



memo

Resultaten literatuuronderzoek uitloging PFAS uit
grond en advies afleiden risicogrenzen grond en
bagger ter bescherming van bodem en grondwater

In één minuut

Uit het literatuuronderzoek

- **PFAS hebben wezenlijk verschillende fysisch-chemische eigenschappen ten opzichte van genormeerde organische verbindingen in bodem en grondwater;**
- **De specifieke fysisch-chemische eigenschappen van PFAS zijn van invloed op het transport door de onverzadigde zone. Transport van PFAS door grondwaterpakketten (verzadigd) is naar verwachting vergelijkbaar met andere organische stoffen;**
- **PFAS zijn mobiel in vergelijking met andere diffuus voorkomende stoffen (zoals PAK, pesticiden en PCB's) in de bodem;**
- **Een verkenning en gevoeligheidsanalyse toont aan dat de uitloging van PFAS uit grond met modellen in de onverzadigde zone gesimuleerd kan worden. Een definitieve modelkeuze en rekenmethodiek dient uitgewerkt te worden;**
- **Actuele inzichten op het gebied van toxiciteit en mobiliteit bevestigen eerder geadviseerde restricties ten aanzien van toepassen van grond en bagger in grondwaterbeschermingsgebieden.**

Mbt het afleiden van risicogrenzen op basis van uitloging

- **Om de uitloging uit grond te kunnen beoordelen is een toetsingskader nodig dat bestaat uit een transportmodel en een toetscriterium. Deze notitie bevat een beknopte verkenning van mogelijke criteria;**
- **Geadviseerd wordt om een methodiek te ontwikkelen waarmee risicogrenzen ter beperking van het uitloogrisico uit grond en bagger na toepassingen kunnen worden afgeleid;**
- **Geadviseerd wordt om op basis van het landsdekkend onderzoek naar PFAS in grondwater na te gaan voor welke concentraties van PFAS in toe te passen grond en bagger (tijdelijke) maatregelen of normen ter bescherming van het grondwater zijn te overwegen.**

1. Aanleiding

Datum

7 januari 2021

Ons kenmerk

Wanneer grond en bagger worden hergebruikt, kunnen daaruit stoffen vrijkomen en uitloggen naar de bodem en het grondwater. De Nederlandse normen voor hergebruik van grond en bagger zijn vastgelegd in de Regeling bodemkwaliteit (Infrastructuur en Milieu, 2018). Deze maximale waarden hebben tot doel om gezondheidsrisico's en risico's voor het ecosysteem als gevolg van hergebruik van grond en bagger te voorkomen. Bij de vaststelling van de hergebruiksnormen is het risico van uitloging van stoffen naar diepere bodemlagen en het grondwater niet beschouwd. De motivering hiervoor is dat stoffen die diffuus in grond en bagger worden aangetroffen doorgaans relatief immobiel zijn (NOBO, 2008).

De hergebruiksnormen voor grond en bagger uit het Tijdelijk Handelingskader PFAS (Ministerie van IenW, 2020) zijn gebaseerd op de bestaande systematiek voor de afleiding van maximale waarden (Dirven et al., 2007) zijn afgeleid. Met het oog op de afwijkende stofeigenschappen¹ van PFAS (Higgins & Luthy, 2006; Prevedouros, Cousins, Buck, & Korzeniowski, 2006) zijn in het Tijdelijk Handelingskader PFAS uit voorzorg de volgende keuzes gemaakt:

- De maximale waarden voor PFOS, PFOA en GenX zijn gebaseerd op de laagste (ecologische) risicogrenzen (doorvergiftiging);
- Voor de aanvullende toepassingscategorie 'Toepassen in grondwaterbeschermingsgebieden' geldt de eis om gebruik te maken van grond en bagger die voldoet aan de gebiedskwaliteit;
- Voor de aanvullende toepassingscategorie 'toepassingen onder grondwaterniveau' dient voldaan te worden aan de achtergrondwaarden voor PFAS.

Naast de onzekerheid over het uitlooggedrag van PFAS, was ook de lopende evaluatie van de gezondheidskundige innamegrenzen door de Europese voedselautoriteit EFSA aanleiding om in het Tijdelijk Handelingskader PFAS niet de reguliere niveaus (beschermdoelen en niveaus) voor de drie functieklassen uit het Besluit bodemkwaliteit aan te houden, maar af te toppen op de laagste risicogrenzen. Verwacht werd dat EFSA lagere innamegrenzen zou vaststellen dan de waarden die tot dan toe gebruikt werden bij de onderbouwing van risicogrenzen voor bodem en grondwater. Inmiddels heeft EFSA haar rapport gepubliceerd (EFSA CONTAM panel, 2020) en is deze verwachting bevestigd.

In de voorgaande versie van het Tijdelijk handelingskader PFAS golden daarnaast restricties voor de toepassing van grond onder water, eveneens gemotiveerd vanuit het potentieel afwijkende uitlooggedrag van PFAS in variërende vaste matrices. Echter, uit vervolgonderzoek van RIVM en

¹ De groep PFAS bestrijkt een veel stoffen met uiteenlopende eigenschappen. Hier wordt verwezen naar enkele eigenschappen die in ieder geval aanwezig zijn bij de meer bekende PFAS die worden aangetroffen in bodem en grondwater. Dit zijn allen organische zuren en oppervlakte-actieve stoffen die in meer of mindere mate persistent zijn in het milieu.

Deltares (Wintersen et al., 2020), bleek dat de beschouwde PFAS niet in grotere mate uitlogen uit grond (toegepast op de droge bodem) dan uit bagger toegepast onder water. Op basis van dit onderzoek is het onderscheid tussen grond en bagger bij toepassen onder oppervlaktewater komen te vervallen in de laatste versie van het Tijdelijk Handelingskader PFAS (Ministerie van IenW, 2020).

Datum

7 januari 2021

Ons kenmerk

Als onderdeel van de totstandkoming van een definitief handelingskader voor PFAS heeft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat het RIVM gevraagd om een advies uit te brengen over de mogelijkheid om voor PFAS aanvullende risicogrenzen voor grond af te leiden, die beschermend zijn voor het grondwater. Door het Projectteam PFAS is verzocht om hierbij rekening te houden met de specifieke fysisch-chemische stofeigenschappen van PFAS, als motivatie voor de afleiding van aanvullende risicogrenzen en het onderscheiden van aanvullende toepassingscategorieën.

Dit advies voor de afleiding van risicogrenzen voor grond en bagger voor de bescherming van de grondwaterkwaliteit is gebaseerd op een literatuurstudie (bijlage) die een overzicht geeft van de relevante wetenschappelijke publicaties op het gebied van sorptie en transport van PFAS door de onverzadigde zone. Daarnaast bevat de studie een verkenning van de mogelijkheid om met bestaande modellen generieke uitloogscenario's voor PFAS in te richten, ten behoeve van de afleiding van risicogrenzen.

2. Resultaten literatuuronderzoek en modelverkenning

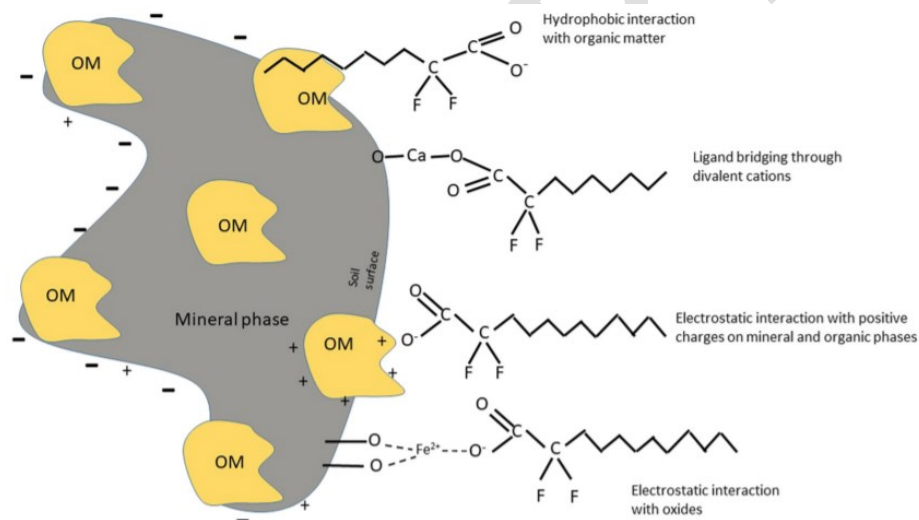
Datum
7 januari 2021

Ons kenmerk

2.1 Sorptie en transport

De bijgevoegde literatuurstudie geeft een overzicht van relevante kennis over sorptie en transport van PFAS. Ten aanzien van sorptie worden in de literatuur een groot aantal factoren geïdentificeerd die van invloed kunnen zijn op de mate van binding van PFAS aan de bodem. en het transport door de bodem. In het literatuuronderzoek zijn deze factoren gecategoriseerd in:

1. Factoren van invloed op sorptie aan vaste fase (figuur 1);
2. Factoren van invloed op sorptie op het raakvlak tussen (porie)lucht en waterfase;
3. Factoren van invloed op omzetting en afbraak.



Figuur 1. Impressie van vaste fase bindingsmechanismen uit: (Li, Oliver, & Kookana, 2018)

Ad.1 Factoren van invloed op adsorptie aan de vaste fase

Uit de literatuurstudie blijkt dat sorptie aan de vaste fase bepaald wordt door een combinatie van factoren. Het gehalte organisch stof in de bodem is daar één van, maar ook andere interacties spelen afhankelijk van de stof en omstandigheden een rol. Het beschrijven van sorptie op basis van simpele evenwichtspartitie (lineair of volgens een Freundlich isotherm) levert in een aantal studies goede relaties op tussen concentraties in de vaste fase en in de waterfase. Dit zijn doorgaans studies die zijn uitgevoerd met relatief hoge concentraties onder gecontroleerde laboratoriumomstandigheden op basis van standaard bodems. Veldonderzoek, zoals dat uitgevoerd door Deltares en het RIVM eerder dit jaar (Wintersen et al., 2020) laat minder eenduidige relaties zien. De sorptiecoëfficiënten (K_d) die uit dergelijke onderzoeken worden afgeleid wijzen op een sterkere sorptie onder veldomstandigheden.

Het literatuuronderzoek geeft een overzicht van K_d -waarden uit uiteenlopende studies. Net als voor andere stoffen (Verschoor et al., 2006) geldt dat gerapporteerde K_d waarden voor individuele PFAS-verbindingen sterk uiteenlopen. De sorptiecoëfficiënten voor met name PFOA zijn relatief laag in vergelijking met andere diffuus voorkomende stoffen (bijvoorbeeld PAK's, PCB's en metalen). Ter illustratie zijn in Tabel 1 de $\log K_d$ waarden uit het CSOIL blootstellingsmodel (Van Breemen P.M.F. et al., 2020) voor diffuus voorkomende stoffen op volgorde van K_d weergegeven. Bij de selectie van sorptiecoëfficiënten ten behoeve van de afleiding van risicogrenzen dient de context van de toetsing. Bijvoorbeeld is het doel om met zekerheid het risico van onaanvaardbare uitloging te willen uitsluiten (lokaal of landelijk) of een inschatting te geven van de potentiële of actuele mate van uitloging? Daarnaast dient het toepassingsbereik (data op basis van labtoetsen of veldexperimenten) van de betreffende K_d waarden in ogenschouw genomen te worden.

Datum
7 januari 2021

Ons kenmerk

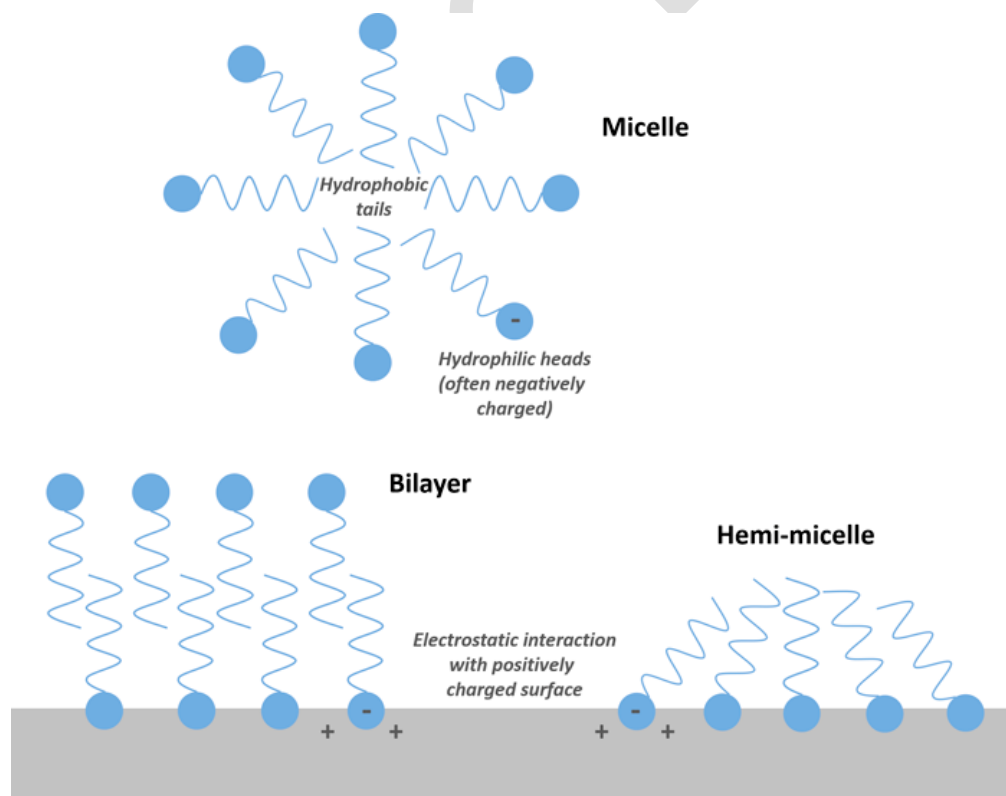
Tabel 1. Sorptiecoëfficiënten (K_d) voor PFOS, PFOA, metalen en PAK in het humane blootstellingsmodel CSOIL. Op volgorde van $\log K_d$ van laag naar hoog.

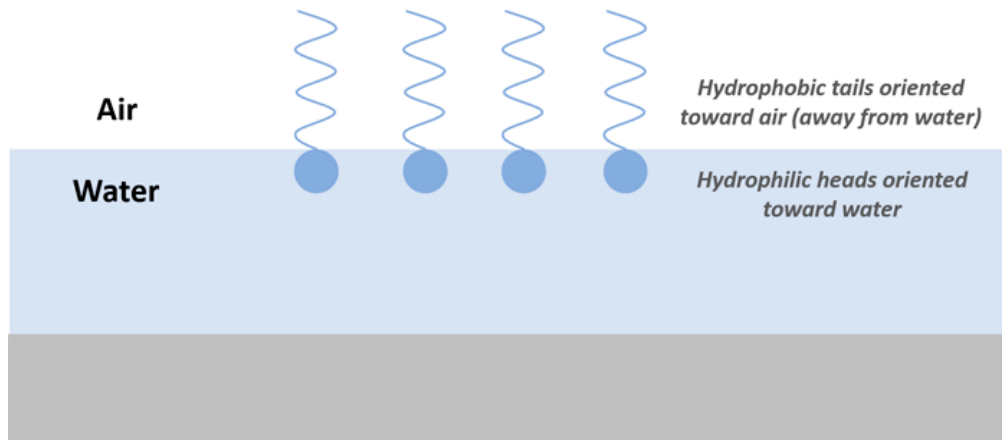
Stofnaam	CAS nummer	Log K_d (l/kg)
Perfluorooctaanzuur (PFOA)	335-67-1	0,82
Perfluorooctansulfonzuur (PFOS)	1763-23-1	1,33
molybdeen	7439-98-7	1,60
naftaleen	91-20-3	1,74
kobalt	7440-48-4	2,08
fenantreen	85-01-8	2,99
antraceen	120-12-7	3,06
nikkel	7440-02-0	3,30
koper	7440-50-8	3,33
barium	7440-39-3	3,40
cadmium	7440-43-9	3,41
zink	7440-66-6	3,41
anorganische kwikverbindingen	7439-97-6	3,88
fluoranteen	206-44-0	3,94
PCB 138	35065-28-2	4,47
chryseen	218-01-9	4,48
benzo[a]antraceen	56-55-3	4,55
lood	7439-92-1	4,56
benzo[a]pyreen	50-32-8	4,58
PCB 77	32598-13-3	4,61
PCB 153	35065-27-1	4,63
PCB 126	57465-28-8	4,70
PCB 180	35065-29-3	4,75
PCB 169	32774-16-6	4,77

indeno[1,2,3-cd]pyreen	193-39-5	4,78	Datum
PCB 105	32598-14-4	4,89	7 januari 2021
benzo[k]fluoranteen	207-08-9	5,00	Ons kenmerk
PCB 157	69782-90-7	5,02	
PCB 156	38380-08-4	5,10	
PCB 118	31508-00-6	5,11	
benzo[g,h,i]peryleen	191-24-2	5,19	

Ad. 2 Factoren van invloed op adsorptie op het raakvlak tussen (porie)lucht en waterfase

Veel PFAS zijn oppervlakte-actieve stoffen (surfactanten, Figuur 2). Deze eigenschap is van invloed op de sorptie van PFAS in relatie tot enerzijds de mate van waterverzadiging van de vaste matrix en anderzijds de totale surfactantconcentratie. Het literatuuronderzoek resulteerde in een overzicht van relevante kennis op dit gebied. Hieruit volgt geen eenduidig beeld van de relatie tussen beide factoren en de sorptie. In het tweede deel van het literatuuronderzoek (modellering van transport) wordt de invloed van de interactie met bodemlucht modelmatig in beeld gebracht. In deze eigenschap verschillen PFAS en andere oppervlakte-actieve stoffen zich ten opzichte van genormeerde organische stoffen die geen oppervlakte-actieve eigenschappen hebben.





Figuur 2. Surfactanteigenschappen PFAS. Van: (ITRC, 2020).

Ad. 3 Factoren van invloed op omzetting en afbraak

Afbraak van PFAS was niet het hoofdonderwerp van de literatuurstudie. Met betrekking tot dit onderzoek wordt geconcludeerd dat de consensus is dat bekende stabiele PFAS als PFOS en PFOA niet afbreken onder natuurlijke omstandigheden. Daarnaast is het van belang om rekening te houden met de aanwezigheid van precursoren van PFOS en PFOA.

2.2 Modelleren van 1D transport (uitloging) van PFAS

Het tweede deel van de literatuurstudie bestaat uit een verkenning van de mogelijkheid om het transport van PFAS door de onverzadigde zone te kunnen modelleren, waarbij rekening wordt gehouden met de voor PFAS specifieke interactie met de bodemluchtfase. Om dit mogelijk te maken wordt uitgegaan van een gegeneraliseerd basisscenario waarin sprake is van een constante infiltratie en een uniform bodemprofiel. In een gevoeligheidsanalyse wordt onderzocht van de invloed is van aanpassingen in de parametrisatie van dit basisscenario. Dit laat zien dat de grote variatie in K_d waarden ook leidt tot de grootste variatie in uitkomsten (in termen van retardatiefactoren en piekconcentraties). Systemenspecifieke factoren die de mate van interactie met de bodemluchtfase beschrijven zijn eveneens van invloed op de resultaten, maar zorgen voor een geringere variatie.

Ten behoeve van de gevoeligheidsanalyse is zoveel mogelijk met representatieve parameterwaarden en concentraties gerekend. We merken echter op dat deze modelbenadering nu nog onvoldoende is uitgewerkt om daaruit in absolute zin uitspraken te ontleen. Voor de validatie van de modelopzet is gebruik gemaakt van het model Hydrus-1D. Van dit model is inmiddels een variant ontwikkeld die specifiek is ingericht om rekening te houden met de interactie tussen de vaste fase en bodemlucht. Een volgende stap kan bestaan uit de toepassing van dit model op één of meer Nederlandse basisscenario's ten behoeve van de afleiding van risicogrenzen.

Datum

7 januari 2021

Ons kenmerk

CONCEPT

3. Advies voor vervolgonderzoek uitloging uit grond en bagger

Datum
7 januari 2021

Ons kenmerk

3.1 Vervolg toetsing uitloogrisico van hergebruikswaarden PFAS

De relatief hoge mobiliteit van een deel van de PFAS-verbindingen in combinatie met relatief lage normen voor grond- en drinkwater vormen aanleiding voor het advies om in een vervolgtraject risicogrenzen in bodem voor de bescherming van grondwater te uit te werken. De hergebruikswaarden voor PFAS ten behoeve van de onderbouwing van Maximale Waarden voor grond en bagger zullen na het nemen van een besluit over de te hanteren gezondheidskundige grenswaarden opnieuw worden vastgesteld. Geadviseerd wordt om volgens de gangbare methodiek (Dirven et al., 2007) voor de afleiding van hergebruikswaarden voor de zeven bodemfuncties en drie bodemfunctieklassen uit de Regeling bodemkwaliteit (Infrastructuur en Milieu, 2018) af te leiden. In aanvulling wordt geadviseerd om deze hergebruikswaarden te toetsen op risico's voor de kwaliteit van het grondwater aan de hand van nieuwe risicogrenzen voor de bescherming van grondwater.

Tabel 2 bevat drie stappen op hoofdlijnen die daarvoor doorlopen dienen te worden. Van deze stappen is de uitwerking van een modelbenadering tenminste deels specifiek voor PFAS in verband met de specifieke stofeigenschappen. De twee overige stappen zijn niet specifiek voor de stofgroep PFAS, maar dienen wel generiek uitgewerkt te worden aangezien de huidige methodiek voor de onderbouwing van maximale waarden voor hergebruik nog niet voorziet in de afleiding van risicogrenzen voor bescherming van grondwater. Hierna worden de stappen in meer detail besproken. De verschillende stappen hoeven niet in volgorde te worden doorlopen, ze kunnen ook parallel aan elkaar worden ingezet.

Tabel 2. Stappen in proces van afleiding risicogrenzen grond ter bescherming van grondwater

Nr	Activiteiten	PFAS specifiek?	Opmerking
1.	Modellering	Ja	Relatie met bouwstoffen, diepe plassen,...
2.	Vaststellen eindpunten in grondwater	Nee	Relatie oppervlaktewater
3.	Randvoorwaarden toetsing uitloging	Nee	Wanneer is toetsing relevant?

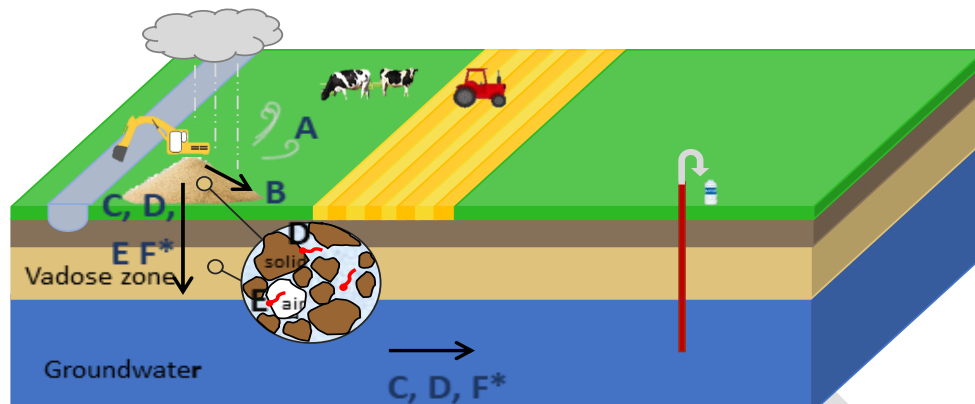
3.2 Stap 1. Uitwerken modelbenadering

De modelbenadering bestaat uit een modelselectie en parametrisatie voor één of meer standaardscenario's. Figuur 4 laat zien hoe een dergelijk scenario kan worden weergegeven in een conceptueel model. De bijgevoegde literatuurstudie bevat een eerste verkenning van deze standaardscenario's. Bij een nadere uitwerking van de scenario's dienen de huidige aanvullende toepassings-eisen te worden beschouwd (toepassen in grondwaterbeschermingsgebieden en toepassen onder grondwaterniveau). Daarnaast zal ook de omvang van toepassingen (laagdikte, oppervlak) onderdeel uitmaken van de scenario's en dient te worden bepaald op welke punten in het grondwater als toetspunt (ook wel

'point of compliance') dienen. Tenslotte kan ook toetsing van beïnvloeding van het oppervlaktewater onderdeel uitmaken van de scenario's.

Datum
7 januari 2021

Ons kenmerk



Figuur 4. Voorbeeld van een conceptueel model van toepassing op landbodembodem en beïnvloeding van grondwater

3.3 Stap 2. Vaststellen eindpunten in grondwater

Onderdeel van de uitwerking van de scenario's is verder dat eindpunten (criteria) in het grondwater worden bepaald. In Tabel 3 worden mogelijke eindpunten in grondwater voor PFAS samengevat. Merk op dat dit een brede lijst van normen en risicogrenzen betreft. In hoeverre een waarde relevant is als eindpunt dient nader bepaald te worden. Daarnaast zullen een deel van de normen uit Tabel 2 mogelijk nog aangepast worden nadat een besluit is genomen over de doorwerking van de nieuwe innamegrenswaarden voor PFAS.

Tabel 3. Mogelijke eindpunten PFAS in grondwater en de daarmee corresponderende concentraties in µg/l

Stof Eindpunt	PFOS	PFOA	GenX	4 PFAS EFSA ¹⁾
MTR _{Reco}	0.023	30	4,2	Nvt
ER _{eco}	1000	7000	16000	Nvt
INEV/IW _{DW} ²⁾	0.2	0.39	0.66	0,020
Richtwaarde drinkwater	-	0,088	0,15	~0,004
Achtergrondwaarde	³⁾	³⁾	³⁾	Nvt
JG-MKN oppervlaktewater	0,65x10 ⁻³	0,048	0,12	-

¹⁾ Betreft (indicatie van) waarde op basis van gezondheidskundige grenswaarde van 4,4 ng/kg lg/d (EFSA, 2020). Deze waarden dienen nog definitief vastgesteld te worden, inclusief een rekenwijze voor de beoordeling van de bijdrage van individuele PFAS

²⁾ Voor PFOS, PFOA en GenX worden nieuwe interventiewaardenniveaus vastgesteld nadat een definitief besluit is genomen over de gezondheidskundige grenswaarde

³⁾ Voor grondwater bestaat er geen vastgestelde methodiek om achtergrondwaarden vast te stellen zoals voor bodem. Het landsdekkend onderzoek levert in 2021 de benodigde informatie op om deze waarden voor PFAS vast te stellen.

3.4 **Stap 3. Vaststellen randvoorwaarden voor toetsing uitloging**

In deze stap dient te worden bepaald onder welke omstandigheden een toetsing op uitloogrisico's relevant en technisch mogelijk is. Hiervoor kan bijvoorbeeld beschouwd worden wat de belasting is van het grondwater als gevolg van een toepassing ten opzichte van de al aanwezige achtergrondconcentratie. Factoren die van invloed zijn op de mate en het effect van uitloging in relatie tot toepassingen zijn onder meer:

- De concentratie in het materiaal;
- De bodemeigenschappen;
- De omvang van de toepassing (volume, laagdikte);
- De afstand tot kwetsbare objecten.

Naar verwachting zullen toepassingen met bodem of bagger waarvan de concentraties en eigenschappen de concentraties en eigenschappen van de liggende bodem benaderen slechts een beperkte invloed hebben op concentraties in het grondwater. Wel kan er sprake zijn van een aanvullende vracht naar het grondwater.

3.5 **Discussie**

PFAS worden overal in overwegend lage concentraties aangetroffen in de bovengrond en het grondwater. Omdat PFAS niet afbreken, zullen deze verbindingen voor langere tijd in het bodem-, grondwater-, waterbodemen oppervlaktewatersysteem verblijven. De belangrijkste maatregelen om verdere belasting van het milieu te voorkomen vinden plaats op het gebied van emissiereductie. Het bodembeheer is erop gericht om actuele risico's door hergebruik van grond en bagger te voorkomen. Voor zover hergebruik betrekking heeft op materiaal dat diffuus belast is, zal de netto grondwaterbelasting als gevolg van hergebruik naar verwachting niet sterk veranderen. Het grondwateronderzoek zal meer informatie opleveren over de diffuse aanwezigheid van PFAS. Het verdient aanbeveling om nader te beschouwen of (mede) op basis hiervan de het relevante toepassingsbereik voor uitloogcriteria kan worden vastgesteld. Op die manier kunnen aanvullende eisen voor PFAS in de vorm van toepassingseisen of risicogrenzen gericht worden ingezet op het voorkomen van nieuwe actuele risico's als gevolg van het hergebruik van materiaal met tot boven diffuus verhoogde concentraties.

Datum
7 januari 2021

Ons kenmerk

4. Literatuur

Datum

7 januari 2021

Ons kenmerk

- Dirven, E., Lijzen, J., Otte, P., Vlaardingen, P. v., Spijker, J., Verbruggen, E., . . . Rutgers, M. (2007). *Landelijke referentiewaarden ter onderbouwing van maximale waarden in het bodembeleid*. Retrieved from <https://www.rivm.nl/publicaties/landelijke-referentiewaarden-ter-onderbouwing-van-maximale-waarden-in-bodembeleid>
- EFSA CONTAM panel. (2020). *Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food* (EFSA Journal 2020;18(9):6223). Retrieved from <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6223>
- Higgins, C. P., & Luthy, R. G. (2006). Sorption of perfluorinated surfactants on sediments. *Environ Sci Technol*, 40(23), 7251-7256. doi:10.1021/es061000n
- Infrastructuur en Milieu. (2018). *Regeling Bodemkwaliteit*. Retrieved from <https://wetten.overheid.nl/BWBR0023085/2018-11-30>
- ITRC. (2020). 5 Environmental Fate and Transport Processes (Interstate Technology & Regulatory Council). Retrieved from <https://pfas-1.itrcweb.org/5-environmental-fate-and-transport-processes/>
- Li, Y., Oliver, D. P., & Kookana, R. S. (2018). A critical analysis of published data to discern the role of soil and sediment properties in determining sorption of per and polyfluoroalkyl substances (PFASs). *Science of The Total Environment*, 628-629, 110-120. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.01.167
- Ministerie van IenW. (2020). *Tijdelijk handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond en baggerspecie. Bijlage bij kamerbrief 1 juli 2020*. Retrieved from <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/07/03/bijlage-geactualiseerd-tijdelijk-handelingskader>
- NOBO. (2008). *Normstelling en bodemkwaliteitsbeoordeling, onderbouwing en beleidsmatige keuzes voor bodemnormen in 2005, 2006 en 2007*. Ministerie van VROM, publicatie 8395. Retrieved from https://www.bodemplus.nl/publish/pages/91751/rapportage_nobo_normstelling_en_bodemkwaliteitsbeoordeling_24_263999.pdf
- Prevedouros, K., Cousins, I. T., Buck, R. C., & Korzeniowski, S. H. (2006). Sources, Fate and Transport of Perfluorocarboxylates. *Environmental Science & Technology*, 40(1), 32-44. doi:10.1021/es0512475
- Van Breemen P.M.F. , Quick, J., Brand, E., Otte, P. F., Wintersen, A. M., & Swartjes, F. A. (2020). *CSOIL 2020: Exposure model for human health risk assessment through contaminated soil*. Technical description. Retrieved from <https://www.rivm.nl/publicaties/csoil-2020-exposure-model-for-human-health-risk-assessment-through-contaminated-soil>
- Verschoor, A., JPA, L., HH, v. d. B., RFMJ, C., RNJ, C., JJ, D., & PHM, V. (2006). *Kritische emissiewaarden voor bouwstoffen. Milieuhygienische onderbouwing en consequenties voor*

bouwmaterialen. Retrieved from
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701043.html>
Wintersen, A., Osté, L., Meiracker, R. v. d., Breemen, P. v., Roskam, G., &
Spijker, J. (2020). *Vershil in uitloging van PFAS uit grond en
bagger* (2020-0102). Retrieved from

Datum
7 januari 2021

Ons kenmerk

CONCEPT