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

Stralingsniveaumetingen aan de terreingrens van de EPZ kerncentrale Borssele in 2023

RIVM-briefrapport 2024-0121
C.P. Tanzi

Stralingsniveaumetingen aan de terreingrens van de EPZ kerncentrale Borssele in 2023

RIVM-briefrapport 2024-0121

Colofon

© RIVM 2024
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-2024-0121

C.P. Tanzi (auteur), RIVM

Contact:
Cristina.tanzi@rivm.nl
Milieu en Veiligheid/centrum Veiligheid/Stralingsincidenten, Monitoring & Analyse
cristina.tanzi@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van ANVS, in het kader van M/390220/24

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

Publiekssamenvatting

Stralingsniveaumetingen aan de terreingrens van de EPZ kerncentrale Borssele in 2023

Het RIVM meet elk jaar het niveau van gammastraling aan de terreingrens van de kerncentrale Borssele. Dit niveau was in 2023 lager dan het maximum van 10 microsievert per jaar waarvoor de vergunning is verleend. De hoogste dosis blijkt 1,0 microsievert per jaar. Hiermee voldoet de kerncentrale aan de eis uit de vergunning. 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 als redelijkerwijs mogelijk is, onder het maximum van 10 microsievert per jaar. Dat is in de herziening van de kernenergiewetvergunning van 2016 vastgelegd.

Om dit te monitoren meet het RIVM op de terreingrens van de kerncentrale met het zogenoemde MONET-meetnet. In 2023 is dat op acht plekken gedaan. Daarna wordt van de metingen de hoeveelheid gammastraling afgetrokken die van nature voorkomt (natuurlijke achtergrondwaarde).

Ten slotte wordt de berekende dosis 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. Met deze ABC-factor wordt de maximale effectieve dosis berekend.

Kernwoorden: gammastraling, omgevingsdosisequivalent, EPZ, kerncentrale

Synopsis

Radiation dose measured at the site boundary of EPZ's nuclear power station in Borssele in 2023

Each year, the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) measures the gamma radiation dose at the site boundary of the Borssele nuclear power station. In 2023, this dose was below the maximum of 10 microsievert per year specified in the station's operating licence. The highest measured dose was 1.0 microsievert. This means the nuclear power station meets the relevant criterion in its operating licence. RIVM is tasked by the Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection (*Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming*, ANVS) to report annually on whether the nuclear power station meets the licence criterion.

The nuclear power station has a duty to ensure that the exposure to radiation of people outside the site boundary is as low as reasonably achievable, below the maximum of 10 microsievert per year. This is pursuant to the 2016 review of the licence under the Nuclear Energy Act.

To monitor this, RIVM conducts these measurements through the MONET monitoring network. In 2023, these measurements were carried out at eight locations along the site boundary. The measurements are analysed by subtracting the dose of gamma radiation that occurs naturally (natural background value).

Lastly, the resulting measurement dose is corrected using the *Actuele Blootstelling Correctiefactor* (or ABC factor, meaning actual exposure correction factor). An ABC factor takes into account the specific use of the area where exposure to the effective gamma dose may occur. The area outside the site boundary of the Borssele nuclear power station is exclusively given over to industry, for which the ABC factor is 0.2. This ABC factor is used to calculate the maximum effective dose.

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11
1.1 Vergunningsvoorschriften — 11
1.2 Uitvoering — 12
1.3 Overzicht terreinopstelling Borssele — 12
1.4 Leeswijzer — 14

2 De gemeten grootheid — 15

3 Metingen van het MONET-meetnet aan het terrein van EPZ/KCB in 2023 — 17
3.1 Operationaliteit van het MONET meetnet in 2023 — 17
3.2 Het gemeten daggemiddelde omgevingsdosisequivalenttempo en de gemeten jaardosis — 18
3.3 Bepaling van de door de nucleaire installatie toegevoegde jaardosis in 2023 — 20
3.4 *Invloed van regenval op het omgevingsdosisequivalenttempo* — 22
3.5 Jaardosis berekend volgens de EPZ/KCB-mediaan-methode — 24
3.6 Vergelijking tussen MONET-methode en EPZ/KCB-mediaan-methode — 25

4 Waarschuwingsbericht aan de ANVS — 27
4.1 Waarschuwingen — 27

5 Conclusies — 29

Bijlage 1 verloop van de metingen van 2017 tot en met 2023 — 31

Bijlage 2 Toelichting van EPZ betreffende de berekening van de netto (gamma) dosis aan de terreingrens — 33

Referenties — 35

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 2023.

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 berekening 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 hoogste omgevingsdosisequivalent toegevoegd aan het achtergrond-stralingsniveau in 2023 is 5,2 ± 3,0 µSv voor monitor 24. De hoogste effectieve dosis 1,0 ± 0,6 µSv. Dit is na de toepassing met de Actuele Blootstellings Correctiefactor (ABC-factor) van 0,2 dat met de gebruiksoptie van de omgeving samenhang, zoals in de vergunning wordt voorgeschreven. De vergunde verhoging van de effectieve dosis voor EPZ/KCB van 10 µSv 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

De Kerncentrale Borssele (KCB) is de enige kerncentrale in Nederland die in bedrijf is. De centrale wordt beheerd door Elektriciteits Produktiemaatschappij Zuid-Nederland (EPZ). KCB leverde de eerste stroom in juli 1973 en heeft nu een netto elektrisch vermogen van 485 MWe. Het type kernreactor is een drukwaterreactor, ofwel Pressurized Water Reactor (PWR), met een nominaal thermisch vermogen van 1365,6 MWth.

Het centrum Veiligheid van RIVM voert continu metingen uit van het gammastralingsniveau aan de terreingrens van KCB met behulp van het meetnet MOnitoring NEtwerk Terreinen (MONET-meetnet).

1.1 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] die op 16 juli 2016 verleend is, geldt 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 µSv per jaar overschrijden.”

en in paragraaf 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.”
- “In deze revisievergunning wordt de vergunningslimiet met betrekking tot de AID gesteld op 10 µSv".
- “In eerdere vergunning [3] werd een effectieve dosis van 40 µSv 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 µSv die in de vergunning is vastgesteld[1].

[1] 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 µSv getoetst.

In de "Definitieve wijzigingsvergunning situatieschets EPZ" [4] van 12 december 2022 verandert de terreingrens waaraan de dosislimieten gekoppeld zijn niet, waardoor de wijziging geen invloed op de dosislimieten heeft.

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. Bijvoorbeeld is er aan de terreingrens geen bijdrage aan de dosis door lozingen naar het water te verwachten, en slechts een zeer geringe bijdrage aan de dosis door lozingen naar lucht. Daarom wordt in dit rapport de externe straling aan de terreingrens getoetst op de vergunde dosislimiet van 10 µSv per jaar.

In dit rapport wordt gebruik gemaakt van de metingen van het MONET-meetnet om een berekening te maken van de gammadosis: het omgevingsdosisequivalent, *H**(10), toegevoegd aan de natuurlijke achtergrondstraling. Deze operationele grootheid wordt gebruikt als schatting van de bijdrage van externe straling aan de effectieve dosis. De stralingsdosis als gevolg van neutronen [5] is in dit rapport buiten beschouwing gelaten.

1.2 Uitvoering

De metingen zijn continu over het hele jaar 2023 uitgevoerd met een netwerk van acht meetposten. Door storingen is echter de data acquisitie van meetpost 26 vanaf 12 februari zodanig problematisch geweest dat de monitor op 14 juli met een Saphymo Gamma-TRACER XL2i is vervangen. Voor deze meetpost wordt de data analyse vanaf die datum uitgevoerd. De overige zeven meetposten zijn met proportionele telbuis monitoren uitgerust. Dit netwerk wordt uitvoerig in RIVM-rapport 610330011 [6] beschreven.

Voor de bepaling van de toegevoegde dosis in het jaar 2022 wordt dezelfde methode toegepast als in RIVM-rapport 2023-0315 [7]. Deze methode wordt in RIVM-rapport 2017-0053 [8] uitvoerig beschreven, en wijkt af van de methode die tot 2014 is toegepast [9], en is ontwikkeld als gevolg van de voortschrijdende ontwikkelingen in de meetnetten.

Bij het overschrijden van een afgesproken grenswaarde door een MONET-monitor (een gemeten dosistempo van 5 µSv door een monitor gedurende een dag), of door verminderde operationaliteit van het netwerk, geldt de afspraak dat RIVM een waarschuwingsbericht aan de ANVS stuurt. In 2023 is er geen overschrijding geweest van een gemeten dosistempo van 5 µSv gedurende een dag. De storingen die meetpost 26 getroffen hebben aanleiding geweest voor het opsturen van een waarschuwingsbericht (zie ook Hoofdstuk 4).

1.3 Overzicht terreinopstelling Borssele

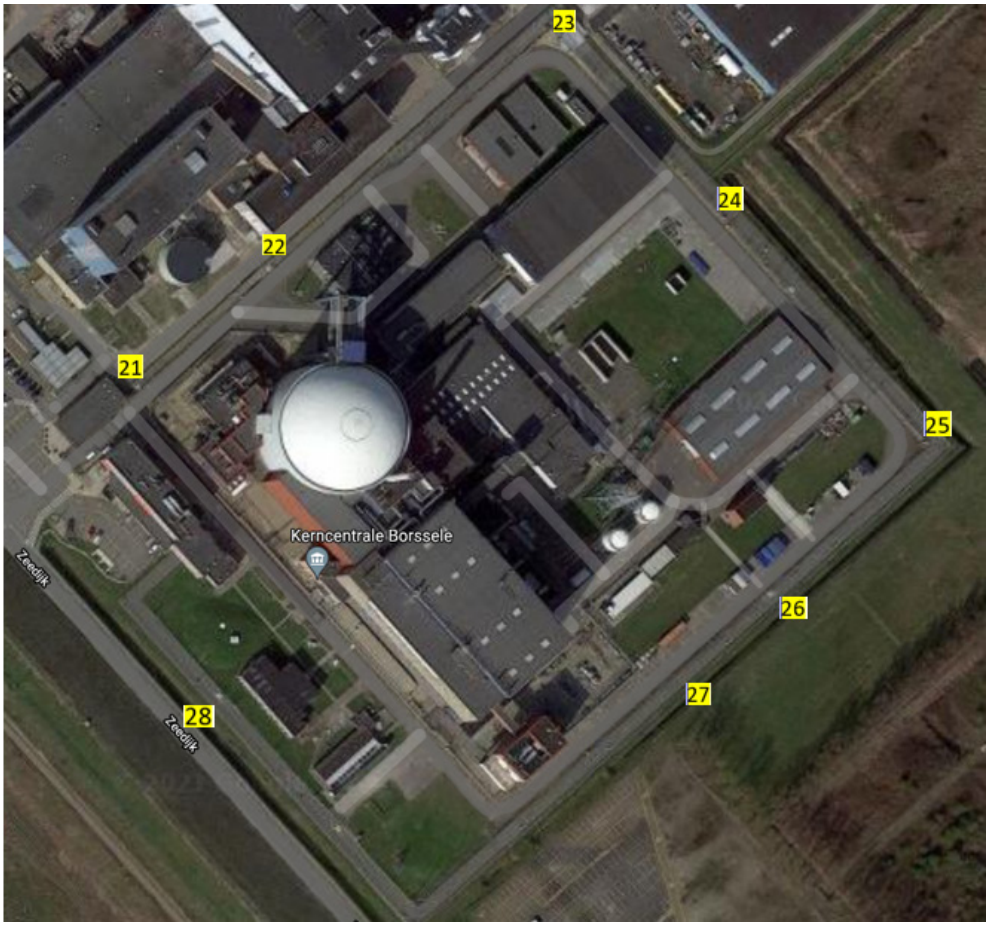
Aan de terreingrens van de kerncentrale te Borssele is een regulier netwerk van acht gammastralingsmonitoren geplaatst. In Figuur 1 zijn de locaties van deze acht monitoren 21 t/m 28, op een luchtfoto van het terrein van KCB, door gebruik te maken van de bijbehorende getallen.

Het netwerk is onderverdeeld in twee afzonderlijke takken, om pragmatische reden. 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.

Waar mogelijk worden locaties gekozen waar er reden zijn om de hoogste stralingsdosis verwacht kan worden. De keuze om deze locaties van de meetposten te kiezen is deels gebaseerd op pragmatische redenen. Andere aspecten spelen ook een rol als bijvoorbeeld de mogelijkheid om kabels neer te kunnen leggen voor de voeding van de batterijen van de monitoren en de data acquisitie, de beveiliging van het terrein en het beschikbare budget, zowel voor de plaatsing als voor het dagelijks beheer.

De monitoren zijn van het type Bitt RS03/485 en 485L (proportionele telbuis), met de uitzondering van meetpost 26 waar vanaf 14 juli 2023 een draagbare monitor Saphymo Gamma-TRACER XL2 (Geiger-Müller telbuis [10]) is geplaatst, zie Tabel *1*.

Het verschil tussen de twee type Bitts (485 en 485L) is het bereik van de metingen (tot 15 mSv/h voor 485L en tot 10 Sv/h voor het type 485).



Figuur 1 Luchtfoto van de kerncentrale te Borssele (bron: Google Maps) met de locaties van de acht meetposten (nummers 21 t/m 28) langs de omheining van het KCB terrein. De doorsnede van het reactorgebouw is 40 m.

Tabel 1 Overzicht van het specifieke type van de monitoren in het jaar 2023

MONET-monitor	Type Monitor
21	Bitt RS-03-485L
22	Bitt RS-03-485L
23	Bitt RS-03-485L
24	Bitt RS-03-485L
25	Bitt RS-03-485L
26	Bitt RS-03-485 (tot 12 februari 2023) Saphymo Gamma-TRACER XL2 (vanaf 14 juli 2023)
27	Bitt RS-03-485 (tot 19 februari 2023) Bitt RS-03-485-L (vanaf 20 februari 2023)
28	Bitt RS-03-485L

1.4 Leeswijzer

In dit rapport worden de metingen van het gammastralingsniveau en de analyse voor het jaar 2023 beschreven. Het rapport is als volgt opgebouwd. In Hoofdstuk 2 wordt in het kort de meetgrootheid 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 [17]. In 2023 is meetpost 26 door storingen getroffen: de verminderde operationaliteit hierdoor is de aanleiding geweest voor het opsturen van één waarschuwingsbericht (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[2].

[2] In oktober 2016 is een tijdelijk netwerk van vier draagbare monitoren geplaatst, die tot 12 januari 2018 operationeel is geweest

2 De gemeten grootheid

Hier wordt de grootheid H*(10) gebruikt in plaats van de limiterende grootheid effectieve dosis E_{ext} zoals voorgeschreven in de vergunning [1]. De reden hiervoor is dat de grootheid E_{ext} in het vrije veld niet te bepalen is, omdat het afhangt van de bestralingsgeometrie en van de energieverdeling van het energiespectrum. De grootheid $\dot{H}^*(10)$ die door de MONET-monitoren wordt gemeten is de tijdsafgeleide van het omgevingsdosisequivalent H*(10), zoals gedefinieerd in ICRU Report 51 (1993). 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. Vandaar dat, conform de aanbevelingen van de ICRP [11], 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} [11]. 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 $\dot{H}^*(10)$ worden uitgevoerd met een regulier netwerk van acht meetposten voorzien van Bitt (RS03/485 of 485L) proportionele telbuis, met de uitzondering van meetpost 26 die sinds 14 juli van een Saphymo Gamma-TRACER XL-2 is voorzien.
De energierespons van beide type monitoren (Bitt en Saphymo) is zodanig dat de uitlezing overeenkomt met het omgevingsequivalent-tempo. De monitoren hebben elk een verschillende hoekafhankelijkheid en een verschillende gevoeligheid voor kosmische straling.

In het algemeen geven de Saphymo Gamma-TRACER XL2 een wat hogere (enkele $nSv \cdot h^{-1}$) waarde van het stralingsniveau ten opzichte van de Bitt monitoren. Voor het hele NMR netwerk van 150 monitoren in Nederland geldt dat het verschil gemiddelde 8 $nSv \cdot h^{-1}$ bedraagt, zie Figuur 4.4 van [12]. Voor de GammaTRACER XL2 is gebleken dat de energierespons met een Co-60 bron een factor 1,3 is[3].

In een studie van de Bitt RS02 wordt de systematische onderschatting van $\dot{H}^*(10)$ door activiteit in de lucht geraamd op 3-7%, afhankelijk van de verdeling van de radionucliden in de lucht [13]. Andere studies zijn uitgevoerd voor de Saphymo/Bertin Gamma-TRACER XL2 en voor de Bitt RS03/485 of Bitt RS03/485L monitor uitgevoerd. Aangenomen wordt dat systematische fouten en de absolute onzekerheid hetzelfde zijn van de Bitt RS02, gezien dezelfde opbouw van de proportionele telbuis.

[3] De energie respons voor Co-60 is tijdens een EURADOS campagne als 1,28±0,04 vastgesteld (NMR Saphymo XL-2-3 Prestatiekenmerken, kalibratiemethode en vergelijking met Bitts, Interne notitie, versie 1.0, C.P. Tanzi, R.B. Taks, 10 juni 2018). Ook bij recente kalibraties is gebleken dat, voor $\dot{H}^*(10) < 100\ nSv \cdot h^{-1}$, dat normaal het geval is, de energie respons met een Co-60 bron 1,3 is. Dit verschil wordt kleiner voor hogere dosistempi (Maarten Hakvoort, pers. comm., 12 juli 2024).

Voor het uitvoeren van metingen van het omgevingsdosisequivalent met dosistempo-monitoren bestaat de norm NEN 5648 [14]. 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 [13, 15] en voor de Saphymo Gamma-TRACER XL2 in [16]. Voor de Bitt RS02, dat vergelijkbaar is met de Bitt RS03, bedraagt de onzekerheid, op basis van deze gegevens, volgens de norm circa 15%, met name door de energieafhankelijkheid van de monitor, en voor de Saphymo Gamma-TRACER XL2 circa 19%, met name door de energieafhankelikheid van de monitor. Deze onzekerheden zijn meegenomen in de gerapporteerde gemeten jaardosis inclusief achtergrondstraling in dit rapport.

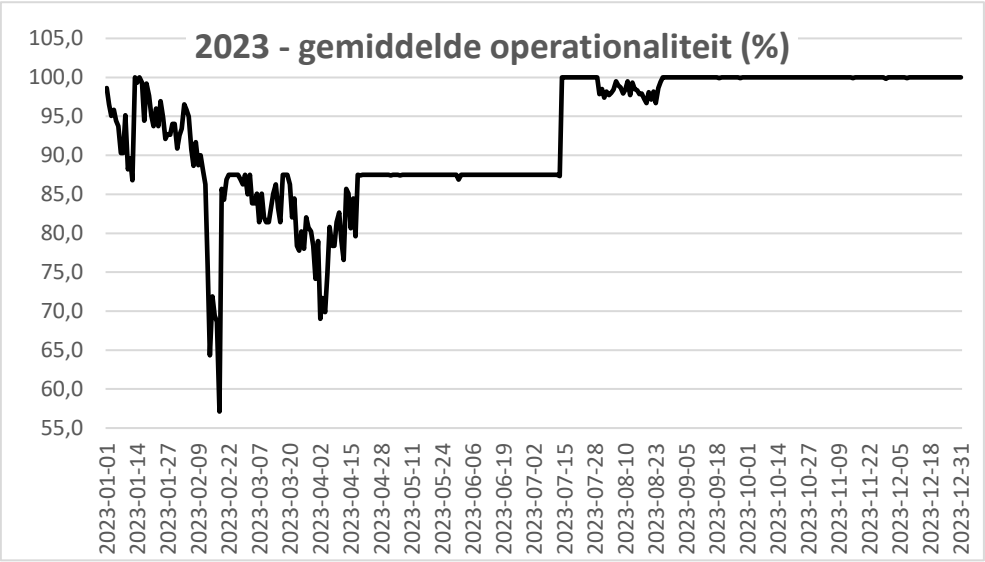
3 Metingen van het MONET-meetnet aan het terrein van EPZ/KCB in 2023

In dit hoofdstuk wordt een analyse van de metingen over 2023 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 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 2023

Er zijn in totaal 365 dagen in het jaar 2023 waarvoor metingen van zeven monitors van het MONET-meetnet rondom KCB continu beschikbaar zijn. In Figuur 2 is de operationaliteit per dag van MONET rond EPZ/KCB in 2023 weergegeven. De monitor van meetpost 26 is door storingen getroffen en, hoewel deze tot 24 mei in werking is gebleven, zijn de data na 13 februari als onbetrouwbaar beoordeeld. Na de vervanging van de monitor op 14 juli is de meetpost volledig operationeel geweest. Hierdoor wordt de operationaliteit van monitor 26 tussen 14 februari en 13 juli in Figuur 2 als nul beschouwd.

De operationaliteit in de figuur 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.



Figuur 2 Operationaliteit per dag van MONET rond EPZ/KCB in 2023, gemiddeld over de acht monitoren. De operationaliteit van monitor 26 is nul tussen 13 februari en 14 juli 2023 door een storing.

De laagste operationaliteit was 57.1% op 18 februari 2023. Op een deel van die dag konden de acht Bitt-monitoren geen data leveren, als gevolg van een storing in de data acquisitie[4]. De totale operationaliteit van het netwerk over het hele jaar is 92,7%.

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 2023 worden weergegeven in Figuur 3.

De toename in 2023 van meetposten 21 en 22 wordt veroorzaakt door natuurlijke radioactiviteit: op 14 juli 2023 is er een nieuwe extra laag stenen en grof grind in de nabijheid van die meetposten geplaatst. In het begin van het jaar is meetpost 26 door storingen getroffen en op 14 juli 2023 is de monitor van meetpost 26 vervangen met een monitor van het type Saphymo Gamma-TRACER XL-2. Dit type monitor geeft in het algemeen een wat hogere dosis (van enkele $nSv \cdot h^{-1}$) waarde van het achtergrondniveau (zie Hoofdstuk 2). De data vanaf de vervanging van de monitor worden voor de analyse gebruikt. Voor de bijbehorende onzekerheid is hier gebruikt gemaakt van de informatie gegeven in paragraaf 2.

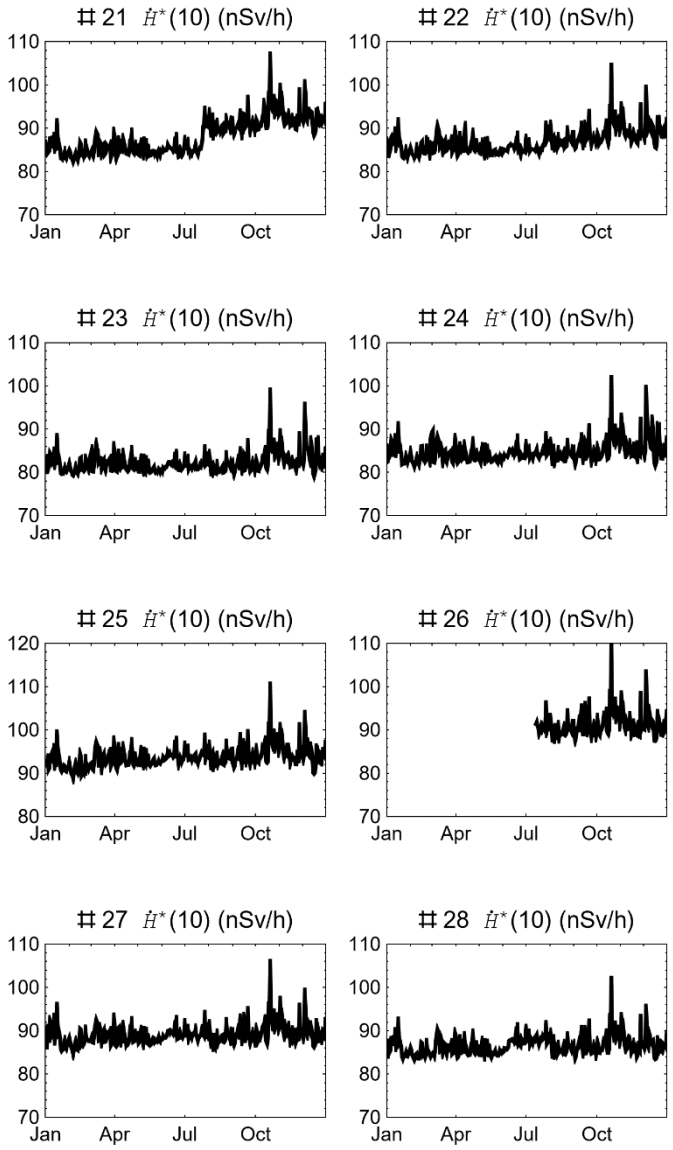
De hoogste waarde van het gemeten daggemiddelde omgevingsdosis-equivalenttempo is 110 $nSv \cdot h^{-1}$, gemeten door monitor 25 op 20 oktober. Op die dag vertonen alle monitoren een verhoging. Op die dag is er 22 mm neerslag gevallen, zie hierover paragraaf 3.4.
In Tabel 2 wordt de gemeten jaardosis 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 2023. Voor de bijbehorende onzekerheid is hier gebruikt gemaakt van de informatie gegeven in hoofdstuk 2.

[4] De storing is ontstaan als gevolg van het gebruik van een verkeerde IP adres na de installatie van een firewall, en is dus door een menselijke fout ontstaan bij het verdere verbeteren van de beveiliging van de data uitwisseling tussen systemen.

Tabel 2 De gemeten jaardosis (μSv) door de MONET-monitoren bij EPZ/KCB in 2023; niet gecorrigeerd voor achtergrondstraling. De onzekerheden in dit tabel is de 1σ onzekerheid van het gebruikte type monitor zoals gegeven in hoofdstuk 1.3.

MONET-monitor	Aantal dagen	Gemeten jaardosis (μSv) incl. achtergrondstraling
21	365	771 ± 116
22	365	761 ± 114
23	365	720 ± 108
24	365	743 ± 111
25	365	820 ± 123
26	171	374 ± 71
27	365	780 ± 117
28	365	758 ± 114



Figuur 3 Het gemeten daggemiddelde omgevingsdosisequivalenttempo voor de MONET-monitoren rond EPZ/KCB in 2023. 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 2023

De hier toegepaste methode is hetzelfde als in RIVM-rapport 2023-0315 [7] en is uitvoerig beschreven in het RIVM-rapport 2017-0053 [8]. Deze methode wijkt af van de in eerdere rapporten (tot en met het jaar 2014) gebruikte methode [9]. Alleen metingen van het MONET-netwerk zelf worden voor de analyse gebruikt, in tegenstelling tot [9], waar het landelijk NMR-meetnet voor de bepaling van de natuurlijke achtergrond gebruikt wordt. Omdat er verschillen in de respons van de twee typen monitoren bestaan, is het gebruik van de metingen van het NMR-meetnet, dat uit Geiger-Müller monitors bestaat, niet voor deze MONET monitoren toepasbaar.

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 σ_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 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 ($\dot{H}^*(10) - A_i$) van alle dagen met ($\dot{H}^*(10) > 2\sigma_i + A_i$) op te tellen.

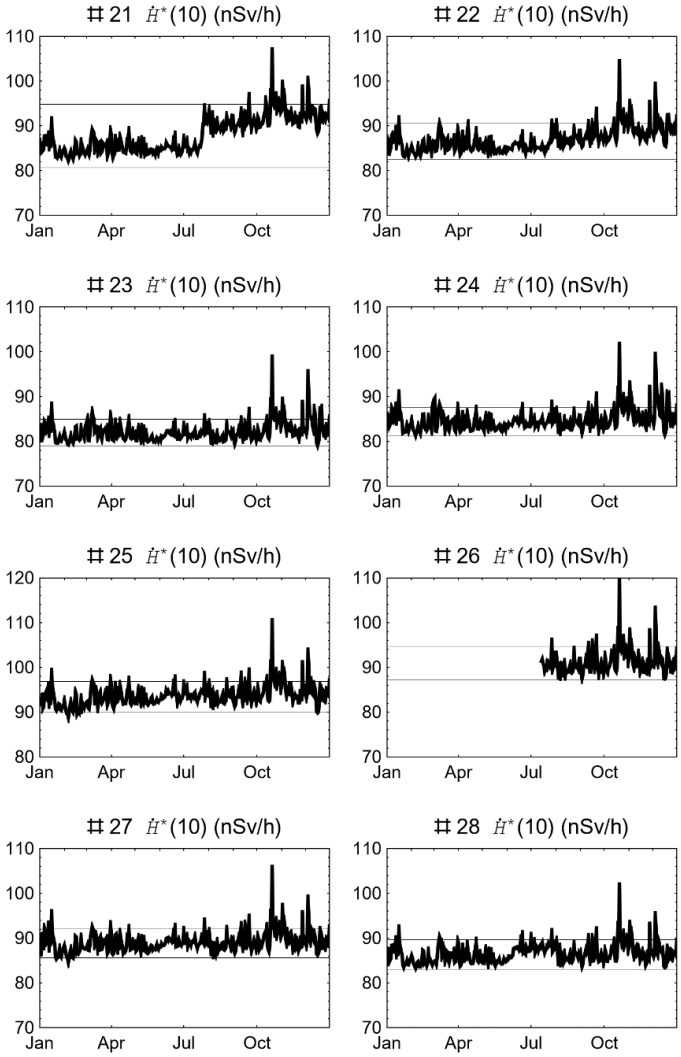
Met deze methode, de '>2σ-methode', kunnen kunstmatige verhogingen, de pieken, worden bepaald, en dus de toegevoegde jaardosis, ten opzichte van de natuurlijke achtergrond. Het gemeten niveau van de achtergrond heeft geen invloed op de toegevoegde jaardosis, bepaald met de '>2σ-methode'.
Deze methode 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 2023. Deze informatie wordt gebruikt om de dagen waarin verhogingen hebben plaatsgevonden te bepalen. De door menselijk handelen in 2023 toegevoegde jaardosis wordt berekend voor de dagen waarop $\dot{H}^*(10)$ het achtergrondniveau overstijgt. De fout hierop wordt bepaald door het aantoonbaarheidsniveau per dag te delen door het achtergrond en deze over het aantal dagen met verhogingen te vermenigvuldigen.

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 2023. Voor meetpost 26 zijn voor de analyse de data vanaf de vervanging van de monitor op 14 juli gebruikt.

MONET-monitor	**aantal dagen berekening achtergrond**	**aantal dagen met verhogingen**	**achtergrond (nSv·h^{-1})**	**aantoon-baarheids-niveau (nSv·h^{-1})**
21	348	17	87,7	7,1
22	338	27	86,6	4,0
23	332	33	81,9	3,0
24	326	39	84,4	3,2
25	337	28	93,4	3,4
26	156	15	90,9	3,7
27	337	28	88,8	3,2
28	340	25	86,3	3,3

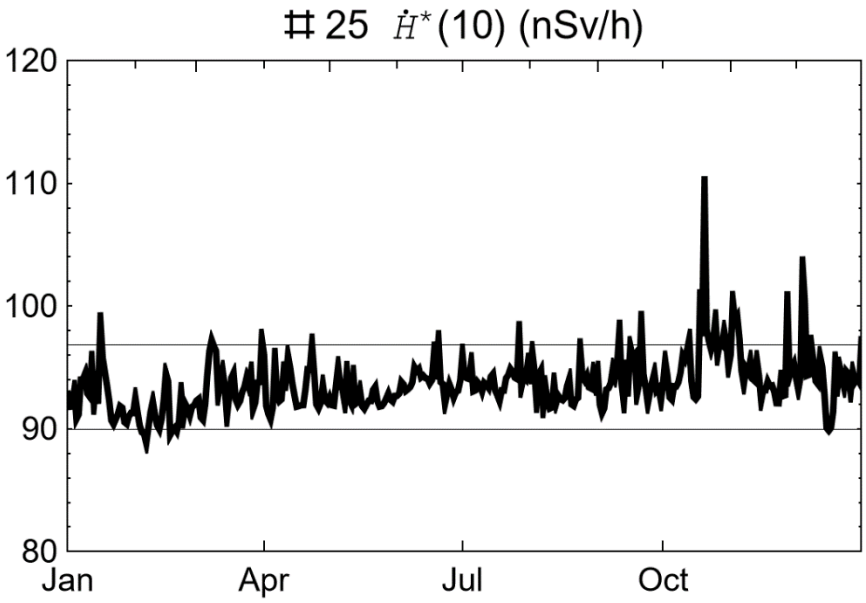
De waarden uit Tabel 3 worden ook grafisch weergegeven in Figuur 4, samen met het gemeten $\dot{H}^*(10)$ uit Figuur 3.



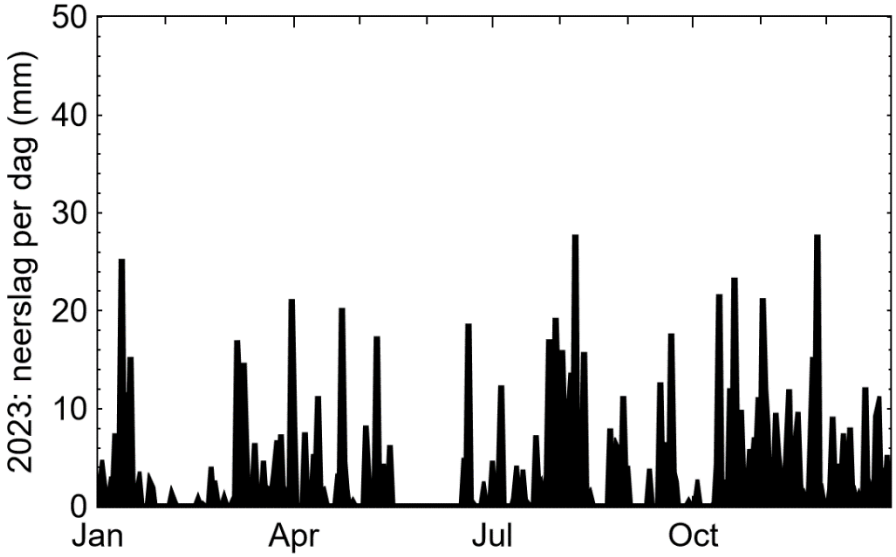
Figuur 4 Het daggemiddelde omgevingsdosisequivalenttempo $\dot{H}^*(10)$ voor de MONET-monitoren rond EPZ/KCB in 2023 uit Figuur 3 samen met, als gestippelde lijnen, de variatie van de natuurlijke achtergrond, bepaald met de methode beschreven in paragraaf 3.3. De figuur voor monitor 25 heeft een andere schaalverdeling voor de y-as.

3.4 *Invloed van regenval op het omgevingsdosisequivalenttempo*

Hevige regenval heeft als gevolg verhoogde depositie van verval-producten van radon, en kan dus een verhoging van het omgevingsdosisequivalenttempo veroorzaken. Op 27 november 2023 was er de hevigste neerslag, gemeten op het KNMI station Vlissingen (Figuur 6), met 27 mm. Op die dag vertonen alle monitoren een verhoging. Dat is ook het geval voor 20 oktober, met een neerslag van 23 mm, zie Figuur 4 en Figuur 5.



Figuur 5 Het gemeten omgevingsdosisequivalenttempo voor monitor 25 bij EPZ/KCB in 2023 (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 27 november en 20 oktober 2023 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 (> 2σ, 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 omgevingsdosisequivalenttempo $\dot{H}^*(10)$ van monitor 25 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 2023 weergegeven: de hoogste jaardosis is 5,2 ± 3,0 µSv voor monitor 24. De hoogste dosis van 5,2 ± 3,0 µSv voor monitor 24 wordt aan de dosislimiet in de vergunning getoetst. Bij het toetsen aan de vergunningslimiet per jaar (10 μSv) wordt deze dosis vermenigvuldigd met een ABC-factor van 0,2 (Hoofdstuk 1). De ABC-factor is een factor die met de gebruiksoptie van de omgeving samenhangt, zoals in de vergunning wordt voorgeschreven. Dit betekent een jaardosis van 1,0 ± 0,6 µSv. Er is dus geen overschrijding van de vergunde dosislimiet.

Tabel 4 De berekende jaardosis (µSv) voor de MONET-monitoren bij EPZ/KCB in 2023. De onzekerheid wordt gegeven door het bepaalde aantoonbaarheidsniveau zoals beschreven in paragraaf 3.3.

MONET-monitor	aantal dagen	jaardosis (μSv)
21	365	3,9 ± 2,9
22	365	4,1 ± 2,6
23	365	4,0 ± 2,4
24	365	5,2 ± 3,0
25	365	3,6 ± 2,3
26	171	2,3 ± 1,3
27	365	3,4 ± 2,2
28	365	3,0 ± 2,0

3.5 Jaardosis berekend volgens de EPZ/KCB-mediaan-methode

De methode van EPZ/KCB [17, 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.

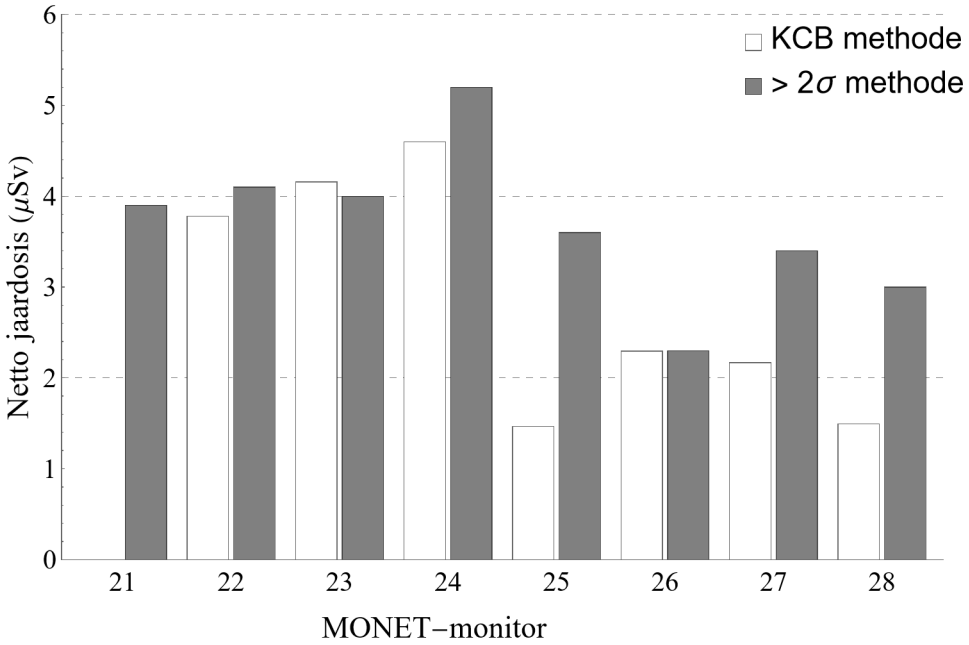
Een vergelijking van de toepassing van deze methode op de 10-minuut gemiddelden en de daggemiddelden is in Bijlage 2 van rapport [8] te lezen.
In Tabel 5 is de netto jaardosis weergegeven volgens de >2σ-methode uit par. 3.3 (uit Tabel 4), en vergeleken met waarden berekend volgens de EPZ/KCB-mediaan-methode toegepast op de daggemiddelde dosisequivalenttempi van de acht MONET-monitoren. Omdat de dosisequivalenttempo van monitor 21 op 14 juli 2023 toeneemt door de plaatsing van een nieuwe extra laag stenen en grof grind in de nabijheid van die meetpost, kan de EPZ/KCB-mediaan-methode analyse methode voor die monitor niet worden toegepast.

Tabel 5 De jaardosis (µSv) voor de MONET-monitoren rond EPZ/KCB (netwerk van 8 monitoren) in 2023, berekend volgens de ">2σ-methode" en de EPZ/KCB-mediaan-methode, beide toegepast op daggemiddelden.

MONET-monitor	aantal dagen	jaardosis >2σ-methode (µSv)	jaardosis EPZ/KCB (µSv)
21	365	3,9 ± 2,9	-
22	365	4,1 ± 2,6	3,8
23	365	4,0 ± 2,4	4,2
24	365	5,2 ± 3,0	4,6
25	365	3,6 ± 2,3	1,5
26	171	2,3 ± 1,3	2,3
27	365	3,4 ± 2,2	2,2
28	365	3,0 ± 2,0	1,5

3.6 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 1,5 en 5,2 µSv (zie Figuur 7). Op meetpost 21 kan de EPZ/KCB-mediaan-methode niet worden toegepast vanwege de toename van het dosisequivalenttempo door de plaatsing van een nieuwe extra laag stenen en grof grind in de nabijheid van die meetpost in juli 2023.



Figuur 7 Vergelijking tussen de jaardosis voor het jaar 2023 bepaald volgens de EPZ/KCB-mediaan- en de MONET '>2σ'-methode toegepast op daggemiddelden. Voor monitor 21 is deze EPZ-KCB-mediaan-methode op de daggemiddelden niet geschikt.

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 2023 is er aanleiding geweest voor het opsturen van een waarschuwingsbericht over verminderde functionaliteit op 2 juli 2023. Vanaf het begin van februari is monitor 26 door storingen getroffen, waardoor de data acquisitie, ondanks verschillende reparatie acties, onbetrouwbaar bleef. RIVM heeft hierover op 2 juli een waarschuwing aan de ANVS over de verminderde operationaliteit opgestuurd, en over de herstelacties bericht gegeven. Vanaf 17 juli heeft de plaatsing van een nieuwe detector bij monitor 26 ervoor gezorgd dat het hele netwerk weer volledig operationeel is.

5 Conclusies

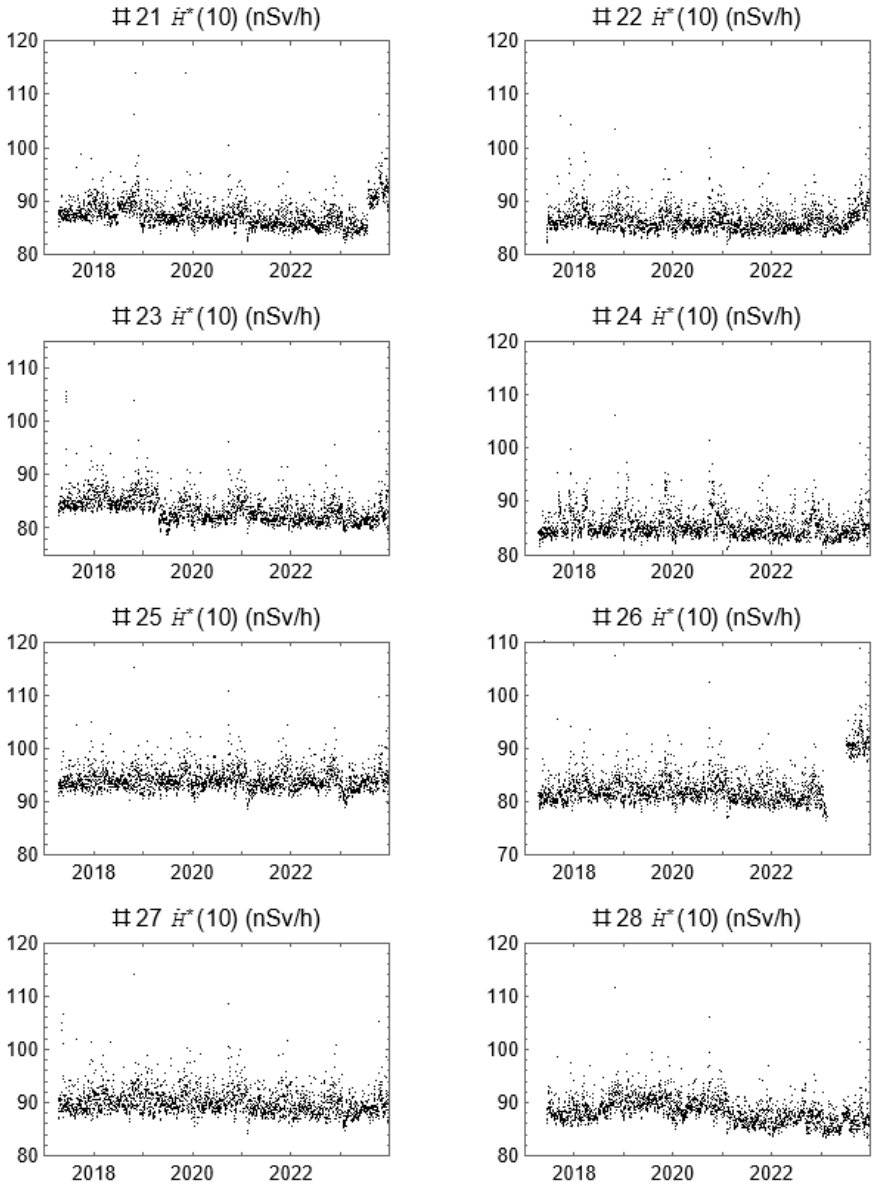
In 2023 zijn metingen uitgevoerd van het externe gammastralingsniveau aan de terreingrens van de kerncentrale te Borssele (EPZ/KCB) met het MONET-meetnet. Het maximale omgevingsdosisequivalent, *H**(10), toegevoegd aan het achtergrondstralingsniveau in 2023 is 5,2 ± 3,0 µSv voor monitor 24. Na toepassing van de Actuele Blootstellings Correctiefactor (ABC-factor) van 0,2 geeft dit een maximale effectieve dosis van 1,0 ± 0,6 µSv per jaar. De vergunde limiet van 10 µSv 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 4,6 µSv 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 2023

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 2023 vertoond. Er is geringe variatie in de periode tot medio 2023.



Figuur B1.1 Verloop van het omgevingsdosisequivalenttempo (daggemiddelden) tussen 2017 en 2023. De figuren voor monitor 23 en 26 hebben een andere schaalverdeling voor de y-as. Op 14 juli 2023 is de monitor van meetpost 26 door het type Saphymo Gamma-TRACER XL-2 vervangen. Dit type monitor geeft in het algemeen een wat hogere dosis (van enkele nSv·h^{-1}) waarde van het achtergrondniveau (zie Hoofdstuk 2).

De toename in 2023 van meetposten 21 en 22 wordt veroorzaakt door natuurlijke radioactiviteit: op 14 juli 2023 is er een nieuwe extra laag stenen en grof grind in de nabijheid van die meetposten geplaatst. Op 14 juli 2023 is de monitor van meetpost 26 door het type Saphymo Gamma-TRACER XL-2 vervangen. Dit type monitor geeft in het algemeen een wat hogere dosis (van enkele $nSv \cdot h^{-1}$) waarde van het achtergrondniveau (zie Hoofdstuk 2).

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 $nSv \cdot h^{-1}$, 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 meetwaardes 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 meetwaardes 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 :

$$D_x = 0{,}001 \sum_{t=0}^{t=t} \left(\dot{D}_{t,x} - \dot{D}_{m,x}\right) \Delta t$$

Hierin is :

D_x	= netto dosis op een bepaalde plaats x en gedurende een bepaalde tijd in μSv.
$D_{t,x}$	= 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
Δt	= tijdsverschil tussen twee meetresultaten in uur.
0,001	= omrekeningsfactor in μSv 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.

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, kenmerk ANVS-2016/4841,12 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] “Definitieve wijzigingsvergunning situatieschets EPZ”, Besluit: KERNENERGIEWETVERGUNNING VERLEEND AAN N.V. ELEKTRICITEITS-PRODUCTIEMAATSCHAPPIJ ZUID-NEDERLAND TE BORSSELE ten behoeve van de aanpassing van de inrichtingsgrens (figuur 5.6/1 uit het Veiligheidsrapport), 12 december 2022, kenmerken ANVS-PP-2022/0093828 en ANVS-2022/15571

[5] Kwakman, PJM, Meting van gamma- en neutronendosistempo aan de terreingrens van KCB op 10-11 oktober 2022, RIVM rapport nr. 2023-0067, 2023.

[6] 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).

[7] Tanzi, C.P., Stralingsniveaumetingen aan de terreingrens van de EPZ kerncentrale Borssele in 2022, RIVM-rapport 2023-0315, 2023.

[8] Tanzi, C.P., Stralingsniveaumetingen rond het terrein van de EPZ kerncentrale te Borssele in 2015, RIVM-rapport 2017-0053, 2017.

[9] 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).

[10] Manual Gamma tracerXL2, Saphymo, version 08/2012

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

[12] Tanzi C.P. (ed.), Environmental radioactivity in the Netherlands, Results in 2018, RIVM Report 2019-0216 (2020).

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

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

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

[16] R. Tax, P. den Outer, Meetonzekerheid Saphymo Gammatracers, RIVM intern document (ref. itask 05146), 10 september 2018.

[17] 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”. Dit document is laatst herzien op 02-02-2024 (versie 11).

Dit is een uitgave van:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

november 2024

De zorg voor morgen begint vandaag