



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

**Contra-expertise op bepalingen van
radioactiviteit in afvalwater en
ventilatielucht van Urenco Nederland B.V.**
Periode 2020-2021

RIVM-briefrapport 2021-0159
P.J.M. Kwakman



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

**Contra-expertise op bepalingen van
radioactiviteit in afvalwater en
ventilatielucht van Urenco Nederland B.V.**

Periode 2020-2021

RIVM-briefrapport 2021-0159
P.J.M. Kwakman

Colofon

© RIVM 2022

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van zijn producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook www.rivm.nl/toegankelijkheid.

DOI 10.21945/RIVM-2021-0159

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

Contact:

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

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS), in het kader van project 390220/21/CE, Site Monitoring Straling

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland

www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Contra-expertise op bepalingen van radioactiviteit in afvalwater en ventilatielucht van Urenco Nederland B.V.

Periode 2020-2021

De fabriek van Urenco Nederland, die uranium verrijkt, meet hoeveel radioactiviteit het naar de omgeving loost via het eigen afvalwater en de ventilatielucht. Het RIVM controleert deze metingen acht keer per jaar. Met deze 'contra-expertise' controleert RIVM of de analyses die Urenco zelf uitvoert, betrouwbaar zijn. Urenco neemt de te analyseren monsters verspreid over het jaar 2020 en 2021.

De totaal-alfa, totaal-bèta resultaten en de gamma-analyses van afvalwater uit de contra-expertise in 2020 en 2021 komen goed overeen.

Uit de metingen blijkt dat de activiteitsconcentraties in afvalwater in de 16 monsters laag zijn: 0,1 – 12 kBq·m⁻³ voor totaal-alfa en 0,3 – 8 kBq·m⁻³ voor totaal-bèta.

De radioactiviteit in ventilatielucht ligt zeer dicht bij het niveau van de hoeveelheid radon die van nature in de buitenlucht aanwezig is. De resultaten van de meetwaarden van Urenco in ventilatielucht kwamen redelijk overeen met de RIVM-analyses.

In buitenlucht wordt de natuurlijke totaal alfa en bèta-activiteit veroorzaakt door radon-dochters, net als de verhouding tussen de totaal alfa- en totaal bèta-activiteit. De verhouding zou heel anders zijn wanneer uranium vrijkomt. Daarom is het aannemelijk dat er in 2020 en 2021 geen uranium in ventilatielucht is vrijgekomen.

RIVM voert de contra-expertises jaarlijks uit in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS).

Kernwoorden: Urenco, radioactiviteit, lozingen, afvalwater, ventilatielucht

Synopsis

Contra expertise on measurements of radioactivity in waste water and ventilation air at Urenco Nederland B.V.

Period 2020-2021

The factory of Urenco Nederland, which focuses on uranium enrichment, measures the quantity of radioactivity it discharges to the environment via its own waste water and ventilation air. RIVM checks these measurements eight times a year. Via these counterchecks, RIVM determines whether the analyses performed by Urenco itself are reliable. Urenco takes the samples to be analysed at intervals throughout the year.

In 2020 and 2021, the gross alpha results and the gamma analyses of wastewater in the counterchecks are in good agreement with the results found by Urenco itself.

The measurements show that the activity concentrations in waste water in the eight samples are low: 0.1 – 12 kBq·m⁻³ for gross alpha and 0.3 – 8 kBq·m⁻³ for gross beta.

The radioactivity in ventilation air is very close to the level of radon naturally present in outdoor air. The results of the values measured by Urenco in ventilation air agree moderately to reasonably well with the RIVM analyses.

The gross alpha and beta activity found naturally in outdoor air is caused by radon daughters, as is the ratio between the gross alpha and gross beta activity. This ratio would be completely different if uranium were to be released. It is therefore reasonable to assume that no uranium was released into ventilation air in 2020 and 2021.

The Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection (ANVS) commissions RIVM to carry out these counterchecks every year.

Keywords: Urenco, radioactivity, discharges, waste water, ventilation air

Inhoudsopgave

Samenvatting – 9

1 Inleiding – 11

- 1.1 Rapportindeling – 11
- 1.2 Herkomst data van Urenco en autorisatie van deze rapportage – 11
- 1.3 Opdrachtgever ANVS en opdrachtnemer RIVM – 11
- 1.4 Disclaimer met betrekking tot de scope van accreditatie – 12

2 Monsters en analyse – 13

3 Analysemethoden – 15

- 3.1 Tweevoudbepalingen – 15
- 3.2 Bepaling van de totaal alfa- en bèta activiteitsconcentratie in afvalwater – 15
- 3.3 Bepaling van het gehalte aan gammastraling uitzendende nucliden in afvalwater – 16
- 3.4 Bepaling van de totaal alfa en bèta activiteitsconcentratie in ventilatielucht – 16
- 3.5 Bepaling van het gehalte aan gammastraling uitzendende nucliden in ventilatielucht – 17
- 3.6 Foutenberekening – 17
- 3.7 Kwaliteitsborging – 18
- 3.8 Presentatie van resultaten en vergelijking – 18

4 Resultaten en discussie – 21

- 4.1 Meetresultaten – 21
- 4.2 Vergelijking van de resultaten en discussie – 21
- 4.3 Afvalwater – vergelijkingsresultaten 2020 – 21
- 4.4 Afvalwater – vergelijkingsresultaten 2021 – 22
- 4.5 Ventilatielucht 2020 – 23
- 4.6 Ventilatielucht 2021 – 24
- 4.7 Radonexhalatie van de betonnen verrijkingshallen – 24
- 4.8 Oordeel over de contra expertise resultaten 2020-2021 – 27

Bijlage A Vergelijking met meetresultaten Urenco in 2020 – 29

Bijlage B Vergelijking met meetresultaten Urenco in 2021 – 32

Bijlage C Urenco analyse van afvalwatermonsters voor lozing op het riool – 34

Bijlage D Analyse van ventilatielucht door Urenco – 42

Bijlage E RIVM schatting van radon exhalatie van Urenco fabriekshallen; situatie in 2019 – 43

Referenties – 45

Samenvatting

Het Centrum Veiligheid (VLH) van RIVM heeft in 2020 en 2021 in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) radioactiviteits-metingen 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 2020 – 2021.

De contra-expertisemonsters waar het voorliggende rapport over gaat, zijn afkomstig van Urenco Nederland B.V. te Almelo. Het betreft zowel afvalwatermonsters als filters waarmee uitgaande ventilatielucht van verschillende gebouwen is bemonsterd. Het RIVM bepaalde de activiteitsconcentratie van totaal alfa, totaal bèta en gammastralers in afvalwatermonsters en ventilatielucht.

De mate van 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. Doorgaans komen de afvalwateranalyses overeen met de resultaten van Urenco.

De fabriek van Urenco Nederland, die uranium verrijkt, meet hoeveel radioactiviteit het naar de omgeving loost via het eigen afvalwater en de ventilatielucht. Het RIVM controleert deze metingen acht keer per jaar. Met deze 'contra-expertise' controleert RIVM of de analyses die Urenco zelf uitvoert, betrouwbaar zijn. Urenco neemt de te analyseren monsters verspreid over het jaar.

De totaal-alfa, totaal-bèta resultaten en de gamma-analyses van afvalwater uit de contra-expertise in 2020 en 2021 komen goed overeen.

Uit de metingen blijkt dat de activiteitsconcentraties in afvalwater in de 16 monsters laag zijn: 0,1 – 12 kBq·m⁻³ voor totaal-alfa en 0,3 – 8 kBq·m⁻³ voor totaal-bèta.

De radioactiviteit in ventilatielucht ligt zeer dicht bij het niveau van de hoeveelheid radon die van nature in de buitenlucht aanwezig is. De resultaten van de meetwaarden van Urenco in ventilatielucht kwamen redelijk overeen met de RIVM-analyses.

In buitenlucht wordt de natuurlijke totaal alfa en bèta-activiteit veroorzaakt door radon-dochters, net als de verhouding tussen de totaal alfa- en totaal bèta-activiteit. De verhouding zou heel anders zijn wanneer uranium vrijkomt. Daarom is het aannemelijk dat er in 2020 en 2021 geen uranium in ventilatielucht is vrijgekomen.

RIVM voert de contra-expertises jaarlijks uit in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS).

1 Inleiding

1.1 Rapportindeling

Het Centrum Veiligheid (VLH) van RIVM voert in opdracht van de ANVS 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 2020 - 2021.

De contra-expertisemonsters waar het voorliggende rapport over gaat, zijn afkomstig van Urenco Nederland B.V. te Almelo. Het betreft zowel afvalwatermonsters als filters waarmee de uitgaande ventilatielucht van verschillende gebouwen 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 en B. De bemonstering wordt door de onderzochte bedrijven uitgevoerd. Beschrijvingen van de bemonsterings- en analysemethoden toegepast door het onderzochte bedrijf, zijn gereproduceerd in Bijlage C en D.

1.2 Herkomst data van Urenco en autorisatie van deze rapportage

De meetgegevens van Urenco die in deze rapportage zijn opgenomen zijn afkomstig uit de lozingsrapportages en kwartaalrapportages die Urenco opstuurt aan RIVM/VLH (zie par. 3.8). 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 afkomstig van Urenco staan in alle betreffende tabellen met een header **UNL** in cursief weergegeven.

In het geval van RIVM rapporten die stralingsmetingen betreffen is het afdelingshoofd van de betreffende VLH afdeling Stralingsincidenten, Monitoring en Analyse (VLH/SMA) degene die het rapport autoriseert en daarmee vrijgeeft.

1.3 Opdrachtgever ANVS en opdrachtnemer RIVM

De Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS, Koningskade 4, Den Haag; www.anvs.nl) heeft RIVM, centrum Veiligheid, afdeling Stralingsincidenten, Monitoring en Analyses (adres RIVM, Antonie van Leeuwenhoeklaan 9, 3721 MA Bilthoven) opdracht gegeven voor het uitvoeren van een contra expertise op de bepalingen van radioactiviteit in afvalwater en

ventilatielucht door de nucleaire installaties KCB, COVRA, NRG, RID en Urenco.

De ANVS projectnaam is 'Contra Expertise Metingen Nucleaire Installaties'.

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

1.4 Disclaimer met betrekking tot de scope van accreditatie

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

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

Met contra expertise wordt bedoeld een vergelijking tussen de RIVM meetwaarden en de meetwaarden van de betreffende nucleaire installatie, zoals beschreven in hoofdstuk 3. Deze vergelijking valt niet onder de scope van de accreditatie.

Herkomst van meetdata en uitvoering van bemonstering door de klant of andere partij:

De resultaten van de bepalingen van RIVM zijn alleen van toepassing op de ontvangen monsters. Gegevens met betrekking tot de monsternamen, zoals de lozingsdatum en monsterperiode zijn aangeleverd door UNL middels kwartaalrapportages en bij het monster aangeleverde informatie. De kwaliteit van deze data valt onder de verantwoordelijkheid van UNL. De door UNL aangeleverde data zijn gemarkeerd met **UNL** in de tabellen in de bijlagen.

2 Monsters en analyse

RIVM voert zelf geen bemonstering uit van afvalwater en ventilatielucht, maar haalt periodiek afvalwater- en ventilatieluchtmonsters op bij Urenco Nederland B.V. De bemonstering wordt dus uitgevoerd door Urenco zelf.

Van het afvalwater bewaart Urenco circa 1 liter ongegeleerd water voor het uitvoeren van contra-expertise door RIVM. Voor het bepalen van de radioactiviteit in uitgaande ventilatielucht gebruikt Urenco aerosolfilters. Deze zijn beschikbaar voor het RIVM nadat de metingen door Urenco verricht zijn. Tabel 1 bevat een overzicht van het, vooraf met de ANVS afgesproken, aantal monsters en de te verrichten analyses per jaar [1]. In Tabel 2 staan gegevens van de opgehaalde afvalwatermonsters.

Tabel 1 Overzicht van het aantal monsters en analyses per jaar

Monsters	Aantal	Soort monster	Analyses (Q*)
Afvalwater	8	Batchmonster	Q: Totaal alfa**, totaal- bèta**, gammastralers*
Ventilatie- lucht	25	Aerosolfilters 5-maal van 5 lozingspunten	Q: Totaal alfa**, totaal- bèta**, indien totaal bèta op filter > 0,5 Bq dan ook bepaling gamma-emitters**

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

* Analyse door RIVM in enkelvoud

** Analyse in tweevoud

Het RIVM heeft Urenco zesmaal bezocht voor het ophalen voor de monsters uit 2020 (Tabel 2) en vijfmaal voor monsters uit 2021 (Tabel 3). De monsternamenpunten in 2020 zijn RCC en SP5 voor de watermonsters, zie Tabel 2; en RCC, CSB, SP4 en SP5 in 2021 (zie tabel 3).

Tabel 2 Monstergegevens afvalwater; de ophaaldata in 2020 voor de ventilatieluchtfilters zijn gelijk aan de ophaaldata van afvalwater

Nr	Datum afvalwater	Ophaaldatum	Analysedatum	alfa/bèta	Fabriek
1	1 maart	11 maart	29 juni 20		SP5
2	1 april	15 april	29 juni 20		SP5
3	22 juni	9 juli	17 aug 20		SP5
4	23 juni	9 juli	17 aug 20		RCC
5	9 sept	23 sept	15 feb 21		RCC
6	29 sept	15 okt	22 feb 21		SP5
7	6 okt	15 okt	22 feb 21		RCC
8	8 nov	25 nov	22 feb 21		SP5

De ventilatieluchtfilters zijn geanalyseerd van SP4, SP5 (1MA5 en 2MA5), RCC en CSB; zie Tabel 4 en 5.

Tabel 3 Monstergegevens afvalwater; de ophaaldata in 2021 voor de ventilatieluchtfilters zijn gelijk aan de ophaaldata van afvalwater

Nr	Datum afvalwater	Ophaaldatum	Analysedatum	alfa/bèta	Fabriek
1	04 feb	4 maart	23 juni 21		CSB
2	01 apr	20 mei	23 juni 21		CSB
3	29 jun	28 juli	8 nov 21		RCC
4	06 jul	28 juli	8 nov 21		SP5
5	21 aug	27 okt	8 nov 21		SP4
6	29 sep	27 okt	10 jan 22		SP5
7	25 nov	16 dec	10 jan 22		RCC
8	26 nov	16 dec	10 jan 22		SP5

Tabel 4 Monstergegevens ventilatielucht; bemonsteringsperiodes en ophaaldata in 2020 voor de ventilatieluchtfilters van SP4, SP5 (1MA5 en 2MA5), RCC en CSB

Nr	Periode 2020	Ophaaldatum	Analysedatum
1	26 jan – 2 feb	11 maart	11 maart
2	15 – 22 maart	15 april	16 april
3	17 – 24 mei	9 juli	16 juli
4	16 – 23 aug	23 sept	23 sept
5	25 okt – 1 nov	25 nov	26 nov

Tabel 5 Monstergegevens ventilatielucht; bemonsteringsperiodes en ophaaldata in 2021 voor de ventilatieluchtfilters van SP4, SP5 (1MA5 en 2MA5), RCC en CSB

Nr	Periode 2021	Ophaaldatum	Analysedatum
1	17-24 jan	4 maart	8 maart
2	11-18 april	20 mei	26 mei
3	20-27 jun	28 juli	2 aug
4	26 sep – 3 okt	27 okt	28 okt
5	14-21 nov	16 dec	3 jan 22

3 Analysemethoden

Beschrijvingen van de bemonsterings- en analysemethoden toegepast door Urenco in 2020 en 2021, zijn gereproduceerd in Bijlage C en D. Deze methoden zijn gelijk aan de door Urenco toegepaste methoden in het voorafgaande jaar [2].

In opdracht van de ANVS worden de randvoorwaarden uit de Kerntechnische Ausschuss (KTA-1503 [3] en KTA-1504 [4]) voor de uitvoering van de analyses aangehouden. Dit betreft bijvoorbeeld de samenstelling van de nuclidenbibliotheek en de detectiegrenzen die gehaald moeten kunnen worden.

Indien mogelijk hanteert RIVM/VLH NEN-normen. Voor gammaspectrometrie wordt gewerkt conform NEN 5623 [5]; voor gasdoorstroomtelling van filters wordt gewerkt conform NEN 5636 [7]. Voor de bepaling van de totaal-alfa en totaal-bèta activiteit in afvalwater heeft RIVM/VLH een methode als een eigen methode gevalideerd [6].

3.1 Tweevoudbepalingen

VLH voert sommige analyses in tweevoud uit. Wanneer het verschil tussen de twee meetwaarden van een tweevoudbepaling groter is dan $4s$ (waarbij s de totale 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 ^{60}Co of ^{137}Cs . Bij andere gammastralers dan ^{60}Co en ^{137}Cs worden in geval van een afgekeurde tweevoudbepaling de twee meetresultaten afzonderlijk gerapporteerd. Wordt het resultaat van een tweevoudbepaling niet afgekeurd, dan wordt het gemiddelde van de twee meetwaarden gerapporteerd. De analyses waarvan gedurende een langere periode gebleken is dat er weinig of geen afkeuringen plaatsvinden, worden uit oogpunt van efficiency in enkelvoud uitgevoerd. Welke analyses in enkelvoud en welke in tweevoud worden uitgevoerd, staat in Tabel 1 in hoofdstuk 2.

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

Na krachtig schudden wordt van het gehomogeniseerde monster in twee verschillende flesjes elk 10,0 mL gepipetteerd. Aan één van de flesjes wordt 0,100 mL van een natuurlijk uraniumoplossing met bekende sterkte toegevoegd en goed gemengd. De twee oplossingen worden in gedeelten op roestvast stalen, geschuurde en ontvette telplaatjes met een diameter van 50 mm overgebracht en drooggedampt in een stoof bij 60-80 °C. De metingen aan beide telschaaltjes worden uitgevoerd met proportionele gasdoorstroomtellers die zijn voorzien van een dun venster ($< 0,5 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$). De tellers hebben een lage achtergrond. De telopbrengst wordt berekend uit het verschil in de resultaten van de beide telpreparaten en de toegevoegde activiteit aan natuurlijk uranium. Deze methode is vastgelegd in procedure VLH-H-005; Handboek Gasdoorstroomtelling.

3.3 **Bepaling van het gehalte aan gammastraling uitzendende nucliden in afvalwater**

Per analyse wordt van het afvalwater één monster van 250 mL afgemeten. Dit 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. Van het ontstane gegeleerde telpreparaat wordt over het energiebereik van 80 keV tot 2 MeV een gammaspectrum opgenomen met behulp van een P-type halfgeleiderdetector met hoge energieresolutie in combinatie met een pulssorteerder met 8192 kanalen. De meettijd is 1000 minuten. Het spectrum wordt geanalyseerd met behulp van het analyseprogramma Genie2000 aan de hand van een nuclidenbibliotheek. In hoofdstuk 5 (Tabel A2) zijn de in de nuclidenbibliotheek opgenomen nucliden gegeven. In de gammabibliotheek zijn nucliden uit de uranium- en thoriumreeksen opgenomen, met daaraan toegevoegd de nucliden ${}^7\text{Be}$, ${}^{40}\text{K}$, ${}^{60}\text{Co}$ en ${}^{137}\text{Cs}$. Daarnaast wordt door het analyseprogramma melding gemaakt van pieken die wel gedetecteerd zijn in het spectrum maar die niet aan één van de in de bibliotheek opgenomen nucliden toe te wijzen zijn. Is dit het geval dan vindt een nadere analyse van het spectrum plaats. Het RIVM corrigeert voor radioactief verval door de activiteitsconcentratie van de gedetecteerde nucliden terug te rekenen naar de dag van bemonstering. Indien door het RIVM geen enkele gammastraler wordt aangetoond, wordt slechts de detectiegrens voor ${}^{234}\text{Th}$ gegeven.

Formeel vereist KTA 1504 [4] dat bij het meten van gammastraling uitzendende radionucliden in gedestilleerd water de detectiegrens voor ${}^{60}\text{Co}$ kleiner is dan $1 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$. Bij het meten van afvalwater van Urenco is er echter voor gekozen om de detectiegrens te geven van ${}^{234}\text{Th}$, de snel ingroeiende dochter van ${}^{238}\text{U}$.

Voor kalibratie van de gammaspectrometrieopstelling wordt gebruik gemaakt van een bekende hoeveelheid activiteit overgebracht in preparaatvormen van eenzelfde vorm, afmeting, mate van homogeniteit en dichtheid als de te meten monsters.

Deze methode is vastgelegd in VLH-H-004 (Genie2000 onder APEX); Handboek Gamma-spectrometrie.

3.4 **Bepaling van de totaal alfa en bèta activiteitsconcentratie in ventilatielucht**

Per analyse wordt uit een luchtstoffilter een schijf met een diameter van 46 mm geponst. Met behulp van een proportionele gasdoorstroomteller met een lage achtergrond, die van een dun venster ($< 0,5 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$) is voorzien, wordt hiervan de alfa- en bèta-telsnelheid gemeten. In afwijking van de NEN-norm inzake de analyse van luchtstoffilters wordt voor de bepaling van de totaal alfa en de totaal bèta activiteitsconcentratie natuurlijk uranium als referentienuclide toegepast [7]. 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 in ventilatielucht opgenomen.

Deze methode is vastgelegd in procedure VLH-H-005; Handboek Gasdoorstroomtelling.

3.5 **Bepaling van het gehalte aan gammastraling uitzendende nucliden in ventilatielucht**

Voor de controle van de α -, β - en γ -activiteiten wordt bij URENCO de geloosde ventilatielucht, afkomstig uit de verschillende verrijkingfabrieken, door glasvezelfilters gezogen. De filters worden door URENCO met behulp van α/β pseudocoïncidentie meetapparatuur continu gecontroleerd. Eénmaal per week worden de filters door het bedrijf verwisseld. Uit elk te analyseren luchtstoffilter worden twee deelfilters met een diameter van 46 mm geponst. Met behulp van een laagnuleffectteller wordt van de deelfilters eerst de α en β -activiteit gemeten volgens de methode omschreven in SOP VLH-H-005. Indien de β -activiteit groter is dan 0,5 Bq wordt een spectrum opgenomen van het deelfilter met de hoogste β -activiteit op een gammaspectrometrie-opstelling.

Deze methode is vastgelegd in VLH-H-004 (Genie2000 onder APEX); Handboek Gamma-spectrometrie.

3.6 **Foutenberekening**

De door RIVM opgegeven fout is het 1σ -schattinginterval. Voor het bepalen hiervan is gebruik gemaakt van NEN 1047 [8] (Receptbladen voor de statistische verwerking van waarnemingen) en NEN 3114 [9] (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 in wegenen 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 bèta activiteitsconcentratie in afvalwater
Hier wordt per analyse gebruikgemaakt van een preparaat zonder en een preparaat met een standaard (=tracer), ieder met de eigen tel- en experimentele fouten. De totale fout in de totaal alfa-activiteitsconcentratie, respectievelijk totaal bèta activiteitsconcentratie, is dan samengesteld uit een telfout van het preparaat bestaande uit het monster, een telfout van het preparaat bestaande uit het monster inclusief de standaard, een kalibratiefout en een experimentele fout.

Bepaling van de totaal alfa en 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%.

Gammaspectrometrie

Voor de gammastraling uitzendende nucliden vindt rapportage plaats met een aangegeven fout voortkomend uit telstatistiek, kalibratie, achtergrond, onzekerheid in de opbrengst en monstervoorbehandeling. Indien er sprake is van cascadeverval dan is een extra fout toegevoegd aan de gerapporteerde activiteitsconcentraties.

3.7 Kwaliteitsborging

Het Centrum Veiligheid van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM/VLH) is voor een aantal verrichtingen geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie volgens NEN-EN-ISO-17025 (registratienummer L153). Deze verrichtingen hebben betrekking op metingen die worden uitgevoerd in het kader van het toezicht op nucleaire installaties en zijn gemarkeerd met een 'Q'. Zie tabel 1 in Hoofdstuk 2.

In het kader van de bewaking van de kwaliteit van de gebruikte analyse- en meetmethoden neemt RIVM/VLH jaarlijks deel aan het ringonderzoek 'Abwasser', georganiseerd door het Duitse Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) [10]. Voor ventilatieluchtmonsters wordt indien mogelijk deelgenomen aan relevante ringonderzoeken, zoals het door BfS georganiseerde Abluft.

3.8 Presentatie van resultaten en vergelijking

Voor de vergelijking worden de door Urenco bepaalde activiteitsconcentraties overgenomen uit de opgaven van Urenco [11] en zijn in deze rapportageperiode afgerond met de regels zoals die door RIVM wordt gehanteerd (volgens NEN 1047 [8]).

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

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

Het vergelijken van de gemeten waarden x_{NI} en x_{RIVM} is ook te verwoorden als het bepalen van het verschil $\Delta = x_{NI} - x_{RIVM}$. Het verschil tussen de meetwaarden wordt berekend uit de getallen zoals deze worden weergegeven, dus na afronding van de meetwaarde van RIVM (volgens NEN 1047 [8]). De fout 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 fout in de meetwaarde van de NI, s_{NI} , gelijk is aan de fout in de meetwaarde van RIVM, s_{RIVM} .

Het is hierbij 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:	$2s\Delta < \Delta \leq 3 s\Delta$	$\sim 4,3\%$, ofwel circa 1 uit 20
C:	$3s\Delta < \Delta $	$\sim 0,26\%$, ofwel circa 1 uit 400

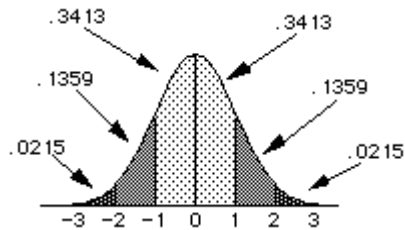


Fig 1 Schematische weergave van een Gauss verdeling

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

4 Resultaten en discussie

Disclaimer - herkomst data en uitvoering van bemonstering. RIVM heeft de meetdata van Urenco overgenomen uit de lozingsrapportages en de kwartaal-rapportages [11]. De kwaliteit van deze data valt onder de verantwoordelijkheid van Urenco. In de tabellen in de Bijlage zijn alle data die aangeleverd zijn door Urenco gemarkeerd met "**UNL**". De bemonstering van afvalwater en ventilatielucht is uitgevoerd door Urenco. Monstergegevens, lozingsdatum en monsterperiode, zijn aangeleverd door Urenco. De resultaten van de bepalingen van RIVM zijn alleen van toepassing op de ontvangen monsters.

4.1 Meetresultaten

De resultaten van de metingen door het RIVM en Urenco zijn te vinden in Hoofdstuk 5. De data van Urenco zijn overgenomen uit de kwartaalrapporten die Urenco [11] elk kwartaal opstuurt naar het RIVM. In de tabellen staan tevens de meetonzekerheden (fouten) in de meetwaarden van het RIVM (zie paragraaf 3.6). Urenco gaf onzekerheden op in de totaal alfa-, totaal bèta en totaal-gamma activiteitsconcentraties in afvalwater, maar niet in ventilatielucht.

4.2 Vergelijking van de resultaten en discussie

Het resultaat van de vergelijking (indien van toepassing) zoals beschreven in paragraaf 3.8 is in de tabellen van hoofdstuk 5 vermeld onder de kop 'V'. De vergelijking van de resultaten van Urenco met die van het RIVM is samengevat in Tabel 6 en Tabel 7. 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.

4.3 Afvalwater – vergelijkingsresultaten 2020

De vergelijking van de totaal alfa, totaal bèta en gammaspectrometrie resultaten in afvalwater van 2020 is gegeven in Tabel 6. Met 4 van de 4 vergelijkingsparen van de categorie A1 is het resultaat goed.

Tabel 6 Overeenkomst van meetresultaten totaal alfa, totaal bèta en gammastralers in afvalwater in 2020

Nr.	Plant	totaal- α	totaal- β	γ -stralers
1	SP5			
2	SP5		A1	
3	SP5			
4	RCC	A1	A1	
5	RCC			
6	SP5			
7	RCC	A1		
8	SP5			

In alle monsters zijn de activiteits-concentraties in 2020 laag : 0,1 – 2 kBq·m⁻³ voor totaal-alfa, en 0,3 – 2,5 kBq·m⁻³ voor totaal-bèta. Er is door RIVM en Urenco in 2020 geen gamma-activiteit boven de detectiegrens waargenomen.

4.4 Afvalwater – vergelijkingsresultaten 2021

De vergelijking van de totaal alfa, totaal bèta resultaten in afvalwater van 2021 is gegeven in Tabel 7. Met viermaal A1, driemaal A2 en een B is het resultaat goed.

Tabel 7 Overeenkomst van meetresultaten totaal alfa, totaal bèta en gammastralers in afvalwater in 2021

Nr.	Plant	totaal- α	totaal- β	γ -stralers
1	CSB	A2	B	
2	CSB	A1	A1	
3	RCC			
4	SP5	A2	A1	
5	SP4			
6	SP5			
7	RCC	A2	A1	
8	SP5			

In alle monsters zijn de activiteits-concentraties redelijk laag : 0,1 – 12 kBq·m⁻³ voor totaal-alfa, en 0,3 – 7,9 kBq·m⁻³ voor totaal-bèta. De vergelijkingsresultaten in de totaal bèta data van 2021 zijn goed (driemaal A1 en een B). De gamma-activiteit ligt in 2021 in alle monsters volgens RIVM en Urenco onder de detectiegrens.

Correctie voor verval of ingroei van totaal-bèta activiteit tussen monsternamen en detectie: 2020 en 2021

De vergelijkingsresultaten in de totaal bèta data van 2020 zijn in deze rapportageperiode goed (2 x A1). Er is geen sprake van alfa-overschot of beta-overschot; er is in 2020 niet voor gecorrigeerd.

In 2021 wordt in monster 1 een bèta overschot en in monster 2 een alfa overschot aangetroffen. Correctie voor verval van ²³⁴Th in monster 1 doet de overeenkomst verbeteren van B naar A2. Correctie voor ingroei van ²³⁴Th naar de totaal-alfa activiteit (12,2 kBq·m⁻³) doet de overeenkomst echter verminderen van A1 naar B; zie Tabel 8.

Tabel 8 Aanpassing van de overeenkomst voor de totaal-bèta activiteitsconcentratie in monster 1 en 2 (2021) na correctie voor verval of ingroei van ²³⁴Th

2021 Nr.	totaal- β ongecorrigeerd		totaal- β		totaal- β gecorrigeerd	
	RIVM	V	Urenco		Urenco	V
1	6,4 ± 0,4	B	9,2 ± 1,2		7,6 ± 1,0	A2
2	7,5 ± 0,4	A1	7,9 ± 1,2		11,8 ± 1,8	B

* de fout van Urenco is ingeschat op basis van de relatieve fout van RIVM.

Blijkbaar is in monster 2 de verhouding in de uraanisotopen afwijkend van de natuurlijke verhouding en is een ingroei van ^{234}Th in ^{238}U niet te verwachten. Zie de onderstaande toelichting.

In de overige monsters in 2021 is er geen sprake van een bèta of alfa overschot en is er geen reden om een correctie uit te voeren.

Toelichting correctie voor het verval van het bèta overschot of ingroei naar het alfa overschot

Het bèta-overschot vervalt in de tijd tussen monstername en meting bij benadering naar de totaal alfa waarde. Bij een alfa-overschot kan er sprake zijn van een ingroei van ^{234}Th naar de alfa-activiteit.

Bij het uitvoeren van een ^{234}Th -vervalcorrectie is van de veronderstelling uitgegaan dat bij radiologisch evenwicht de totaal alfa en totaal bèta activiteit (ongeveer) gelijk aan elkaar zijn. Dit is echter bij afwijkingen van de natuurlijke verhouding van $^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$ niet het geval. Aangezien het onduidelijk is in welke mate de daadwerkelijke $^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$ verhouding in het monster afwijkt van de natuurlijke verhouding is het onredelijk om altijd een 'perfecte' overeenkomst, een A1, te verwachten.

In Tabel 8 zijn de ^{234}Th correcties in de monsters weergegeven. Hierbij is aangenomen dat Urenco de meting uit heeft gevoerd op de dag van monstername. De correcties zijn uitgevoerd uitgaande van :

- het aantal dagen verschil tussen de monsterdatum van Urenco en de meetdatum van het RIVM
- het verschil in de totaal alfa en totaal bèta activiteit, beide van Urenco:
 - indien totaal bèta > totaal alfa dan wordt er gecorrigeerd voor verval van ^{234}Th naar de alfa activiteit.
 - indien totaal bèta < totaal alfa dan wordt er gecorrigeerd voor ingroei van ^{234}Th naar de alfa activiteit.
- de halfwaardetijd van ^{234}Th (24,1 dagen).

4.5 Ventilatielucht 2020

Tabel 9 bevat een samenvatting van de vergelijkingsresultaten van de totaal alfa en totaal bèta bepalingen in ventilatieluchtmonsters uit 2020. Er konden 13 vergelijkingen worden gemaakt: viermaal A1, vijfmaal A2, een B en driemaal C.

Tabel 9 Overeenkomst van meetresultaten activiteitsconcentraties totaal alfa en totaal bèta in ventilatielucht in 2020

Periode 2020	SP4		SP5-1MA5		SP5-2MA5		CSB		RCC	
	alfa	bèta	alfa	bèta	alfa	bèta	alfa	bèta	alfa	bèta
26 jan - 02 feb								A1		
15 mrt - 22 mrt							A2	A1		
17 mei - 24 mei	A1	C						B		
16 aug - 23 aug	A2	A2					A2	C		
25 okt - 01 nov	A1	C						A2		

* De meetresultaten bij de twee monsternamepunten van SP5 en RCC hebben slechts detectiegrenzen opgeleverd. Hierdoor zijn er geen vergelijkingen uitgevoerd.

De totaal alfa meetresultaten benaderen de meetverwachting goed: vijfmaal [A1+A2].

De totaal bèta resultaten laten met tweemaal A1, tweemaal A2, een B en driemaal C een redelijke vergelijking zien. De vergelijking wordt bemoeilijkt door het feit dat de activiteitsconcentraties in de buurt liggen van de natuurlijke achtergrond. Zie ook paragraaf 4.7, de 'radon-exhalatie van de betonnen verrijkingshallen'.

4.6 Ventilatielucht 2021

Tabel 10 bevat een samenvatting van de vergelijkingsresultaten van de totaal alfa en totaal bèta bepalingen in ventilatieluchtmonsters uit 2021.

Tabel 10 Overeenkomst van meetresultaten activiteitsconcentraties totaal alfa en totaal bèta in ventilatielucht in 2021

Periode 2021	SP4		SP5-1MA5		SP5-2MA5		CSB		RCC	
	alfa	bèta	alfa	bèta	alfa	bèta	alfa	bèta	alfa	bèta
17 jan - 24 jan		B								
11 apr - 18 apr		A1						B		
20 jun - 27 jun		B					A2	A2		
26 sep - 03 okt		B						C		
14 nov - 21 nov		A1					A2	C		

* De meetresultaten bij de twee monsternamenpunten van SP5 en RCC hebben slechts detectiegrenzen opgeleverd. Hierdoor zijn er geen vergelijkingen uitgevoerd.

De totaal alfa meetresultaten benaderen de meetverwachting goed in twee CSB monsters: tweemaal A2.

De totaal bèta resultaten laten met tweemaal A1, een A2, viermaal B en tweemaal C een redelijke vergelijking zien.

Volgens afspraak met de ANVS onderwerpt het RIVM de luchtfilters aan een nader onderzoek indien de totaal alfa activiteit > 0,1 Bq/filter of de totaal bèta activiteit > 0,5 Bq/filter. In 2020 en 2021 is het geen enkele maal voorgekomen dat deze grenzen zijn overschreden; zie onderstaande paragraaf 4.7 en tabel A3.

4.7 Radonexhalatie van de betonnen verrijkingshallen

RIVM heeft in een eerdere rapportage aannemelijk gemaakt dat de totaal alfa en totaal bèta activiteit op de ventilatieluchtfilters van CSB hoogstwaarschijnlijk te wijten is aan radonochters afkomstig van radon in de buitenlucht [12]. Radon emaneert echter ook uit de betonnen oppervlakken van de verrijkingshallen. Het is mogelijk om een schatting te maken van de som van radon uit de buitenlucht + uit beton geëmaneerd radon. Dit radonniveau, en niet de detectiegrens van de apparatuur, beïnvloedt in grote mate de bepaalbaarheidsgrens voor totaal alfa en totaal bèta afkomstig van uranium. Deze zogenaamde radonruis kan omgerekend worden naar een realistische ondergrens voor de bepaling van totaal alfa en totaal bèta op de ventilatieluchtfilters.

Toelichting

Radon vervalt via een aantal kortlevende dochternucliden naar ^{210}Pb (+ dochter ^{210}Bi). Dit nuclide is een bèta/gammastraler en vervalt naar de

(relatief langzaam) ingroeiende alfastraler ^{210}Po . Dit heeft als logisch gevolg dat de aanwezigheid van het edelgas radon in ventilatielucht uiteindelijk leidt op het filter tot een lage totaal alfa en totaal bèta activiteit die niet het gevolg is van een uraniumlozing. Kenmerk van een $^{210}\text{Pb} / ^{210}\text{Po}$ depositie op een filter is dat de totaal-alfa activiteit altijd een factor 3-7 lager is dan de totaal-bèta activiteit.

Dit in tegenstelling tot natuurlijk uranium waarbij de activiteit aan totaal-alfa en totaal-bèta vrijwel met elkaar in evenwicht is; en verrijkt uranium waarbij de totaal-alfa activiteit hoger is dan de activiteit van totaal-bèta.

Schatting van totaal bèta als gevolg van radon in ventilatielucht

Met de aannames die gemaakt zijn in het bovengenoemde rapport [12] is voor SP4, SP5 en CSB een schatting gemaakt van de radonexhalatie uit betonnen oppervlakken. Dit leidt tot de productie van de bètastralers $^{210}\text{Pb} + ^{210}\text{Bi}$. De daaruit volgende ^{210}Po -alfa activiteit is na 30 dagen voor 14% ingegroeid; dit houdt in dat de tijd tussen meting door Urenco en het RIVM van groot belang is voor de vergelijking van totaal alfa. Deze tijd kan in praktijk variëren tussen 10 en soms meer dan 80 dagen. Hierdoor heeft het vergelijken van totaal alfa data van Urenco en RIVM weinig zin indien de ingroei van ^{210}Po van dezelfde orde van grootte is als de 'normale' totaal alfa activiteit. In Tabel 11 worden de geschatte totaal bèta waarden vergeleken met daadwerkelijk aangetroffen totaal bèta waarden in 2020; de totaal alfa data zijn om de bovengenoemde reden buiten de tabel gehouden.

Tabel 11 Totaal bèta als gevolg van radon en gemeten waarden ($\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$)

Data 2020	Totaal bèta gemeten (RIVM)	Totaal bèta gemeten (Urenco)	Totaal bèta (berekend uit radon)	Ondergrens (berekend uit radon)
Plant				
SP4	0,1 – 0,17	0,07 – 0,2	0,09	0,18
SP5	0,19 -0,27	< 0,3	0,016	0,03
CSB	0,06 – 0,10	0,05- 0,13	0,01	0,02 (0,06)
RCC	0,02-0,04	< 0,04		
Buitenlucht – Bilthoven 2020*		0,13 – 1,1 $\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$		

* De waarde voor totaal bèta in luchtstof bemonsterd te Bilthoven is bepaald met de High Volume Sampler. Per week wordt circa 125.000 m^3 aangezogen en geanalyseerd.

De onzekerheden in de berekende totaal bèta waarden zijn groot. Dit komt o.a. door onzekerheden in de schattingen van het betonoppervlak, in de radon exhalatie uit beton en schattingen van de flow door het betreffende gebouw. Ook de natuurlijke variatie van radon in de buitenlucht speelt een rol. Alle lucht van RCC en SP5 (1 en 2) wordt gefilterd voordat deze wordt geloosd en bemonsterd. Hierdoor is er voor RCC en SP5 geen invloed van radon in de buitenlucht en bij CSB en SP4 wel. In SP4 en CSB wordt een groot deel ongefilterd geloosd waardoor radonochters niet zijn weggefilterd.

Een totale onzekerheid in de totaal bèta activiteit laat zich lastig kwantificeren, maar het is aannemelijk dat een bandbreedte van een

factor 2 ongeveer het minimum is. Dit is namelijk de spreiding in de radonexhalatie in betonnen oppervlakken. Deze spreiding kan volgens het Basisdocument Radon [13] variëren tussen 0,5 en 1 mBq·m⁻²·s⁻¹.

Vaststelling van ondergrens voor totaal-bèta

Met de data uit Tabel 6 en een ruime marge van een factor 2 is een ondergrens voor totaal bèta eenvoudig berekend. Onder deze grens heeft het uitvoeren van contra expertise geen nut omdat er feitelijk radonochters met elkaar worden vergeleken. Voor CSB valt de berekende ondergrens van 0,02 mBq·m⁻³ vrijwel op de detectiegrens. Het is echter niet doenlijk om elke waarde boven de detectiegrens als een 'echte' waarde voor totaal bèta te beschouwen. Vandaar dat er is gekozen voor een totaal bèta ondergrens voor CSB van minimaal een factor 3 boven de detectiegrens: 0,06 mBq·m⁻³.

Alfa/bèta verhouding als criterium voor niet-natuurlijke activiteit

Op basis van de hierboven beschreven totaal bèta activiteit kan alleen aannemelijk gemaakt worden dat een deel van de ventilatieluchtlozing afkomstig is van natuurlijke activiteit. Er zijn echter gevallen denkbaar dat er sprake is van een (geringe) uranium vrijzetting. Hieronder wordt dit nader toegelicht.

- Indien radonochters op de schoorsteenfilters terechtkomen dan is radiochemisch evenwicht voor de bèta-stralers ²¹⁰Pb en ²¹⁰Bi betrekkelijk snel bereikt, maar voor ²¹⁰Po is er pas na 138 dagen een ingroei van 50 % bereikt. De natuurlijke totaal bèta activiteit zal doorgaans factoren (3-7) groter zijn dan de totaal-alfa activiteit.
- Een vrijzetting van uranium zou tot een verhoging van de totaal-alfa en totaal-bèta activiteit leiden die direct na de bemonstering ongeveer van vergelijkbare grootte is. De verhouding is afhankelijk van de verrijkingsgraad. Bij verrijkt uranium is de totaal-alfa activiteit groter dan de totaal-bèta activiteit.
- De absolute totaal-bèta activiteitsconcentratie is dus niet zozeer een reden om een uranium-vrijzetting te vermoeden, maar de *verhouding alfa/bèta* is dat wel. Indien totaal alfa én totaal bèta beide dus verhoogd zijn en ongeveer gelijk aan elkaar bestaat er een vermoeden van een U-vrijzetting.

Toepassing op ventilatieluchtdata 2020 en 2021

In 2020 is er bij CSB in de monsters 2, 3, 4 en 5 een verhoging van de totaal-bèta activiteit (boven de 0,06 mBq·m⁻³). Hetzelfde geldt in 2021 voor de monsters 2, 3, 4, en 5.

In al deze gevallen is er geen sprake van een gelijktijdige totaal-alfa verhoging en betreft het hoogstwaarschijnlijk radonochters.

Bij SP4 is in 2020 de totaal-bèta activiteitsconcentratie in monster 4 en in 2021 in monsters 3, 4, 5 boven de berekende ondergrens (boven 0,18 mBq·m⁻³). De totaal-alfa activiteitsconcentratie bedraagt ongeveer 10% van de totaal-bèta activiteitsconcentratie. Dit betekent dat het hoogstwaarschijnlijk radonochters zijn.

Bij SP5 (1MA5 en 2MA5) zijn de aangetroffen activiteitsconcentraties in 2020 en 2021 zeer laag. Urenco rapporteert slechts detectiegrenzen voor totaal-alfa en totaal-bèta. RIVM vindt in enkele gevallen een totaal-

alfa activiteit in de orde van 10-20 % van de totaal-bèta activiteit. Dit betreft hoogstwaarschijnlijk radonochters.

Bij RCC zijn er slechts detectiegrenzen gerapporteerd door RIVM en Urenco voor totaal-alfa. In twee gevallen in 2020 en in drie gevallen in 2021 treft RIVM een zeer lage activiteitsconcentratie aan totaal-bèta aan, vrijwel samenvallend met de detectiegrens van Urenco.

Er is geen reden om aan te nemen dat er een uraan-vrijzetting is geweest in 2020 en 2021.

4.8 Oordeel over de contra expertise resultaten 2020-2021

De trend van deze contra expertise is dat de door RIVM en Urenco gemeten activiteitsconcentraties in afvalwater in de acht monsters laag zijn; 0,1 – 2 kBq·m⁻³ in 2020 en 0,1 – 12 kBq·m⁻³ in 2021 voor totaal-alfa. Voor totaal-bèta werd 0,3 - 2,5 kBq·m⁻³ in 2020 en 0,3 – 7,9 kBq·m⁻³ in 2021 aangetroffen.

De overeenstemming in de RIVM en Urenco resultaten was goed.

De radon exhalatie uit de betonnen oppervlakken van de fabriekshallen veroorzaken een aanzienlijk deel van de totaal bèta-activiteit op de ventilatieluchtfilters. Naast een eventuele verhoging van de totaal bèta activiteit wordt ook de verhouding totaal bèta / totaal alfa meegenomen in de beoordeling van de ventilatieluchresultaten. Na toepassing van beide criteria is het niet aannemelijk dat er, tijdens reguliere bedrijfsvoering, een uranium-vrijzetting plaatsgevonden heeft.

Tabel 12 Overzicht van contra expertise resultaten in 2020-2021

	2020	2021
Afvalwater		
- Totaal-alfa	Goed	Goed
- Totaal-bèta	Goed	Goed
- Gamma	< MDA	< MDA
Ventilatielucht		
- Totaal-alfa	Goed	< MDA
- Totaal-bèta	Redelijk/goed	Redelijk/goed
- Gamma	Nvt*	Nvt*

* De ventilatieluchtfilters worden alleen gammaspectrometrisch geanalyseerd indien een ondergrens aan totaal-alfa of totaal-bèta activiteit is overschreden. Dit is in 2020-2021 niet voorgekomen.

Bijlage A Vergelijking met meetresultaten Urenco in 2020

Afvalwater 2020

Alle meetdata afkomstig van de lozingsrapportages en de kwartaalrapportages van Urenco [11] zijn aangegeven in de kolom met erboven in vette en cursieve letters " **UNL**". Zie de disclaimer in hoofdstuk 4.

Tabel A1 Vergelijking activiteitsconcentraties totaal alfa, totaal bèta en gammastralers in afvalwater ($\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$) in 2020

Nr.	Datum	Plant	Activiteitsconcentratie (kBq/m^3) totaal- α			totaal- β		
			RIVM	V	UNL	RIVM	V	UNL
1	01 mrt	SP5	< 0,11		< 0,3	< 0,3		< 1,2
2	31 mrt	SP5	< 0,15		< 0,4	0,70 \pm 0,11	A1	0,9 \pm 0,6
3	22 jun	SP5	0,22 \pm 0,04		< 0,3	0,38 \pm 0,12		< 1,2
4	23 jun	RCC	2,0 \pm 0,2	A1	1,8 \pm 0,2	2,52 \pm 0,17	A1	2,2 \pm 0,9
5	09 sep	RCC	0,43 \pm 0,06		< 0,4	0,38 \pm 0,09		< 1,0
6	29 sep	SP5	0,21 \pm 0,05		< 0,3	0,40 \pm 0,13		< 0,9
7	06 okt	RCC	0,43 \pm 0,06	A1	0,35 \pm 0,14	0,42 \pm 0,09		< 1,2
8	08 nov	SP5	0,24 \pm 0,08		< 0,5	< 0,4		< 1,2

N.b. de detectiegrens gegeven door RIVM betreft ^{234}Th .

De RIVM-detectiegrens voor de volgende gammastralers is :

0,7 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ voor ^{60}Co en ^{137}Cs , en 3 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ voor ^{235}U .

Tabel A1 (Vervolg)

Nr.	Datum	Plant	Activiteitsconcentratie (kBq/m^3) γ -stralers		
			RIVM*	V	UNL #
1	01 mrt	SP5	< 1,9		< 2,30
2	31 mrt	SP5	< 1,9		< 1,67
3	22 jun	SP5	< 1,9		< 2,25
4	23 jun	RCC	< 2,1		< 2,28
5	09 sep	RCC	< 5,8		< 2,17
6	29 sep	SP5	< 2,0		< 1,62
7	06 okt	RCC	< 2,0		< 2,34
8	08 nov	SP5	< 5,8		< 1,58

* De detectiegrenzen zijn van ^{234}Th .

Urenco rapporteert totaal-gamma.

Tabel A2 Nuclidenbibliotheek gebruikt voor bepaling van gammastralers

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

* Volgens KTA 1503.1 en KTA 1504 te onderzoeken nucliden [3, 4]

† Volgens KTA 1504 te onderzoeken nucliden [4]

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

Ventilatielucht 2020Tabel A3 Meetresultaten activiteitsconcentraties van totaal alfa in ventilatielucht ($\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$)

Totaal-alfa Periode 2020	SP4			SP5-1MA5		SP5-2MA5	
	RIVM	V	UNL	RIVM	UNL	RIVM	UNL
26 jan - 02 feb	0,019 ± 0,005		< 0,02	< 0,03	< 0,07	0,047 ± 0,013	< 0,09
15 mrt - 22 mrt	0,010 ± 0,003		< 0,015	< 0,03	< 0,06	< 0,04	< 0,07
17 mei - 24 mei	0,035 ± 0,004	A1	0,039 ± 0,004	0,028 ± 0,010	< 0,07	0,041 ± 0,012	< 0,08
16 aug - 23 aug	0,021 ± 0,003	A2	0,017 ± 0,002	0,030 ± 0,010	< 0,05	0,030 ± 0,011	< 0,07
25 okt - 01 nov	0,010 ± 0,002	A1	0,012 ± 0,002	< 0,03	< 0,06	< 0,04	< 0,07

Tabel A3 (vervolg)

Totaal-alfa Periode 2020	CSB			RCC	
	RIVM	V	UNL	RIVM	UNL
26 jan - 02 feb	0,0064 ± 0,0012		< 0,007	< 0,005	< 0,010
15 mrt - 22 mrt	0,0058 ± 0,0011	A2	0,0094 ± 0,002	< 0,006	< 0,008
17 mei - 24 mei	0,0077 ± 0,0014		< 0,007	< 0,006	< 0,011
16 aug - 23 aug	0,0104 ± 0,0014	A2	0,0085 ± 0,001	< 0,005	< 0,009
25 okt - 01 nov	0,0069 ± 0,0012		< 0,006	< 0,005	< 0,009

Tabel A4 Vergelijking activiteitsconcentraties totaal bèta in ventilatielucht ($\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$)

Totaal-bèta Periode 2020	SP4			SP5-1MA5		SP5-2MA5	
	RIVM	V	UNL	RIVM	UNL	RIVM	UNL
26 jan - 02 feb	0,074 ± 0,009		< 0,07	0,19 ± 0,02	< 0,3	0,25 ± 0,03	< 0,3
15 mrt - 22 mrt	0,112 ± 0,009		< 0,07	0,27 ± 0,03	< 0,3	0,22 ± 0,03	< 0,4
17 mei - 24 mei	0,107 ± 0,008	C	0,157	0,22 ± 0,02	< 0,3	0,23 ± 0,03	< 0,3
16 aug - 23 aug	0,169 ± 0,010	A2	0,196	0,21 ± 0,02	< 0,3	0,24 ± 0,03	< 0,3
25 okt - 01 nov	0,124 ± 0,008	C	0,164	0,26 ± 0,03	< 0,3	0,21 ± 0,03	< 0,3

Tabel A4 (vervolg)

Totaal-bèta Periode 2020	CSB			RCC		
	RIVM	V	UNL	RIVM	V	UNL
26 jan - 02 feb	0,053 ± 0,004	A1	0,054 ± 0,004	< 0,017		< 0,04
15 mrt - 22 mrt	0,065 ± 0,004	A1	0,069 ± 0,004	< 0,018		< 0,04
17 mei - 24 mei	0,065 ± 0,004	B	0,085 ± 0,006	< 0,018		< 0,04
16 aug - 23 aug	0,098 ± 0,006	C	0,132 ± 0,008	0,034 ± 0,005		< 0,04
25 okt - 01 nov	0,061 ± 0,004	A2	0,068 ± 0,005	0,042 ± 0,005		< 0,04

Bijlage B Vergelijking met meetresultaten Urenco in 2021

Afvalwater 2021

Alle meetdata afkomstig van de lozingsrapportages en de kwartaalrapportages van Urenco [11] zijn aangegeven in de kolom met erboven in vette en cursieve letters " **UNL**". Zie de disclaimer in hoofdstuk 4.

Tabel B1 Vergelijking activiteitsconcentraties totaal alfa, totaal bèta en gammastralers in afvalwater (kBq·m⁻³) in 2021

Activiteitsconcentratie (kBq/m ³) totaal-α			totaal-β					
Nr.	Datum	Plant	RIVM	V	UNL	RIVM	V	UNL
1	04 feb	CSB	8,8 ± 0,9	A2	7,6 ± 0,7	6,4 ± 0,4	B	9,2 ± 1,2
2	01 apr	CSB	12,1 ± 1,2	A1	12,2 ± 1,1	7,5 ± 0,4	A1	7,9 ± 1,2
3	29 jun	RCC	0,26 ± 0,05		< 0,3	< 0,3		< 1,2
4	06 jul	SP5	0,84 ± 0,10	A2	1,2 ± 0,3	0,80 ± 0,10	A1	1,4 ± 0,6
5	21 aug	SP4	0,17 ± 0,04		< 0,3	< 0,3		< 1,0
6	29 sep	SP5	< 0,13		< 0,3	< 0,3		< 1,2
7	25 nov	RCC	0,79 ± 0,09	A2	0,50 ± 0,15	0,51 ± 0,08	A1	1,3 ± 0,8
8	26 nov	SP5	< 0,18		< 0,2	< 0,3		< 1,1

N.b. de detectiegrens gegeven door RIVM betreft ²³⁴Th.

De RIVM-detectiegrens voor de volgende gammastralers is :

0,7 kBq·m⁻³ voor ⁶⁰Co en ¹³⁷Cs , en 3 kBq·m⁻³ voor ²³⁵U.

Tabel B1 (Vervolg)

Activiteitsconcentratie (kBq/m ³)			γ-stralers	
Nr.	Datum	Plant	RIVM*	V UNL #
1	04 feb	CSB	< 2,1	6 ± 3
2	01 apr	CSB	< 2,2	6 ± 2
3	29 jun	RCC	< 4,5	< 1,39
4	06 jul	SP5	< 2,0	< 1,51
5	21 aug	SP4	< 5,8	< 1,51
6	29 sep	SP5	< 4,5	< 1,50
7	25 nov	RCC	< 2,0	< 2,20
8	26 nov	SP5	< 4,4	< 1,48

* De detectiegrenzen zijn van ²³⁴Th.

Urenco rapporteert totaal-gamma.

Ventilatielucht 2021*Tabel B2 Meetresultaten activiteitsconcentraties van totaal alfa in ventilatielucht (mBq·m⁻³)*

Totaal-alfa Periode 2021	SP4			SP5-1MA5			SP5-2MA5		
	RIVM	V	UNL	RIVM	V	UNL	RIVM	V	UNL
17 jan - 24 jan	< 0,014		< 0,02	< 0,03		< 0,06	< 0,03		< 0,07
11 apr - 18 apr	< 0,013		< 0,02	< 0,03		< 0,07	< 0,03		< 0,07
20 jun - 27 jun	0,014 ± 0,002		< 0,011	< 0,03		< 0,06	< 0,04		< 0,07
26 sep - 03 okt	0,021 ± 0,003		< 0,018	< 0,03		< 0,07	< 0,04		< 0,08
14 nov - 21 nov	0,019 ± 0,003		< 0,018	< 0,03		< 0,06	0,029 ± 0,010		< 0,05

Tabel B2 (vervolg)

Totaal-alfa Periode 2021	CSB			RCC	
	RIVM	V	UNL	RIVM	UNL
17 jan - 24 jan	0,0059 ± 0,0013		< 0,007	< 0,005	< 0,009
11 apr - 18 apr	0,0073 ± 0,0013		< 0,006	< 0,005	< 0,009
20 jun - 27 jun	0,0055 ± 0,0012	A2	0,008 ± 0,002	< 0,005	< 0,007
26 sep - 03 okt	0,0084 ± 0,0014		< 0,007	< 0,005	< 0,009
14 nov - 21 nov	0,0156 ± 0,0018	A2	0,013 ± 0,0015	< 0,005	< 0,009

Tabel B3 Vergelijking activiteitsconcentraties totaal bèta in ventilatielucht (mBq·m⁻³)

Totaal-bèta Periode 2021	SP4			SP5-1MA5		SP5-2MA5	
	RIVM	V	UNL	RIVM	UNL	RIVM	UNL
17 jan - 24 jan	0,153±0,013	B	0,114 ± 0,010	0,25 ± 0,03	< 0,3	0,27 ± 0,03	0,3
11 apr - 18 apr	0,147±0,013	A1	0,165 ± 0,014	0,28 ± 0,03	< 0,3	0,17 ± 0,03	0,3
20 jun - 27 jun	0,135±0,008	B	0,178 ± 0,015	0,21 ± 0,02	< 0,3	0,22 ± 0,03	0,3
26 sep - 03 okt	0,268±0,014	B	0,35 ± 0,03	0,20 ± 0,03	< 0,3	0,25 ± 0,03	0,4
14 nov - 21 nov	0,213±0,013	A1	0,21 ± 0,018	0,25 ± 0,02	< 0,3	0,14 ± 0,019	0,2

Tabel B3 (vervolg)

Totaal-bèta Periode 2021	CSB			RCC		
	RIVM	V	UNL	RIVM	V	UNL
17 jan - 24 jan	0,045 ± 0,004		< 0,03	< 0,016		< 0,04
11 apr - 18 apr	0,071 ± 0,005	B	0,091 ± 0,006	0,039 ± 0,004		< 0,04
20 jun - 27 jun	0,076 ± 0,005	A2	0,085 ± 0,005	0,032 ± 0,004		< 0,04
26 sep - 03 okt	0,105 ± 0,006	C	0,135 ± 0,008	0,042 ± 0,005		< 0,04
14 nov - 21 nov	0,106 ± 0,006	C	0,154 ± 0,009	< 0,016		< 0,04

Bijlage C Urenco analyse van afvalwatermonsters voor lozing op het riool

Ontvangen januari 2021; versie 02.

Nummer: I 1.2.5-070
 Revisie: 02
 Datum: 15-01-2019
 Pagina: 1 van 10

UNL
 Instructie



Indien geprint, controleer of dit de laatste versie is

ANALYSE VAN AFVALWATER VOOR LOZING OP HET RIOOL

	Opgesteld	Gecontroleerd	Vrijgegeven
Naam:	W.H. Velthuis <small>4-4-2018</small>	B. Kamp <small>4-4-2018</small>	J. Koop <small>2-9-2018</small>
Handtekening:	X W.H. Velthuis <small>W.H. Velthuis</small> <small>Controleerd door W.H. Velthuis</small>	X B. Kamp <small>B. Kamp</small> <small>Controleerd door B. Kamp</small>	X J.H. Koop <small>J. Koop</small> <small>Controleerd door J.H. Koop</small>
Reden wijziging:	Algemene update		

1 DOEL

Het vastleggen van alle handelingen die nodig zijn om afvalwatermonsters van afvalwatertanks, met als doel lozing op het riool, te analyseren op de pH en op aanwezigheid van radionucliden.

2 SCOPE

Deze instructie geldt voor monsters afkomstig van afvalwatertanks waarvan het water zal worden geloosd op het riool.

Deze instructie geldt niet voor afvalwatertanks van het SIB.

De 1 liter afvalwatergeometrie, gebruikt voor de gamma-analyse, is tevens het monster dat ter beschikking wordt gesteld aan het RIVM.

3 DEFINITIES

CS-PA	Chemistry Services Production Analysis
QC	Quality Control
LIMS	Laboratorium Informatie Management Systeem
SIB	Stable Isotopes Building
FWHM	Full Width at Half Maximum

4 VERANTWOORDELIJKHEDEN

Het is de taak van de analyst CS-PA de in deze instructie aangegeven werkzaamheden te volgen. De leidinggevende CS-PA controleert dat de werkzaamheden in overeenstemming met deze instructie worden uitgevoerd en beoordeelt de resultaten.

In geval van twijfel bij handelingen volgens deze instructie moet de analyst CS-PA contact opnemen met de leidinggevende CS-PA.

5 WERKWIJZE

Een gecertificeerde uraniumstandaardoplossing is noodzakelijk voor de analyse van de volumieke alfa- en bèta-activiteit. Voor de controle van de pH meter wordt gebruikt gemaakt van gecertificeerde buffers. De aangeboden monsters dienen als zijnde radioactief behandeld te worden. De germaniumdetectoren dienen te beschikken over een geldige kalibratiecontrole- en achtergrondmeting voordat de analyse wordt uitgevoerd. Een FHT 8000 in combinatie met een platenwisselaar wordt gebruikt voor het bepalen van de volumieke alfa- en bèta-activiteit.

De aan te leveren hoeveelheid monster is 2 liter.

Nummer: I 1.2.5-070
 Revisie: 02
 Datum: 15-01-2019
 Pagina: 2 van 10

UNL
 Instructie



Indien geprint, controleer of dit de laatste versie is

5.1 Benodigheden

Materialen en apparatuur

FHT-8000
 Germanium detector
 pH-meter
 Droogstoof
 100 µl finnpipet
 250 ml en 1 l kunststof monsterpot met deksel
 RVS afvalwaterplaten
 Huishoudfolie
 Scotch Brite
 100 ml kunststof bekens
 100 ml maatcilinder
 kunststof roerstaafje

Chemicaliën

65% salpeterzuur (HNO₃)
 33% Natronloog (NaOH)
 Iso-propanol
 Vloeibare zeep
 Vloeibaar schuurmiddel

Standaarden

Buffer pH 4
 Buffer pH 7
 Buffer pH 10
 Gecertificeerde uraan standaard
 2,00 KBq
 QC plaat voor
 QC plaat na

Beide QC platen worden door CS-EA beschikbaar gesteld.

5.2 Oplossingen

0.33% NaOH oplossing

- Vul een maatkolf van 100 ml voor de helft met Milli-Q water.
- Voeg met een finnpipet 1 ml 33% NaOH toe en vul aan met Milli-Q water tot 100 ml.

3.3% NaOH oplossing

- Vul een maatkolf van 100 ml voor de helft met Milli-Q water.
- Voeg met een finnpipet 10 ml 33% NaOH toe en vul aan met Milli-Q water tot 100 ml.

0.65% HNO₃ oplossing

- Vul een maatkolf van 100 ml voor de helft met Milli-Q water.
- Voeg met een finnpipet 1 ml 65% HNO₃ toe en vul aan met Milli-Q water tot 100 ml.

6.5% HNO₃ oplossing

- Vul een maatkolf van 100 ml voor de helft met Milli-Q water.
- Voeg met een finnpipet 10 ml 65% HNO₃ toe en vul aan met Milli-Q water tot 100 ml.

5.3 Handelingen

pH-meting

- Controleer de pH-meter met de pH 7 buffer. Zie voor het criterium paragraaf 5.5.
- Kalibreer de pH meter indien de controlemeting niet voldoet aan het criterium met pH 4 buffer en pH 10 buffer.
- Bepaal de pH van het monster. Zie voor het criterium paragraaf 5.5.
- Rapporteer, indien de pH voldoet aan het criterium de pH in het LIMS en ga verder met de volgende analyse.
- Wijk de pH af breng het monster dan met resp. NaOH (te lage pH) danwel HNO₃ (te hoge pH) op de gewenste waarde. Maak hiervoor een keuze uit de volgende oplossingen. 0.33% NaOH, 3.3% NaOH, 0.65%HNO₃ danwel 6.5% HNO₃.
- Breng hiertoe met een maatcilinder 100 ml monster over in een kunststof bekerglas van 250 ml en voeg in stapjes 100 µl van genoemde oplossingen toe. Net zolang dat de gewenste waarde heeft bereikt..
- Bereken aan de hand van de opgegeven tankinhoud de hoeveelheid toe te voegen 33% NaOH of 65% HNO₃. Gebruik hiervoor de excelsheet "berekeningen".

Nummer: I 1.2.5-070
 Revisie: 02
 Datum: 15-01-2019
 Pagina: 3 van 10

UNL
 Instructie



Indien geprint, controleer of dit de laatste versie is

- Rapporteer het volume in LIMS. Voer geen verdere analyses uit aan dit monster en wacht op nieuw monstermateriaal.

Voorbehandeling monster analyse op α -, β - en γ -activiteit.

- Voeg aan het monster met een dispenser 30 ml 65% HNO_3 toe en homogeniseer.
- Plaats het monster voor 24 uur in een droogstoof van 65 °C.
- Vul, na verwijdering uit de stoof, het nog warme monster in een kunststof monsterpot van 1 liter. Deze liter wordt gebruikt voor de analyse op γ -activiteit. De achter gebleven hoeveelheid monster wordt gebruikt voor de analyse op α - en β -activiteit.
- Laat beide monsterpotten afkoelen tot kamertemperatuur.

Analyse op volumieke bepaling α - en β -activiteit.

- Reinig 9 RVS-afvalwaterplaten met scotch brite en een vloeibaar schuurmiddel en spoel na met iso-propanol.
- Voer de analyse in triplo uit. Gebruikt 3 blanco afvalwaterplaten, 3 standaard afvalwaterplaten en 3 monster afvalwaterplaten. Plaats alle platen, na markeren met LIMS-ID, in de stoof bij 65 °C.
- Voer in triplo uit:
Voeg met een maatcilinder 100 ml monster in een kunststof beker van 100 ml. Voeg een druppel vloeibare zeep toe en homogeniseer met het kunststof roerstaafje. Schenk deze oplossing uit op een monster afvalwaterplaat.
- Voer in triplo uit:
Voeg met een maatcilinder 100 ml monster in een kunststof beker van 100 ml. Voeg een druppel zeep en 100 μl gecertificeerde uraan standaard (2,00 KBq) toe en homogeniseer met het kunststof roerstaafje. Schenk deze oplossing uit op een standaard afvalwaterplaat.
- Op de drie blanco afvalwaterplaten wordt geen vloeistof uitgegoten.
- Giet het resterende monster over in een 250 ml kunststof monsterpot met deksel.
- Laat de platen tenminste een nacht in de stoof liggen, totdat alle vloeistof is verdampt. De platen dienen volledig droog te zijn wanneer deze uit de stoof worden gehaald voordat tot analyse wordt overgegaan.
- Plaats de platen op de platenwisselaar van de FHT8000. Het monster dat als eerste geanalyseerd dient te worden (= QC plaat voor) dient ook als eerste geplaatst te worden. De overige monsters worden bovenop de eerste plaat gelegd.
- Bouw de sequence op volgens onderstaande tabel.

Positie autosampler	Naam
11	QC plaat na
10	Blanco 1
9	Monster 1
8	Monster 2
7	Monster 3
6	Blanco 2
5	Standaard 1
4	Standaard 2
3	Standaard 3
2	Blanco 3
1	QC plaat voor

Nummer: I 1.2.5-070
 Revisie: 02
 Datum: 15-01-2019
 Pagina: 4 van 10

UNL
 Instructie



Indien geprint, controleer of dit de laatste versie is

- Analyseer de monsters. De te hanteren telltijden zijn:
 Blanco: 300 minuten.
 Monster: 200 minuten.
 Standaard: 10 minuten.
 QC-analyse voor/na, 10 minuten.
- Bereken de α - en β -activiteit, met bijbehorende fout van de QC en de monsters in cpm. Deze berekening wordt uitgevoerd met behulp van de FHT-8000 software.
- Print de meetdata.
- Rapporteer de resultaten van de QC's in LIMS. De software configureert automatisch een shewartkaart van de ingevoerde data. Controleer de QC aan de hand van de criteria genoemd in paragraaf 5.5.
- Rapporteer (bij goedkeuren QC) de resultaten van de monsters, inclusief bijbehorende fout, in LIMS.

Analyse op volumieke γ -activiteit

- Wikkel de monsterfles (van 1 liter) in huishoudfolie.
- Plaats de monsterfles op het midden van de detector in het loodkasteel.
- Maak een nieuw monster aan in de APEX-software van de meetopstelling door te klikken op het icoon "sample".
- Geef bij "sample-ID" het LIMS-ID in.
- Geef bij "description" het tanknummer in.
- Klik in "procedure selection" op "afvalwater" en selecteer vervolgens "afvalwatermeting". Klik op "next".
- Geef "1" in bij "quantity" met als eenheid liters en klik vervolgens op "save".
- Start de analyse op het "main"-scherm. De telltijd van de analyse bedraagt 100.000 seconden.
- Na afloop van de analyse wordt het resultaat automatisch berekend en uitgeprint.
- Controleer in het rapport onder "interference corrected report" of radionucliden die gedefinieerd zijn in de nuclidenbibliotheek (bijlage 1) zijn aangetoond. Een nuclide wordt als aangetoond beschouwd indien de "nuclide id confidence" > 0.9 is en indien de "wt mean activity (Bq/liters)" groter is dan de "nuclide MDA (Bq/liters)" in het "nuclide MDA rapport". Zie ook paragraaf 5.5.
- Controleer in het rapport onder "unidentified peaks" of andere dan in de nuclidenbibliotheek opgenomen radionucliden zijn aangetroffen volgens bovenstaande criteria.
- Voer de resultaten in LIMS in. Indien geen radionucliden worden aangetroffen wordt de minimale detectie voor ^{234}Th , zoals overeengekomen met het RIVM, ingevoerd. Indien wel een radionuclide wordt aangetroffen geef dan het resultaat in Bq/l in LIMS in met de in het rapport vermelde fout in %. Deze fout wordt met een betrouwbaarheidscoëfficiënt van $k = 2$ vermeld. Indien meer dan 1 radionuclide wordt aangetroffen, sommeer de activiteiten in Bq/l en bereken de bijbehorende fout.
- Vermeld in LIMS ook de aangetroffen radionucliden met de activiteit in Bq/l en de bijbehorende onzekerheid in Bq/l.

Rapportage

- Print in LIMS een formulier voor vrijgave van afvalwater (bijlage 3) uit en laat deze ondertekenen door de leidinggevende.
- Archiveer de rapporten en ruwe data in de betreffende map.
- Print in LIMS de identificatiestickers (bijlage 2) uit en plak deze op de bij de gammaspectrometrische analyse gebruikte monsterspot en op de monsterpot met het resterende monster.
- Bewaar de monsters, ieder kwartaal worden de monsters overgedragen aan CS-EA.

Nummer: I 1.2.5-070
 Revisie: 02
 Datum: 15-01-2019
 Pagina: 5 van 10

UNL
 Instructie



Indien geprint, controleer of dit de laatste versie is

5.4 Berekeningen

Berekening fout in de sommatie van radionucliden

$$C_v = \frac{\sqrt{\sum S_{g,x}^2}}{\sum A_x} \times 100$$

C_v : Variatiecoëfficiënt behorende bij de sommatie van de aangetroffen radionucliden (%)
 $S_{g,x}$: Fout van de afzonderlijke gammastralers (Bq/l)
 A_x : Volumiek activiteit van de aangetroffen en radionucliden (Bq/l)

Foutenberekening α - en β -analyse

De hieronder beschreven berekening geldt zowel voor het berekenen van de fout in de α - als de β -analyse.

Variatiecoëfficiënt in het telrendement.

De basis voor de berekening volgt uit de formule voor het berekenen van het telrendement.

$$\varepsilon = \frac{R_s - R_m}{A_s} = \frac{\Delta_1}{A_s} \Rightarrow \frac{S_\varepsilon}{\varepsilon} = \sqrt{\left(\frac{S_{\Delta_1}}{\Delta_1}\right)^2 - \left(\frac{S_{A_s}}{A_s}\right)^2}$$

ε : telrendement ($s^{-1}Bq^{-1}$)
 R_s : Teltempo van de standaard (s^{-1})
 R_m : Teltempo van het monster (s^{-1})
 A_s : Activiteit van de toegevoegde standaard (Bq)
 Δ_1 : Netto teltempo van de standaard afvalwater (s^{-1})
 $\frac{S_\varepsilon}{\varepsilon}$: Variatiecoëfficiënt in het telrendement van de telopstelling
 $\frac{S_{\Delta_1}}{\Delta_1}$: Variatiecoëfficiënt van het teltempo van de standaard afvalwater
 $\frac{S_{A_s}}{A_s}$: Variatiecoëfficiënt van de toegevoegde standaard (= 0,025)

Standaarddeviatie van het netto teltempo van de standaard.

$$S_{\Delta_1} = \sqrt{(S_{R_s})^2 + (S_{R_m})^2}$$

S_{Δ_1} : Standaarddeviatie van het netto teltempo van de standaard afvalwater (s^{-1})
 S_{R_s} : Standaarddeviatie van de standaard afvalwater (s^{-1})
 S_{R_m} : Standaarddeviatie van het monster (s^{-1})

Nummer: I 1.2.5-070
 Revisie: 02
 Datum: 15-01-2019
 Pagina: 6 van 10

UNL
 Instructie



Indien geprint, controleer of dit de laatste versie is

Standaarddeviatie van de standaard afvalwater.

$$S_{R_s} = \frac{1}{\sqrt{n_s}} \times \sqrt{\frac{R_s}{t_s} + (f_{exp} \times R_s)^2}$$

- S_{R_s} : Standaarddeviatie van de standaard afvalwater (s⁻¹)
 n_s : Aantal resultaten van de standaard afvalwaterplaten waarover gemiddeld is
 R_s : Teltempo van de standaard afvalwater (s⁻¹)
 t_s : Teltijd van de standaard afvalwater (s)
 f_{exp} : Experimentele variatiecoëfficiënt. Deze is voor $\alpha = 0,035$ en voor $\beta = 0,02$

Standaarddeviatie van het monster

$$S_{R_m} = \frac{1}{\sqrt{n_m}} \times \sqrt{\frac{R_m}{t_m} + (f_{exp} \times R_m)^2}$$

- S_{R_m} : Standaarddeviatie van het monster (s⁻¹)
 n_m : Aantal resultaten van de monster platen waarover gemiddeld is
 R_m : Teltempo van het monster (s⁻¹)
 t_m : Teltijd van het monster (s)
 f_{exp} : Experimentele variatiecoëfficiënt. Deze is voor $\alpha = 0,035$ en voor $\beta = 0,02$

Variatiecoëfficiënt van de volumieke activiteit.

De basis voor de berekening volgt uit de formule voor het berekenen van de volumieke activiteit inclusief de experimentele fout.

$$A_m = \frac{R_m - R_0}{\varepsilon \times V} = \frac{\Delta_2}{\varepsilon \times V} \Rightarrow \frac{S_{A_m}}{A_m} = k \sqrt{\left(\frac{S_{\Delta_2}}{\Delta_2}\right)^2 + \left(\frac{S_\varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{S_V}{V}\right)^2} \times 100$$

- A_m : Volumieke activiteit van het monster (Bq/l)
 ε : Telrendement van de telopstelling (s⁻¹Bq⁻¹)
 R_m : Teltempo van het monster (s⁻¹)
 R_0 : Teltempo van de blanco (s⁻¹)
 V : Opgebracht monstervolume (l)
 Δ_2 : Netto teltempo van het monster (s⁻¹)
 $\frac{S_{A_m}}{A_m}$
 $\frac{S_{\Delta_2}}{\Delta_2}$: Variatiecoëfficiënt van de volumieke activiteit
 k : Betrouwbaarheidscoëfficiënt ($k = 2$)
 $\frac{S_{\Delta_2}}{\Delta_2}$
 $\frac{S_\varepsilon}{\varepsilon}$: Variatiecoëfficiënt van het telrendement van de telopstelling
 $\frac{S_V}{V}$: Variatiecoëfficiënt in het volume (=0,01)

Nummer: I 1.2.5-070
 Revisie: 02
 Datum: 15-01-2019
 Pagina: 7 van 10

UNL
 Instructie



Indien geprint, controleer of dit de laatste versie is

Standaarddeviatie van het netto teltempo van het monster.

$$S_{\Delta_2} = \sqrt{(S_{R_2})^2 + (S_{R_0})^2}$$

- S_{Δ_2} : Standaarddeviatie van het netto teltempo van het monster (s^{-1})
 S_{R_2} : Standaarddeviatie van het monster (s^{-1})
 S_{R_0} : Standaarddeviatie van de blanco (s^{-1})

Standaarddeviatie van de blanco.

$$S_{R_0} = \frac{1}{\sqrt{n_0}} \times \sqrt{\frac{R_0}{t_0}}$$

- S_{R_0} : Standaarddeviatie van de blanco (s^{-1})
 n_0 : Aantal resultaten van de monster afvalwater platen waarover gemiddeld is
 t_0 : Teltijd van de blanco (s)

Berekening van de laagst aantoonbare activiteit

De hieronder beschreven berekening geldt zowel voor het berekenen van de fout in de α - als de β -analyse

Laagst aantoonbare activiteit

$$A_{min} = \frac{k}{\epsilon} \sqrt{\frac{R_{0,m}}{t_m} \times \left(1 + \frac{t_m}{t_{0,m}}\right)}$$

- A_{min} : Laagst aantoonbare activiteit van de afvalwaterplaten (Bq)
 $R_{0,m}$: Teltempo van de blanco (s^{-1})
 t_m : Meettijd van het monster (s)
 $t_{0,m}$: Meettijd van de blanco (s)
 k : Betrouwbaarheidscoëfficiënt ($k=3$)
 ϵ : Telrendement van de opstelling

Laagste aantoonbare volumieke activiteit.

$$C_{A_{min}} = \frac{A_{min}}{V}$$

- $C_{A_{min}}$: Laagste aantoonbare volumieke activiteit van het monster (Bq/l)
 A_{min} : Laagste aantoonbare activiteit van de afvalwaterplaten (Bq)
 V : Volume van het ingedampte monster (l)

Nummer: I 1.2.5-070
 Revisie: 02
 Datum: 15-01-2019
 Pagina: 8 van 10

UNL
 Instructie



Indien geprint, controleer of dit de laatste versie is

5.5 Kwaliteit

	Criterion
QC pH	6.9 < QC < 7.1
pH monster	6.05 < pH monster < 10
Accuracy FHT-8000	3s-grens controlekaart
Prestatie indicatoren germanium detector	3s-grens controlekaart
Nuclide id confidence	> 0.9
Aantoonbaarheidsgrens	Nuclide MDA ²³⁴ Th
Losingswaarde α-resultaat	< 75 kBq / m ³
Losingswaarde β- en γ-resultaat	< 800 kBq / m ³

Reproduceerbaarheid FHT-8000 machines. Vastgesteld in januari 2019.

Machine	QC	Counts	RSD (%)
1U21	α-voor	3683	0.62
	α-na	2896	1.17
	β-voor	3000	0.63
	β-na	3741	0.54
1U62	α-voor	2312	0.82
	α-na	2966	0.89
	β-voor	2076	0.80
	β-na	2879	0.63

Prestatie indicatoren germanium detectoren vastgesteld in januari 2019.

Detector	Parameter	Waarde (keV)	RSD (%)
1MA1	FWHM 105	0.610	1,58
	FWHM 1274	1.623	1,28
	Activiteit ¹⁵⁵ Eu	44701	1,22
	Activiteit ²² Na	51121	1,06
1U5	FWHM 105	0.614	1,46
	FWHM 1274	1.783	1,68
	Activiteit ¹⁵⁵ Eu	53515	0,56
	Activiteit ²² Na	53118	0,88

6 REFERENTIES

- Inleiding tot de stralingshygiëne. Hoofdstuk 10-
A.J.J. Bos, F.S. Draaisma, W.J.C. Okx en C.E. Rasmussen.
- Excel-sheet "berekeningen"

Bijlage D Analyse van ventilatielucht door Urenco

Het off-line analyseren van bestofte glasfaserfilters op alfa- en bèta-totaal activiteit met behulp van een groot oppervlak Ar-CH₄ meetopstelling

2 WERKWIJZE

Analyse-voorbereiding:

De te analyseren filters dienen voor analyse tenminste 1 week opgeslagen te worden.

Op de analyse-envelop dienen de volgende gegevens aanwezig te zijn:

- plant en monitornummer
- beginstand flowmeter
- eindstand flowmeter
- data filterwisseling (ook aangegeven op het filter zelf)
- reden filterwisseling

Indien één of meer van deze voorwaarden niet aanwezig of onduidelijk is moet contact worden opgenomen met de operationeel beheerder.

Controleer of het filter onbeschadigd is en of het filter bestoft is aan één zijde.

Controleer of het filter regelmatig over het oppervlak bestoft is.

Indien er een afwijking is, dient de operationeel beheerder gewaarschuwd te worden voor een correctieve actie.

Controleer of de beschikbare "ArCH₄ Proportionele Telkamer

Meetopstelling" juist werkt:

- Er dient vooraf aan de meting een "nulmeting" uitgevoerd te zijn. Deze nulmeting mag niet ouder zijn dan één week. De teltijd voor deze meting is minimaal 200 minuten.
- Er dient een "Quality Control meting" uitgevoerd te worden met een "alfa wide area reference source UAR 17021 Uranium 238" bij iedere serie metingen.

Analyse:

Plaats de te meten filter(s) in de "ArCH₄ Proportionele Telkamer Meetopstelling".

Teltijd is minimaal 100 minuten. Start de meetsequence. Aan het eind van de analyse(s) dienen tenminste de volgende meetresultaten opgeslagen worden in een database bestand op het chemical laboratory:

- alfa pulsen in cpm (netto)
- bèta pulsen in cpm (netto)
- monitor nummer
- datum analyse
- begindatum van filtermonster, einddatum van filtermonster

De analyseresultaten worden tenminste 5 jaar gearchiveerd in LIMS. Stuur de geanalyseerde filters naar CS-EA in de originele analyse-envelop. De geanalyseerde filters worden door CS-EA opgeslagen.

Bijlage E RIVM schatting van radon exhalatie van Urenco fabriekshallen; situatie in 2019

In de onderstaande tabel zijn de variabelen zoals door RIVM gedefinieerd in [12] toegepast op de genoemde Urenco-fabriekshallen.

Tabel D1 Schatting van radonexhalatie in de bedrijfshallen SP4, SP5 en CSB.

variabelen (eenheid):	SP4	SP5 1MA	SP5 2MA	CSB
Area-beton (m ²)	6,00E+03	8,00E+03	6000	3150
Exhalatie-beton (Bq·s ⁻¹ per m ²)	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04
Productie-radon (Bq·s ⁻¹)	3,0	4,0	3,0	1,575
Flow door gebouw (m ³ ·s ⁻¹)	15	60	45	24,5
Deelflow door UNL-filter (m ³ ·week ⁻¹)	8000	1400	1400	14800
Deelflow door UNL filter (m ³ ·s ⁻¹)	0,0132	0,0023	0,0023	0,0245
Deelflow door geponst filter (m ³ ·week ⁻¹)	480	85	85	530
Deelflow door geponst filter (m ³ ·s ⁻¹)	0,00079	0,00014	0,0001	0,0009
Volume van gebouw (m ³)	4,46E+05	3,20E+05	2,40E+05	64512
Ventilatievoud (s ⁻¹)	3,43E-05	1,88E-04	1,88E-04	3,79E-04
Lambda radon (s ⁻¹)	2,10E-06	2,10E-06	2,10E-06	2,10E-06
lambda ²¹⁰ Pb (s ⁻¹)	1,00E-09	1,00E-09	1,00E-09	1,00E-09
lambda ²¹⁰ Po (s ⁻¹)	5,80E-08	5,80E-08	5,80E-08	5,80E-08
Act Rn (Bq·m ⁻³)	3,2	3,1	3,1	3,1
Act Rn-buiten (Bq·m ⁻³)	3,0	3,0	3,0	3,0
Conc radondochters (N·m ⁻³)	9,32E+04	1,64E+04	1,64E+04	8,08E+03
Act (²¹⁰ Pb) [Bq UNL-filter,week ⁻¹]	0,75	0,02	0,02	0,12
RIVM-filter (mBq·week ⁻¹)	44,7	1,4	1,4	4,3
RIVM-filter (berekend mBq·m ⁻³)	0,09	0,016	0,016	0,008
RIVM-filter (gemeten mBq·m ⁻³)	0,03 - 0,5	< 0,11	< 0,12	0,03 - 3,5

* Gegevens voor SP5 aangeleverd door Urenco:

- Flow door gebouw = 54000 m³·h⁻¹ per hal
- SP5 filter 1 betreft 4 hallen
- SP5 filter 2 betreft 3 hallen (situatie 2019).
- Betonoppervlak SP5 is ~2000 m² per hal
- Deelflow door SP5 UNL-filter : 1400 m³·week⁻¹.

Referenties

- 1 Project M/390120/19/SM – Jaarplan 2020; besproken op 12-12-2019 met P. Arends (ANVS); aangepaste versie op 9-1-2020 akkoord bevonden.
Project M/390220/21/CE – Jaarplan 2021; besproken op 16-12-2020 met P. Arends (ANVS); aangepaste versie op 13-1-2021 akkoord bevonden.
- 2 Kwakman PJM. Contra-expertise op bepalingen van radioactiviteit van afvalwater en ventilatielucht van Urenco Nederland B.V. Periode 2019. RIVM rapport 2021-0024.
- 3 KTA 1503.1. Überwachung der Ableitung gasförmiger und an Schwebstoffen gebundener radioaktiver Stoffe. Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb, KTA, 2016-11.
- 4 KTA 1504. Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser. KTA, 2017-11.
- 5 NEN 5623. Radioactiviteitsmetingen - Bepaling van de activiteit van gammastraling uitzendende nucliden in een telmonster met halfgeleider-gammaspectrometrie. NEN, Delft.
- 6 Prestatiekenmerken van een eigen methode : De bepaling van totaal-alfa en totaal-beta in afvalwater. GJ Knetsch, juli 2007, Laboratorium voor Stralingsonderzoek, RIVM (niet openbaar).
- 7 NEN 5636. Radioactiviteitsmetingen. Bepaling van de kunstmatige totaal alfa-, kunstmatige totaal bèta-activiteit en gammaspectrometrie van luchtfilters en berekening van de volumieke activiteit van de bemonsterde lucht. NEN, Delft.
- 8 NEN 1047. Receptbladen voor de statistische verwerking van waarnemingen. NEN, Delft 1991.
- 9 NEN 3114. Nauwkeurigheid van metingen, termen en definities. NEN, Delft, augustus 1990.
- 10 S. Hofmann, I. Krol, Kontrolle der Eigenüberwachung Radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken (Abwasser), Ringversuch "Abwasser 2020", Oktober 2020, UR – 02/2020, Bundesamt für Strahlenschutz, Abteilung Umweltradioaktivität, Berlin, Duitsland.

S. Hofmann, K. Schmidt, C. Wittwer, Abwasser aus kerntechnischen Anlagen, Ringversuch 2021, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter (www.bfs.de)
- 11 Urenco Nederland B.V. Rapportage Lucht- en waterlozingen (brieven):
2020 kwartaal 1 en 2, COM/20/1863, 2 nov 2020
2020 kwartaal 3 en 4 COM/21/0629, 31 maart 2021.
2021 kwartaal 1 en 2, COM/21/1814, 30 september 2021
2021 kwartaal 3 en 4 COM/22/0579, 29 maart 2022.
- 12 Kwakman PJM en P. Stoop. Evaluatie van controlemetingen door het RIVM van luchtzijdige emissies van Urenco Nederland B.V. RIVM/LSO rapport 231/04.
- 13 Basisdocument Radon. LH Vaas, et al., RIVM rapport 710401014, Bilthoven

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag