



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

**Contra-expertise op bepalingen van
radioactiviteit van afvalwater en
ventilatielucht van COVRA N.V.**

Periode 2012

RIVM Briefrapport 300002002/2013
P.J.M. Kwakman | R.M.W. Overwater



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

Contra-expertise op bepalingen van radioactiviteit van afvalwater en ventilatielucht van COVRA N.V.

Periode 2012

RIVM Briefrapport 300002002/2013
P.J.M. Kwakman | R.M.W. Overwater

Colofon

© RIVM 2013

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.

PJM Kwakman (Radiochemicus), RIVM / VLH
RMW Overwater (Radiofysicus), RIVM / VLH

Contact:
Pieter Kwakman
RIVM / VLH
pieter.kwakman@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Inspectie Leefomgeving en Transport, in het kader van project 300002/01/SM, Site Monitoring Straling

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Contra-expertise op bepalingen van radioactiviteit van afvalwater en ventilatielucht van COVRA N.V. Periode 2012.

Het RIVM controleert maximaal achtmaal per jaar de metingen van COVRA. Het gaat hierbij om lozingen van radioactiviteit in water en lucht. De contra-expertise onderbouwt de betrouwbaarheid van de analyses die COVRA uitvoert.

De overeenstemming in de gammaspectrometrische resultaten, de totaal-alfa, totaal-beta, ^3H - en ^{14}C -resultaten in afvalwater was overwegend goed. Gezien het feit dat RIVM en COVRA verschillende meetprincipes toepassen komen de totaal bèta meetwaarden van RIVM en de rest-bèta meetwaarden van COVRA in 2012 goed overeen.

De overeenstemming tussen RIVM en COVRA betreffende de ventilatielucht-resultaten van AVG en HABOG is eveneens overwegend goed.

Het RIVM heeft in 2012 zes afvalwatermonsters en acht monsters van ventilatielucht van zowel het afvalverwerkingsgebouw als het HABOG geanalyseerd, die verspreid over het jaar door COVRA zijn genomen. Opdrachtgever is de Kernfysische Dienst van de Inspectie Leefomgeving en Transport, Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Trefwoorden:

COVRA, radioactiviteit, lozingen, afvalwater, ventilatielucht

Abstract

Contra-expertise on the determination of radioactivity of waste water and ventilation air of COVRA N.V. Period 2012.

Within the framework of a monitoring programme, RIVM measures the release of radioactivity into water and ventilation air of COVRA N.V. Measurements are carried out up to eight times per year. This form of counter-expertise is aimed at verifying and supporting the reliability of the analyses carried out by COVRA. The two different sets of waste water analyses are generally in agreement, as is also the case in 2012 for gamma-emitters, gross alpha, gross beta, tritium and ^{14}C . Considering the fact that RIVM and COVRA apply different measuring principles the agreement in the gross beta results in waste water is good.

The results for gross alpha and gross beta, ^3H and ^{14}C obtained by RIVM and COVRA in ventilation air samples of the waste treatment building are generally in good agreement

The agreement was good in the analytical results found by RIVM and COVRA in ventilation air from the high activity waste storage building.

RIVM analyzed six waste water samples and eight samples of ventilation air from both the waste treatment building and the high activity waste storage building. These samples were taken by COVRA at various time points dispersed throughout 2012. The analyses were carried out on behalf of the Department of Nuclear Safety, Security and Safeguards of the Human Environment and Transport Inspectorate, Ministry of Infrastructure and Environment.

Key words:

COVRA, radioactivity, discharges, waste water, ventilation air

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave–5

Samenvatting–6

1 Inleiding–7

2 Monsters en analyse–8

3 Analysemethoden–10

3.1 Tweevoudbepaling–10

3.2 Bepaling van de totaal alfa-activiteitsconcentratie in afvalwater–10

3.3 Bepaling van de totaal bèta-activiteitsconcentratie in afvalwater–11

3.4 Bepaling van de activiteitsconcentratie aan gammastraling uitzendende nucliden in afvalwater–11

3.5 Bepaling van de ^3H -activiteitsconcentratie in afvalwater–11

3.6 Bepaling van de ^{14}C -activiteitsconcentratie in afvalwater–12

3.7 Bepaling van de totaal alfa- en totaal bèta-activiteitsconcentratie in ventilatielucht–12

3.8 Bepaling van de activiteitsconcentratie gammastraling uitzendende nucliden in ventilatielucht–12

3.9 Bepaling van de ^3H -activiteitsconcentratie in ventilatielucht–13

3.10 Bepaling van de ^{14}C -activiteitsconcentratie in ventilatielucht–13

3.11 Foutberekeningen–13

3.12 Kwaliteitswaarborging–14

3.13 Presentatie van resultaten en vergelijking–14

4 Resultaten en discussie–16

4.1 Meetresultaten–16

4.2 Vergelijking van de resultaten en discussie–16

4.2.1 Afvalwater–16

4.2.2 Ventilatielucht AVG–17

4.2.3 Ventilatielucht HABOG–18

4.3 Algemeen oordeel over de contra-expertise resultaten–19

Bijlage A Vergelijking meetresultaten–20

Bijlage B Monstername en analyse van afvalwater en ventilatielucht door COVRA–24

Bijlage C Referenties–29

Samenvatting

Het Laboratorium voor Stralingsonderzoek van het RIVM heeft in 2012 in opdracht van de Kernfysische Dienst van de Inspectie Leefomgeving en Transport radioactiviteitsmetingen uitgevoerd van lozingsmonsters afkomstig van een vijftal nucleaire installaties. Het doel is het leveren van contra-expertise op de metingen die door de installaties zelf zijn uitgevoerd. Dit rapport gaat over de periode januari – december 2012.

De contra-expertisemonsters waar het voorliggende rapport over gaat, zijn afkomstig van de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval N.V. (COVRA) te Nieuwdorp. Het betreft zowel afvalwatermonsters van het afvalverwerkingsgebouw (AVG), als filters waarmee de uitgaande ventilatielucht van AVG en het Hoogradioactief Afvalbehandeling en Opslag Gebouw (HABOG) is bemonsterd.

De overeenstemming van de resultaten van RIVM met die van de nucleaire installaties wordt ingedeeld in vier categorieën, in afnemende volgorde A1, A2, B en C. RIVM bepaalde de activiteitsconcentratie van gammastralers, totaal alfa, totaal-beta, tritium en koolstof-14 in afvalwater en tevens in ventilatielucht.

De totaal alfa en totaal bèta meetresultaten in ventilatieluchtmonsters van het afvalverwerkingsgebouw komen doorgaans goed overeen. De gammastraler ^{125}I is door RIVM geheel niet, en door COVRA in slechts één ventilatieluchtmonster aangetroffen. ^3H en ^{14}C zijn beide aangetroffen met een redelijk tot goede overeenstemming.

COVRA en RIVM vonden beide geen ^{125}I of andere kunstmatige gammastralers in HABOG ventilatielucht. RIVM trof alleen in het zevende monster een zeer geringe hoeveelheid totaal-alfa en totaal-bèta activiteit aan. COVRA heeft in geen van de acht HABOG ventilatieluchtmonsters een totaal alfa of totaal bèta activiteit aangetroffen.

RIVM en COVRA vonden beide een geringe ^3H en ^{14}C activiteit in de vier HABOG ventilatieluchtmonsters met een goede overeenstemming.

1 Inleiding

Het Laboratorium voor Stralingsonderzoek (LSO) van RIVM voert in opdracht van de Kernfysische Dienst van de Inspectie Leefomgeving en Transport radioactiviteitsmetingen uit van lozingsmonsters afkomstig van een vijftal nucleaire installaties. Het doel is het leveren van contra-expertise op de metingen die door de installaties zelf zijn uitgevoerd. Dit rapport gaat over de periode januari – december 2012.

De contra-expertisemonsters waar het voorliggende rapport over gaat, zijn afkomstig van de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval N.V. (COVRA) te Nieuwdorp. Het betreft zowel afvalwatermonsters van het afvalverwerkingsgebouw (AVG), als filters waarmee de uitgaande ventilatielucht van het AVG en het Hoogradioactief Afvalbehandeling en Opslag Gebouw (HABOG) is bemonsterd.

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 A. De bemonstering wordt door de onderzochte bedrijven uitgevoerd. Beschrijvingen van de bemonsterings- en analysemethoden toegepast door het onderzochte bedrijf, zijn gereproduceerd in Bijlage B.

In 2012 heeft het RIVM/LSO gefunctioneerd als zelfstandig Laboratorium voor Stralingsonderzoek. Met ingang van 1-1-2013 is het LSO onderdeel geworden van het centrum Veiligheid van het RIVM. Voor de betreffende rapportageperiode 2012 wordt echter nog steeds gebruik gemaakt van de naam 'LSO'.

2 Monsters en analyse

RIVM haalt periodiek afvalwater- en ventilatieluchtmonsters op bij COVRA. Van elk batchmonster afvalwater bewaart COVRA een fles met circa 500 ml basisch ongegeleerd water voor de ^{14}C -bepaling en een fles met circa 2 l aangezuurd ongegeleerd water voor de overige bepalingen ten behoeve van contra-expertise door RIVM. Voor het bepalen van de radioactiviteit in uitgaande ventilatielucht krijgt RIVM een filterpakket afkomstig uit een apart, 'redundant' bemonsteringssysteem, identiek aan het systeem dat COVRA gebruikt voor haar eigen analyses. Daarnaast krijgt RIVM een condensaat voor de bepaling van ^3H en een BaCO_3 -neerslag voor de bepaling van ^{14}C in ventilatielucht (Zie Bijlage B, laatste pagina). Tabel 1 bevat een overzicht van het, vooraf met de KFD afgesproken, aantal monsters en de te verrichten analyses¹. In Tabel 2 staan gegevens van de opgehaalde afvalwatermonsters en in Tabel 3 van de monsters ventilatielucht van AVG.

In 2012 zijn er slechts zes afvalwaterbatches geloosd. RIVM heeft monsters van alle batches opgehaald en geanalyseerd.

Tabel 1 : Overzicht van vooraf afgesproken aantal monsters en analyses

Monsters	Aantal	Soort monster	Analyses
Afvalwater	8	Batchmonster	Totaal alfa**, totaal-bèta**, gammastralers**, $^3\text{H}^*$ en $^{14}\text{C}^{**}$
Ventilatielucht	8	Weekmonsters AVG (filterpakket: aërosol 2 × zeoliet 2 × kool)	Totaal alfa*, totaal-bèta* in aërosolfilter; gamma-emitters pakket*; bij aantonen van mogelijk vluchtige gamma-emitters, tevens meting van de zeoliet- en kool-absorbers apart*
	8	14-daagse monsters HABOG (filterpakket: aërosol 2 × kool)	Totaal alfa*, totaal-bèta* in aërosolfilter; gamma-emitters pakket* ; bij aantonen van mogelijk vluchtige gamma-emitters, tevens meting van de filters waaruit het pakket is samengesteld apart*
	4	Maandmonster AVG (H_2O , BaCO_3)	$^3\text{H}^*$ en $^{14}\text{C}^*$ (m.b.v. LSC)
	4	Maandmonster HABOG (H_2O , BaCO_3)	$^3\text{H}^*$ en $^{14}\text{C}^*$ (m.b.v. LSC)

* Analyse in enkelvoud

** Analyse in tweevoud

Tabel 2 : Monstergegevens afvalwater

Nr.	Lozingsdatum	Ophaaldatum	Datum gammaspectrometrie
1	12 januari 2012	22 februari 2012	24-27 februari 2012
2	15 februari 2012	22 februari 2013	24-27 februari 2012
3	1 juni 2012	19 september 2012	23-24 september 2012
4	16 augustus 2012	22 augustus 2012	23 augustus 2012
5	31 augustus 2012	19 september 2012	21-25 september 2012
6	13 september 2012	19 september 2012	21-25 september 2012

Tabel 3 bevat de gegevens van de door het RIVM geanalyseerde acht ventilatieluchtmonsters. De ventilatieluchtmonsters worden doorgaans op dezelfde dag opgehaald als de afvalwatermonsters.

Tabel 3 : Monstergegevens ventilatielucht AVG

Nr.	Monsterperiode	Ophaaldatum	Datum gammaspectrometrie
1	31 jan - 07 feb	22 februari 2012	24 februari 2012
2	13 mrt - 20 mrt	11 april 2012	13 april 2012
3	20 mrt - 27 mrt	11 april 2012	16 april 2013
4	10 apr - 17 apr	25 april 2012	26 april 2012
5	07 aug - 14 aug	22 augustus 2012	24 augustus 2012
6	04 sep - 11 sep	19 september 2012	21 september 2012
7	30 okt - 06 nov	13 november 2012	15 november 2012
8	20 nov - 27 nov	10 december 2012	13 december 2012

De ophaaldata voor HABOG luchtmonsters komen overeen met de ophaaldata voor AVG monsters (zie Bijlage A, tabel A8). Daar in het HABOG geen kortlevende nucliden worden opgeslagen heeft de tabel met ophaaldata en data van analyse geen toegevoegde waarde en wordt hier niet meer toegevoegd. De monsterperiode voor HABOG ventilatielucht beslaat 2 weken. Doorgaans valt de laatste week van deze 2-wekelijkse periode samen met de monsterperiode van de AVG ventilatieluchtmonsters.

Lozingsgegevens

De herkomst van de lozingsgegevens is voor alle data in afvalwater het kwartaalrapport². De ventilatieluchtdata vanuit AVG en HABOG komen voor totaal alfa, totaal bèta en gamma eveneens uit het kwartaalrapport. De bemonstering van deze parameters gebeurt met twee parallelle luchtstof-bemonsteringssystemen: één voor COVRA en één voor RIVM; zie Tabel 1 en bijlage B, par. 4.2.

Voor de bepaling van de ³H en ¹⁴C-activiteitsconcentratie in ventilatielucht gebruikt RIVM het deelvolumen dat per maand door de absorbers is gegaan. Dit gegeven staat niet in de kwartaalrapportages, maar wordt door Covra apart bijgeleverd op Formulier FC109 (rev 0; d.d. 7-11-2001). Voor de ¹⁴C bepaling wordt het totaalgewicht aan BaCO₃ gegeven, en het deel dat RIVM ter beschikking heeft gekregen; dit ten behoeve van de precipitatie van het uitgestookte CO₂ als carbonaat. Voor de ³H bepaling in ventilatielucht wordt het deelvolumen (in ml) van de totale hoeveelheid uitgestookt H₂O eveneens apart bijgeleverd.

3 Analysemethoden

Beschrijvingen van de bemonsterings- en analysemethoden toegepast door COVRA in 2012, zijn gereproduceerd in Bijlage B. De beschrijving van deze methoden is gelijk aan de methoden toegepast in voorgaande jaren³, zie Bijlage B. De RIVM bepalingen aan het maandmonster ventilatielucht van HABOG zijn gelijk aan de bepalingen aan het AVG ventilatieluchtmonster.

In opdracht van VROM-Inspectie KFD worden de randvoorwaarden uit de Kerntechnische Ausschuss (KTA-1503⁴ en KTA-1504⁵) voor de uitvoering van de analyses aangehouden. Dit betreft bijvoorbeeld de samenstelling van de nuclidenbibliotheek en de detectiegrenzen die behaald moeten kunnen worden.

Indien mogelijk hanteert RIVM/LSO de Nederlandse NEN-normen. Voor gamma-spectrometrie wordt gewerkt conform NEN 5623⁶; voor gasdoorstroomtelling van filters wordt gewerkt conform NEN 5636⁷. Waar er geen Nederlandse norm voorhanden is heeft RIVM/LSO een methode als een eigen methode gevalideerd. Hierbij wordt zoveel mogelijk volgens internationaal aanvaarde standaarden gewerkt. Dit geldt voor totaal alfa en totaal bèta in afvalwater (ISO 10704⁸), en voor de bepaling van ³H in afvalwater (ISO 9698⁹).

3.1 Tweevoudbepaling

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

3.2 Bepaling van de totaal alfa-activiteitsconcentratie in afvalwater

Van het monster wordt, na homogenisatie, in twee verschillende flesjes elk 10,0 mL gepipetteerd. Aan één van de flesjes wordt 0,100 mL van een ²⁴¹Am oplossing met bekende activiteit toegevoegd. Het geheel wordt 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. Deze methode is vastgelegd in procedure LSO-0121: Handboek gasdoorstroomtelling.

3.3 Bepaling van de totaal bèta-activiteitsconcentratie in afvalwater

Van het gehomogeniseerde monster wordt 10,0 mL drooggedampt op een roestvast stalen telschaaltje met een diameter van 50 mm. Het preparaat heeft een geringe laagdikte. De telefficiëntie wordt bepaald met behulp van een standaard, een telschaaltje waarop een bekende hoeveelheid ^{90}Sr is ingedampt. Hier is afgeweken van de Nederlandse Norm die ^{40}K als referentienuclide voorschrijft¹⁰. De metingen worden uitgevoerd met proportionele gasdoorstroomtellers die zijn voorzien van een dun venster ($< 0,5 \text{ mg. cm}^{-2}$). De tellers hebben een lage achtergrond. Bij het droogdampen verdwijnen vluchtige bèta-stralers zoals ^3H en anorganisch ^{14}C ($^{14}\text{CO}_2$). Minder vluchtige ^{14}C -verbindingen dragen waarschijnlijk wel voor een deel bij aan de telling. Deze methode is vastgelegd in procedure LSO-0121: Handboek gasdoorstroomtelling.

3.4 Bepaling van de activiteitsconcentratie aan gammastraling uitzendende nucliden in afvalwater

Van het ongegeleerde afvalwatermonster worden twee monsters van 250 ml afgemeten. Elk van deze monsters wordt, ter voorkoming van het uitzakken van de radioactieve componenten bij gammaspectrometrische analyses met lange teltijden¹¹, in een teldoos gemengd met behangplaksel en geschud tot een homogene stijve massa is verkregen. De monsters worden gemeten op een N-type halfgeleiderdetector gekoppeld aan een pulssorteerder met 8192 kanalen over een energiebereik van 30 keV tot 2 MeV in een meettijd van 1000 minuten. Het spectrum wordt geanalyseerd met behulp van het analyseprogramma Genie2000 aan de hand van een nuclidenbibliotheek. Tabel A2 in Bijlage A toont de nucliden die hier in zitten.

Daarnaast wordt door het analyseprogramma melding gemaakt van pieken die wel gedetecteerd zijn in het spectrum maar die niet aan een van de nucliden in de bibliotheek zijn toe te wijzen. Is dit het geval dan vindt een nadere analyse van het spectrum plaats. RIVM corrigeert net als de COVRA voor radioactief verval, door de activiteitsconcentratie van de gedetecteerde nucliden terug te rekenen naar 12.00 uur van de lozingsdatum.

Indien door RIVM geen enkele gammastraler wordt aangetoond, wordt tenminste de detectielimiet voor ^{60}Co gegeven. De detectielimiet voor ^{60}Co geeft een indicatie van de bereikte meetgevoeligheid volgens KTA 1504⁵. KTA 1504 eist dat bij het meten van gammastraling uitzendende radionucliden in gedestilleerd water de detectielimiet voor ^{60}Co kleiner is dan 1 kBq m^{-3} .

Deze methode is vastgelegd in LSO-0238 (Genie2000 onder APEX); Handboek Gammaspectrometrie.

3.5 Bepaling van de ^3H -activiteitsconcentratie in afvalwater

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

Deze methode is vastgelegd in procedure LSO-0133: Handboek vloeistofscintillatietelling.

3.6 Bepaling van de ¹⁴C-activiteitsconcentratie in afvalwater

De toegepaste ¹⁴C-borrelmethode is geschikt voor het bepalen van het anorganisch en organisch ¹⁴C in afvalwater¹². Met ingang van januari 2012 wordt niet meer separaat anorganisch ¹⁴CO₂ uitgedreven door toevoegen van zuur. Het totaal aan anorganisch en organisch ¹⁴C wordt onder zure omstandigheden geoxideerd met kaliumpermanganaat tot CO₂ en gedurende 5 uur uitgedreven. Het uitgedreven ¹⁴CO₂ wordt vervolgens geabsorbeerd door Carbo-Sorb E. Dit organische amine (3-methoxy-1-aminopropaan) is in staat om per ml Carbo-Sorb E circa 4 mmol CO₂ te absorberen door vorming van een niet vluchtig carbamaat. Door het ¹⁴C, dat in het laatste uur geoxideerd en uitgeborreld wordt, in een apart telflesje op te vangen, kan vastgesteld worden of de oxidatie beëindigd is. Indien dit niet het geval is wordt de oxidatie de volgende dag voortgezet.

Deze methode is vastgelegd in procedure LSO-0133: Handboek vloeistofscintillatietelling.

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

Uit het aërosolfilter wordt een schijf met een diameter van 46 mm geponst. Met behulp van een proportionele gasdoorstroomteller met een lage achtergrond, die van een dun venster (< 0,5 mg·cm⁻²) is voorzien, wordt hiervan de alfa- en bèta-telsnelheid gemeten. In overeenstemming met NVN 5636 inzake de analyse van luchtstoffilters wordt voor de bepaling van de totaal bèta-activiteitsconcentratie ⁹⁰Sr en voor de bepaling van de totaal alfa-activiteitsconcentratie ²⁴¹Am als referentienuclide toegepast⁷. Aangezien de invloed van de stofbelading op de totaal alfa efficiëntie aanzienlijk kan zijn en per monster onbekend, is in deze rapportage een onzekerheid van 30 % in de waarde voor de totaal alfa activiteitsconcentratie opgenomen.

Deze methode is vastgelegd in procedure LSO-0121: Handboek gasdoorstroomtelling.

3.8 Bepaling van de activiteitsconcentratie gammastraling uitzendende nucliden in ventilatielucht

Per analyse wordt van het filterpakket een te analyseren preparaat samengesteld bestaande uit het geponste (46 mm) aërosolfilter, de eerste laag DSM11-absorber en de eerste laag actieve kool. Van dit preparaat wordt een gamma-spectrum opgenomen en geanalyseerd op dezelfde wijze als dit bij afvalwater gebeurt. Indien blijkt dat zich vluchtige nucliden in het preparaat bevinden dan worden alle vijf delen van het filterpakket afzonderlijk gemeten en geanalyseerd, dus ook de tweede laag DSM11-absorber en de tweede laag actieve kool. Er wordt gecorrigeerd voor radioactief verval door de activiteit van de gedetecteerde nucliden terug te rekenen naar het midden van de monsterperiode¹.

Voor de meetnauwkeurigheid wordt gerefereerd aan KTA 1503.1⁴. Deze eist dat bij het meten van gammastralers in ventilatielucht de detectielimiet voor ⁶⁰Co en ¹³¹I minder dan 20 mBq·m⁻³ bedraagt.

¹ De methode verschilt van die van COVRA (zie Bijlage B, figuur B1). Voor het kortst levende nuclide dat wordt aangetroffen (¹³¹I), geeft de RIVM-methode een 2% hogere waarde. Voor de overige nucliden is het verschil kleiner.

Deze methode is vastgelegd in procedure LSO-0238 (Genie2000 onder APEX); Handboek Gammaspectrometrie.

3.9 **Bepaling van de ^3H -activiteitsconcentratie in ventilatielucht**

Na destillatie van het condensaat vanuit alkalisch milieu, wordt de ^3H -concentratie bepaald met LSC als beschreven in paragraaf 3.5.

Deze methode is vastgelegd in procedure LSO-0133: Handboek vloeistofscintillatietelling.

3.10 **Bepaling van de ^{14}C -activiteitsconcentratie in ventilatielucht**

COVRA vermeldt bij levering van de $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ -neerslag het volume van de hiermee geassocieerde hoeveelheid ventilatielucht, zodat RIVM de volumieke activiteit kan berekenen. De BaCO_3 -monsters worden ingewogen in een scintillatieflesje (maximaal 1,0 g monster); eventueel aangevuld met blanco BaCO_3 -poeder tot een eindmassa van 1,0 g. Hieraan wordt 7 ml H_2O toegevoegd en, na goed mengen van het onoplosbare BaCO_3 met water, 13 ml Instagel Plus scintillatiecocktail. Na een uur wordt een LSC-telling uitgevoerd.

Deze methode is vastgelegd in procedure LSO-0133: Handboek vloeistofscintillatietelling. De bepaling van ^{35}S wordt, mede in verband met de zeer grote onzekerheden, met ingang van 2010 niet meer uitgevoerd¹³.

3.11 **Foutberekeningen**

De door RIVM opgegeven fout is het 1σ -schattinginterval. Voor het bepalen hiervan is gebruik gemaakt van NEN 1047¹⁴ (Receptbladen voor de statistische verwerking van waarnemingen) en NEN 3114¹⁵ (Nauwkeurigheid van metingen, termen en definities). Indien de analyse in tweevoud is uitgevoerd wordt het gemiddelde en de fout daarin gerapporteerd. Bij het schatten van de totale fout worden telfouten, kalibratiefouten en experimentele fouten meegenomen. Onder experimentele fouten vallen bijvoorbeeld fouten wegen en volumebepalingen.

Waar van toepassing, is voor de volumebepaling in de hoeveelheid bemonsterde lucht een fout van 1% opgenomen in de experimentele fout. Een correctie voor de achtergrond is in alle gevallen meegenomen in de activiteitsberekening en in de foutenberekening.

- *Bepaling van de totaal –alfa- en totaal-bèta-activiteitsconcentratie in afvalwater*
Voor de totaal α -bepaling wordt per analyse gebruik gemaakt van een preparaat zonder en een preparaat met een ^{241}Am -standaard. De totale fout in de totaal α -activiteitsconcentratie is samengesteld uit een telfout van het preparaat zonder standaard, een telfout van het preparaat met standaard, een kalibratiefout en een experimentele fout. De totale fout in de totaal β -activiteitsconcentratie is samengesteld uit een telfout van het preparaat, een kalibratiefout en een experimentele fout.
- *Gammaspectrometrie*
Voor de γ -stralers vindt rapportage plaats met een fout voortkomend uit telstatistiek, kalibratie, achtergrond, onzekerheid in de yield en monster-voorbehandeling. Indien cascadeverval optreedt, leidt dit tot een extra bijdrage aan de fout.

- *Bepaling van de ^{14}C -activiteitsconcentratie in afvalwater*
De totale fout is samengesteld uit de telfout, de fout in de opbrengst, een experimentele fout en de kalibratiefout
- *Bepaling van de totaal –alfa- en totaal-bèta-activiteitsconcentratie in ventilatielucht*
Omdat bij de totaal alfa-bepaling de invloed van de stoflaag op de telefficiëntie groot kan zijn en per monster verschillend wordt een onzekerheid van 30 % in de berekening van de totale fout verwerkt. De totale fout in de totaal alfa en totaal-bèta-activiteitsconcentratie in luchtstof is samengesteld uit een telfout van beide deelpreparaten, een kalibratiefout, een experimentele fout (inclusief de 1% onzekerheid als gevolg van het ponsen van een deel uit het gehele filter), en alleen voor totaal alfa de stoflaagonzekerheid van 30 %.
- *Bepaling van de ^3H -activiteitsconcentratie in afvalwater en ventilatielucht*
De totale fout is samengesteld uit de telfout, een kalibratiefout en een experimentele fout.
- *Bepaling van de ^{14}C -activiteitsconcentratie in ventilatielucht*
De totale fout is samengesteld uit de telfout, een experimentele fout en een kalibratiefout.

3.12 Kwaliteitswaarborging

RIVM/LSO is sinds 1994 Sterlab geaccrediteerd en vanaf 2002 gecertificeerd volgens ISO 17025. In het kader van de bewaking van de kwaliteit van de gebruikte analyse- en meetmethoden neemt RIVM jaarlijks deel aan het ringonderzoek 'Abwasser', georganiseerd door het Duitse Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)¹⁶. Voor ventilatieluchtmonsters wordt indien mogelijk deelgenomen aan relevante ringonderzoeken.

3.13 Presentatie van resultaten en vergelijking

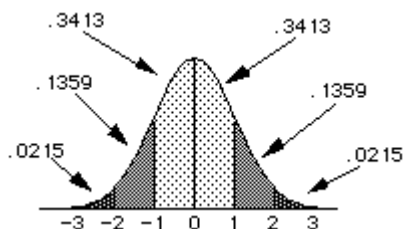
De door COVRA bepaalde activiteitsconcentraties worden overgenomen uit de kwartaalrapportages van COVRA² en zijn in deze rapportageperiode afgerond met de afrondingsregels zoals die door RIVM wordt gehanteerd (volgens NEN 1047¹⁴).

De overeenkomst tussen de meetresultaten van RIVM en die van de onderzochte nucleaire installatie (NI) wordt ingedeeld in één van de categorieën A1, A2, B, of C, die gekoppeld zijn aan een waarschijnlijkheid. Vergelijking vindt alleen plaats als zowel RIVM als het onderzochte bedrijf een activiteit hebben aangetoond en opgegeven.

Het vergelijken van de gemeten waarden x_{NI} en x_{RIVM} is ook te verwoorden als het bepalen van het verschil $\Delta = x_{\text{NI}} - x_{\text{RIVM}}$. Het verschil tussen de meetwaarden wordt berekend uit de getallen zoals deze worden weergegeven, dus na afronding van de meetwaarde van RIVM (volgens NEN 1047¹⁴). De fout in dit verschil is: $s_{\Delta} = \sqrt{(s_{\text{NI}})^2 + (s_{\text{RIVM}})^2}$. Indien de NI geen opgave doet van de onzekerheid in het analyseresultaat, wordt verondersteld dat de fout in de meetwaarde van de NI, s_{NI} , gelijk is aan de fout in de meetwaarde van RIVM, s_{RIVM} .

Het is hierbij in het bijzonder van belang, dat alle partijen (RIVM en NI's) een gedegen foutenberekening uitvoeren. In het ideale geval, bij een voldoende groot aantal metingen van hetzelfde monster, ligt het gemiddelde ten opzichte van de toevallige variaties zeer dicht bij de 'ware waarde' en komt de standaarddeviatie van de meetwaarden overeen met de opgegeven fouten. Als de spreiding benaderd kan worden met de normale verdeling (zie figuur), dan kunnen de volgende frequenties of waarschijnlijkheden van voorkomen van de categorieën verwacht worden:

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



In de praktijk wijkt de verdeling vaak af van de normale verdeling waardoor rekening gehouden moet worden met iets meer voorkomen van de categorie C dan hierboven wordt gesuggereerd. Veel vaker dan verwacht voorkomen van B's en C's is echter een aanwijzing voor niet onderkende, mogelijk systematische, fouten.

4 Resultaten en discussie

4.1 Meetresultaten

De resultaten van de metingen door RIVM en COVRA zijn te vinden in Bijlage A. In Tabel A1 van deze bijlage zijn alleen die gammastralers opgenomen die zijn aangetoond. Als een gammastraler wel door COVRA maar niet door RIVM wordt aangetoond dan wordt de detectielimiet van RIVM voor het betreffende nuclide in deze tabel opgenomen. In de tabellen staan tevens de onzekerheden (fouten) in de meetwaarden (zie paragraaf 3.11).

4.2 Vergelijking van de resultaten en discussie

Het resultaat van de vergelijking zoals beschreven in paragraaf 3.13 is in de tabellen van Bijlage A vermeld onder de kop 'V'. De vergelijking van de resultaten van COVRA met die van het RIVM is 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

In 2012 zijn er door COVRA zes afvalwaterbatches geloosd. Van alle lozingen zijn door RIVM deelmonsters opgehaald en geanalyseerd. De vergelijking van alle resultaten is hieronder gegeven in tabel 4.

Tabel 4 : Vergelijkingsresultaten voor de COVRA_afvalwatermonsters in 2012

Nuclide	1	2	3	4	5	6	$\Sigma A1$ *	$\Sigma A2$ *	ΣB *	ΣC *
Co-57			A1	A1		A1	3 (1-3)	0 (0-2)	0 (0-1)	0 (0-0)
Co-60	A1	A1	A2	A1	A1	A2	4 (2-6)	2 (0-4)	0 (0-1)	0 (0-0)
Cs-134	A1		B	A1	A2	A2	2 (2-5)	2 (0-3)	1 (0-1)	0 (0-0)
Cs-137	A1	A1	A1	A1	A1	A1	6 (2-6)	0 (0-4)	0 (0-1)	0 (0-0)
Na-22	A2	A2	A2	A2	A2	A2	0 (2-6)	6 (0-4)	0 (0-1)	0 (0-0)
Ru-106	A1	A1	A1	A1	A2	A1	5 (2-6)	1 (0-4)	0 (0-1)	0 (0-0)
Sb-125	A1		A1	A1			3 (1-3)	0 (0-2)	0 (0-1)	0 (0-0)
Totaal							23 (19-28)	11 (5-14)	1 (0-4)	0 (0-1)
Totaal- α	A1	A2	A2	A1		A1	3 (2-5)	2 (0-3)	0 (0-1)	0 (0-0)
Tot./rest- β	A1	A1	C	A1	A1	A2	4 (2-6)	1 (0-4)	0 (0-1)	1 (0-0)
^3H	A1	A2	A2	A2	A1	A1	3 (2-6)	3 (0-4)	0 (0-1)	0 (0-0)
^{14}C		B	A1	A1	A1	A2	4 (2-6)	1 (0-4)	1 (0-1)	0 (0-0)

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

gammaspectrometrie

Uit Tabel 4 blijkt dat de vergelijkingsresultaten van de metingen door RIVM en COVRA goed is. De A1, A2, B en C meetresultaten voldoen ruim aan de statistische verwachting. In enkele gevallen, voor ^{129}I in monster 2 en 6 rapporteert RIVM een detectiegrens die (ruim) onder de waarde van Covra ligt. RIVM heeft, na het bestuderen van de betreffende spectra, in deze monsters ^{129}I niet gerapporteerd door het ontbreken van de 39,5 keV gammalijn. In deze twee gevallen rapporteert RIVM een detectiegrens die (ruim) onder de waarde van Covra ligt.

Voor ^{125}I in monster 2 en 6 rapporteert RIVM een detectiegrens die ruim hoger ligt dan de waarde van de COVRA. Door de aanwezigheid van ^{137}Cs is de detectiegrens verhoogd.

totaal alfa

De vergelijkingsresultaten voor totaal alfa in afvalwater zijn met driemaal A1 en tweemaal A2 goed.

Totaal-bèta (RIVM) en rest-bèta (COVRA)

De overeenstemming in de rest-bèta metingen van COVRA en de totaal bèta metingen van RIVM is net als vorig jaar redelijk tot goed. In monster 3 rapporteert RIVM een veel lagere waarde (2310 kBq.m^{-3}) dan COVRA (3100 kBq.m^{-3}). Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door een roestlaag die zich heeft gevormd tijdens het droogdampen in de RIVM procedure voorafgaand aan de detectie met gasdoorstroomtelling. COVRA past vloeistofscintillatietelling toe en dan is roestvorming uiteraard uitgesloten.

Toelichting

In het algemeen bepalen de veelvoorkomende bèta/gammastralers ^{60}Co , ^{106}Ru , ^{125}Sb en vooral ^{137}Cs de totaal bèta activiteit in afvalwater. Deze nucliden zijn niet vluchtig en zijn in alle monsters aanwezig. Bovendien is het gehalte aan organisch ^{14}C laag ten opzichte van ^{137}Cs en telt daardoor slechts weinig mee in de gasdoorstroomtelling van het RIVM. Hierdoor verbetert de overeenkomst: in de LSC-bèta meting van COVRA wordt ^{14}C namelijk niet meegeteld, terwijl in de meting van RIVM met gasdoorstroomtelling het organisch ^{14}C voor een klein percentage wel kan bijdragen aan de totaal bèta telling.

tritium

De tritium resultaten van COVRA en RIVM geven dit jaar met driemaal een A1 en driemaal A2 een goede overeenkomst te zien.

^{14}C

Met ingang van 2012 is de separate bepaling van anorganisch en organisch ^{14}C door RIVM beëindigd. RIVM bepaalt net als COVRA het totaal aan ^{14}C in het afvalwatermonster.

De vergelijkingsresultaten, viermaal A1, één A2 en een B, geven een redelijk tot goede overeenkomst met de ^{14}C meting van COVRA.

4.2.2 Ventilatielucht AVG

In dit rapportagejaar zijn door RIVM en COVRA acht ventilatieluchtmonsters geanalyseerd van AVG (zie tabellen A3 – A6). Tabel 5 geeft een samenvatting van de vergelijkingsresultaten van de bepaalde grootheden. Uit deze tabel is tevens af te lezen of er meer of minder resultaten in een categorie vallen dan verwacht.

In Tabel A7 zijn als indicatie van de bereikte meetnauwkeurigheid, gelet op de eisen die daaraan gesteld worden in KTA 1503.1⁴, de gerealiseerde detectielimieten voor ^{125}I , ^{60}Co , ^{131}I en voor de totaal alfa- en totaal bèta activiteitsconcentratie weergegeven.

Tabel 5 : Samenvatting van de vergelijkingsresultaten voor ^{125}I (monster 4), totaal alfa en totaal bèta in ventilatielucht AVG

Filternr.	1	2	3	4	5	6	7	8	ΣA1^*	ΣA2^*	ΣB^*	ΣC^*
Aerosolfilter									(0-0)	(0-0)	(0-0)	(0-0)
DSM11-1									(0-0)	(0-0)	(0-0)	(0-0)
DSM11-2									(0-0)	(0-0)	(0-0)	(0-0)
Kool-1									(0-0)	(0-0)	(0-0)	(0-0)
Kool-2									(0-0)	(0-0)	(0-0)	(0-0)
Totaal- α									(0-0)	(0-0)	(0-0)	(0-0)
Totaal- β	A2	A1	B		B	A1	C	C	<u>2</u> (3-7)	1 (0-4)	<u>2</u> (0-1)	<u>2</u> (0-0)
Totaal									<u>2</u> (3-7)	1 (0-4)	<u>2</u> (0-1)	<u>2</u> (0-0)

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

gammaspectrometrie

De gammaspectrometrie metingen leverden in monster 7 in DSM-11 (COVRA) en in het 8^e aerosolfilter (COVRA) enkele zeer geringe hoeveelheden van ^{125}I op. RIVM trof alleen een spoor van ^{125}I aan in het gehele pakket van monster 7.

totaal alfa en totaal-bèta

Alleen de totaal-bèta metingen leverden enkele vergelijkingen op met wisselend resultaat. De activiteitsconcentratie van deze metingen is dan ook erg laag.

Tritium en ^{14}C

In de AVG-maandmonsters van februari, juni, augustus en oktober toonden zowel RIVM als COVRA ^3H aan, met een zeer goede overeenkomst van viermaal A1.

RIVM en COVRA vonden beide ^{14}C in AVG ventilatielucht bij activiteitsconcentraties van 0,2 – 0,4 Bq.m⁻³. De vergelijking met COVRA was met driemaal A1 en een A2 goed.

4.2.3

Ventilatielucht HABOG

In dit rapportagejaar zijn door RIVM en COVRA acht ventilatieluchtmonsters geanalyseerd van HABOG (zie tabellen A8 – A11). Omdat in het HABOG alleen kunstmatige (en lang levende) nucliden zijn opgeslagen, worden de gemeten waarden door COVRA gecorrigeerd voor natuurlijke nucliden afkomstig uit de buitenlucht. De alfa- en bèta emissie is gecorrigeerd door de waarde te verminderen met de waarde gemeten in de luchtinlaat van het AVG. De gammameting is nuclidespecifiek, de natuurlijke nucliden zijn niet in de emissieberekening meegenomen.

COVRA en RIVM vonden beide geen ^{125}I of andere kunstmatige gammastralers in HABOG ventilatielucht.

RIVM trof alleen in het zevende monster een zeer geringe hoeveelheid totaal-alfa en totaal-bèta activiteit aan. COVRA heeft in geen van de acht monsters een totaal alfa of totaal bèta activiteit in de HABOG ventilatieluchtmonsters aangetroffen.

RIVM en COVRA vonden beide een geringe ^3H activiteit in de vier HABOG ventilatieluchtmonsters. Met viermaal A1 is de overeenstemming goed.

De activiteitsconcentratie van ^{14}C in de HABOG ventilatieluchtmonsters is erg laag met driemaal A1 en één A2 als vergelijking.

4.3 Algemeen oordeel over de contra-expertise resultaten

Het totaal van alle vergelijkingsresultaten heeft zich vergelijkbaar met voorgaande jaren min of meer volgens de statistische verwachting verdeeld over de vergelijkingscriteria A1-A2-B-C. Dit geeft aan dat de onderzoeksresultaten in 2012 zich goed laten vergelijken.

De overeenstemming in de gammaspectrometrische resultaten, de totaal-alfa, totaal-beta, ^3H - en ^{14}C -resultaten in afvalwater is overwegend goed.

De overeenstemming tussen RIVM en COVRA betreffende de ventilatieluchresultaten van AVG en HABOG is eveneens overwegend goed.

Bijlage A Vergelijking meetresultaten

COVRA afvalwater 2012

Tabel A1a : Vergelijking activiteitsconcentraties gammastralers, totaal alfa, totaal-bèta, 'rest-bèta', ³H en ¹⁴C in afvalwater (kBq.m⁻³), monster 1-3 in 2012. RIVM en COVRA bepalen beide totaal C-14.

	periode 1			periode 2			periode 3		
	RIVM	V	COVRA	RIVM	V	COVRA	RIVM	V	COVRA
Co-57	0,8 ± 0,4		< 0,8				5,2 ± 0,5	A1	4,7 ± 0,3
Co-60	10,0 ± 0,6	A1	10,2 ± 0,5	1,02 ± 0,10	A1	1,05 ± 0,10	24,7 ± 1,5	A2	27,8 ± 1,2
Cs-134	1,1 ± 0,2	A1	0,96 ± 0,11	0,46 ± 0,12		< 0,4	2,6 ± 0,5	B	4,0 ± 0,2
Cs-137	1310 ± 80	A1	1340 ± 60	760 ± 50	A1	770 ± 30	1250 ± 80	A1	1330 ± 60
Na-22	4,1 ± 0,4	A2	3,5 ± 0,3	0,82 ± 0,12	A2	0,60 ± 0,10	28 ± 2	A2	31,4 ± 1,6
Ru-106	104 ± 14	A1	107 ± 7	12 ± 2	A1	11,1 ± 1,6	530 ± 70	A1	520 ± 30
Sb-125	13,1 ± 1,2	A1	12,7 ± 0,7				36 ± 3	A1	38,8 ± 1,7
I-125				< 11		3,9 ± 0,5			
I-129				< 5		13,1 ± 0,8			
Totaal-a	3,3 ± 0,4	A1	3,3 ± 0,5	0,52 ± 0,07	A2	0,73 ± 0,11	0,64 ± 0,08	A2	0,45 ± 0,07
Tot./rest-b	1990 ± 80	A1	1980 ± 70	1050 ± 40	A1	1040 ± 40	2310 ± 90	C	3100 ± 110
H-3	522 ± 18	A1	528 ± 16	311 ± 10	A2	334 ± 10	119 ± 4	A2	127 ± 4
C-14	50 ± 3	B	42,6 ± 1,5	17,3 ± 1,1	A1	16,9 ± 0,6	291 ± 18	A1	282 ± 10

Tabel A1b : Vergelijking activiteitsconcentraties gammastralers, totaal alfa, totaal-bèta, 'rest-bèta', ³H en ¹⁴C in afvalwater (kBq.m⁻³), monster 4-6 in 2012. RIVM en COVRA bepalen beide totaal C-14.

	periode 4			periode 5			periode 6		
	RIVM	V	COVRA	RIVM	V	COVRA	RIVM	V	COVRA
Co-57	0,68 ± 0,13	A1	0,58 ± 0,07				0,50 ± 0,12	A1	0,53 ± 0,08
Co-60	6,0 ± 0,4	A1	6,5 ± 0,3	1,38 ± 0,16	A1	1,21 ± 0,09	4,2 ± 0,3	A2	4,7 ± 0,3
Cs-134	0,93 ± 0,18	A1	0,84 ± 0,08	1,0 ± 0,4	A2	0,33 ± 0,05	0,97 ± 0,17	A2	1,19 ± 0,09
Cs-137	350 ± 20	A1	346 ± 16	187 ± 11	A1	185 ± 8	560 ± 30	A1	590 ± 30
Na-22	7,4 ± 0,6	A2	8,5 ± 0,5	2,8 ± 0,3	A2	3,3 ± 0,2	6,4 ± 0,5	A2	7,5 ± 0,4
Ru-106	57 ± 8	A1	63 ± 4	23 ± 4	A2	18,9 ± 1,7	69 ± 10	A1	74 ± 5
Sb-125	5,5 ± 0,5	A1	5,8 ± 0,4				< 4		2,3 ± 0,4
I-125							< 10		1,9 ± 0,3
I-129							< 4		8,1 ± 0,5
Totaal-a	0,60 ± 0,10	A1	0,59 ± 0,09	< 0,2		0,21 ± 0,03	0,23 ± 0,04	A1	0,22 ± 0,03
Tot./rest-b	790 ± 30	A1	790 ± 40	347 ± 14	A1	350 ± 10	980 ± 40	A2	910 ± 30
H-3	36,6 ± 1,2	A2	38,4 ± 1,2	14,7 ± 0,5	A1	15,3 ± 0,5	37,2 ± 1,2	A1	38,7 ± 1,2
C-14	70 ± 4	A1	73 ± 2	33 ± 2	A1	31,3 ± 0,9	72 ± 4	A2	67 ± 2

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

⁷ Be	⁶⁵ Zn*	¹¹⁵ Cd	¹³⁴ Cs*
²² Na	⁷⁵ Se	^{115m} Cd	¹³⁶ Cs
²⁴ Na	⁹⁵ Nb*	^{123m} Te [†]	¹³⁷ Cs*
⁴⁰ K	⁹⁵ Zr*	¹²⁴ Sb*	¹⁴⁰ Ba*
⁵¹ Cr*	⁹⁹ Mo	¹²⁵ I	¹⁴⁰ La*
⁵⁴ Mn*	¹⁰³ Ru*	¹²⁵ Sb [†]	¹⁴¹ Ce*
⁵⁷ Co*	¹⁰⁶ Ru*	^{129m} Te	¹⁴⁴ Ce*
⁵⁸ Co*	¹⁰⁹ Cd	¹²⁹ I	¹⁸¹ W
⁵⁹ Fe*	^{110m} Ag*	¹³¹ I*	²⁰² Tl
⁶⁰ Co*	¹¹³ Sn	¹³² Te	

* Volgens KTA 1503.1 en KTA 1504 te onderzoeken nucliden^{4,5}

† Volgens KTA 1504 te onderzoeken nucliden⁵

COVRA ventilatielucht AVG 2012

Tabel A3 : Meetresultaten gammaspectrometrie in ventilatielucht AVG in 2012 (mBq.m⁻³)

Monsternummer Periode	Pakket	Nuclide	Aërosolfilter			DSM11-1			Kool-1		
			RIVM	V	COVRA	RIVM	V	COVRA	RIVM	V	COVRA
31 jan - 07 feb	<	¹²⁵ I									
13 mrt - 20 mrt	<	¹²⁵ I									
20 mrt - 27 mrt	<	¹²⁵ I									
10 apr - 17 apr	<	¹²⁵ I									
07 aug - 14 aug	<	¹²⁵ I									
04 sep - 11 sep	<	¹²⁵ I									
30 okt - 06 nov	>	¹²⁵ I	0,9 ± 0,4			< 12		1,1 ± 0,2		< 11	
20 nov - 27 nov	<	¹²⁵ I	< 1,1		1,3 ± 0,2	< 3				< 3	

* In de onderdelen DSM11-2 (MDA < 4 mBq.m⁻³) en kool-2 (MDA < 1,9 mBq.m⁻³) heeft RIVM geen ¹²⁵I aangetroffen.

Tabel A4 : Vergelijking van de activiteitsconcentratie meetresultaten totaal alfa en totaal bèta in ventilatielucht AVG in 2012 (mBq.m⁻³)

Nr.	Monsterperiode	Totaal-a			Totaal-b		
		RIVM	V	COVRA	RIVM	V	COVRA
1	31 jan - 07 feb	< 0,014		< 0,02	0,071 ± 0,017	A2	0,110 ± 0,011
2	13 mrt - 20 mrt	< 0,014		< 0,02	0,114 ± 0,018	A1	0,120 ± 0,012
3	20 mrt - 27 mrt	< 0,016		0,024 ± 0,002	0,095 ± 0,018	B	0,160 ± 0,016
4	10 apr - 17 apr	< 0,014		< 0,02	< 0,05		0,130 ± 0,004
5	07 aug - 14 aug	< 0,015		< 0,02	0,050 ± 0,017	B	0,090 ± 0,003
6	04 sep - 11 sep	< 0,014		< 0,02	0,14 ± 0,02	A1	0,120 ± 0,004
7	30 okt - 06 nov	< 0,015		< 0,02	0,64 ± 0,05	C	0,360 ± 0,011
8	20 nov - 27 nov	< 0,015		< 0,02	0,52 ± 0,04	C	0,380 ± 0,011

Tabel A5 : Meetresultaten ^3H in ventilatielucht AVG in 2012 ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)

Periode	^3H		
	RIVM	V	COVRA
feb	188 ± 6	A1	190 ± 6
jun	314 ± 11	A1	309 ± 10
aug	$40,0 \pm 1,4$	A1	$39,7 \pm 1,5$
okt	$11,2 \pm 0,4$	A1	$11,5 \pm 0,4$

Tabel A6 : Meetresultaten ^{14}C in ventilatielucht AVG in 2012 ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)

Periode	^{14}C		
	RIVM	V	COVRA
apr	$0,24 \pm 0,02$	A1	$0,21 \pm 0,02$
jun	$0,30 \pm 0,02$	A2	$0,37 \pm 0,03$
aug	$0,42 \pm 0,03$	A1	$0,41 \pm 0,03$
okt	$0,36 \pm 0,03$	A1	$0,38 \pm 0,03$

Tabel A7 : Detectielimieten, bereikt bij de monsters ventilatielucht ($\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$)

	Detectiegrens RIVM	Detectiegrens COVRA
^{125}I (pakket)	2,0-7,0	
^{60}Co (pakket)	a) 0,4 - 1,0	0,5
^{60}Co (aërosol)	a) 0,3	0,5
^{125}I (DSM-11)	b) 3-12	1,0 ^{c)}
^{125}I (act.kool.)	b) 3-11	1,1 ^{c)}
Totaal alfa	0,014-0,016	0,02
Totaal-bèta	0,05	0,05

a) KTA 1503.1 eist dat de detectielimiet voor aërosolgebonden ^{60}Co in ventilatielucht maximaal $20 \text{ mBq}\cdot\text{m}^{-3}$ is

b) KTA 1503.1 eist dat de detectielimiet voor ^{131}I in ventilatielucht maximaal $20 \text{ mBq}\cdot\text{m}^{-3}$ is

c) COVRA bepaalt de detectielimiet voor ^{131}I in DSM-11 en actieve kool aan de hand van ^{60}Co

COVRA ventilatielucht HABOG 2012Tabel A8 : Meetresultaten in 2012 voor gammaspectrometrie in ventilatielucht HABOG (mBq.m⁻³)

Monsternummer Periode	Pakket	Nuclide	Aërosolfilter			Kool-1		
			RIVM	V	COVRA	RIVM	V	COVRA
24 jan - 07 feb	<	¹²⁵ I						
21 feb - 06 mrt	<	¹²⁵ I						
06 mrt - 20 mrt	<	¹²⁵ I						
03 apr - 17 apr	<	¹²⁵ I						
24 jul - 07 aug	<	¹²⁵ I						
21 aug - 04 sep	<	¹²⁵ I						
02 okt - 16 okt	<	¹²⁵ I						
16 okt - 30 okt	<	¹²⁵ I						

MDA van RIVM voor ¹²⁵I in aerosolfilter : 0,4-2,2 mBq.m⁻³MDA van RIVM voor ¹²⁵I in koolfilter : 0,8-5,4 mBq.m⁻³Tabel A9 : Meetresultaten in 2012 voor totaal alfa en totaal bèta in ventilatielucht HABOG (mBq.m⁻³)

Nr.	Monsterperiode	Totaal-a			Totaal-b		
		RIVM	V	COVRA	RIVM	V	COVRA
1	24 jan - 07 feb	< 0,006		< 0,008	< 0,02		< 0,02
2	21 feb - 06 mrt	< 0,006		< 0,008	< 0,02		< 0,02
3	06 mrt - 20 mrt	< 0,006		< 0,008	< 0,02		< 0,02
4	03 apr - 17 apr	< 0,006		< 0,008	< 0,02		< 0,02
5	24 jul - 07 aug	< 0,006		< 0,008	< 0,019		< 0,02
6	21 aug - 04 sep	< 0,006		< 0,008	< 0,019		< 0,02
7	02 okt - 16 okt	0,020 ± 0,003		< 0,008	0,042 ± 0,006		< 0,02
8	16 okt - 30 okt	< 0,006		< 0,008	< 0,019		< 0,02

Tabel A10 : Meetresultaten in 2012 voor ³H in ventilatielucht HABOG (Bq.m⁻³)

Periode	³ H		
	RIVM	V	COVRA
februari	4,2 ± 0,2	A1	4,2 ± 0,4
juni	3,6 ± 0,2	A1	3,3 ± 0,4
augustus	4,3 ± 0,2	A1	4,1 ± 0,3
oktober	3,67 ± 0,19	A1	3,6 ± 0,4

Tabel A11 : Meetresultaten in 2012 voor ¹⁴C in ventilatielucht HABOG (Bq.m⁻³)

Periode	¹⁴ C		
	RIVM	V	COVRA
februari	0,23 ± 0,02	A1	0,22 ± 0,02
juni	0,203 ± 0,018	A1	0,18 ± 0,03
augustus	0,112 ± 0,016	A2	0,15 ± 0,03
oktober	0,117 ± 0,017	A1	0,14 ± 0,03

Bijlage B Monstername en analyse van afvalwater en ventilatielucht door COVRA

Procedures geldig ten tijde van rapportageperiode 2012.
Alex de Best, Covra. (e-mail d.d. 29-3-2012)

1. Monstername AVG

1.1 Afvalwater

Het afvalwater wordt verzameld in opslagtanks. Na reiniging van het afvalwater komt dit water in een lozingstank. Hierna vindt lozing plaats op de Westerschelde. Tijdens de lozing neemt COVRA 2 monsters van elk 2 liter door middel van een proportioneel bemonsteringssysteem dat geïntegreerd is in de lozingsleiding. In de fles zit een zuur ter voorkoming van inhomogeniteiten en een drageroplossing om adsorptie aan de fleswand te voorkomen. Eén fles is voor RIVM en de ander voor COVRA.

1.2 Ventilatielucht

De geloosde ventilatielucht wordt via een isokinetisch bemonsteringssysteem continu naar twee parallel opgestelde filterpakketten geleid. Eén pakket is bedoeld voor analyse door RIVM en de andere is voor COVRA. Sinds mei 1999 zijn de filterpakketten identiek dwz een glasvezelfilter, twee DSM 11 lagen en twee actieve kool lagen. Eenmaal per week worden de patronen vernieuwd. Ook wordt de geloosde ventilatielucht bemonsterd voor de bepaling op H-3 en C-14. Dit gebeurt door de ventilatielucht gedurende één maand door een patroon te leiden die gevuld is met adsorptiemiddel (zeolietkorrels). Doordat gebruik wordt gemaakt van katalytische oxidatie wordt alle H-3 en C-14 (dus niet alleen de H₂O en CO₂ gebonden) bemonsterd. Hierna wordt het adsorptiemiddel vervangen door 'schone' nieuwe.

2. Monstername HABOG

Ventilatielucht

De geloosde ventilatielucht wordt via een isokinetisch bemonsteringssysteem continu naar twee parallel opgestelde filterpakketten geleid. Eén pakket is bedoeld voor analyse door RIVM en de andere is voor COVRA. Deze filterpakketten zijn identiek dwz een glasvezelfilter en twee actieve kool lagen. Eenmaal per 2 weken worden de patronen vernieuwd. Ook wordt de geloosde ventilatielucht bemonsterd voor de bepaling op H-3 en C-14. Dit gebeurt door de ventilatielucht gedurende één maand door een patroon te leiden die gevuld is met adsorptiemiddel (zeolietkorrels). Doordat gebruik wordt gemaakt van katalytische oxidatie wordt alle H-3 en C-14 (dus niet alleen de H₂O en CO₂ gebonden) bemonsterd. Hierna wordt het adsorptiemiddel vervangen door 'schone' nieuwe.

3. Analyses AVG

3.1 Afvalwater AVG

Gamma: mbv een high purity Ge detector. Ter voorkoming van het uitzakken v/d radioactieve componenten wordt 500 ml afvalwater gegeleerd met 15 g behangplaksel in een marinelli-beker. De marinellibeker regelmatig schudden. Na 24 uur kan de marinellibeker met het monster gemeten worden. De meettijd bedraagt 240 min. Voor de kalibratie wordt gebruikt gemaakt van een bekende hoeveelheid activiteit in 500 ml demiwater en 15 g behangplaksel. Genie2K berekent ook de fout in de meting. Tevens kunnen alle andere fouten, zoals kalibratiefout en experimentelefout, als randomfout worden ingegeven zodat er op de print een totaal 1σ -fout ontstaat.

Totaal alfa: 20 ml afvalwater wordt drooggedampt in een roestvrij stalen schaalte met een diameter van 50 mm. Dit gebeurt door porties van 4 ml bij een temperatuur van ± 70 °C te drogen. Nieuw afvalwater wordt pas toegevoegd nadat het schaalte helemaal droog is. De bepaling wordt in duplo uitgevoerd. Om de telopbrengst te bepalen wordt 50 μ l Am-241 standaard aan 100 ml afvalwater toegevoegd. 20 ml van deze oplossing wordt op dezelfde manier drooggedampt.

De monsters en standaarden worden hierna 4 x 720 min. gemeten mbv een proportionele gasdoorstroomteller (Berthold LB770)

De telopbrengst wordt berekend uit het verschil in de resultaten van de beide telpreparaten en de toegevoegde activiteit aan Am-241.

De fout in de bepaling is groot omdat we bij alfa te maken hebben met zelfabsorptie. Ook de hele monstervoorbereiding is redelijk foutgevoelig.

Afhankelijk van de concentratie komt hier nog de telfout bij. De totale 1σ -fout zal minimaal rond de 15% liggen en kan, monster afhankelijk, nog hoger zijn.

Tritium: breng in een bekersglas van 100 ml, ± 30 ml afvalwater en voeg 0,5 g Na_2CO_3 toe om het alkalisch te maken. Hierna wordt het monster verwarmd tot koken. Nadat er ± 10 ml is verdampt wordt er een opvangvatje in het bekersglas gezet en wordt de verwarming lager gezet zodat het monster langzaam verdampt. Boven op het bekersglas wordt een rondbodemkolf, gevuld met water, geplaatst. De damp zal nu condenseren en in het vatje vallen. We koken totdat er minimaal 10 ml in het opvangvatje zit. De bepaling wordt in duplo uitgevoerd. Af laten koelen tot kamertemperatuur. Hierna 10 ml pipetteren in een telflesje en 10 ml Ultima Gold XR toevoegen. De monsters en een blanco (= 10 ml demiwater + 10 ml UG-XR) 120 min. meten op de LSC. De totale fout is samengesteld uit de telfout, de kalibratiefout en een experimentelefout. De totale 1σ -fout bedraagt minimaal 2%.

Koolstof-14: Bepaling dmv de C-14 borrelmethode. Breng in een driehalsrondbodemkolf 100 ml afvalwater. Vul aan met demiwater tot 200 ml. Opstelling maken volgens voorschrift: Bep. C-14 in afvalwater. In het telflesje zit 7 ml Carbosorb-E. Hierna 3 ml H_2SO_4 (geconc.) toevoegen en 90 min. koken. In dit telflesje zit het anorganisch gebonden C-14. Hierna het telflesje vervangen door een nieuwe (ook met 7 ml Carbosorb-E), 30 ml KMnO_4 (75 g/l) toevoegen en 5 uur koken. We bepalen nu het organisch gebonden C-14. Hierna het telflesje opnieuw vervangen (weer met 7 ml Carbosorb-E) en nog een uur koken. Dit flesje is om er zeker van te zijn dat alle C-14 is geoxideerd. Voeg aan alle drie de flesjes 10 ml Instagel-plus toe. De monsters 3 x 120 min. meten op de LSC. Als er in het laatste flesje meer dan 3 % zit van flesje 2, moet er de andere dag nog 2 uur extra gekookt worden.

De totale fout is samengesteld uit de telfout, de kalibratiefout en een experimentelefout. De totale 1σ -fout bedraagt minimaal 3%.

Rest- β : breng in een telflesje 10 ml afvalwater en voeg 10 ml Ultima-Gold XR toe. Meet 120 min. op de LSC. De telopbrengst voor deze bepaling is 53 %, waarbij we gebruik maken van referentienuclide ^{136}Cl . Dit geldt bij een kanaalinstelling van 50 tot 2000 keV.

We kijken hierbij af van de NEN norm: NEN 6421. Hier is de rest- β activiteit omschreven als: de totale β activiteit min de ^{40}K activiteit.

De totale fout is samengesteld uit de telfout, de kalibratiefout en een pipetteerfout. De totale 1σ -fout bedraagt minimaal 3%.

3.2 Ventilatielucht AVG

Gamma: mbv een high purity Ge detector. Het filter, de eerste DSM 11 laag en de eerste kool laag worden apart gemeten. Indien er in de eerste laag DSM 11 of kool activiteit gemeten wordt, dan wordt ook de tweede laag gemeten. De meettijd bedraagt 100 min. per laag. Voor alle drie verschillende lagen is een kalibratie gemaakt mbv een bekende hoeveelheid activiteit. De activiteitconcentraties worden berekend met Genie2K van de firma Canberra. De instelling voor de meetperiode gebeurt door desorption te kiezen waardoor de begin- en einddatum ingevuld kan worden. Bij desorption wordt er gecorrigeerd voor verval tijdens de meetperiode.

Genie2K berekent ook de fout in de meting. Tevens kunnen alle andere fouten, zoals kalibratiefout en experimentelefout, als random fout worden ingegeven zodat er op de print een totaal 1σ -fout ontstaat.

Totaal alfa en totaal bèta: uit het glasvezelfilter wordt een schijf geponst met een diameter van 58 mm. De monsters worden hierna 4 x 720 min. gemeten mbv een proportionele gasdoorstroomteller (Berthold LB770)

Voor de bepaling van de telopbrengst is op een schoon filter een bekende hoeveelheid activiteit gebracht. Voor alfa mbv ^{241}Am en bèta mbv ^{136}Cl . We krijgen dan voor alfa een telopbrengst van 22% en voor bèta een telopbrengst van 48%. De fouten bij deze bepaling wordt bijna geheel bepaald door de telfout omdat de gemeten waarden heel laag zijn. Experimenteel is deze fout voor alfa vastgesteld op 10% en voor bèta op 3%.

Tritium: het adsorptiemiddel wordt bij 350 °C uitgestookt. Dit gebeurt onder doorleiding van stikstof. Hierbij ontstaat waterdamp waarin zich het tritium bevindt. Door condensatie, dmv een 'koude val', wordt dit water afgevangen. Dit water wordt aangevuld tot 50 ml en hiervan gaat 10 ml naar het RIVM. Hierna 10 ml pipetteren in een telflesje en 10 ml Ultima Gold XR toevoegen. De monsters en een blanco (= 10 ml demiwater + 10 ml UG-XR) 120 min. meten dmv LSC.

De totale fout is samengesteld uit de telfout, de kalibratiefout en een experimentelefout. De totale 1σ -fout bedraagt minimaal 4%.

Koolstof-14: bij het uitstoken van tritium wordt het stikstof, na de koude val, door een verzadigde $\text{Ba}(\text{OH})_2$ - opl. geleid. Hierbij ontstaat BaCO_3 neerslag. Dit neerslag wordt 2 uur gedroogd bij 300 °C en na afkoelen tot poeder vermalen. Hierna wordt het totaal gewicht bepaald en weegt COVRA 1,000 g af. De rest gaat naar RIVM. Aan het neerslag wordt 7 ml water toegevoegd en goed gemengd. Hierna wordt 13 ml Instagel-Plus toegevoegd. Na 2 uur de monsters en een blanco (= 1 g zuiver BaCO_3 + 7 ml water + 13 ml Instagel Plus) 120 min. meten dmv LSC.

De mogelijkheid bestaat dat er tijdens de monsternamen ook S-35 wordt neergeslagen. Daarom wordt na 3 maanden het monster nogmaals geteld. Het verschil in telling is bijdrage van S-35. Vervolgens wordt de werkelijk geloosde C-14 activiteit berekend.

De totale fout is samengesteld uit de telfout, de kalibratie fout en een experimentele fout. De totale 1σ -fout bedraagt minimaal 6%. De experimentele fout is bij deze bepaling het grootst. Er moeten veel handelingen verricht worden voordat het monster gereed is.

4. Analyses HABOG

Ventilatielucht

Gamma: mbv een high purity Ge detector. Het filter en de eerste kool laag worden apart gemeten. Indien er in de eerste laag kool activiteit gemeten wordt, dan wordt ook de tweede laag gemeten. De meettijd bedraagt 100 min. per laag. Voor beide verschillende lagen is een kalibratie gemaakt mbv een bekende hoeveelheid activiteit. De activiteitconcentraties worden berekend met Genie2K van de firma Canberra. De instelling voor de meetperiode gebeurt door desorption te kiezen waardoor de begin- en einddatum ingevuld kan worden. Bij desorption wordt er gecorrigeerd voor verval tijdens de meetperiode. Genie2K berekent ook de fout in de meting. Tevens kunnen alle andere fouten, zoals kalibratiefout en experimentele fout, als random fout worden ingegeven zodat er op de print een totaal 1σ -fout ontstaat.

Totaal alfa en totaal bèta: uit het glasvezelfilter wordt een schijf gepolst met een diameter van 58 mm. De monsters worden hierna 4 x 720 min. gemeten mbv een proportionele gasdoorstroomteller (Berthold LB770)

Voor de bepaling van de telopbrengst is op een schoon filter een bekende hoeveelheid activiteit gebracht. Voor alfa mbv Am-241 en bèta mbv Ci-36. We krijgen dan voor alfa een telopbrengst van 22% en voor bèta een telopbrengst van 48%.

De fouten bij deze bepaling wordt bijna geheel bepaald door de telfout omdat de gemeten waarden heel laag zijn. Experimenteel is deze fout voor alfa vastgesteld op 10% en voor bèta op 3%.

Tritium: het adsorptiemiddel wordt bij 350 °C uitgestookt. Dit gebeurt onder doorleiding van stikstof. Hierbij ontstaat waterdamp waarin zich het tritium bevindt. Door condensatie, mbv een 'koude val', wordt dit water afgevangen. Dit water wordt aangevuld tot 50 ml en hiervan gaat 10 ml naar het RIVM. Hierna 10 ml pipetteren in een telflesje en 10 ml Ultima Gold XR toevoegen. De monsters en een blanco (= 10 ml demiwater + 10 ml UG-XR) 120 min. meten dmv LSC.

De totale fout is samengesteld uit de telfout, de kalibratiefout en een experimentele fout. De totale 1σ -fout bedraagt minimaal 4%.

Koolstof-14: bij het uitstoken van tritium wordt het stikstof, na de koude val, door een verzadigde $\text{Ba}(\text{OH})_2$ - opl. geleid. Hierbij ontstaat BaCO_3 neerslag. Dit neerslag wordt 2 uur gedroogd bij 300 °C en na afkoelen tot poeder vermalen. Hierna wordt het totaal gewicht bepaald en weegt COVRA 1,000 g af. De rest gaat naar RIVM. Aan het neerslag wordt 7 ml water toegevoegd en goed gemengd. Hierna wordt 13 ml Instagel-Plus toegevoegd. Na 2 uur worden de

monsters en een blanco (= 1 g zuiver BaCO₃ + 7 ml water + 13 ml Instagel Plus) 120 min. gemeten dmv LSC.

De mogelijkheid bestaat dat er tijdens de monstername ook S-35 wordt neergeslagen. Daarom wordt na 3 maanden het monster nogmaals geteld. Het verschil in telling is bijdrage van S-35. Vervolgens wordt de werkelijk geloosde C-14 activiteit berekend.

De totale fout is samengesteld uit de telfout, de kalibratie fout en een experimentele fout. De totale 1 σ -fout bedraagt minimaal 6%. De experimentele fout is bij deze bepaling het grootst. Er moeten veel handelingen verricht worden voordat het monster gereed is.

Bijlage C Referenties

- ¹ Jaarplan project 610330 - 2012. Brief R.C.G.M. Smetsers van RIVM/LSO aan P.J.W.M Müskens van VROM-Inspectie KFD, briefnr. LSO 302/11 SME/Kwa/dh d.d. 23 december 2011.
- ² COVRA NV, Kwartaalrapport nr. 98, week 1-13, 2012. COVRA-rapport nr. 12.118, 29 juni 2012.
COVRA NV, Kwartaalrapport nr. 99, week 14 – 26, 2012. COVRA-rapport nr. 12.151, 18 september 2012.
COVRA NV, Kwartaalrapport nr. 100, week 27 – 39, 2012, COVRA rapport nr. 12.225, 21 december 2012.
COVRA NV, Kwartaalrapport nr. 101, week 40 – 52, 2012, COVRA-rapport nr. 13.034, 28 maart 2013.
- ³ Kwakman PJM, Overwater RMW. Contra-expertise op bepalingen van radioactiviteit van afvalwater en ventilatielucht van COVRA. Periode 2011. RIVM Rapport 610330133/2013.
- ⁴ 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, 2002.
- ⁵ KTA 1504. Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser. KTA, 2006.
- ⁶ NEN 5623: 2002. Radioactiviteitsmetingen - Bepaling van de activiteit van gammastraling uitzendende nucliden in een telmonster met halfgeleider-gammaspectrometrie
- ⁷ NEN 5636:2007. Radioactiviteitsmetingen. Bepaling van de kunstmatige totale alfa-, kunstmatige totale bèta-activiteit en gammaspectrometrie van luchtfilters en berekening van de volumieke activiteit van de bemonsterde lucht. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 2007.
- ⁸ ISO 10704:2010. Water quality – Measurement of gross alpha and gross beta activity in non-saline water – Thin source deposit method
- ⁹ ISO 9698: 2009. Water quality – Determination of tritium activity concentration – Liquid scintillation counting method. ISO, Geneva.
- ¹⁰ NEN 6421: 2007. Water. Bepaling van de totale bèta-activiteitsconcentratie en rest- bèta-activiteitsconcentratie van niet-vluchtige bestanddelen. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 2007.
- ¹¹ Voorschrift monstervoorbereiding en monsterbehandeling van vloeibare afvalstoffen. Bij brief 1364/90 LSO Sm/eh d.d. 18 september 1990.
- ¹² Hiemstra YS, Kwakman PJM, Nissan LA, Aldenkamp FJ. Bepaling van ¹⁴C in afvalwater. RIVM rapportnr. 610330004. Bilthoven, 1998.
- ¹³ Kwakman PJM, Overwater RMW. Contra-expertise op bepalingen van radioactiviteit van afvalwater en ventilatielucht van COVRA. Periode 2010. RIVM Rapport 610330110/2012.
- ¹⁴ NEN 1047. Receptbladen voor de statistische verwerking van waarnemingen. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1991.
- ¹⁵ NEN 3114. Nauwkeurigheid van metingen, termen en definities. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 2e druk, augustus 1990.
- ¹⁶ I. Krol, Ch. Hohmann. Kontrolle der Eigenüberwachung Radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken (Abwasser), Ringversuch "Abwasser 2012", August 2012, SW 1 – 02/2012, Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich SW, Berlin/München, Duitsland.

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag