

rivm

Rapport 610058008/2009

R.M.W. Overwater-van Buuren | P. Glastra | K. Tukker

Ringonderzoek waakvlaminstituten kernongevallenbestrijding 2007

RIVM-rapport 610058008/2009

Ringonderzoek waakvlaminstituten kernongevallenbestrijding 2007

R.M.W. Overwater-van Buuren
P. Glastra
K. Tukker

Contact:
Ronald Overwater-van Buuren
Laboratorium voor Stralingsonderzoek
ronald.overwater@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van VROM Crisismanagement, in het kader van 'Diagnose
Ongevalsorganisatie Straling'

© RIVM 2009

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'.

Rapport in het kort

Ringonderzoek waakvlaminstituten kernongevallenbestrijding 2007

De kwaliteit van de zogeheten Waakvlaminstituten (WVI's) voldoet in 2007 ruimschoots aan de doelstellingen. Wel zijn enkele verbeteringen wenselijk, vooral op het gebied van kalibratie van de meetopstellingen. Dit blijkt uit onderzoek van het RIVM waarin de kwaliteit is getest van de analyse van water- en luchtmonsters.

In Nederland bestaan er verspreid over het land acht WVI's die bij een kernongeval de overheid informeren over radioactiviteit in lucht en water. De WVI's zijn een onderdeel van het Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding (NPK), dat is opgesteld enkele jaren na de kernramp in Tsjernobyl. Het RIVM coördineert de activiteiten van de WVI's.

De Waakvlaminstituten worden tweejaarlijks getest in de vorm van ringonderzoeken. Hierin wordt beoordeeld of de analyseresultaten op tijd zijn aangeleverd en of ze binnen de afgesproken grenzen overeenkomen. Het lukte de meeste WVI's om de resultaten voor de luchtmonsters binnen twee uur aan te leveren en de resultaten voor de watermonsters binnen 24 uur. De metingen aan de luchtmonsters vielen voor één instituut buiten de gestelde marge.

Voor het onderzoek zijn vier monsters aangemaakt: een aerosolfilter, een koolfilter, een koolpatroon en een watermonster. Ze waren alle vier voorzien van radionucliden die voor kernongevallen karakteristiek zijn.

Trefwoorden:

ringonderzoek, waakvlaminstituut, Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding

Abstract

Intercomparison Contracted Partner Institutes for Nuclear Emergency 2007

The quality of the so-called Contracted Partner Institutes (CPI's) is amply complying with the objectives. Nonetheless, some desirable improvements remain, especially issues concerning the calibration of the measuring equipment. These issues emerged during an investigation performed by RIVM, in which the quality of the analysis of water and air samples was tested.

In the Netherlands there are eight CPI's, evenly spread across the country, who can inform the government about radioactivity in air and water. The CPI's are part of the Dutch National Plan for Nuclear Emergency Planning and Response, which has been drawn up after the nuclear disaster in Chernobyl. RIVM is coordinating the activities of the CPI's.

The Contracted Partner Institutes are tested on a two-yearly base by way of intercomparisons. In these intercomparisons, testing is done on both the timely reporting of the results and on the agreement with the reference value within pre-defined boundaries. Most CPI's were able to deliver the air results within two hours, and the water results within 24 hours. The results of the air samples for one institute were outside the pre-defined boundaries.

Four samples were prepared for the intercomparison: an aerosol filter, a charcoal filter, a charcoal cartridge and a water sample. All four contained radionuclides characteristic for nuclear accidents.

Key words:

intercomparison, Contracted Partner Institute, Nuclear Emergency Planning and Response

Voorwoord

Naast het Laboratorium voor Stralingsonderzoek van het RIVM namen de volgende instituten deel aan dit ringonderzoek:

- N.V. Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland (EPZ), Vlissingen;
- Nuclear Research & consultancy Group (NRG), Petten;
- Uranium Enrichment Company Limited (URENCO), Almelo;
- Koninklijke DSM N.V. Research (DSM), Geleen;
- Stralingsbeschermingsdienst Technische Universiteit Eindhoven (SBD-TU/e), Eindhoven;
- Kernfysisch Versneller Instituut (KVI), Groningen;
- Nuclear Research & consultancy Group (NRG), Arnhem;
- Reactor Instituut Delft (RID), Delft.

Het in dit rapport beschreven ringonderzoek is gedaan op basis van vrijwillige medewerking tegen geringe vergoeding, waarvoor dank.

Inhoud

Samenvatting		7
1	Inleiding	8
2	De monsters	10
2.1	De aerosolfilters	11
2.2	De koolfilters	11
2.3	De koolpatronen	11
2.4	De watermonsters	11
2.5	Geaccepteerde referentiewaarden	12
3	Organisatie van het ringonderzoek	13
4	Resultaten	15
4.1	Het aerosolfilter	15
4.2	Het koolfilter	18
4.3	Het koolpatroon	19
4.4	De watermonsters	20
5	Discussie	23
5.1	Het aerosolfilter	23
5.2	Het koolfilter	24
5.3	Het koolpatroon	25
5.4	De watermonsters	26
6	Conclusies en aanbevelingen	27
Literatuur		29
Bijlage 1	Bibliotheek WVI	30
Bijlage 2	De gerapporteerde resultaten	31
Bijlage 3	Analysemethoden WVI's	32
Bijlage 4	Herziene resultaten	33

Samenvatting

In Nederland is de bestrijding van kernongevallen vastgelegd in het Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding (NPK). Waakvlaminstituten (WVI's), acht instituten verdeeld over Nederland, vormen een onderdeel van het NPK. De WVI's starten na alarmering een gecoördineerd meetprogramma op om verspreiding van radioactiviteit over Nederland in kaart te brengen. Regelmatig worden onderdelen van het NPK getest en geoefend. Voor de WVI's vormen ringonderzoeken onderdeel van deze oefeningen.

In dit rapport worden de resultaten beschreven van een ringonderzoek dat in 2007 onder de waakvlaminstituten (WVI) is gehouden.

In het ringonderzoek is het analyseren van monsters getest. Hiertoe zijn de volgende monsters aangemaakt: een aerosolfilter met ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs en ^{144}Ce , een koolfilter met ^{131}I , een koolpatroon met ^{131}I en een watermonster met ^{131}I , ^{137}Cs , ^{141}Ce en ^{103}Ru . Deze monsters moesten gammaspectrometrisch worden geanalyseerd. De resultaten moesten worden gerapporteerd binnen de tijd die hiervoor is gesteld in het standaard meetprotocol voor waakvlaminstituten in ongevalsomstandigheden. Dit betekent binnen 24 uur voor het watermonster en binnen 2 uur voor de andere monsters.

Voor de watermonsters was 78% van de rapportages op tijd. Alle rapporten waren binnen 25 uur ontvangen. Van de rapportages voor de andere monsters is 48% op tijd, 85% binnen 2,5 uur en alles binnen 3 uur ontvangen.

De resultaten voor het aerosolfilter vertonen een grote spreiding, bovendien is de systematische afwijking ten opzichte van de Geaccepteerde Referentiewaarde (GRW) voor ^{134}Cs groot. Voor een aantal WVI's zou de kalibratie nader bekeken moeten worden en er zou eventueel een coïncidentiecorrectie voor ^{134}Cs ingevoerd moeten worden.

De resultaten voor het koolfilter liggen, met een uitzondering, ruim binnen de 20% van de GRW en voldoen daarmee aan de eisen die in ongevalsituaties gesteld worden.

De resultaten voor het koolpatroon vertonen voor drie WVI's een afwijking ten opzichte van de GRW van meer dan 20%; voor deze WVI's geldt dat de kalibratie moet worden aangepast.

De resultaten voor het watermonster wijken over het algemeen minder dan 5% af van de GRW en voldoen daarmee ruim aan de eisen die in ongevalsituaties gesteld worden.

1 Inleiding

In het kader van het Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding coördineert het Laboratorium voor Stralingsonderzoek van het RIVM (RIVM/LSO) de uitvoering van milieumetingen [1]. Hiertoe heeft het RIVM/LSO, naast voorzieningen in eigen beheer, contracten afgesloten met acht zogenaamde Waakvlaminstituten (WVI's): N.V. EPZ Vlissingen, NRG Petten, URENCO Almelo, DSM Research Geleen, SBD-TU/e Eindhoven, KVI Groningen, NRG Arnhem, en RID Delft. Deze instituten zijn geselecteerd op grond van hun kennis op het gebied van metingen van radioactiviteit en hun geografische spreiding over Nederland. De WVI's starten tijdens een ongeval onder coördinatie van het RIVM/LSO de monsternamen van jodium in lucht, luchtstof en (natte en droge) depositie. Hierbij wordt het meetprogramma door het RIVM/LSO bepaald. Vervolgens worden de monsters door het WVI zelf geanalyseerd. De meetresultaten worden ten slotte doorgegeven aan het RIVM/LSO.

Om alle informatie en communicatiestromen tijdens activiteiten in het kader van het Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding goed vast te leggen heeft het RIVM het digitale informatieplatform 'Calamiteitenweb', kortweg 'Calweb', ontworpen. Iedere deelnemende partij heeft zijn eigen domein binnen Calweb en kan al zijn informatie daar openbaar maken.

Regelmatig worden oefeningen gehouden om het Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding, of onderdelen daarvan, te testen. Oefeningen met de WVI's maken daar deel van uit. Hierbij wordt het bemonsteren met de 'WVI-kastjes' [2] getest, maar ook de communicatie tussen RIVM en de WVI's. Bij de analyse van de metingen maken alle WVI's gebruik van dezelfde nuclidenbibliotheek. Deze bibliotheek is door het RIVM aan de WVI's aangeleverd. De bibliotheek bevat representatieve radionucliden voor een kernongevalscenario en wordt gegeven in Bijlage 1.

Volgens het standaard meetprotocol moet het WVI voor het bemonsteren van luchtstof gedurende twee uur lucht door een filterpakket aanzuigen [3]. Een filterpakket bestaat uit een aerosolfilter, een koolfilter en een koolpatroon. Na beëindiging van de bemonstering dient het volledige filterpakket gammaspectrometrisch geanalyseerd te worden. Hierbij worden het koolfilter en het koolpatroon geanalyseerd op aanwezigheid van jodium. De resultaten moeten maximaal twee uur na beëindiging van de bemonstering via Calweb naar het RIVM gestuurd worden, met behulp van een standaardformulier in Calweb. Voor het bepalen van de activiteit van nucliden in depositie geldt een totale bemonsteringstijd plus analysetijd van 24 uur. Na de analyse moeten de resultaten eveneens via Calweb naar het RIVM gestuurd worden.

In 1994, 1997 en 2001 is onder de WVI's een ringonderzoek georganiseerd waarbij de analysemethoden zijn getest [4,5,6]. Daar waar mogelijk zullen de resultaten van dit ringonderzoek worden vergeleken met de resultaten van het ringonderzoek dat in 2001 is uitgevoerd. In 1994 is de analyse van de monsters getest waarbij geen eisen aan de snelheid van het rapporteren waren gesteld. In 1997 is de analyse van een beperkt aantal monsters getest onder voorwaarde dat de rapportage binnen een bepaalde tijd werd gedaan. De gebruikte monsters waren: een koolpatroon met homogene verdeling van ^{131}I , een koolpatroon met een inhomogene verdeling van ^{131}I en een watermonster met ^{134}Cs en ^{137}Cs . Aangezien géén bemonstering meer werd uitgevoerd, moest een volledig filterpakket binnen twee uur geanalyseerd en gerapporteerd worden. Voor een watermonster moest dit binnen 24 uur gedaan worden.

In de ringonderzoeken van 2001 en 2007 is het analyseren van de monsters getest met hetzelfde tijdsregime als in 1997. Daarbij is gebruikgemaakt van een watermonster en een volledig filterpakket, bestaande uit een aerosolfilter, een koolfilter en een koolpatroon. Elk van de monsters bevat in ieder geval ^{131}I . Het koolpatroon is aangemaakt door het aanzuigen van een organische jodiumverbinding. In het ringonderzoek van 2001 bevatte het aerosolfilter de nucliden ^{131}I , ^{134}Cs en ^{137}Cs , het koolfilter en het koolpatroon ^{131}I , en het watermonster ^{131}I , ^{134}Cs en ^{137}Cs . In 2007 bevatte het aerosolfilter de nucliden ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs en ^{144}Ce , het koolfilter en het koolpatroon ^{131}I , en het watermonster ^{131}I , ^{137}Cs , ^{141}Ce en ^{103}Ru .

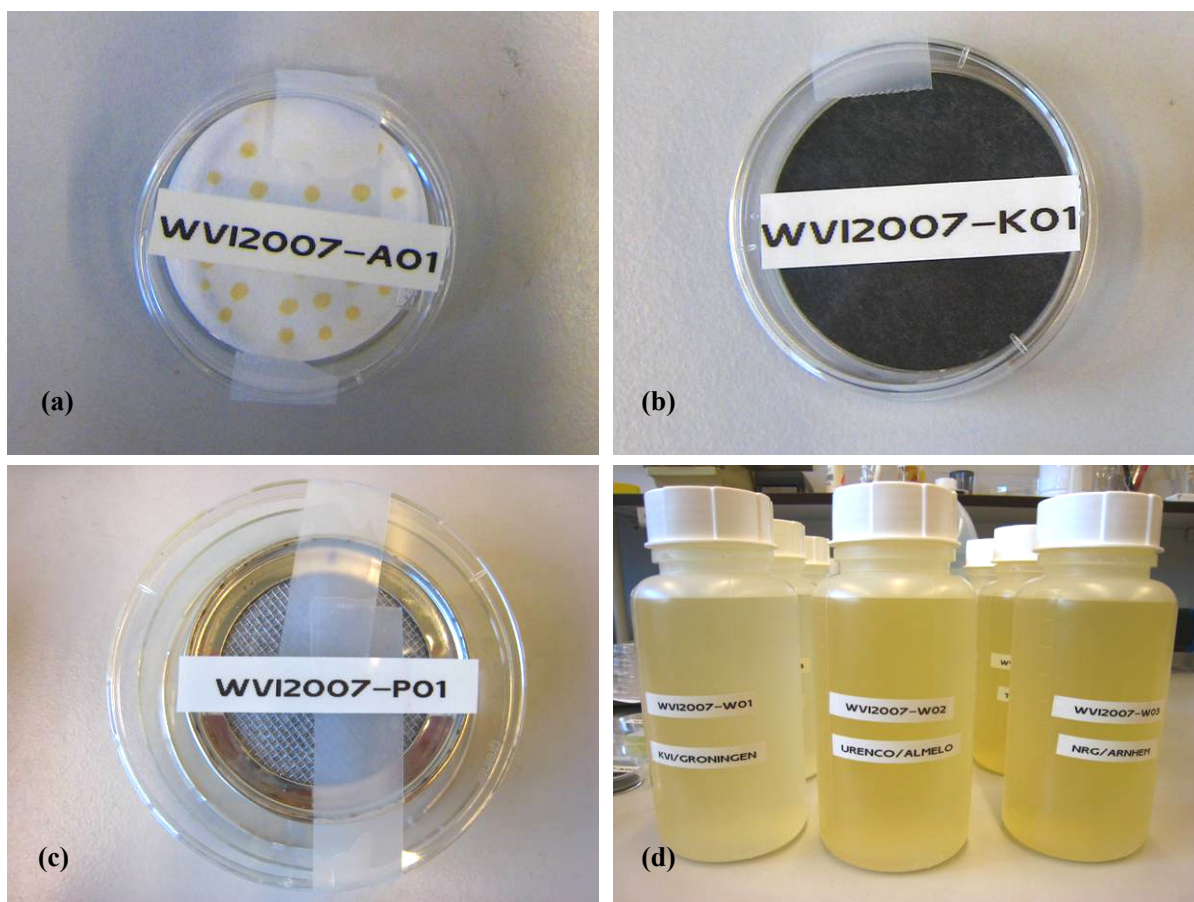
In Tabel zijn de gebruikte nucliden in de monsters in de afgelopen ringonderzoeken samengevat. Elk van de gekozen radionucliden is afkomstig uit de nuclidenbibliotheek (zie Bijlage 1), waarbij gelet is op een voldoende lange halfwaardetijd voor de radionucliden, zodat elk van de instituten gelijkwaardige analyseomstandigheden hadden.

Tabel 1.1 Overzicht radionucliden toegevoegd aan monsters bij de verschillende ringonderzoeken

jaar	1994			1997			2001			2007		
type	kool- patroon	kool- patroon	water	aerosol filter	koolfilter/ -patroon	water	aerosol filter	koolfilter/ -patroon	water			
^{131}I	X	X		X	X	X	X	X	X			
^{134}Cs			X	X		X	X					
^{137}Cs			X	X		X	X		X			
^{144}Ce							X					
^{141}Ce									X			
^{103}Ru									X			

2 De monsters

In dit ringonderzoek is ervoor gekozen om een volledig filterpakket te laten circuleren langs de waakvlaminstituten. Er zijn twee aerosolfilters, twee koolfilters en twee koolpatronen aangemaakt. Van elk onderdeel van een filterpakket is één exemplaar gekozen voor het ringonderzoek. Verder is een oplossing van tien liter water gemaakt, waaruit tien literflessen gevuld zijn. Negen zijn vervolgens gekozen voor het ringonderzoek, zodat elk waakvlaminstituut een eigen fles voor de analyse kon gebruiken. De monsters zijn getoond in Figuur 2.1a tot en met d.



Figuur 2.1 Monsters zoals gebruikt in dit ringonderzoek: aerosolfilter (a), koolfilter (b), koolpatroon (c) en watermonsters (d).

2.1 De aerosolfilters

De aerosolfilters zijn van activiteit voorzien door het National Physics Laboratory (NPL). Het voor het ringonderzoek gekozen filter, met code X07077, bevatte de volgende nucliden (onzekerheden zijn gegeven als 1 sigma):

^{131}I	(514 ± 12) Bq
^{134}Cs	(206 ± 6) Bq
^{137}Cs	(198 ± 6) Bq
^{144}Ce	(605 ± 18) Bq

De referentiedatum voor de gecertificeerde activiteiten is 23 april 2007, 12:00 uur.

2.2 De koolfilters

De koolfilters zijn ook aangemaakt door het NPL. Het voor het ringonderzoek gekozen filter, met code X07075, bevatte ^{131}I met als gecertificeerde activiteit (431 ± 10) Bq op 23 april 2007, 12:00 uur.

2.3 De koolpatronen

De koolpatronen zijn aangemaakt door de Nuclear Research & consultancy Group (NRG) door het aanzuigen van methyljodide ($\text{CH}_3\ ^{131}\text{I}$) op identieke wijze als bij het ringonderzoekmonster van 2001 [6]. Het voor het ringonderzoek van 2007 gekozen koolpatroon, met code 01, bevatte een gecertificeerde activiteit van (630 ± 60) Bq op 23 april 2007 om 12:00 uur.

2.4 De watermonsters

Er is door NPL 1,0 liter water, met code B07340, aangemaakt met de volgende nucliden:

^{131}I	(5,10 ± 0,05) kBq/L
^{137}Cs	(4,86 ± 0,08) kBq/L
^{141}Ce	(5,11 ± 0,10) kBq/L
^{103}Ru	(4,95 ± 0,14) kBq/L

waarbij een verontreiniging van ^{139}Ce in het ^{141}Ce aanwezig is met de volgende activiteit:

^{139}Ce	(0,48 ± 0,03) kBq/L
-------------------	---------------------

De referentiedatum voor deze gecertificeerde activiteiten is 23 april 2007 om 12:00 uur.

Deze oplossing is met demiwater aangevuld tot 10,0 liter. Daarna is de oplossing gehomogeniseerd door het herhaaldelijk kantelen van de fles. Uit deze tienliterfles zijn 10 flessen van 1 liter gevuld met coderingen lopend van WVI-1 tot WVI-10. Om de homogeniteit te controleren zijn uit de literflessen teldozen gevuld met 250 ml-oplossing. Deze monsters zijn gedurende 7200 seconden gemeten op een gammaspectrometrie-opstelling. Het netto aantal counts in de fotopieken van ^{131}I , ^{137}Cs , ^{141}Ce en ^{103}Ru per gram massa in de teldoos is bepaald en weergegeven in Tabel 2.1. Het aantal counts is voor verval gecorrigeerd, waarbij is teruggerekend naar het begin van de homogeniteitstest. Na de test zijn de teldozen weer toegevoegd aan de literflessen.

Tabel 2.1 Homogeniteitstest van de WVI-watermonsters; tussen haakjes de geselecteerde energie in keV

nummer teldoos	vulmassa [g]	¹³¹ I (364) counts/g	¹³⁷ Cs (662) counts/g	¹⁴¹ Ce (145) counts/g	¹⁰³ Ru (497) counts/g
WVI2007-W01	247,51	46,43	15,57	41,10	25,33
WVI2007-W02	247,30	47,05	15,44	41,24	25,15
WVI2007-W03	247,39	46,07	15,63	42,08	25,52
WVI2007-W04	247,37	47,05	15,48	40,27	24,96
WVI2007-W05	247,17	45,15	15,59	40,33	24,38
WVI2007-W06	247,43	46,68	16,05	40,33	25,47
WVI2007-W07	247,12	45,99	15,52	42,09	25,36
WVI2007-W08	247,33	46,45	15,66	40,52	25,76
WVI2007-W09	247,76	45,52	15,67	41,91	25,48
WVI2007-W10	247,53	46,95	15,94	40,50	25,90
gemiddelde	247,39	46,33	15,66	41,04	25,33
1s (%)	0,07%	1,33%	1,19%	1,75%	1,61%

Binnen een onzekerheid van ongeveer 2% is het mengsel homogeen.

2.5 Geaccepteerde referentiewaarden

Voor het aerosolfilter, het koolfilter en het koolpatroon zijn de in de paragrafen 2.1, 2.2 en 2.3 vermelde activiteiten als geaccepteerde referentiewaarde (GRW) gebruikt. Voor het water is een tiende van de waarden voor 1 liter water geleverd door NPL (zie paragraaf 2.4) als GRW gebruikt.

3 Organisatie van het ringonderzoek

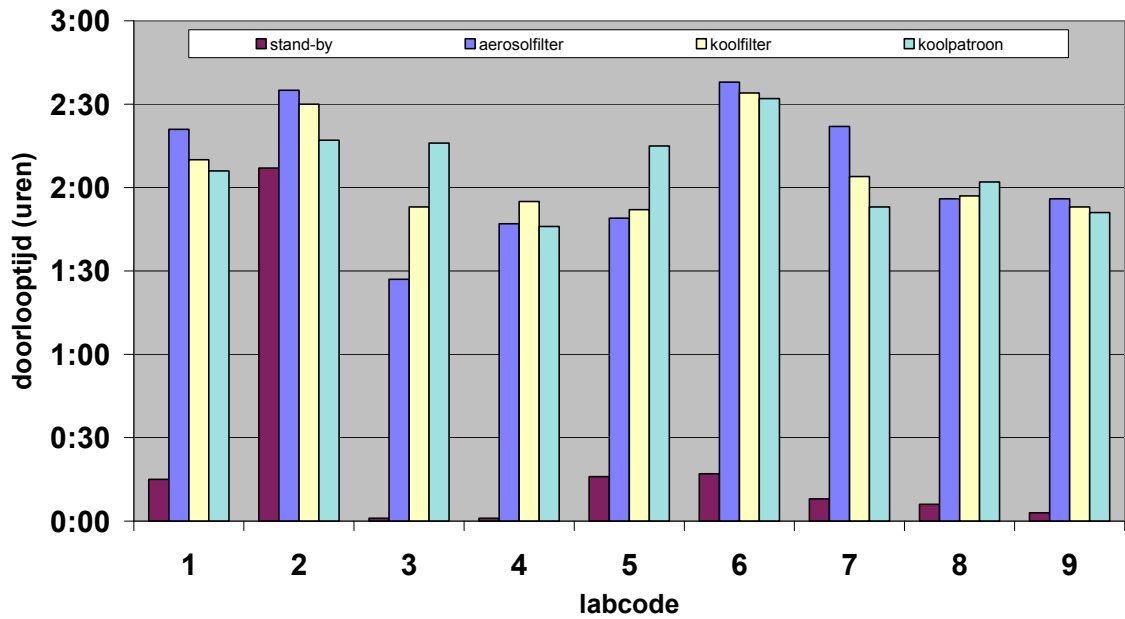
Een chauffeur van de RIVM-vervoersdienst bracht de monsters langs de WVI's. Elk van de WVI's kreeg een van de tien flessen water die ze mochten behouden. Het filterpakket werd na afloop van de metingen weer door de chauffeur in ontvangst genomen en naar het volgende WVI gebracht. Per dag werden twee WVI's bezocht. De doorlooptijd van het ringonderzoek was vijf dagen. Onderstaande tabel geeft de data waarop de monsters bij de WVI's zijn aangeleverd.

Tabel 3.1 Aanleveringsschema van de monsters bij de WVI's

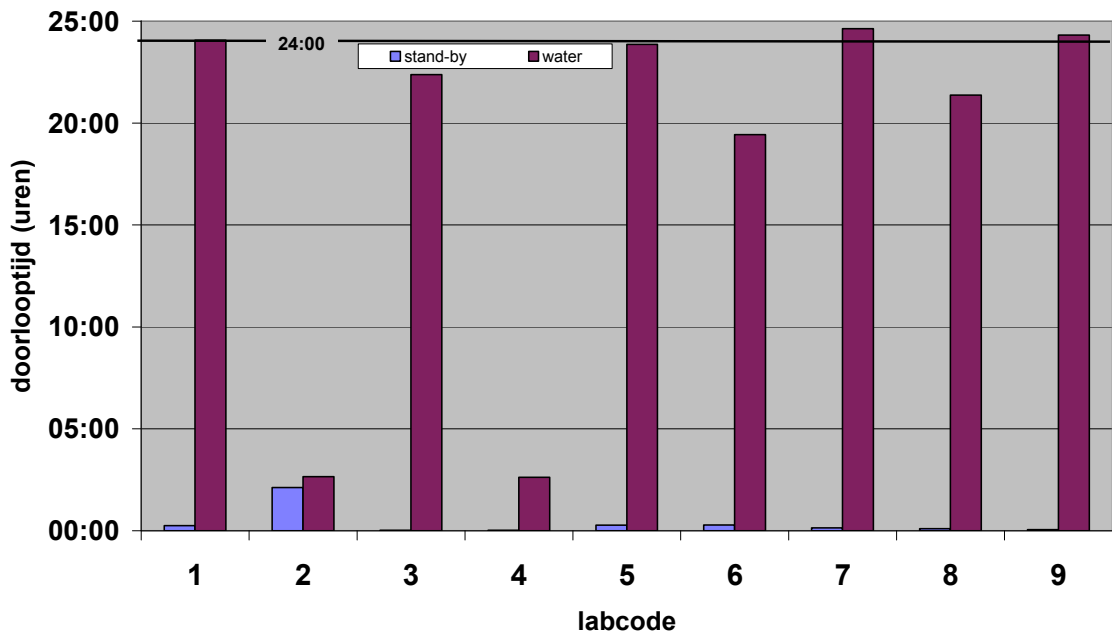
WVI	Aanlevering monsters
KVI	Maandagochtend 23-04-2007
URENCO	Maandagmiddag 23-04-2007
NRG Arnhem	Dinsdagochtend 24-04-2007
NRG Petten	Dinsdagmiddag 24-04-2007
DSM	Woensdagochtend 25-04-2007
TUE/SBD	Woensdagmiddag 25-04-2007
RID/Delft	Donderdagochtend 26-04-2007
EPZ	Donderdagmiddag 26-04-2007
RIVM	Vrijdagochtend 27-04-2007

Door de chauffeur is het tijdstip van afgifte van het filterpakket en het watermonster genoteerd. De WVI's is verzocht de resultaten via Calweb naar het RIVM op te sturen, waarbij het tijdstip van registratie in Calweb als tijdstip van ontvangst geldt. Het tijdstip van aanmelden in Calweb is ook bijgehouden (stand-by).

Figuur 3.1 en Figuur 3.2 tonen de tijdsintervallen tussen de afgifte van de monsters en de ontvangst van de resultaten in Calweb voor respectievelijk de onderdelen van het filterpakket en het watermonster.



Figuur 3.1 Tijd tussen de afgifte van het filterpakket en de ontvangst van de resultaten



Figuur 3.2 Tijd tussen de afgifte van het watermonster en de ontvangst van de resultaten

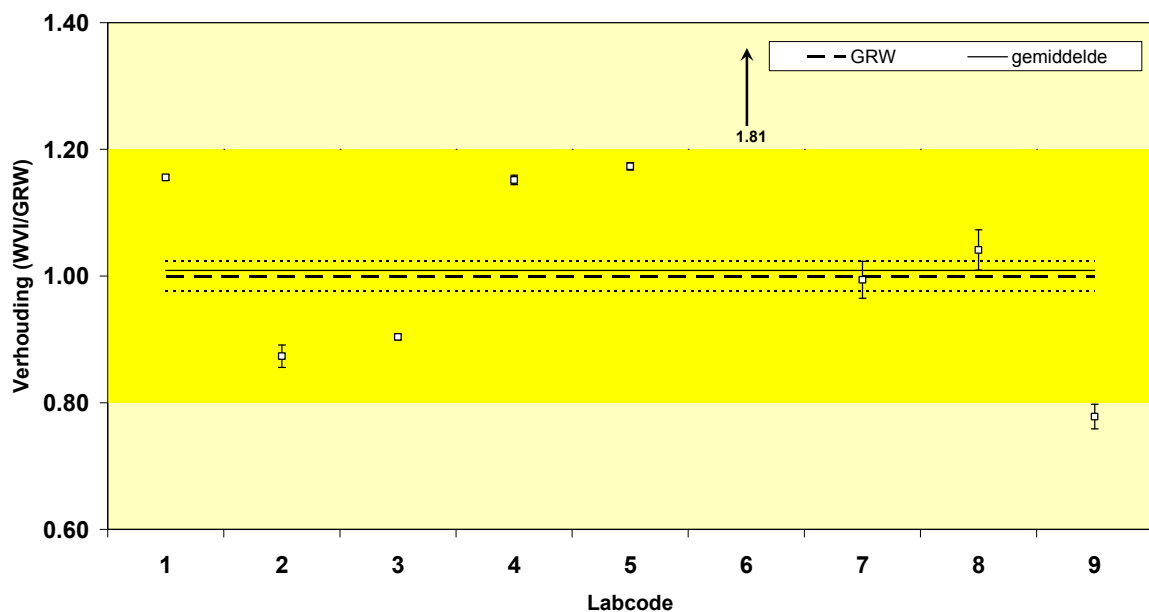
4 Resultaten

De resultaten worden gegeven als de verhouding van de data van de WVI's tot de gecertificeerde referentiewaarde (GRW, zie hoofdstuk 2) en het gemiddelde van de WVI's tot de GRW. Alle resultaten, zoals ze zijn gerapporteerd, worden in Bijlage 2 gegeven. In Bijlage 3 zijn de analysemethoden van elk van de WVI's kort samengevat. Na de bespreking van het ringonderzoek gaven enkele WVI's aan dat zij hun resultaten wilden herzien. Deze herziene data zijn weergegeven in Bijlage 4, maar zijn niet gebruikt bij de verwerking van de resultaten in dit hoofdstuk en in de volgende hoofdstukken.

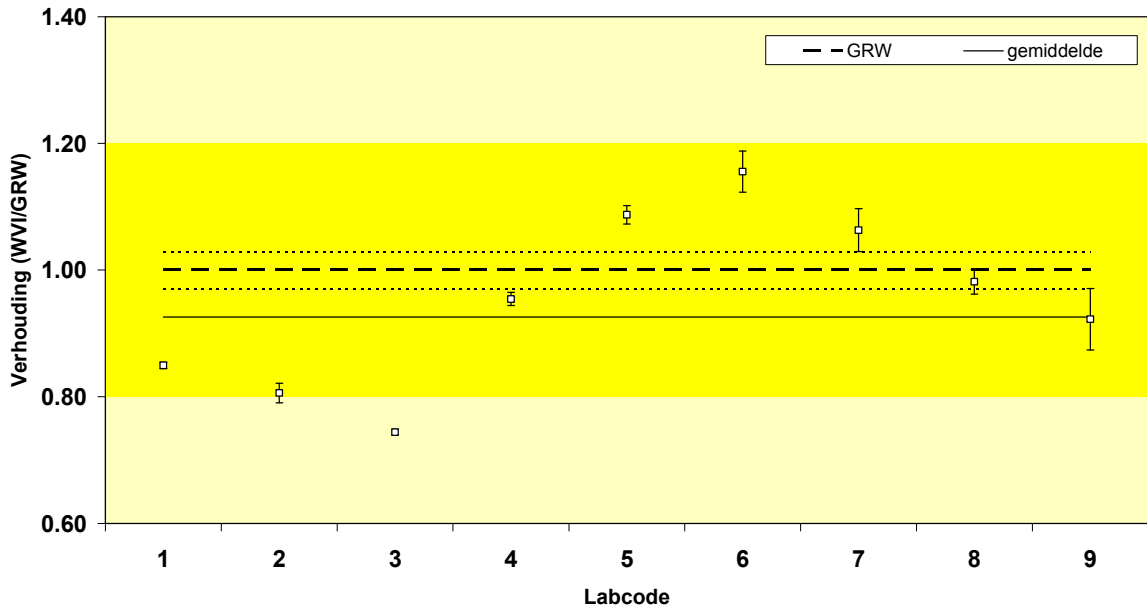
Gezien het doel van metingen en de overige onzekerheden tijdens een nucleaire calamiteit, is afgesproken afwijkingen ten opzichte van de GRW bij metingen aan de luchtfilters tot 20% en bij watermonsters tot 10% als acceptabel te beschouwen. Deze acceptatiegrenzen zijn als donkerder gekleurde balken weergegeven in de figuren in dit hoofdstuk.

4.1 Het aerosolfilter

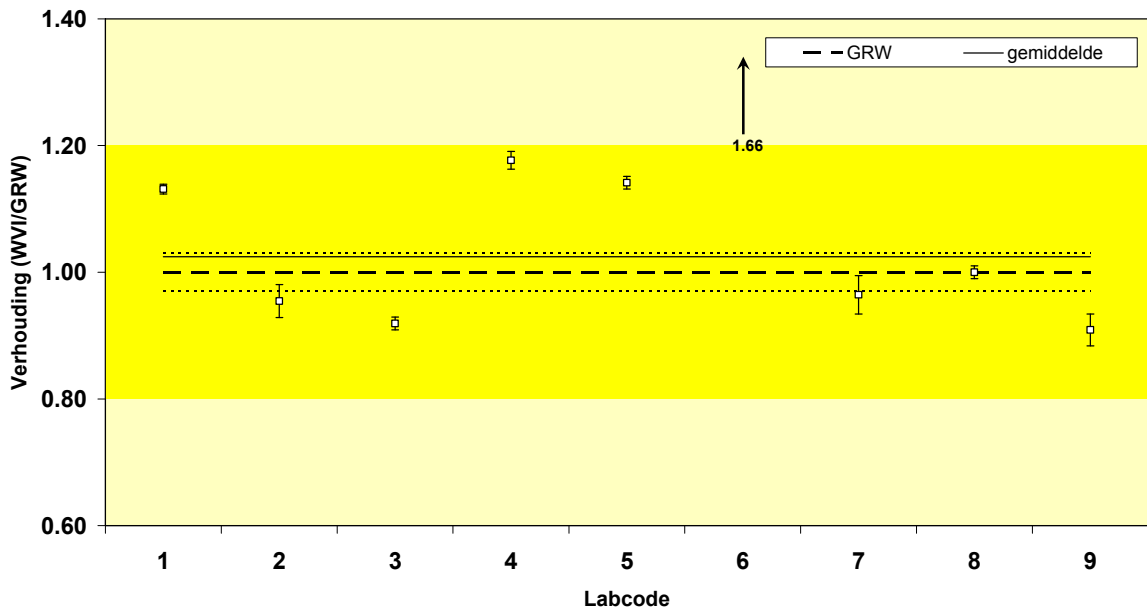
De resultaten van de WVI's voor het aerosolfilter zijn weergegeven in Figuur 4.1 voor ^{131}I , in Figuur 4.2 voor ^{134}Cs , in Figuur 4.3 voor ^{137}Cs en in Figuur 4.4 voor ^{144}Ce .



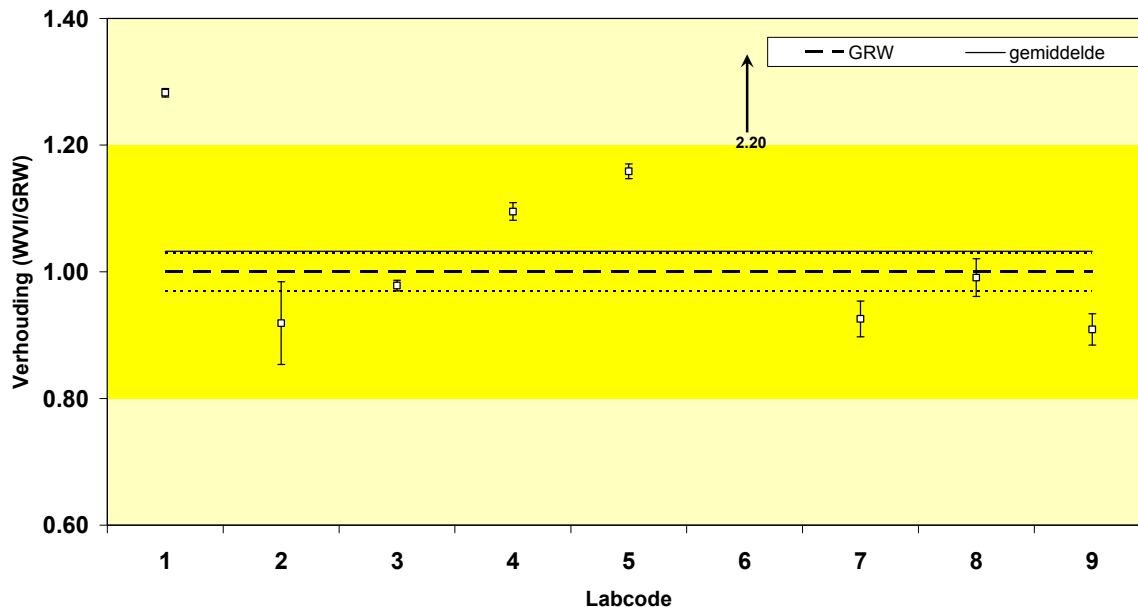
Figuur 4.1 Afwijking ten opzichte van de GRW voor ^{131}I in het aerosolfilter, per WVI. De GRW is (514 ± 12) Bq. De stippellijnen rondom de GRW geven de 1 sigma onzekerheid in de GRW aan. De doorgetrokken lijn geeft het gemiddelde van de WVI's aan. De donkergele balk geeft de acceptatieband aan.



Figuur 4.2 Afwijking ten opzichte van de GRW voor ^{134}Cs in het aerosolfilter, per WVI. De GRW is (206 ± 6) Bq. De stippellijnen rondom de GRW geven de 1 sigma onzekerheid in de GRW aan. De doorgetrokken lijn geeft het gemiddelde van de WVI's aan. De donkergele balk geeft de acceptatieband aan.



Figuur 4.3 Afwijking ten opzichte van de GRW voor ^{137}Cs in het aerosolfilter, per WVI. De GRW is (198 ± 6) Bq. De stippellijnen rondom de GRW geven de 1 sigma onzekerheid in de GRW aan. De doorgetrokken lijn geeft het gemiddelde van de WVI's aan. De donkergele balk geeft de acceptatieband aan.

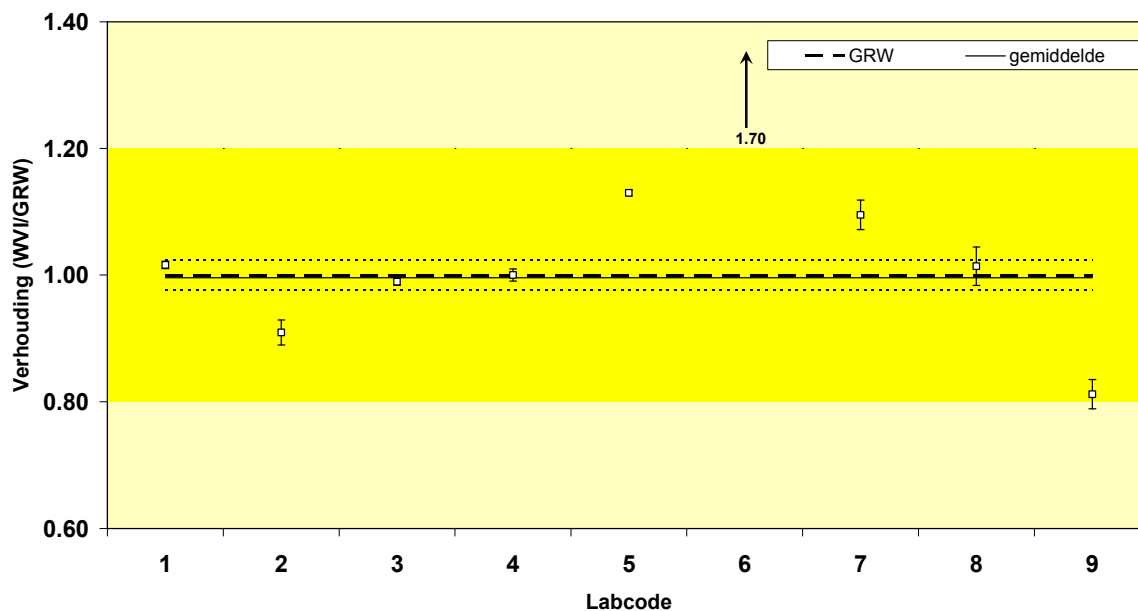


Figuur 4.4 Afwijking ten opzichte van de GRW voor ^{144}Ce in het aerosolfilter, per WVI. De GRW is (605 ± 18) Bq. De stippellijnen rondom de GRW geven de 1 sigma onzekerheid in de GRW aan. De doorgetrokken lijn geeft het gemiddelde van de WVI's aan. De donkergele balk geeft de acceptatieband aan.

De resultaten van het WVI met de labcode 6 voor ^{131}I , ^{137}Cs en ^{144}Ce zijn niet meegenomen in de bepaling van het gemiddelde, omdat uit Grubb's test [7] volgt dat het uitbijters zijn. Het WVI met de labcode 1 rapporteert ook het nuclide ^{241}Am dat volgens opgave van NPL niet op het aerosolfilter aanwezig is. Nadere inspectie van het spectrum leert inderdaad dat een spoor van ^{241}Am als vervuiling aanwezig is op het aerosolfilter.

4.2 Het koolfilter

De resultaten van de WVI's voor het koolfilter zijn weergegeven in Figuur 4.5.

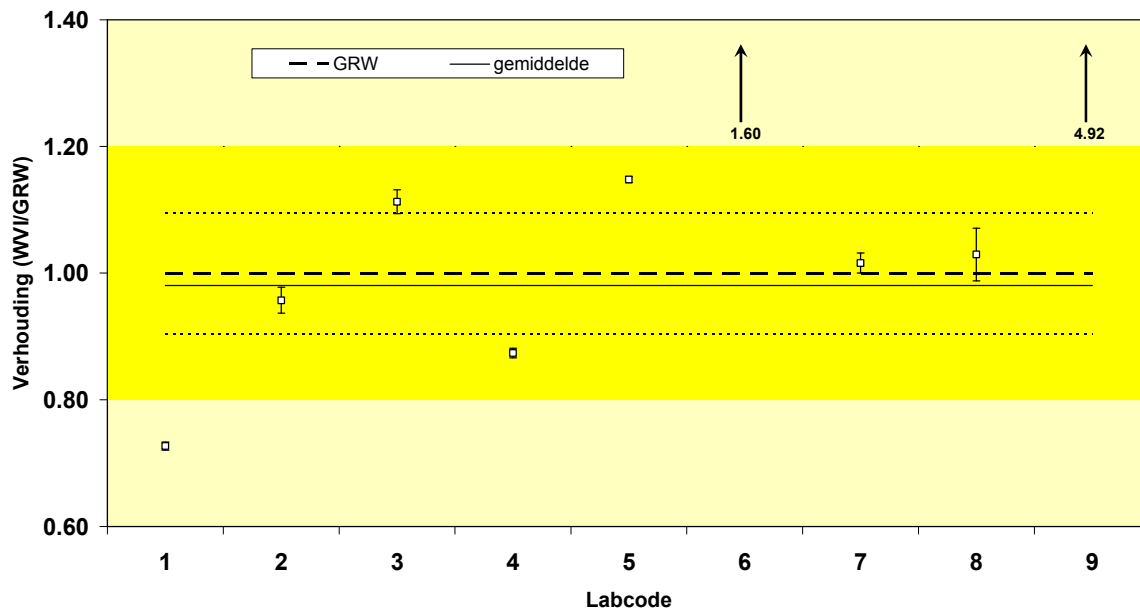


Figuur 4.5 Afwijking ten opzichte van de GRW voor ^{131}I in het koolfilter, per WVI. De GRW is (431 ± 10) Bq. De stippellijnen rondom de GRW geven de 1 sigma onzekerheid in de GRW aan. De doorgetrokken lijn geeft het gemiddelde van de WVI's aan. De donkergele balk geeft de acceptatieband aan.

Het resultaat van het WVI met de labcode 6 is niet meegenomen in de bepaling van het gemiddelde omdat uit Grubb's test [7] volgt dat het een uitbijter is.

4.3 Het koolpatroon

De resultaten van de WVI's voor het koolpatroon zijn weergegeven in Figuur 4.6.

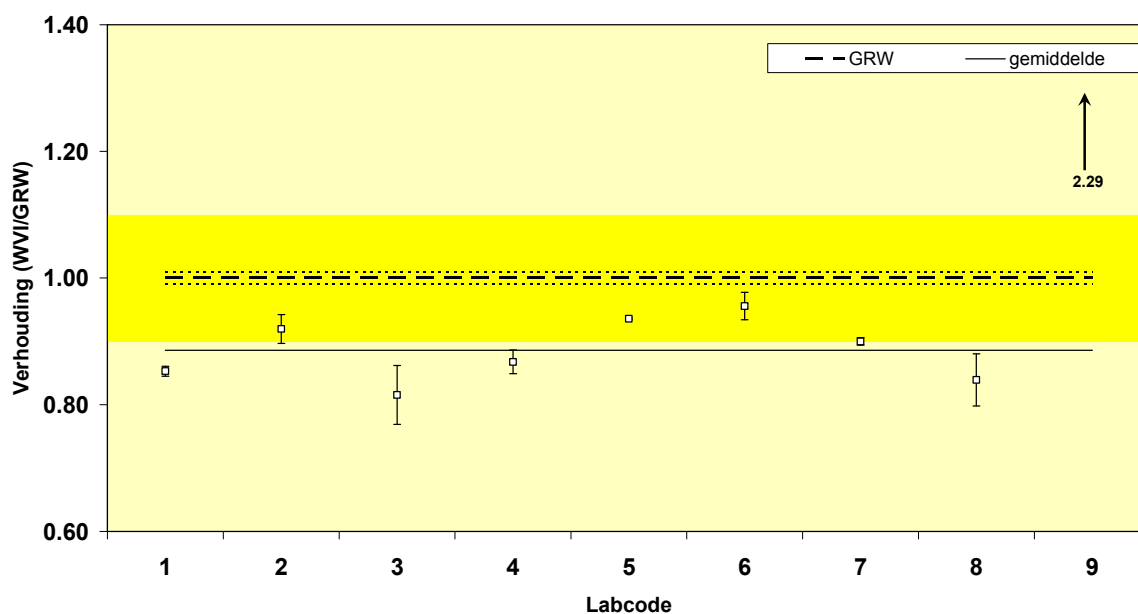


Figuur 4.6 Afwijking ten opzichte van de GRW voor ¹³¹I in het koolpatroon, per WVI. De GRW is (630 ± 60) Bq. De stippellijnen rondom de GRW geven de 1 sigma onzekerheid in de GRW aan. De doorgetrokken lijn geeft het gemiddelde van de WVI's aan. De donkergele balk geeft de acceptatieband aan.

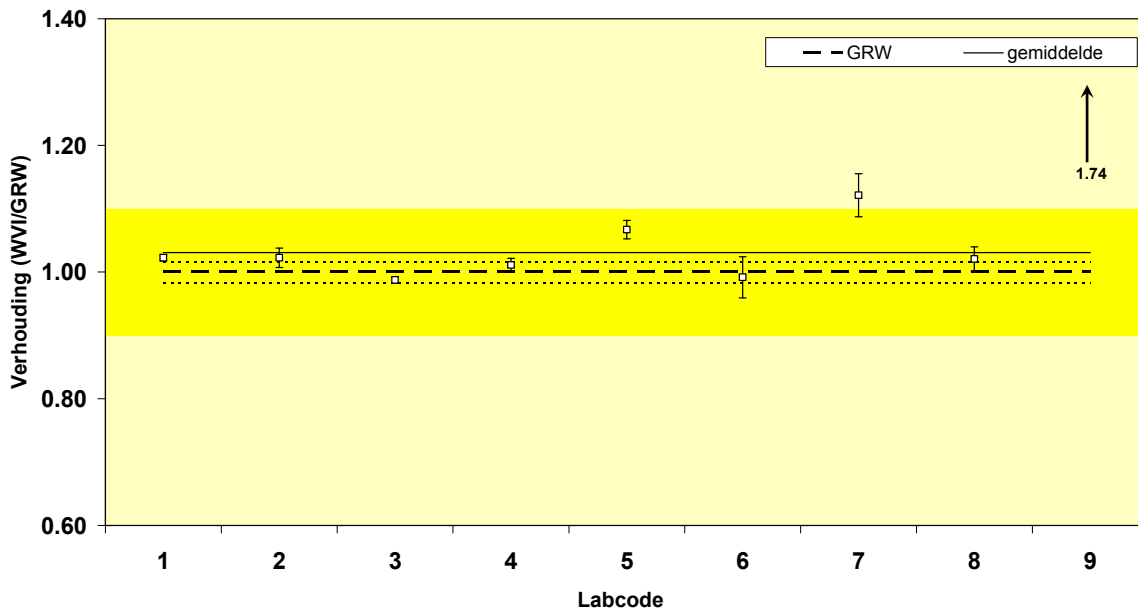
Het resultaat van de WVI's met de labcodes 6 en 9 zijn niet meegenomen in de bepaling van het gemiddelde omdat uit Grubb's test volgt dat het uitbijters zijn.

4.4 De watermonsters

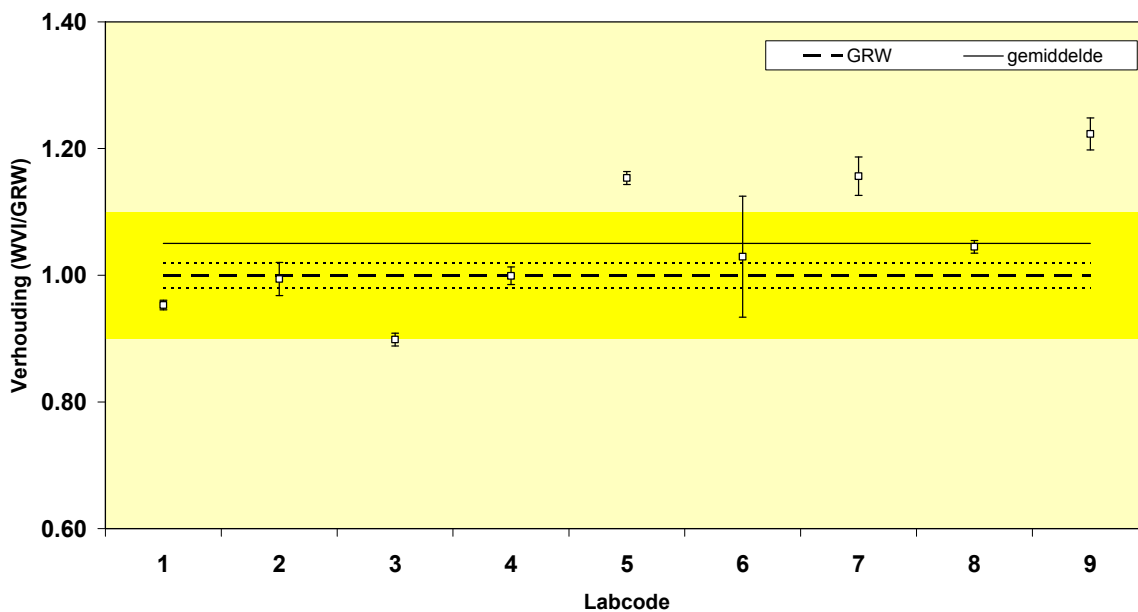
De resultaten van de WVI's voor het watermonster zijn weergegeven in Figuur 4.7 voor ^{131}I , in Figuur 4.8 voor ^{137}Cs , in Figuur 4.9 voor ^{141}Ce en in Figuur 4.10 voor ^{103}Ru .



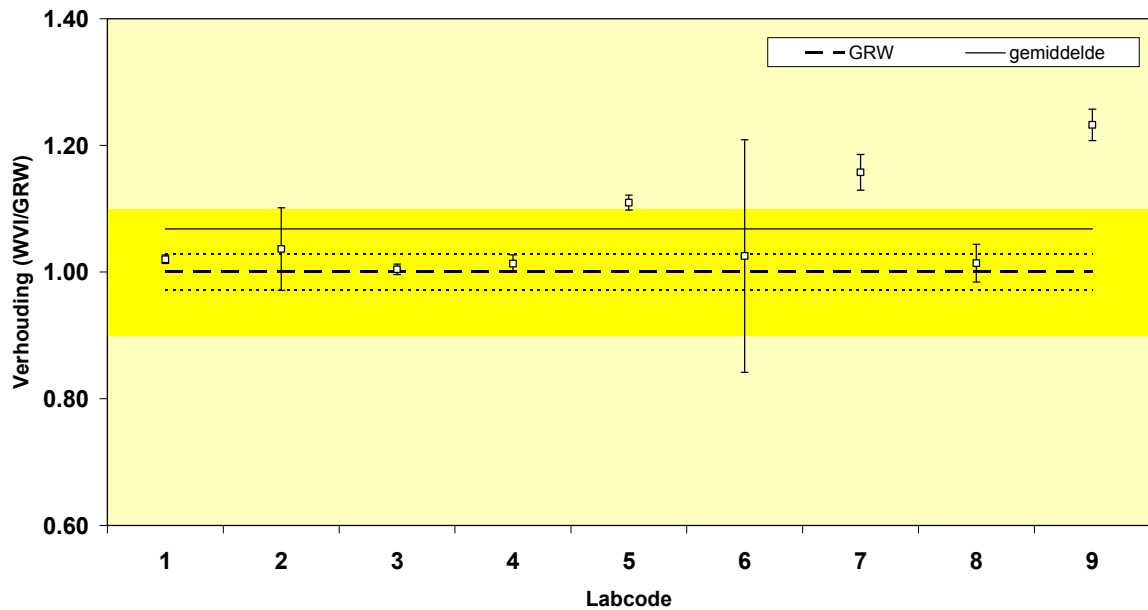
Figuur 4.7 Afwijking ten opzichte van de GRW voor ^{131}I in het watermonster, per WVI. De GRW is $(510 \pm 5) \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$. De stippellijnen rondom de GRW geven de 1 sigma onzekerheid in de GRW aan. De doorgetrokken lijn geeft het gemiddelde van de WVI's aan. De donkergele balk geeft de acceptatieband aan.



Figuur 4.8 Afwijking ten opzichte van de GRW voor ^{137}Cs in het watermonster, per WVI. De GRW is $(486 \pm 8) \text{ Bq L}^{-1}$. De stippellijnen rondom de GRW geven de 1 sigma onzekerheid in de GRW aan. De doorgetrokken lijn geeft het gemiddelde van de WVI's aan. De donkergele balk geeft de acceptatieband aan.



Figuur 4.9 Afwijking ten opzichte van de GRW voor ^{141}Ce in het watermonster, per WVI. De GRW is $(511 \pm 10) \text{ Bq L}^{-1}$. De stippellijnen rondom de GRW geven de 1 sigma onzekerheid in de GRW aan. De doorgetrokken lijn geeft het gemiddelde van de WVI's aan. De donkergele balk geeft de acceptatieband aan.



Figuur 4.10 Afwijking ten opzichte van de GRW voor ^{103}Ru in het watermonster, per WVI. De GRW is $(495 \pm 14) \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$. De stippellijnen rondom de GRW geven de 1 sigma onzekerheid in de GRW aan. De doorgetrokken lijn geeft het gemiddelde van de WVI's aan. De donkergele balk geeft de acceptatieband aan.

De resultaten van het WVI met de labcode 9 voor ^{131}I en ^{137}Cs zijn niet meegenomen in de bepaling van het gemiddelde omdat uit Grubb's test volgt dat het uitbijters zijn.

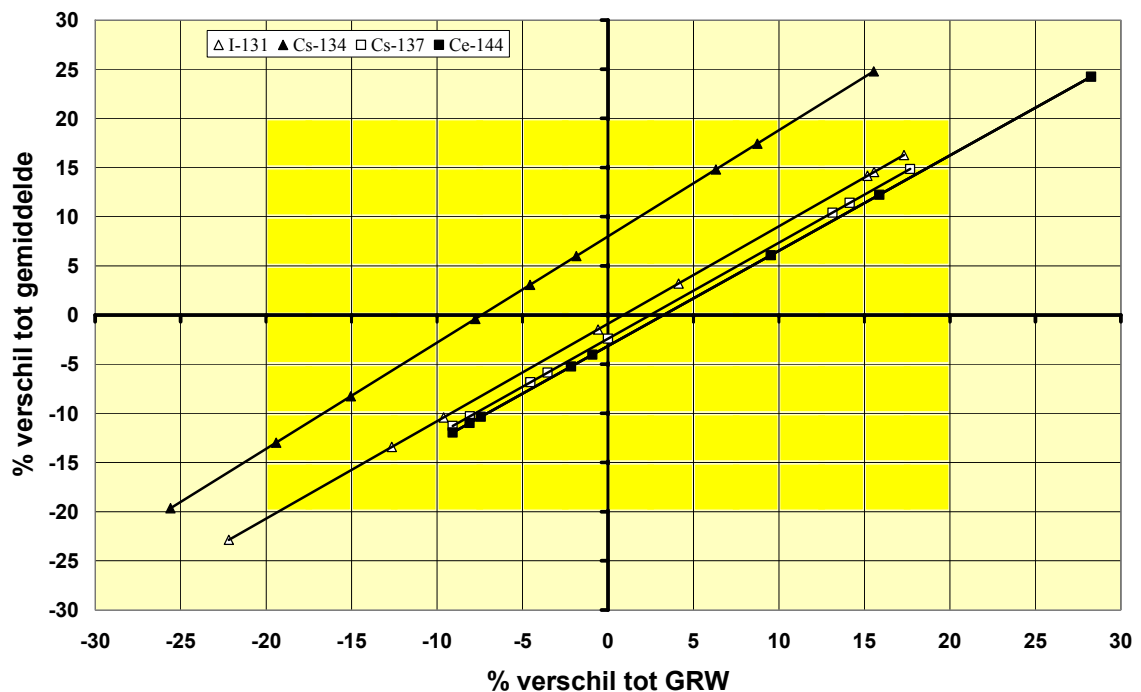
De WVI's met de labcodes 1, 4 en 8 rapporteren het nuclide ^{139}Ce dat volgens opgave van NPL ook daadwerkelijk in het watermonster als verontreiniging aanwezig is. Dit nuclide staat niet in de standaard bibliotheek zoals genoemd in Bijlage 1 en wordt daarom ook niet beoordeeld in dit rapport. Dat het wel gerapporteerd wordt is een goede zaak, aangezien ook bij een kernongeval nucliden die niet in de bibliotheek staan kunnen worden aangetroffen.

Het WVI met de labcode 9 rapporteert ook de nucliden ^{134}Cs en ^{144}Ce die beide volgens NPL niet in het watermonster aanwezig zijn.

5 Discussie

5.1 Het aerosolfilter

Om de juistheid en precisie van de resultaten grafisch aanschouwelijk te maken is voor alle WVI's in Figuur 5.1 het relatieve procentuele verschil met de gemiddelde waarde uitgezet tegen het relatieve procentuele verschil met de GRW. De lengte van het lijnstuk dat ingenomen wordt door de punten is een maat voor de precisie (zeer precies is lengte nul) en een systematische afwijking komt tot uiting door de doorsnijding van het lijnstuk met de horizontale as (geen systematische afwijking geeft een lijn door de oorsprong). De in hoofdstuk 4 als uitbijter aangemerkte resultaten zijn niet meegenomen in de grafische weergave.

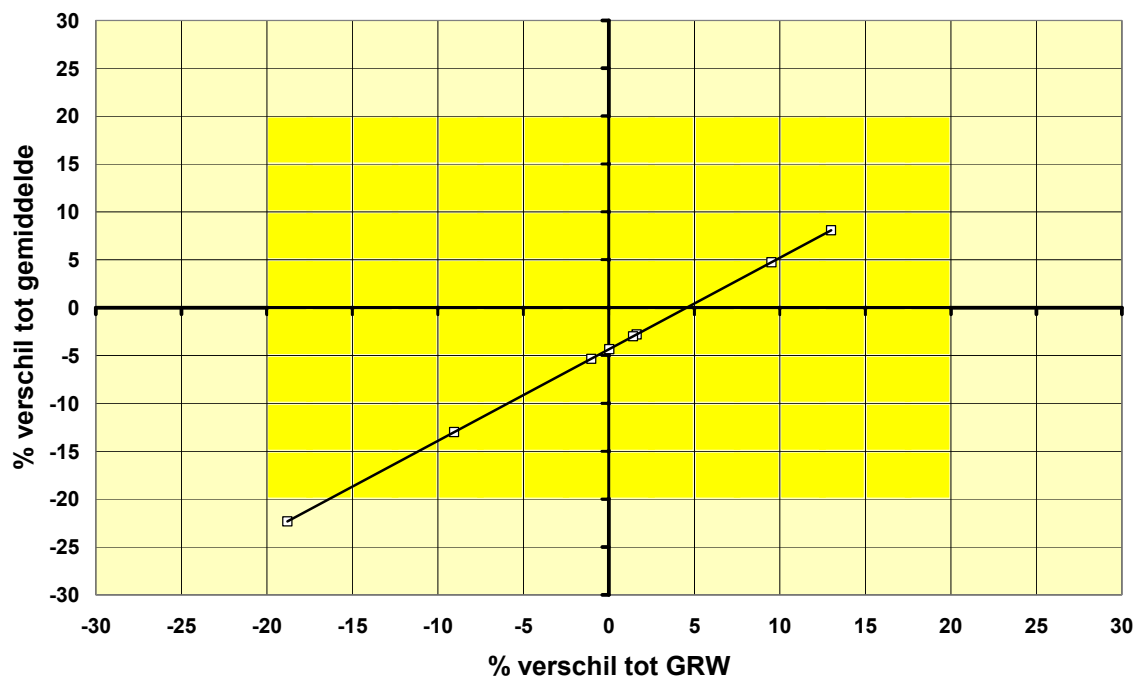


Figuur 5.1 Relatieve procentuele verschil met de over alle WVI's gemiddelde waarde als functie van het relatieve procentuele verschil met de GRW voor het aerosolfilter (enkele punten vallen samen). De donkergele balk geeft de acceptatieband aan.

De spreiding in de resultaten voor ^{144}Ce , ^{134}Cs en ^{131}I is groot, maar het merendeel van de resultaten valt binnen de grens voor de maximaal geaccepteerde afwijking van 20% ten opzichte van de GRW. De systematische afwijking voor ^{137}Cs en ^{144}Ce is circa 3%, voor ^{131}I circa 1%. Voor ^{134}Cs is de systematische afwijking een stuk groter, circa 8%, waarschijnlijk omdat enkele WVI's niet corrigeren voor coïncidentieverliezen.

5.2 Het koolfilter

In Figuur 5.2 is hetzelfde uitgezet als in Figuur 5.1 maar nu voor de resultaten van het koolfilter.

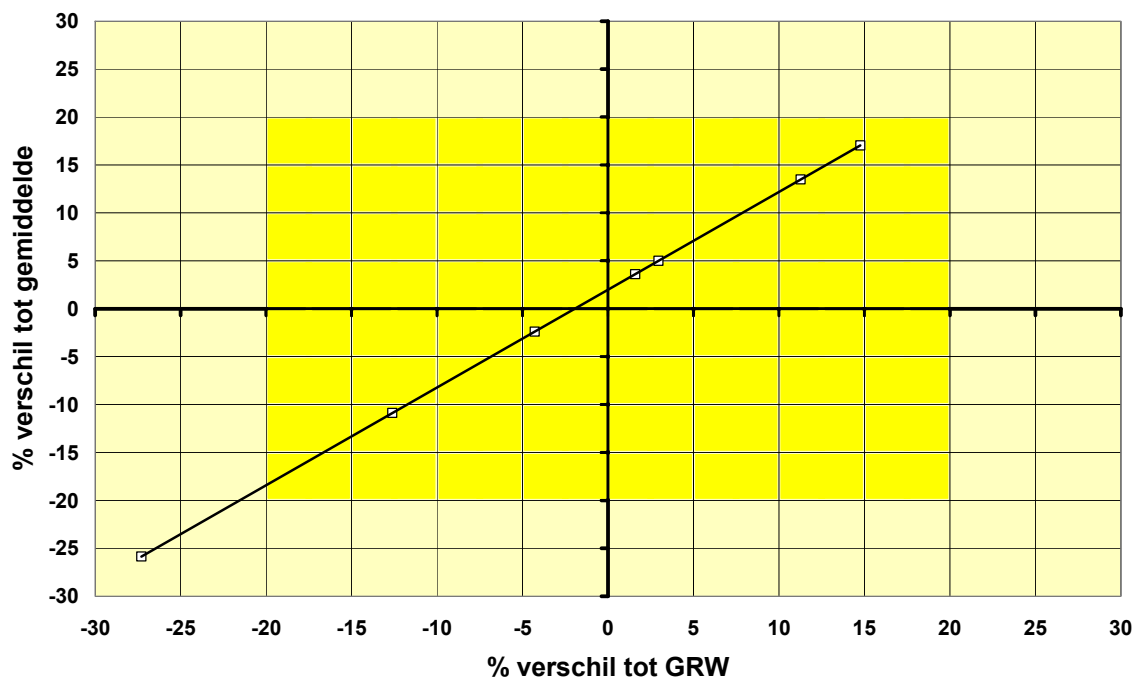


Figuur 5.2 Relatieve procentuele verschil met de over alle WVI's gemiddelde waarde als functie van het relatieve procentuele verschil met de GRW voor het koolfilter (enkele punten vallen samen). De donkergele balk geeft de acceptatieband aan.

De systematische afwijking van de resultaten voor het koolfilter bedraagt circa 5%. De spreiding in de resultaten is vrij groot. De resultaten liggen echter wel binnen 20% van de GRW en voldoen daarmee aan de nauwkeurigheid die voor ongevalsituaties verlangd wordt.

5.3 Het koolpatroon

De resultaten van de analyses van het koolpatroon zijn op dezelfde manier als in Figuur 5.1 en Figuur 5.2 weergegeven in Figuur 5.3.



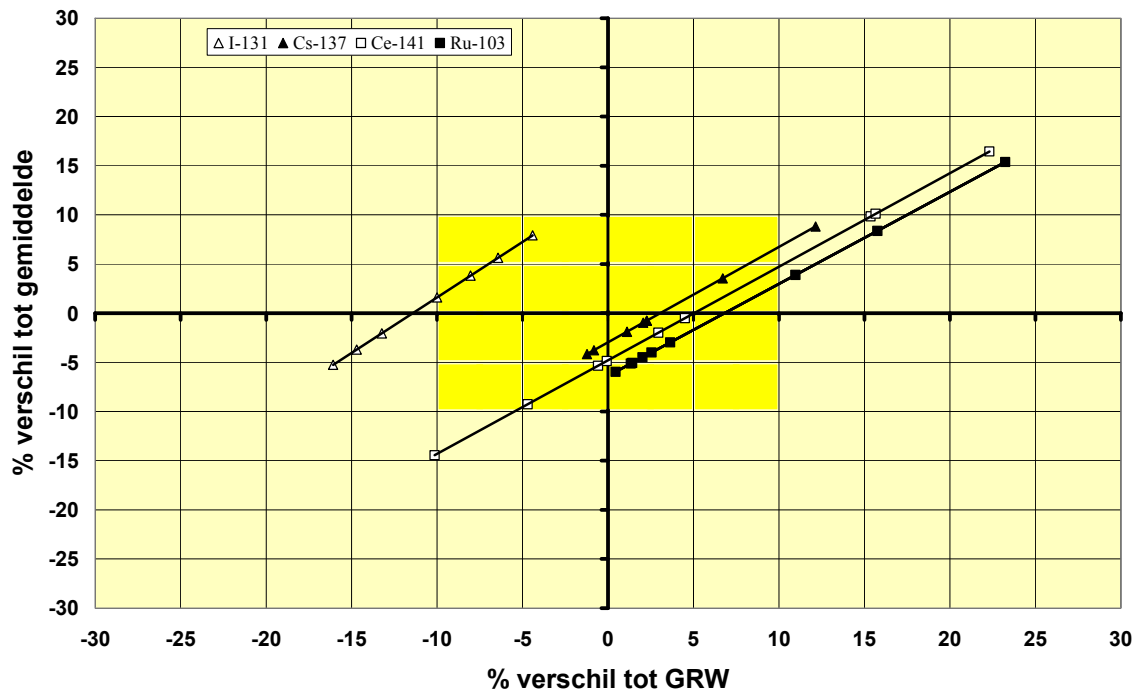
Figuur 5.3 Relatieve procentuele verschil met de over alle WVI's gemiddelde waarde als functie van het relatieve procentuele verschil met de GRW voor het koolpatroon (enkele punten vallen samen). De donkergele balk geeft de acceptatieband aan.

Het WVI met labcode 1 heeft een afwijking ten opzichte van de GRW van 27%, de overige WVI's (behalve de uitbijters van het WVI's met labcodes 6 en 9) zitten met hun resultaten binnen 15% van de GRW.

Drie van de WVI's hebben aangegeven de koolpatronen tijdens een ongeval niet intact te laten maar te homogeniseren voor de meting (zie Bijlage 3). Of de resultaten met deze analysemethode ook binnen de gestelde 20% ten opzichte van de GRW zullen vallen is met dit ringonderzoek dus niet getoetst.

5.4 De watermonsters

In Figuur 5.4 is voor de watermonsters het relatieve procentuele verschil met de gemiddelde waarde over alle WVI's uitgezet tegen het relatieve procentuele verschil met de GRW.



Figuur 5.4 Relatieve procentuele verschil met de over alle WVI's gemiddelde waarde als functie van het relatieve procentuele verschil met de GRW voor de watermonsters (enkele punten vallen samen). De donkergele balk geeft de acceptatieband aan.

De spreiding in de resultaten voor ^{131}I is circa 6%, voor ^{137}Cs circa 7%, voor ^{141}Ce circa 20% en voor ^{103}Ru circa 15%. De spreiding voor ^{131}I en ^{137}Cs valt hiermee binnen het gestelde criterium van maximaal 10% afwijking ten opzichte van GRW, maar voor de overige twee nucliden is de afwijking duidelijk groter. Het betreft hier nucliden die voorheen niet zijn getoetst (zie Tabel 1.1) en waarvoor géén eerder vergelijkingsmateriaal is. De grote spreiding voor ^{141}Ce en ^{103}Ru wijst mogelijk op kalibratieproblemen.

De systematische afwijking voor ^{131}I is circa 12%, voor de overige nucliden circa 3-7%. De systematische afwijking voor ^{131}I lijkt te wijzen op het verlies van ^{131}I uit de oplossing bij de aanmaak van de verdunde oplossing.

6 Conclusies en aanbevelingen

Een van de doelen van dit ringonderzoek was om te onderzoeken of het standaard tijdregime van analyseren van lucht en depositie door de WVI's zoals dat nu geldt gehandhaafd kan worden (2 uur voor de luchtmonsters en 24 uur voor het watermonster). Voor het filterpakket zijn door alle WVI's de resultaten in iets meer dan 2 uur gerapporteerd. Het tijdsregime voor het analyseren en rapporteren van luchtmonsters is aan de krappe kant gebleken. In een echte ongevalsituatie wordt er echter continu in periodes van 2 uur bemonsterd. Voor een goede doorstroming zou de duur van de analyse zeker niet langer mogen zijn dan de bemonsteringstijd van 2 uur als het doorlopend bemonsteren, analyseren en rapporteren op gang is gekomen. De resultaten van de analyses voor de watermonsters zijn door bijna alle WVI's binnen 24 uur gerapporteerd.

Aerosolfilter: De resultaten voor het aerosolfilter laten een grote spreiding zien, bovendien is de systematische afwijking voor ^{134}Cs groot. Voor een aantal WVI's zou de kalibratie nader bekeken moeten worden, ook zouden de WVI's die geen coïncidentiecorrectie voor ^{134}Cs uitvoeren dit moeten gaan doen. Dezelfde conclusies zijn reeds getrokken bij het ringonderzoek van 2001, maar hebben blijkaar niet geleid tot aanpassing van procedures.

Koolfilter: De resultaten voor het koolfilter liggen, met één uitzondering, ruim binnen de 20% van de GRW en voldoen daarmee aan de eisen die in ongevalsituaties gesteld worden.

Koolpatroon: Bij het koolpatroon zijn de resultaten zeer afwijkend van de resultaten van het vorige ringonderzoek. WVI's die bij het vorige ringonderzoek te laag zaten, kwamen nu te hoog uit en vice versa. Hierbij moet opgemerkt worden dat een aantal WVI's de kalibratie voor het koolpatroon naar aanleiding van de resultaten van 2001 aangepast had. De resultaten van drie van de WVI's liggen binnen 10% van de GRW en dit is goed te noemen. Voor drie van de WVI's ligt de waarde meer dan 20% van de GRW en geldt dat de kalibratie aangepast moet worden.

Water: De resultaten voor de watermonsters zijn vergelijkbaar met de resultaten van 2001 en wijken over het algemeen minder dan 5% af van de GRW. Het WVI met labcode 9 heeft een sterk afwijkende waarde voor ^{131}I en ^{137}Cs die meer dan 50% afwijkt van de GRW. Na interne bestudering van de spectra leverde heranalyse significant betere resultaten op (zie Bijlage 4).

Bij de evaluatie van het vorige ringonderzoek is de aanbeveling gedaan om te controleren of de noodzakelijke aanpassingen aan kalibraties en coïncidentiecorrecties zijn uitgevoerd. Op basis van de resultaten van het aerosolfilter is dit niet gedaan door alle WVI's. Dit geldt zeker voor het WVI met labcode 6, waarvoor alle resultaten behalve in het watermonster grote afwijkingen vertonen. WVI met labcode 6 zal daarom middels een verslag moeten laten zien dat zij haar kalibraties grondig heeft bestudeerd en waar nodig aangepast, gezien herhaalde significante afwijkingen bij voorgaande ringonderzoeken.

Bij het vorige ringonderzoek werd ook de aanbeveling gedaan meerdere nucliden in het aerosolfilter en het watermonster aan te brengen. Door nucliden als ^{103}Ru , ^{141}Ce en ^{144}Ce te gebruiken in dit ringonderzoek is dit ook uitgevoerd. Bij een volgend ringonderzoek zou dit zeker weer zo uitgevoerd moeten worden, eventueel nog met andere nucliden. Tevens is het aan te bevelen om de laboratoria die het koolpatroon homogeniseren een extra koolpatroon te doen toekomen om de ongevalsituatie beter te benaderen.

Bij een volgend ringonderzoek, dat binnen drie jaar na dit ringonderzoek zal moeten plaatsvinden, moet nog strakker de hand worden gehouden aan de maximale aanlevertijd van de resultaten. De tijdigheid is belangrijker dan een kleinere telonzekerheid in de gerapporteerde getallen door langer te analyseren. De gevonden afwijkingen ten opzichte van de geaccepteerde referentiewaarden zijn namelijk voor het grootste deel afkomstig van systematische afwijkingen in de kalibraties en niet van de telstatistiek.

Literatuur

- [1] Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding. Nota aan de Tweede Kamer der Staten-Generaal 21015 nr. 3, vergaderjaar 1988-1989.
- [2] Leijen C.A.T.M., Sonderen van J.F., Voorstel voor monstername apparatuur voor de waakvlaminstituten, RIVM, juni 1991, niet gepubliceerd.
- [3] Pruppers M.J.M., Smetsers R.C.G.M., Meetstrategie bij kernongevallen voor steuncentrum RIVM, RIVM-rapport nr. 610057002, Bilthoven..
- [4] Keverling Buisman A.S., Groen G.C.H., Weers A.W., Woittiez J.R.W., Ringonderzoek waakvlaminstituten 1994, ECN-rapport nr. ECN-CX-94-181, december 1994.
- [5] Reinen H.A.J.M., Tijsmans M.H., Tuinen S.T. van., Overwater R.M.W, Aldenkamp F.J., Ringonderzoek waakvlaminstituten 1997, RIVM-rapport nr. 610057009.
- [6] Jacobs J.E.M., Knetsch G.J., Overwater R.M.W, Reinen H.A.J.M., Ringonderzoek waakvlaminstituten 2001, RIVM-rapport nr. 610057011.
- [7] ISO, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard method. ISO 5725-2, ISO, 1994.
- [8] Moens L., Donder J. de, Lin X.L., de Corte F., Wispelaere A. de, Simonits A., Hoste J., Calculation of the absolute peak efficiency of gamma-ray detectors for different counting geometries, Nuclear Instruments & Methods, issue 187 (1981) p. 451-472.

Bijlage 1 Bibliotheek WVI

Tabel B1.1 De bibliotheek zoals gebruikt door elk van de WVI's

nuclide	halfwaardetijd	energielijn [keV]	fotonopbrengst [%]
Ba-140	12,8 dag	537,230	24,39
Ce-141	32,5 dag	145,440	48,44
Ce-144	284,3 dag	133,544	10,80
Cs-134	753,1 dag	795,845	85,44
		604,699	97,56
		569,315	15,43
		801,932	8,73
		563,227	8,38
Cs-137	30,174 jaar	661,660	85,21
I-131	8,04 dag	364,480	81,24
		636,973	7,27
I-132	2,3 uur	667,690	98,70
		772,600	76,20
		954,550	18,10
I-133	20,8 uur	529,890	87,30
La-140	40,22 uur	1596,490	95,49
		487,029	45,50
		328,768	20,50
		815,801	23,50
		925,240	7,09
Mo-99	66,0 uur	739,500	13,00
		181,060	6,52
Nb-95	34,97 dag	765,790	99,79
Ru-103	39,35 dag	497,080	89,50
		610,330	5,64
Te-132	78,2 uur	228,160	88,20
Zr-95	64,02 dag	724,199	44,10
		756,729	54,50

Bijlage 2 De gerapporteerde resultaten

Tabel B2.1 De resultaten voor het aerosolfilter, teruggerekend naar de referentiedatum. De grijsgekleurde waarden zijn uitbijters volgens Grubb's test.

lab	tijd [s]	I-131 [Bq]	Cs-134 [Bq]	Cs-137 [Bq]	Ce-144 [Bq]	Am-241 [Bq]
1	3000	594 ± 2	175 ± 1	224 ± 2	776 ± 4	32,9 ± 0,5
2	1000	449 ± 9	166 ± 3	189 ± 5	556 ± 40	
3	2400	465 ± 2	153 ± 1	182 ± 2	592 ± 5	
4	1800	592 ± 4	197 ± 2	233 ± 3	663 ± 8	
5	1609	603 ± 3	224 ± 3	226 ± 2	701 ± 7	
6	1800	929 ± 26	238 ± 7	328 ± 19	1330 ± 111	
7	1200	511 ± 15	219 ± 7	191 ± 6	560 ± 17	
8	1800	535 ± 16	202 ± 4	198 ± 2	599 ± 18	
9	1800	400 ± 10	190 ± 10	180 ± 5	550 ± 15	

Tabel B2.2 De resultaten voor het koolfilter en het koolpatroon, teruggerekend naar de referentiedatum. De grijsgekleurde waarden zijn uitbijters volgens Grubb's test.

lab	koolfilter		koolpatroon	
	tijd [s]	I-131 [Bq]	tijd [s]	I-131 [Bq]
1	3000	438 ± 3	4500	458 ± 4
2	1000	392 ± 8	1000	603 ± 13
3	2700	427 ± 2	3600	701 ± 12
4	1800	431 ± 4	1800	551 ± 5
5	2035	487 ± 2	1622	723 ± 3
6	1800	731 ± 21	1800	1008 ± 28
7	1200	472 ± 10	1200	640 ± 10
8	1800	437 ± 13	1800	649 ± 26
9	600	350 ± 10	600	3100 ± 120

Tabel B2.3 De resultaten voor de watermonsters, teruggerekend naar de referentiedatum. De grijsgekleurde waarden zijn uitbijters volgens Grubb's test.

lab	tijd [s]	I-131 [Bq/L]	Cs-137 [Bq/L]	Ce-141 [Bq/L]	Ru-103 [Bq/L]	Ce-139 [Bq/L]	Ce-144 [Bq/L]	Cs-134 [Bq/L]
1	67300	435 ± 4	497 ± 3	487 ± 3	505 ± 3	50 ± 1		
2	2516	469 ± 12	497 ± 12	508 ± 13	513 ± 23			
3	67601	416 ± 24	480 ± 30	459 ± 21	497 ± 31			
4	2500	443 ± 10	491 ± 8	511 ± 9	502 ± 8	51 ± 4		
5	71683	477 ± 1	519 ± 1	590 ± 1	549 ± 1			
6	50000	487 ± 11	482 ± 17	526 ± 21	508 ± 19			
7	78102	459 ± 3	545 ± 3	591 ± 3	573 ± 3			
8	57600	428 ± 21	496 ± 10	534 ± 11	502 ± 10	50 ± 1		
9	50000	1170 ± 63	845 ± 20	625 ± 39	610 ± 30		825 ± 51	252 ± 10

Bijlage 3 Analysemethoden WVI's

In deze bijlage zijn de door elk van de WVI's gebruikte methodes weergegeven, waarbij naast de software en de gebruikte methodieken tevens is aangegeven in hoeverre er bij dit ringonderzoek vanaf is geweken.

Tabel B3.1 Analysemethoden van de WVI's

DSM	Software Methode	SOLANG [8] Kalibratie met puntbronnen, waarna de efficiënties voor de verschillende geometrieën worden berekend via solid angle-berekeningen. Het koolpatroon wordt geopend en de kool wordt gemeten volgens een standaard geometrie.
	Afwijking	Voor dit ringonderzoek is het koolpatroon ongeopend gemeten aan beide zijden en is het gemiddelde resultaat opgestuurd.
EPZ	Software Methode	Genie 2000 (Canberra) Voor de aerosolfilter- en de watergeometrie wordt gekalibreerd met nuclidemix; de koolfilter- en koolpatroongeometrie worden nuclidespecifiek gekalibreerd met I-131 bron. De kool uit het koolpatroon wordt daarvoor gehomogeniseerd.
	Afwijking	Koolpatroon bij ringonderzoek is <i>niet</i> homogeen besmet, maar mocht niet worden gehomogeniseerd voor dit ringonderzoek.
KVI	Software Methode	Gammavision (EG&G Ortec) Voor de verschillende geometrieën wordt gekalibreerd met nuclidemix. Op de verkregen resultaten zijn achteraf voor Cs-134 op de beide filters en in de 1L-Marinellibeker correcties toegepast om het effect van 'cascade summing' te verdisconteren.
	Afwijking	Bij dit ringonderzoek was gekalibreerde detector 1 defect en is nieuwe kalibratie berekend voor koolpatroon-geometrie op detector 2 op basis van verhouding kalibraties filter op beide detectoren en oude kalibratie.
NRG Petten Arnhem	Software Methode	Genie 2000 (Canberra) Voor de verschillende geometrieën wordt gekalibreerd met nuclidemix.
RID	Software Methode	Zelfontwikkelde software Voor de verschillende geometrieën wordt gekalibreerd met nuclidemix. Voor de koolpatroon-geometrie wordt gekalibreerd door een filter met nuclidemix in een koolpatroon te schuiven. Het koolpatroon wordt aan beide zijden gemeten, waarna het gemiddelde van de twee metingen wordt genomen. Coïncidentiecorrectie wordt toegepast.
RIVM	Software Methode	Gammavision (EG&G Ortec) Voor de verschillende geometrieën wordt gekalibreerd met nuclidemix.
SBD-TU/e	Software Methode	Genie 2000 (Canberra) Voor de verschillende geometrieën wordt gekalibreerd met nuclidemix.
URENCO	Software Methode	Genie 2000 (Canberra) Er wordt voor de verschillende geometrieën gekalibreerd met nuclidemix. Voor koolpatroon wordt gekalibreerd met een homogeen besmet koolpatroon.
	Afwijking	Koolpatroon bij ringonderzoek is <i>niet</i> homogeen besmet, maar mocht niet worden gehomogeniseerd voor dit ringonderzoek.

Bijlage 4 Herziene resultaten

Tijdens het ringonderzoek was het van belang dat de resultaten binnen de gestelde tijd op Calweb gerapporteerd werden. De resultaten die in Calweb gerapporteerd zijn staan vermeld in dit rapport (Bijlage 2). Na de bespreking van het ringonderzoek gaven enkele WVI's aan hun resultaten te willen herzien. De tekst en herziene resultaten die per e-mail zijn ontvangen zijn hieronder weergegeven. In alle gevallen zijn de herziende data een verbetering ten opzichte van de eerder gerapporteerde data.

WVI met labcode 3

De resultaten kloppen met hetgeen is doorgegeven. Opgemerkt dient te worden dat er een fout in de efficiëntie- en coïncidentiebepaling zat bij de analyse van het aerosolfilter. Indien hiervoor wordt gecorrigeerd ontstaan de volgende resultaten:

aerosolfilter	I-131 [Bq]	Cs-134 [Bq]	Cs-137 [Bq]	Ce-144 [Bq]
	487 ± 2	192 ± 1	196 ± 2	605 ± 5

WVI met labcode 4

Op het aerosolfilter is een extra nuclide gevonden, dat eerder niet is gerapporteerd.

aerosolfilter	Am-241 [Bq]
	32 ± 6

WVI met labcode 6

Op het aerosol filter en in het watermonster zijn extra nucliden gevonden. Deze zijn eerder niet gerapporteerd, aangezien ze niet in de standaard WVI-bibliotheek voorkomen.

aerosolfilter	Am-241 [Bq]	watermonster	Ce-139 [Bq/L]
	38,2 ± 5,9		48,3 ± 4,0

WVI met labcode 9

Bij de meting van het watermonster (W06) is een meting uitgevoerd waarbij vergeten is het geheugen van de MCA te wissen. Hierdoor bevatten de kanaalregisters van de MCA nog informatie van de voorgaande meting (glasvezelfilter A01). Door het A01-spectrum af te trekken van het W06-spectrum krijgen we de volgende resultaten:

watermonster	I-131 [Bq/L]	Cs-137 [Bq/L]	Ce-139 [Bq/L]
	510 ± 28	596 ± 14	59 ± 4

Bij de analyse van het koolpatroon is een verkeerde efficiëntie gebruik. Hierdoor is een te hoge waarde voor I-131 gerapporteerd. In verband met aanpassing van de software is de juiste efficiëntiecurve niet meer beschikbaar. Bij gebruik van de efficiëntie van het koolfilter inclusief correctie voor de afstand komt het resultaat van de meting uit op:

koolpatroon	I-131 [Bq]
	440 ± 15

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl