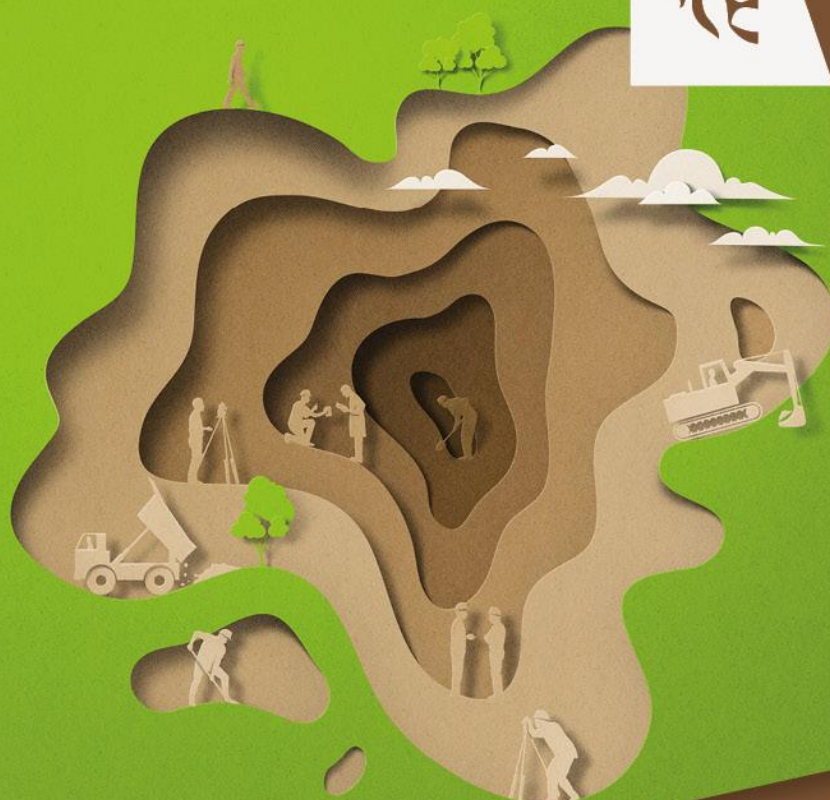




Vlaanderen
is materiaalbewust



UITLOOGNORMEN PFAS VOOR CAT.2 STORTPLAATSEN

SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER

OVAM

OVAM.VLAANDEREN.BE

Afleiding normvoorstellen
publicatiedatum / 4.12.2025

DOCUMENTBESCHRIJVING

- | | |
|---|---|
| 1 <i>Titel van publicatie:</i>
Uitloognormen PFAS voor cat. 2 stortplaatsen | 2 <i>Verantwoordelijke uitgever:</i>
OVAM |
| 3 <i>Wettelijk depotnummer:</i>
D/2025/5024/43 | 4 <i>Trefwoorden:</i>
PFAS, acceptatiecriteria stortplaatsen, uitloognorm |
| 5 <i>Samenvatting:</i>
Dit rapport beschrijft de afleiding van normvoorstellen voor uitloognormen voor enerzijds totaal PFAS en anderzijds TFA voor categorie 2 stortplaatsen. De normvoorstellen zijn gebaseerd op berekeningen van de maximaal toelaatbare eluaatconcentratie uitgaande van de geldende kwaliteitscriteria in grondwater en een generiek scenario rekening houdend met de exploitatiefase van de stortplaats en een tijdshorizon van 500 jaar erna. De voorgestelde normen zijn 61,5 µg/l voor PFAS totaal en 201,2 µg/l voor TFA. | |
| 6 <i>Aantal bladzijden:</i> 14 | 7 <i>Aantal tabellen en figuren:</i> 4/3 |
| 8 <i>Datum publicatie:</i>
4/12/2025 | 9 <i>Prijs*:</i> / |
| 10 <i>Begeleidingsgroep en/of auteur:</i> Ingeborg Joris, Ilse Van Keer (VITO), Katrijn Siebens, Michèle Kuppens, Katrien Monsieurs, Annick Vuye (OVAM) | 11 <i>Contactpersonen:</i> Katrijn Siebens (katrijn.siebens@ovam.be), Michèle Kuppens (michele.kuppens@ovam.be) |
| 12 <i>Andere titels over dit onderwerp:</i> / | |

U hebt het recht deze brochure te downloaden, te printen en digitaal te verspreiden. U hebt niet het recht deze aan te passen of voor commerciële doeleinden te gebruiken.

De meeste OVAM-publicaties kunt u raadplegen en/of downloaden op de OVAM-website:
ovam.vlaanderen.be

* Prijswijzigingen voorbehouden.

INHOUD

1	Achtergrond.....	6
2	Aanpak.....	6
2.1	Scenario voor normafleiding	6
2.2	Aannames en parameters	7
2.3	Modelberekening	9
3	Resultaten	11
3.1	Berekende attenuatiefactoren	11
3.2	Voorstel uitloognormen PFAS en TFA	12
3.3	Toetsing haalbaarheid	13
4	Besluit	14
5	Bibliografie	14

1 ACHTERGROND

In het dossier voor de aanvraag van een vergunning door SILVAMO voor de verdere exploitatie van een categorie 2-stortplaats voor niet-gevaarlijke afvalstoffen te Kortemark werd de vergunningsaanvraag vernietigd op basis van een onvoldoende motivering van de bijzondere voorwaarde over het storten onder zoutcelcondities van afvalstoffen met uitloogbare PFAS/PFOS. Voor PFOS en PFAS in het algemeen zijn er geen grenswaarden beschikbaar die moeten aangeven vanaf welke waarde er onder zoutcelcondities gestort moet worden en die garanderen dat afvalstoffen met uitloogbare PFAS/PFOS onder zoutcelcondities worden gestort.

Uit dit dossier komt de nood naar voren aan een wetenschappelijk onderbouwd voorstel voor dergelijke drempelwaarde voor uitloogbaar PFAS, enerzijds ter onderbouwing van een nieuwe beslissing in dit specifieke vergunningsdossier maar daarnaast ook op langere termijn voor de algemene reglementering van stortplaatsen. De opmaak van dit voorstel werd aan VITO gevraagd binnen het jaarprogramma.

In dit rapport wordt de uitwerking beschreven van een wetenschappelijk onderbouwd voorstel om een drempelwaarde te bepalen voor uitloogbaar PFAS, waarbij PFAS-houdende afvalstromen mogen aanvaard worden op een vergunde categorie 2-stortplaats en meer specifiek ook in het geval van Silvamo. Voorstellen zijn geformuleerd voor:

- een uitloognorm voor totaal PFAS
- een uitloognorm voor de ultra korte keten (UKK) TFA

De normvoorstellen uitgewerkt in dit voorstel zijn afgeleid voor een generieke inrichting van een categorie 2-stortplaats en kunnen als zodanig dienen als vertrekpunt voor de bepaling van uitloognormen voor totaal PFAS en TFA. Om tot gedragen uitloognormen te komen, dienen deze getallen verder geëvalueerd te worden naar consistentie met andere normenkaders, vergelijkbaarheid met buurlanden en haalbaarheid door overleg met administraties en stakeholders en verder literatuuronderzoek. Deze verdere stappen zijn voorzien in een vervolgtraject.

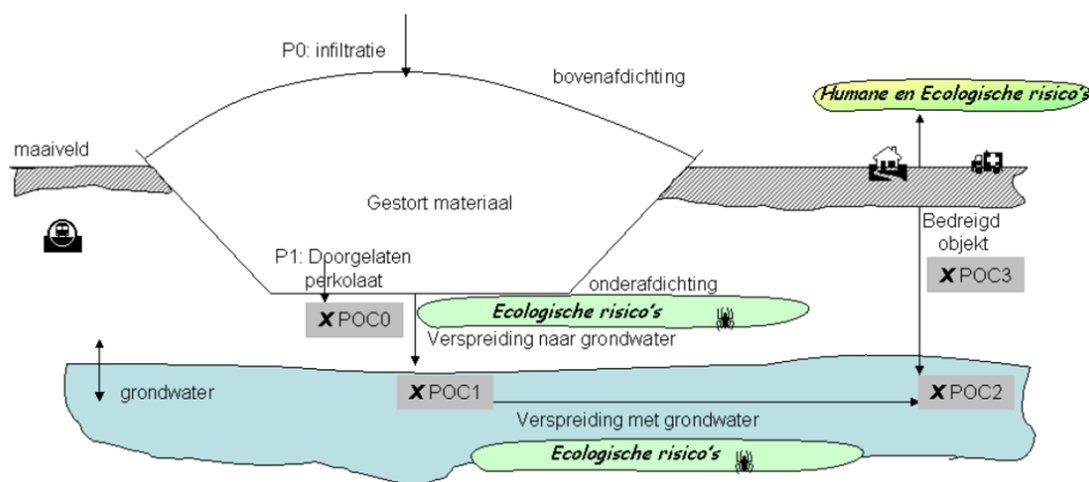
2 AANPAK

2.1 SCENARIO VOOR NORMAFLEIDING

De afleiding van de uitloognormen is erop gebaseerd dat eventuele uitloging uit de stortplaats geen bedreiging mag vormen voor de lokale grondwaterkwaliteit. Daarbij kan deze grondwaterkwaliteit op verschillende punten (POC's of 'points of compliance') bepaald worden. Een algemeen schema van een stortplaats en de mogelijke keuzes van een POC worden geïllustreerd in Figuur 1. De grondwaterkwaliteit kan geëvalueerd

worden vlak onder de onderafdichting, ter hoogte van het onderliggende grondwaterpeil of op enige afstand stroomafwaarts in het grondwater waar zich een receptor kan bevinden.

Na de bepaling van het POC wordt de maximaal toelaatbare concentratie ter hoogte van het POC bepaald en teruggerekend naar de eluaatconcentratie in het gestort materiaal. Op die manier bepaalt men de maximale eluaatconcentratie die geen overschrijding van de toelaatbare concentratie ter hoogte van het POC zal veroorzaken.



**POC= Point of compliance =
Te monitoren beïnvloed punt**

POC0 = direct onder de onderafdichting, waar de verontreiniging de bodem indringt

POC1 = op het grensvlak van onverzadigde en verzadigde zones

POC2/3 = op het pad (bijvoorbeeld in het grondwater) of bij de receptor (bijvoorbeeld in drinkwaterput)

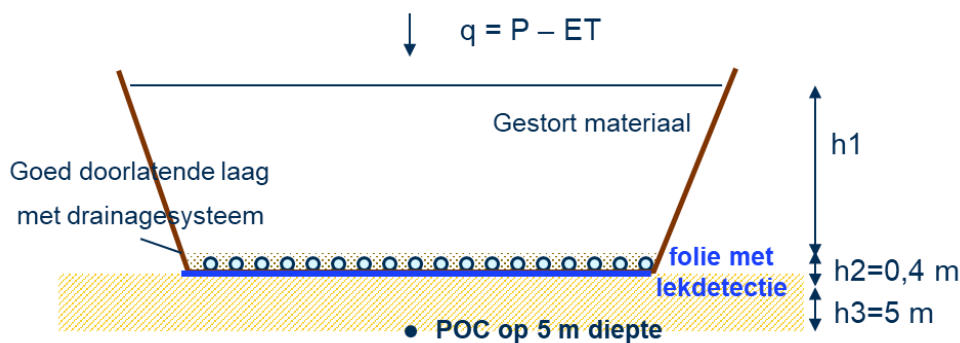
Figuur 1: Schematische weergave van een stortplaats (RIVM, 2011).

Om een dergelijke berekening en normafleiding uit te voeren, zijn er keuzes en aannames nodig m.b.t. de ligging van het POC, de toelaatbare concentratie ter hoogte van het POC, een generiek scenario voor een stortplaats (dimensies, infiltratie en lekverliezen) en een transportmodellering. In de volgende paragrafen worden de aannames en de opbouw van het modelscenario in meer detail besproken.

2.2 AANNAMES EN PARAMETERS

Voor de opbouw van de stortplaats is uitgegaan van de voorschriften geformuleerd in Vlarem II 5.2.4.3.3. Een categorie 2-stortplaats is tijdens de fase van exploitatie bovenaan open voor infiltrerend regenwater en is

onderaan uitgerust met een goed doorlatende laag met drainagesysteem van minstens 0,4 meter en een HDPE-folie (met lekdetectie) van minstens 2,5mm. Onder deze afdichting bevindt zich een slecht doorlatende laag minstens evenwaardig aan een kleilaag met een dikte van 5 meter en een k van 10^{-9} m/s. Deze onderlaag (drainagesysteem, folie, geologische barrière) vormt een drievoudige bescherming tegen uitloging. Deze opbouw is schematisch weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2: Schematische weergave van een categorie 2-stortplaats.

Voor de opbouw van het modelscenario is het POC net onder de minimale geologische barrière gelegd. In de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat op deze locatie de toetsingswaarden grondwaterkwaliteit (nl. 0,5 $\mu\text{g/l}$ voor de som PFAS en 15,6 $\mu\text{g/l}$ voor TFA) niet overschreden mogen worden.

De evaluatieperiode omvat 3 fasen:

- Fase 1: tijdens exploitatie (gedurende 30 jaar) is de stortplaats bovenaan open voor infiltratie, onderaan is het drainagesysteem actief en wordt verondersteld dat de HDPE-folie voor 95% intact is en dat er mogelijke lekverliezen van 5% ($q = 1,58$ mm/j) optreden;
- Fase 2: in de eerste periode na exploitatie en afwerking (gedurende 50 jaar) is de stortplaats ook bovenaan afgesloten met een HDPE-folie en zijn er mogelijke lekverliezen van 5% ($q = 1,58$ mm/j); de PFAS-concentraties vanuit het gestort materiaal zijn afhankelijk van het type PFAS al enigszins afgenomen;
- Fase 3: vanaf 50 jaar na afwerking wordt ervan uitgegaan dat de HDPE-folie niet meer intact is en dat de waterflux door de slecht doorlatende laag maximaal is en gelijk aan 31,5 mm/j.

De maximale concentratie in het grondwater 5 meter onder stortplaats wordt bepaald over deze hele evaluatieperiode. Het scenario is conservatief met betrekking tot de veronderstelde waterfluxen. HDPE-folie wordt beschouwd als een duurzame en effectieve afsluitende laag voor stortplaatsen. Studies geven verschillende schattingen van de levensduur gaande van 80 jaar bij 40°C op basis van laboratoriumtesten (Jafari and Stark, 2017) tot een levensduur van 220-250 jaar onder veldomstandigheden, al kan dat lager liggen bij hogere temperaturen of chemische of UV stress (Lavoie et al., 2020). Ook is er in bepaalde studies in zeer beperkte mate diffusie van PFAS doorheen HDPE folie vastgesteld (Ahmad and Tian, 2024). Op basis hiervan

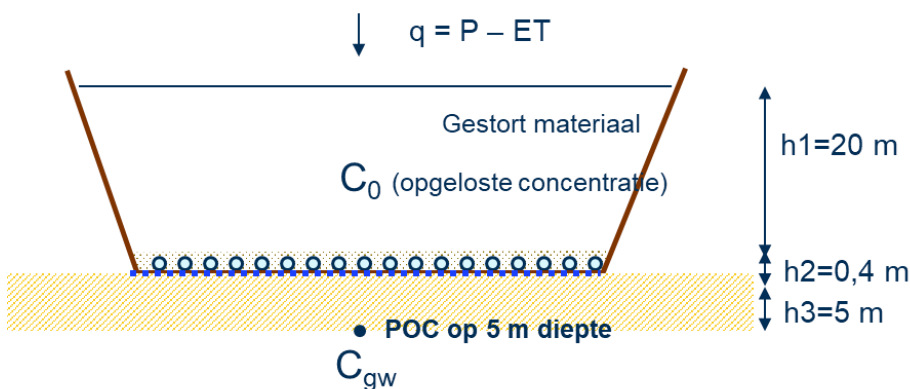
wordt de aanname van een beperkte flux door de onderafdichting gemaakt. De aanname dat de folie na 80 jaar geen afdichting meer vormt, kan ook als een zeer conservatieve inschatting beschouwd worden.

Nalevering van PFAS uit het gestort materiaal naar de waterfase tijdens Fase 2 wordt in rekening gebracht in functie van het type PFAS: voor TFA wordt ervan uitgegaan dat er geen nalevering vanuit de vaste fase is en dat de aanwezige vracht TFA in het gestort materiaal tijdens de exploitatiefase en de eerste jaren na afwerking (wanneer het percolaatwater nog gecollecteerd wordt) via het percolaatwater zijn afgevoerd. Voor de korte keten PFAS (<C8) wordt ervan uitgegaan dat de concentratie door nalevering na de exploitatie nog 75% van de concentratie in Fase 1 bedraagt en voor de lange keten PFAS (>=C8) wordt uitgegaan van een aanzienlijke nalevering en een concentratie in Fase 2 gelijk aan 95% van de concentratie in Fase 1.

2.3 MODELBEREKENING

In de modelberekening wordt de concentratie C_{gw} ter hoogte van het POC 5 meter onder de stortplaats berekend uitgaande van een eluaatconcentratie C_0 in het gestort materiaal. De berekening wordt voor elke PFAS-component afzonderlijk uitgevoerd gebruikmakend van het procesgebaseerd model F-LEACH (Joris et al., 2005; Seuntjens et al., 2005; Joris et al., 2015). F-LEACH houdt rekening met transport met het infiltrerend water, sorptie en diffusie. Vervluchting en afbraak worden hier als niet relevante processen beschouwd, en verdunning in grondwater wordt niet meegenomen.

Figuur 3 geeft schematisch het modelscenario voor de stortplaats weer.



Figuur 3: Schematische weergave van het modelscenario voor de stortplaats.

Op deze manier kan voor elke beschouwde PFAS-component een attenuatiefactor AF berekend worden die weergeeft met welke factor de initiële eluaatconcentratie afneemt tijdens het transport naar het grondwater:

$$AF = C_0 / C_{gw, \max}$$

Met AF: de attenuatiefactor;

C_0 : de eluaatconcentratie;

$C_{gw,max}$: de maximale concentratie in grondwater ter hoogte van het POC over de evaluatieperiode.

Om de maximaal toelaatbare eluaatconcentratie te bepalen, wordt de toetsingswaarde grondwaterkwaliteit vermenigvuldigd met de berekende attenuatiefactor AF.

Deze methode is rechtstreeks toepasbaar voor TFA. Voor de som PFAS moet er bijkomend rekening gehouden worden met het feit dat dit een somparameter is die geldt voor het mengsel van PFAS-componenten aanwezig in het eluaat van de stortplaats. Om een relevante AF te bepalen, wordt de AF voor een hele reeks PFAS componenten berekend en is ervoor geopteerd om daaruit de 10-de percentiel AF (d.w.z. de AF waarbij 10% van de berekende AF-factoren lager zijn en 90% van de berekende AF-factoren hoger) te weerhouden. PFAS komt steeds als een mengsel voor en zal nooit voor 100% uit de meest gevoelige component bestaan. Door voor een lage waarde uit de reeks berekende waarden te kiezen, wordt voldoende veiligheid naar uitlooggevoeligheid ingebouwd.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor enerzijds TFA en anderzijds de 20 PFAS opgenomen in de som 20 van de Drinkwaterrichtlijn omwille van de beschikbaarheid van fysico-chemische parameters. Om de sorptie door de onderliggende kleilaag te simuleren, moet er een sorptiefactor K_D als modelparameter ingegeven worden. Hiervoor zijn de K_D -waarden gebruikt uit de dataset die experimenteel bepaald is voor Vlaamse bodems. Voor 19 van de 20 PFAS uit de PFAS 20 Drinkwaterrichtlijn was het mogelijk een K_D -waarde te bepalen. Voor de simulaties is zowel gerekend met de 10-de percentiel waarde van de K_D (zeer lage sorptie in de onderliggende kleilaag) als met de mediaan waarde van de K_D (gemiddelde sorptie in de onderliggende kleilaag vergeleken met Vlaamse bodems). De gebruikte waarden zijn weergegeven in Tabel 1. Voor TFA wordt geen sorptie of een K_D -waarde van 0 verondersteld.

Tabel 1: 10-de percentiel en mediaan K_D -waarde zoals experimenteel bepaald voor Vlaamse bodems (n= het aantal stalen waarop de K_D -waarde bepaald is).

PFAS-component	n	K_D laag (P10)	K_D gemiddeld (P50)
PFBA	20	1,00	2,35
PFPA	21	0,59	1,42
PFBS	4	2,60	7,77
PFHxA	21	0,73	1,72
PFPeS	5	2,19	4,62
PFHpA	17	0,95	2,43
PFHxS	15	1,45	3,55
PFOA	19	1,78	5,97
PFHpS	4	1,66	4,24
PFNA	12	2,10	6,44
PFOS	25	2,20	8,43
PFNS	3	6,56	19,24

PFDA	14	3,24	15,58
PFDS	3	25,62	33,92
PFUdA	2	16,83	20,67
PFUdS	3	53,62	86,59
PFDoA	2	52,73	64,88
PFDoS	2	157,98	175,28
PFTTrDA	0	-	-
PFTTrDS	2	96,08	169,33

3 RESULTATEN

3.1 BEREKENDE ATTENUATIEFACTOREN

De berekende attenuatiefactoren per PFAS component zijn weergegeven in Tabel 2. Er zijn 4 scenario's beschouwd: een onderliggende kleilaag die ofwel zeer gevoelig ofwel gemiddeld gevoelig is voor uitloging en een evaluatieperiode onbeperkt in de tijd (tot de maximale concentratie in grondwater bereikt is, ongeacht of dit na duizenden jaren is) of een evaluatieperiode van 500 jaar na exploitatie en afwerking.

Tabel 2: Berekende attenuatiefactoren AF voor 4 scenario's per PFAS component en 10-de percentielwaarde voor de beschouwde reeks PFAS.

PFAS-component	Evaluatieperiode onbeperkt		Evaluatieperiode 500 jaar	
	K _D laag (P10)	K _D gemiddeld (P50)	K _D laag (P10)	K _D gemiddeld (P50)
PFBA	24,7	43,5	24,7	144,7
PFPA	19,5	32,6	19,5	32,6
PFBS	47,1	94,5	568,2	a
PFHxA	20,8	35,9	20,8	35,9
PFPeS	44,1	70,0	76,2	a
PFHpA	24,5	44,7	24,5	213,2
PFHxS	31,5	58,9	31,5	a
PFOA	47,5	118,7	48,8	a
PFHpS	34,4	64,8	34,4	a
PFNA	52,9	126,8	76,3	a
PFOS	54,6	159,6	103,7	a

PFNS	128,6	320,3	<i>a</i>	<i>a</i>
PFDA	72,3	268,7	<i>a</i>	<i>a</i>
PFDS	380,6	505,6	<i>a</i>	<i>a</i>
PFUdA	286,6	339,4	<i>a</i>	<i>a</i>
PFUdS	718,4	1015,5	<i>a</i>	<i>a</i>
PFDaA	709,3	826,1	<i>a</i>	<i>a</i>
PFDaS	1514,4	1616,7	<i>a</i>	<i>a</i>
PFTrDA	-	-	-	-
PFTrDS	1090,4	1581,3	<i>a</i>	<i>a</i>
P10 AF	23,8	42,0	23,8	123,0
TFA	12,9	12,9	12,9	12,9

a: geen concentraties >0 binnen beschouwde evaluatieperiode

Voor een onbeperkte evaluatieperiode kan er een AF berekend worden voor elk van de componenten. Deze AF nemen toe met toenemende ketenlengte van de PFAS en toenemende sorptie. De hogere sorptie zorgt ervoor dat het transport trager verloopt en de maximaal berekende concentratie in het grondwater lager wordt. De AF liggen lager in het scenario met een kleilaag zeer gevoelig voor sorptie.

Bij een evaluatieperiode van 500 jaar wordt er voor de langere PFAS-ketens geen enkele toename in concentratie in het grondwater berekend, omdat het sorptieproces ervoor zorgt dat de maximale concentratie (soms ver) na deze periode gesimuleerd wordt. Als we kijken naar het 10-de percentiel voor de AF van de 19 beschouwde PFAS zien we dat de lengte van de evaluatieperiode geen rol speelt bij een kleilaag zeer gevoelig voor uitloging maar dat de lengte van de evaluatieperiode bij een kleilaag met gemiddelde sorptie wel een rol speelt.

Voor TFA wordt verondersteld dat er geen sorptie optreedt, en de berekende AF is dezelfde ongeacht de lengte van de evaluatieperiode.

3.2 VOORSTEL UITLOOGNORMEN PFAS EN TFA

Van de 4 beschouwde scenario's wordt het scenario met een kleilaag met een gemiddelde sorptie en een evaluatieperiode van 500 jaar als het meest relevante beschouwd. In risico-evaluaties voor uitloogrisico wordt doorgaans een evaluatieperiode van 500 jaar gehanteerd en kleibodems kunnen verondersteld worden minstens een gemiddelde sorptie voor PFAS te vertonen.

Op basis van de berekende AF en de toetsingswaarden voor grondwaterkwaliteit leidt dit tot een voorstel voor uitloognorm voor PFAS totaal van 61,5 µg/l en TFA 201,2 µg/l in de eluaatconcentratie (zie Tabel 3).

Tabel 3: Voorstel uitloognorm op basis van toetsingswaarde grondwaterkwaliteit en berekende AF.

	Toetsingswaarde grondwaterkwaliteit (µg/l)	Berekende AF	Voorstel uitloognorm (µg/l)
PFAS totaal	0,5	123,0	61,5
TFA	15,6	12,9	201,2

3.3 TOETSING HAALBAARHEID

Een initiële toetsing van de haalbaarheid en toepasbaarheid van de normvoorstellen is uitgevoerd op basis van een beperkte set percolaatconcentratie van de stortplaats SILVAMO. In het jaarrapport 2024 zijn 7 analyses van de percolaatconcentratie vóór zuivering opgenomen (zie Tabel 4). In de analyses is een uitgebreide reeks PFAS-parameters opgenomen geanalyseerd volgens de WAC-procedures voor afvalwater. Voor TFA zijn er geen analyses beschikbaar.

Tabel 4: Beschikbare analyseresultaten percolaat vóór zuivering (Bron: Jaarverslag Silvamo, 2024).

Staal	Datum	Som PFAS kwantitatief (µg/l)	Som PFAS indicatief (µg/l)	Som PFAS kwantitatief + indicatief (µg/)
Noord	22/04/2024	25	1,6	26,6
Zuid	22/04/2024	3	0,18	3,2
RWZI				
Oost+west	22/04/2024	32	0,99	33,0
Noord	06/08/2024	25	1,6	26,6
Oost	06/08/2024	29	0,83	29,8
Zuid	06/08/2024	4	0,21	4,2
West	06/08/2024	28	0,67	28,7

Voor de som PFAS wordt de voorgestelde uitloognorm in geen van de stalen overschreden. In 3 van de stalen wordt de helft van het voorgestelde getal benaderd of overschreden. Deze concentraties zijn gemeten in het percolaatwater dat afkomstig kan zijn van een groot deel van de stortplaats. We veronderstellen dat deze gemeten concentraties een gewogen gemiddelde vormen van een aantal partijen. Aangezien deze concentraties weliswaar lager maar wel in dezelfde grootte-orde liggen als de voorgestelde norm, kan ervan uitgegaan worden dat het normvoorstel onderscheidend kan werken om ontvangen partijen met hoge PFAS-concentraties te identificeren die gestort moeten worden onder zoutcelcondities.

4 BESLUIT

Op basis van een generiek scenario voor de opbouw van een categorie 2 stortplaats en verschillende fasen tijdens en na exploitatie is er een modelscenario opgebouwd om het risico op uitloging te evalueren. In dit scenario zijn conservatieve aannames gemaakt met betrekking tot de waterfluxen. De maximale eluaatconcentratie is bepaald die niet zal leiden tot overschrijding toetsingswaarden grondwaterkwaliteit in het grondwater op een diepte van 5 meter onder de stortplaats (net onder de geologische barrière). Hiervoor zijn attenuatiefactoren AF berekend die weergeven met welke factor de eluaatconcentratie afneemt tijdens het transport door de onderlaag van de stortplaats.

Uitgaande van een evaluatieperiode van 500 j en een onderliggende kleilaag met een gemiddelde sorptie zijn voorstellen voor een uitloognorm geformuleerd voor PFAS totaal van 61,5 µg/l en voor TFA van 201,2 µg/l.

5 BIBLIOGRAFIE

Ahmad, A., K. Tian (2024). Transport of per-polyfluoroalkyl substances (PFAS) in high-density polyethylene (HDPE) geomembrane liners. E3S Web of Conferences 569, 11004.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202456911004>

Jafari, N.H., T.D. Stark (2017). Service Life and Design Implications of HDPE Geomembranes at Elevated Temperature Landfills. Geotechnical Frontiers 280: 198-208.

Joris, I., P. Seuntjens, C. Cornelis, J. Bronders, K. Tirez, R. Lookman, J. Gemoets. Bepaling van risico's door uitloging en beschrijving evolutie bodemkwaliteit - Deel 2: Handleiding uitloging. 2005/IMS/R/0122, 2005.

Joris, I., S. Van Looy, J. Bronders (2015). F-LEACH 3.0: handleiding bij de software – update 2015. Studie uitgevoerd in opdracht van: OVAM.

Lavoie, F.L., M. Kobelnik, C.A. Valentin, J.L. da Silva (2020). Durability of HDPE geomembranes: an overview. Quim. Nova, Vol. 43, No. 5, 656-667. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170540>, 2020

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), 2011, Ontwikkeling toetswaarden voor pilotstortplaatsen duurzaam stortbeheer - Fase 1: Een inventarisatie. Rapport 607710001/2011, 160 pp.

Seuntjens, P., I. Joris, J. Patyn, J. Bronders, C. Cornelis. Bepaling van risico's door uitloging en beschrijving evolutie bodemkwaliteit - Deel 1: opstellen methodiek. 2005/IMS/R/0124, 2005.