



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

Contra-expertise op bepalingen van **radioactiviteit in afvalwater en ventilatielucht** van de kernenergiecentrale Borssele

Periode 2025

**Contra-expertise op bepalingen van
radioactiviteit in afvalwater en ventilatielucht
van de kernenergiecentrale Borssele**

Periode 2025

RIVM-briefrapport 2026-0089

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-2026-0089

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 de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) in het kader van M/390220/24/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 de kernenergiecentrale Borssele

Periode 2025

De kerncentrale Borssele (KCB) meet hoeveel radioactiviteit de centrale loost via het nucleair afvalwatersysteem en het nucleair ventilatiesysteem. Het RIVM ontvangt acht keer per jaar van de KCB monsters van afvalwater en ventilatielucht en meet daarin de radioactiviteit. Het RIVM vergelijkt deze metingen met de resultaten van de KCB. De Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) gebruikt deze 'contra-expertise' om in te schatten hoe betrouwbaar de metingen van de KCB zijn.

De KCB neemt voor de analyses acht monsters, verspreid over het jaar. De analyses van gammastralers in afvalwater kwamen goed overeen met de resultaten van de kerncentrale.

De overeenkomst in de tritium-data in afvalwater is zeer goed. De KCB en het RIVM hebben geen strontium-isotopen en alfa-activiteit in het afvalwater aangetoond.

In drie van de acht monsters vinden het RIVM en de KCB een gamma-activiteit voor alleen het nuclide ^{131}I van maximaal 0,07 Becquerel per kubieke meter ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$). De resultaten van de metingen komen goed overeen. Met uitzondering van zeer lage hoeveelheden van ^{133}Xe hebben ze allebei geen andere nucliden gevonden.

De KCB bemonstert elk kwartaal anorganisch en organisch tritium en koolstof-14 in een deel van de geloosde ventilatielucht. De activiteitsconcentraties van tritium en koolstof-14 komen in het eerste kwartaal en derde kwartaal redelijk tot goed overeen.

Het RIVM voert de contra-expertises uit in opdracht van de ANVS.

Kernwoorden: kerncentrale Borssele, radioactiviteit, lozingen, afvalwater, ventilatie lucht

Synopsis

Counterchecks on measurements of radioactivity in wastewater and exhaust air at the Borssele nuclear power plant

Period 2025

The nuclear power plant in Borssele (KCB) measures how much radioactivity the plant discharges via the nuclear wastewater system and the nuclear ventilation system. Eight times a year RIVM receives samples of wastewater and exhaust air and determines the radioactivity levels. RIVM compares these measurements with data from KCB.

The Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection (ANVS) uses these counterchecks to assess whether the analyses carried out by the nuclear power plant itself are reliable.

KCB takes the samples to be analysed at intervals throughout the year.

The gamma analyses of wastewater from the counterchecks in 2025 are consistent with the results of the nuclear power plant.

The tritium data in wastewater showed good consistency across all eight samples. Neither the nuclear power plant nor RIVM found any strontium isotopes or alpha activity exceeding the detection limit in wastewater.

In three out of eight weekly ventilation air samples, RIVM and KCB both detected gamma activity from the nuclide ^{131}I at 0.07 becquerel per cubic metre ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) or less. The results demonstrated a high level of consistency. Apart from very low levels of ^{133}Xe , neither laboratory detected any other nuclides.

Each quarter, KCB takes a subsample of discharged exhaust air for analysis of inorganic and organic tritium and carbon-14. The results of the measurements of tritium and carbon-14 in exhaust air were reasonably consistent in the first and third quarters of 2025.

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

Keywords: Borssele nuclear power plant, radioactivity, discharges, wastewater, exhaust air

Inhoudsopgave

Samenvatting — 6

1 Inleiding — 7

- 1.1 Opdracht en rapportindeling — 7
- 1.2 Herkomst data van KCB en autorisatie van deze rapportage — 7
- 1.3 Opdrachtgever ANVS en opdrachtnemer RIVM — 7
- 1.4 Kwaliteitsborging — 8
- 1.5 Disclaimer met betrekking tot de scope van accreditatie — 8

2 Monsters en analyses — 9

3 Analysemethoden — 11

- 3.1 Tweevoudbepalingen — 11
- 3.2 Bepaling van de totaal alfa-activiteitsconcentratie in afvalwater — 11
- 3.3 Bepaling van de activiteitsconcentratie van gammastraling uitzendende nucliden in afvalwater — 12
- 3.4 Bepaling van de ^3H -activiteitsconcentratie in afvalwater — 12
- 3.5 Bepaling van de ^{89}Sr - en ^{90}Sr -activiteitsconcentratie in afvalwater — 13
- 3.6 Bepaling van de activiteitsconcentratie van gammastraling uitzendende nucliden in ventilatielucht — 13
- 3.7 Bepaling van de activiteitsconcentratie van ^3H en ^{14}C in ventilatielucht — 14
- 3.8 Onzekerheidsberekening — 14
- 3.9 Presentatie van resultaten en vergelijking — 16

4 Resultaten en discussie — 18

- 4.1 Meetresultaten — 18
- 4.2 Vergelijking van de resultaten en discussie — 18
 - 4.2.1 Afvalwater - RIVM-gel — 18
 - 4.2.2 Afvalwater - KCB-gel — 19
 - 4.2.3 Ventilatielucht — 20

5 Algemeen oordeel over de contra-expertise 2025 — 22

Referenties — 23

Bijlage 1 Vergelijking meetresultaten, periode 2025 — 25

Bijlage 2 Analyseprocedures van KCB in 2025 — 31

Bijlage 3 Monsterbehandeling door KCB: stabilisering van de watermonsters door toevoegen van zuur en dragerionen — 45

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 ten hoogste 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 kernenergiecentrale Borssele (KCB) in de periode 2025.

De gamma-analyses van KCB en RIVM in afvalwater uit de contra-expertise in 2025 kwamen goed overeen met de resultaten van de kernenergiecentrale. Er zijn de volgende radionucliden aangetoond, ^{60}Co , ^{95}Nb , ^{95}Zr , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{124}Sb , ^{131}I , ^{133}Xe en ^{137}Cs in activiteitsconcentraties van 0,2 tot maximaal 28 kBq.m⁻³.

De overeenkomst in de ^3H -data in afvalwater was voor de 8 monsters goed. De KCB en het RIVM hebben geen strontium-isotopen en alfa-activiteit in het afvalwater aangetoond boven de detectiegrens.

In drie van de acht ventilatieluchtmonsters vonden het RIVM en de KCB beiden een gamma-activiteit voor het nuclide ^{131}I . De gevonden activiteitsconcentraties varieerden van 0,4 tot 70 mBq.m⁻³. De overeenstemming in de meetresultaten voor ^{131}I was goed. Tevens heeft RIVM in 2 koolfilters het nuclide ^{133}Xe aangetroffen in activiteitsconcentraties van 2 – 16 mBq.m⁻³.

De KCB bemonstert anorganisch en organisch ^3H en ^{14}C in een deelstroom van de geloosde ventilatielucht door middel van zeolietpatronen in twee parallel functionerende bemonsteringssystemen. De KCB stuurt hun zeolietmonsters uit systeem-1 op voor analyse door Framatome (Erlangen, Duitsland). Het RIVM haalt de korrels uit een zeolietpatroon van systeem-2 op bij de KCB voor analyse. De activiteitsconcentraties verkregen door RIVM en KCB voor ^3H en ^{14}C in ventilatielucht, bemonsterd met zeolietpatronen uit systeem-1 en systeem-2, kwamen in het 1^e en 3^e kwartaal redelijk tot goed overeen.

1 Inleiding

1.1 Opdracht en 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. Dit rapport gaat over contra-expertisemonsters afkomstig van de kerncentrale Borssele (KCB) uit de periode 2025. Het betreft monsters van zowel afvalwater als ventilatielucht.

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 het onderzochte bedrijf zijn vergeleken. Hoofdstuk 4 bevat een korte bespreking van de resultaten van het contra-expertiseonderzoek. De meetresultaten zelf zijn – naast de resultaten van het onderzochte bedrijf – opgenomen in Bijlage 1. De bemonstering wordt door de onderzochte bedrijven uitgevoerd. Beschrijvingen van de bemonsterings- en analysemethoden, toegepast door KCB, zijn gereproduceerd in Bijlage 2.

1.2 Herkomst data van KCB en autorisatie van deze rapportage

De meetgegevens van KCB die in deze rapportage zijn opgenomen zijn afkomstig uit de lozingsrapportages en kwartaalrapportages [1] die KCB opstelt. 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 KCB staan in alle betreffende Tabellen met een vet en cursieve header "**KCB**" weergegeven.

Autorisatie van dit rapport wordt in het RIVM publicatieproces afgehandeld. Vrijgave van het rapport gebeurt door het domeinhoofd 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 het 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, NRG, GKN, RID en Urenco.

De ANVS projectnaam is 'Contra-expertise Metingen Nucleaire Installaties'.

Met contra-expertise wordt bedoeld een vergelijking tussen de RIVM meetwaarden en de meetwaarden van de betreffende nucleaire installatie, zoals beschreven in hoofdstuk 3.

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 17025 [2] (RvA: L153 testen). Deze verrichtingen hebben betrekking op metingen die worden uitgevoerd in het kader van het toezicht op nucleaire installaties (ANVS) en zijn weergegeven in de kolom "Analyses (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 de ringonderzoeken 'Abwasser' en 'Fortluft', georganiseerd door het Duitse Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) [3], [4]. KCB 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 KCB middels kwartaalrapportages en bij het monster aangeleverde informatie. De kwaliteit van deze data valt onder de verantwoordelijkheid van KCB.

2 Monsters en analyses

RIVM voert zelf geen bemonstering uit van afvalwater en ventilatielucht, maar haalt periodiek afvalwater- en ventilatieluchtmonsters op bij KCB. De bemonstering wordt dus uitgevoerd door KCB; zie Bijlage 2 voor een beschrijving van de analyseprocedures en Bijlage 3 voor de monsterbehandeling door KCB. Van het afvalwater (batchmonsters) stelt KCB een eigen gelpreparaat en circa 1 liter ongegeleerd, geconditioneerd water (aangezuurd tot pH 2) beschikbaar voor contra-expertise door RIVM.

Voor het bepalen van de radioactiviteit in uitgaande ventilatielucht gebruikt KCB aerosolfilters, koolfilters, DSM11- en kool-absorbers. De ventilatieluchtmonsters voor RIVM komen uit een aparte bemonsteringsinstallatie die gelijk is aan de installatie die KCB gebruikt voor haar eigen analyses. Tabel 1 bevat een overzicht van het, vooraf met de ANVS afgesproken, aantal monsters en de analyses [5]. De aanduiding (Q) boven de kolom Analyses betekent dat de betreffende verrichting valt onder de lijst van geaccrediteerde verrichtingen (RvA : L 153 testen).

Tabel 1 Overzicht van vooraf afgesproken aantal monsters en analyses in 2025

Monsters	Aantal	Soort monster	Analyses (Q)
Afval-water	8	Batchmonster. Zo mogelijk twee water en gel uit de splijtstofwisselperiode.	Gelmonster: gammastralers*, Watermonster: gammastralers* en $^3\text{H}^*$
	1	Kwartaalmengmonster; minstens om het jaar afkomstig uit de splijtstofwisselperiode	Totaal- α^{**} , ^{89}Sr , $^{90}\text{Sr}^{**}$
Ventilatie-lucht	8	Weekmonsters (filterpakketten bestaande uit 1 × aerosolfilter, 2 × DSM11-absorber en 2 × kool-absorber)	gammastralers* in filterpakket als geheel; bij aanwezigheid van gammastralers tevens onderdelen apart.
	2	Kwartaalmonster (zeolietmateriaal)	$^3\text{H}^{**}$ en $^{14}\text{C}^{**}$

* Analyse in enkelvoud.

** Analyse in tweevoud.

De splijtstofwisselperiode vond in 2025 plaats van 4 – 29 april. Tabel 2 bevat de gegevens van de door RIVM geanalyseerde afvalwatermonsters. Monster 3 en 4 bevat afvalwater uit de splijtstofwisselperiode. Het kwartaalmengmonster komt uit het tweede kwartaal van 2025 (de splijtstofwisselperiode valt daar binnen).

Om uitzakken van radioactieve componenten ondanks het geleermiddel te voorkomen wordt er naar gestreefd de gammaspectrometrische analyse binnen twee weken na ontvangst van het afvalwatermonster uit

te voeren. Ter illustratie hiervan is ook de datum van de gammaspectrometrische analyses in Tabel 2 vermeld.

Tabel 2 Monstergegevens afvalwater in 2025.

Nr.	Lozingsdatum*	Ophaaldatum	Analysedatum RIVM**
1	14 feb	20 feb	20 feb
2	27 maart	3 april	4 april
3#	25 april	9 mei	16 mei
4#	26 april	9 mei	14 mei
5	27 juni	7 jul	10 juli
6	15 sept	2 okt	7 okt
7	18 sept	2 okt	8 okt
8	7 nov	13 nov	14 nov

* Monstergegevens (lozingsdatum) zijn aangeleverd door KCB

** Gestreefd wordt naar het uitvoeren van de gammaspectrometriemeting binnen 2 weken na ontvangst monsters (analyse gereed binnen 3 weken)

Monster 3 en 4 zijn uit de splijststofwisselperiode.

Tabel 3 bevat de gegevens van de door RIVM geanalyseerde ventilatieluchtmonsters uit 2025. De ventilatieluchtmonsters worden op dezelfde dag opgehaald als de afvalwatermonsters.

Tabel 3 Monstergegevens ventilatielucht in 2025

Nr	Monsterperiode*	Ophaaldatum	Analysedatum RIVM**
1	6 – 14 feb	20 feb	20 feb
2	21 – 28 maart	3 april	4 april
3#	11 – 18 april	9 mei	10 mei
4#	18 – 25 april	9 mei	11 mei
5	20 – 27 juni	7 jul	10 juli
6	12 – 19 sept	2 okt	7 okt
7	19 – 26 sept	2 okt	6 okt
8	31 okt – 7 nov	13 nov	20 nov

* Monstergegevens (monsterperiode) zijn aangeleverd door KCB.

** De datum is de meetdatum van het filterpakket als geheel. Indien er een aantoonbare activiteit in het filterpakket wordt aangetroffen worden de onderdelen van het pakket apart gemeten. De data daarvan worden niet in deze Tabel vermeld.

Monster 3 en 4 zijn uit de splijststofwisselperiode.

3 Analysemethoden

Indien mogelijk hanteert RIVM/VLH NEN-normen of ISO-normen. Voor gamma-spectrometrie werkt RIVM conform NEN-EN-ISO 20042 [6]; voor gasdoorstroomtelling van filters conform NEN 5636 [7]; voor totaal alfa en totaal bèta in afvalwater conform NEN-EN-ISO 10704 [8]. Waar er geen Nederlandse norm voorhanden is, werkt RIVM volgens eigen methoden met een onderliggend validatierapport. Dit geldt voor de bepaling van ^3H in afvalwater, en de bepaling van ^3H en ^{14}C in ventilatielucht.

De werkwijze en toegepaste bepalingen van RIVM staan nader beschreven in paragrafen 3.1 tot en met 3.8.

Beschrijvingen van de bemonsterings- en analysemethoden toegepast door KCB in 2025, zijn gereproduceerd in Bijlage 2. Deze methoden zijn geactualiseerde versies van de methoden toegepast in de voorgaande rapportages [9].

In opdracht van de ANVS worden de randvoorwaarden gevolgd uit de Kerntechnischer Ausschuss (KTA-1503.1 [10], en KTA-1504 [11]). Dit betreft bijvoorbeeld de samenstelling van de nuclidenbibliotheek voor gammaspectrometrie en de detectiegrenzen die gehaald moeten worden.

3.1 Tweevoudbepalingen

RIVM 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. 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 (zie Tabel 1).

In dit rapport zijn de gammaspectrometrische metingen door RIVM aan het door KCB gegeleerde preparaat en het door RIVM gegeleerde preparaat behandeld als twee afzonderlijke enkelvoudige metingen. De reden hiervoor is, dat het door KCB gegeleerde preparaat en het (op een later tijdstip) door RIVM gegeleerde preparaat, vaak in samenstelling bleken te verschillen.

3.2 Bepaling van de totaal alfa-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 ^{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 ($< 0,5 \text{ mg.cm}^{-2}$). 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 (niet openbaar).

3.3 **Bepaling van de activiteitsconcentratie van gammastraling uitzendende nucliden in afvalwater**

Van het ongegeleerde afvalwatermonster wordt een monster 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 [12]. De monsters worden gemeten, conform NEN-EN-ISO 20042, op een N-type halfgeleiderdetector gekoppeld aan een pulssorteerder met 16384 kanalen over een energiebereik van 30 keV tot 3 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.

Voor de kalibratie van de telefficiëntie van de gammaspectrometrie-opstelling wordt gebruik gemaakt van het softwarepakket ISOCS ($^{\text{TM}}$ Mirion), waarin de meetgeometrie wordt gemodelleerd met parameters zoals vorm, afmeting en dichtheid van de gemeten afvalwatermonsters.

Tabel A3 in Bijlage 1 toont de nucliden in de RIVM nuclidenbibliotheek. 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 voor radioactief verval, door de activiteitsconcentratie van de gedetecteerde nucliden terug te rekenen naar 12.00 uur op de dag van de lozing. KCB corrigeert voor verval naar het tijdstip van de monsternamen (zie ook Bijlage 2, Analyseprocedures van KCB).

Indien door 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 [11]. KTA 1504 eist dat bij het meten van gammastraling uitzendende radionucliden in gedestilleerd water de detectielimiet voor ^{60}Co lager is dan 1 kBq.m^{-3} .

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

3.4 **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 voor het verwijderen van niet-vluchtige nucliden, 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 (niet openbaar).

3.5 **Bepaling van de ^{89}Sr - en ^{90}Sr -activiteitsconcentratie in afvalwater**

De bepaling van strontium in afvalwater berust op selectieve complexatie van strontiumionen door een kroonether op een Sr-specifieke kolom en wordt uitgevoerd volgens NEN 5619 [13]. De kroonether is in staat Sr^{2+} -ionen selectief te complexeren in aanwezigheid van een overmaat aan Ca^{2+} - en Ba^{2+} -ionen. Aan een deelmonster van, bijvoorbeeld, 250 ml wordt ^{85}Sr -merker en Sr-drager toegevoegd. Met ammonia wordt de oplossing op pH 10 gebracht. Vervolgens wordt een CaCl_2 en een Na_2CO_3 -oplossing toegevoegd en dit wordt onder verwarmen geroerd. Eénwaardige en tweewaardige ionen worden door middel van een carbonaatprecipitatie van elkaar gescheiden. Het supernatant, met daarin de éénwaardige ionen K^+ en NH_4^+ , wordt gedecanteerd. Het precipitaat (zonder éénwaardige ionen) wordt opgelost in een salpeterzuur/aluminiumnitraat-oplossing en daarna op een voorgespoelde Sr-specifieke kolom gebracht waarop de Sr-ionen achterblijven. Met water worden de Sr-ionen gedesorbeerd en opgevangen in een telflesje. Na toevoeging van scintillatiecocktail wordt het preparaat direct gemeten op de vloeistofscintillatieteller. Na twee weken volgend op de eerste meting wordt het preparaat wederom gemeten om de ingroei van ^{90}Y te bepalen. Voor de opbrengstbepaling van strontium wordt ^{85}Sr gebruikt. Het LSC-spectrum wordt in drie 'windows' onderscheiden. Uit het spectrum met bijdragen van ^{85}Sr , ^{89}Sr , ^{90}Sr en ^{90}Y wordt de activiteitsconcentratie van ^{89}Sr - en ^{90}Sr in het afvalwatermonster berekend.

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

3.6 **Bepaling van de activiteitsconcentratie van gammastraling uitzendende nucliden in ventilatielucht**

Een filterpakket bestaat uit een aerosolfilter, DSM11 absorber 1 en 2, en koolabsorber 1 en 2. Per analyse wordt door RIVM van het filterpakket een te analyseren preparaat samengesteld bestaande uit, in volgorde, het geponste aerosolfilter, de DSM11-absorber 1 en de koolabsorber 1. Van dit preparaat wordt een gammaspectrum opgenomen en geanalyseerd conform NEN-EN-ISO 20042 op dezelfde wijze als dit bij afvalwater gebeurt (beschreven in paragraaf 3.3).

De nucliden in de nuclidenbibliotheek zijn weergegeven in Tabel A3 in Bijlage 1. Indien uit de analyse blijkt dat er nucliden in het pakket aanwezig zijn, worden de vijf afzonderlijke delen (dus ook het tweede monster DSM11 en het tweede monster kool) van het totale pakket gemeten en geanalyseerd. Voor radioactief verval van de gedetecteerde nucliden corrigeert RIVM naar het midden van de monsterperiode, waar KCB corrigeert voor verval vanaf het moment van monstername. Voor

de kalibratie van de tefficiëntie van de gammaspectrometrie-opstelling wordt gebruik gemaakt van het softwarepakket ISOCS (TMMirion), waarin de meetgeometrie wordt gemodelleerd met parameters zoals vorm, afmeting en dichtheid van de gemeten filters.

Voor de meetgevoeligheid wordt verwezen naar de detectielimiet voor ⁶⁰Co en ¹³¹I. De KTA 1503.1 [10] eist dat bij het meten van gammastralers in ventilatielucht de detectielimiet voor ⁶⁰Co, ¹³¹I en ¹³⁷Cs minder dan, respectievelijk 10 mBq.m⁻³, 20 mBq.m⁻³ en 30 mBq.m⁻³ bedraagt.

Deze methode is vastgelegd in VLH-H-004: Handboek Gammaspectrometrie (niet openbaar).

3.7 Bepaling van de activiteitsconcentratie van ³H en ¹⁴C in ventilatielucht

KCB bemonstert anorganisch en organisch ³H en ¹⁴C in een deelstroom van de geloosde ventilatielucht door middel van moleculaire zeven (zie Bijlage 2) in twee parallel functionerende bemonsteringssystemen. KCB stuurt de zeolietmonsters van TL080R019 op voor analyse door Framatome (Erlangen, Duitsland). RIVM haalt de korrels op bij KCB uit de zeolietpatroon TL080R020 voor analyse in Bilthoven.

Elk monsternamesysteem (TL080R019 en -R020) bestaat uit twee zeolietpatronen in serie met ertussen een katalytische oxidator. Het zeolietmateriaal absorbeert alleen de chemische vormen H₂O en CO₂. De eerste zeoliet absorbeert ³H₂O en ¹⁴CO₂, maar laat de organische fracties met ³H en ¹⁴C passeren. De organische fracties ³H en ¹⁴C worden katalytisch geoxideerd tot ³H₂O en ¹⁴CO₂. Deze oxidatieproducten ³H₂O_{org} en ¹⁴CO_{2,org} worden op de tweede zeoliet geabsorbeerd.

De zeolietmonsters van TL080R020 worden door RIVM opgehaald. Het zeolietmateriaal wordt onder het doorleiden van een N₂-stroom uitgestookt bij ca. 380 °C. Het vrijkomende H₂O wordt in een koude val gecondenseerd; het telpreparaat bestaat uit 10 ml water en 10 ml Ultima Gold LLT vloeistofscintillatiecocktail. Het vrijkomende CO₂ wordt geadsorbeerd in een organische base (Carbosorb-E); het telpreparaat bestaat uit ca. 8 ml Carbosorb E plus 12 ml Instagel-plus.

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

3.8 Onzekerheidsberekening

De door RIVM opgegeven onzekerheid is het 1s-schattingsinterval. Voor het bepalen hiervan is gebruik gemaakt van NEN 1047 (Receptbladen voor de statistische verwerking van waarnemingen, [14]) en ISO-IEC 98-1: 2025 (The Guide to the expression of uncertainty in measurement) [15].

Bij het schatten van de totale onzekerheid worden telfouten, kalibratiefouten en experimentele fouten meegenomen, zoals beschreven in de bijbehorende handboeken. Onder experimentele fouten vallen bijvoorbeeld fouten bij 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.

Indien de analyse in tweevoud is uitgevoerd wordt het gemiddelde en de onzekerheid daarin gerapporteerd.

Bepaling van de totaal alfa-activiteitsconcentratie in afvalwater

Hier 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 telfout van het preparaat zonder standaard, een telfout van het preparaat met standaard, een kalibratieonzekerheid en een experimentele onzekerheid.

Gammaspectrometrie

Voor de gammastraling uitzendende nucliden vindt rapportage plaats met een aangegeven onzekerheid voortkomend uit telstatistiek, kalibratie, achtergrond, onzekerheid in de yield, monstervoorbehandeling en –in het geval van luchtmonsters– het bemonsterde volume. Aan het door KCB aangemaakte gelpreparaat dat door RIVM wordt gemeten, wordt geen onzekerheid voortkomend uit de monstervoorbehandeling toegekend. Indien er sprake is van cascadeverval dan wordt een correctiefactor berekend met APEX-Gamma; hiervoor wordt een extra onzekerheid toegevoegd aan de gerapporteerde activiteitsconcentraties.

Bepaling van de ^3H -activiteitsconcentratie in afvalwater

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

Bepaling van de ^{89}Sr -en ^{90}Sr -activiteitsconcentratie in afvalwater

Voor ^{89}Sr wordt de totale onzekerheid samengesteld uit de telfout, de onzekerheid in de ^{89}Sr -quenchcurve, de onzekerheid in de ^{85}Sr -opbrengstbepaling en een experimentele onzekerheid. Voor ^{90}Sr wordt de totale onzekerheid gelijk gesteld aan de onzekerheid in de ^{90}Y -bepaling. Deze is samengesteld uit de telfout na minimaal 2 weken ingroei van ^{90}Y , de onzekerheid in de $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ -quenchcurve, de onzekerheid in de ^{85}Sr -opbrengstbepaling en een experimentele onzekerheid. Indien er ^{89}Sr in het monster aanwezig is dan wordt de onzekerheid in de $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ -bepaling groter door de onzekerheid in de verschilbepaling van (^{89}Sr plus ^{90}Y : na weken ingroei) minus ^{89}Sr .

Bepaling van de ^3H en ^{14}C -activiteitsconcentratie in ventilatielucht

De totale onzekerheid is samengesteld uit de telfout, een onzekerheid die samenhangt met de ^3H en de ^{14}C quenchcurve en een experimentele onzekerheid. RIVM ontvangt en analyseert het ^{14}C - en ^3H monster dat door KCB genomen is en kan geen uitspraak doen over de onzekerheid in de monsternamen door KCB en de onzekerheid in de bepaling van het debiet in de hoofdstroom en de deelstroom.

3.9 Presentatie van resultaten en vergelijking

De door KCB bepaalde activiteitsconcentraties worden afgerond overgenomen uit de opgaven van KCB [1].

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 $48,4 \pm 0,6$.

KCB geeft 2s op als onzekerheid, RIVM 1s. De door KCB opgegeven fouten in Bijlage 1 worden voor de vergelijking door 2 gedeeld. 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 de onderzochte NI 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 [14]). De onzekerheid in dit verschil is:

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

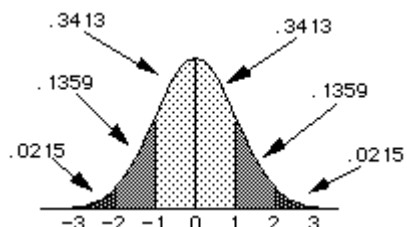
Deze manier van vergelijken komt overeen met een z-test die gebruikelijk is in het beoordelen van resultaten in ringonderzoeken. De vergelijking, zoals in dit rapport wordt uitgevoerd, valt niet onder het accreditaat van de afdeling VLH/SMA.

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} .

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 ("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")

Waarin $s_{\Delta} = \sqrt{(s_{NI}^2 + s_{RIVM}^2)}$.

Figuur 1 Schematische weergave van een Gauss verdeling

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.

Ten behoeve van de contra-expertise geeft KCB bij de resultaten van de afvalwatermonsters twee onzekerheden op, namelijk de totale onzekerheid inclusief en exclusief inhomogeniteitsonzekerheid. Bij de vergelijking van de RIVM meetwaarden in KCB-gel met KCB meetwaarden wordt voor s_{NI} de onzekerheid exclusief inhomogeniteitsonzekerheid gehanteerd. Bij het beoordelen van de resultaten behaald bij de RIVM-gel wordt de totale onzekerheid echter inclusief inhomogeniteitsonzekerheid toegepast. Er wordt immers een (mogelijk inhomogeen) watermonster na schudden gegeleerd.

4 Resultaten en discussie

Disclaimer - herkomst data en uitvoering van bemonstering.

RIVM heeft de meetdata van KCB overgenomen uit de lozingsrapportages en de kwartaalrapportages [1]. De kwaliteit van deze data valt onder de verantwoordelijkheid van KCB. In de Tabellen in de Bijlage zijn alle data die aangeleverd zijn door KCB gemarkeerd met "**KCB**". De bemonstering van afvalwater en ventilatielucht is uitgevoerd door KCB. Monstergegevens, lozingsdatum en monsterperiode, zijn aangeleverd door KCB. 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 KCB [1] en de daarbij behorende onzekerheden ('s', zie hoofdstuk 3) zijn te vinden in Bijlage 1 (2025). In Tabellen A1 en A2 van deze bijlage zijn alleen die gammastralers opgenomen die in de afvalwatermonsters zijn aangetoond. Indien een gammastraler slechts door één laboratorium is aangetoond dan wordt de detectielimiet van het andere laboratorium voor het betreffende nuclide in deze Tabellen opgenomen.

De activiteitsconcentratie van gammastralers in ventilatielucht zoals bepaald door RIVM en KCB en de vergelijking daarvan staan in Tabel A7. In deze Tabel staat onder de kop 'Pakket' '>' als RIVM in het pakket als geheel activiteit heeft aangetoond en anders '<'. RIVM meet de onderdelen van het pakket alleen in het eerste geval. Vanwege de gecompliceerde geometrie kan er door RIVM geen MDA waarde berekend worden voor het pakket.

4.2 Vergelijking van de resultaten en discussie

Het resultaat van de vergelijking zoals beschreven in paragraaf 3.9 is in de Tabellen van Bijlage 1 vermeld onder de kop 'V'. De vergelijking van de resultaten van KCB met die van RIVM voor de RIVM-gel en KCB-gel zijn samengevat in Tabel 4 en Tabel 5. In deze Tabellen 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.

4.2.1 Afvalwater - RIVM-gel

In de afvalwatermonsters (door RIVM gegeleerd) werden de gammastralers ^{60}Co , ^{95}Nb , ^{95}Zr , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{124}Sb , ^{131}I , ^{133}Xe en ^{137}Cs door RIVM en door KCB beide aangetoond (zie Tabel 4 en Tabel A1). De overeenstemming van de meetresultaten voor de gammastralers was goed, 12 maal [A1+A2], en 2-maal B en 2-maal C. Daarnaast heeft KCB ^7Be en ^{95}Zr aangetoond en RIVM niet. Het betrof in beide gevallen een meetwaarde dicht bij de detectiegrens.

Tabel 4 RIVM-gel: vergelijking van RIVM-metresultaten aan een door RIVM gegeleerd monster met KCB-metresultaten aan het KCB-gelmonster, in 2025.

Nuclide	1	2	3	4	5	6	7	8	ΣA1	ΣA2	ΣB	ΣC
⁶⁰ Co	A1	A1	A1	A2	A1	A1	A1	A1	7	1	0	0
⁹⁵ Nb			B						0	0	1	0
¹²⁴ Sb			B						0	0	1	0
¹³¹ I	A1								1	0	0	0
¹³³ Xe	C	A1							1	0	0	1
¹³⁷ Cs			A2		A2			C	0	2	0	1
Som									9	3	2	2
³ H*	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A2	A1	7	1	0	0
Totaal									16	4	2	2

* H-3 wordt bepaald aan een ongeleerd watermonster.

³H

In elk van de acht batchmonsters is door zowel KCB als RIVM het nuclide ³H aangetoond: met zevenmaal A1, en één A2 zijn de overeenkomsten (zeer) goed.

Vergelijking ³H, ⁶⁰Co en ¹³⁷Cs resultaten behaald in BfS Abwasser 2025

In het BfS-ringonderzoek [2] in 2025 hebben KCB en RIVM in 2025 in Modellwasser ³H bepaald met een afwijking van de doelwaarde van -9 % (KCB) en -2% (RIVM).

De bepaling van ⁶⁰Co en ¹³⁷Cs in Modellwasser hebben KCB en RIVM beide binnen -2 tot -5 % van de doelwaarde bepaald. De kwaliteit van resultaten behaald met deze bepalingen is hiermee goed.

⁹⁰Sr en ⁸⁹Sr, totaal-alfa

In het kwartaalmengmonster van het tweede kwartaal is door RIVM en KCB geen totaal-alfa activiteit, en geen ⁹⁰Sr en ⁸⁹Sr gevonden (Tabel A4). De detectiegrens van RIVM voor ⁸⁹Sr is iets hoger dan de door de KTA vereiste 0,5 kBq.m⁻³. Dit is te wijten aan het tijdsverloop tussen het ophalen van het monster en de bepaling eind 2025.

KCB heeft de bepaling van ⁸⁹Sr en ⁹⁰Sr uitbesteed aan NRG met een goed resultaat.

4.2.2

Afvalwater - KCB-gel

In de KCB-gel werden de gammastralers ⁶⁰Co, ⁹⁵Nb, ⁹⁵Zr, ¹²⁴Sb, ¹³¹I, ¹³³Xe, en ¹³⁷Cs door RIVM en door KCB beide aangetoond (zie Tabel 5 en A2). De activiteitsconcentraties in de monsters zijn betrekkelijk laag (< 28 kBq.m⁻³; zie Tabel A2). De overeenstemming in de gemeten concentraties van de gammastralers in de KCB-gel is goed; tienmaal A1 en zesmaal A2, en slechts 1 B en 1 C.

Voor de gammastralers, alleen aangetoond door KCB (⁷Be, ⁹⁵Nb, ¹²⁴Sb, ¹³¹I en ¹³³Xe), zijn de activiteitsconcentraties gevonden door KCB laag en liggen in de buurt van de detectiegrens van RIVM.

Tabel 5 KCB-gel: vergelijking van de activiteitsconcentratie van gammastralers in afvalwatermonsters, gegeleerd door KCB (kBq.m⁻³) in 2025.

Nuclide	1	2	3	4	5	6	7	8	ΣA1	ΣA2	ΣB	ΣC
⁶⁰ Co	A1	A1	A2	A2	A2	A2	A2	A1	3	5	0	0
⁹⁵ Nb			A1				A2		1	1	0	0
⁹⁵ Zr							A1		1	0	0	0
¹²⁴ Sb			A1						1	0	0	0
¹³¹ I	A1								1	0	0	0
¹³³ Xe	A1	C							1	0	0	1
¹³⁷ Cs			A1		A1			B	2	0	1	0
Totaal									10	6	1	1

4.2.3

Ventilatielucht

KCB en RIVM vonden tijdens de revisieperiode in april-mei 2025 in het 3^e en 4^e DSM11-1 zeoliet en in het koolfilter, een ¹³¹I activiteit met goede overeenstemming. In het 7^e DSM11-1 zeolietmonster en koolfilter-1 troffen RIVM en KCB een geringe activiteitsconcentratie aan van ¹³¹I aan.

De overeenstemming in monster 3 en 4 was goed; viermaal A1.

KCB rapporteert vanaf medio 2025 geen onzekerheden meer bij de ventilatieluchtfilter resultaten. De reden daarvan is onduidelijk.

³H en ¹⁴C

Er zijn twee, parallel uitgevoerde, bemonsteringssystemen, TL080R019 en TL080R020. KCB laat de gehele zeoliethouders van het bemonsteringssysteem TL080R019 analyseren op het ³H en ¹⁴C gehalte door het radiochemisch laboratorium van Framatome te Erlangen (Duitsland). De data in de kwartaalrapportages zijn aangeleverd door Framatome (in Bq/zeolietpatroon). De omrekening naar Bq.m⁻³ vindt plaats door KCB (zie Bijlage 2); de data van Framatome worden gedeeld door het deelvolumen dat door het patroon van TL080R019 is gegaan, en analoog bij TL080R020; zie Tabel 6.

Tabel 6 Deelvolumina van de ventilatielucht bemonsteringssystemen TL080R019 (KCB) en TL080R020 (RIVM).

Periode in 2025	TL080R019 (KCB)	TL080R020 (RIVM)
Kwartaal 1	1,08 m ³	1,21 m ³
Kwartaal 3	1,43 m ³	1,57 m ³

Voor elk kwartaal is er een anorganische en een organische fractie waarin de activiteitsconcentratie van ³H₂O en ¹⁴CO₂ wordt bepaald. Zie Tabel 7.

Opvallend is dat Framatome in het 1^e kwartaal voor de organische ³H fractie en voor beide ¹⁴C fracties een veel grotere onzekerheid rapporteert dan gebruikelijk. Bijvoorbeeld bij TL080R019 voor ¹⁴C_{anorg} 18 ± 15 (2s) Bq/monster, en voor ¹⁴C_{org} 170 ± 140 (2s) Bq/monster. De reden daarvan is onduidelijk, maar heeft waarschijnlijk te maken met de uitvoering op het lab van Framatome. De resultaten in het 3^e kwartaal vertonen weer de te verwachten (relatieve) onzekerheden.

Tabel 7 Vergelijking van RIVM- en KCB-meetresultaten voor ^3H en ^{14}C in kwartaalmonsters van ventilatielucht (Bq.m^{-3}) in 2025.

Periode in 2025		^3H	^{14}C
Kwartaal 1	org	B	A1
	anorg	A2	A1
Kwartaal 3	org	A1	B
	anorg	A1	C

De overeenstemming in de ^3H en ^{14}C resultaten van het 1^e kwartaal en 3^e kwartaal is redelijk. De overeenkomst van de meetresultaten in het 1^e kwartaal wordt echter gunstiger weergegeven dan de werkelijkheid door de veel grotere dan gebruikelijke onzekerheden. Zie Tabel A5 en A6.

5 Algemeen oordeel over de contra-expertise 2025

In Tabel 8 wordt een samenvatting gegeven van de uitgevoerde contra-expertise in 2025. De overeenstemming van de analytische resultaten die behaald zijn door KCB en RIVM tijdens de contra-expertise van afvalwater is goed, met merendeels overeenstemming in de categorie [A1+A2]. Dit geldt ook voor de gammaspectrometrische resultaten behaald in ventilatieluchtfilters.

De overeenstemming in de ^3H en ^{14}C resultaten van het 1^e kwartaal en 3^e kwartaal is redelijk. De overeenkomst van de meetresultaten in het 1^e kwartaal wordt echter gunstiger weergegeven dan de werkelijkheid door de veel grotere dan gebruikelijke onzekerheden bij de KCB data, afkomstig van Framatome.

Tabel 8 Overzicht van overeenstemming tussen KCB en RIVM meetresultaten in 2025.

Parameter	Afvalwater	Ventilatielucht
Totaal-alfa	< MDA	Goed
Gammaspectrometrie:		
- KCB-gel	Goed	
- RIVM-gel	Goed	
Strontium-89	< MDA	Redelijk/goed
Strontium-90	< MDA	
Koolstof-14		
Tritium	Goed	

MDA = minimaal detecteerbare activiteit

Referenties

- [1] Kwartaalrapportages betreffende lozingen van gasvormige en vloeibare radioactieve stoffen in 2025:
 2025 kwartaal 1 – ref KM/JMr/DAdS R250281, dd 01-07-2025.
 2025 kwartaal 2 – ref KM/JMr/PvN R250289, dd. 6-10-2025.
 2025 kwartaal 3 – ref KM/JMr/DAdS R250297, dd. 17-12-2025.
 2025 kwartaal 4 – ref KM/SVR/PvN R260262, dd. 16-03-2026.
Lozingsrapportages afvalwater t.b.v. contra-expertise RIVM:
 1 datum lozing TR42 14 feb 2025, volgnummer 25-10
 2 datum lozing TR42 27 maart 2025, volgnummer 25-26
 3 datum lozing TR41 25 april 2025, volgnummer 25-39
 4 datum lozing TR42 26 april 2025, volgnummer 25-40
 5 datum lozing TR42 27 juni 2025, volgnummer 25-56
 6 datum lozing TR42 15 sep 2025, volgnummer 25-71
 7 datum lozing TR42 18 sep 2025, volgnummer 25-72
 8 datum lozing TR42 7 nov 2025, volgnummer 25-81.
Meetgegevens ventilatieschacht Kernenergiecentrale Borssele, opgesteld door afd. KMS; monsteromschrijving in periode 2025
 1 TL080 R015 periode 1 6 - 14 februari 2025;
 2 TL080 R015 periode 2 21 - 28 maart 2025;
 3 TL080 R015 periode 3 11 - 18 april 2025;
 4 TL080 R015 periode 4 18 - 25 april 2025;
 5 TL080 R015 periode 5 20 - 27 juni 2025.
 6 TL080 R015 periode 6 12 - 19 september 2025;
 7 TL080 R015 periode 7 19 - 26 september 2025;
 8 TL080 R015 periode 8 31 oktober - 7 november 2025
- [2] NEN-EN-ISO 17025. Algemene eisen voor de bekwaamheid van beproevings- en kalibratielaboratoria. NEN, Delft, 2018.
- [3] S. Hoffmann, K. Schmidt. *Abwasser aus kerntechnischen Anlagen, Ringversuch 2025, UR-04/2025*, November 2025, Bundesamt für Strahlenschutz, Duitsland, www.bfs.de.
- [4] H. Schöllnberger, A. Deller. BfS, 46. Ringversuch "Fortluft 2024"; BfS report BfS-UR 3-102/2025, juni 2025.
- [5] Ondersteuning ANVS Inspectie en Monitoring, Contra-expertise lozingen nucleaire installaties. M/390220/25/CE – Jaarplan 2025.
- [6] NEN-EN-ISO 20042. Measurement of radioactivity - Gamma-ray emitting radionuclides - Generic test method using gamma-ray spectrometry.
- [7] 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. NEN, Delft.
- [8] NEN-EN-ISO 10704 Water - Totaal-alfa en totaal-bèta activiteitsconcentratie - Dunne-laag-methode. Nederland Normalisatie Instituut (NEN), Delft
- [9] P.J.M. Kwakman. Contra-expertise op bepalingen van radioactiviteit van afvalwater en ventilatielucht van de kernenergiecentrale Borssele. Periode 2024, RIVM rapport 2025-0113.

- [10] 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.
- [11] KTA 1504. Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser. KTA, 2022-11.
- [12] Voorschrift monstervoorbereiding en monsterbehandeling van vloeibare afvalstoffen. Brief van RIVM/LSO aan de nucleaire installaties d.d. 18 september 1990, kenmerk 1364/90 VLH Sm/eh.
- [13] NEN 5619. Radioactiviteitsmetingen - Bepaling van strontium-89 en strontium-90 met vloeistofscintillatietelling.
- [14] NEN 1047. Receptbladen voor de statistische verwerking van waarnemingen. Nederlands Normalisatie Instituut. NEN, Delft, 1991.
- [15] ISO/IEC Guide 98-1:2025 Guide to the expression of uncertainty in measurement.

Bijlage 1 Vergelijking meetresultaten, periode 2025

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

Afvalwater – 2025

Tabel A1 RIVM-gel: vergelijking van RIVM-metresultaten aan een door RIVM gegeleerd monster met KCB-metresultaten aan het KCB-gelmonster, in 2025; ^3H in MBq m⁻³.

RIVM-gel 2025	periode 1			periode 2		
	RIVM	V	KCB	RIVM	V	KCB
Be-7				< 4		8,0 ± 1,4
Co-60	1,40 ± 0,11	A1	1,7 ± 0,8	0,76 ± 0,08	A1	0,7 ± 0,4
I-131	5,3 ± 0,5	A1	5,8 ± 0,8			
I-133	< 1500		1,0 ± 0,3			
Xe-133	3,8 ± 0,7	C	19 ± 4	44 ± 5	A1	41 ± 9
Cs-137						
H-3	7200 ± 200	A1	7400 ± 400	3270 ± 110	A1	3270 ± 180

Tabel A1 (Vervolg)

RIVM-gel 2025	periode 3			periode 4		
	RIVM	V	KCB	RIVM	V	KCB
Be-7	< 5		110 ± 60			
Co-60	11,5 ± 0,5	A1	12 ± 6	1,29 ± 0,10	A2	1,0 ± 0,5
Nb-95	0,89 ± 0,17	B	0,4 ± 0,2			
Ag-110m	0,57 ± 0,09		< 0,27			
Sb-124	1,07 ± 0,14	B	1,6 ± 0,3	< 0,5		0,81 ± 0,18
I-131	< 4		0,46 ± 0,12	< 4		0,24 ± 0,08
Xe-133	< 14		1,5 ± 0,4			
Cs-137	1,02 ± 0,11	A2	1,2 ± 0,2			
H-3	3,12 ± 0,10	A1	3,17 ± 0,17	130 ± 4	A1	127 ± 7

Tabel A1 (Vervolg)

RIVM-gel 2025	periode 5			periode 6		
	RIVM	V	KCB	RIVM	V	KCB
Co-60	22,2 ± 0,9	A1	25 ± 11	7,2 ± 0,3	A1	8 ± 4
Nb-95	< 0,6		0,12 ± 0,09			
Cs-137	0,36 ± 0,11	A2	0,50 ± 0,14			
H-3	95 ± 3	A1	93 ± 5	93 ± 3	A1	92 ± 5

Tabel A1 (Vervolg)

RIVM-gel 2025	periode 7			periode 8		
	RIVM	V	KCB	RIVM	V	KCB
Be-7				< 5		21 ± 12
Co-60	11,9 ± 0,5	A1	15 ± 7	24,4 ± 1,0	A1	28 ± 13
Nb-95	< 0,7		3,2 ± 1,5	1,07 ± 0,19		< 0,3
Zr-95	< 1,0		1,8 ± 0,9	0,53 ± 0,14		< 0,4
Cs-137				0,70 ± 0,09	C	0,30 ± 0,10
H-3	127 ± 4	A2	136 ± 7	62 ± 2	A1	59 ± 3

KCB KCB rapporteert onzekerheden in 2s; deze zijn ongewijzigd overgenomen in de Tabel.
RIVM rapporteert onzekerheden in 1s. Voor de vergelijking in A1-A2-B-C wordt de onzekerheid van KCB door 2 gedeeld.

Tabel A2 KCB-gel: vergelijking van de activiteitsconcentratie van gammastralers in afvalwatermonsters, gegeleerd door KCB (kBq.m⁻³).

KCB-gel 2025	periode 1			periode 2		
	RIVM	V	KCB	RIVM	V	KCB
Be-7				< 4		8,0 ± 1,3
Co-60	1,56 ± 0,11	A1	1,71 ± 0,19	0,77 ± 0,08	A1	0,73 ± 0,11
I-131	5,7 ± 0,5	A1	5,8 ± 0,8			
I-133	< 60		1,0 ± 0,2			
Xe-133	18,1 ± 1,9	A1	19 ± 4	4,4 ± 0,5	C	41 ± 8
Cs-137						

Tabel A2 (Vervolg)

KCB-gel 2025	periode 3			periode 4		
	RIVM	V	KCB	RIVM	V	KCB
Be-7	< 5		110 ± 30			
Co-60	11,5 ± 0,5	A2	12,3 ± 0,8	1,20 ± 0,10	A2	0,98 ± 0,13
Nb-95	0,44 ± 0,14	A1	0,38 ± 0,11			
Ag-110m	0,69 ± 0,10		< 0,27			
Sb-124	1,38 ± 0,15	A1	1,6 ± 0,2	< 0,6		0,81 ± 0,14
I-131	< 3		0,46 ± 0,12	< 2		0,24 ± 0,08
Xe-133	< 10		1,5 ± 0,3			
Cs-137	1,21 ± 0,12	A1	1,2 ± 0,2			

Tabel A2 (Vervolg)

KCB-gel 2025	periode 5			periode 6		
	RIVM	V	KCB	RIVM	V	KCB
Co-60	23,4 ± 0,9	A2	24,9 ± 1,5	7,4 ± 0,3	A2	8,1 ± 0,6
Nb-95	< 0,7		0,12 ± 0,07			
Cs-137	0,59 ± 0,11	A1	0,50 ± 0,14			

Tabel A2 (Vervolg)

KCB-gel 2025	periode 7			periode 8		
	RIVM	V	KCB	RIVM	V	KCB
Be-7				< 4		21 ± 7
Co-60	15,8 ± 0,6	A2	14,6 ± 0,9	28,3 ± 1,1	A1	27,7 ± 1,7
Nb-95	4,1 ± 0,4	A2	3,2 ± 0,5			
Zr-95	1,8 ± 0,2	A1	1,8 ± 0,3			
Ag-110m				0,36 ± 0,08		< 0,3
Cs-137				0,56 ± 0,09	B	0,31 ± 0,10

KCB KCB rapporteert onzekerheden in 2s; deze zijn ongewijzigd overgenomen in de Tabel.
RIVM rapporteert onzekerheden in 1s. Voor de vergelijking in A1-A2-B-C wordt de onzekerheid van KCB door 2 gedeeld.

Tabel A3 De nucliden in de bibliotheek van RIVM 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 1504 en KTA 1503.1 te onderzoeken nucliden.

† Volgens KTA 1504 te onderzoeken nucliden.

Deze nucliden in Tabel A3 zijn opgenomen in de generieke gammabibliotheek die ook voor afvalwater van COVRA, NRG, Urenco en RID wordt toegepast.

Tabel A4 Vergelijking van de activiteitsconcentratie van totaal-alfa, ⁸⁹Sr en ⁹⁰Sr in het afvalwater mengmonster van kwartaal 2, 2025 van KCB (kBq m⁻³).

2025 kwartaal-2			
nuclide	RIVM	V	KCB
totaal-alfa	0,17 ± 0,04		< 0,2
⁸⁹ Sr	< 3,7		< 0,5
⁹⁰ Sr	< 0,3		< 0,5

De detectielimiet van RIVM voor ⁸⁹Sr voldoet niet aan KTA1504 (< 0,5 kBq.m⁻³); dit heeft te maken met de tijd tussen monsternamen en uitvoering van de ⁸⁹Sr bepaling.

Ventilatielucht – 2025

Alle meetdata afkomstig van de lozingsrapportages en kwartaalrapportages van KCB [1] zijn aangegeven in de kolom met erboven in vette en cursieve letters "**KCB**". Zie de disclaimer boven Tabel A1.

Tabel A5 Vergelijking van ^3H -activiteitsconcentraties (Bq.m^{-3}) in de zeolietkwartaalmonsters van ventilatielucht genomen in 2025 met de opstelling TL080R020 (RIVM) en TL080R019 (KCB).

Periode 2025	Aard v.d. fractie	RIVM	^3H V	KCB
1 ^e kwart	organisch	$3,55 \pm 0,17$	B	$2,1 \pm 1,1$
	anorganisch	147 ± 6	A2	130 ± 19
3 ^e kwart	organisch	$3,81 \pm 0,18$	A1	$3,4 \pm 1,2$
	anorganisch	232 ± 10	A1	220 ± 30

KCB KCB rapporteert onzekerheden in 2s; deze zijn ongewijzigd overgenomen in de Tabel. RIVM rapporteert onzekerheden in 1s. Voor de vergelijking in A1-A2-B-C wordt de onzekerheid van KCB door 2 gedeeld.

Tabel A6. Vergelijking van ^{14}C -activiteitsconcentraties (Bq.m^{-3}) in de zeolietkwartaalmonsters van ventilatielucht genomen in 2025 met de opstelling TL080R020 (RIVM) en TL080R019 (KCB).

Periode 2025	Aard v.d. fractie	RIVM	^{14}C V	KCB
1 ^e kwart	organisch	97 ± 5	A1	160 ± 130
	anorganisch	$18,6 \pm 0,9$	A1	17 ± 14
3 ^e kwart	organisch	63 ± 3	B	84 ± 14
	anorganisch	$17,7 \pm 0,9$	C	$13,3 \pm 2,1$

KCB KCB rapporteert onzekerheden in 2s; deze zijn ongewijzigd overgenomen in de Tabel. RIVM rapporteert onzekerheden in 1s. Voor de vergelijking in A1-A2-B-C wordt de onzekerheid van KCB door 2 gedeeld.

Tabel A7 Weekperiodes in 2025 waarvan de ventilatielucht filterpakketten gammaspectrometrisch zijn onderzocht (mBq.m^{-3}).

Monsternr. Periode 2025	Pakket	Nuclide	DSM11-1			DSM11-2**		
			RIVM	V	KCB	RIVM	V	KCB
1. 6 – 14 feb	<	^{131}I						
2. 21 – 28 maart	<	^{131}I						
3. 11 – 18 april*	>	^{131}I	66 ± 5	A1	70 ± 70	$3,6 \pm 0,6$		
4. 18 - 25 mei	>	^{131}I	$5,6 \pm 0,5$	A1	$6,1 \pm 6,1$	< 1		
5. 20 - 27 jun	<	^{131}I						
6. 12 – 19 sept	<	^{131}I						
7. 19 - 26 sept	>	^{131}I	$0,45 \pm 0,10$		$0,52^\#$	$0,31 \pm 0,08$		
8. 31 okt – 7 nov	>	^{131}I	< 0,3					

* In het 3^e aerosolfilter heeft RIVM een minieme hoeveelheid ^{137}Cs aangetroffen: $0,14 \pm 0,04 \text{ mBq.m}^{-3}$.

** KCB heeft geen activiteit aangetroffen in DSM11-2 en in koelfilter-2.

KCB rapporteert vanaf medio 2025 geen onzekerheden bij ventilatieluchtdata.

KCB KCB rapporteert onzekerheden in 2s; deze zijn ongewijzigd overgenomen in de Tabel. RIVM rapporteert onzekerheden in 1s. Voor de vergelijking in A1-A2-B-C wordt de onzekerheid van KCB door 2 gedeeld.

Tabel A7 (vervolg; mBq.m^{-3})

Monsternr. Periode 2025	Pakket	Nuclide	Koelfilter-1			Koelfilter-2**		
			RIVM	V	KCB	RIVM	V	KCB
1. 6 – 14 feb	<	^{131}I						
2. 21 – 28 maart	<	^{131}I						
3. 11 – 18 april	>	^{131}I	$18,0 \pm 1,6$	A1	16 ± 2			
4. 18 - 25 mei	>	^{131}I	$2,0 \pm 0,3$	A1	$2,3 \pm 0,5$			
5. 20 - 27 jun	<	^{131}I						
6. 12 – 19 sept	<	^{131}I						
7. 19 - 26 sept	>	^{131}I	$11,9 \pm 1,0$		$9,2^\#$	< 0,3		
		^{133}Xe	$4,0 \pm 0,6$			$5,0 \pm 0,6$		
		^{137}Cs	$0,14 \pm 0,03$					
8. 31 okt – 7 nov	>	^{131}I	< 0,4			< 0,4		
		^{133}Xe	16 ± 2			$15,5 \pm 1,9$		

Bijlage 2 Analyseprocedures van KCB in 2025

Bepaling van C-14 en H-3 lozing door de ventilatieschacht

Documentgegevens van KCB

Titel: Bepaling van de koolstof-14 en tritium lozing door de ventilatieschacht
 Identificatie: N04-26-033
 Versie: 11
 Opsteldatum: 22-01-2024
 Documentsoort: Analysevoorschrift KMC
 Opstelprocedure: PO-N04-26
 Reviewfrequentie: 48 maanden
 Volgende review: 22-01-2028

Werkwijze

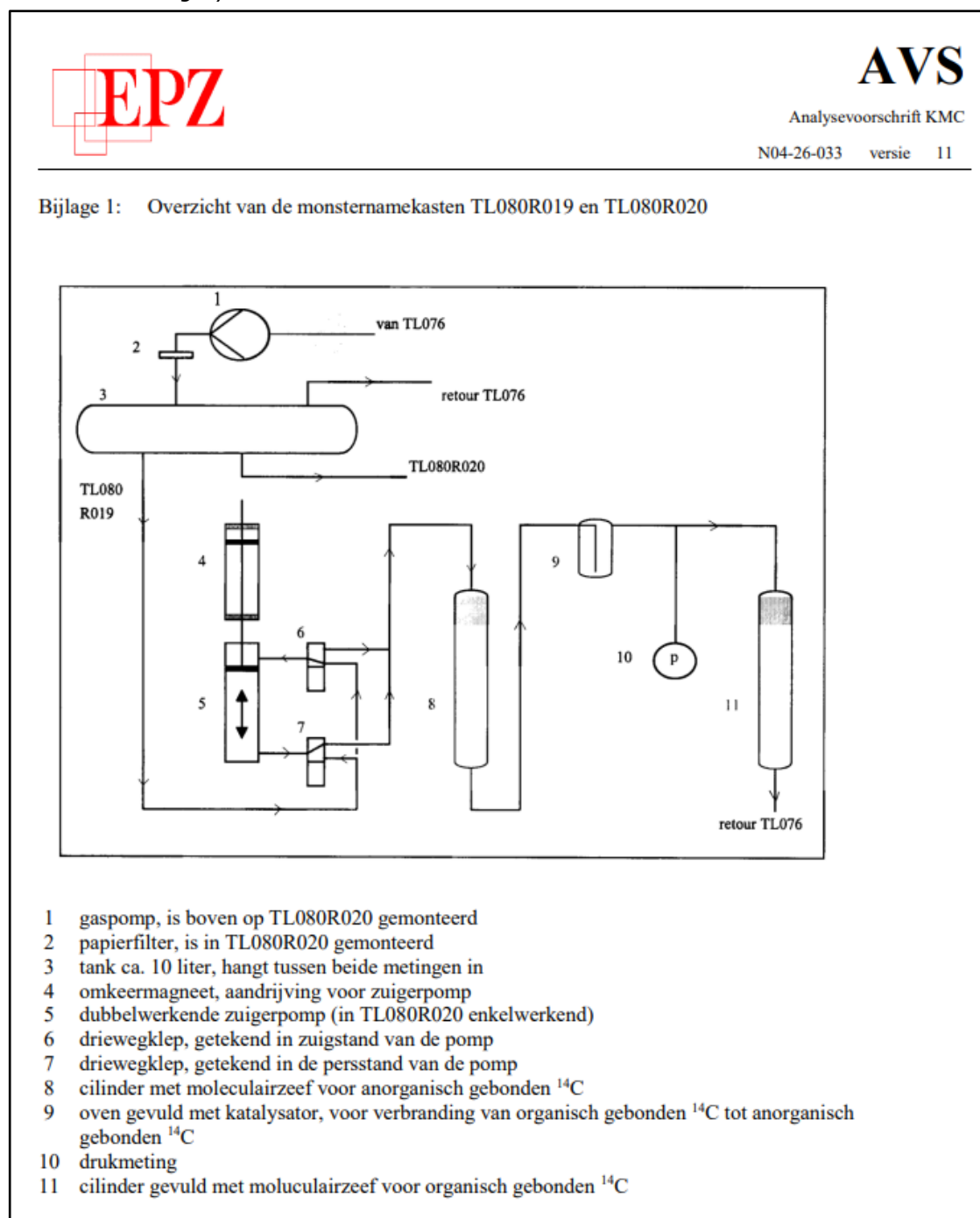
Wisselen van de cilinders met molecuulairzeef

- Voor verwijderen van de cilinders de wacht inlichten;
- Zet de schakelaar in de monsternamekast op 0 en noteer de datum/tijd;
- Verwijder de geplaatste cilinders met molecuulairzeef uit de automatische monsternameapparatuur en noteer datum/tijd en de tellerstand van het aantal pompslagen;
- Plaats de cilinders met nieuwe molecuulairzeef in het monsternameapparaat en reset de teller;
- Wissel het papierfilter in de inlaat van het monsternameapparaat in TL080R020;
- Wissel in de maanden januari en juli ook de katalysatormassa in de oven van het monstername-apparaat (pas op HEET, 450oC); – Zet de schakelaar in de monsternamekast op stand 1 en controleer de werking van het apparaat (dit is de herkwalificatie van het instrument)

Zet de schakelaar in de monsternamekast op stand 4 en noteer de datum/tijd.bepaling slagvolume zuigerpomp

Jaarlijks wordt van beide systemen TL080R019 en TL080R020 het slagvolume van de zuigerpomp bepaald. De afvoer van TL080R019, respectievelijk TL080R020 wordt tijdelijk aangesloten op een externe sommerende debietmeter. De beginstand van de teller en het volume van de debietmeter worden genoteerd. Na een week wordt de debietmeter verwijderd en wordt de tellerstand en het volume weer genoteerd. Zie Figuur B1.

Figuur B1 Schematisch overzicht van de bemonstering van ventilatielucht met het bemonsteringssysteem TL080R019 en TL080R020.



Het slagvolume wordt nu berekend met de volgende formule:

$$\text{Slagvolume [in ml/slag]} = \frac{(Volume_{eind} - Volume_{begin})}{(Slagen_{eind} - Slagen_{begin})}$$

Tijdens de bepaling van het slagvolume is sprake van een wijziging in het systeem, namelijk de afvoer ventilatielucht wordt nu niet retour gevoerd naar de ventilatieschacht (TL076), maar over de debietmeter geleid en in de ruimte geloosd. Daarom moet in soms in de module "Tracking and Control" een tijdelijke modificatie aangemaakt worden. Na aanmaken en bevestiging wordt een blauw label (TMB-P-label) aan het betreffende monsternamesysteem gehangen.

Berekening

Op basis van de start en eindtijd van het kwartaal, het aantal pompslagen van de interne gaspomp en de rapportage van Framatome kan de effectieve lozing berekend worden.

Bemonsterd volume lucht:

Uit de tellerstand van het aantal pompslagen volgt het bemonsterde volume volgens :

$$V_{\text{lucht}} = (T * V_{\text{pomp}}) / 1.000.000 \text{ (m}^3\text{)}$$

Waarin:

V_{lucht} = hoeveelheid bemonsterde lucht;

V_{pomp} = volume per pompslag (ml);

T = aantal pompslagen tijdens bemonsteringstijd.

Rapportage Framatome

Framatome rapporteert de resultaten in onderstaand format. De opgegeven meetwaarden zijn in Bq.patroom⁻¹

Tabel B1 Meetresultaten van de bepaling van H-3 en C-14 in een zeolietpatroon (Bq).

Parameter	Activiteit (Bq)	MDA	Ondergrens	Bovengrens
H-3 (HTO)	2,7E+02 ± 5E+01	2,3E±00	2,2E+02	3,1E+02
H-3 (HT, organisch)	1,9E±00 ± 1,3E±00	2,1E±00	6,2E-01	3,2E±00
C-14 (CO2)	1,8E+01 ± 3E±00	3,3E-01	1,5E+01	2,2E+01
C-14 (CH4, organisch)	1,8E+02 ± 3E+01	5,2E-01	1,5E+02	2,2E+02

* MDA : Minimum Detecteerbare Activiteit.

De aanduidingen van de verschillende fracties van tritium en koolstof-14 zijn:

H-3 (HTO) = anorganische fractie tritium

H-3 (HT, org.) = organische fractie tritium

C-14 (CO2) = anorganische fractie koolstof-14

C-14 (CO2, org.) = organische fractie koolstof-14

Deze meetwaarden worden omgerekend in Bq.m⁻³ door de meetwaarde per fractie te delen door de hoeveelheid bemonsterde lucht (de in een patroon verzamelde activiteit komt uit het doorgeleide volume lucht):

$$A_{\text{fractie}} = A_{\text{patroon}} / V_{\text{lucht}} \text{ (Bq.m}^{-3}\text{)}$$

$A_{\text{fractie}} =$ lozing per fractie ($\text{Bq} \cdot \text{patroon}^{-1}$)
 $A_{\text{patroon}} =$ activiteit op de patroon (Bq)

Lozing per fractie per kwartaal

De lozing per kwartaal wordt berekend uit activiteit per fractie in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, de tijdsduur van het kwartaal en het ventilatiedebiet.

$A_{\text{lozing}} = A_{\text{fractie}} * t * \text{TL027F001}$ (Bq)

$A_{\text{lozing}} =$ lozing van de betreffende fractie in het kwartaal
 $t =$ duur van het kwartaal in uren
 $\text{TL027F001} =$ gemiddelde kwartaallozing in m^3/h (Active Factory $\diamond$
 datum selecteren $\diamond$ rechtermuisknop statistics $\diamond$ average $\diamond$ m^3/s
 omrekenen naar m^3/h)

De totale lozing per nuclide is de som van de organische en anorganische fractie.

Bepaling van de lozing van aerosolen en jodium via de ventilatieschacht

Documentgegevens van KCB

Titel: Bepaling van de lozing van aërosolen en jodium via de ventilatieschacht
 Identificatie: N17-25-220
 Versie: 6
 Opsteldatum: 10-9-2024
 Documentsoort: Meet- bedieningsinstructie
 Opstelprocedure: PO-N17-25
 Reviewfrequentie: 48 maanden
 Volgende review: 10-9-2028

Uitvoering

Filterwissel

- Neem uit de kast een nieuw RVS filterpatroon en vul dit als volgt met verse zeoliet DSM11 en actieve kool, TEDA geïmpregneerd. Van boven naar beneden:
 - 2 aërosolfilters, S-klasse, glasfaser, 90 mm (ligt los op filterpatroon);
 - 2 bedden van 100 cm³ DSM11;
 - 2 bedden van 200 cm³ actieve kool, TEDA geïmpregneerd. De zeoliet/koolbedden worden door gridjes gescheiden.
- Neem het gevulde patroon en het aërosolfilter mee naar TL080R015 (03415) dan wel naar TL080R018 (03416).
- Open vervolgens de kast (tweede paneel van onder).
- Maak de vergrendeling van de hefboom links naast het filter los (palletje) en trek de hefboom naar voren. Hierdoor zakken het filter en de teflonbus die daaromheen zitten omlaag. Het filter komt daardoor vrij en de pomp slaat automatisch af.
- Noteer volume en de standtijd zoals die zijn geregistreerd door de Microquant. Normaal gesproken staat het apparaat in de bedrijfsstand. In het display staat dan:
 - $Q_t = X.XX \text{ [m}^3/\text{h]}$ Q_t is de actuele doorstroming
- Met behulp van de toetsen D en E kunnen de volgende bedrijfsparameters worden uitgelezen:

$Q_t =$	$X.XX \text{ [m}^3/\text{h]}$	actuele doorstroming
$\Sigma Q =$	$X.XX \text{ [m}^3]$	actuele doorstroomde volume
$T =$	$X.X \text{ [h]}$	actuele standtijd
$\Delta p =$	$X.XX \text{ [mbar]}$	actuele drukval over het filter
Max	200,0 [mbar]	drukval over filter waarboven alarm wordt gegenereerd
Min	40,0 [mbar]	drukval over filter waaronder alarm wordt gegenereerd
$Q_0 =$	$X.XX \text{ [m}^3/\text{h]}$	totale doorstroming tijdens vorige cyclus; de eenheid staat niet correct in het display, moet zijn [m ³].
$T_0 =$	$X.X \text{ [h]}$	totale standtijd van vorige cyclus

Als het apparaat na filterwissel wordt herstart worden SQ en ST opgeslagen. Deze gegevens zijn van de laatste tien periodes terug te halen. Daartoe moet vanuit de bedrijfstoestand op toets F worden gedrukt. In het display verschijnt dan <1> Betrieb. Door een druk op toets D verschijnt in het display <2> Speicher. Druk nu op toets C (Enter). In het display verschijnt dan $Q0 = X.XX [m^3]$. Met behulp van toetsen D en E kunnen de laatste 10 doorgestroomde volumina en standtijden worden teruggelezen, Q0 heeft betrekking op de meest recente, Q9 op de oudste.

- Wissel het filter.
- Plaats het nieuwe filter recht in het apparaat en vergrendel het filter met behulp van de hefboom Vergrendel ook de hefboom. Zorg ervoor dat het filter recht zit: na vergrendeling moet de teflon huls rond kunnen draaien.
- Druk op de knop Neustart nach Filterwechsel, op het bovenste paneel naast het Microquant paneel.
- Druk daarna op de witte vierkante knop (Ein/on) midden op het apparaat.
- De temperatuur aflezing dient ongeveer 13 K aan te geven, het duurt echter ongeveer een half uur voordat de juiste waarde wordt bereikt.
- Zolang TL080R015 of TL080R018 uit bedrijf is ook de edelgasmetering TL080R011 dan wel TL080R012 uit bedrijf!
- De instellingen dienen als volgt te zijn:
 - TL080R015Qt ongeveer 4,2 [m³/h].
 - TL080R018Qt ongeveer 4,2 [m³/h].
 - De sleutelschakelaar: intern/internal.
 - Blauwe keuzeschakelaar: temperatuurgradiënt, K/temperatuurgradiënt.
 - Zwarte hoofdschakelaar ingedrukt.
- Op paneel microquant dienen links 2 groene lampjes te branden.
- In display microquant brandt groene lampje OK en Qt= ...[m³/h].
- Naast witte Ein/on knop brandt groen lampje: continuous light power on.

Aërosollozing

De aërosollozing wordt bepaald op basis van het glasfaserfilter in de TL080R018. In de opstelling zit een glasvezel filter op het jodiumpatroon. Voor de bepaling dient als volgt te worden gehandeld:

- Bepaal met behulp van de HpGe (instructie N17-26-042) de activiteit op het filter door dit filter als geheel plat op de HpGe te leggen. Gebruik daarvoor geometrie 15, filter 90 mm. Noteer het resultaat van de meting.
- De uiteindelijk te rapporteren hoeveelheid aërosolen is 2x de gevonden hoeveelheid als bepaald met behulp van de HpGe en de monitorgegevens. Dit geldt ook voor de MCA waarde. Dit i.v.m. de buisfactor van het monsternamesysteem, die bepaald is op 2.

 α en $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$ lozing

Na de meting dient het bovengenoemde filter te worden bewaard. Eens per kwartaal dient de bepaling van de α en $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$ activiteit op de filters plaats te vinden.

Deze bepaling wordt uitgevoerd door de NRG en de resultaten worden verwerkt in de rapportage aan de overheid. Indien de α activiteit $> 5\text{E-}3 \text{ Bq/m}^3$, dan moet ook een α nucliden specifieke bepaling worden uitgevoerd.

Jodiumlozing

De jodiumlozing wordt wekelijks bepaald met behulp van het filterpatroon uit de TL080R018 en wordt opgesplitst in de lozing van organisch gebonden jodium (CH_3I) en anorganisch gebonden jodium (I_2). Het filterpatroon is daarom gevuld met twee materialen. Eerst het zeoliet 'A41 absorber materiaal DSM11' voor het absorberen van I_2 , en vervolgens de met TEDA geïmpregneerde actieve kool voor het absorberen van CH_3I . Beide absorber bedden zijn dubbel uitgevoerd.

- In eerste instantie dient slechts het eerste bed te worden gemeten (op de HpGe volgens instructie N17-26-042). Het volume van de DSM11 is 100 ml, geometrie 3, 100 ml op 0 cm.
- De actieve kool heeft een volume van 200 ml per bed, hiervoor gebruikt men geometrie 8, 200 ml op 0 cm.
- ALS in het eerste DSM11 bed jodium wordt gemeten dan dient ook het tweede DSM11 bed te worden gemeten.
- De totale halogenen lozing wordt bepaald aan de hand van de bij elkaar opgetelde activiteiten van zowel de zeoliet als de actieve koolbedden.
- ALS in het eerste met TEDA geïmpregneerde actieve kool bed jodium wordt gemeten dan dient ook het tweede bed te worden gemeten.
- Wanneer jodium gevonden wordt in het tweede bed, dan dient bij de berekening van de lozing rekening gehouden te worden met het vangst percentage van de bedden.

De I_2 en CH_3I lozingen dienen afzonderlijk te worden genoteerd en gerapporteerd.

Van de **Tweede** opstelling, TL080R015, dienen het filter en de inhoud van de filterelementen te worden bewaard. Deze filters dienen t.z.t. naar het RIVM te worden gestuurd om daar te worden onderzocht.

Detectiegrenzen

In de rapportage naar de overheid moeten de minimale en maximale detectiegrenzen, die in de 13 weken van het betreffende kwartaal zijn voorgekomen, worden vermeld. Hiertoe moeten de detectiegrenzen van aërosol en jodium bepaling van het betreffende kwartaal worden verzameld. Deze detectiegrenzen worden door het meetprogramma gegenereerd.

Berekening

De berekening van de geloosde hoeveelheid radioactieve stoffen vindt plaats met de volgende formule:

$$\text{Lozing [Bq]} = \text{Activiteit [Bq/m}^3\text{]} \times \text{flow TL027F001 [m}^3\text{/h]} \times \text{zuigtijd [h]}$$

waarbij opgemerkt moet worden dat door APEX automatisch wordt gecorrigeerd voor de decay time.

De decay time is de tijd voor de bemonstering (wordt gekenmerkt door de start datum/tijd en eind datum/tijd) + de tijd na het einde van de bemonstering voordat wordt begonnen met de meting + een correctie voor verval tijdens de meting (telling).

Metingen en berekeningen aan monsters van radioactief afvalwater

Documentgegevens van KCB

Titel: Metingen en berekeningen aan monsters van radioactief afvalwater
Identificatie: N04-28-012
Versie: 12
Opsteldatum: 23-2-2024
Documentsoort: Chemie instructie
Opstelprocedure: PO-N04-28
Reviewfrequentie: 48 maanden
Volgende review: 23-2-2028

Werkwijze

BEMONSTERING EN ANALYSE OPVANG- EN LOZINGTANKS TR010-SYSTEEM

Bemonstering opvangtanks

Van de opvangtanks TR011B001, TR012B001, TR013B001 of TR014B001 wordt een 1 liter puntmonster genomen in een ZPE-monsterfles. Er worden geen drageroplossingen toegevoegd.

Analyses TR011B001 en TR012B001 (waswater)

pH, boorgehalte, chloridegehalte en totaal gamma-activiteit.
De inhoud van TR011B001 en TR012B001 kan, over het algemeen zonder verdere behandeling overgepompt worden in de lozingstank (gamma-activiteit <200 kBq/m³).

Analyses TR013B001 en TR014B001 (lek- en schrobwater)

pH, boorgehalte, chloridegehalte, bepaling van de hoeveelheid loog en antischuim, vaste stof gehalte en totaal gamma activiteit.
De inhoud van TR013B001 en TR014B001 wordt verwerkt via de afvalwaterverdamer TR034N001, het condensaat wordt opgevangen in de lozingstank.

Archivering

De analyseresultaten en de uit te voeren afvalwaterbehandeling worden vastgelegd in het Excelbestand
K:\EPZ\NO\KMC\Database\Afvalwater\Afvalwaterlozingen.xlsx
KOPIE **AVS** Chemie instructie N04-28-012 versie 12
blad 4 van 10

Met behulp van een digitaal afvalwaterformulier geeft de afdeling KMC aan welke afvalwaterbehandelingen er dienen te worden uitgevoerd onder sectie A. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om: verpompingen, additie van chemicaliën en het aflaten van de verdamer.

BEMONSTERING EN ANALYSE LOZINGTANKS TR040-SYSTEEM

Bemonstering en analyses lozingtanks

Van de lozingstanks TR041B001 of TR042B001 worden monsters genomen volgens onderstaand schema:

- 1 × 500 ml puntmonster zonder toevoeging van drageroplossingen in een schone monsterfles (ZPE). Van dit monster wordt de pH, het boorgehalte en de tritiumactiviteit bepaald. De meetfout in de tritiumactiviteit wordt eveneens vermeld. De aantoonbaarheidsgrens voor tritium moet, conform KTA 1504, 40 kBq.m⁻³ zijn.
- 1 × 2 liter puntmonster met drageroplossingen in een schone monsterfles (ZPE). Voorzie de monsterfles van een unieke code: XX-YYY (XX = jaartal en YYY = volgnummer, waarbij het eerste monster in een betreffend jaar het volgnummer 01 krijgt). Noteer op de fles ook het bemonsteringstijdstip en de betreffende lozingstank. Van dit monster worden de totaal gamma-activiteit en de nuclidensamenstelling bepaald. Aan het monster worden drageroplossingen toegevoegd:
- Drageroplossing 1 wordt vooraf in de monsterfles gebracht. Na het vullen van de fles (niet spoelen en niet overvullen!) wordt drageroplossing 2 toegevoegd. De toe te voegen hoeveelheid drageroplossingen bedraagt 1 ml per liter monster. Na het toevoegen van de drageroplossingen wordt het monster aangezuurd met geconcentreerd (65%) salpeterzuur in een hoeveelheid van circa 10 ml per liter monster. Meet na aanzuren de pH (1 – 2) en noteer de waarde op de monsterfles en in het afvalwaterschrift. Van dit monster wordt de totaal gamma-activiteit en de nuclidensamenstelling bepaald.
- De puntmonsters worden minimaal één jaar bewaard voor het RIVM, dat steekproefsgewijs een contra-expertise uitvoert. De aantoonbaarheidsgrens voor ⁶⁰Co in gedemineraliseerd water moet, conform KTA 1504, < 1 kBq/m³ zijn.

Archivering

In het excelbestand

K:\EPZ\NO\KMC\Database\Afvalwater\Afvalwaterlozingen.xlsb worden de analyseresultaten vastgelegd.

Per nuclide wordt de gemeten activiteit, de fout (2s) en de MDA-waarde, op het tabblad **invoerblad lozingen** vermeld. Indien de opgegeven activiteit kleiner is dan de MDA, dan wordt de MDA gerapporteerd.

De geldozen worden minimaal één jaar bewaard ten behoeve van bewijsvoering, ook gesteld in KTA 1504.

Na analyse van het lozingsmonster wordt het afvalwaterformulier, met het de corresponderende volgnummer, aangevuld met meetgegevens onder sectie B. Hierna wordt het formulier digitaal aangeboden aan de afdeling bedrijfsvoering. Wanneer zij het lozen van de tank hebben afgerond, paraferen zij het formulier digitaal. Het lozingsrapport wordt nu digitaal als PDF opgeslagen, voorzien van alle gegevens (van herkomst tot lozing).

Analysevoorschriften

De bepaling van de chemische parameters, de uit te voeren afvalwaterbehandeling en de bepaling van de totaal gamma- en tritiumactiviteit is beschreven in de betreffende analysevoorschriften.

De te hanteren werkdocumenten zijn:

- N04-26-175 Titratie:
 - Titrimetrische bepaling van chloride met zilvernitraat;
 - Titrimetrische bepaling van boor in watermonsters;

- N04-26-126 Bepaling gehalte totaal vaste stoffen, onopgeloste vaste stoffen en opgeloste vaste stoffen in vloeibare monsters door indampen en drogen;
- N04-26-002 Bepaling van de tritiumactiviteit in waterige oplossingen met behulp van vloeistofscintillatie;
- N04-26-176 Radiochemie:
 - Bepaling van de totaal gamma-activiteit;
 - Bepaling van de nuclidensamenstelling;
- N04-26-049 Bepaling van de hoeveelheid antischuim in afvalwatermonsters;
- N04-26-109 Bepaling te doseren hoeveelheid NaOH in een afvalwatertank;
- N04-27-006 pH-meter.

Voor het vaststellen van het volume afvalwater in de opvang- en lozingstanks wordt het PPS geraadpleegd. Het geloosde volume volgt uit het niveau voor en na de lozing. Het geloosde volume is dan:

$$\text{volume (m}^3\text{)} = (\text{niveau voor lozing (m)} - \text{niveau na lozing (m)}) \times 7,5 \text{ (m}^2\text{)}.$$

Na lozing van het afvalwater wordt het geloosde volume in de afvalwaterdatabase gecorrigeerd voor de achterblijvende hoeveelheid water in de lozingstank. De opvangtanks worden hiervoor niet gecorrigeerd.

Opmerking

Incidenteel kan het gebeuren dat de inhoud van een lozingstank teruggepompt moet worden naar TR013B001 of TR014B001 om (opnieuw) verdampt te worden. Dit is het geval indien de activiteit in de lozingstank $> 200 \text{ kBq/m}^3$ is. Ook als de activiteit $< 200 \text{ kBq/m}^3$ is maar nog relatief hoog door een niet optimaal werkende verdamp(er) of een andere oorzaak kan, in overleg met de chef KMC, besloten worden de inhoud van de lozingstank terug te pompen.

Indien reeds een volgnummer onder het tabblad herkomst is toegewezen met de corresponderende analyseresultaten van de TR013B001 of TR014B001 tank blijven het volgnummer en de analyseresultaten ongewijzigd.

Het lozen van een afvalwatertank met een activiteitsconcentratie $> 200 \text{ kBq/m}^3$ mag alleen plaatsvinden na goedkeuring van de chef KMC en manager KM.

5. KWARTAAL MENGMONSTER

Het kwartaal mengmonster dient te worden samengesteld uit de puntmonsters van de lozingsstanks in een verhouding van de geloosde hoeveelheid in dat kwartaal (proportioneel per tank). Het mengmonster, in totaal 5 liter, wordt samengesteld in een schone 5 l jerrycan. De berekeningswijze voor de juiste hoeveelheid puntmonster in ml is als volgt:

geloosde volume afvalwater per tank (m³)
 ----- × 5000 ml
 totaal geloosde volume afvalwater in het betreffende kwartaal (m³)

Het mengmonster wordt verdeeld over nieuwe 1 liter-monsterflessen (ZPE).

Extern wordt de totaal alfa-, 89Sr-, en 90Sr-activiteit in het kwartaal mengmonster bepaald.

Strontiumactiviteit:

De aantoonbaarheidsgrens is voor beide strontiumisotopen 0,5 kBq/m³ (KTA 1504).

Alfa-activiteit:

De aantoonbaarheidsgrens voor totaal alfa-activiteit is 0,2 kBq/m³ (KTA 1504). Als de totaal alfa-activiteit > 1 kBq/m³ is, dient alfa-nuclidespecifiek te worden gemeten. Bij een alfa-nuclidespecifieke meting mag de aantoonbaarheidsgrens voor ²⁴¹Am de waarde van 0,2 kBq/m³ niet overschrijden (KTA 1504).

Het RIVM bepaalt tevens de totaal alfa-, 89Sr-, en 90Sr-activiteit in het kwartaal mengmonster, waarin de splijtstofwisselperiode valt.

Het kwartaal mengmonster wordt minimaal één jaar bewaard ten behoeve van bewijsvoering.

JAAR MENGMONSTER

Het jaar mengmonster dient te worden samengesteld uit de kwartaalmonsters in een verhouding van de geloosde hoeveelheid in dat jaar (proportioneel per kwartaal). Het mengmonster, in totaal 3 liter, wordt samengesteld in een schone 5 l jerrycan. De berekeningswijze voor de juiste hoeveelheid kwartaalmonster in ml is als volgt:

$$\frac{\text{geloosde volume afvalwater in dat kwartaal (m}^3\text{)}}{\text{totaal geloosde volume afvalwater in het betreffende jaar (m}^3\text{)}} \times 3000 \text{ ml}$$

Het mengmonster wordt verdeeld over nieuwe 1 liter monsterflessen (ZPE). Extern wordt de ⁵⁵Fe en ⁶³Ni activiteit in het jaar mengmonster bepaald. De aantoonbaarheidsgrens moet voor elk van de genoemde nucliden 2 kBq/m³ zijn (KTA 1504).

Het jaar mengmonster wordt minimaal één jaar bewaard ten behoeve van bewijsvoering.

RAPPORTAGE

Rapportage van de lozingen, inclusief de geloosde volumes afvalwater, vindt plaats :

- per geloosde tank wordt intern gerapporteerd (ten behoeve van de contra-expertise door het RIVM wordt over de betreffende lozing aan het RIVM gerapporteerd);
- per kwartaal wordt de nuclidespecifieke lozing aan gamma- en tritiumactiviteit gerapporteerd (inclusief de cumulatieve lozing in het lopende jaar);
- per kalenderjaar wordt in het milieujaarverslag de geloosde gamma- en tritiumactiviteit gerapporteerd.

Per tank worden de geloosde hoeveelheden van de radionucliden genoemd in Tabel 3.1 in KTA 1504 en de tritiumconcentratie gerapporteerd. In de kwartaalrapportage worden bovendien de geloosde hoeveelheden ^{89}Sr en ^{90}Sr gerapporteerd.

De jaarrapportage is onderdeel van het milieujaarverslag en bevat naast bovengenoemde radionucliden tevens de geloosde hoeveelheid ^{55}Fe en ^{63}Ni .

Per nuclide wordt opgegeven:

- de gemeten activiteit inclusief de totale fout en de inhomogeniteitsfout in kBq/m³;
- de geloosde hoeveelheid activiteit inclusief de totale fout en de inhomogeniteitsfout in MBq.

De totale fout is opgebouwd uit de meetfout, de experimentele fout en de inhomogeniteitsfout. De eerste twee fouten worden door het software programma Apex integraal als één getal gerapporteerd (2s).

De getalsmatige invulling van de inhomogeniteitsfout van de belangrijkste nucliden is:

- | | |
|----------------|--------------|
| - H-3 5 % | Te-123m 15 % |
| - Cr-51 45 % | I-124 5 % |
| - Mn-54 45 % | Sb-124 15 % |
| - Co-58 15 % | I-131 5 % |
| - Co-60 45 % | Xe-133 5 % |
| - Nb-95 45 % | Cs-134 5 % |
| - Zr-95 45 % | Cs-137 5 % |
| - Ag-110m 15 % | I-133 5 % |

De fout wordt opgegeven bij een betrouwbaarheid van 95 % (2s).

Een uitgebreide foutenbeschouwing is vastgelegd in de rapporten *Foutenanalyse gammaspecifieke afvalwateranalyse* [KCB-1] en *Aanvullend onderzoek inhomogeniteitsfout gammaspecifieke afvalwateranalyse* [KCB-2]. Tevens wordt verwezen naar de brief van het RIVM met het kenmerk 665/01 LSO Sto/jh van 9 november 2001.

Rekenvoorbeeld:

- gemeten: ^{60}Co ($1,2 \pm 0,1$) E2 kBq/m³
- geloosd: 75 m³

geloosde hoeveelheid activiteit:

$$A = (1,2 \pm 0,1) \text{E2} * 75 / 1000 = 9,0 \pm 0,8 \text{ MBq}$$

Berekening kwartaal- en jaarlozing uit de gemeten puntmonsters

De kwartaal- en jaarlozing en de fout hierin wordt berekend volgens onderstaande formule:

$$\text{Lozing} = (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n) \pm \sqrt{(\Delta A_1^2 + \Delta A_2^2 + \dots + \Delta A_n^2)} \text{ MBq}$$

waarin:

$A_1 \dots A_n$ is de gemeten activiteit in de puntmonsters

$\Delta A_1 \dots \Delta A_n$ is de fout in de gemeten activiteit

OP TE STUREN MONSTERS

- Puntmonster (per tank): 1 liter puntmonster en de geldoos voor het RIVM in Bilthoven, alleen op verzoek voor een contra-expertise. Deze monsters worden door het RIVM opgehaald.
- Kwartaal mengmonster: 3 × 1 liter naar NRG in Petten.
- Kwartaal mengmonster waarin 1 × 1 liter naar het RIVM in Bilthoven de splijtstofwisselperiode valt
- Jaar mengmonster: 2 × 1 liter naar Framatome in Erlangen (D).

KCB REFERENTIES

KCB-1. Haaij G.L.J. (2001), *Foutenanalyse gammaspecifieke afvalwateranalyse*, referentie Lous/Haij/R015045, EPZ-KE Borssele.

KCB-2. Haaij G.L.J. (2002), *Aanvullend onderzoek inhomogeniteitsfout gammaspecifieke afvalwateranalyse*, referentie KMC/GHa/R025199, EPZ-KE Borssele.

KCB-3. KTA 1504 Fassung 2017-11

Bijlage 3 Monsterbehandeling door KCB: stabilisering van de watermonsters door toevoegen van zuur en dragerionen

Door de aard van de werkzaamheden bij KCB is was- en spoelwater een belangrijk deel van het te lozen afvalwater. Hierdoor bevat het afvalwater vaak vlokkige en uitzakkende delen. Een aantal radionucliden, zoals bijvoorbeeld Co^{2+} , Ru^{3+} , Ce^{4+} , hechten zich relatief makkelijk aan zwevende deeltjes en zal daardoor na verloop van tijd uitzakken en op de bodem van de monsterfles liggen. De verdeling van dergelijke metaalionen over het watermonster is dan zeker niet homogeen. Nucliden zoals het alkalimetaal $^{134/137}\text{Cs}^+$ vertonen een veel minder sterke neiging tot adsorptie aan zwevende deeltjes en zijn doorgaans wel homogeen verdeeld. Tritium is als $^3\text{H}_2\text{O}$ in water (H_2O) per definitie homogeen verdeeld.

Naast een homogene verdeling over het monster speelt mogelijke adsorptie aan de fleswand een rol. Dit is van groot belang bij glazen monsterflessen: de meeste radionucliden hebben een sterke affiniteit voor glasoppervlakken en zullen na verloop van tijd adsorberen aan de glaswand. Ongewenste wandadsorptie kan geminimaliseerd worden door het gebruik van kunststof monsterflessen, het aanzuren van het monster tot circa pH 1, en het toevoegen van stabiele metaalionen (dragerionen). Dit staat omschreven in KTA 1504 [4]. Een nadeel van het toevoegen van stabiele metaalionen kan het induceren van uitvlokking zijn. Het is daarom van belang in ieder geval de pH op circa 1 te handhaven en een zodanige hoeveelheid stabiele metaalionen toe te voegen dat er geen extra uitvlokking optreedt.

In een intern KCB onderzoek¹ uit 2001 is onderzoek gedaan naar het gedrag van radionucliden in aangezuurd en van dragers voorzien afvalwater. Het bleek dat er drie groepen van nucliden waren te definiëren die zich als goed homogeniseerbaar (onzekerheid van 5%, 2s), als redelijk homogeniseerbaar (onzekerheid 15 %, 2s) en als matig/slecht homogeniseerbaar (onzekerheid 45%, 2s) waren in te delen.

Tabel C1 Kwantificering van inhomogeniteitsonzekerheid voor diverse nucliden

Nuclide	Inhomogeniteits onzekerheid (%)	Nuclide	Inhomogeniteits onzekerheid (%)	Nuclide	Inhomogeniteits onzekerheid (%)
H-3	5	Nb-95	45	Sb-124	15
Cr-51	45	Zr-95	45	I-131	5
Mn-54	45	Ag-110m	15	Xe-133	5
Co-58	15	Te-123m	15	Cs-134	5
Co-60	45	I-124	5	Cs-137	5
				I-133	5

¹ Haaij G.L.J. (2001), Foutenanalyse Sb-124 gammaspecifieke afvalwateranalyse, ref. Lous/Haaij/R015045, KCB-KE Borssele.

Bij de beoordeling van de vergelijkingsresultaten moet met de bovenstaande schatting van de inhomogeniteit rekening gehouden worden.

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