



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

Evaluatie van ringonderzoek waakvlam-instituten in 2021

RIVM-briefrapport 2021-0244
P.P. Bosch | P.J.M. Kwakman



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

Evaluatie van ringonderzoek waakvlam-instituten in 2021

RIVM-briefrapport 2021-0244
P.P. Bosch | 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 haar 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-2021-0244

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

Contact:
P.P. Bosch
Centrum Veiligheid - Stralingsincidenten, Monitoring & Analyse
peter.bosch@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de ANVS in het kader van Ongevalsorganisatie Straling.

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland

www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Evaluatie van ringonderzoek waakvlaminstituten in 2021

Voor het uitvoeren van metingen tijdens een radiologisch incident kan het RIVM een beroep doen op de zogenoemde waakvlaminstituten (WVI's). Dit zijn onafhankelijke instituten in Nederland die allen gespecialiseerd zijn in radiologische metingen. In het voorjaar van 2021 is een ringonderzoek georganiseerd als onderbouwing van de kwaliteit van de metingen. Drie verschillende monsters zijn aangemaakt met een bekende hoeveelheid radioactiviteit: een aerosolfilter, een koolpatroon en een watermonster.

De gammaspectrometrische resultaten voor het aerosolfilter voldoen over het algemeen redelijk. Het resultaat van WVI (3) voldoet niet. Het gammaspectrum zal opnieuw geanalyseerd moeten worden.

De resultaten voor ^{131}I in het koolpatroon zijn voor vijf WVI's goed en voor vier WVI's redelijk. De meeste WVI's hebben het gemiddelde gerapporteerd van de metingen van het koolpatroon met de aanzuigzijde naar de detector en andersom. Dit blijkt uit berekeningen een zeer acceptabele en praktische werkwijze te zijn. Alleen WVI (6) heeft een kalibratie voor een koolpatroon met een aangezogen ^{131}I activiteit; de gerapporteerde ^{131}I activiteit is goed.

De resultaten in het watermonster als afgeleide voor de monsternamen van een depositiebak zijn over het algemeen redelijk tot goed. Dit is een positief resultaat omdat niet alle te bepalen nucliden regulier in de gammabibliotheek voorkomen.

Kernwoorden: waakvlaminstituut, ringonderzoek, radiologische analyses, aerosolfilter, koolpatroon, watermonster.

Synopsis

Evaluation of the proficiency test "*Pilot Light Institutes*" in 2021

During a nuclear incident RIVM may ask for laboratory assistance of so called "Pilot Light Institutes" (Dutch: WVI's). These are independent Dutch institutes specialized in radiological measurements. RIVM organized a proficiency test in 2021 in order to substantiate the quality of the measurements. Three samples were spiked with a known amount of radioactivity, an aerosol filter, a carbon cartridge and a water sample.

The gamma spectrometry results on the aerosol filter were mostly acceptable. The results of WVI (3) are outliers and the gamma spectra have to be re-examined.

The results for ^{131}I in the carbon cartridge were good for five WVI's and reasonable for four WVI's. Most WVI's reported the average of 2 carbon cartridge measurements: one with the in-flow side to the detector and one upside down. This appears a very acceptable and practical procedure, as is demonstrated by model calculations. WVI (6) has an adequate calibration for ^{131}I drawn into a carbon cartridge; the reported activity for ^{131}I is good.

The results for the water sample as a proxy for wet deposition, are mostly good. This is a positive result as most of the nuclides are not routinely part of the gamma library for wet deposition. The gamma library needed adjustment on a short notice.

Keywords: Pilot Light Institutes, proficiency test, radiological analyses, aerosol filter, carbon cartridge, water sample.

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

- 1.1 De waakvlaminstituten — 11
- 1.2 Bemonstering van lucht en depositie — 12
- 1.3 Referentiemonsters in dit ringonderzoek — 12
- 1.4 Gevolgen van Corona maatregelen in voorjaar 2021 — 12
- 1.5 Doel van het ringonderzoek in 2021 — 12

2 De monsters — 15

- 2.1 Algemeen — 15
- 2.2 Het aerosolfilter — 15
- 2.3 Het koolpatroon — 15
- 2.4 Watermonster als afgeleide voor depositie — 16
- 2.5 Referentiewaarden voor de 3 monsters — 16
- 2.6 Onzekerheden in de referentiewaarden — 17

3 Organisatie en logistiek van het ringonderzoek — 19

- 3.1 Bezoekschema — 19
- 3.2 Uitvoering van metingen — 19
- 3.3 Nieuwe monstername apparatuur — 19
- 3.4 Rapportage van de data — 21

4 Statistische evaluatie van de resultaten — 23

- 4.1 Grubbs' test voor uitbijters — 23
- 4.2 Beoordeling van de resultaten met z' - en ζ -score — 23

5 Resultaten en discussie — 25

- 5.1 Het aerosolfilter — 25
- 5.2 Het koolpatroon — 27
- 5.3 De watermonsters (natte depositie) — 29

6 Conclusies en aanbevelingen — 37

- 6.1 Conclusies — 37
- 6.2 Aanbevelingen — 37

7 Bijlage A: Gerapporteerde resultaten — 39

- 7.1 Aerosolfilter — 39
- 7.2 Het koolpatroon — 41
- 7.3 De watermonsters (natte depositie) — 41

8 Bijlage B: Verdeling van ^{131}I in het koolpatroon — 45

- 8.1 Literatuur — 45
- 8.2 Reguliere geometrie – homogene verdeling — 45
- 8.3 Exponentiele afname en toename in het koolpatroon — 46
- 8.4 Conclusie — 48

Samenvatting

Voor het uitvoeren van metingen tijdens een radiologisch incident kan het RIVM een beroep doen op de zogenoemde waakvlaminstituten (WVI's). Dit zijn onafhankelijke instituten in Nederland die gespecialiseerd zijn in radiologische metingen. Als een onderbouwing van de kwaliteit van de metingen is in het voorjaar van 2021 een ringonderzoek georganiseerd. Hiervoor zijn drie verschillende monsters aangemaakt die met een bekende hoeveelheid radioactiviteit zijn gespiked: een aerosolfilter, een koolpatroon en een watermonster.

De gammaspectrometrische resultaten voor ^{60}Co , ^{109}Cd , ^{134}Cs en ^{154}Eu op het aerosolfilter voldoen over het algemeen redelijk. Het resultaat van WVI (3) voldoet niet. Het gammaspectrum zal opnieuw geanalyseerd moeten worden.

De resultaten voor ^{131}I in het koolpatroon zijn voor vijf WVI's goed en voor vier WVI's redelijk. De meeste WVI's hebben het gemiddelde gerapporteerd van de metingen van het koolpatroon met de aanzuigzijde naar de detector en andersom. Dit blijkt uit berekeningen een zeer acceptabele en praktische werkwijze te zijn. Alleen WVI (6) heeft een kalibratie voor een koolpatroon met een aangezogen ^{131}I activiteit; de gerapporteerde ^{131}I activiteit is goed.

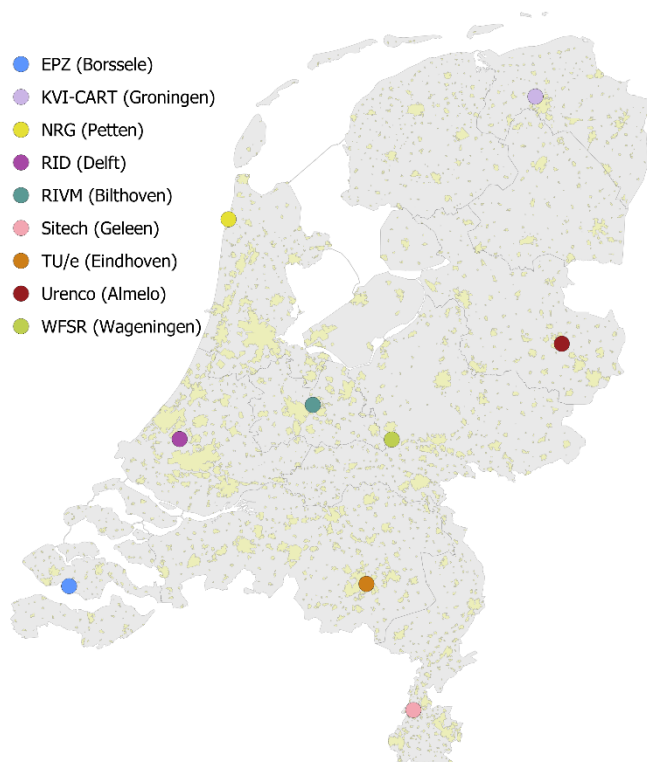
De resultaten in het watermonster als afgeleide voor de monsternamen van een depositiebak zijn over het algemeen redelijk tot goed. Dit is een positief resultaat omdat de te bepalen nucliden niet allen standaard in de gammabibliotheek voorkomen. Dit betekende in korte tijd aanpassen van de gammabibliotheek, en opnieuw kiezen van de belangrijkste gammalijnen met bijbehorende yield.

WVI (3) wordt aanbevolen om de spectra te heranalyseren.

1 Inleiding

1.1 De waakvlaminstituten

Het Landelijk Crisisplan Straling¹ beschrijft de radiologische ongevalsorganisatie in Nederland. Een onderdeel daarvan vormen de acht zogenaamde waakvlaminstituten (WVI's). Ten tijde van een grootschalig radiologisch incident kunnen de WVI's gevraagd worden om nuclide specifieke metingen in lucht en depositie uit te voeren. Het bemonsteren van gras staat enigszins ter discussie, omdat dit eigenlijk een WFSR-taak is. De acht WVI's zijn: EPZ (Borssele), KVI-CART (Groningen), NRG (Petten), RID (Delft), Sitech (Geleen), TU/e (Eindhoven), Urenco (Almelo) en WFSR (Wageningen). RIVM maakt zelf ook deel uit van de WVI's. Alle instituten zijn geselecteerd op grond van hun kennis op het gebied van metingen van radioactiviteit en hun geografische spreiding over Nederland.



Figuur 1 Locaties van de WVI's verspreid over Nederland.

Na het activeren van het Radiologisch en Gezondheidskundig Expertise Netwerk (RGEN), starten de WVI's, op verzoek van het RGEN, de monsternamen van luchtstof en (natte en droge) depositie. De WVI's analyseren de monsters volgens eigen procedures en de rapporteren de resultaten aan het RGEN.

¹ Zie <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/04/30/landelijk-crisisplan-straling>.

1.2 Bemonstering van lucht en depositie

Volgens het standaard meetprotocol moeten de WVI's tijdens een inzet gedurende 2 uur lucht door een filterpakket aanzuigen. Dit filterpakket kan onder andere de drie meest voorkomende jodiumverbindingen absorberen, en bestaat uit een aerosolfilter (HI), een koolfilter (I₂) en twee koolpatronen (CH₃I). Het aerosolfilter absorbeert tevens aerosolgebonden radionucliden. De metingen van de monsters zijn gamma-spectrometrisch door de WVI's uitgevoerd volgens de eigen procedures.

Om een continue toelevering van de nieuwste metingen te garanderen, moeten de WVI's, in ongevalsomstandigheden, de resultaten van de metingen aan het filterpakket binnen twee uur na het beëindigen van de monsternamen via de Calamiteiten website (CalWeb) van het RIVM opsturen.

1.3 Referentiemonsters in dit ringonderzoek

In het najaar van 2020 bleek dat zowel PTB (D) als NPL (UK) geen blanco monstermateriaal konden spiken met de door ons gewenste nucliden. Dit had ten dele te maken met verminderde laboratoriumcapaciteit bij beide instituten door corona maatregelen. Hierop is noodgedwongen gekozen voor een "second best": een filter met een bekende activiteit, een gemengd afvalwatermonster en een op aanvraag door NRG gespiked koolpatroon. Zie voor meer details paragraaf 2.1

1.4 Gevolgen van Corona maatregelen in voorjaar 2021

Tijdens het uitvoeren van dit ringonderzoek in het voorjaar van 2021 was er in Nederland (en andere landen) de Coronacrisis en als gevolg daarvan een lockdown. Dit heeft invloed gehad op dit ringonderzoek. Zo is er gekozen om slechts één WVI per dag te bezoeken om zo de kans op besmetting met het COVID-19 virus te beperken.

Aan het ringonderzoek hebben, naast Centrum Veiligheid van het RIVM, de volgende partijen meegedaan:

- KVI - Center for Advanced Radiation Technology (KVI), Groningen
- N.V. Elektriciteits Produktiemaatschappij Zuid-Nederland (EPZ), Borssele
- Nuclear Research and consultancy Group (NRG), Petten
- Reactor Instituut Delft (RID), Delft
- Sitech Services B.V. (Sitech), Geleen
- Technische Universiteit Eindhoven (TU/e), Eindhoven
- Urenco Nederland B.V. (Urenco), Almelo
- Wageningen Food Safety Research (WFSR).
WFSR vervangt per 1 januari 2022 de voormalige WVI NRG-Arnhem.

1.5 Doel van het ringonderzoek in 2021

Dit ringonderzoek heeft verschillende doelen:

- 1 Het deelnemen aan een ringonderzoek gericht op de monstergeometrieën filter, koolpatroon en water.

- 2 Het meten en rapporteren onder tijdsdruk. De deelnemers moeten binnen 24 uur rapporteren.
- 3 Het in ontvangst nemen van een nieuw luchtstofbemonsteringsysteem met gelijktijdige instructie. Dit nieuwe systeem is klein, goed hanteerbaar en mobiel.
- 4 Het uitwisselen van kennis en ervaring op het gebied van metingen en kalibraties, met name voor het koolpatroon.

2 De monsters

2.1 Algemeen

In 2020 bleek het bestellen van monstermateriaal bij erkende instituten, zoals National Physics Laboratory (UK) of Physikalisch-Technische Bundesanstalt (D), op diverse problemen te stuiten. Dit had te maken met een lage labbezetting tijdens de Corona pandemie en het niet kunnen leveren van gewenste nucliden in de WVI monstermatrices. In het najaar van 2020 heeft RIVM besloten om noodgedwongen een versimpelde aanpak toe te passen.

- Het aerosolfilter is afkomstig van het BfS Fortluft ringonderzoek waar RIVM in oktober 2020 zelf aan deelgenomen heeft. De target value is de waarde van BfS.
- Het watermonster is een mengmonster van 3 afvalwatermonsters van NRG. De keuze voor NRG afvalwater is gemaakt omdat dit afvalwater goed is aangezuurd en vrijwel nooit problemen met inhomogeniteit vertoont. De target value is de waarde die RIVM heeft vastgesteld na menging.
- Een blanco koolpatroon is door NRG gebruikt om een damp van CH₃I met ¹³¹I aan te zuigen. De target value is de gemiddelde waarde die NRG en RIVM hebben gemeten.

Het bemonsteren van gras staat ook vermeld als een WVI-taak in het handboek WVI. Het analyseren van besmette grasmonsters stuit echter op praktische bezwaren: het homogeen besmetten van een grasmonster is in praktijk nauwelijks uitvoerbaar. Tevens zijn grasmonsters over de duur van dit ringonderzoek, een periode van ongeveer 2-3 weken, niet goed conserveerbaar. Er is besloten om grasmonsters niet deel uit te laten maken van dit ringonderzoek. Voor de bemonstering van gras wordt verwezen naar NEN 5624².

2.2 Het aerosolfilter

Het aerosolfilter met een diameter van 50 mm was geleverd door BfS in het kader van het ringonderzoek Fortluft in najaar 2020; de referentiedatum is 15 oktober 2020. De resultaten van dit ringonderzoek zijn ontvangen op 10 augustus 2021. Het filter bevat de nucliden ⁶⁰Co, ¹⁰⁹Cd, ¹³⁴Cs, ¹⁵⁴Eu.

Er mag voor dit WVI-ringonderzoek worden aangenomen dat 1 m³ lucht is aangezogen door het filter.

2.3 Het koolpatroon

NRG heeft op 17-18 februari 2021 een koolpatroon door middel van aanzuiging gespiked met een organische verbinding die ongeveer 5 kBq aan ¹³¹I bevat. Het koolpatroon is dicht geseald door NRG om het

² Radioactiviteitsmetingen - Monsterneming van gras (NEN 5624:2009).

ontwijken van de organische verbinding te voorkomen. Dit probleem heeft zich namelijk voorgedaan in een eerder ringonderzoek.

De referentiedatum voor het koolpatroon is 19 februari 2021 12:00 uur.

Er mag voor de berekening worden aangenomen dat 1 m³ lucht is aangezogen door het koolpatroon.

2.4 Watermonster als afgeleide voor depositie

NRG heeft drie afvalwatermonsters van elk 1,0 liter uit de periode augustus 2020 ter beschikking gesteld van dit ringonderzoek. De reden om juist NRG afvalwater te kiezen was omdat:

- NRG afvalwater altijd sterk aangezuurd is en vrijwel nooit zwevende delen bevat. Uit de serie RIVM contra-expertise rapportages over radioactiviteit in NRG afvalwater blijkt dat er geen enkele reden is om wandadsorptie van radionucliden in de monsterfles te vermoeden³. De overeenstemming tussen de NRG en RIVM gammaspectrometrie-resultaten is doorgaans goed tot zeer goed⁴.
- De betreffende NRG-afvalwatermonsters minimaal 5 nucliden bevatten met een goed meetbare activiteitsconcentratie.

2.4.1 Werkwijze

De drie watermonsters zijn gewogen en na filtering in een 10 litervat verzameld. Vervolgens is dit aangevuld tot 10,0 liter met demiwater, gehomogeniseerd en gewogen. De pH van het gehele monster was ca. 2.

Ter controle van de homogeniteit is het verzamelmonster verdeeld in 10 flessen van 1,0 liter. Elke fles is 2 uur gammaspectrometrisch gemeten. Uit de spreiding in de resultaten voor elk van de nucliden ⁶⁰Co, ¹⁰⁹Cd, ¹²⁴Sb, ¹²⁵Sb, ¹³⁷Cs in de 10 monsters bleek dat de activiteit homogeen verdeeld is.

De referentiedatum voor de watermonsters is 19 februari 2021 12:00 uur.

De WVI's moeten de oppervlaktebesmetting rapporteren als ware de watermonsters opgevangen in de depositiebak. Het oppervlak van de depositiebak bedraagt 0,36 m². Dit betekent dat de oppervlaktebesmetting (Bq.m⁻²) berekend wordt door de activiteit (Bq) in het monster te delen door 0,36 m². Dit zal in de volgende versie van het WVI-Handboek opgenomen worden.

2.5 Referentiewaarden voor de 3 monsters

De referentiewaarden met de 1s-onzekerheden voor de monsters zijn weergegeven in Tabel 1. Voor het aerosolfilter zijn de doelwaarden van het BfS Fortluft (2020) ringonderzoek genomen.

³ Contra-expertise op bepalingen van radioactiviteit in afvalwater en ventilatielucht van NRG. Periode 2019. P.J.M. Kwakman, RIVM briefrapport 2021-0023 (2021).

⁴ Zie <https://www.rivm.nl/straling-en-radioactiviteit/industrie-en-monitoring/nucleaire-installaties>.

Voor het watermonster zijn de RIVM meetresultaten gekozen vanwege de serie homogeniteitsmetingen die RIVM aan alle monsters heeft uitgevoerd. Voor het koolpatroon is het gemiddelde van de NRG meting en de RIVM meting genomen.

Tabel 1 Referentiewaarden \pm onzekerheid (1s) in het WVI ringonderzoek 2021.

Nuclide	Aerosolfilter* (Bq.m ⁻³)	Koolpatroon** (Bq.m ⁻³)	Water*** (Bq.m ⁻²)
⁵⁴ Mn			64 \pm 4
⁶⁰ Co	1,63 \pm 0,04		633 \pm 18
⁶⁵ Zn			25 \pm 2
¹⁰⁹ Cd	6,39 \pm 0,13		750 \pm 80
¹²⁴ Sb			64 \pm 2
¹²⁵ Sb			363 \pm 11
¹³¹ I		3900 \pm 200	
¹³⁴ Cs	1,67 \pm 0,04		
¹³⁷ Cs			117 \pm 7
¹⁵⁴ Eu	2,56 \pm 0,08		

* Waarde van BfS Fortluft (2020).

** Gemiddelde van NRG en RIVM meting; onzekerheid geschat op 5 % (1s).

*** Referentiewaarden vastgesteld door RIVM.

2.6 Onzekerheden in de referentiewaarden

2.6.1 Aerosolfilter

De onzekerheden zijn overgenomen van BfS.

2.6.2 Koolpatroon

De grootste onzekerheid betreft de verdeling over het koolpatroon van de aangezogen damp met het organische CH₃I (¹³¹I). Aan de aanzuigzijde zal de activiteit het hoogst zijn, en aan de uitstroomzijde vrijwel nul. In Bijlage B is een schatting gemaakt van de diverse doordringdieptes en de berekende verdeling over het koolpatroon. Hiermee is met het programma ISOCS de efficiëntie berekend voor de gammalijnen 364 keV en 637 keV van ¹³¹I, zowel voor het koolpatroon met de aanzuigzijde naar de detector als andersom. In theorie moeten de berekende activiteiten voor beide geometrieën gelijk aan elkaar zijn bij een juiste schatting van de doordringdiepte. Dit is nog niet helemaal het geval, maar de beide berekende activiteiten naderen elkaar bij een doordringdiepte van ca. 1 mm. Dit wordt meer in detail besproken in Bijlage B.

In Tabel 2 is de berekende referentiewaarde gegeven, naast de gemeten waarden door NRG en RIVM. Als referentiewaarde is het gemiddelde van de gemeten waarden door NRG en RIVM gekozen. In de onzekerheid van de referentiewaarde is ook een onzekerheid van 5 % verwerkt. Deze 5 % is gebaseerd op de spreiding tussen de berekende activiteit met de aanzuigzijde naar de detector en andersom. Het is immers niet duidelijk hoe goed het gemiddelde van de 2 metingen de ware waarde benadert.

Tabel 2 Berekende en gemeten referentiewaarde voor ^{131}I in het koolpatroon (Bq). Alle waarden zijn gemiddelden van de meting met aanzuigzijde naar de detector en omgekeerd.

	$^{131}\text{I} \pm 1\text{s}$ (Bq)
Berekend (364 keV)	4000 \pm 200
Berekend (637 keV)	3980 \pm 180
NRG, gemeten	3800 \pm 180
RIVM, gemeten	4010 \pm 150
Referentiewaarde	3900 \pm 200

2.6.3 Watermonster

De onzekerheden in de activiteitsconcentraties in het watermonster zijn afkomstig van RIVM. De totale onzekerheid is opgebouwd uit een kwadratische som van relatieve fouten, afkomstig van onzekerheden in de meting, kalibratie, experimentele handelingen, gamma-yield, en eventueel coincidentie.

Er zijn geen aanwijzingen geweest dat zich problemen met inhomogeniteit in deze watermonsters hebben voorgedaan.

2.6.4 Onzekerheden budget

Een vergelijking van meetresultaten van een gammaspectrometrische bepaling uitgevoerd door verschillende laboratoria kan alleen uitgevoerd worden als alle meetresultaten een realistisch opgebouwde totale onzekerheid rapporteren.

In het algemeen is de totale onzekerheid opgebouwd uit een kwadratische som van relatieve fouten, afkomstig van onzekerheden in de meting, kalibratie, experimentele handelingen, en bij gamma-spectrometrie, de gamma-yield, en eventueel coincidentie.

3 Organisatie en logistiek van het ringonderzoek

3.1 Bezoekschema

Over een periode van (ruim) twee weken zijn alle WVI's bezocht, zie Tabel 3. Zoals eerder beschreven zijn er door de WVI's drie monsters gemeten: een aerosolfilter, een koolpatroon en een watermonster. Het aerosolfilter en het koolpatroon is na afloop van de metingen weer ingenomen en rouleerde zo langs de WVI's. Het watermonster mochten de WVI's houden en hoefde dus niet weer teruggenomen te worden.

Tabel 3 Datum van bezoek aan WVI's.

Datum	WVI
23 feb. 2021	NRG Petten
26 feb. 2021	TU/e
1 mrt. 2021	Urenco
3 mrt. 2021	Sitech
4 mrt. 2021	EPZ
5 mrt. 2021	KVI
9 mrt. 2021	WFSR
10 mrt. 2021	RID

3.2 Uitvoering van metingen

Direct bij aankomst is het aerosolfilter door de WVI's op de detector gelegd vanwege de lange meettijd (ca. 2 uur). Het koolpatroon is na het aerosolfilter gemeten. Zowel het koolpatroon als het aerosolfilter werd door het RIVM weer ingenomen en gebruikt bij de overige WVI's. Aangezien de watermonsters een nog langere meettijd nodig hadden en de WVI's deze monsters mochten houden, zijn de watermonsters door de WVI's op een later tijdstip (overnacht) gemeten.

3.3 Nieuwe monstername apparatuur

Tijdens het uitvoeren de metingen zijn nieuwe monsternamepompen aan de WVI's overhandigd. De pompen zijn van het model F&J Specialty Products DF-34BMHTE, zie Figuur 2. De besturing van deze pomp is gelijk aan de besturing van de luchtpompen in de stralingsmeetwagens van het RIVM. In de kop van het monstername apparaat zit een Hi-Q RVH-30 filterhouder waar een aerosol- en koolfilter en twee koolpatronen in kunnen, zie Figuur 3. Bij het overhandigen van de pompen is ook de werking van de pomp uitgelegd. Hierbij is behandeld hoe de pomp in te stellen is en hoe een monstername te starten (en te beëindigen) is.



Figuur 2 Nieuwe monsternamepomp voor de WVI's.



Figuur 3 Filterhouder Hi-Q RVH-30 met ruimte voor beide filters en twee koolpatronen.

Alle pompen hebben een identificatienummer gekregen. Deze is op diverse plekken op de monstername apparatuur terug te vinden.

3.4 Rapportage van de data

Vanwege de lange meettijd van het aerosolfilter is bij dit ringonderzoek niet gelet op de tijdrestrictie van 2 uur voor het rapporteren van de resultaten. Ook is de rapportage niet via de gebruikelijke route (CalWeb) gegaan. Via CalWeb kunnen slechts enkele veelvoorkomende splijtingsnucliden gerapporteerd worden. Dit zijn de nucliden die door een reductie van het totale aantal mogelijke nucliden als belangrijkst zijn overgebleven. De meeste nucliden die (noodgedwongen) in dit ringonderzoek gebruikt zijn staan hier echter niet tussen. Daardoor ging de rapportage niet via CalWeb, maar via een door RIVM voorbereide Excel-file. De WVI's rapporteerden hun meetdata in deze Excel-file via email.

4 Statistische evaluatie van de resultaten

Bij de evaluatie van de resultaten is de ISO 13528 norm⁵ gevolgd. Er is eerst gekeken of er uitbijters in de data zit met behulp van Grubbs' test. Hierbij is gebruikt gemaakt van de ISO 5725-2 norm⁶. Vervolgens zijn alle waarden beoordeeld aan de hand van de z'- en ζ-test, zie paragraaf 4.2.

4.1 Grubbs' test voor uitbijters

Als één instituut een hele sterke afwijking heeft ten opzichte van de overige instituten, kan dit de verdere statistische analyse beïnvloeden. Om deze extremen (uitbijters) te bepalen is de Grubbs' test⁶ gebruikt.

4.2 Beoordeling van de resultaten met z'- en ζ-score

Het beoordelen van de WVI-resultaten is met twee testen gedaan: de z'-test en de ζ-test⁵. Beide testen geven inzicht in hoe goed het gerapporteerde resultaat overeenkomt met de werkelijke waarde. De score uit de z'-test van WVI i voor een bepaald nuclide wordt berekend via

$$z' = \frac{x_i - x_{ref}}{\sqrt{\sigma^2 + \delta x_{ref}^2}}$$

waarbij

- x_i = de gerapporteerde waarde van WVI i voor een bepaald nuclide,
- x_{ref} = de referentiewaarde voor een bepaald nuclide,
- δx_{ref} = de onzekerheid van de referentiewaarde en
- σ = de standaarddeviatie over alle gerapporteerde waarden van een bepaald nuclide, oftewel

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

De score uit de ζ-test voor WVI i voor een bepaald nuclide wordt berekend via

$$\zeta = \frac{x_i - x_{ref}}{\sqrt{\delta x_i^2 + \delta x_{ref}^2}}$$

waarbij

- δx_i = de onzekerheid van WVI i voor een bepaald nuclide.

Aan de hand van de scores uit de z'- en ζ-test wordt bepaald hoe goed het meetresultaat is. Voor beide testen geldt 'groen' (goed) als de score lager is dan 2.0. Als de score tussen 2.0 en 3.0 zit, is het resultaat 'geel' (redelijk). Boven of gelijk aan 3.0 is 'rood' (matig)⁷.

⁵ Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison (ISO 13528:2015(E)).

⁶ Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method (ISO 5725-2:1994).

⁷ Voor resultaten onder de referentiewaarde gelden -2.0 en -3.0 als grens voor de beoordeling.

De beoordeling van de resultaten in hoofdstuk 5 met 'groen', 'geel' en 'rood' is met enige 'soepelheid' uitgevoerd; de beoordelingen 'groen' of 'geel' in combinatie met 'rood' heeft als eindoordeel 'geel' gekregen, tenzij de ζ -test $> [6]$; dit is alsnog rood. Dit ringonderzoek is namelijk sinds lange tijd georganiseerd en de laboratoria hebben weinig kans gehad om de kwaliteit van hun bepalingen te toetsen.

Ook is de invloed van de gerapporteerd onzekerheid op de beoordeling groot. Pas als alle laboratoria een gedegen onzekerheidsbudget opstellen is de beoordeling volgens bovenstaand principe uitvoerbaar. Dat is echter nu nog niet het geval, zodat een te kleine onzekerheid al snel leidt tot een kwalificatie 'geel' of 'rood'. Daarentegen zal een te grote onzekerheid leiden tot, soms onterechte, kwalificatie 'groen'.

5 Resultaten en discussie

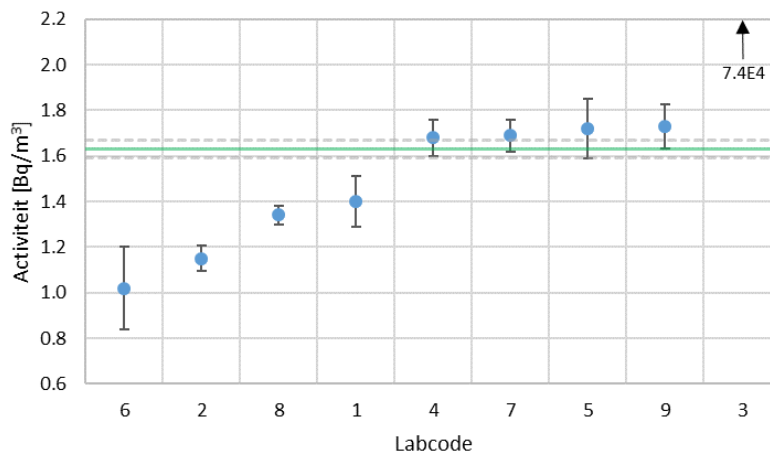
Alle gerapporteerde data zijn te vinden in de tabellen in Bijlage A. In dit hoofdstuk wordt een grafische weergave van de resultaten gegeven.

5.1 Het aerosolfilter

5.1.1

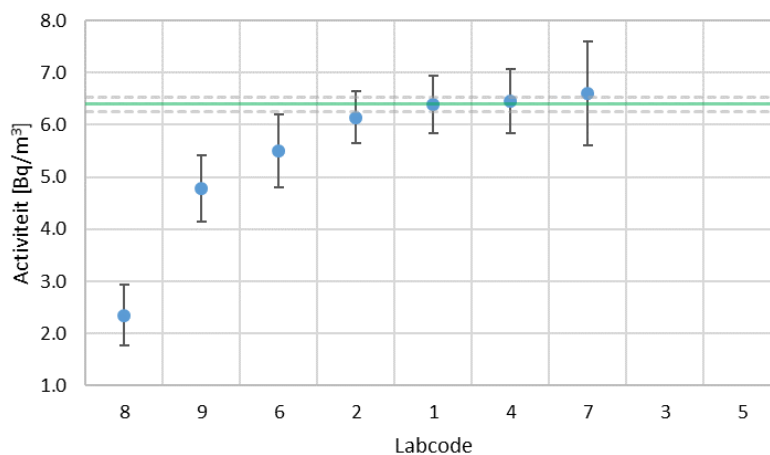
Cobalt-60 (^{60}Co)

Alle WVI's hebben ^{60}Co gerapporteerd, WVI (3) is een uitbijter.



Figuur 4 Gerapporteerde activiteitsconcentraties voor ^{60}Co in het aerosolfilter. De groene lijn geeft de referentiewaarde aan met fout (grijze stippellijnen).

Alle WVI's behalve (3) en (5) hebben ^{109}Cd gerapporteerd.

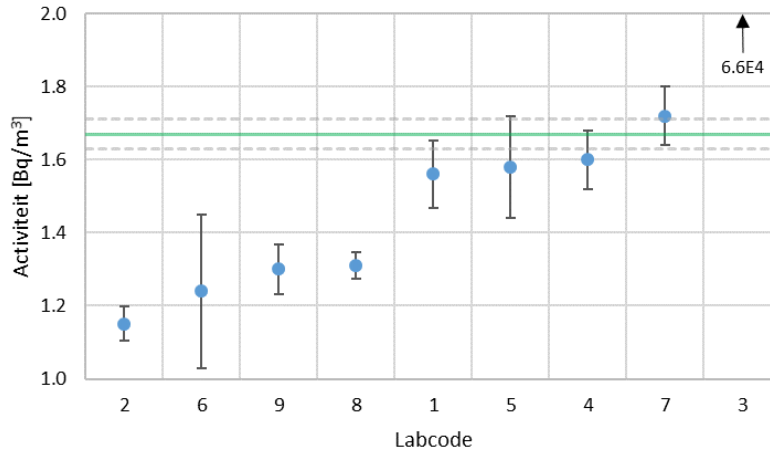


Figuur 5 Gerapporteerde activiteitsconcentraties voor ^{109}Cd in het aerosolfilter. De groene lijn geeft de referentiewaarde aan met fout (grijze stippellijnen).

5.1.3

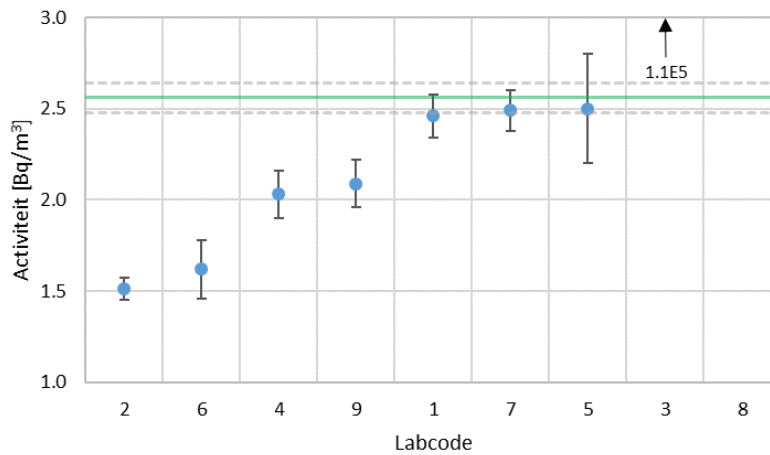
Cesium-134 (^{134}Cs)

Alle WVI's hebben ^{134}Cs gerapporteerd. Er is één uitbijter: WVI (3).



Figuur 6 Gerapporteerde activiteitsconcentraties voor ^{134}Cs in het aerosolfilter. De groene lijn geeft de referentiewaarde aan met fout (grijze stippellijnen).

Op WVI (8) na, hebben alle WVI's ^{154}Eu gerapporteerd. De uitkomst van WVI (3) is een uitbijter.



Figuur 7 Gerapporteerde activiteitsconcentraties voor ^{154}Eu in het aerosolfilter. De groene lijn geeft de referentiewaarde aan met fout (grijze stippellijnen).

5.1.5 Discussie aerosolfilter

Gezien de niet gebruikelijk nucliden op het filter zijn de resultaten van de groep WVI redelijk tot goed voor WVI's 1-4-5-7. De gezochte nucliden stonden bij de meeste WVI's niet regulier in de standaard gammaspectrometrie bibliotheek voor een filter. Dit betekende het opnieuw optimaliseren van een geschikte gammabibliotheek, speciaal voor dit aerosolfilter. Gezien de noodzakelijke correctie voor coïncidentie zijn de te lage waarden voor ^{134}Cs en ^{154}Eu begrijpelijk.

Tabel 4 Beoordeling van de resultaten behaald in het aerosolfilter.

Labcode	^{60}Co	^{109}Cd	^{134}Cs	^{154}Eu
1	Green	Green	Green	Green
2	Yellow	Green	Red	Red
3	Red	White	Red	Red
4	Green	Green	Green	Yellow
5	Green	White	Green	Green
6	Yellow	Green	Yellow	Yellow
7	Green	Green	Green	Green
8	Yellow	Red	Yellow	White
9	Green	Yellow	Yellow	Yellow

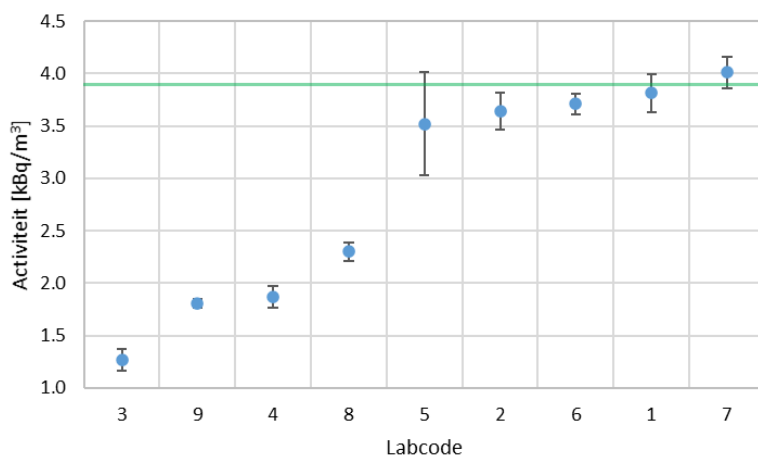
De meetresultaten van WVI (3) voldoen niet. Er wordt sterk aanbevolen om de gammaspectra te heranalyseren.

Enkele WVI's hebben nucliden gerapporteerd die zich niet op het aerosolfilter bevonden. Dit heeft vermoedelijk te maken met het grote aantal gammalijnen van ^{154}Eu .

5.2 Het koolpatroon

5.2.1 Jodium-131 (^{131}I)

Alle WVI's melden ^{131}I in het koolpatroon.



Figuur 8 Gerapporteerde activiteitsconcentraties voor ^{131}I in het koolpatroon. De groene lijn geeft de referentiewaarde aan met fout (grijze stippellijnen).

5.2.2

Discussie koolpatroon

De resultaten van vijf WVI's zijn goed, vier WVI's scoren redelijk.

Tabel 5 Beoordeling van de resultaten behaald in het koolpatroon.

Labcode	^{131}I
1	Goed (Groen)
2	Goed (Groen)
3	Redelijk (Rood)
4	Redelijk (Geel)
5	Goed (Groen)
6	Goed (Groen)
7	Goed (Groen)
8	Redelijk (Geel)
9	Redelijk (Geel)

Het bepalen van de activiteit is voor een gammaspectrometrische bepaling complex omdat de verdeling van de activiteit in het koolpatroon niet bekend is. Dat is in praktijk bij het aanzuigen van besmette lucht ook het geval: aan de aanzuigzijde is de activiteit altijd veel hoger dan bij de uitstroomzijde. Bij een vers koolpatroon is de activiteit aan de uitstroomzijde zeer gering of nul. Om dit probleem te minimaliseren is aan alle WVI's verzocht om het koolpatroon tweemaal 5 minuten te meten: eenmaal met de aanzuigzijde naar de detector, en eenmaal met de uitstroomzijde naar de detector. De (onjuiste) aanname van een homogene verdeling over het koolfilter wordt gecorrigeerd door het gemiddelde van beide metingen te berekenen; dit is namelijk een

acceptabele benadering van de ware waarde. Deze werkwijze zal in de volgende versie van het WVI-Handboek opgenomen worden.

NRG en RIVM gebruiken een modelmatige kalibratie voor gammaspectrometriemetingen (LABSOCS, ISOCS), zie Bijlage B. Hierbij wordt de geometrie zo goed mogelijk benaderd voor wat betreft afstand, dimensies, wanddiktes, materiaalsamenstelling en dichtheden. De efficiëntie wordt dan berekend. In Bijlage B is uitvoerig weergegeven hoe een modelmatige schatting gemaakt kan worden van de verdeling van het aangezogen aerosol over het koolpatroon. De resultaten van die schatting komen goed overeen met de praktische meetresultaten.

WVI (6) heeft een adequate kalibratie voor een ^{131}I activiteit, aangezogen op een koolpatroon. De activiteit van WVI (6) is niet het gemiddelde van twee metingen, maar de activiteit bepaald met de 'koolpatroon-kalibratie'.

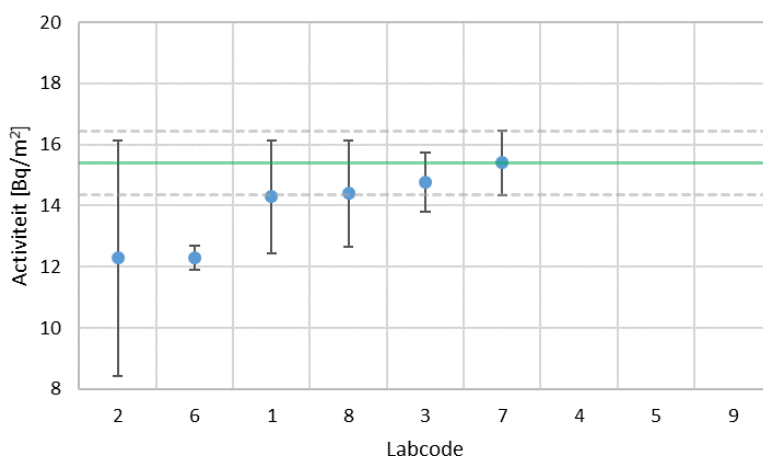
Samenvattend: de methode om het gemiddelde te bepalen van een meting met de aanzuigzijde naar de detector en een meting omgekeerd, voldoet in praktijk voldoende tot goed. Het is een simpele manier om te corrigeren voor de incorrecte aanname dat de aangezogen ^{131}I activiteit homogeen verdeeld is in het koolpatroon.

5.3 De watermonsters (natte depositie)

Onderstaand een samenvatting van de resultaten voor het watermonster. Dit betreft een fictieve bemonstering van de depositiebak met een oppervlak van 0,36 m².

5.3.1 Natrium-22 (^{22}Na)

WVI's (4), (5) en (9) rapporteren ^{22}Na niet, de overige WVI's wel.

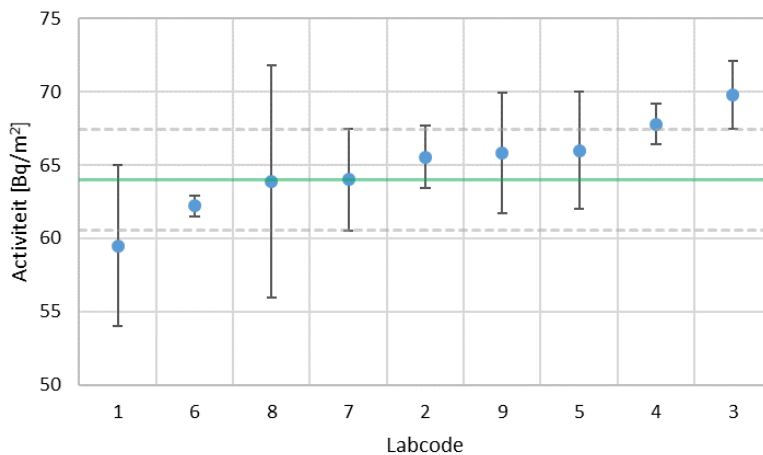


Figuur 9 Gerapporteerde oppervlaktebesmetting voor ^{22}Na (Bq/m²). De groene lijn geeft de referentiewaarde aan met fout (grijze stippellijnen).

5.3.2

Mangaan-54 (^{54}Mn)

^{54}Mn is door alle WVI's gerapporteerd.

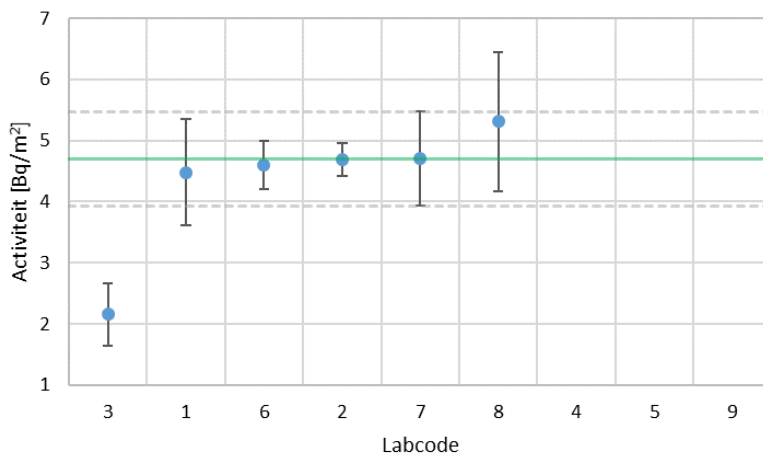


Figuur 10 Gerapporteerde oppervlaktebesmetting voor ^{54}Mn (Bq/m²). De groene lijn geeft de referentiewaarde aan met fout (grijze stippellijnen).

5.3.3

Cobalt-57 (^{57}Co)

Door de WVI's (4), (5) en (9) wordt ^{57}Co niet gerapporteerd.

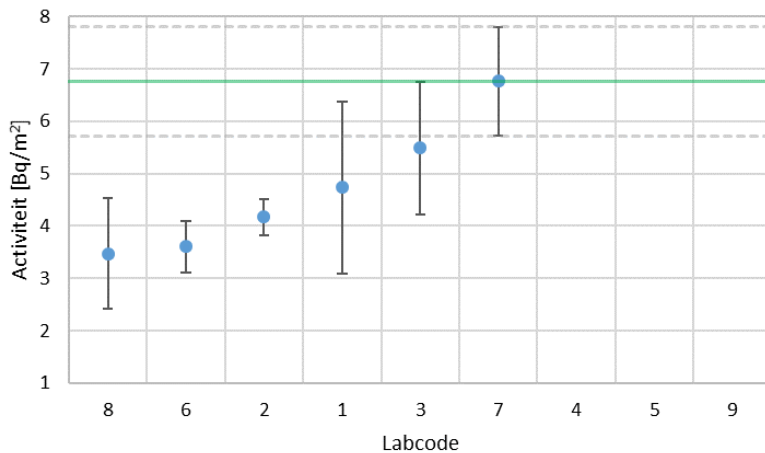


Figuur 11 Gerapporteerde oppervlaktebesmetting voor ^{57}Co in het watermonster. De groene lijn geeft de referentiewaarde aan met fout (grijze stippellijnen).

5.3.4

Cobalt-58 (^{58}Co)

Door de WVI's (4), (5) en (9) wordt ^{58}Co niet gerapporteerd.

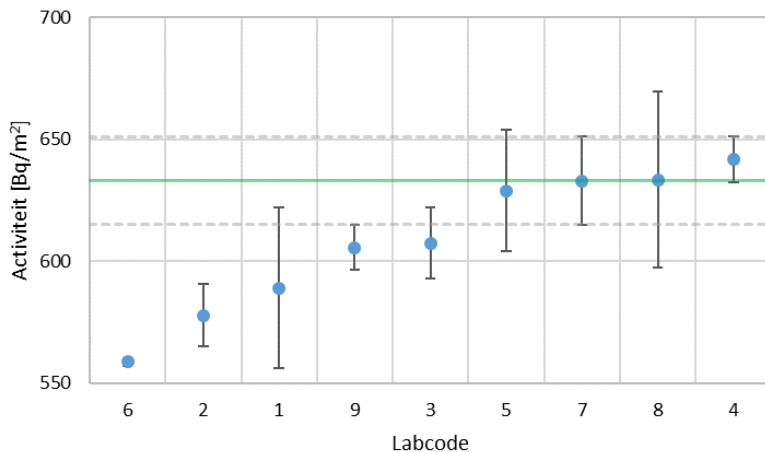


Figuur 12 Gerapporteerde oppervlaktebesmetting voor ^{58}Co in het watermonster. De groene lijn geeft de referentiewaarde aan met fout (grijze stippellijnen).

5.3.5

Cobalt-60 (^{60}Co)

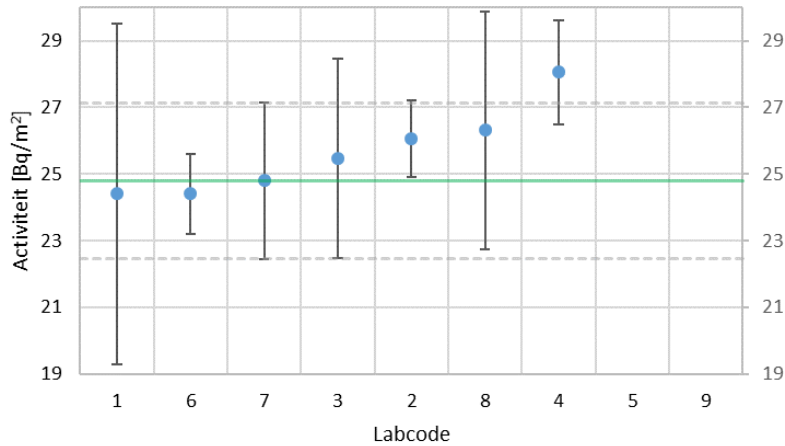
Alle WVI's rapporteren ^{60}Co .



Figuur 13 Gerapporteerde oppervlaktebesmetting voor ^{60}Co in het watermonster. De groene lijn geeft de referentiewaarde aan met fout (grijze stippellijnen).

5.3.6 Zink-65 (^{65}Zn)

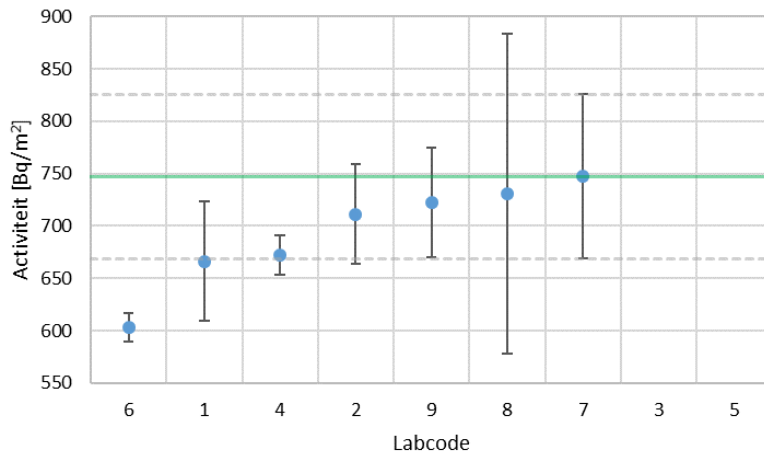
Door alle WVI's behalve de WVI's (5) en (9) wordt ^{65}Zn gerapporteerd.



Figuur 14 Gerapporteerde oppervlaktebesmetting voor ^{65}Zn in het watermonster. De groene lijn geeft de referentiewaarde aan met fout (grijze stippellijnen).

5.3.7 Cadmium-109 (^{109}Cd)

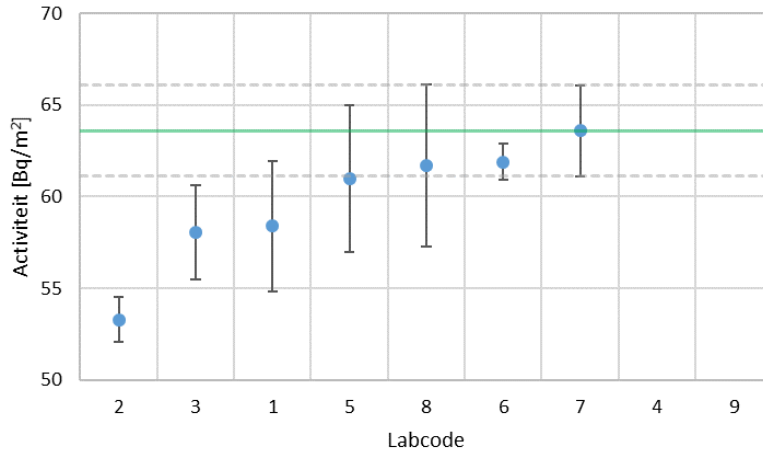
Alle WVI's behalve de WVI's (3) en (5) rapporteren ^{109}Cd .



Figuur 15 Gerapporteerde oppervlaktebesmetting voor ^{109}Cd in het watermonster. De groene lijn geeft de referentiewaarde aan met fout (grijze stippellijnen).

5.3.8 Antimoon-124 (^{124}Sb)

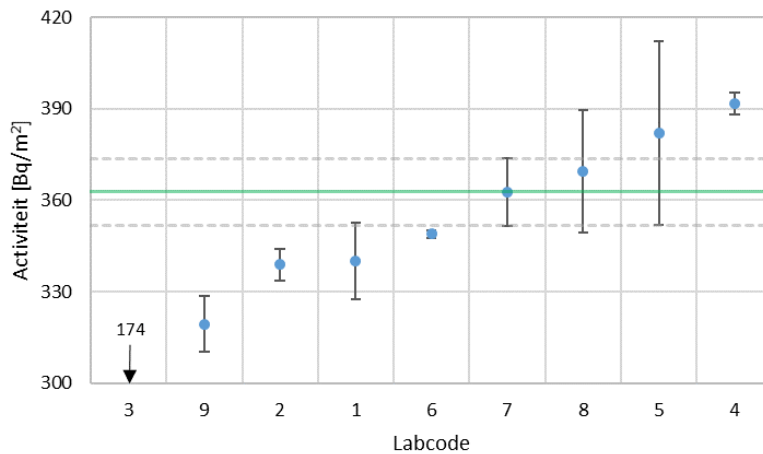
^{124}Sb is door alle WVI's behalve de WVI's (4) en (9) gerapporteerd.



Figuur 16 Gerapporteerde oppervlaktebesmetting voor ^{124}Sb in het watermonster. De groene lijn geeft de referentiewaarde aan met fout (grijze stippellijnen).

5.3.9 Antimoon-125 (^{125}Sb)

Door alle WVI's wordt ^{125}Sb gerapporteerd. De gerapporteerde oppervlaktebesmetting door WVI (3) is een uitbijter.

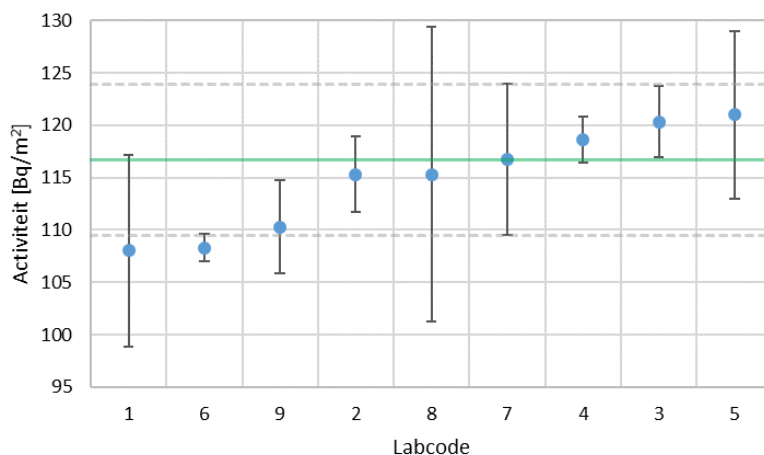


Figuur 17 Gerapporteerde oppervlaktebesmetting voor ^{125}Sb in het watermonster. De groene lijn geeft de referentiewaarde aan met fout (grijze stippellijnen).

5.3.10

Cesium-137 (^{137}Cs)

Ook ^{137}Cs is door alle WVI's gerapporteerd.



Figuur 18 Gerapporteerde oppervlaktebesmetting voor ^{137}Cs in het watermonster. De groene lijn geeft de referentiewaarde aan met fout (grijze stippellijnen).

5.3.11

Discussie watermonster

De gammaspectrometrie resultaten zijn over het algemeen redelijk tot goed, zie Tabel 6. Dit is een positief resultaat omdat niet alle te bepalen nucliden in de gammabibliotheek voorkomen. Dit betekent in korte tijd aanpassen van de gammabibliotheek, en opnieuw kiezen van de belangrijkste gammalijnen met bijbehorende yield.

Tabel 6 Beoordeling van de resultaten in het watermonster (depositie)

Lab-code	^{22}Na	^{54}Mn	^{57}Co	^{58}Co	^{60}Co	^{65}Zn	^{109}Cd	^{124}Sb	^{125}Sb	^{137}Cs
1	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow	Green	Green
3	Green	Green	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Green
4	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Green
5	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
6	Yellow	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green
7 (ref)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
8	Green	Green	Green	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green
9	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Green

WVI (4) heeft de ochtend na de rapportage van de data een wijziging aangegeven omdat de referentiedatum voor alle nucliden verkeerd was ingesteld. Door de lange halfwaardetijden heeft dit niet tot veel wijzigingen geleid: alleen ^{54}Mn is hierdoor gewijzigd. De wijziging had geen invloed op de eindbeoordeling.

Door enkele WVI's zijn nucliden gerapporteerd die niet in het watermonster zaten. WVI (3) wordt aanbevolen om het gammaspectrum van het watermonster te heranalyseren; er zijn enkele nucliden gerapporteerd die zeker niet in het monster aanwezig waren.

5.3.12 *Tijdigheid van de rapportage*

In de meeste gevallen waren de WVI's in staat om binnen 24 uur te rapporteren. Enkele uitzonderingen betroffen persoonlijke omstandigheden van een contactpersoon en cursusverplichtingen. Nadrukkelijk moet hier vermeld worden dat het aerosolfilter en het watermonster een aantal ongebruikelijke nucliden bevatten waardoor de gammaspectrometrische analyse tijdrovend is geweest.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Alle WVI's hebben deelgenomen aan een ringonderzoek gericht op de monstergeometrieën filter, koolpatroon en water. Daarbij is er nadrukkelijk gevraagd om te meten en rapporteren onder tijdsdruk. De deelnemers moesten binnen 24 uur rapporteren. Dat is in vrijwel alle gevallen gelukt.

De resultaten voor het *aerosolfilter* voor de nucliden ^{60}Co , ^{109}Cd , ^{134}Cs en ^{154}Eu voldoen over het algemeen redelijk. De resultaten van WVI (3) voldoen niet en moeten geheranalyseerd worden.

De resultaten voor ^{131}I in het *koolpatroon* zijn voor vijf WVI's goed en voor vier WVI's redelijk. De bepaling van ^{131}I in het koolpatroon is gemakshalve versimpeld door het koolpatroon 2-maal te meten: eenmaal met de aanzuigzijde naar de detector en eenmaal andersom. Het gemiddelde resultaat blijkt uit berekening een goede benadering van de praktijk.

De resultaten in het *watermonster* als afgeleide voor de monsternamen van een depositiebak zijn over het algemeen redelijk tot goed. Dit is een positief resultaat omdat niet alle te bepalen nucliden in de gammabibliotheek voorkomen. Dit betekent in korte tijd aanpassen van de gammabibliotheek, en opnieuw kiezen van de belangrijkste gammalijnen met bijbehorende yield.

In de meeste gevallen waren de WVI's in staat om binnen 24 uur te rapporteren. Nadrukkelijk moet hier vermeld worden dat het aerosolfilter en het watermonster een aantal ongebruikelijke nucliden bevatten waardoor de gammaspectrometrische analyse tijdrovend is geweest.

De meeste WVI's hebben de nieuwe monsternamenpomp tijdens het ringonderzoek in ontvangst genomen. Bij de WVI's waar dit niet mogelijk was, is op een later moment de monsternamenpomp afgeleverd zodat alle WVI's de beschikking hebben over de nieuwe monsternamenpomp.

6.2 Aanbevelingen

Dit WVI-ringonderzoek wordt eenmaal per 2-3 jaar herhaald. De WVI's wordt aanbevolen om in het gamma-analyseprotocol voor het water van de depositiebak standaard het oppervlak van $0,36\text{ m}^2$ op te nemen.

RIVM zal de nucliden in Calweb editeerbaar maken, zodat er ook onbekende nucliden toegevoegd kunnen worden.

RIVM beveelt aan om, indien dit nog steeds vereist is volgens het WVI-protocol, in het volgende ringonderzoek aandacht te besteden aan de monsternamen en analyse van gras.

In het volgende ringonderzoek zal extra aandacht besteed worden aan de diverse bronnen van onzekerheid die bijdragen aan de totale onzekerheid van de gammaspectrometrische bepalingen.

7 Bijlage A: Gerapporteerde resultaten

In deze bijlage zijn de resultaten per nuclide weergegeven. Voor ieder WVI is het volgende weergegeven: de labcode; de gerapporteerde activiteit met 1σ -meetonzekerheid; of het resultaat een uitbijter is; de resultaten van de z' - en ζ -test en de totaalbeoordeling in kleur.

7.1 Aerosolfilter

7.1.1 Cobalt-60 (^{60}Co)

Tabel 7 Activiteitsconcentraties voor ^{60}Co in het aerosolfilter.

Labcode	Activiteit [Bq.m ⁻³]	Fout [Bq.m ⁻³]	Uitbijter	z' -test	ζ -test	Totaal
6	1.02	0.18	Nee	-2.16	-3.31	
2	1.15	0.06	Nee	-1.70	-7.01	
8	1.34	0.04	Nee	-1.02	-5.13	
1	1.40	0.11	Nee	-0.81	-1.97	
BfS (ref)	1.63	0.04				
4	1.68	0.08	Nee	0.18	0.56	
7	1.69	0.07	Nee	0.21	0.74	
5	1.72	0.13	Nee	0.32	0.66	
9	1.73	0.09	Nee	0.35	0.97	
3	7.4E4	5.4E3	Ja	2.62E5	13.84	

7.1.2 Cadmium-109 (^{109}Cd)

Tabel 8 Activiteitsconcentraties voor ^{109}Cd in het aerosolfilter.

Labcode	Activiteit [Bq.m ⁻³]	Fout [Bq.m ⁻³]	Uitbijter	z' -test	ζ -test	Totaal
8	2.35	0.58	Nee	-2.66	-6.82	
9	4.78	0.64	Nee	-1.06	-2.45	
6	5.50	0.70	Nee	-0.59	-1.25	
2	6.14	0.50	Nee	-0.16	-0.48	
BfS (ref)	6.39	0.13				
1	6.39	0.56	Nee	0.00	0.00	
4	6.45	0.62	Nee	0.04	0.10	
7	6.60	1.00	Nee	0.14	0.21	
3	-	-	-	-	-	Ontbreekt
5	-	-	-	-	-	Ontbreekt

7.1.3 Cesium-134 (^{134}Cs)Tabel 9 Activiteitsconcentraties voor ^{134}Cs in het aerosolfilter.

Labcode	Activiteit [Bq.m ⁻³]	Fout [Bq.m ⁻³]	Uitbijter	z'-test	ζ-test	Totaal
2	1.15	0.05	Nee	-2.47	-8.43	
6	1.24	0.21	Nee	-2.05	-2.01	
9	1.30	0.07	Nee	-1.76	-4.72	
8	1.31	0.04	Nee	-1.71	-6.61	
1	1.56	0.09	Nee	-0.52	-1.10	
5	1.58	0.14	Nee	-0.43	-0.62	
4	1.60	0.08	Nee	-0.33	-0.78	
BfS (ref)	1.67	0.04				
7	1.72	0.08	Nee	0.24	0.56	
3	6.6E4	3.6E3	Ja	3.15E5	18.59	

7.1.4 Europium-154 (^{154}Eu)Tabel 10 Activiteitsconcentraties voor ^{154}Eu in het aerosolfilter.

Labcode	Activiteit [Bq.m ⁻³]	Fout [Bq.m ⁻³]	Uitbijter	z'-test	ζ-test	Totaal
2	1.51	0.06	Nee	-2.49	-10.46	
6	1.62	0.16	Nee	-2.23	-5.25	
4	2.03	0.13	Nee	-1.26	-3.47	
9	2.09	0.13	Nee	-1.12	-3.09	
1	2.46	0.12	Nee	-0.24	-0.69	
7	2.49	0.11	Nee	-0.17	-0.51	
5	2.50	0.30	Nee	-0.14	-0.19	
BfS (ref)	2.56	0.08				
3	1.1E5	4.9E3	Ja	2.69E5	23.29	
8	-	-	-	-	-	Ontbreekt

7.2 Het koolpatroon

7.2.1 Jodium-131 (^{131}I)

Tabel 11 Activiteit voor ^{131}I in het koolpatroon.

Labcode	Activiteit [kBq.m ⁻³]	Fout [kBq.m ⁻³]	Uitbijter	z'-test	ζ-test	Totaal
3	1.27	0.10	Nee	-2.50	-10.58	
9	1.81	0.04	Nee	-1.99	-9.08	
4	1.87	0.11	Nee	-1.93	-8.11	
8	2.30	0.09	Nee	-1.53	-6.59	
5	3.52	0.49	Nee	-0.37	-0.73	
2	3.65	0.18	Nee	-0.25	-0.93	
6	3.71	0.10	Nee	-0.19	-0.81	
1	3.82	0.18	Nee	-0.09	-0.33	
Ref	3.90	0.20				
7	4.01	0.15	Nee	0.09	0.36	

7.3 De watermonsters (natte depositie)

In de onderstaande tabellen is de referentiewaarde vastgesteld door RIVM (7) in de serie van 10 homogeniteitsmetingen aan alle monsters.

7.3.1 Natrium-22 (^{22}Na)

Tabel 12 Depositie voor ^{22}Na in het watermonster (Bq/m²).

Labcode	Activiteit [Bq.m ⁻²]	Fout [Bq.m ⁻²]	Uitbijter	z'-test	ζ-test	Totaal
2	12.3	3.8	Nee	-1.86	-0.78	
6	12.3	0.4	Nee	-1.85	-2.77	
1	14.3	1.9	Nee	-0.66	-0.52	
8	14.4	1.8	Nee	-0.60	-0.49	
3	14.8	1.0	Nee	-0.37	-0.44	
7 (ref)	15.4	1.0				
4	-	-	-	-	-	Ontbreekt
5	-	-	-	-	-	Ontbreekt
9	-	-	-	-	-	Ontbreekt

7.3.2 Mangaan-54 (^{54}Mn)Tabel 13 Depositie voor ^{54}Mn in het watermonster (Bq/m²).

Labcode	Activiteit [Bq.m ⁻²]	Fout [Bq.m ⁻²]	Uitbijter	z'-test	ζ-test	Totaal
1	59.5	5.5	Nee	-0.98	-0.69	
6	62.2	0.7	Nee	-0.39	-0.51	
8	63.9	7.9	Nee	-0.02	-0.01	
7 (ref)	64.0	3.5				
2	65.6	2.1	Nee	0.34	0.38	
9	65.8	4.1	Nee	0.40	0.34	
5	66.0	4.0	Nee	0.44	0.38	
4	67.8	1.4	Nee	0.83	1.02	
3	69.8	2.3	Nee	1.26	1.39	

7.3.3 Cobalt-57 (^{57}Co)Tabel 14 Depositie voor ^{57}Co in het watermonster (Bq/m²).

Labcode	Activiteit [Bq.m ⁻²]	Fout [Bq.m ⁻²]	Uitbijter	z'-test	ζ-test	Totaal
3	2.2	0.5	Nee	-1.90	-2.74	
1	4.5	0.9	Nee	-0.16	-0.19	
6	4.6	0.4	Nee	-0.07	-0.12	
2	4.7	0.3	Nee	-0.01	-0.01	
7 (ref)	4.7	0.8				
8	5.3	1.1	Nee	0.45	0.44	
4	-	-	-	-	-	Ontbreekt
5	-	-	-	-	-	Ontbreekt
9	-	-	-	-	-	Ontbreekt

7.3.4 Cobalt-58 (^{58}Co)Tabel 15 Depositie voor ^{58}Co in het watermonster (Bq/m²).

Labcode	Activiteit [Bq.m ⁻²]	Fout [Bq.m ⁻²]	Uitbijter	z'-test	ζ-test	Totaal
8	3.5	1.1	Nee	-2.02	-2.21	
6	3.6	0.5	Nee	-1.94	-2.74	
2	4.2	0.3	Nee	-1.59	-2.36	
1	4.7	1.6	Nee	-1.25	-1.05	
3	5.5	1.3	Nee	-0.78	-0.78	
7 (ref)	6.8	1.0				
4	-	-	-	-	-	Ontbreekt
5	-	-	-	-	-	Ontbreekt
9	-	-	-	-	-	Ontbreekt

7.3.5 Cobalt-60 (^{60}Co)Tabel 16 Depositie voor ^{60}Co in het watermonster (Bq/m^2).

Labcode	Activiteit [$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$]	Fout [$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$]	Uitbijter	z'-test	ζ -test	Totaal
6	559	2	Nee	-2.19	-4.09	
2	578	13	Nee	-1.63	-2.49	
1	589	33	Nee	-1.30	-1.17	
9	606	9	Nee	-0.81	-1.35	
3	607	15	Nee	-0.76	-1.11	
5	629	25	Nee	-0.12	-0.13	
7 (ref)	633	18				
8	633	36	Nee	0.01	0.01	
4	642	9	Nee	0.26	0.42	

7.3.6 Zink-65 (^{65}Zn)Tabel 17 Depositie voor ^{65}Zn in het watermonster (Bq/m^2).

Labcode	Activiteit [$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$]	Fout [$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$]	Uitbijter	z'-test	ζ -test	Totaal
1	24.4	5.1	Nee	-0.15	-0.07	
6	24.4	1.2	Nee	-0.15	-0.15	
7 (ref)	24.8	2.3				
3	25.5	3.0	Nee	0.25	0.18	
2	26.1	1.1	Nee	0.47	0.48	
8	26.3	3.6	Nee	0.56	0.35	
4	28.1	1.6	Nee	1.21	1.16	
5	-	-	-	-	-	Ontbreekt
9	-	-	-	-	-	Ontbreekt

7.3.7 Cadmium-109 (^{109}Cd)Tabel 18 Depositie voor ^{109}Cd in het watermonster (Bq/m^2).

Labcode	Activiteit [$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$]	Fout [$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$]	Uitbijter	z'-test	ζ -test	Totaal
6	603	14	Nee	-1.55	-1.81	
1	666	57	Nee	-0.87	-0.84	
4	672	19	Nee	-0.81	-0.93	
2	711	47	Nee	-0.39	-0.39	
9	722	52	Nee	-0.27	-0.26	
8	731	153	Nee	-0.18	-0.10	
7 (ref)	747	78				
3	-	-	-	-	-	Ontbreekt
5	-	-	-	-	-	Ontbreekt

7.3.8 Antimoon-124 (^{124}Sb)Tabel 19 Depositie voor ^{124}Sb in het watermonster (Bq/m²).

Labcode	Activiteit [Bq.m ⁻²]	Fout [Bq.m ⁻²]	Uitbijter	z'-test	ζ-test	Totaal
2	53.3	1.2	Nee	-2.43	-3.72	
3	58.1	2.6	Nee	-1.31	-1.54	
1	58.4	3.6	Nee	-1.23	-1.20	
5	61	4	Nee	-0.61	-0.55	
8	61.7	4.4	Nee	-0.45	-0.37	
6	61.9	1.0	Nee	-0.40	-0.64	
7 (ref)	63.6	2.5				
4	-	-	-	-	-	Ontbreekt
9	-	-	-	-	-	Ontbreekt

7.3.9 Antimoon-125 (^{125}Sb)Tabel 20 Depositie voor ^{125}Sb in het watermonster (Bq/m²).

Labcode	Activiteit [Bq.m ⁻²]	Fout [Bq.m ⁻²]	Uitbijter	z'-test	ζ-test	Totaal
3	174	7	Ja	-7.10	-14.62	
9	319	9	Nee	-1.62	-3.02	
2	339	5	Nee	-0.89	-1.95	
1	340	13	Nee	-0.85	-1.36	
6	349	1	Nee	-0.52	-1.24	
7 (ref)	363	11				
8	369	20	Nee	0.25	0.29	
5	382	30	Nee	0.72	0.60	
4	392	4	Nee	1.09	2.50	

7.3.10 Cesium-137 (^{137}Cs)Tabel 21: Depositie voor ^{137}Cs in het watermonster (Bq/m²).

Labcode	Activiteit [Bq.m ⁻²]	Fout [Bq.m ⁻²]	Uitbijter	z'-test	ζ-test	Totaal
1	108	9	Nee	-0.99	-0.74	
6	108	1	Nee	-0.96	-1.14	
9	110	4	Nee	-0.73	-0.76	
2	115	4	Nee	-0.16	-0.17	
8	115	14	Nee	-0.16	-0.09	
7 (ref)	117	7				
4	119	2	Nee	0.22	0.25	
3	120	3	Nee	0.41	0.45	
5	121	8	Nee	0.49	0.40	

8 Bijlage B: Verdeling van ^{131}I in het koolpatroon

8.1 Literatuur

Volgens Li et al.⁸ wordt 98-99 % van het CH_3I geabsorbeerd in de eerste lagen van 1-2 mm van een TEDA geïmpregneerd koolpatroon van 50 mm doorsnee en 20 mm dik. Dat zijn exact de dimensies van de patronen in de WVI bemonsteringsopstelling.

Charcoal section	Content of impregnant				Charcoal W. W. -201
	4%KI ₃	3%KI	5%TEDA	2% KI+ 4% TEDA	
0-1	82.50	81.31	95.0	94.67	49.72
1-2	14.52	14.89	4.80	5.06	29.73
2-3	2.40	3.32	0.18	0.24	13.05
3-4	0.42	0.39	0.02	0.03	5.23
4-5	0.10	0.04	0	0	1.74
5-6	0.06	0.04	0	0	0.43
Charcoal particle size	8—20 mesh				
Gas velocity	15 m/min				
Concentration of methyl iodide	32 mg/l				
R. H.	40%				
Temperature	40°C				
Test duration	2 h				

Figuur 19 Tabel met de absorptie van CH_3I in een TEDA geïmpregneerd koolpatroon (omcirkeld). Figuur overgenomen van Li et al.8

8.2 Reguliere geometrie – homogene verdeling

In de reguliere *Koolpatroon.geo* file, opgebouwd uit een aantal vooraf gedefinieerde lagen met bekende dikte en dichtheid, wordt de activiteit homogeen verondersteld in het koolpatroon-bed (Layer 4). Bij gebrek aan meer kennis over de verdeling van ^{131}I in het koolpatroon is dit een geaccepteerde (foute) werkwijze.

Er is nu door het variëren van enkele factoren zoals laagdiktes en doordringdiepte en het bestuderen van de invloed op de telefficiëntie getracht om de verdeling in het koolpatroon beter te begrijpen.

⁸ Research on removal of radioiodine by charcoal. W. Li, Y. Huang, Y. Wu, J. Ming, L. Guo, Chinese Institute for Radiation Protection, 1993 (inis.iaea.org).

Edit dimensions - Circular Plane

Description: Koolpatroon onderkant

Comment: Koolpatroon gevuld met koolkorrels onderkant

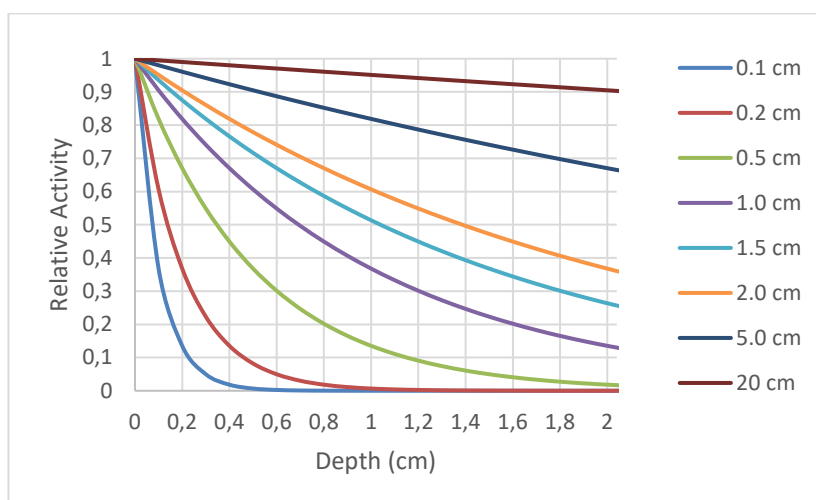
Units: mm cm m in ft

No.	Description	d.1	d.2	d.3	d.4	d.5	Material	Density	Rel. Conc.
1	Side Walls	0	6.2				(none)	0	
2	Layer 1	0.3					air	0.001204	0.00
3	Layer 2	0.02					qaas	2.39	0.00
4	Layer 3	0.01					glasveze	2.23	0.00
5	Layer 4	2.04					kkorrel	0.43	1.00
6	Layer 5	0.01					glasveze	2.23	0.00
7	Layer 6	0.02					qaas	2.39	0.00
8	Layer 7	0					(none)	0	0.00
9	Layer 8	0						0	0.00
10	Layer 9	0						0	0.00
11	Layer 10	0						0	0.00
12	Absorber 1	0.3					plexigls	1.2	
13	Absorber 2	0						0	
14	Source-Detector	0.63	0	0	0	0			

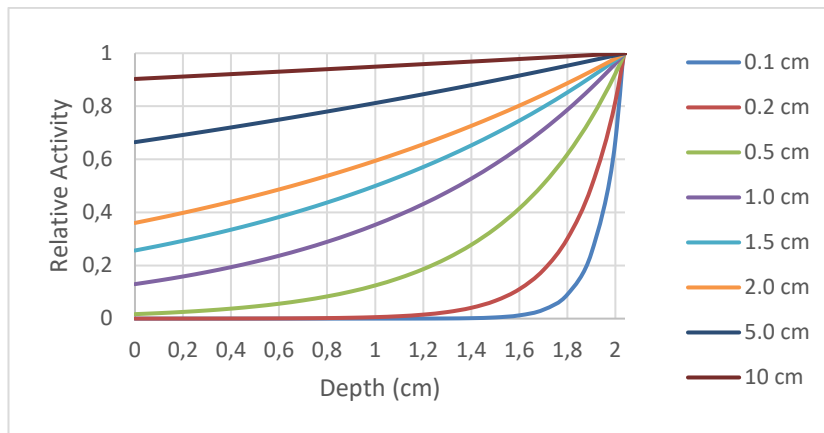
Figuur 20 Regulier Koolpatroon.geo file met daarin de verschillende lagen waar het koolpatroon uit bestaat en de relatieve activiteitsconcentratie.

8.3 Exponentiele afname en toename in het koolpatroon

In Figuur 21 en Figuur 22 is de exponentiele afname en toename van ^{131}I in het koolpatroon weergegeven. Het is het meest aannemelijk dat de ^{131}I als CH_3I in de eerste millimeters van het koolpatroon geadsorbeerd wordt.



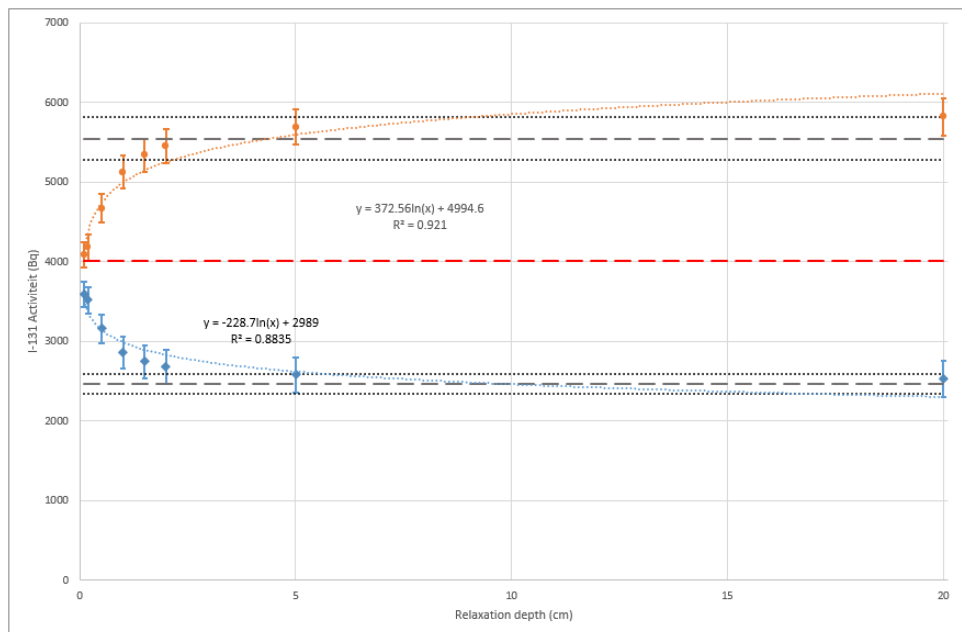
Figuur 21 Grafische weergave van exponentiele afname van de ^{131}I activiteitsconcentratie bij diverse doordringdieptes; aanzijzijde naar detector.



Figuur 22 Grafische weergave van exponentiële toename van de ^{131}I activiteitsconcentratie bij diverse doordringdieptes; aanzuigzijde van detector af.

Met het variëren van de doordringdiepte in de ISOCS geometrie ECP (exponential circular plane) zijn een aantal telefficiënties berekend. Hiermee zijn de gammaspectra van februari-maart 2021 opnieuw geanalyseerd. Dit levert voor elke doordringdiepte een activiteit op van ^{131}I met de aanzuigzijde naar de detector en andersom.

Het resultaat daarvan is weergegeven in Figuur 23. Opvallend is dat de berekende activiteiten lijken te convergeren in de buurt van de kortste doordringdiepte van 1 mm. Blijkbaar komt de modelmatige benadering daar het best overeen met de praktijk.



Figuur 23 Berekende ^{131}I activiteit voor aanzuigzijde boven en onder bij diverse doordringdieptes.

In Tabel 22 worden de berekende resultaten voor de 364 keV gammalijn weergegeven voor enkele doordringdieptes.

Tabel 22 Activiteit voor CH₃I (¹³¹I) in een koolpatroon, berekend met de 364 keV gammalijn van ¹³¹I, en weergegeven voor enkele doordringdieptes (1, 2 en 5 mm). Waarden zijn niet afgerond.

Diepte (mm)	Aanzuigzijde naar detector (Bq)	Aanzuigzijde van detector af (Bq)	Gemiddelde (Bq)
1	4347 ± 349	3604 ± 290	3976 ± 227
2	4442 ± 357	3474 ± 280	3958 ± 227
5	4961 ± 398	3117 ± 251	4039 ± 236

8.4 Conclusie

Op basis van de bovenstaande berekende resultaten is de door RIVM in ISOCS gemodelleerde activiteitsschatting: ¹³¹I **4000 ± 200 Bq (1s)**.

De berekende resultaten geven ook aan dat de doordringdiepte niet van grote invloed is op het eindresultaat als het koolpatroon 2-maal gemeten wordt en het gemiddelde van aanzuigzijde naar de detector en andersom wordt gerapporteerd.

Dit onderbouwt de praktische veronderstelling dat je de verdeling niet hoeft te weten, en dat het gemiddelde van beide metingen goed genoeg is.

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag