



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

## **Stralingsniveaumetingen aan de terreingrens van de EPZ kerncentrale Borssele in 2021**

RIVM-briefrapport 2022-0132  
C.P. Tanzi





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

## **Stralingsniveaumetingen aan de terreingrens van de EPZ kerncentrale Borssele in 2021**

RIVM-briefrapport 2022-0132  
C.P. Tanzi

## Colofon

© RIVM 2022

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

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

DOI 10.21945/RIVM-2022-0132

C.P. Tanzi (auteur), RIVM

Contact:

Cristina.tanzi@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van ANVS, in het kader van M/390220/21

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

## Publiekssamenvatting

### **Stralingsniveaumetingen aan het terrein van de EPZ kerncentrale Borssele in 2021**

Het gammastralingsniveau aan de terreingrens van de kerncentrale Borssele was in 2021 lager dan het toegestane maximum van 10 microsievert per jaar. De hoogste dosis is 0,8 microsievert per jaar. Dit blijkt uit controlemetingen van het RIVM. Het RIVM rapporteert elk jaar in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) of de kerncentrale aan de vergunningseis voldoet.

De kerncentrale moet ervoor zorgen dat de blootstelling van personen buiten de terreingrens zo laag mogelijk, maar op zijn hoogst 10 microsievert per jaar is. Dat is in de herziening van de kernenergievergunning van 2018 vastgelegd. Om de maximale effectieve dosis te berekenen wordt op de terreingrens het gammastralingsniveau gemeten. Dit gebeurt met het MONET-meetnet, dat het RIVM beheert. Daarna wordt van de meting de hoeveelheid gammastraling die van nature voorkomt (natuurlijke achtergrondwaarde) afgetrokken.

De berekende dosis wordt gecorrigeerd met de zogeheten Actuele Blootstelling Correctiefactor (ABC-factor). Een ABC-factor hangt samen met de bestemming van het gebied waar de effectieve stralingsdosis kan worden opgelopen. Rond het terrein van kerncentrale Borssele is de bestemming uitsluitend industrie, en daarvoor geldt een ABC-factor van 0,2. Door het gebruik van deze ABC-factor wordt de berekende maximale effectieve dosis berekend.

In 2021 is met acht monitoren op verschillende plekken op de terreingrens continu het gammastralingsniveau gemeten. In dit rapport zijn de daggemiddelden van de metingen van de MONET-monitoren rond de kerncentrale in 2021 weergegeven. Ook wordt uitgelegd hoe voor elk meetpunt de natuurlijke achtergrondwaarde is bepaald.

**Kernwoorden:** gammastraling, omgevingsdosisequivalent, EPZ, kerncentrale



## Synopsis

### **Radiation level measurements around the site of Borssele nuclear power plant in 2021**

In 2021, the gamma radiation level at the site boundary of the Borssele nuclear power plant was below the maximum permitted level of 10 microsievert per year. The maximum effective dose was 0.8 microsievert per year. This is the result of measurements carried out by RIVM on location. RIVM is tasked by the Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection (ANVS) to report annually on whether the Borssele nuclear power plant meets the criterion stipulated in the license.

The nuclear power plant must ensure that the maximum exposure of persons outside the site boundary is as low as possible and does not exceed 10 microsievert annually. This is stipulated in the revised 2018 Nuclear Energy Act license. In order to determine the maximum effective dose, gamma radiation is measured at the site boundary. The measurements are carried out within the framework of the MONET monitoring network, which falls under the administrative management of RIVM. The measurements are then corrected by subtracting the natural background value.

The resulting calculated effective dose are then corrected with the so-called Actual Exposure Correction Factor (ABC factor). An ABC factor takes into account the specific use of the area where exposure to the gamma dose may occur. Around the boundary of the Borssele nuclear power plant, the zoning plan only specifies industrial use, which is associated with an ABC factor of 0.2. After applying this factor, the maximum effective dose is calculated.

In 2021, measurements of the gamma radiation level were carried out continuously at eight locations at the site boundary. This report provides the daily averages of the radiation dose recorded by the MONET monitors around the Borssele nuclear power plant and explains how the background level at each measuring location was determined.

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





## Inhoudsopgave

### **Samenvatting — 9**

#### **1 Inleiding — 11**

- 1.1 Leeswijzer — 11
- 1.2 Vergunningsvoorschriften — 11
- 1.3 Uitvoering — 12
- 1.4 Overzicht terreinopstelling Borssele — 12

#### **2 De gemeten grootheid — 15**

#### **3 Metingen van het MONET-meetnet aan het terrein van EPZ/KCB in 2021 — 17**

- 3.1 Operationaliteit van het MONET meetnet in 2021 — 17
- 3.2 Het gemeten daggemiddelde omgevingsdosisequivalenttempo en de gemeten jaardosis — 18
- 3.3 Bepaling van de door de nucleaire installatie toegevoegde jaardosis in 2021 — 19
- 3.4 Jaardosis berekend volgens de EPZ/KCB-mediaan-methode — 23
- 3.5 Vergelijking tussen MONET-methode en EPZ/KCB-mediaan-methode — 24

#### **4 Waarschuwingsbericht aan de ANVS — 25**

- 4.1 Waarschuwingen — 25

#### **5 Conclusies — 27**

#### **Bijlage 1 Verloop van de metingen van 2017 tot en met 2021 — 29**

#### **Bijlage 2 Toelichting van EPZ betreffende de berekening van de netto (gamma) dosis aan de terreingrens — 31**

#### **Referenties — 33**



## Samenvatting

In opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) verricht het centrum Veiligheid van het RIVM metingen van het externe gammastralingsniveau rond de EPZ-kerncentrale te Borssele. De metingen worden uitgevoerd ter controle van stralingsniveaus zoals vastgelegd in de Kernenergiewet vergunning van de kerncentrale. Dit rapport beschrijft de resultaten van het MONET-meetnet in 2021.

In het rapport wordt een methode toegepast om, op basis van het gemeten gammastralingsniveau aan de terreingrens van de kerncentrale, het achtergrondstralingsniveau te bepalen. Dit maakt het mogelijk om een schatting te maken van het gammastralingsniveau dat door de kerncentrale 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 soms een tijdelijke verhoging van ongeveer tien procent van het tempo van het omgevingsdosisequivalent zien ten opzichte van het achtergrondstralingsniveau. Het maximale omgevingsdosisequivalent toegevoegd aan het achtergrond-stralingsniveau in 2021 is 3,9  $\mu\text{Sv}$  voor monitor 26. Na toepassing van de Actuele Blootstellingen Correctiefactor (ABC-factor) is de maximale effectieve dosis 0,8  $\mu\text{Sv}$ . De vergunde verhoging van de effectieve dosis voor EPZ/KCB van 10  $\mu\text{Sv}$  per jaar wordt, ook zonder toepassing van de ABC-factor, op geen van de acht meetpunten overschreden.

De correctie voor het achtergrondstralingsniveau is tevens uitgevoerd met de methode die door EPZ/KCB wordt toegepast. Met deze methode ligt het hoogste toegevoegde gammastralingsniveau bij monitor 24. 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. ElektriciteitsProductie-maatschappij Zuid Nederland (EPZ/KCB) met behulp van het meetnet MONITORING NETwerk Terreinen (MONET-meetnet).

### 1.1 Leeswijzer

In dit rapport worden de metingen van het gammastralingsniveau en de analyse voor het jaar 2021 beschreven. Het rapport is als volgt opgebouwd. In Hoofdstuk 2 wordt in het kort de meetgrootte beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft de toegepaste 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-mediaan-methode [13]. In 2021 is geen aanleiding geweest voor het opsturen van waarschuwingsberichten (zie Hoofdstuk 4). In Hoofdstuk 5 worden de conclusies gegeven.

In Bijlage 1 wordt het verloop gegeven van de metingen van dit reguliere netwerk van acht monitoren vanaf de herplaatsing in de loop van 2017<sup>1</sup>.

### 1.2 Vergunningsvoorschriften

De metingen worden uitgevoerd in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS), ter onafhankelijke controle van stralingsniveaus zoals vastgelegd in de kernenergiewet (KEW) vergunning van de kerncentrale. Volgens deze vergunning [1] geldt sinds 4 december 2018 (de inwerkingtreding van de revisievergunning), in paragraaf 1.5 (voorschrift F.1, "Milieubelasting voortvloeiend uit het nucleaire karakter van de inrichting") het volgende:

- "De door de vergunde handelingen veroorzaakte bijdrage aan de effectieve dosis buiten de terreingrenzen van de KCB dient zo laag te zijn als redelijkerwijs mogelijk is. De AID mag in geen geval de waarde van 10  $\mu$ Sv per jaar overschrijden."

en in 5.2.4 ("Straling aan de terreingrens"):

- "Voor de externe straling is de Actuele Individuele Dosis (AID), berekend volgens de rekenregels in bijlage 1.5 van de Uitvoeringsregeling stralingsbescherming EZ [2], beschouwd. Voor de keuze van de relevante Actuele Blootstelling Correctie factor (ABC factor) uit tabel 6.2 van deze bijlage is daarbij uitgegaan van de bestemming industrie met een waarde van 0,2."

<sup>1</sup> In oktober 2016 is een tijdelijk netwerk van vier draagbare monitoren geplaatst, die tot 12 januari 2018 operationeel is geweest

- "In deze revisievergunning wordt de vergunningslimiet met betrekking tot de AID gesteld op 10  $\mu\text{Sv}$ ".
- "In eerdere vergunning [3] werd een effectieve dosis van 40  $\mu\text{Sv}$  vergund, echter hier werd niet expliciet beschreven of het hier ging om een ID, MID (multifunctionele individuele dosis, op basis van mogelijkheid van bewoning aangrenzend aan de terreingrens) of AID."

Dat betekent dat de geschatte toegevoegde dosis, bepaald in dit rapport door de analyse van de MONET metingen, met de ABC-factor van 0,2 vermenigvuldigd moet worden. Deze wordt vervolgens getoetst aan de AID limiet van 10  $\mu\text{Sv}$  die in de vergunning is vastgesteld<sup>2</sup>.

De vergunningsgrenswaarde betreft een AID bestaande uit de som van externe straling, van lozingen in de lucht en van lozingen in het water. De bijdrage aan de AID via deze drie blootstellingspaden zal hoogstwaarschijnlijk op één bepaalde locatie buiten de inrichting nooit voor alle drie tegelijk maximaal zijn.

In dit rapport wordt gebruik gemaakt van de metingen van het MONET-meetnet om een schatting te maken van de toegevoegde gamma dosis: het omgevingsdosisequivalent,  $H^*(10)$ , dat is toegevoegd aan de dosis ten gevolge van de natuurlijke achtergrondstraling. De stralingsdosis als gevolg van neutronen is in dit rapport buiten beschouwing gelaten.

### 1.3 Uitvoering

De metingen zijn continu over het hele jaar 2021 uitgevoerd met een netwerk van acht meetposten, uitgerust met proportionele telbuis monitoren. Dit netwerk wordt uitvoerig in RIVM-rapport 610330011 [4] beschreven.

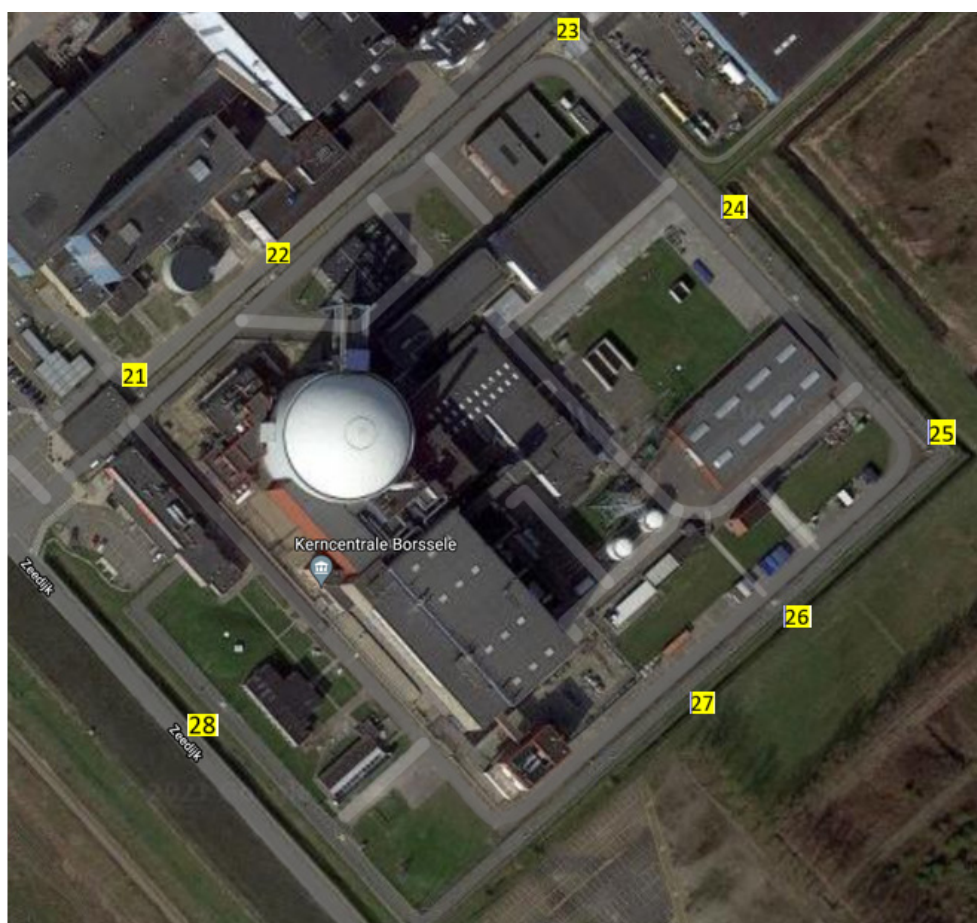
Voor de bepaling van de toegevoegde dosis in het jaar 2021 wordt dezelfde methode toegepast als in RIVM-rapport 2021-0154 [5]. Deze methode wordt in RIVM-rapport 2017-0053 [6] uitvoerig beschreven, en wijkt af van de methode die tot 2014 is toegepast [7], en is ontwikkeld als gevolg van de voortschrijdende ontwikkelingen in de meetnetten.

Bij het overschrijden van een afgesproken grens door een MONET-monitor (bijvoorbeeld een gemeten dosistempo van 5  $\mu\text{Sv}$  door een monitor gedurende een dag) geldt de afspraak dat RIVM een waarschuwingsbericht aan de ANVS stuurt. In 2021 is er geen aanleiding geweest voor het opsturen van waarschuwingsberichten.

### 1.4 Overzicht terreinopstelling Borssele

Aan de terreingrens van de kerncentrale te Borssele is een regulier netwerk van acht gammastralingsmonitoren 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.

<sup>2</sup> In de door RIVM uitgebrachte rapporten die betrekking hebben op de jaren tot en met 2015, zoals bijvoorbeeld ref. [6], is de dosis aan de toen geldende AID limiet van 40  $\mu\text{Sv}$  getoetst.



Figuur 1 Overzicht van de terreinopstelling van de kerncentrale te Borssele. De doorsnede van het reactorgebouw is 40 m (bron: Google Maps).

De monitoren zijn van het type Bitt RS03/485 en 485L (proportionele telbuis), zie Tabel 1. Het verschil tussen het type 485 en 485L is het bereik van de metingen (tot 15 mSv/h voor 485L en tot 10 Sv/h voor het type 485).

Tabel 1 Overzicht van het specifieke type monitoren in het jaar 2021 (Bitt, proportionele telbuis)

MONET-monitor	Type Bitt
21	RS-03-485L
22	RS-03-485L
23	RS-03-485L
24	RS-03-485L
25	RS-03-485L
26	RS-03-485
27	RS-03-485
28	RS-03-485L





## 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 [8]. 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  $E_{\text{ext}}$  genoemd. Ondanks het gebruik van de limiterende grootheid effectieve dosis  $E$  in de vergunning, wordt hier toch de grootheid  $H^*(10)$  gebruikt. De reden hier voor is dat de grootheid  $E_{\text{ext}}$  niet zonder uitgebreide aanvullende metingen van de energieverdeling van het gamma-stralingsveld is te bepalen. Vandaar dat, conform de aanbevelingen van de ICRP [9], de operationele grootheid  $H^*(10)$  wordt gebruikt als schatting van  $E_{\text{ext}}$ . Van belang hierbij is om op te merken dat  $H^*(10)$  een overschatting geeft van  $E_{\text{ext}}$  [9]. In het kader van de vergunningshandhaving wordt het verschil tussen de gemeten grootheid  $H^*(10)$  en de limiterende grootheid  $E_{\text{ext}}$  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  $\dot{H}^*(10)$  worden uitgevoerd met een regulier netwerk van acht meetposten voorzien van Bitt (RS03/485 of 485L) proportionele telbuis. De energierespons van de monitor is zodanig dat de uitlezing overeenkomt met het omgevingsdosisequivalenttempo. De monitor heeft een hoekafhankelijkheid en is gevoelig 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 [10]. Met kennis van de natuurlijke achtergrond (nucliden en verdeling) kan hier voor worden gecorrigeerd. Na correctie resteert een absolute onzekerheid ( $2\sigma$ ) in metingen van de natuurlijke achtergrond van minder dan  $5 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$  [10]. Een dergelijke studie is niet uitgevoerd voor de Bitt RS03/485 of Bitt RS03/485L monitor. Aangenomen wordt dat systematische fouten en de absolute onzekerheid hetzelfde zijn van de Bitt RS02, gezien dezelfde opbouw van de proportionele telbuis.

Voor het uitvoeren van metingen van het omgevingsdosisequivalent met dosistempo-monitoren bestaat de norm NEN 5648 [11]. 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 norm. 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 [10, 12]. 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.



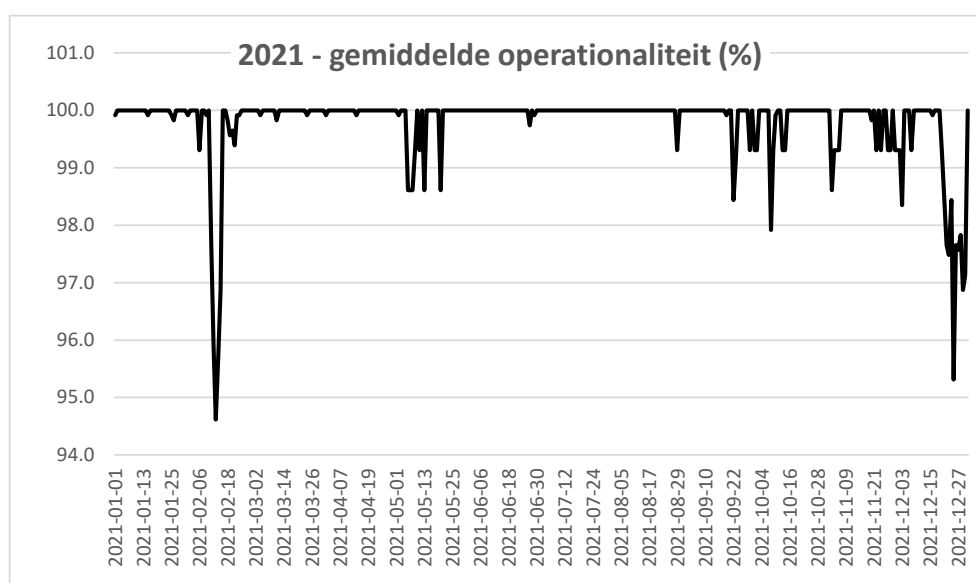
### 3 Metingen van het MONET-meetnet aan het terrein van EPZ/KCB in 2021

In dit hoofdstuk wordt een analyse van de metingen over 2021 gepresenteerd. Het verloop gedurende het jaar van het gemeten daggemiddelde omgevingsdosisequivalenttempo 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. De achtergrondwaarde wordt berekend op basis van het gemiddelde van de daggemiddelden over de periode waarin metingen beschikbaar zijn.

De berekende jaardosis, die mede door menselijk handelingen veroorzaakt wordt, wordt per monitor gegeven. Tenslotte worden de resultaten gegeven van de berekening van de netto jaardosis volgens de EPZ/KCB-methode op basis van de MONET-meetdata.

#### 3.1 Operationaliteit van het MONET meetnet in 2021

Er zijn in totaal 365 dagen in het jaar 2021 waarvoor metingen van het MONET-meetnet rondom KCB beschikbaar zijn. In Figuur 2 is de operationaliteit per dag van MONET rond EPZ/KCB in 2021 weergegeven. Het is de verhouding (in %) tussen het werkelijk aantal bruikbare 10-minuut-waarden en het op een dag maximale aantal van 144 10-minuut-waarden, gemiddeld over acht monitoren. In heel 2021 is de daggemiddelde operationaliteit van het netwerk 94.6% of hoger geweest. Voor de afzonderlijke monitor 26 zijn, over de dagen 14 t/m 18 februari 2021, de 10-minuut waarden berekend vanuit de ontvangen en bruikbare 1-minuut metingen. Dat is omdat in die vijf dagen, als gevolg van een storing, er geen 10-minuut metingen beschikbaar zijn.



Figuur 2 Operationaliteit per dag van MONET rond EPZ/KCB in 2021, gemiddeld over de acht monitoren.

De afzonderlijk monitor 28 is, door een storm, om 11 maart 2021 aan de grond komen te liggen. De monitor is desondanks blijven functioneren, maar heeft tot het herstel op 20 maart, een verhoogde omgevingsdosisequivalenttempo geregistreerd vanwege de veranderde geometrie van de meting. De verhoogde metingen tijdens de tien dagen 11 tot en met 20 maart 2021 zijn dus niet representatief voor een verhoogde dosis door de activiteiten van KCB en worden dus niet meegenomen in de volgende analyse, maar die dagen zijn in Figuur 2 wel als operationeel opgemerkt.

### 3.2 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 2021 worden weergegeven in Figuur 3.

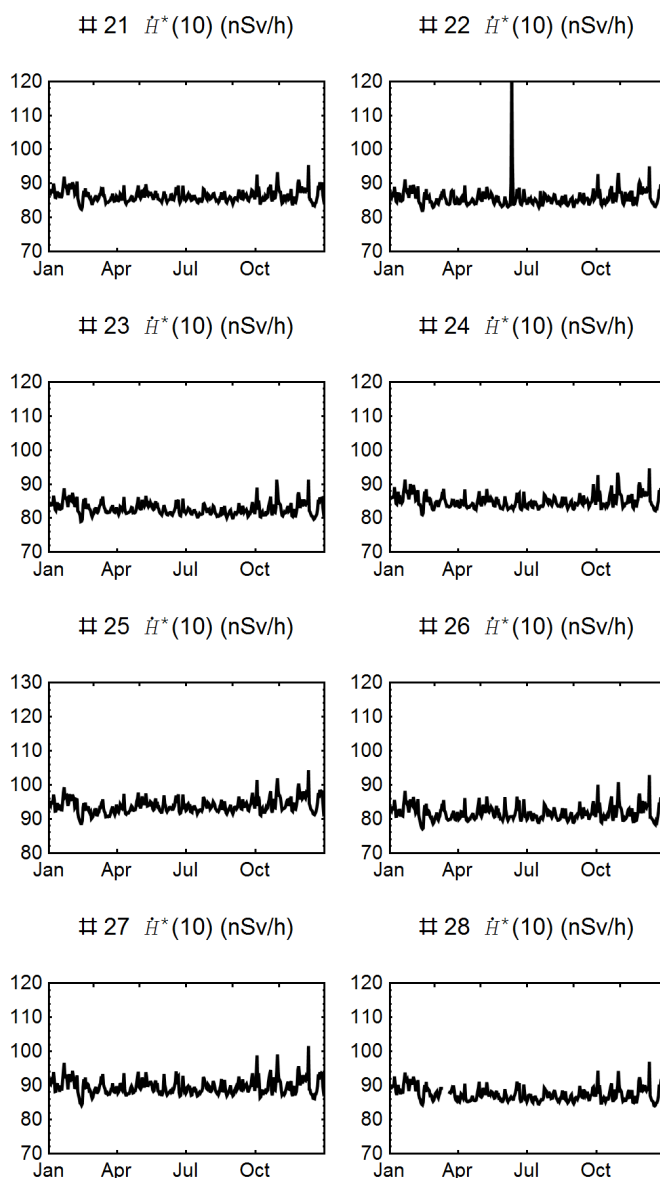
De hoogste waarde van het gemeten daggemiddelde omgevingsdosisequivalenttempo is  $120 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ , gemeten door monitor 22 op 11 juni. Gedurende die dag is er een verhoging geregistreerd tussen 13:00 en 20:00. In deze periode is het omgevingsdosisequivalenttempo  $150 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$  of hoger, met een piek tussen 13:10 en 13:20 van  $244 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ .

In Tabel 2 wordt de gemeten jaardosis gegeven, berekend als de som van de uurgemiddelden vermenigvuldigd door het aantal uren in de dag, samen met het aantal dagen waarover metingen beschikbaar zijn voor de bepaling van de jaardosis.

In Bijlage 1 wordt het totale verloop van het gemeten daggemiddelde omgevingsdosisequivalenttempo getoond voor het netwerk vanaf de terugplaatsing in de loop van 2017 (tussen 12 april en 12 juni 2017) tot eind 2021.

Tabel 2 De gemeten jaardosis ( $\mu\text{Sv}$ ) door de MONET-monitoren bij EPZ/KCB in 2021; niet gecorrigeerd voor achtergrondstraling.

MONET-monitor	Aantal dagen	Gemeten jaardosis ( $\mu\text{Sv}$ ) incl. achtergrondstraling
21	365	757
22	365	752
23	365	725
24	365	745
25	365	822
26	365	716
27	365	785
28	355	745



Figuur 3 Het gemeten daggemiddelde omgevingsdosis-equivalenttempo voor de MONET-monitoren rond EPZ/KCB in 2021. De figuur voor monitor 25 heeft een andere schaalverdeling voor de y-as.

### 3.3 Bepaling van de door de nucleaire installatie toegevoegde jaardosis in 2021

De hier toegepaste methode is hetzelfde als in RIVM-rapport 2021-0154 [5] en is uitvoerig beschreven in het RIVM-rapport 2017-0053 [6]. Deze methode wijkt af van de in eerdere rapporten (tot en met het jaar 2014) gebruikte methode [7]. Alleen metingen van het MONET-netwerk zelf worden voor de analyse gebruikt, in tegenstelling tot [7], waar het landelijk NMR-meetnet voor de bepaling van de natuurlijke achtergrond gebruikt wordt.

Om een onderscheid te kunnen maken tussen de dosis die door de nucleaire installatie wordt veroorzaakt en de variatie in de natuurlijke

achtergrond, wordt voor iedere 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  $\sigma_i'$  van het daggemiddelde omgevingsdosisequivalenttempo  $\dot{H}^*(10)$  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  $\sigma_i$  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 ( $\dot{H}^*(10) - A_i$ ) op te tellen van alle dagen met  $(\dot{H}^*(10) - A_i) > 2\sigma_i$ .

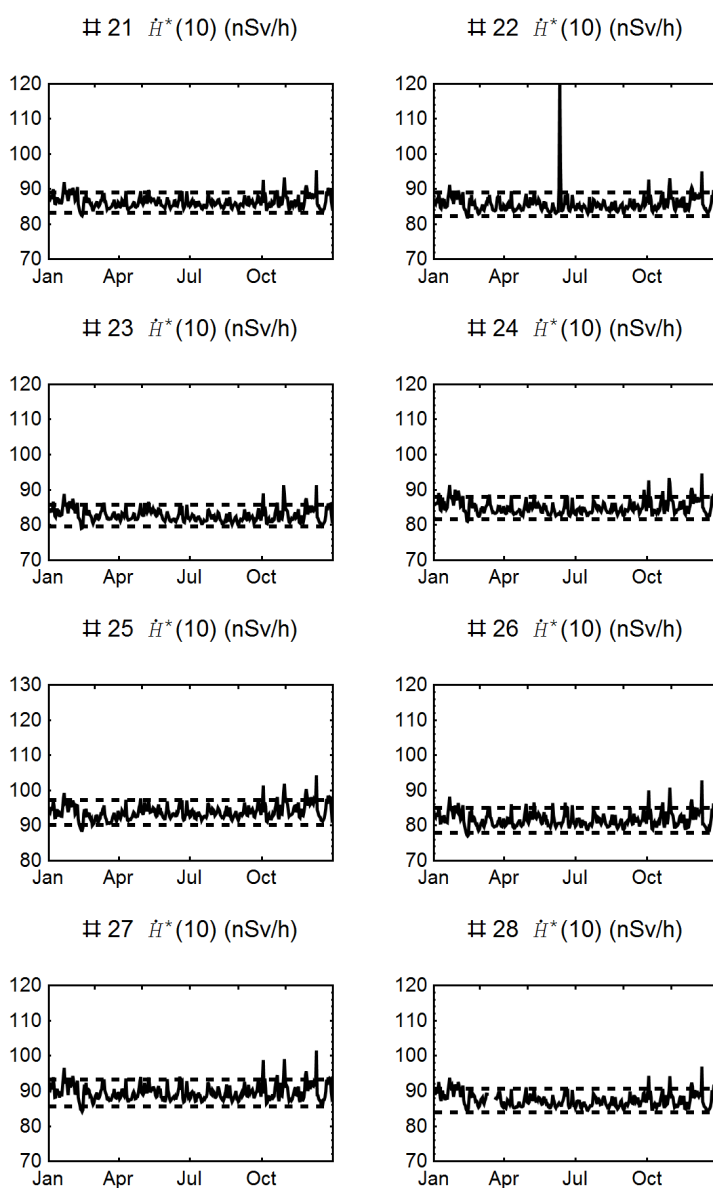
Met deze methode, de '>2 $\sigma$ -methode', kunnen kunstmatige verhogingen, de pieken, worden bepaald, en dus de toegevoegde jaardosis, ten opzichte van de natuurlijke achtergrond. Het gemeten niveau van de achtergrond heeft geen invloed op de toegevoegde jaardosis.

Deze methode kan de dosis ten gevolge van natuurlijke verhogingen niet onderscheiden van kunstmatige verhogingen. Een voorbeeld van een natuurlijke verhoging is hevige regenval, die doorgaans wordt gevolgd door een verhoogde depositie van vervalproducten van radon. Dit kan bijdragen aan het omgevingsdosisequivalenttempo  $\dot{H}^*(10)$ , en dus leiden tot een, vaak zeer geringe, overschatting van de jaardosis. Tabel 3 toont voor iedere monitor de achtergrondwaarde en het aantoonbaarheidsniveau, bepaald volgens deze methode voor het jaar 2021.

*Tabel 3 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 2021.*

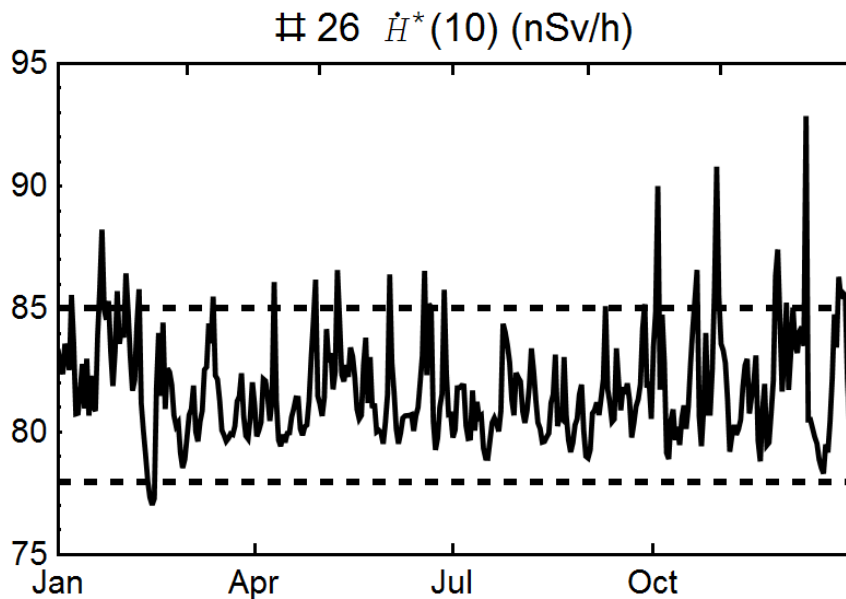
<b>MONET-monitor</b>	<b>aantal dagen berekening achtergrond</b>	<b>aantal dagen met verhogingen</b>	<b>achtergrond (nSv·h<sup>-1</sup>)</b>	<b>aantoonbaarheidsniveau (nSv·h<sup>-1</sup>)</b>
21	334	31	86,2	2,9
22	340	25	85,6	3,4
23	338	27	82,6	3,1
24	334	31	84,8	3,2
25	340	25	93,7	3,6
26	332	33	81,5	3,6
27	338	27	89,4	3,8
28	329	26	87,2	3,4

De waarden uit Tabel 3 worden ook grafisch weergegeven in Figuur 4, samen met het gemeten  $\dot{H}^*(10)$  uit Figuur 3.

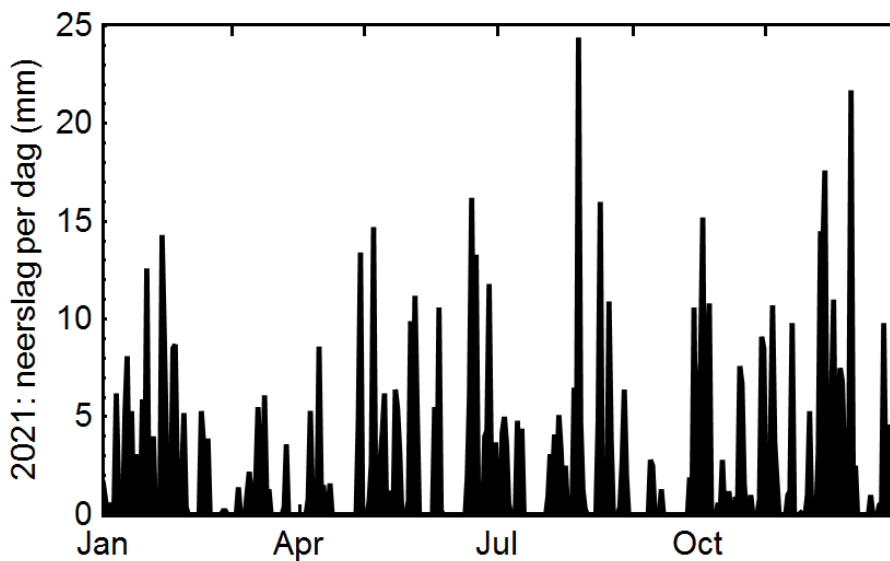


Figuur 4 Het daggemiddelde omgevingsdosis-equivalenttempo  $\dot{H}^*(10)$  voor de MONET-monitoren rond EPZ/KCB in 2021 uit Figuur 3 samen met, als gestippelde lijnen, de variatie van de natuurlijke achtergrond, bepaald met de methode beschreven in paragraaf 3.3. De figuur voor monitor 25 heeft een andere schaalverdeling voor de y-as.

Hevige regenval heeft als gevolg verhoogde depositie van vervalproducten van radon, en kan dus een verhoging van het omgevingsdosis-equivalenttempo veroorzaken. Op 7 augustus 2021 was er de hevigste neerslag, gemeten op het KNMI station Vlissingen (Figuur 6), met 24 mm, gevolgd door 22 mm op 10 december 2021. Op 10 december vertonen alle monitoren een verhoging, zie Figuur 4 en Figuur 5.



Figuur 5 Het gemeten omgevingsdosis-equivalenttempo voor monitor 26 bij EPZ/KCB in 2021 (uit Figuur 4), samen met, als gestippelde lijnen, de spreiding van de natuurlijke achtergrond over het jaar.



Figuur 6 Neerslag per dag, in mm, gemeten door het KNMI weerstation van Vlissingen (bron: KNMI). Hevige neerslag op 10 december 2021 valt samen met een verhoging van  $\dot{H}^*(10)$  van alle monitoren van het EPZ/KCB MONET-meetnet.

De hier toegepaste methode kan geen onderscheid maken tussen een ongewoon grote variatie van de natuurlijke achtergrondstraling ( $> 2\sigma$ , zie paragraaf 3.3), en verhogingen die door menselijk handelen veroorzaakt zijn. De gemeten  $\dot{H}^*(10)$  van dagen met hevige regenval kan dus een (geringe) bijdrage aan de berekende jaardosis leveren. Figuur 5 toont het omgevingsdosis-equivalenttempo  $\dot{H}^*(10)$  van monitor 26 en Figuur 6 toont de neerslag gemeten door het KNMI weerstation van Vlissingen (bron: KNMI). Figuur 6 samen met Figuur 5 laten zien dat enkele verhogingen hoogstwaarschijnlijk aan weeromstandigheden zijn



toe te schrijven, omdat een verhoging van het omgevingsdosis-equivalenttempo samen valt met hevige neerslag.

In Tabel 4 is de toegevoegde jaardosis, per monitor, voor 2021 weergegeven: de hoogste jaardosis is 3,9  $\mu\text{Sv}$  voor monitor 26.

De hoogste dosis van 3,9  $\mu\text{Sv}$  voor monitor 26 wordt aan de dosislimiet in de vergunning getoetst. Bij het toetsen aan de vergunningslimiet per jaar (10  $\mu\text{Sv}$ ) wordt deze dosis vermenigvuldigd met een ABC-factor van 0,2 (Hoofdstuk 1). Dit betekent een jaardosis van 0,8  $\mu\text{Sv}$ .

*Tabel 4 De berekende jaardosis ( $\mu\text{Sv}$ ) voor de MONET-monitoren bij EPZ/KCB in 2021.*

<b>MONET-monitor</b>	<b>aantal dagen</b>	<b>jaardosis (<math>\mu\text{Sv}</math>)</b>
21	365	3,0
22	365	3,6
23	365	2,8
24	365	3,5
25	365	3,0
26	365	3,9
27	365	3,4
28	355	2,9

### **3.4 Jaardosis berekend volgens de EPZ/KCB-mediaan-methode**

De methode van EPZ/KCB [13, Bijlage 2], de EPZ/KCB-mediaan-methode, is op een vergelijkbare manier toegepast op de daggemiddelde dosisequivalenttempi van de acht MONET-monitoren. Dit houdt in:

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

Een vergelijking van de toepassing van deze methode op de 10-minuut gemiddelden en de daggemiddelden is in Bijlage 2 van rapport [6] te lezen.

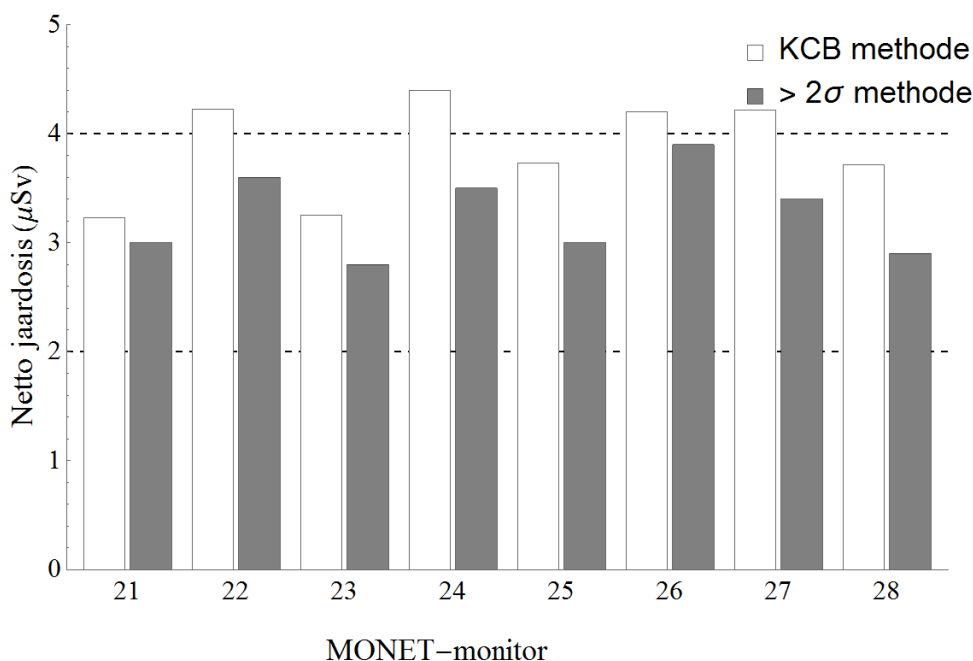
In Tabel 5 is de netto jaardosis weergegeven volgens de  $>2\sigma$ -methode uit par. 3.3 (uit Tabel 4), en vergeleken met waarden berekend volgens de EPZ/KCB-mediaan-methode in Bijlage 2.

Tabel 5 De jaardosis ( $\mu\text{Sv}$ ) voor de MONET-monitoren rond EPZ/KCB (netwerk van 8 monitoren) in 2021, berekend volgens de " $>2\sigma$ -methode" en de EPZ/KCB-mediaan-methode, beide toegepast op daggemiddelden.

MONET-monitor	aantal dagen	jaardosis $>2\sigma$ -methode ( $\mu\text{Sv}$ )	jaardosis EPZ/KCB ( $\mu\text{Sv}$ )
21	365	3,0	3,2
22	365	3,6	4,2
23	365	2,8	3,3
24	365	3,5	4,4
25	365	3,0	3,7
26	365	3,9	4,2
27	365	3,4	4,2
28	355	2,9	3,7

### 3.5 Vergelijking tussen MONET-methode en EPZ/KCB-mediaan-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 dosisequivalenttempi leidt tot een vergelijkbare jaardosis tussen 2,8 en 4,4  $\mu\text{Sv}$  (zie Figuur 7).



Figuur 7 Vergelijking tussen de jaardosis voor het jaar 2021 bepaald volgens de EPZ/KCB-mediaan- en de MONET ' $>2\sigma$ '-methode toegepast op daggemiddelden.

## 4 Waarschuwingsbericht aan de ANVS

RIVM heeft met de ANVS afspraken gemaakt ten aanzien van het sturen van waarschuwingsberichten bij overschrijden van bepaalde gemeten stralingsniveaus, of verminderde operationaliteit van de terreinopstelling.

Het meetnet meet de bruto dosis, dat wil zeggen, de dosis als gevolg van menselijk handelingen samen met de dosis ten gevolge van natuurlijke radionucliden en kosmische straling: het is dus de bruto dosis die aanleiding tot de waarschuwingen kan geven. Een vastgestelde overschrijding is echter niet altijd reden voor een waarschuwing aan de opdrachtgever, bijvoorbeeld als bekend is dat vooraf gemelde handelingen van derden plaatsvinden, die het omgevingsdosisequivalent naar verwachting zullen verhogen (bijvoorbeeld, Niet Destructief Onderzoek bij een naastgelegen bedrijf).

### 4.1 Waarschuwingen

Aanleidingen voor het sturen van een waarschuwing naar de ANVS zijn:

- Bruto dagdosis  
Wanneer een bruto dosis ter plaatse van enige meetpost over één etmaal meer dan 5 microsievert blijkt te bedragen, volgt een waarschuwing. Deze controle zal in principe iedere werkdag uitgevoerd worden.
- Verminderde functionaliteit  
Indien een deel van de apparatuur niet blijkt te werken en de functionaliteit van een terreinopstelling hierdoor minder dan 75% is, zulks ter beoordeling van RIVM, zal een waarschuwing worden gestuurd. Zodra de functionaliteit hersteld is, volgt hiervan ook bericht.

In 2021 is er geen aanleiding geweest voor het opsturen van waarschuwingsberichten.



## 5 Conclusies

In 2021 zijn metingen uitgevoerd van het externe gammastralingsniveau aan de terreingrens van de kerncentrale te Borssele (EPZ/KCB) met het MONET-meetnet. Het maximale omgevingsdosisequivalent,  $H^*(10)$ , toegevoegd aan het achtergrondstralingsniveau in 2021 is 3,9  $\mu\text{Sv}$  voor monitor 26. Na toepassing van de Actuele Blootstellingen Correctiefactor (ABC-factor) van 0,2 geeft dit een maximale effectieve dosis van 0,8  $\mu\text{Sv}$  per jaar. De vergunde limiet van 10  $\mu\text{Sv}$  per jaar wordt, ook zonder toepassing van de ABC-factor, op geen van de meetlocaties overschreden.

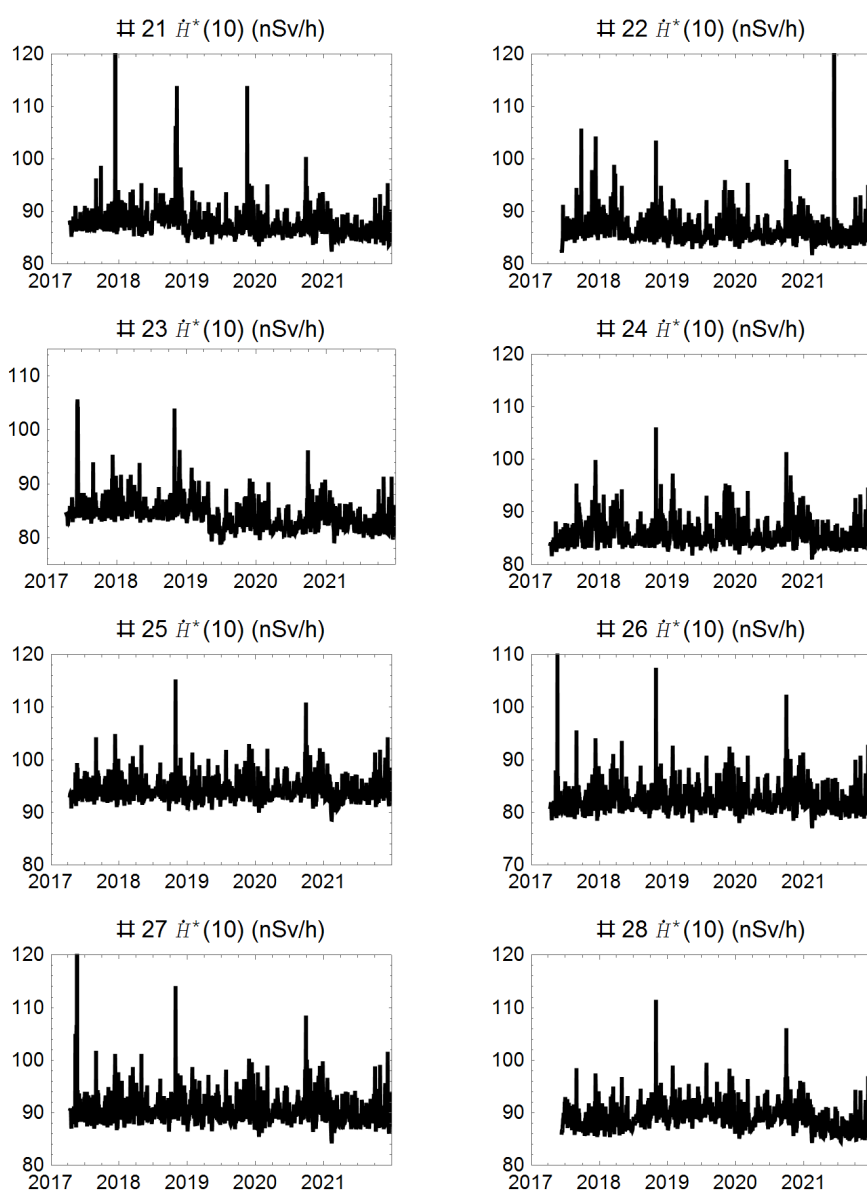
De berekening van de jaardosis wordt uitgevoerd volgens de volgende methode: op basis van de spreiding in het stralingsniveau aan de terreingrens wordt het achtergrondstralingsniveau bepaald. Uitschieters boven dit achtergrondstralingsniveau worden toegeschreven aan de jaardosis. Dit maakt het mogelijk om een schatting te maken van het stralingsniveau dat door de bedrijfsvoering van EPZ/KCB 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 stralingsniveau van 4,4  $\mu\text{Sv}$  voor monitor 24. De overeenstemming van deze berekeningen met de MONET-resultaten is goed.



## Bijlage 1 verloop van de metingen van 2017 tot en met 2021

In Figuur B1.1 worden de daggemiddelden van het omgevingsdosis-equivalenttempo tussen 2017 (tussen 12 april en 12 juni 2017 is het reguliere netwerk van acht monitoren hersteld) en 2021 vertoond. Er is geringe variatie over deze periode.



Figuur B1.1 Verloop van het omgevingsdosis-equivalenttempo (daggemiddelden) tussen 2017 en 2021. De figuren voor monitor 23 en 26 hebben een andere schaalverdeling voor de y-as.

Verschillen van de gemeten achtergrond tussen monitoren worden veroorzaakt bijvoorbeeld door omgevingsfactoren zoals de ondergrond,

bebouwing en ontmanteling van de naastgelegen kolencentrale: zo heeft monitor 25 een hoger gemiddeld niveau, 94 nSv/h, mede veroorzaakt door bouwmaterialen die gebruikt zijn op het nabijgelegen parkeerterrein.



## Bijlage 2 Toelichting van EPZ betreffende de berekening van de netto (gamma) dosis aan de terreingrens

Het effectief dosisequivalent wordt bepaald ten opzichte van de aldaar heersende "ambient dose" (achtergrond). De achtergrond wordt gedefinieerd op basis van de mediaan van de 2-uurs-gemiddelde meetwaarden ter plaatse van het meetpunt.

Het gemeten dosistempo per meetpunt wordt gecorrigeerd voor de achtergrond per meetpunt waardoor een netto dosistempo per meetpunt ontstaat. Als achtergrond wordt de mediaan van de meetwaarden per meetpunt gebruikt vanaf de aanvang van het lopende kalenderjaar tot het einde van het te analyseren kwartaal op dat meetpunt. Het netto dosistempo wordt vermenigvuldigd met het tijdsinterval waardoor de netto dosis in dat desbetreffend tijdsinterval ontstaat. Door de berekening voor meerdere tijdsintervallen te herhalen en op te tellen volgt de totale netto dosis op een bepaald meetpunt over het gekozen tijdsinterval.

In formulevorm :

$$D_x = 0,001 \sum_{t=0}^{t=t} (D_{t,x}^* - D_{m,x}^*) \Delta t$$

Hierin is :

$D_x$	= netto dosis op een bepaalde plaats x en gedurende een bepaalde tijd in $\mu\text{Sv}$ .
$D_{t,x}$	= gemeten dosistempo op een bepaalde plaats (x) en gedurende een bepaalde tijd (t) in nSv/h
$D_{m,x}$	= mediaan (m) van de dosistempometingen op een bepaalde plaats (x) in nSv/h
$\Delta t$	= tijdsverschil tussen twee meetresultaten in uur.
0,001	= omrekeningsfactor in $\mu\text{Sv}$ per nSv.

De netto jaardosis per meetpunt wordt berekend uit de dataset over het gehele kalenderjaar. Waar nodig wordt gecorrigeerd voor de dosis als gevolg van weersinvloeden en NDO onderzoeken. Een overzicht van de resultaten wordt gerapporteerd.



## Referenties

- [1] Revisievergunning o.g.v. de Kernenergiewet verleend aan N.V. Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland t.b.v. de Kernenergiecentrale Borssele tevens inhoudende wijzigingen i.v.m. 10 EVA en stresstestmaatregelen, 12 juli 2016, ANVS.  
De ambtshalve wijzigingsvergunning, die op 25 januari 2019 in werking is getreden, bevat geen wijzigingen die betrekking hebben op dit rapport: (Ambtshalve wijzigingsvergunning o.g.v. de Kernenergiewet verleend aan N.V. Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland t.b.v. de Kernenergiecentrale Borssele i.v.m. WENRA Reference Levels, 4 december 2018, Kenmerk ANVS-2018/20254).
- [2] Verordening van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming van 9 januari 2018, nr. ANVS-2018/137, houdende nadere regels ter bescherming van personen tegen de gevaren van blootstelling aan ioniserende straling (ANVS-verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming)  
(Tot de inwerkingtreding van deze regeling op 6 februari 2018: 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)
- [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] Tanzi, C.P., Stralingsniveaumetingen aan de terreingrens van de EPZ kerncentrale Borssele in 2020, RIVM-rapport 2021-0154, 2021.
- [6] Tanzi, C.P., Stralingsniveaumetingen rond het terrein van de EPZ kerncentrale te Borssele in 2015, RIVM-rapport 2017-0053, 2017.
- [7] 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).
- [8] International Commission on Radiation Units and Measurements. Quantities and units in radiation protection dosimetry, ICRU Report 51. Bethesda MD (1993).

[9] ICRP publication 116, Conversion Coefficients for Radiological Protection for External Radiation Exposures, ISSN 0146-6453, Ann. ICRP 40(2-5), 2010.

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

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

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

[13] Lous C, "Bespreking van de resultaten van de radioactiviteitsmetingen in de omgeving van de Kernenergiecentrale Borssele over 1998, referentie R0118, EPZ, 1999".  
"Het uitvoeren van omgevingsmetingen, EPZ document N17-22-220, 4-9-2019".



**RIVM**

*De zorg voor morgen begint vandaag*