



Kennisnotitie

Advies over radiologische monitoring bij deponieën

1. Aanleiding en onderzoeksvraag

In 2023 heeft het Internationaal Atoomenergieagentschap (IAEA) een audit uitgevoerd op het Nederlandse beleid met betrekking tot het beheer van radioactief afval: de ARTEMIS-missie [1]. Daarbij is ook het beleid met betrekking tot de stort van afval met radionucliden van natuurlijke oorsprong (NORM) bij aangewezen stortplaatsen voor gevaarlijke stoffen (hierna: deponieën) tegen het licht gehouden.

Deze deponieën hebben monitoringprogramma's voor niet-radiologische stoffen in grondwater, percolaatwater, effluent (gezuiverd afvalwater) en oppervlaktewater. Het ARTEMIS-team merkte op dat de naleving van de radiologische dosislimiet moet worden gegarandeerd (*'the compliance with the radiological dose limit should be ensured'* [1]). Ze stelden voor om daarvoor radiologische monitoring aan het huidige monitoringprogramma toe te voegen en daarvoor vereisten op te stellen in overeenstemming met de graduele aanpak.

ARTEMIS-Suggestion 6

The Government should consider setting requirements for a programme that includes radiological monitoring, in accordance with the graded approach, at the landfill sites authorized to receive designated radioactive material.

Bij deze suggestie wordt in het ARTEMIS-rapport gerefereerd naar 'Requirement 21' (R21) uit het IAEA SSR-5-rapport [2]. R21 gaat over het uitvoeren van een monitoringprogramma tijdens en na de operationele periode van deponieën waar radioactief afval wordt gestort (*disposal facilities*). Deze monitoring is bedoeld om informatie te verzamelen, waarmee geverifieerd kan worden of de veiligheid van werknemers en leden van de bevolking is geborgd en dat het milieu wordt beschermd, zowel tijdens de operationele fase als ook daarna.

Naar aanleiding van deze suggestie heeft het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) het RIVM om advies gevraagd. In deze kennisnotitie wordt een antwoord (het advies) met onderbouwing gegeven op de volgende vraag:

Onderzoeksvraag

Zijn de bestaande beschermingsmaatregelen en monitoring bij aangewezen stortplaatsen voor gevaarlijk afval waar NORM wordt gestort, toereikend voor de stralingsbescherming voor werknemers, leden van de bevolking en het milieu? Zo niet, welke aanvullende radiologische metingen zijn eventueel nog nodig, en hoe kunnen deze worden uitgevoerd?

Naast beantwoording van deze onderzoeksvraag geeft deze notitie, naar aanleiding van ARTEMIS-Suggestion 6 (S6), aanvullende aanbevelingen over vereisten voor radiologische monitoring en toezicht bij risico op overschrijding van dosislimieten.

RIVM

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

T 088 689 89 89

Auteurs:

Y.Z. Szeto
S.W.L. Palstra

Centrum:

Veiligheid

Contact:

yenny.szeto@rivm.nl

Kenmerk:

KN-2025-0119

DOI:

10.21945/RIVM-KN-2025-0119

Datum:

26 maart 2026

Verder heeft het ministerie van IenW gevraagd om in deze kennisnotitie een korte reflectie te geven op:

Reflectie

De mogelijke verspreiding van NORM-radionucliden vanuit de gesloten deponieën, in het geval er in de toekomst geen beheer en toezicht meer zou zijn.

In deze kennisnotitie wordt in de onderbouwing van het advies geen aandacht besteed aan:

- de activiteitsconcentraties van het radioactieve afval dat mag worden gestort volgens de huidige regelgeving, noch aan de acceptatiecriteria voor het te storten afval en de controles daarop;
- de controle van beschermingsmaatregelen voor werknemers, die ook bescherming geven tegen externe straling afkomstig van het aangevoerde en gestorte NORM-afval;
- het toezicht op de stralingsveiligheid bij deponieën door de toezichthouders tijdens en na de operationele fase van een deponie.

2. Advies en aanbevelingen

De Kernenergiewet, Omgevingswet en Arbeidsomstandighedenwet vormen het wettelijke kader voor beschermingsmaatregelen ter bescherming van werknemers, leden van de bevolking en het milieu tegen straling van het gestorte NORM afval.

Advies

Aanvullende radiologische monitoring is niet nodig om het functioneren van de beschermingsmaatregelen te borgen, omdat dit al door de bestaande monitoringprogramma's wordt afgedekt.

Wel bevelen wij aan om een stralingsrisicoanalyse uit te voeren voor het gestorte afval dat op een deponie ligt. Mocht uit deze analyse blijken dat bij falen van de beschermingsmaatregelen dosislimieten kunnen worden overschreden, dan adviseren wij om aanvullende vereisten in de regelgeving van de Kernenergiewet op te nemen. Daarbij kan specifiek aandacht worden besteed aan:

- De uitvoering van radiologische metingen bij (indicatie) van falen van beschermingsmaatregelen;
- Het toezicht door de bevoegde autoriteit op de controle en werking van maatregelen die ook de stralingsbescherming waarborgen;
- Het borgen van stralingsbescherming op de lange termijn in het ontwerp van de deponie (bovengrondse eindberging), met name bij stort van langlevende radionucliden.

3. Kaders en onderbouwing van het advies

In Nederland mogen gevaarlijke stoffen uitsluitend en onder voorwaarden op daarvoor aangewezen deponieën worden gestort [3]. Deze deponieën zijn zo ontworpen en beheerd, dat via beschermingsmaatregelen blootstelling aan schadelijke stoffen wordt voorkomen of beperkt [4, 5]. Via monitoring wordt gecontroleerd of deze maatregelen effectief blijven [4]. Daarnaast zijn exploitanten van de deponieën als werkgevers verplicht om hun werknemers te beschermen tegen blootstelling aan gevaarlijke stoffen [6].

NORM afval mag sinds 2005 onder voorwaarden worden gestort op aangewezen deponieën voor gevaarlijk afval [7]. Het gaat hierbij uitsluitend om registratieplichtig afval en specifiek vrijgegeven afval (art. 3.20 en 3.21, Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Bbs)[8]; art. 11k, Besluit stortplaatsen en stortverboden afvalstoffen (Bssa) [3]). De aan de stort gestelde voorwaarden moeten ervoor zorgen dat de blootstelling aan straling onder de gestelde dosislimieten blijft (art. 7.3, 9.2 en 9.6, Bbs).

Voor de onderbouwing van dit advies zijn de volgende onderwerpen bekeken:

- Het internationale en nationale stralingsbeschermingskader.
- IAEA doelstellingen voor monitoring bij deponieën zoals beschreven in SSR-5.
- Wettelijk verplichte beschermingsmaatregelen en monitoring bij de deponieën die bijdragen aan de stralingsbescherming.
- Chemische monitoring als indicator voor de mogelijke uitloging van NORM-radionucliden naar het milieu.

3.1 Regelgevend kader stralingsbescherming bij deponieën

Het Nederlandse stralingsbeschermingskader voor de stort en het beheer van radioactief afval op deponieën voor gevaarlijke afvalstoffen wordt gevormd door internationale conventies (zoals ICRP-103 [9] en IAEA GSR part 3 [10]), Europese richtlijnen (2013/59/EURATOM [11]) en nationale wet- en regelgeving.

In Nederland zijn drie hoofdprincipes uit de stralingsbescherming (rechtvaardiging, optimalisatie en dosislimitering) verankerd in de wet- en regelgeving onder de Kernenergiewet (Kew) [12]. Het doel hiervan is om handelingen met ioniserende stralingsbronnen onder voorwaarden toe te staan (rechtvaardiging). De blootstelling aan straling dient daarbij te worden beperkt via optimalisatie en dosislimitering. Hierbij worden eisen gesteld aan de stralingsbronnen (bij de deponieën: het radioactieve afval dat wordt gestort) en er worden (fysieke) beschermingsmaatregelen voorgeschreven.

De uitvoering van het stralingsbeschermingsbeleid volgt de graduele aanpak (*graded approach*) [2, 10, 13]: naarmate de stralingsrisico's toenemen, gelden strengere eisen, meer controleverplichtingen en intensiever toezicht door de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS). De stort en het aanwezig zijn van radioactief afval bij een deponie zijn aangewezen handelingen (bijlage 3.1, onderdeel A, nr. 22, Regeling basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Rbs) [14]). Deze vallen onder het controlestelsel van de Kew (art. 3.2, lid 1 en 2, Bbs) en daarmee onder het toezicht van de ANVS. Deponiebeheerders zijn daarnaast verplicht om stralingsrisico's en beschermingsmaatregelen op te nemen in de risico-inventarisatie en -evaluatie (RI&E) (art. 7.6, Bbs).

Naast de vereisten vanuit de Kernenergiewet, schrijft ook de Arbeidsomstandighedenwet (Arbowet) in artikel 3 voor, dat werkgevers doeltreffende maatregelen moeten nemen om blootstelling aan gevaarlijke stoffen, waaronder radioactieve stoffen, zoveel mogelijk te voorkomen of te beperken [6]. Het toezicht op de naleving hiervan ligt bij de Nederlandse Arbeidsinspectie.

Ook de regelgeving van de Omgevingswet (Ow) draagt indirect bij aan de stralingsbescherming [4]. Voor milieubelastende activiteiten is een omgevingsvergunning vereist voor de deponiebeheerder (art. 5.1, Ow). Hierin worden op basis van het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl, §8.5.2.4) [15] eisen gesteld aan beschermingsmaatregelen, controles en monitoring. De uitvoeringsregels zijn verder uitgewerkt in afdeling 9.3 van

de Omgevingsregeling (Or) [16], met verwijzingen naar richtlijnen voor veilig ontwerp en bodembescherming [17-22]. Het toezicht op de uitvoering en naleving van deze eisen is de verantwoordelijkheid van het bevoegd gezag (meestal de provincie of de omgevingsdienst).

De deponiebeheerder is verplicht om een nazorgplan op te stellen en uit te voeren voor de fase na de sluiting van stortvakken en uiteindelijk de sluiting van de hele deponie (art. 8.49, Wet Milieubeheer (WM)) [5, 23]. Na de sluiting van een deponie en bij het ingaan van de nazorgfase, gaat de verantwoordelijkheid voor het beheer, de bescherming van leden van de bevolking en milieu en de borging daarvan naar de provincie waarin de deponie is gelegen.

3.2 IAEA vereisten monitoring (SSR-5)

IAEA-rapport SSR-5 [2] stelt als vereiste R21, dat via een monitoringprogramma periodiek vastgesteld dient te worden dat de stralingsbescherming voor werknemers, leden van de bevolking en milieu nog geborgd is. Dit kan worden gedaan door het functioneren van de beschermingsmaatregelen te controleren, zowel tijdens als na de operationele fase van de deponie. Radiologische metingen zijn daarbij niet altijd noodzakelijk, wanneer de borging van het functioneren van beschermingsmaatregelen op een andere manier kan plaatsvinden (paragraaf 3.48 SSR-5).

De vereisten die gesteld worden aan het monitoringprogramma zijn afhankelijk van de stralingsrisico's. Het programma kan daardoor volgens de graduele aanpak worden ingericht. Factoren die bij het stellen van vereisten voor een programma in overweging genomen kunnen worden, zijn bijvoorbeeld het veiligheidsontwerp van de deponie, het type (passieve en actieve) beschermingsmaatregelen om verspreiding van radionucliden naar het milieu te voorkomen, het soort afvalmateriaal dat mag worden gestort als de samenstelling en radioactiviteit ervan.

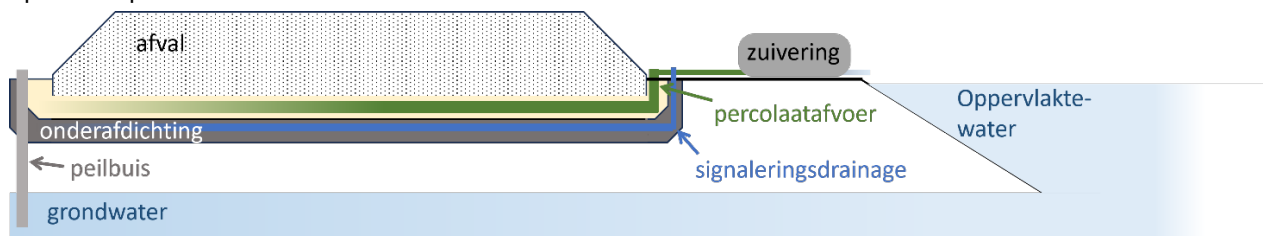
Om de stralingsrisico's van een deponie in kaart te brengen worden het opstellen van een *safety case* en *safety assessment* (risicoanalyse) als hulpmiddelen genoemd (paragrafen 4.6 – 4.25, *Requirements* 12 -14 SSR-5) [2]. Op basis van een risicoanalyse kan een inschatting worden gemaakt of, en onder welke omstandigheden, aan de dosislimieten wordt voldaan bij een deponie. Op basis daarvan kan worden bepaald welke beschermingsmaatregelen nodig zijn, welke daarvan op hun werking gemonitord moeten worden en met welke frequentie (graduele aanpak) [24, 25].

3.3 Wettelijke verplichte beschermingsmaatregelen

Vanuit Artikel 2.11 van het Besluit activiteiten leefomgeving [26], geldt een specifieke zorgplicht voor deponiebeheerders om passende preventieve maatregelen te treffen tegen milieuverontreiniging en ter bescherming van de gezondheid. Hierbij dienen ze onder andere gebruik te maken van de best beschikbare technieken (BBT) (art. 2.11, lid 2c en 3a, Bal). De beschermingsmaatregelen op deponieën die ook bijdragen aan stralingsbescherming, zijn te verdelen in twee type maatregelen. Enerzijds zijn er maatregelen die werknemers tegen het in contact komen met verontreinigde stofdeeltjes moeten beschermen (paragraaf 3.3.1). Anderzijds zijn er maatregelen die het milieu en de bevolking moeten beschermen tegen blootstelling aan uitgeloopte schadelijke stoffen uit het afvalmateriaal van de deponie (paragraaf 3.3.2).

Een overzicht van beide type maatregelen wordt gegeven in Tabel 1. De beschermingsmaatregelen tegen uitgeloopte stoffen worden gemonitord (paragraaf 3.4) en dit staat ook in de tabel vermeld. Ter illustratie worden in Figuur 1 een paar van de genoemde beschermingsmaatregelen tegen uitgeloopte stoffen weergegeven in een ruwe schets van een deponie [19].

Figuur 1 Enkele beschermingsmaatregelen tijdens de operationele fase tegen uitgeloopte stoffen op een deponie.



3.3.1 Beschermingsmaatregelen werknemers (Arbeidsomstandighedenwet en Omgevingswet)

In de Arbeidsomstandighedenwet worden geen specifieke technische vereisten gesteld aan de beschermingsmaatregelen die er bij deponieën genomen moeten worden. Ook staan er geen vereisten in over monitoring. De belangrijkste doelstelling van beschermingsmaatregelen voor werknemers is het voorkomen dat zij worden blootgesteld aan schadelijke stoffen, met name door het inademen of inslikken van stofdeeltjes. De Omgevingswet reguleert de verspreiding van stofdeeltjes via de lucht. In de omgevingsvergunning moeten daarom voorschriften worden opgenomen om deze verspreiding te voorkomen (art. 11c, lid d, Bssa; art. 8.9, lid 1, Bkl). Maatregelen om contact met stofdeeltjes te voorkomen of te beperken, zijn bijvoorbeeld het nathouden van afvalmaterialen, het verpakken van het afval (in *big bags*) en het direct afdekken van gestorte afvalmateriaal met een laag grond. Deze maatregelen beschermen werknemers ook tegen blootstelling van externe straling en inwendige besmetting met NORM-radionucliden.

Daarnaast zijn er ook voorzieningen en persoonlijke beschermingsmiddelen die werknemers afschermen van blootstelling aan schadelijke stoffen en die ook bescherming tegen stralingsblootstelling geven.

3.3.2 Beschermingsmaatregelen tegen het uitloggen van stoffen naar bodem en grondwater (Omgevingswet)

Onderafdichting

Onder een stortvak bij deponieën voor gevaarlijke afvalstoffen wordt een speciale onderafdichting aangebracht [19]. Dit vormt een fysieke barrière, die voorkomt dat percolaatwater met schadelijke stoffen uit het afval vanuit het deponievolume in de onderliggende bodem en grondwater terechtkomt. De onderafdichting en het functioneren ervan zijn essentieel voor de bescherming van het milieu en de leden van de bevolking tegen uitgeloopte stoffen, zolang er percolaatwater door de deponie richting de bodem en het grondwater onder de deponie kan migreren.

Tabel 1 Overzicht van beschermingsmaatregelen op deponieën, die bedoeld zijn voor bescherming tegen schadelijke stoffen en die daarnaast ook stralingsbescherming geven. Ingedeeld naar regelgevend kader (Omgevingswet en Arbeidsomstandighedenwet (Arbowet)) en blootstellingsroute. Daarnaast wordt voor de maatregelen tegen uitgeloopte stoffen, aangegeven welke monitoring plaatsvindt en de bijbehorende regelgeving. 'Or' staat voor Omgevingsregeling en 'Bal' voor Besluit activiteiten leefomgeving.

	Blootstellingsroute	Beschermingsmaatregel	Monitoring	
Arbowet	Externe straling	Bronafscherming	-	
	Stofdeeltjes via lucht	Voorkomen van verstuiven*	-	
		Persoonlijke beschermingsmiddelen	-	
		Werken in ruimtes met overdruk	-	
Omgevingswet	Uitloging van stoffen naar bodem/ grondwater	Meervoudige afdichting stortvakken	Aanwezigheid van water in signaleringsdrainage	Or: art. 9.16, 9.18
			(Chemische) parameters in: <ul style="list-style-type: none"> Percolaat (uit drainagesysteem) Grondwater 	Or: art. 9.17, 9.18, 9.20 en 9.25
		Percolaatafvoer	Hoeveelheid percolaat (Chemische) parameters in: <ul style="list-style-type: none"> Percolaat (uit opvangvat) 	Or: art. 9.18, 9.21 Or: art. 9.18, 9.20 en 9.25
	Afvoer hemelwater	-		
	Grondwaterpeilbeheer	Grondwaterstand	Or: art. 9.13	
	Afvalvoorbereiding tegen uitloging	-		
	Lozing van stoffen naar oppervlaktewater	Waterzuivering (afvalwater met o.a. percolaat)	(Chemische) parameters in: <ul style="list-style-type: none"> Effluent Oppervlaktewater 	Bal: art. 4.608 Or: art. 9.15

*Maatregel ook relevant onder de Omgevingswet.

Bovenafdichting

Zodra een stortvak vol is en/of de deponie geheel gesloten wordt, is het volgens de huidige regelgeving vereist om een bovenafdichting aan te brengen (§5.1.4.5.2 en art. 8.48, Bkl). Het doel hiervan is om het gestorte afval af te sluiten van de omgeving en verdere infiltratie van regenwater en daarmee de vorming van percolaatwater te voorkomen [20]. De uitloging van stoffen neemt na het aanbrengen van de bovenafdichting af en stopt uiteindelijk. Daarnaast zorgt de bovenafdichting er ook voor dat verspreiding van afvalmateriaal via de lucht wordt voorkomen. Het goed functioneren van de bovenafdichting blijft van belang door de tijd heen, om te voorkomen dat er weer uitloging plaats gaat vinden. Dit vereist onderhoud van de bovenafdichting door de tijd heen en ook blijvende controle van het functioneren van deze laag.

Drainagesystemen

Tijdens de operationele fase wordt percolaatwater via drainagesystemen onder de stortvakken en boven de onderafdichting, afgevoerd naar opslagvaten. Hiermee wordt ophoping van (vervuild) water op de onderafdichting en aan de onderzijde van stortvakken voorkomen. Dit verkleint de kans op het lekken van vervuild water door de onderafdichting heen en voorkomt ook dat bij eventuele lekkage van de onderafdichting grotere hoeveelheden vervuilingen in het grondwater terecht kunnen komen [18].

Bij de definitieve sluiting van een stortvak wordt boven de bovenafdichting ook een drainagesysteem aangelegd, dat hemelwater direct moet afvoeren. Zo wordt voorkomen dat water op de bovenafdichting blijft staan. De kans op lekkage en infiltratie van hemelwater blijft daardoor klein.

Zuivering opgevangen (percolaat)water

Het percolaatwater dat per stortvak via drainagebuizen naar opslagtanks wordt gepompt, kan verschillende schadelijke stoffen bevatten, zoals zware metalen, organische stoffen en ook radionucliden uit NORM-afval. Ook ander water dat op de deponie terecht komt, of dat wordt afgevoerd vanuit de drainage boven de bovenafdichting, kan vervuilingen bevatten. Voordat het opgevangen water op oppervlaktewater of openbare riolering mag worden geloosd, ondergaat het eerst een zuiveringsproces (art. 8.49, Bkl). Hierbij worden schadelijke stoffen uit het opgevangen water verwijderd, zodat het voldoet aan de geldende grenswaarden (art. 4.608, Bal). Blootstelling aan schadelijke stoffen uit het afval door leden van de bevolking wordt hierdoor beperkt.

Grondwaterpeilbeheer

Het grondwaterpeil op de deponie wordt zodanig gereguleerd dat de onderkant van het stortvak (de 'stortzool') boven het grondwater blijft. Hiermee wordt voorkomen dat afvalstoffen bij lekkage van de onderafdichting direct in contact met het grondwater komen te staan. Door voldoende afstand te houden tussen het afval en het grondwater, wordt de verspreiding van verontreinigingen in de bodem onder de deponie vertraagd naarmate de afstand tot het grondwater groter is [18].

3.4 Monitoring van het functioneren van beschermingsmaatregelen

De beschermingsmaatregelen op een deponie, die het milieu en leden van de bevolking moeten beschermen tegen uitgeloopte schadelijke stoffen uit het afvalmateriaal, moeten periodiek door de deponie-beheerder op goede werking worden gecontroleerd. Hierbij wordt ook de staat van de bodem en de kwaliteit van het grondwater onder de deponie gemonitord. In Tabel 1 staat per beschermingsmaatregel genoemd wat voor monitoring plaatsvindt, onder verwijzing naar de regelgeving.

3.4.1 Monitoring bescherming van onder- en bovenafdichting

Bij de monitoring van de signaleringsdrainage van de onderafdichting wordt gecontroleerd op lekkage van percolaatwater door de onderafdichting. De grondwaterstand wordt gemonitord om de diepte van het grondwater tijdig te kunnen bijstellen wanneer deze te hoog wordt.

Welke monitoring verplicht moet worden uitgevoerd bij een deponie, verschilt enigszins tussen de operationele fase, de fase na beëindiging van het stortvak, en de nazorgfase daarna. Na het aanbrengen van een bovenafdichting op een vol stortvak (beëindigde stort) dringt geen nieuw (regen)water meer in het gestorte afval. Hierdoor neemt de percolaatvorming sterk af, hoewel het reeds aanwezige water in het stortvak nog enige tijd richting de bodem stroomt en wordt afgevoerd. Pas nadat dit aanwezige water is afgevoerd, stopt de percolaatvorming. Het controleren van het functioneren van de onderafdichting is dan niet meer nodig [27]. Wel is het vanaf dan vereist om het functioneren van de bovenafdichting periodiek te controleren (art. 9.17, Or).

3.4.2 Monitoring van de staat van de bodem en de kwaliteit van grondwater en effluent

Om de staat van de bodem en de kwaliteit van het grondwater onder de deponie te controleren, worden periodieke analyses uitgevoerd op een vaste set aan parameters in percolaat-, drainage- en grondwater (art. 9.18 en 9.23, Or). Het grondwater wordt via peilbuizen bemonsterd en de gemeten concentraties worden getoetst aan interventiewaarden (art. 9.23, Or), zodat tijdig maatregelen kunnen worden genomen om schade aan het milieu te voorkomen [22]. Ook het meten van de hoeveelheid percolaatwater vindt periodiek plaats (art. 9.21, Or).

Voordat percolaat- en overig afvalwater na zuivering in een waterzuiveringsinstallatie vanuit de deponie op het oppervlaktewater of op de openbare riolering wordt geloosd, wordt dit water ('effluent') gemeten op de aanwezigheid van specifieke stoffen en worden de concentraties ervan getoetst aan de geldende lozingsnormen.

3.5 Borging van stralingsbescherming via huidige beschermingsmaatregelen en monitoring bij deponieën

In deze paragraaf wordt bediscussieerd of de huidige beschermingsmaatregelen en de borging van het functioneren ervan, toereikend zijn voor de stralingsbescherming op de deponieën. Of dat, zoals voorgesteld in ARTEMIS-S6, vereisten voor een monitoringprogramma met radiologische monitoring moet toevoegen aan de wet- en regelgeving. Dit wordt besproken voor de verschillende blootstellingsroutes die in Tabel 1 staan genoemd, met uitzondering van externe straling. Per route wordt eerst ingegaan op de beschermingsmaatregelen en de toereikendheid daarvan tijdens en na de operationele fase. Vervolgens wordt aangegeven of de borging van het functioneren van de beschermingsmaatregelen ook de stralingsbescherming waarborgt. Eventuele vereisten voor een monitoringsprogramma zijn als aanbeveling opgenomen.

3.5.1 Opstuiwen stofdeeltjes met NORM-radionucliden via lucht

Beschermingsmaatregelen tegen stofdeeltjes met NORM-radionucliden

Door diverse maatregelen op de deponie wordt de blootstelling door werknemers aan radionucliden door het opstuiwen van NORM-afval voorkomen of beperkt (paragraaf 3.3.1). Het risico op stralingsblootstelling via stofdeeltjes in de lucht is daardoor klein. De

in Tabel 1 genoemde maatregelen beschermen ook leden van de bevolking tegen contact met NORM-afvaldeeltjes buiten de deponie-locatie.

Controle van de bescherming tegen stofdeeltjes met NORM-radionucliden

De controle van de mogelijke stralingsblootstelling vindt plaats via de verplichte RI&E, aangevuld met specifieke stralingsrisico-analyses conform de Kernenergiewet en Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming. Hierbij wordt beoordeeld of de blootstelling aan straling zodanig laag is dat handelingen met NORM-afval op de deponie verantwoord zijn, of dat aanvullende beschermingsmaatregelen nodig zijn. Indien uit de RI&E blijkt dat extra maatregelen noodzakelijk zijn, worden deze genomen en wordt de RI&E daarop aangepast.

3.5.2 Uitloging van NORM-radionucliden naar bodem en grondwater

Beschermingsmaatregelen uitgeloopte NORM-radionucliden

Het uitloggen van radionucliden uit het NORM-afval dat op de deponieën is gestort, wordt voor enkele NORM-afvalstromen beperkt doordat het afval eerst wordt geïmmobiliseerd voordat het wordt gestort (Tabel 1) [28]. Uit het overige NORM-afval kunnen radionucliden wel uitloggen wanneer het materiaal in contact komt met (geïnfiltreerd) water in het stortvak. De mate van uitloging van radionucliden en andere elementen hangt af van veel verschillende fysische en chemische factoren [29, 30]. De uitloogbaarheid wordt uitgedrukt met de *distribution coëfficiënt*, Kd: hoe hoger de Kd-waarde, des te minder gemakkelijk een stof uitloopt. Radionucliden uit het NORM-afval logen niet sneller uit dan andere stoffen die in het niet-radioactieve afval aanwezig zijn [31, 32]. De huidige beschermingsmaatregelen, die moeten voorkomen dat uitgeloopte stoffen via het percolaatwater in de bodem en het grondwater onder de deponie terechtkomen (Tabel 1 en paragraaf 3.3.2), zijn daardoor ook toereikend uit stralingsbeschermingsoogpunt [7].

Monitoring van beschermingsmaatregelen tegen uitgeloopte NORM-radionucliden

Het functioneren van de beschermingsmaatregelen tegen uitloging van afvalstoffen (waaronder NORM) wordt zowel tijdens als na de operationele fase gemonitord (paragraaf 3.4). Tijdens de operationele fase wordt de onderafdichting bewaakt via de signaleringsdrainage. Na de operationele fase (en sluiting van stortvak) wordt de bovenafdichting gecontroleerd door veranderingen in elektrische geleidbaarheid in het drainagewater te monitoren (art. 9.17, Or). Extra maatregelen, zoals het afvoeren van percolaat- en hemelwater via drainagesystemen en het reguleren van de grondwaterstand, verminderen de belasting van de afdichtingen en verkleinen de kans op lekkages. Als afdichtingen intact zijn, bevestigt dat dat er geen percolaatwater met NORM-radionucliden naar de bodem en het grondwater kan lekken en daardoor is de stralingsbescherming toereikend geborgd.

Signaleringsfunctie uitloging van NORM-radionucliden via chemische monitoring

Chemische monitoring van de metalen in percolaat-, drainage- en grondwater, kan veranderingen in uitloging van NORM-radionucliden signaleren, maar geeft geen directe informatie over het stralingsrisico. Hiervoor zijn naast radiologische metingen (t.o.v. natuurlijke achtergrondwaarden), ook aanvullende dosisberekeningen nodig voor verschillende blootstellingsscenario's.

Bij verhoogde metaalconcentraties in het grondwater wordt aanbevolen te beoordelen of aanvullende radiologische metingen nodig zijn. Voor deze beoordeling is het nodig om vast te stellen bij welke activiteitsconcentraties van de NORM-radionucliden in de

watermonsters de blootstellingdosis voor leden van de bevolking boven de gestelde dosislimieten uitkomt. Of dergelijk onderzoek noodzakelijk is, hangt echter weer af van het potentiële stralingsrisico bij de deponie (graduele aanpak), waarvoor eerst een risicoanalyse nodig is.

3.5.3 Lozing naar oppervlaktewater

Het opvangen percolaat- en hemelwater, dat mogelijk uitgeloogde NORM-afvalstoffen bevat, wordt na zuivering op het oppervlaktewater geloosd. Tijdens de zuivering worden onder andere metalen uit het water gehaald. Omdat de meeste NORM-radionucliden metalen zijn, zullen deze grotendeels ook door het zuiveringsproces worden afgevangen, hoewel de zuiveringsmethode niet specifiek op NORM-radionucliden is gericht.

Bij de analyse van het effluent wordt alleen naar chemische parameters gekeken en niet naar radiologische. Deponieën in Nederland hebben geen vergunningplicht voor het lozen van radioactieve stoffen, mits de activiteit van NORM-radionucliden onder de vrijstellingsgrenswaarden blijft zoals gegeven in Bijlage 3, Onderdeel B, Tabel C van het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming. De vrijstelling van de vergunningplicht om te mogen lozen is gebaseerd op het lage stralingsrisico voor leden van de bevolking. Het risico wordt als zodanig laag ingeschat dat (overeenkomend met de graduele aanpak) geen controle en toezicht door de stralingsautoriteit (ANVS) en geen radiologische monitoring nodig zijn, ondanks dat lozingen van NORM onder het controlestelsel vallen.

3.5.4 Conclusie en aanbevelingen

Conclusie

De combinatie van maatregelen en monitoring op de deponie is zowel tijdens de operationele fase als de nazorgfase toereikend voor de borging van stralingsbescherming voor werknemers, leden van de bevolking en het milieu. Door de beschermingsmaatregelen en de borging van de werking ervan zijn de stralingsrisico's laag. In overeenstemming met de graduele aanpak wordt aanvullende radiologische monitoring niet noodzakelijk geacht.

Wij bevelen aan om een risicoanalyse uit te voeren naar de stralingsrisico's van gestort NORM-afval bij deponieën. Op basis van deze analyse kunnen, indien nodig, bij het opstellen van de vereisten in de regelgeving van de Kernenergiewet de volgende onderwerpen worden meegenomen:

- De uitvoering van radiologische metingen bij (indicatie) van falen van beschermingsmaatregelen;
- Toezicht door de bevoegde autoriteit op de controle en werking van maatregelen die ook de stralingsbescherming waarborgen;
- Het borgen van stralingsbescherming op de lange termijn in het ontwerp van de deponie (bovengrondse eindberging), met name bij stort van langlevende radionucliden (zie Hoofdstuk 4 voor nadere toelichting).

4. Reflectie – stralingsrisico's bij wegvallend toezicht en beheer bij gesloten deponieën

Hoewel het beleid vanuit de Omgevingswet voorziet in eeuwigdurende nazorg van de beschermingsmaatregelen door de provincie waarin de deponie gelegen is, is het in de praktijk niet realistisch om te verwachten dat actieve nazorg en het bijbehorende toezicht eeuwig zal worden voortgezet. Dit onderstreept het belang om al bij het ontwerp van deponieën, rekening te houden met de gevolgen van een situatie zonder toezicht en

beheer en te kiezen voor passieve beschermingsmaatregelen (*Requirement 5 SSR-5* [2]). Deponieën waar NORM-afval wordt gestort, kunnen in de ontwerpfase al worden gezien als definitieve eindbergingen voor dit type afval, waarbij de veiligheid ook moet worden geborgd voor de toekomstige generaties. Naast de reguliere chemische risicobeoordeling, is bij het ontwerp van nieuwe deponieën ook een risicoanalyse nodig van de stralingsrisico's op de langere termijn, met name voor gestort radioactief afval met langlevende radionucliden. Dit sluit aan bij de aanbevelingen uit het in 2026 gepubliceerde ICRP rapport 159 [33]. Ook bij aanpassingen in het stortbeheer zal onderzocht moeten worden wat dit eventueel betekent voor de veilige stort van NORM-afval voor de langere termijn. Dit zou relevant kunnen zijn in onderzoek dat op dit moment plaatsvindt naar duurzaam stortbeheer in Nederland ('Introductie Duurzaam Stortbeheer') [34]. Hierin wordt onder andere onderzocht wanneer een bovenafdichting nog nodig is [35].

Bij het wegvallen van toezicht en onderhoud, zullen de onder- en bovenafdichting na verloop van tijd hun functie verliezen. Wanneer er dan geen passieve beschermingsmaatregelen aanwezig zijn, kunnen gevaarlijke stoffen en NORM-radionucliden uitloggen naar bodem, grondwater en oppervlaktewater (via kwelwater). Ook kan door erosie of opgraving het gestorte NORM-afval bloot komen te liggen en zich via lucht, (regen)water of door menselijke handelen verspreiden. De radiologische impact hangt af van de karakteristieken van de afzonderlijke NORM-afvalstromen die zijn gestort: de hoeveelheid ervan, de activiteit van de radionucliden en de blootstellingsroute. De verspreiding hangt weer af van factoren zoals uitloogbaarheid, verstuivingsgevoeligheid, het type afvalmateriaal en de hydrologische omstandigheden. Voor de lange termijn verschillen stralingsrisico's sterk tussen langlevende en kortlevende NORM-radionucliden. Relatief kortlevende radionucliden, zoals Pb-210 met een halveringstijd van 22,3 jaar, zijn dan nauwelijks nog aanwezig in het afval. Langlevende radionucliden, zoals Th-232 met een halveringstijd van 14 miljard jaar, blijven vrijwel constant aanwezig en kunnen langdurig bijdragen aan extra stralingsblootstelling als ze in het milieu terecht komen in concentraties hoger dan hun natuurlijke achtergrondniveau.

Referenties

1. IAEA, *Integrated review service for radioactive waste and spent fuel management, decommissioning and remediation (ARTEMIS), Mission to the Netherlands, 19-28 November 2023*, 2023.
2. IAEA, *Disposal of Radioactive Waste*, Safety Standards Series No. SSR-5, 2011.
3. *Besluit stortplaatsen en stortverboden afvalstoffen*. Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0009094/2026-01-01>, geraadpleegd 06-01-2026.
4. *Omgevingswet*. Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0037885/2026-01-01>, geraadpleegd 06-01-2026.
5. *Wet Milieubeheer*. Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0003245/2025-12-30>, geraadpleegd 06-01-2026.
6. *Arbeidsomstandighedenwet*. Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0010346/2025-07-01>, geraadpleegd 06-01-2026.
7. VROM, *Aanwijzing inrichtingen voor storten van gevaarlijke afvalstoffen als instelling voor ontvangst van radioactieve afvalstoffen*, SAS2005090776, 2005.
8. *Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming*. Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0040179/2025-01-01>, geraadpleegd 06-01-2026.
9. ICRP, *Annals of the ICRP. The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, Publication 103, 2007.

10. IAEA, *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, 2014.
11. EURATOM, *Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation*, 32013L0059, 2014.
12. Kernenergiewet. Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0002402/2024-07-01>, geraadpleegd 06-01-2026.
13. ANVS. *Controlestelsel voor het werken met ioniserende straling*. Beschikbaar via <https://www.autoriteitnvs.nl/site/binaries/site-content/collections/documents/2018/03/16/factsheet-controlestelsel/Controlestelsel+voor+het+werken+met+ioniserende+straling.pdf>, geraadpleegd 16-12-2025.
14. *Regeling basisveiligheidsnormen stralingsbescherming*. Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0040509/2025-07-01>, geraadpleegd 06-01-2026.
15. *Besluit kwaliteit leefomgeving*. Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0041313/2026-01-01>, geraadpleegd 06-01-2026.
16. *Omgevingsregeling*. Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0045528/2026-01-01>, geraadpleegd 06-01-2026.
17. *Informatiepunt Leefomgeving*. Beschikbaar via <https://iplo.nl/thema/bodem/documenten/nazorg/richtlijnen-bodembescherming-stortplaatsen/>, geraadpleegd 06-01-2026.
18. VROM, *Richtlijn drainagesystemen en controlesystemen grondwater voor stort- en opslagplaatsen*, nr. 1993/1, 1993.
19. VROM, *Richtlijn onderafdichtingen voor stort- en opslagplaatsen*, nr. 1993/2, 1993.
20. VROM, *Richtlijn voor dichte eindafwerking op afval- en reststofbergingen*, 634/EA91/D006/16895, 1991.
21. Vereniging van Afvalverwerkers, *Richtlijn geohydrologische isolatie van bestaande stortplaatsen*, VVAV97023S.R, 1997.
22. Vereniging van Afvalverwerkers, *Ontwerp-procedure grondwatermonitoring stortplaatsen*, VVAV95060S.R, 1995.
23. Royal Haskoning DHV, *IPO Checklist stortplaatsen*, BI2026-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001, 2022.
24. IAEA, *Use of a graded approach in the application of the management system requirements for facilities and activities*, IAEA-TECDOC-1740, 2014.
25. IAEA, *Leadership, management and culture for safety in radioactive waste management*, IAEA Safety Standards Series No. GSG-16, 2022.
26. *Besluit activiteiten leefomgeving*. Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0041330/2026-01-01>, geraadpleegd 06-01-2026.
27. *Regeling nazorgfase gesloten stortplaatsen*. Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0005877/2024-01-01>, geraadpleegd 06-01-2026.
28. Y.Z. Szeto en L.C.J. Smulders, *Stralingsblootstelling door registratieplichtig afval*, RIVM-rapport 2025-0022, 2025.
29. E. Brand, et al., *Development of emission testing values to assess sustainable landfill management on pilot landfills. Phase 2: Proposals for testing values*, RIVM-rapport 6077100002/2014, 2014.
30. R.N.J. Comans et al., *Uitloog- en transportmodellen. Inventarisatie van bodemproceskennis in relatie tot gevoeligheden en onzekerheden in modellen voor uitloging en reactief transport van stoffen in de bodem*, ECN-rapport ECN-E--13-072, 2014.

31. S.M. Shaheen, C.D. Tsadilas, en J. Rinklebe, *A review of the distribution coefficients of trace element in soils: Influence of sorption system, element characteristics, and soil colloidal properties*. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2013. **201-202**: p. 43–56.
32. C. Yu, et al., *User's Manual for RESRAD Version 6*, ANL/EAD-4, Bijlage E, Tabel E.3, Argonne National Laboratory, The University of Chicago, 2001.
33. ICRP, *Radiological protection in surface and near-surface disposal of solid radioactive waste*, ICRP Publication 159. *Ann. ICRP* 53(6), 2024.
34. *Introductie Duurzaam Stortbeheer*. Beschikbaar via <https://www.duurzaamstortbeheer.nl/over-ids/>, geraadpleegd 06-01-2026.
35. Ministerie van IenM, *Leidraad Bepaling Uitstel Bovenafdichtingen (BUB) voor te verduurzamen stortlocaties*, 2014.