



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu

*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Stralingsniveaumetingen aan het terrein van de EPZ kerncentrale te Borssele in 2015

RIVM Briefrapport 2017-0053
C.P. Tanzi



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

Stralingsniveaumetingen aan het terrein van de EPZ kerncentrale te Borssele in 2015

RIVM Briefrapport 2017-0053
C.P. Tanzi

Colofon

© RIVM 2017

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

DOI 10.21945/RIVM-2017-0053

C.P. Tanzi (auteur), RIVM

Contact:
Cristina.tanzi@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van ANVS, in het kader van M/390020/17/SM

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Stralingsniveaumetingen rond het terrein van de EPZ kerncentrale te Borssele in 2015

Het stralingsniveau aan de terreingrens van de kerncentrale in Borssele lag in 2015 onder het toegestane maximum. Dit blijkt uit controlemetingen van het RIVM. Het RIVM rapporteert jaarlijks in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) of de kerncentrale aan de vergunningseis voldoet.

Volgens de kernenergiewetvergunning moet de kerncentrale ervoor zorgen dat personen buiten de terreingrens een stralingsdosis ontvangen van ten hoogste 40 microsievert per jaar. Om dit te controleren wordt op acht punten op de terreingrens het stralingsniveau gemeten.

Dit gebeurt met het door het RIVM beheerde MONET-meetnet. Van de meting wordt vervolgens de natuurlijke achtergrondwaarde afgetrokken. Om het resultaat te vergelijken met het toegestane niveau, wordt de zogeheten Actuele Blootstelling Correctiefactor (ABC-factor) toegepast. ABC-factoren hangen samen met de bestemming van het gebied waar de stralingsdosis kan worden opgelopen. Aan het terrein van de kerncentrale Borssele geldt een ABC-factor van 0,2.

In dit rapport zijn de daggemiddelden van de metingen van de acht MONET-monitoren rond de kerncentrale in 2015 weergegeven. Ook wordt uitgelegd hoe voor elk meetpunt de natuurlijke achtergrondwaarde is bepaald. In 2015 was de hoogste waarde, na aftrek van de natuurlijke achtergrond, 3,2 microsievert per jaar. Na de toepassing van de ABC-factor is de berekende maximale effectieve dosis 0,6 microsievert per jaar.

Kernwoorden: gammastraling, Omgevingsdosisequivalent, EPZ, kerncentrale

Synopsis

Radiation level measurements around the site of Borssele nuclear power plant in 2015

In 2015, the radiation level at the site boundary of the Borssele nuclear power plant was below the maximum permitted level. This is the conclusion of this report, which is based on measurements carried out by the RIVM on location.

The permit, granted following the Dutch legislation on the use of nuclear energy, requires that the maximum effective dose received by persons outside the site boundary of Borssele NPP does not exceed 40 microsievert annually. Control measurements of the radiation level were therefore carried out at eight locations at the site boundary.

This is done within the framework of the MONET monitoring network, which falls under the administrative management of the RIVM. The measurements are processed by subtracting the natural background value from the measured value. The result is then translated into the effective radiation dose for an individual by applying the so-called Actuele Blootstelling Correctiefactor (ABC-factor). ABC-factors are closely linked with the specific use of the site where the effective radiation dose is calculated.

RIVM is tasked by the Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection (ANVS) to annually report on whether the Borssele nuclear power plant meets the criterion stipulated in the license. Both the daily averages of the eight MONET-monitors around the Borssele nuclear power plant and an explanation of how the background level at each measuring location was determined are provided in the report. In 2015, the highest value of all monitors, after correcting for the natural background level, was 3.2 microsievert per year. An ABC-factor of 0.2 for the site boundary of Borssele NPP has been set in the permit. This translates into a maximum effective dose of 0.6 microsievert per year, following the application of the ABC-factor, and allows comparison with the value stipulated in the permit.

Keywords: external radiation, ambient effective dose, EPZ, NPP

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

1.1 Overzicht terreinopstelling Borssele — 12

2 De gemeten grootheid — 13

3 Metingen van het MONET-meetnet rondom EPZ/KCB in 2015 — 15

3.1 Het gemeten daggemiddelde omgevingsdosisequivalenttempo en de gemeten jaardosis — 16

3.2 Bepaling van de door menselijk handelen toegevoegde jaardosis — 17

3.3 Omgevingsequivalenttempo zonder invloed van de achtergrondwaarde — 21

3.4 Jaardosis berekend volgens de EPZ/KCB-methode — 23

3.5 Vergelijking tussen $>2\sigma$ -methode en EPZ/KCB-methode — 24

4 Conclusies—27

5 Bijlage 1 - verloop van de metingen van 2004 tot en met 2015 — 29

6 Bijlage 2 - vergelijking van de in dit rapport gebruikte methode en de RTV-methode voor de bepaling van toegevoegde jaardosis in 2014 — 31

7 Referenties — 33

Samenvatting

In opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) verricht het centrum Veiligheid van het RIVM metingen van het externe stralingsniveau rond de EPZ (Elektriciteits-Productiemaatschappij Zuid-Nederland)-kerncentrale te Borssele (KCB). De metingen worden uitgevoerd ter controle van stralingsniveaus zoals vastgelegd in de vergunning van de kerncentrale ingevolge de Kernenergiewet. Dit rapport beschrijft de resultaten van het MONET-meetnet in 2015.

In het rapport wordt een methode toegepast om, op basis van het gemeten stralingsniveau aan de terreingrens van de kerncentrale, het achtergrondstralingsniveau te bepalen. Dit maakt het mogelijk om een schatting te maken van het stralingsniveau dat door menselijk handelen toegevoegd wordt. Deze benadering wordt ook vergeleken met de uitkomsten van de methode die wordt toegepast door EPZ/KCB.

De resultaten van de MONET-monitoren laten een geringe verhoging van het omgevingsdosisequivalent, $H^*(10)$, zien ten opzichte van het achtergrond-stralingsniveau. Het maximale omgevingsdosisequivalent toegevoegd aan het achtergrondstralingsniveau in 2015 is 3,2 μSv voor beide monitoren 21 en 26. Na toepassing van de Actuele Blootstellings Correctiefactor (ABC-factor) is de maximale effectieve dosis 0,6 μSv . De vergunde verhoging van de effectieve dosis voor EPZ/KCB van 40 μSv per jaar wordt, ook zonder de ABC-factor, op geen van de meetpunten overschreden.

De correctie voor het achtergrondstralingsniveau is tevens uitgevoerd met de methode die door EPZ/KCB wordt toegepast. Dit leidt tot de hoogste toegevoegde stralingsniveau van 3,2 μSv voor monitor 23. De overeenstemming van deze berekeningen met de MONET-resultaten is goed.

1 Inleiding

Het centrum Veiligheid van RIVM voert continu metingen uit van het gammastralingsniveau aan de terreingrens van kernenergiecentrale Borssele van de N.V. Elektriciteits-Productiemaatschappij Zuid Nederland (EPZ/KCB) met behulp van het meetnet MONetring NEtwerk Terreinen (MONET-meetnet¹). De metingen worden uitgevoerd in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS), ter controle van stralingsniveaus zoals vastgelegd in de vergunning van de kerncentrale ingevolge de kernenergiewet (KEW). Volgens deze vergunning [1, voorschrift II.D.3]

“...dient NV EPZ ervoor te zorgen dat door het in werking hebben van de inrichting en alle aanwending van splijtstoffen en radioactieve stoffen, met inbegrip van het zich daarvan ontdoen en het opslaan daarvan in verband met vervoer, tezamen met het gebruik van ioniserende stralen uitzendende toestellen in de inrichting, voor personen buiten de inrichting de ontvangen effectieve dosis zo laag als redelijkerwijs mogelijk is, doch in ieder geval lager dan 40 microsievert per jaar. In dit kader wordt onder effectieve dosis verstaan: de dosis berekend voor de meest beperkende gebruiksoptie van het milieu buiten de inrichting. Voor de bepaling van de Multifunctionele en Actuele Individuele Dosis gelden de regels als gegeven in de bijlage van de Ministeriële Regeling Analyse Gevolgen Ioniserende Straling, MR-AGIS (Stcrt 2002, 22 en 73, en wijziging Stcrt 2003, 81)”.

Vanaf 1 januari 2014 worden de regels voor de bepaling van de Multifunctionele en Actuele Individuele Dosis gegeven in bijlage 1.5, behorend bij de artikelen 1.4 tot en met 1.6 van de Uitvoeringsregeling stralingsbescherming EZ [2].

Bij het toetsen aan de vergunningslimiet (40 μ Sv per jaar) mag de gemeten bijdrage van de externe straling aan de effectieve dosis worden vermenigvuldigd met de ter plaatse geldende ABC-factor², zoals gegeven in Tabel 6.2 van de bijlage 1.5 bij de Uitvoeringsregeling Stralingsbescherming EZ [2]. Voor EPZ/KCB wordt een ABC-factor van 0,2 voorgeschreven in de vergunning [3].

In dit rapport wordt gebruik gemaakt van de metingen van het MONET-meetnet om een schatting te maken van de toegevoegde dosis: het omgevingsdosisequivalent, $H^*(10)$, dat is toegevoegd aan de dosis ten gevolge van de natuurlijke achtergrondstraling.

Het MONET-meetnet bij EPZ/KCB is uitvoerig beschreven in RIVM-rapport 610330011 [4]. Om in 2015 de toegevoegde dosis te bepalen wordt een andere methode toegepast dan de methode die tot 2014 is toegepast [5]. De reden hier voor zijn recente en toekomstige ontwikkelingen in de meetnetten, zowel in het MONET-meetnet als in

¹ MONET: MONitring NEtwerk Terreinen

² De ABC-factor of Actuele Blootstelling Correctiefactor kan waarden tussen 0,001 en 0,2 aannemen, afhankelijk van de gebruiksbestemming ter plaatse.

het landelijk Nationaal Meetnet Radioactiviteit (NMR). Eén voorbeeld hiervan is de vervanging tussen 2014 en 2015 van de monitoren van het NMR meetnet met een ander type monitor: de Bitt RS03/X monitoren (proportionele telbuis) zijn door Saphymo Gamma-TRACER XL2 [6] (Geiger-Müller telbuis) vervangen.

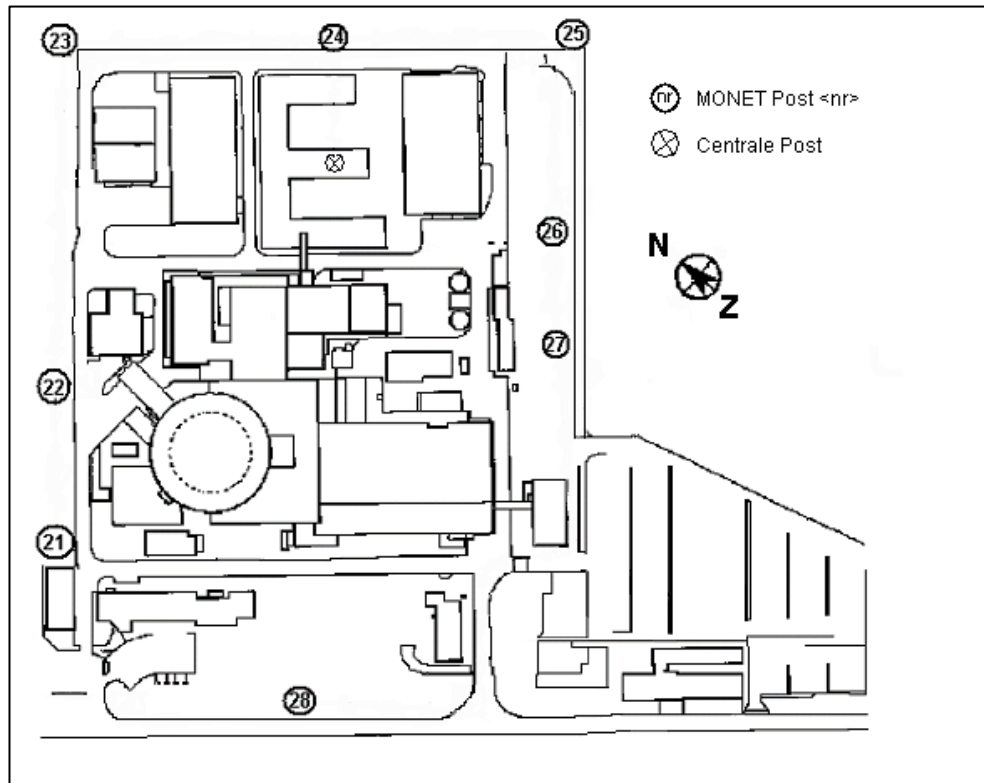
In dit rapport worden de metingen en de analyse voor het jaar 2015 beschreven. Het rapport is als volgt opgebouwd. In Hoofdstuk 2 wordt in het kort de meetgrootte beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft de nieuwe berekeningswijze en geeft de analyse van de metingen van het MONET-meetnet rond de EPZ/KCB:

- het verloop van het daggemiddelde dosisequivalenttempo
- de schatting voor iedere monitor van natuurlijke achtergrond
- de jaardosis per monitor.

Deze jaardosis is ook berekend volgens de EPZ/KCB-methode [12]. In Hoofdstuk 4 worden de conclusies en, eventueel, de waarschuwingsberichten gegeven. In Bijlage 1 wordt het verloop van de metingen van 2004 tot en met 2015 getoond. In Bijlage 2 wordt de gebruikte analyse methode vergeleken met de methode die in eerdere rapporten is toegepast.

1.1 Overzicht terreinopstelling Borssele

Op de terreingrens van de kerncentrale te Borssele zijn acht stralingsmonitoren geplaatst, zie Figuur 1. De monitoren 21 t/m 24 zijn ondergebracht in de eerste tak van het netwerk, de monitoren 25 t/m 28 in de tweede tak.



Figuur 1 Overzicht van de terreinopstelling van de kerncentrale te Borssele. De doorsnede van het reactorgebouw is 40 m.

2 De gemeten grootheid

De grootheid $\dot{H}^*(10)$ die door de MONET-monitoren wordt gemeten is de tijdsafgeleide van het omgevingsdosisequivalent, $H^*(10)$, zoals gedefinieerd in [7]. In de vergunning [1] zijn de vergunningslimieten opgesteld in een limiterende grootheid, de effectieve dosis E . De bijdrage van de externe straling aan de effectieve dosis wordt E_{ext} genoemd. Ondanks het gebruik van de limiterende grootheid effectieve dosis E in de vergunning, wordt hier toch de grootheid $H^*(10)$ gebruikt. De reden hiervoor is dat de grootheid E_{ext} niet zonder uitgebreide aanvullende metingen van de energieverdeling van het gamma-stralingsveld is te bepalen. Vandaar dat, conform de aanbevelingen van de ICRP [8], de operationele grootheid $H^*(10)$ wordt gebruikt als schatting van E_{ext} . Van belang hierbij is om op te merken dat $H^*(10)$ een overschatting geeft van E_{ext} . In het kader van de vergunningshandhaving wordt het verschil tussen de gemeten grootheid $H^*(10)$ en de limiterende grootheid E_{ext} vooral van belang op het moment dat $H^*(10)$ groter is dan de vergunningslimiet. Hier wordt nogmaals opgemerkt dat bij toetsen aan de vergunningslimiet de gebruiksoptie van de omgeving mag worden beschouwd [2].

De metingen van $H^*(10)$ worden uitgevoerd met een Bitt RS03/X proportionele telbuis. De energierespons van de monitor is zodanig dat de uitlezing overeenkomt met het omgevingsdosisequivalenttempo. De monitor heeft een hoekafhankelijkheid en is overgevoelig voor kosmische straling.

In een studie van de Bitt RS02 wordt de systematische onderschatting van de activiteit in de lucht geraamd op 3-7%, afhankelijk van de verdeling van de radionucliden in de lucht [9]. Met kennis van de natuurlijke achtergrond (nucliden en verdeling) kan hier voor worden gecorrigeerd. Na correctie resteert een absolute onzekerheid (2σ) in metingen van de natuurlijke achtergrond van minder dan $5 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ [9]. Een dergelijke studie is niet uitgevoerd voor de RS03/X-monitor. Aangenomen wordt dat systematische fouten en de absolute onzekerheid hetzelfde zijn, gezien dezelfde opbouw van de proportionele telbuis.

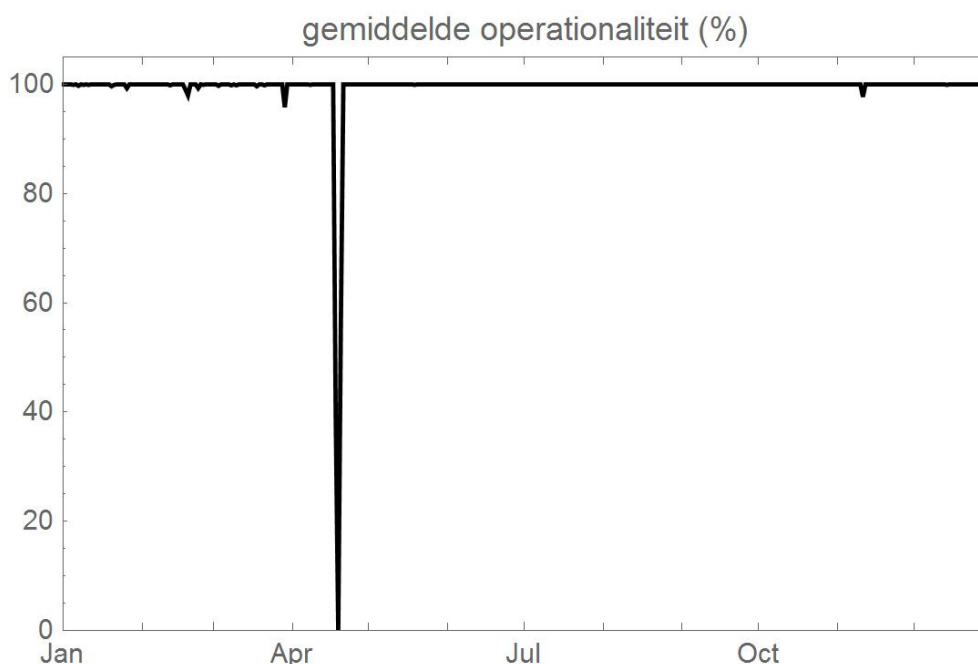
Voor het uitvoeren van metingen van het omgevingsdosisequivalent met dosistempo-monitoren bestaat de norm NEN 5648 [10]. In deze norm wordt aangegeven hoe metingen moeten worden uitgevoerd en hoe onzekerheden in rekening kunnen worden gebracht. Deze norm is bij de MONET-metingen deels toegepast, dat wil zeggen dat de kalibratie van de Bitt-monitoren afwijkt van de letterlijke tekst van NEN 5648. In de norm wordt aangegeven hoe de hoek- en energieafhankelijkheid in rekening gebracht kan worden als onderdeel van de totale onzekerheid in de meetresultaten. Gegevens over de hoek- en energieafhankelijkheid van de Bitt RS02 zijn te vinden in referenties [9, 11]. Voor de Bitt RS02 bedraagt de onzekerheid, op basis van deze gegevens, volgens de norm circa 15%, met name door de energieafhankelijkheid van de monitor.

3 Metingen van het MONET-meetnet rondom EPZ/KCB in 2015

In dit hoofdstuk wordt een analyse van de metingen over 2015 gepresenteerd. Het verloop gedurende het jaar van het gemeten daggemiddelde omgevingsdosisequivalent-tempo en de gemeten jaardosis worden getoond voor iedere monitor. Het verloop van de MONET-metingen gedurende het jaar wordt gegeven samen met de voor iedere monitor berekende achtergrondwaarde; deze wordt berekend op basis van het jaargemiddelde van de daggemiddelden.

De berekende jaardosis, die mede door menselijk handelingen veroorzaakt wordt, wordt per monitor gegeven. Ook worden de MONET-metingen voor ieder monitor bewerkt, om mogelijke aanwezige bijzonderheden te kunnen identificeren. Tenslotte worden de resultaten gegeven van de berekening van de netto jaardosis volgens de EPZ/KCB-methode op basis van de MONET-meetdata.

Er zijn in totaal 364 dagen in het jaar 2015 waarvoor metingen van het MONET-meetnet rondom KCB beschikbaar zijn: van 19 april 2015 zijn er geen data beschikbaar. Dat komt door een stroomstoring: de stroomuitval heeft als effect gehad dat er geen data beschikbaar zijn tussen 07:10 uur op 18 april 2015 en 07:33 uur op 20 april 2015. Dit heeft als consequentie ook een beperkte operationaliteit voor 18 en 20 april (39% en 55%, respectievelijk). In Figuur 2 is de operationaliteit per dag van MONET rond EPZ/KCB in 2015 weergegeven. Het is de verhouding (in %) tussen het werkelijk aantal geregistreerde en bruikbare 10-minuut-waarden en het op een dag maximale aantal van 144 10-minuut-waarden, gemiddeld over de acht monitoren. De jaargemiddelde operationaliteit was hoger dan 99,3 %.



Figuur 2 Operationaliteit per dag van MONET rond EPZ/KCB in 2015, gemiddeld over de acht monitoren.

3.1 Het gemeten daggemiddelde omgevingsdosisequivalenttempo en de gemeten jaardosis

De gemeten daggemiddelde omgevingsdosisequivalenttempi $\dot{H}^*(10)$, dat wil zeggen niet gecorrigeerd voor achtergrondstraling, voor de MONET-monitoren bij de EPZ/KCB in 2015 worden weergegeven in Figuur 3.

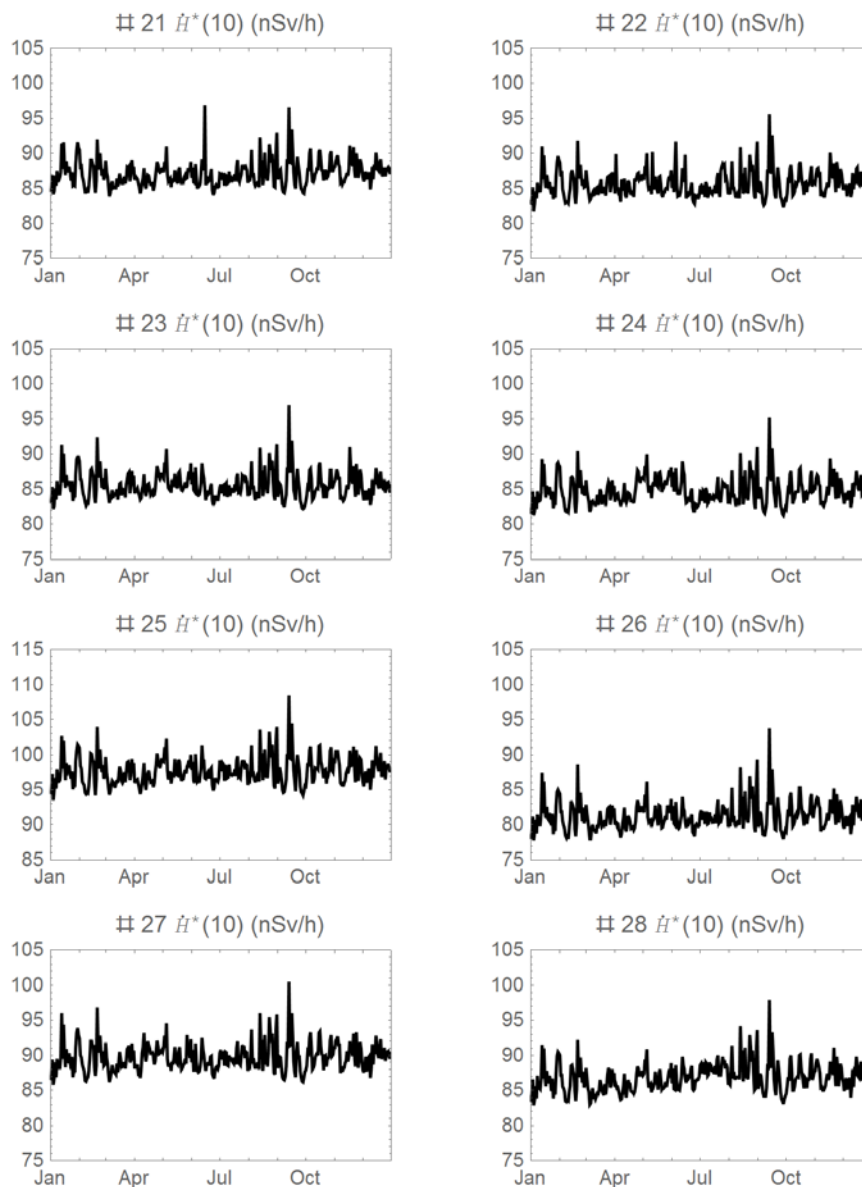
De hoogste waarde van het gemeten daggemiddelde omgevingsdosisequivalenttempo is $109 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ voor monitor 25 op 13 september 2015. Monitor 25 is door de bestrating van het nabijgelegen parkeerterrein altijd hoger dan de andere meetposten. Verder zijn er op die dag voorbereidingen getroffen voor het transport van spent fuel van EPZ naar Frankrijk, en er is hevige regenval in Vlissingen geregistreerd. Opvallend is ook het daggemiddelde van $97 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ voor monitor 21 op 15 juni 2015. Dit werd mede veroorzaakt door vier opeenvolgende 1-minuut gemiddelden, ieder groter dan $1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Het is aannemelijk dat radioactief materiaal door de toegangsluis gepasseerd is; een transport moet daar namelijk enkele minuten wachten voor controlemetingen. Meer informatie ontbreekt hierover.

In Tabel 1 wordt de gemeten jaardosis gegeven, berekend als de som van de daggemiddelden, samen met het aantal dagen waarover metingen beschikbaar zijn voor de bepaling van de jaardosis. Voor 19 april zijn er, vanwege een stroomstoring, geen data beschikbaar.

In Bijlage 1 wordt het verloop van het gemeten daggemiddelde omgevingsdosisequivalenttempo vanaf het jaar 2004 voor alle meetposten weergegeven.

Tabel 1 De gemeten jaardosis (μSv) door de MONET-monitoren bij EPZ/KCB in 2015; niet gecorrigeerd voor achtergrondstraling.

MONET-monitor	Aantal dagen	Gemeten jaardosis (μSv) incl. achtergrondstraling
21	364	761
22	364	748
23	364	748
24	364	741
25	364	853
26	364	710
27	364	783
28	364	759



Figuur 3 Het gemeten daggemiddelde omgevingsdosisequivalententempo voor de MONET-monitoren rond EPZ/KCB in 2015. De figuur voor monitor 25 heeft een andere schaalverdeling voor de y-as door de invloed van het nabijgelegen parkeerterrein.

3.2 Bepaling van de door menselijk handelen toegevoegde jaardosis

De hier beschreven methode wijkt af van de in eerdere rapporten gebruikte methode [5]. Alleen metingen van het MONET-netwerk zelf worden voor de analyse gebruikt, in tegenstelling tot [5], waar het landelijk NMR-meetnet voor de bepaling van de natuurlijke achtergrond gebruikt wordt. De reden hiervoor zijn recente en toekomstige ontwikkelingen in het MONET-meetnet en in het Nationaal Meetnet Radioactiviteit (NMR). Eén voorbeeld hiervan is de vervanging tussen 2014 en 2015 van de monitoren van het landelijk NMR meetnet met een andere type monitor: de Bitt RS03/X monitoren (proportionele telbuis) zijn door Saphymo GammaTRACER XL2 (Geiger-Müller telbuis) [6] vervangen.

Om een onderscheid te kunnen maken tussen de dosis die door menselijk handelen wordt veroorzaakt en de variatie in de natuurlijke achtergrond, wordt voor ieder monitor de natuurlijke achtergrond bepaald. In het kort gaat de methode als volgt:

1. Voor elke monitor i wordt het jaargemiddelde A_i' en de standaarddeviatie σ_i' bepaald.
2. Dagen met verhogingen ($\dot{H}^*(10) > A_i' + 2\sigma_i'$) worden geïdentificeerd en buiten beschouwing gelaten. Het jaargemiddelde A_i en de standaarddeviatie σ_i worden herberekend: dit is een schatting voor de variatie van de natuurlijke achtergrond, die varieert tussen $A_i - 2\sigma_i$ en $A_i + 2\sigma_i$.
3. De waarde van $2\sigma_i$ kan worden beschouwd als het aantoonbaarheidsniveau van de betreffende monitor i .
4. De door menselijk handelen toegevoegde jaardosis wordt bepaald door het stralingsniveau op alle dagen met $(\dot{H}^*(10) - A_i) > 2\sigma_i$ op te tellen

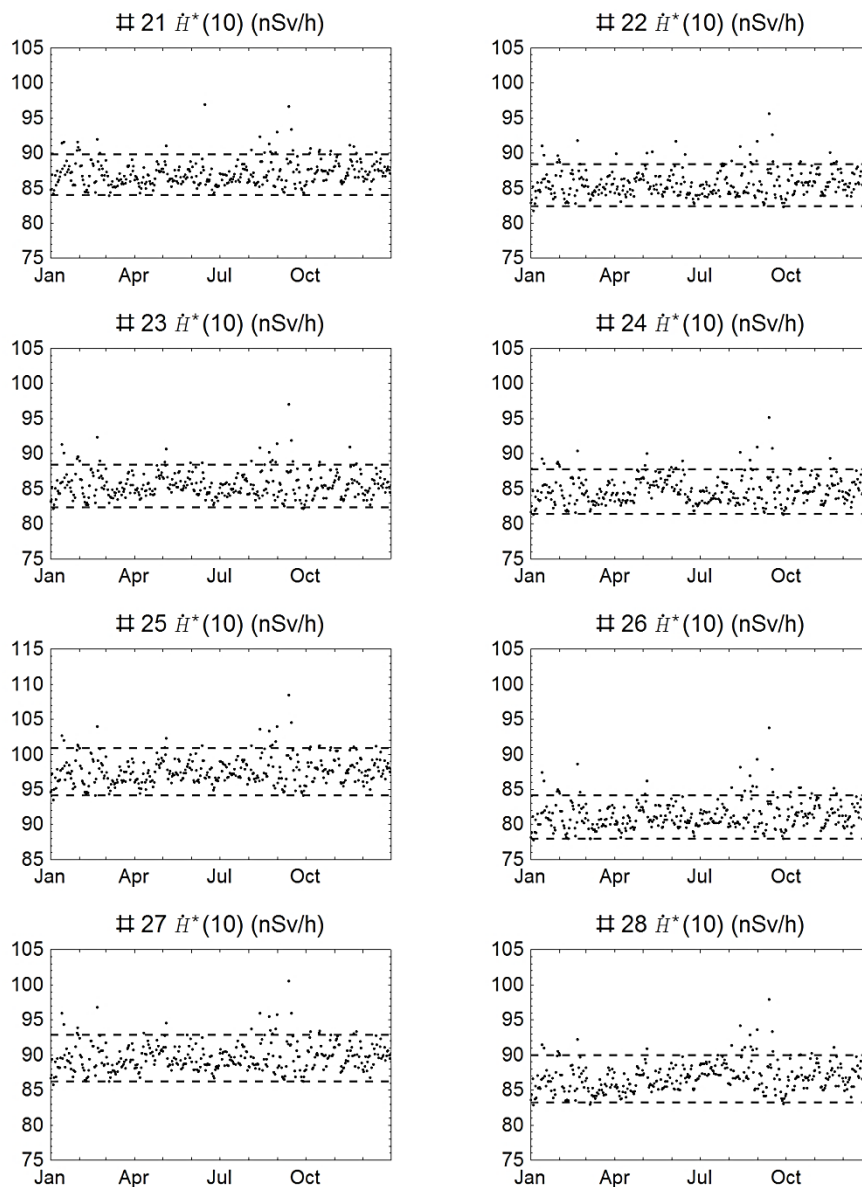
Met deze methode, de '>2 σ -methode', kunnen kunstmatige verhogingen worden bepaald, en dus de toegevoegde jaardosis, ten opzichte van de natuurlijke achtergrond. Deze methode kan echter niet alle natuurlijke verhogingen bepalen: voornamelijk hevige regenval, die doorgaans wordt gevolgd door een verhoogde depositie van vervalproducten van radon. Dit kan een (geringe) verhoging van het omgevingsdosis-equivalenttempo $\dot{H}^*(10)$ veroorzaken, en dus bijdragen aan de jaardosis.

Tabel 2 toont voor iedere monitor de achtergrondwaarde en het aantoonbaarheidsniveau, bepaald volgens deze methode voor het jaar 2015. De waarden uit Tabel 2 worden ook grafisch weergegeven in Figuur 4, samen met het gemeten $\dot{H}^*(10)$ uit Figuur 3.

Om de '>2 σ -methode' ten opzichte van de RTV-methode beschreven in [5] te kunnen vergelijken, is de >2 σ -methode in Bijlage 2 vergeleken met de MONET-metingen van het jaar 2014 volgens de RTV-methode.

Tabel 2 Het aantal dagen dat is gebruikt bij de bepaling van het achtergrondniveau, het aantal dagen met vastgestelde verhogingen, het berekende achtergrondniveau, en de aantoonbaarheidsniveaus voor de MONET-monitoren bij EPZ/KCB in 2015.

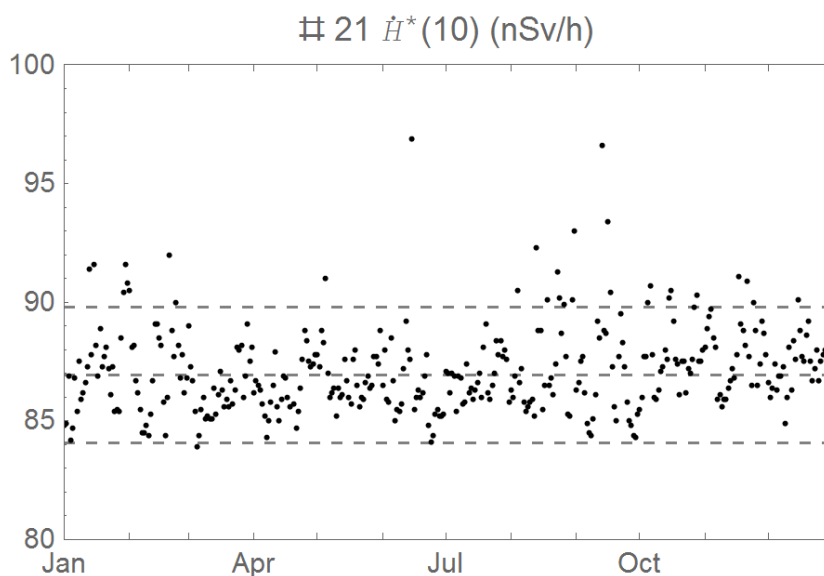
MONET-monitor	aantal dagen berekening achtergrond	aantal dagen met verhogingen	achtergrond (nSv·h ⁻¹)	aantoonbaarheidsniveau (nSv·h ⁻¹)
21	333	31	86,9	2,9
22	337	27	85,4	3,0
23	339	25	85,4	3,1
24	343	21	84,6	3,2
25	340	24	97,5	3,3
26	337	27	81,1	3,1
27	339	25	89,5	3,3
28	339	25	86,6	3,3



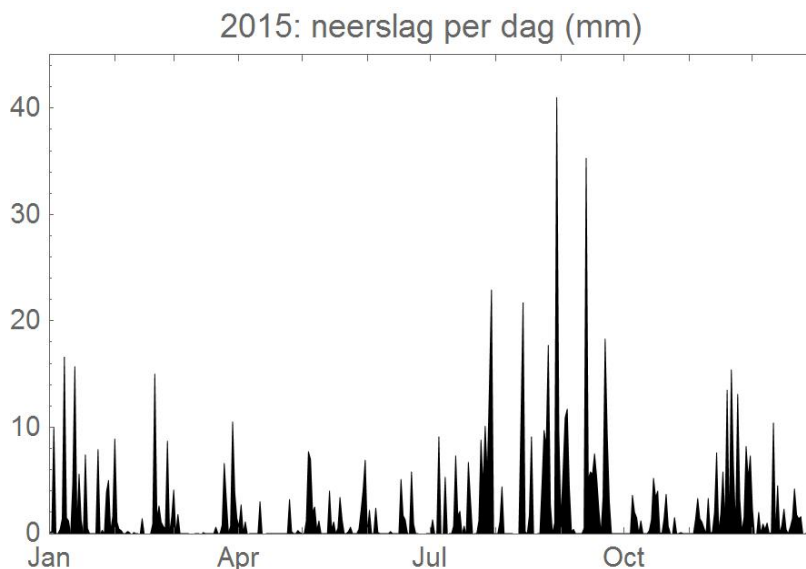
Figuur 4 Het daggemiddelde omgevingsdosis-equivalenttempo $\dot{H}^(10)$ voor de MONET-monitoren rond EPZ/KCB in 2015 uit Figuur 3 samen met, als gestippelde lijnen, de variatie van de natuurlijke achtergrond, bepaald met de methode beschreven in 3.2. De figuur voor monitor 25 heeft een andere schaalverdeling voor de y-as.*

Hevige regenval heeft als gevolg verhoogde depositie van vervalproducten van radon, en dus een verhoging van het omgevingsdosis-equivalenttempo. Twee pieken, aanwezig op alle MONET-monitoren rond EPZ/KCB, vallen samen met dagen wanneer de dagelijkse neerslag meer dan 35 mm, op het KNMI station Vlissingen gemeten, was: 30 augustus (41 mm) en 13 september (35 mm), die ook in Figuur 6 te zien zijn (bron: KNMI). Op 13 september zijn er ook voorbereidingen getroffen voor een transport van gebruikte splijtstofstaven naar Frankrijk. Op 13, 18 en 26 augustus, wanneer ook pieken voor alle monitoren duidelijk te zien zijn, was de neerslag 10,6 mm, 9,1 mm en 18 mm, respectievelijk (bron: KNMI). De hier toegepaste methode kan geen onderscheid

maken tussen een ongewoon grote variatie van de natuurlijke achtergrondstraling ($> 2\sigma$, zie 3.2), en verhogingen die door menselijk handelen veroorzaakt zijn: de gemeten $\dot{H}^*(10)$ van dagen met hevige regenval kan dus een bijdrage aan de berekende jaardosis leveren. Figuur 5 toont het omgevingsdosisequivalenttempo $\dot{H}^*(10)$ van monitor 21 en Figuur 6 toont de neerslag gemeten door het KNMI weerstation van Vlissingen (bron: KNMI). Figuur 6 samen met Figuur 5 laat zien dat verhogingen waarschijnlijk aan weeromstandigheden zijn toe te schrijven, omdat een verhoging van het omgevingsdosisequivalenttempo samen valt met hevige neerslag.



Figuur 5 Het gemeten omgevingsdosisequivalenttempo voor monitor 21 bij EPZ/KCB in 2015 (uit Figuur 4), samen met, als gestippelde lijnen, de natuurlijke achtergrond en de spreiding ervan over het jaar.



Figuur 6 Neerslag per dag, in mm, gemeten door het KNMI weerstation van Vlissingen (bron: KNMI). Hevige neerslag op 30 augustus en 13 september valt samen met een verhoging van het omgevingsdosisequivalenttempo van alle monitoren van het EPZ/KCB MONET-meetnet.

In Tabel 3 is de door menselijk handelen toegevoegde jaardosis, per monitor, voor 2015 weergegeven. De hoogste jaardosis is 3,2 μSv voor de monitoren 21 en 26. Bij het toetsen aan de vergunningslimiet per jaar (40 μSv) wordt deze dosis vervolgens vermenigvuldigd met een ABC-factor van 0,2 (zie Hoofdstuk 1).

Tabel 3 De berekende jaardosis (μSv) voor de MONET-monitoren bij EPZ/KCB in 2015.

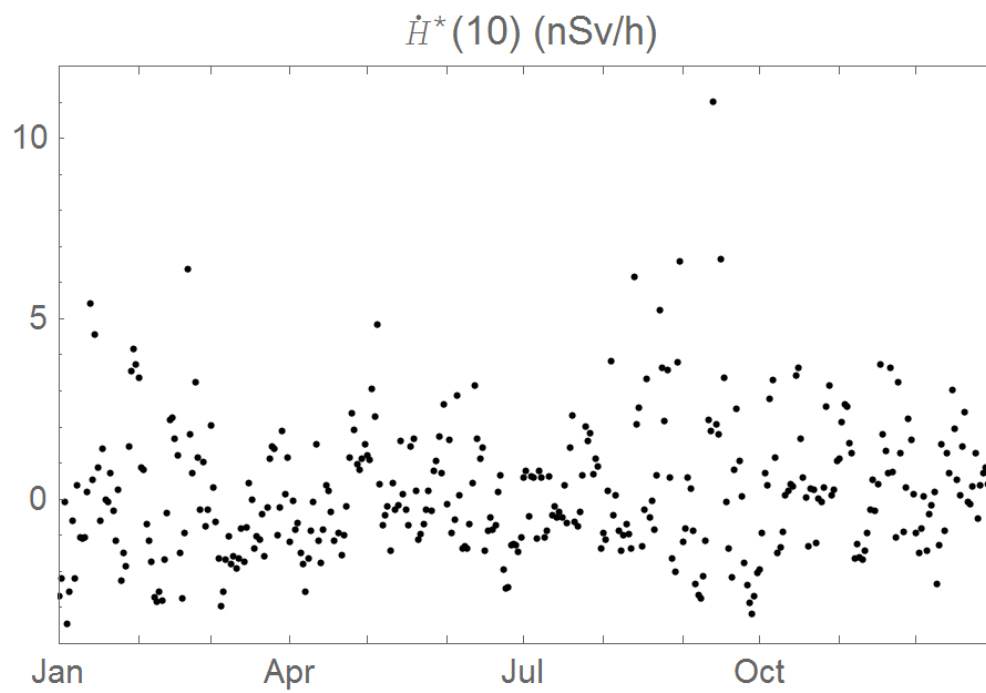
MONET-monitor	aantal dagen	jaardosis (μSv)
21	364	3,2
22	364	2,9
23	364	2,8
24	364	2,4
25	364	2,7
26	364	3,2
27	364	2,9
28	364	2,9

3.3 Omgevingsequivalenttempo zonder invloed van de achtergrondwaarde

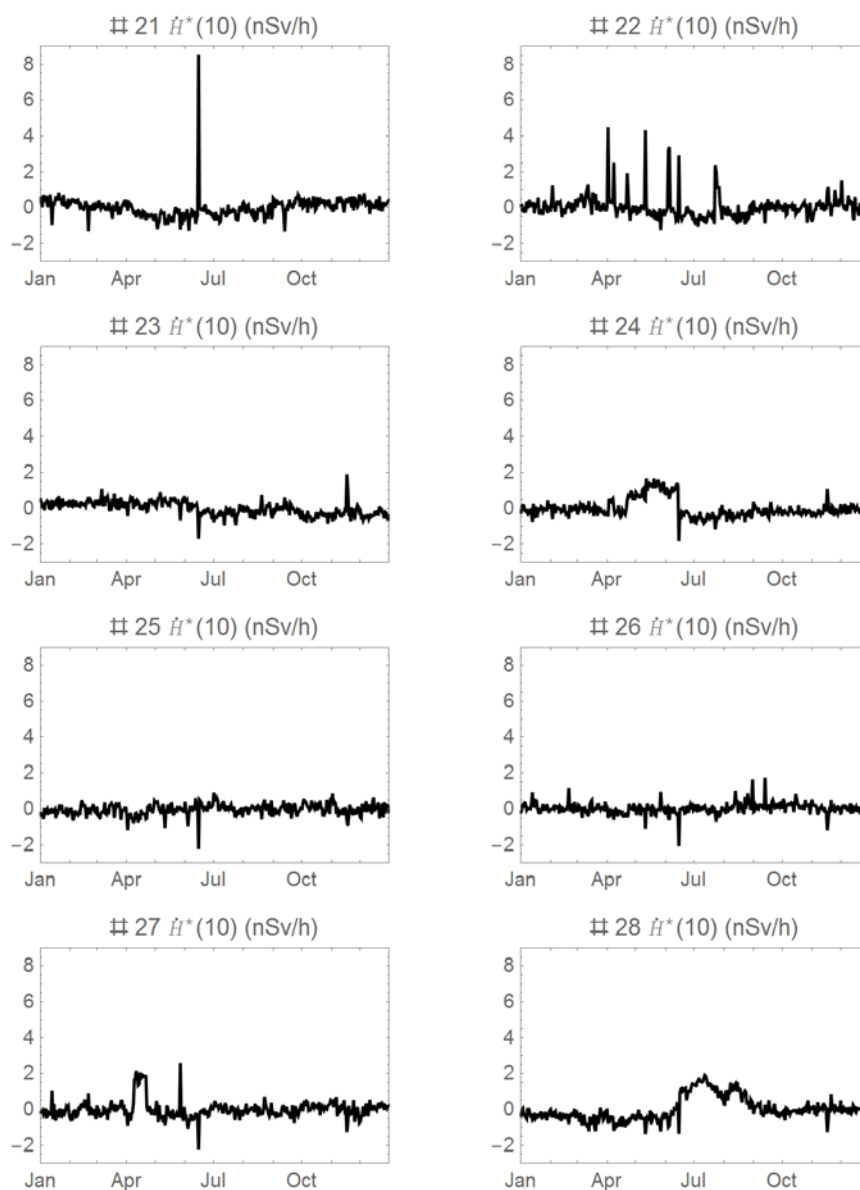
De monitoren zijn geplaatst langs de terreingrens op een afstand van maximaal een paar honderd meter van elkaar. Omdat de monitoren van dezelfde type zijn (Bitt RS03/X), is de respons van alle monitoren naar verwachting vergelijkbaar, bijvoorbeeld bij een simultane verandering in de natuurlijke achtergrond, zoals bij regenval. Het gemiddelde omgevingsequivalenttempo voor alle monitoren (na aftrek van de achtergrond) is gegeven in Figuur 7.

Door voor ieder monitor zowel de natuurlijke achtergrond als het gemiddelde omgevingsequivalenttempo van Figuur 7 van de metingen af te trekken, worden langdurige verhogingen van $\dot{H}^*(10)$ beter zichtbaar (zie Figuur 8). Dat komt omdat verhogingen die een vergelijkbare invloed hebben op alle meetposten, zoals bijvoorbeeld regenval, hierin verdisconteerd zijn.

Figuur 8 toont de gemeten $\dot{H}^*(10)$, na aftrek van zowel de referentie uit Figuur 7 en de achtergrondwaarde voor ieder monitor. Opvallend is het al eerder genoemde hoge daggemiddelde voor monitor 21 op 15 juni 2015, dat mede veroorzaakt wordt door vier hoge opeenvolgende 1-minuut gemiddelden. Ook zijn er herhaaldelijke verhogingen van monitor 22 tussen april en juli te zien. In de metingen van monitor 24 is er een langdurige verhoging te zien tussen april en juni, en in monitor 28 tussen juli en september. Monitor 27 laat een korte verhoging in april zien, en op 27 mei: de verhoging vindt plaats rond 04:10 uur en valt samen met een kleinere piek op monitor 26.



Figuur 7 Omgevingsequivalenttempo (na aftrek van de achtergrondwaarde) gemiddeld over alle monitoren.



Figuur 8 Het gemeten omgevingsdosisequivalenttempo, na aftrek van de achtergrondwaarde en het gemiddelde van alle monitoren uit Figuur 7. Langdurige verhogingen van de daggemiddelden zijn hier duidelijk te herkennen.

3.4

Jaardosis berekend volgens de EPZ/KCB-methode

De methode van EPZ/KCB [12] is toegepast op de daggemiddelde dosis-equivalenttempi van de MONET-monitoren. Dit houdt in:

1. Voor iedere monitor wordt het gemiddelde van de gemeten dosis-equivalenttempi (daggemiddelden) berekend.
2. De achtergrondwaarde wordt bepaald uit de mediane waarde van alle daggemiddelden. Door toepassing van de mediaan worden uitschieters uitgefilterd.
3. De door menselijk handelen toegevoegde dosis is het verschil tussen het gemiddelde en de achtergrondwaarde.

In Tabel 4 is de netto jaardosis weergegeven volgens de $>2\sigma$ -methode uit par. 3.2, en vergeleken met waarden berekend volgens de EPZ/KCB-methode, uit Tabel 3.

Tabel 4 De jaardosis (μSv) voor de MONET-monitoren rond EPZ/KCB in 2015, berekend volgens de $>2\sigma$ -methode en de EPZ/KCB-methode, beide toegepast op daggemiddelden.

MONET-monitor	aantal dagen	jaardosis $>2\sigma$-methode (μSv)	jaardosis EPZ/KCB (μSv)
21	364	3,2	2,0
22	364	2,9	2,3
23	364	2,8	3,2
24	364	2,4	1,7
25	364	2,7	2,1
26	364	3,2	2,6
27	364	2,9	2,0
28	364	2,9	1,3

Omdat de methode beschreven in paragraaf 3.2 op daggemiddelden toegepast wordt, is de EPZ/KCB methode in Tabel 4 ook op de daggemiddelden toegepast. De exploitant EPZ/KCB past zelf de methode toe op gemeten uurgemiddelden.

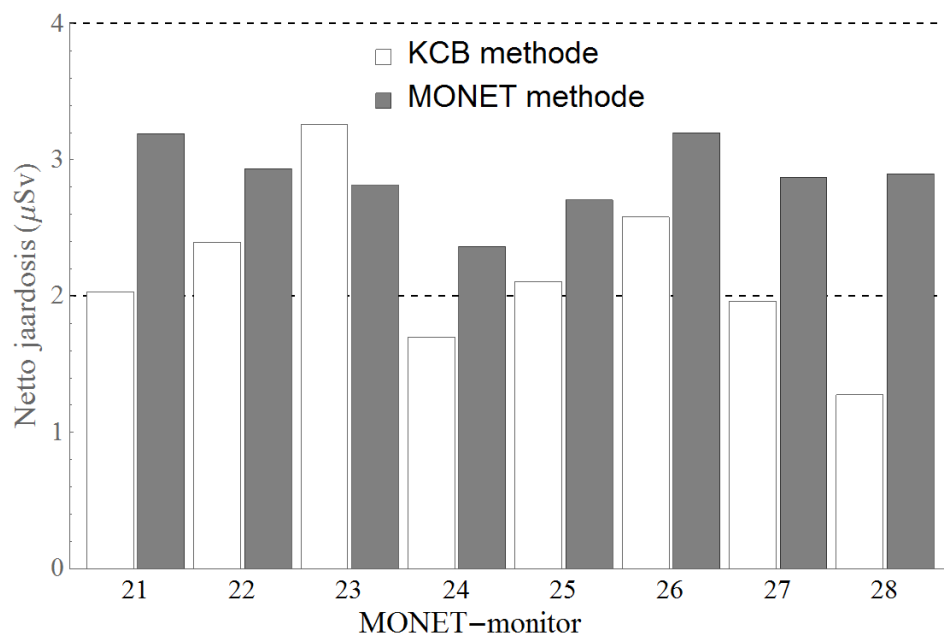
Om een vergelijking te kunnen bieden, de MONET monitoren zijn met een integratietijd van 1-minuut en 10-minuten operationeel, is de EPZ/KCB-methode ook toegepast op de door MONET gemeten 10-minuut waarden. Het resultaat wordt weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 De jaardosis (μSv) voor de MONET-monitoren rond EPZ/KCB in 2015, berekend volgens de $>2\sigma$ -methode (op daggemiddelden) en de EPZ/KCB-methode toegepast op 10-minuut waarden.

MONET-monitor	aantal 10-minuut waarden	jaardosis EPZ/KCB (μSv) (10-minuut)	jaardosis EPZ/KCB (μSv) uit Tabel 4	jaardosis $>2\sigma$-methode (μSv) uit Tabel 4
21	52503	2,9	2,0	3,2
22	52461	4,2	2,3	2,9
23	52502	3,3	3,2	2,8
24	52503	3,4	1,7	2,4
25	52503	2,5	2,1	2,7
26	52498	3,5	2,6	3,2
27	52503	3,7	2,0	2,9
28	52503	3,0	1,3	2,9

3.5 Vergelijking tussen $>2\sigma$ -methode en EPZ/KCB-methode

De beide methoden hanteren andere principes voor de bepaling van de door menselijk handelen toegevoegde jaardosis. De toepassing van beide methodes op daggemiddelden van de dosis-equivalenttempi leidt tot een vergelijkbare jaardosis tussen 1 en 4 μSv (zie Figuur 9).



Figuur 9 Vergelijking tussen de jaardosis voor het jaar 2015 bepaald volgens de EPZ/KCB- en de nieuwe MONET '>2σ-methode' toegepast op daggemiddelden.

4 Conclusies

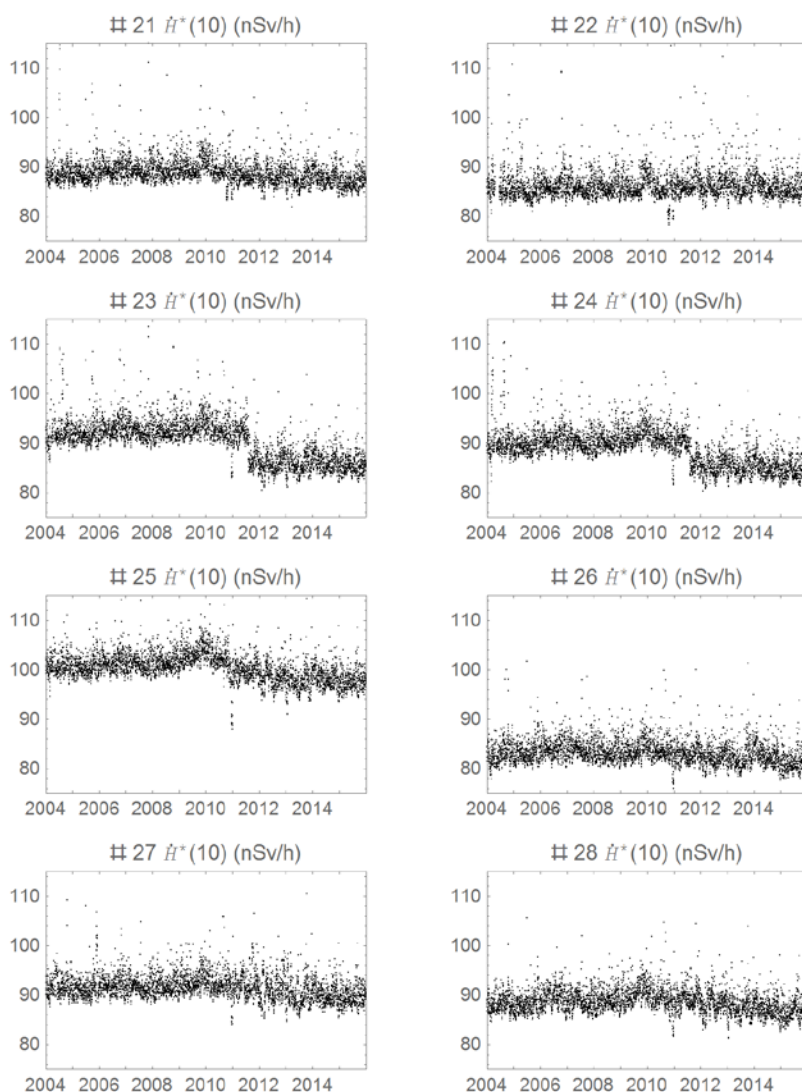
In 2015 zijn metingen uitgevoerd van het externe stralingsniveau aan de terreingrens van de kerncentrale te Borssele (EPZ/KCB) met het MONET-meetnet. Het maximale omgevingsdosisequivalent, $H^*(10)$, toegevoegd aan het achtergrondstralingsniveau in 2015 is 3,2 μSv voor beide monitoren 21 en 26. Na toepassing van de Actuele Blootstellings Correctiefactor (ABC-factor) van 0,2 geeft dit een maximale effectieve dosis van 0,6 μSv . De vergunde verhoging van de effectieve dosis voor EPZ/KCB van 40 μSv per jaar wordt, ook zonder toepassing van de ABC-factor, op geen van de meetpunten overschreden.

De berekening van de jaardosis wordt uitgevoerd volgens een methode die afwijkt van de methode in de voorgaande jaren. Op basis van de spreiding in het stralingsniveau aan de terreingrens wordt het achtergrondstralingsniveau bepaald. Uitschieters boven dit achtergrondstralingsniveau worden toegeschreven aan de jaardosis. Dit maakt het mogelijk om een schatting te maken van het stralingsniveau dat door menselijk handelen toegevoegd wordt.

De berekening van de netto jaardosis is ook uitgevoerd met de methode die door EPZ/KCB wordt toegepast. Dit leidt tot het hoogste toegevoegde stralingsniveaus voor monitor 23. De overeenstemming van deze berekeningen met de MONET-resultaten is redelijk tot goed.

5 Bijlage 1 - verloop van de metingen van 2004 tot en met 2015

In Figuur B1.1 worden de daggemiddelden van het omgevingsdosis-equivalenttempo van 2004 tot en met 2015 voor alle meetposten vertoond. De verschillen tussen monitoren worden veroorzaakt bijvoorbeeld door omgevingsfactoren zoals de ondergrond en bebouwing: zo heeft monitor 25 een gemiddeld niveau van 98 nSv/h in 2015, mede veroorzaakt door bouwmaterialen die gebruikt zijn op het nabijgelegen parkeerterrein. Er is geringe variatie over de jaren heen. De afname bij de meetposten 23 en 24 in het jaar 2011 werd veroorzaakt doordat daar ter plaatse een aanzienlijk deel van het gras- en grondoppervlak door grind is vervangen [M. Farahmand, RIVM Briefrapport 610330131].



Figuur B1.1 Verloop van het omgevingsdosis-equivalenttempo (daggemiddelden) van 2004 t/m 2015.

6 Bijlage 2 - vergelijking van de in dit rapport gebruikte methode en de RTV-methode voor de bepaling van toegevoegde jaardosis in 2014

Om de door menselijk handelen toegevoegde jaardosis te kunnen bepalen, is tot en met 2014 de RTV-methode toegepast [4, 5] die gebruik maakt van een landelijke referentie. Om de RTV-methode te kunnen vergelijken met de in dit rapport toegepaste methode, de '>2 σ -methode' beschreven in paragraaf 3.2, zijn beide methodes toegepast op de stralingsniveau-metingen van 2014. De resultaten worden in Tabel B2.1 en Tabel B2.2 getoond.

Tabel B2.1 Het berekende aantoonbaarheidsniveau en de jaardosis voor de MONET-monitoren in 2014 bij EPZ/KCB volgens de '>2 σ -methode' uit dit rapport en de RTV-methode (uit RIVM Briefrapport 2015-0093).

MONET-monitor	aantoonbaarheidsniveau '>2 σ methode' (nSv·h ⁻¹)	jaardosis 2014 '>2 σ methode' (μ Sv)	aantoonbaarheidsniveau 'RTV-methode' (nSv·h ⁻¹)	jaardosis 2014 RTV-methode' (μ Sv)
21	3,1	2,6	1,7	1,0
22	3,4	3,7	2,6	1,7
23	3,4	2,9	2,1	1,3
24	3,3	3,4	2,4	1,6
25	3,5	2,4	1,9	1,1
26	3,5	3,0	2,3	1,2
27	3,4	2,7	1,8	1,0
28	3,4	2,4	1,5	1,1

Tabel B2.2 toont het achtergrondniveau voor de acht monitors, berekend volgens de twee methodes. Om de twee methodes te kunnen vergelijken is het jaargemiddelde dosistempo van de "landelijke referentie" in 2014 van $72,8 \pm 1,5$ nSv/h (zie Figuur 5 van RIVM Briefrapport 2015-0093) aan de RTV_M uit Tabel 2 van RIVM Briefrapport 2015-0093 toegevoegd.

Tabel B2.2 Het berekende achtergrondniveau en aantoonbaarheidsniveau voor de MONET-monitoren in 2014 bij EPZ/KCB volgens de '>2 σ -methode' uit dit rapport en de RTV-methode (uit RIVM Briefrapport 2015-0093).

MONET-monitor	achtergrond in 2014 '>2 σ methode' (nSv·h ⁻¹)	aantoonbaarheids '>2 σ methode' (nSv·h ⁻¹)	achtergrond 'RTV-methode' in 2014 ($\pm 1,5$ nSv·h ⁻¹)	RTV _M (nSv·h ⁻¹)	aantoonbaarheids 'RTV-methode' (nSv·h ⁻¹)
21	87,8	3,1	87,9	15,1	1,7
22	86,0	3,4	86,1	13,3	2,6
23	86,1	3,4	86,2	13,4	2,1
24	85,1	3,3	85,3	12,5	2,4
25	98,3	3,5	98,4	25,6	1,9
26	82,5	3,5	82,7	9,9	2,3
27	90,0	3,4	90,2	17,4	1,8
28	87,3	3,4	87,4	14,6	1,5

Samenvatting Bijlage 2.

De achtergrond die met de beide methode berekend wordt is in goede overeenstemming. Het aantoonbaarheidsniveau dat met de '>2 σ -methode' is bepaald (Tabel B2.1) is een factor 1,3 tot 2,3 hoger dan met de RTV-methode [4, 5] is bepaald.

De door menselijk handelen toegevoegde jaardosis die met de in dit rapport gebruikte '>2 σ -methode' wordt bepaald is 2,1 tot 2,7 keer hoger dan de netto jaardosis die met de RTV-methode [4, 5] is berekend.

7 Referenties

[1] Kernenergiewet-vergunning verleend aan N.V. EPZ voor het wijzigen van de kernenergiecentrale Borssele (gem. Borsele), Ministerie van VROM, Kenmerk SAS/2004084087, 22 september 2004.

[2] Regeling van de Minister van Economische Zaken, de Minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en de Minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport van 18 oktober 2013, nr. WJZ/12066857, tot vaststelling van de uitvoeringsregeling voor stralingsbescherming van de Minister van Economische Zaken (Uitvoeringsregeling stralingsbescherming EZ), BWBR0034213.
(tot de inwerkingtreding van deze regeling op 1 januari 2014: Ministeriële Regeling Analyse Gevolgen Ioniserende Straling MR-AGIS, Stcrt 2002, 22 en 73, en wijziging Stcrt 2003,81).

[3] Beschikking inzake Modificaties kernenergiecentrale Borssele (EPZ), Ministerie van VROM, Kenmerk E/EE/KK/99004681, 26 mei 1999.

[4] Romijn J, Lunenburg van APPA, Meyer ES, Aldenkamp FJ, Smetsers RCGM (ed.), MONET - Netwerk voor monitoring van externe straling rond bedrijfsterreinen, RIVM rapport nr. 610330011, Bilthoven, maart 2000 (vertrouwelijk).

[5] Reinen HAJM, Stoop P, Slaper H, Methode voor de bepaling van het aan de achtergrond toegevoegde stralingsniveau voor het MONET meetnet, RIVM rapport nr. 610330021, Bilthoven, juni 2000 (Beperkte verspreiding).

[6] Manual GammaTRACER XL2, Saphymo, version 08/2012.

[7] International Commission on Radiation Units and Measurements. Quantities and units in radiation protection dosimetry, ICRU Report 51. Bethesda MD (1993).

[8] ICRP publication 74, Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation, ISSN 0146-6453, Annals of the ICRP Volume 26 No. 3/4, 1996.

[9] Smetsers RCGM, Blaauboer RO, Variations in outdoor radiation levels in the Netherlands, proefschrift, Universiteit Groningen, april 1996, ISBN 90-367-0621-1.

[10] Nederlands Normalisatie-instituut, NEN 5648:2007 nl, Radioactiviteitsmetingen - Bepaling van het over de tijd gemiddelde omgevingsdosisequivalenttempo met momentaan aanwijzende apparatuur, 2007.

[11] Dijk van E, Aalbers AHL, De calibratie en de energieresponsie van de Bitt RM10/RS02 gammastralingsdetectoren, RIVM rapport nr. 243504003, Bilthoven, maart 1990.

[12] Lous C, Bespreking van de resultaten van de radioactiviteitsmetingen in de omgeving van de Kernenergiecentrale Borssele over 1998, referentie R0118, EPZ, 1999 en Het uitvoeren van omgevingsmetingen, EPZ document N17-22-220, 25-8-2015.

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag