertise op de meetresultaten van RID wordt bemoeilijkt doordat de meetmethoden van RID (zie Bijlage 1, aangeleverd door RID) en het RIVM verschillen.

- Toetsing van de meetresultaten tegen de door RID aangeleverde waarden was feitelijk niet mogelijk omdat RID geen onzekerheden rapporteert bij de meetwaarden.
- RID past voor de bepaling van gammastralers een NaI-detector toe, het RIVM een High-Purity Germanium opstelling.
- RID gebruikt de dikke-laag methode voor totaal-alfa en totaal-bèta, het RIVM de standaard additiemethode.
- RID voert geen tritiumbepaling uit aan het afvalwater. Het RIVM gebruikt een destillatie als monsterbehandeling gevolgd door LSC telling met een ^3H -quenchcurve.

² WHO, Management of radioactivity in Drinking Water (2018), ISBN 978-92-4-151374-6

Bijlage 1 Meetmethoden van RID – SBD V009

Versie 3; 10-02-2014

DOEL

Metten van radioactiviteit in water.

TOELICHTING

Deze instructie beschrijft een methode voor de monsternamen en bepaling van de totale α - en β - en γ -activiteit van monsters water. Dit ter controle op het mogelijk overschrijden van vergunningsnormen en op controle van de af- dan wel aanwezigheid van radioactiviteit.

OPMERKINGEN, AFKORTINGEN & DEFINITIES

LSC – Liquid Scintillation Counter

NaI – Natrium Iodide

RID – Reactor Instituut Delft

BENODIGDHEDEN EN HULPMIDDELEN

Maatcilinders van 50 ml gemerkt met tanknummer naam Aluminium indampschalmpjes
Kookplaat

Proportionele telbuis (Sample changer, Low-Background Planchet Counter) Marinelli-
beker van 320 ml

NaI-kristaldetector gekoppeld aan PC met 'gammavision' software LSC gekoppeld aan PC
en printer

Telcocktail Ultimate Gold en MilliQ Telpotjes voor LSC

VERWIJZINGEN EN REFERENTIES

SBD-045I Meten en toetsen lozing water en lucht RID

SBD-048I Kalibratie NaI

NEN 5622: 2006 nl 'Radioactiviteitsmetingen - Bepaling van de massieke totale alfa-activiteit van een vast telmonster met de dikke-laagmethode.'

NVN5665:2009 nl 'Radioactiviteitsmetingen - Monstervoorbewerking'

NEN5627:2006 nl 'Radioactiviteitsmetingen - Bepaling van de massieke totale beta-activiteit en massieke rest-beta-activiteit van een vast telmonster'

NVN5629:1993 nl 'Radioactiviteitsmetingen - Bepaling van de activiteit van eenvoudige mengsels gammastraling uitzendende nucliden in een telmonster door middel van lage resolutie gammaspectrometrie met een NaI(Tl)-detector.'

NEN6420:1986 nl 'Water - Bepaling van het gehalte aan getritieerd water door vloeistofscintillatietelling'

SBD-rapporten 1.1.12/1, 1.1.12/1a en 1.1.12/3 'Kalibratie met ^{133}Ba , ^{137}Cs en ^{60}Co '

SBD-rapporten 2.2.2/1, 2.2.2/2 en 2.2.2/3 betreffende detectiegrenzen.

VEILIGHEID EN MILIEU

De KEW vergunning van het RID stelt de limiet voor lozen op het gemeentelijk riool op 20 Re_{ing} .

DETECTIEGRENZEN

De detectiegrenzen van de Sample Changers bij afvalwatermeting bedragen $0,5 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ voor α -stralers en $1,4 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ voor β stralers (SBD-rapporten 2.2.2/1, 2.2.2/2 en 2.2.2/3)

De detectiegrens van de gammaspectrometer met NaI-kristal bij afvalwatermeting, bedraagt 5,5 kBq.m⁻³ voor γ -stralers.

De detectiegrenzen bij de LSC zijn afhankelijk van de quenching en het rendement.

WERKWIJZE

Alle monsternames, verwerking van de monsters en berekeningen aan de resultaten zijn gebaseerd op de bovengenoemde normen in 'Referenties'.

Monstername afvalwater

Een medewerker van de waterbehandeling houdt dagelijks bij of een tank vol is. Van alle tanks wordt dagelijks het niveau in een logboek genoteerd plus eventuele bijzonderheden. Wanneer de tank (bijna) vol is, wordt lucht bijgezet waardoor het water in de tank homogeniseert. Daarna tapt de medewerker ongeveer 1L afvalwater af. De pH wordt direct gemeten, genoteerd en daarna wordt het monster aangeboden aan de Stralingsbeschermingsdienst (SBD) voor analyse op aanwezige radioactiviteit.

Monstername drink- en demiwater

Een medewerker van de SBD neemt elke tweede week een monster van het drink- en van het demiwater. Laat de kraan even doorlopen alvorens een monster te nemen.

Monstername omgevingswater

Een medewerker van de SBD neemt elke vierde week een 1 liter monster uit de ringvaart van het Reactor Instituut Delft en 1 liter monster uit de sloot van de Anthony Fokkerweg. Monstername vindt plaats door gebruikt te maken van een liter fles van plastic. Het monster wordt niet gefilterd voordat het gecontroleerd wordt op radioactiviteit.

Meting NaI kristal

Met behulp van een NaI-kristal meet de SBD de γ -activiteit van het watermonster. Daartoe voert de SBD eerst een achtergrondmeting uit door gebruik te maken van MilliQ in een marinellibeker. De marinellibeker wordt in de teller over het NaI-kristal geplaatst. De software wordt ingesteld op 1800 seconden tellen. Het window wordt geheel breed gezet zodat alle eventuele pieken kunnen worden waargenomen. Nadat de achtergrondmeting is voltooid, wordt een gelijke meting verricht met het water. Alle waardes worden genoteerd op een begeleidend formulier. De uitkomst van de metingen worden door SBD ingevoerd in het Kernenergiewetdossier.

Indampen

Van het water wordt 50 mL in een maatcilinder geschonken. Deze 50 mL wordt ingedampt met behulp van een aluminium bakje op de kookplaat (stand 3-4). Het residu wordt 1000 seconden geteld op α - en β -activiteit met behulp van een proportionele-telbuis (De Sample Changer). Opgemerkt dient te worden, dat op deze manier vluchtige radionucliden en radionucliden in vluchtige verbindingen niet worden meebepaald. De uitkomst van de metingen worden ingevoerd in het Kernenergiewetdossier.

Formule berekening

De gemeten gamma's op het NaI-kristal worden omgerekend naar een γ -activiteit per m³ water met behulp van onderstaande formule.

$$\gamma[\text{kBq/m}^3] = (\text{cps}_{\text{monster}} - \text{cps}_{\text{achtergrond}}) \cdot F_{\text{kal}}$$

Waarin :

cps = het aantal pulsen gedeeld door de meettijd [s],

F_{kal} = kalibratiefactor. De kalibratiefactor staat genoteerd in het logboek naast de PC van het NaI kristal. Zie ook instructie SBD-048I.

De gemeten alfa's en beta's worden omgerekend naar een α - en β -activiteit per m^3 water met behulp van onderstaande formule.

$$\alpha(\beta)[\text{kBq/m}^3] = \frac{\text{cps}_{\text{monster}} - \text{cps}_{\text{achtergrond}}}{\varepsilon} \cdot \frac{F_{\text{m}^3}}{F_{\text{indamp}}} \cdot 1000$$

Waarin :

cps = het aantal pulsen gedeeld door de meettijd [s],

ε = de effectiviteit van de sample changer (wordt elke 2 weken bepaald).

F_{m^3} = de omrekenfactor naar kubieke meter,

F_{indamp} = de factor van het verlies bij indampen, dit bedraagt 0,47.

Vrijgave voor lozing van afvalwater

De door de SBD gehanteerde concentratiegrens voor lozing van vloeistoffen op de openbare riolering bedraagt 40 kBq/m^3 . Deze waarde is gebaseerd op een waarde uit een eerdere verstrekte vergunning. Deze waarde wordt gehanteerd omdat het praktisch niet haalbaar is om complete gammaspectrometrie uit te voeren op elk monster afvalwater.

Met het hanteren van deze waarde blijven we ruim beneden de in de vergunning van het RID vermelde grenswaarde van 20 radiotoxiciteitsequivalenten (Re_{ing}) per jaar, gebaseerd op de meest conservatieve schatting met de e_{ing} van ^{129}I .

Wanneer het afvalwater voldoet aan bovengenoemde normering, voert de SBD de gegevens in het KEW dossier in. Daarna wordt een lozingsformulier uitgeprint en ondertekend door een van de medewerkers van de SBD. Het ondertekende formulier wordt overhandigd aan de medewerker van de waterbehandeling. De medewerker lost de tank op het riool en tekent dit aan in het logboek.

Wanneer niet wordt voldaan aan de lozingsnorm wordt het voorval voorgelegd aan de algemeen stralingsdeskundige (ASD) van het RID. De ASD beslist welke maatregelen worden genomen.

Metingen aan getritieerd water

Wanneer een afvalwater monster gemeten dient te worden op de aanwezigheid van ^3H (tritium), wordt de procedure gebaseerd op NEN6420. Deze procedure is op moment van schrijven nog in ontwikkeling.

De telling wordt uitgevoerd met behulp van een Liquid Scintillation Counter (LSC) vanwege de zachte β 's in ^3H .

Zwavelactiviteit (S-35) in water

Wanneer het water op ^{35}S activiteit gemeten moet worden, dient gebruik te worden gemaakt van de LSC vanwege de zachte β 's.

Bijlage 2 Presentatie resultaten en vergelijking

De door RID bepaalde activiteitsconcentraties worden afgerond overgenomen uit de opgaven van RID.

In het kort : afronding vindt plaats met de grootste decimale eenheid ($\cdot 10; 1; 0,1; 0,01$) onder $1/2$ s. Voorbeeld : $48,42 \pm 0,58$. $1/2$ 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 RID 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 RID een activiteit hebben aangetoond en opgegeven.

Het vergelijken van de gemeten waarden X_{RID} en X_{RIVM} is ook te verwoorden als het bepalen van het verschil $\Delta = X_{RID} - X_{RIVM}$. Het verschil tussen de meetwaarden wordt berekend uit de getallen zoals deze worden weergegeven, dus na afronding van de meetwaarde van RIVM.

De onzekerheid in dit verschil is: $s_{\Delta} = \sqrt{(s_{RID}^2 + s_{RIVM}^2)}$.

Deze manier van vergelijken komt overeen met een z-test die gebruikelijk is in het beoordelen van resultaten in ringonderzoeken. De vergelijking, zoals in dit rapport wordt uitgevoerd, valt niet onder het accreditat van de afdeling VLH/SMA.

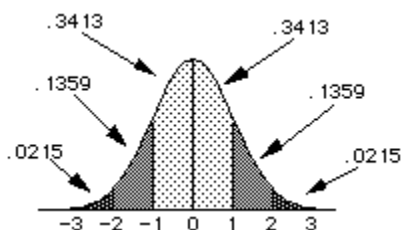
Indien de RID geen opgave doet van de onzekerheid in het analyseresultaat, wordt verondersteld dat de onzekerheid in de meetwaarde van de RID, s_{RID} , gelijk is aan de onzekerheid in de meetwaarde van RIVM, s_{RIVM} .

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 1), dan kunnen de volgende frequenties of waarschijnlijkheden van voorkomen van de categorieën verwacht worden:

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

$s_{\Delta} = \sqrt{(s_{RID}^2 + s_{RIVM}^2)}$

Figuur 1. Schematische weergave van een normale verdeling (Gauss-curve).



In de praktijk wijkt door inhomogeniteiten in de monsters 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, onzekerheden.