



Ministerie van IenW

Overzicht van risicogrenzen voor PFOS, PFOA en GenX ten behoeve van een tijdelijk handelingskader voor het toepassen van grond en baggerspecie op of in de landbodem

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

KvK Utrecht 30276683

T 030 274 91 11
info@rivm.nl

Datum

4 maart 2019

Ons kenmerk

067/2019 DMG/BL/AW

Auteurs

Arjen Wintersen
Piet Otte

© RIVM 2019

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat projectnummer M/270110/19/PF

memo

Samenvatting

In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft het RIVM risicogrenzen afgeleid voor perfluorooctaanzuur (PFOA), perfluorooctaansulfonaat (PFOS) en HFPO-DA (hierna genoemd GenX) voor grond en grondwater. Op basis van deze risicogrenzen kunnen Maximale Waarden voor hergebruik van grond en bagger worden vastgesteld.

Bovendien kan op basis van deze risicogrenzen worden bepaald of de actuele kwaliteit van de bodem een risico vormt voor mens en milieu.

Uit de afgeleide risicogrenzen blijkt dat bij de huidige concentratieniveaus van de PFAS verbindingen in de bodem gezondheidsrisico's en directe ecologische risico's doorgaans¹ niet aan de orde zijn. De problematiek ligt voornamelijk in de indirecte risico's van doorvergiftiging en verspreiding van PFAS naar het grondwater.

Voor de korte termijn dient ingezet te worden op een tijdelijk kader dat zoveel mogelijk verspreiding van grond en bagger uit gebieden met hogere concentraties naar gebieden met lagere concentraties voorkomt (stand still) en beschermend is voor kwetsbare objecten. Samen met de risicogrenzen uit deze notitie vormt dit de basis voor de toetsing van de toepassing van grond en bagger.

Er zijn risicogrenzen afgeleid voor drie bodemfunctieklassen: landbouw/natuur/moestuinen, wonen en industrie. Voor de onderliggende bodemfuncties zijn risicogrenzen humaan (gezondheid) en ecologie (directe toxiciteit en voor doorvergiftiging) afgeleid. Voor de bepaling van de Maximale Waarden worden de risicogrenzen samengenomen, waarbij de laagste risicogrens bepalend is voor de hoogte van de Maximale Waarde (zie tabel) voor de betreffende bodemfunctieklassen.

Voor alle bodemfunctieklassen blijkt dat de risicogrens voor doorvergiftiging (ecologie) bepalend is voor de hoogte van de Maximale Waarden. Dit komt doordat PFOS, PFOA en GenX mobiel zijn en in meer of mindere mate accumuleren in hogere organismen.

¹ op basis van de nu bekende gemiddelde en mediane concentraties in bagger en grond

Beschikbare² risicogrenzen voor drie bodemfunctieklassen t.b.v. de vaststelling van Maximale Waarden voor toepassen van grond of baggerspecie op of in de landbodem in $\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{ds}}$

| Functieklasse/stof | PFOS | PFOA | GenX |
|--------------------|------|-------|------|
| Landbouw/natuur | 3,0 | 7,0 | 3,0 |
| Wonen | 18 | 89 | 54 |
| Industrie | 110 | 1.100 | 960 |

Datum

4 maart 2019

Ons kenmerk

067/2019 DMG/BL/AW

Voor het grondverzet op basis van de afgeleide risicogrenzen gelden de volgende noties:

1. Bovenstaande waarden kunnen worden toegepast voor een tijdelijk handelingskader voor hergebruik van grond en bagger op of in landbodems;
2. Voor de toetsing van het verspreiden van bagger op aangrenzende percelen (de 'ms-PAF'-toets) wordt in deze notitie een optie geschetst;
3. Deze notitie gaat niet over het toepassen van grond en bagger onder oppervlaktewater. Een verkenning van een handelingskader voor deze toepassingen wordt momenteel uitgevoerd;
4. In de regelgeving voor het grondverzet en hergebruik van grond zijn uitsluitend verontreinigingen met immobiele stoffen genormeerd. PFOS, PFOA en GenX zijn echter mobiele stoffen. Daarom wordt voor de bescherming van het (grond)water geadviseerd om het stand still principe aan te scherpen;
5. Het beschermingsdoel doorvergiftiging (ecologie) is in de huidige regelgeving niet voor alle bodemfuncties geoperationaliseerd. Omdat het hier om stoffen gaat die in meer of mindere mate persistent zijn en accumuleren, wordt geadviseerd hier wel invulling aan te geven zoals ook voor de risicogrenzen voor oppervlaktewater is gedaan;
6. Voor de risicogrenzen is aangesloten bij de beschermingsniveaus die ten grondslag liggen aan de normen van de Wbb en in het bijzonder de Regeling Bodemkwaliteit (zie NOBO 2008);
7. Een voorstel voor een definitief handelingskader voor PFOS, PFOA en GenX wordt verder voorbereid. Hiertoe worden nog risicogrenzen voor de landbouw en de bescherming van het grondwater afgeleid.

² Risicogrenzen voor uitspoeling en landbouw worden in een later stadium afgeleid

1. Inleiding en doelstelling

Datum

4 maart 2019

Ons kenmerk

067/2019 DMG/BL/AW

1.1 Aanleiding

In deze notitie worden de risicogrenzen gepresenteerd die de basis vormen voor de vaststelling van Maximale Waarden voor hergebruik van grond en bagger voor PFOS, PFOA en GenX. Deze stoffen behoren tot de groep poly- en perfluoralkylverbindingen. Poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS) worden behalve in lucht en water ook aangetroffen in bodem, sediment en grondwater. Dit leidt tot problemen met de afzet van vrijkomende grond en bagger. Omdat deze stoffen niet genormeerd zijn, ontbreekt een toetsingskader voor het bevoegd gezag.

In deze notitie wordt met de term GenX verwezen naar de stoffen HFPO-DA (2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluoropropoxy)propaanzuur (FRD903) en het ammoniumzout ammonium 2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluoropropoxy)propanoaat (FRD-902) die vrijkomen bij het GenX proces.

1.2 Kader voor toepassen van grond en bagger op of in de bodem (droge toepassing)

In de Regeling Bodemkwaliteit worden de Maximale Waarden gegeven voor het toepassen van grond of baggerspecie op of in de landbodem, voor de bodem waarop grond of bagger wordt toegepast en voor verspreiden van baggerspecie op het aangrenzende perceel. Door een toetsing aan de Maximale Waarden kan worden bepaald of, en onder welke voorwaarden, grond of bagger mag worden toegepast.

In het Besluit en de regeling bodemkwaliteit zijn ook kaders gegeven voor het gebruik van grond en baggerspecie op of in het oppervlaktewater, het verspreiden van baggerspecie in oppervlaktewater en grootschalige bodemtoepassingen. De risicogrenzen uit dit rapport zijn niet bruikbaar voor deze toepassingen, omdat voor die toepassingen andere uitgangspunten gelden dan voor het toepassen op de landbodem.

Voor de onderbouwing van Maximale Waarden voor PFOS, PFOA en GenX wordt vastgehouden aan de beschermingsdoelen en de beschermingsniveaus van de Wet Bodembescherming: de gezondheid van de mens, het ecologisch functioneren, de landbouwproductie en de kwaliteit van het grondwater (spoor 1, figuur 1).

De verantwoording van de normwaarden uit de Regeling Bodemkwaliteit inclusief de vastgestelde beschermingsdoelen en -niveaus staat uitvoerig beschreven in het NOBO rapport (2008).

Voor PFOS, PFOA en GenX zijn voor de volgende bodemfunctieklassen risicogrenzen afgeleid:

- Landbouw, natuur en moestuinen,
- Wonen,
- Industrie.

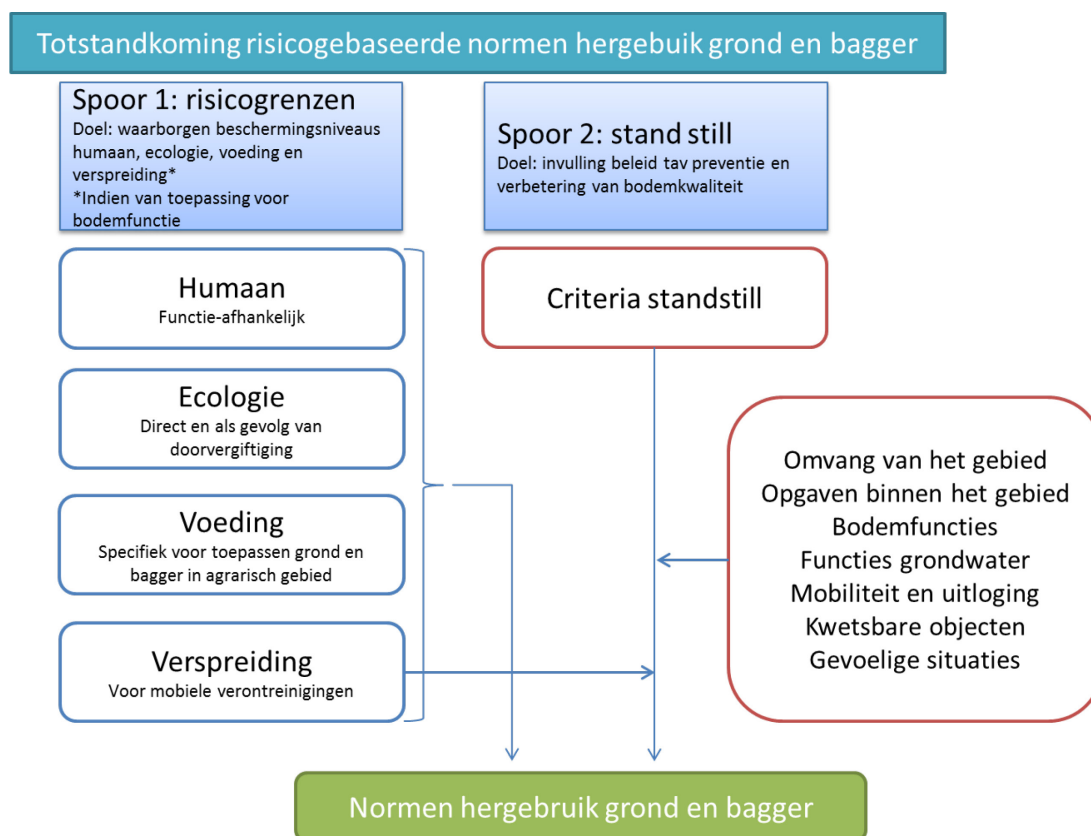
Om problemen door verspreiding naar het grondwater te voorkomen, zijn in de Regeling Bodemkwaliteit alleen Maximale Waarden vastgesteld voor stoffen die als relatief immobiel worden beschouwd. PFOS, PFOA en GenX zijn echter mobiel en persistent. Daarom is ook onderzocht of er bij toepassing van grond en bagger met deze stoffen erin aanvullende voorwaarden moeten worden gesteld. Dit kan worden gedaan door nadere invulling te geven aan het stand still principe (spoor 2, figuur 1) en door voor alle bodemfuncties de ecologische risico's ten gevolge van doorvergiftiging mee te laten wegen.

Datum
4 maart 2019

Ons kenmerk
067/2019 DMG/BL/AW

Figuur 1 geeft een overzicht van de beschermingsdoelen die bepalend zijn voor de afleiding van risicogrenzen.

Figuur 1. Normen voor hergebruik: risicogebaseerd en criteria voor stand still



1.3 Bodemfuncties en bodemfunctieklassen

In NOBO (2008) zijn beschermingsdoelen en –niveaus vastgelegd voor zeven bodemfuncties. Ten behoeve van het generieke beleid voor hergebruik van grond zijn deze functies geclusterd in drie bodemfunctieklassen: 'Achtergrondwaarden', Wonen en Industrie. Deze clustering heeft plaatsgevonden op basis van deels getalsmatige overeenkomsten tussen de normen voor individuele functies en deels op basis van beleidsmatige overwegingen.

De beschermingsdoelen en –niveaus uit de Regeling bodemkwaliteit (NOBO, 2008) voor de *zeven bodemfuncties* vormen in deze notitie het vertrekpunt voor de afleiding van Maximale Waarden. Een eventuele clustering tot functieklassen vindt pas op het eind plaats en gebeurt op basis van beschikbaarheid van gegevens en overeenkomsten tussen de bodemfuncties.

Datum

4 maart 2019

Ons kenmerk

067/2019 DMG/BL/AW

1.4 Toepassing van grond en baggerspecie in oppervlaktewater en voor de bodem onder oppervlaktewater waarop grond of baggerspecie wordt toegepast (natte toepassing)

Voor het toepassen van bagger op waterbodems is er een indeling in twee klassen: Maximale Waarden kwaliteitsklasse A en B. De Maximale Waarde kwaliteitsklasse A is gebaseerd op het herverontreinigingsniveau over de periode 1996-2005 en geldt tevens als Maximale Waarde voor het verspreiden van baggerspecie in zoet oppervlaktewater.

De Maximale Waarde kwaliteitsklasse B is gebaseerd op de waterbodemkwaliteit in diffuus verontreinigde gebieden en op de Interventiewaarden zoals die golden voor 2008. Deze norm geldt tevens als Interventiewaarde waterbodem (NOBO, 2008).

In deze notitie worden geen waarden gegeven op basis waarvan Maximale Waarden klasse A en klasse B kunnen worden vastgesteld voor het toepassen van grond en baggerspecie in oppervlaktewater en voor de bodem onder oppervlaktewater waarop grond of baggerspecie wordt toegepast. Hiertoe dient eerst nog nader onderzoek gedaan te worden naar de herverontreinigingsniveaus en de gehalten van PFOS, PFOA en GenX in de waterbodems van de grote rivieren.

Tenslotte bestaat er een separaat kader voor het toepassen van bagger en grond in diepe plassen. Op dit moment wordt onderzocht of en hoe dit kader kan worden uitgebreid met PFAS.

Bovengenoemde onderwerpen worden ten aanzien van PFAS nader uitgewerkt door Deltares in een quick-scan met als doel het in kaart brengen van de mogelijkheden en kennishiaten voor normering op de middellange en lange termijn.

2. Afleiding risicogrenzen

Datum
4 maart 2019

Ons kenmerk
067/2019 DMG/BL/AW

2.1 Humaan (gezondheid)

De risicogrens humaan is afgeleid voor de bodemfuncties landbouw, natuur, wonen en industrie. Het beschermingsniveau voor de mens is conform de doelstelling van de Wet bodembescherming (Wbb) en het besluit- en de regeling bodemkwaliteit. De methodiek voor de afleiding van de risicogrenswaarden is beschreven in het NOBO rapport (2008). PFOS, PFOA en GenX zijn sterk dissociërende organische zuren. Deze stoffen gedragen zich in het bodem-watersysteem anders dan niet dissociërende en apolaire organische stoffen. Het blootstellingsmodel CSOIL is daarom aangepast op basis van het specifieke gedrag in het bodem-watersysteem van deze stoffen, waarna het is gebruikt voor de modellering van de blootstelling. Waar mogelijk wordt voor schattingen van sorptie en opname door gewassen gebruik gemaakt van meetgegevens.

Het humane beschermingsdoel en -niveau zijn voor alle bodemfuncties gelijk. Het verschil in risicogrenzen wordt veroorzaakt door de intensiteit van het bodemgebruik en de daarmee samenhangende blootstelling van de mens. Bijvoorbeeld, voor de functie wonen is de blootstelling van de mens hoger dan voor de functie industrie. Dit leidt tot een strengere (lagere) risicogrens voor wonen.

De risicogrens humaan is gebaseerd op het toxicologisch Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau voor de mens en de blootstelling door het gebruik van de bodem voor de functies Natuur/Landbouw, Wonen met tuin, Wonen met moestuin en Industrie.

Tabel 3.1. Toxicologisch Maximaal Toelaatbaar Risiconiveaus voor de mens

| Stof | GRW voor inname in $\mu\text{g}/\text{kg}$ lichaamsgewicht per dag | Referentie |
|-------|--|-----------------------|
| PFOS: | 0,00625 | Zeilmaker et al. 2018 |
| PFOA: | 0,0125 | Zeilmaker et al. 2016 |
| GenX: | 0,021 | Zeilmaker et al. 2016 |

De Gezondheidskundige Richtwaarden (GRW) voor inname uit tabel 3.1 vormen het startpunt voor de berekening van de risicogrenzen in bodem. Deze waarden geven aan welke blootstelling, uitgedrukt in $\mu\text{g}/\text{kg}$ lichaamsgewicht/dag, bij levenslange blootstelling veilig wordt geacht voor mensen. Eind 2018 is door de Europese Autoriteit voor voedselveiligheid (EFSA) een voorlopige opinie over PFOS en PFOA uitgebracht. RIVM en enkele andere Europese wetenschappelijke instituten hebben inhoudelijke bezwaren kenbaar gemaakt tegen de evaluatie door EFSA. Voor de afleiding van risicogrenzen in bodem in dit rapport is daarom besloten om gebruik te maken van de 'health based guidance values' voor PFOA en GenX uit Zeilmaker et al. (2016) en een GRW voor inname gebaseerd op de Relative Potency Factor (RPF) voor PFOS uit Zeilmaker et al. (2018).

In tabel 3.2 worden de berekende risicogrenzen humaan voor de functies landbouw/natuur, wonen met moestuin, wonen en industrie gegeven.

Tabel 3.2. Risicogrenzen humaan voor de bodem functies landbouw/natuur, wonen met moestuin, wonen en industrie.

Datum
4 maart 2019

| Landbouw/Natuur | Wonen met moestuin | Wonen | Industrie |
|--|---|--|--|
| Ander groen/recreatie | Moestuinen (veel contact en veel gewasconsumptie) | Wonen met tuin (veel contact, beperkte gewasconsumptie) | Recreatie (geen gewasconsumptie, beperkt bodemcontact) |
| PFOS: 19.000 µg/kg _{ds} PFOA: 37.000 µg/kg _{ds} GenX: 25.000 µg/kg _{ds} | PFOS: 92 µg/kg _{ds} PFOA: 86 µg/kg _{ds} GenX: 8 µg/kg _{ds} | PFOS: 1.200 µg/kg _{ds} PFOA: 1.100 µg/kg _{ds} GenX: 97 µg/kg _{ds} | PFOS: 18.800 µg/kg _{ds} PFOA: 36.500 µg/kg _{ds} GenX: 25.000 µg/kg _{ds} |

Ons kenmerk
067/2019 DMG/BL/AW

De risicogrenzen humaan geven het niveau aan waaronder, bij levenslange blootstelling, geen sprake is van onaanvaardbare gezondheidsrisico's.

2.2 Ecologie

Om ecologische risicogrenzen af te leiden voor PFOS, PFOA en GenX zijn literatuuronderzoeken uitgevoerd. Voor PFOA is dat in 2018 gebeurd (Lijzen et al., 2018). De literatuurevaluatie voor PFOS is een update van een eerdere evaluatie (Bodar et al. 2011). Lijzen et al. (2018) hebben voor PFOA risicogrenzen voor grond afgeleid op basis van directe toxiciteit en voor doorvergiftiging (indirecte toxiciteit).

Uit deze studies en uit de evaluaties voor oppervlaktewater blijkt dat voor PFAS de directe ecotoxiciteit relatief laag is en de ecologische risico's ten gevolge van doorvergiftiging relatief hoog zijn.

Directe ecotoxiciteit

Voor PFOA zijn acute ecotoxicologische gegevens voor drie trofische niveau's, aangevuld met (chronische) NOEC- of EC₁₀-waarden voor twee trofische niveau's. In dit geval wordt het ER_{eco} berekend als het geometrisch gemiddelde van de chronische waarden (Van Vlaardingen en Verbruggen, 2007). Het ER_{eco} is op basis daarvan **50.000 µg/kg_{ds}** droge grond.

Bij deze combinatie van data wordt het MTR voor bodem (MTR_{eco}) volgens de handreiking van Van Vlaardingen en Verbruggen (2007) afgeleid door een veiligheidsfactor (extrapolatiefactor) van 50 toe te passen op de laagste waarde (25 mg/kg ds). Dit levert een MTR_{eco} (HC5 niveau) van 25 / 50 = **500 µg/kg_{ds}** droge grond.

Het ecologische middenniveau, dat wordt gebruikt voor het afleiden van maximale waarden in het bodembeheer, is het geometrisch gemiddelde van het MTR_{eco} en het ER_{eco}. Dit bedraagt **5.000 µg/kg_{ds}** droge grond.

De herevaluatie van de directe ecotoxiciteit van PFOS levert een ER_{eco,direct} op van **9.100 µg/kg_{ds}** en een MTR_{eco,direct} van **16 µg/kg_{ds}**. Het middenniveau voor directe toxiciteit bedraagt **380 µg/kg_{ds}**.

De directe ecotoxiciteit van GenX op bodemorganismen kon niet worden bepaald door gebrek aan gegevens.

Wel bleek dat directe toxiciteit van GenX in grondwater voor aquatische organismen beperkt is met een MTR_{grw, eco} van 4,2 µg/L, en een ER_{grw, eco} van 15.780 µg/L.

Doorvergiftiging (indirecte ecotoxiciteit)

In Lijzen et al. 2018 worden voor doorvergiftiging van PFOA de volgende risicogrenzen gerapporteerd: **7,0 µg/kg_{ds}** voor het MTR_{eco} en **1100 µg/kg_{ds}** voor het ER_{eco}.

Datum

4 maart 2019

Ons kenmerk

067/2019 DMG/BL/AW

De herevaluatie van de indirecte ecotoxiciteit van PFOS levert een MTR_{eco,dv} op van **3,0 µg/kg_{ds}** en een ER_{eco,dv} van **110 µg/kg_{ds}**. Het middenniveau voor indirecte toxiciteit bedraagt **18 µg/kg_{ds}**.

Het afleiden van ecologische grenswaarden voor GenX voor doorvergiftiging via regenwormen en planten was alleen mogelijk door biomagnificatiegegevens van PFOA te gebruiken. Het is bekend dat PFOA een langere verblijftijd heeft dan GenX in proefdieren, en de berekende ecologische risicogrenzen voor indirecte toxiciteit voor GenX moeten dan ook gezien worden als worst-case. De laagste waarden werden verkregen in de plant voedselketen met een indicatieve MTR-eco voor GenX voor grond van **3,0 µg/kg_{ds}** en het indicatieve ER wordt **960 µg/kg_{ds}**. Het middenniveau bedraagt **54 µg/kg_{ds}**.

2.3 Mobiliteit en invulling van 'stand still'

Uit diverse publicaties blijkt dat de mobiliteit van PFAS (PFOS, PFOA en GenX) in het bodem watersysteem hoog is. Deze stoffen zijn al gemeten in oppervlakte- en grondwater.

Om problemen door verspreiding naar het grondwater te voorkomen, zijn in de Regeling Bodemkwaliteit alleen Maximale Waarden vastgesteld voor stoffen die als relatief immobiel worden beschouwd.

Voor mobiele stoffen (NOBO, 2008) zijn de maximale waarden voor de functieklassen wonen gelijk gesteld aan de achtergrondwaarde. De hoogte van de achtergrondwaarden (in onbelaste gebieden) van PFOS, PFOA en GenX is echter niet vastgesteld.

De maximale waarde bodemfunctieklassen industrie is voor mobiele stoffen gebaseerd op de voormalige SW2-waarde (Samenstellingwaarden voor niet schone grond) welke is gelimiteerd op de Interventiewaarde.

Uit bovenstaande volgt dat, voor de functieklassen Wonen de waarde gelijk is aan de achtergrondwaarde of, bij het ontbreken daarvan, aan de aantoonbaarheidsgrens. Dit blijkt voor de normstelling van PFOS, PFOA en GenX geen praktische benadering. De aantoonbaarheidsgrens heeft geen relatie met risico's en zal in gebieden met diffuse verontreinigingen op veel plaatsen overschreden worden. Het handelingsperspectief op basis van normering ter hoogte van de aantoonbaarheidsgrens is daarmee zeer beperkt.

Om tot een praktisch handelingskader te komen worden daarom drie adviezen gegeven:

- a) Met aanvullend onderzoek dient te worden beoordeeld bij welke vracht (de combinatie van hoeveelheid opgebrachte grond en het gehalte aan verontreiniging) er sprake kan zijn van onaanvaardbare beïnvloeding van de (grond)water kwaliteit.

- b) Om op korte termijn tot een voorstel voor een praktisch uitvoerbaar en toch veilig handelingskader te komen wordt voorgesteld het stand still principe voor PFOA, PFOS en GenX aan te scherpen.
- c) Op termijn dient onderzocht te worden of voor deze stoffen landelijke achtergrondwaarden afgeleid kunnen worden in relatief onbelaste en ongeroerde gebieden die kunnen dienen als ondergrens ('altijd grens') voor toepassen van grond en bagger op of in de landbodem. Vooruitlopend hierop kunnen decentrale overheden het initiatief nemen om voor één of meer beheergebieden regionale achtergrondwaarden vast te stellen.

Datum
4 maart 2019

Ons kenmerk
067/2019 DMG/BL/AW

Het Ministerie werkt aan een voorstel om toepassing van verontreinigde grond alleen binnen het beheergebied te laten plaatsvinden. Toegepaste grond moet afkomstig zijn vanuit het gedefinieerde beheergebied en zowel de ontvangende bodem als de toe te passen grond/bagger moet op PFAS worden onderzocht, waarbij de concentratie PFAS in de toe te passen grond/bagger niet hoger mag zijn dan in de ontvangende bodem. Dit voorstel zal aan de decentrale bevoegde gezagen ter bespreking voorgelegd worden.

2.4 Risico's voor landbouw en voedselproductie

Het RIVM werkt in opdracht van Hoogheemraadschap Rijnland in samenwerking met de Wageningen Universiteit aan de afleiding van generiek toepasbare kritische concentraties van PFOS en PFOA in grond op basis van een inschatting van de blootstelling door consumptie van landbouwproducten (plantaardig en dierlijk). De systematiek is vergelijkbaar met die van de afleiding van LAC-waarden (Römkens et al. 2006). Om het ontbreken van productnormen te ondervangen, is gekozen voor de berekening van kritische gehalten in landbouwproducten op basis van gegevens over consumptiehoeveelheden en gezondheidskundige richtwaarden voor inname. De resultaten van dit traject worden in de loop van 2019 verwacht en kunnen worden toegepast voor het definitieve handelingskader voor hergebruik van grond en bagger.

3. Toepassingskader voor hergebruik van grond en bagger op de droge bodem (droge toepassing)

Datum
4 maart 2019

Ons kenmerk
067/2019 DMG/BL/AW

3.1 Normenkader

Het huidige wettelijke normenkader voor grondverzet en ten behoeve van beslissingen over sanering bestaat uit:

- Bodemfunctieklasse Landbouw/natuur ('Achtergrondwaarden');
- Bodemfunctieklasse Wonen;
- Bodemfunctieklasse Industrie;
- De Interventiewaarde bodem.

Op dit moment moet worden vastgesteld dat het niet mogelijk is waarden voor een landelijk normenkader af te leiden met een robuuste wetenschappelijke onderbouwing, zoals gedaan is voor de normwaarden die zijn opgenomen in de Regeling Bodemkwaliteit en de Circulaire Bodemsanering.

De reden is dat voor de voorliggende stoffen er nog onvoldoende informatie en wetenschappelijke kennis is over het gedrag van deze stoffen in het Nederlandse bodem-watersysteem en dat data m.b.t. de opname door biota (gewassen en bioaccumulatie) ontbreekt, kwalitatief onvoldoende is of geen landelijke dekking heeft. Complicerende factor is dat deze stoffen mobiel zijn.

Volgens de systematiek die ten grondslag ligt aan de normwaarden van de Regeling Bodemkwaliteit wordt onderscheid gemaakt tussen immobiele en mobiele stoffen.

Voor mobiele stoffen betekent dit dat, volgens de Regeling Bodemkwaliteit, de risicogrenzen voor Landbouw/natuur en voor Wonen gebaseerd zijn op de achtergrondwaarden of (bij ontbreken daarvan) de aantoonbaarheidsgrens. De risicogrenzen voor Industrie en de Interventiewaarde bodem zijn wel gebaseerd op risico's voor mens en ecoysteem.

Met de keuze voor de aantoonbaarheidsgrens als norm voor Landbouw/natuur en Wonen ontstaan er knelpunten bij het toepassen van licht verontreinigde grond en bagger. Een alternatief voor de huidige systematiek voor de afleiding van normen voor hergebruik voor dit type stoffen, is toepassen van de risicobenadering ook voor Landbouw/natuur en Wonen, waarbij aandacht wordt besteed aan het verspreidingsrisico en doorvergiftiging.

Voor de bodemfunctieklassen genoemd in onderdeel 1.2 worden hierna de opties voor landelijke normen uitgewerkt wanneer de huidige systematiek wordt gevolgd en wanneer uitgegaan wordt van een risicobenadering die rekening houdt met de specifieke eigenschappen van PFAS.

3.2 Bodemfuncties landbouw, natuur en moestuinen (bodemfunctieklasse 'Achtergrondwaarden' in Regeling bodemkwaliteit)

Datum
4 maart 2019

Ons kenmerk
067/2019 DMG/BL/AW

Probleemstelling

De maximale waarde voor de functies landbouw, natuur en moestuinen is in de regeling Bodemkwaliteit gelijk gesteld aan de achtergrondwaarde. De achtergrondwaarden zijn concentraties van verontreinigingen in onverdachte landbouw- en natuurgebieden. De waarde is de P95 van de gemeten concentraties in de bovenste 10 cm (zie verder AW2000, Lamé et al. 2004).

Indien er geen betrouwbare P95-waarde kan worden afgeleid wordt de achtergrondwaarde gebaseerd op de bepalingsgrens, zijnde drie maal de aantoonbaarheidsgrens.

De achtergrondwaarde markeert de grens tussen onverdacht (verspreidbaar) en 'licht verontreinigd'.

Opties

1. Norm vaststellen op bepalingsgrens

De bepalingsgrens is het gehalte van een stof in de bodem die als kwantificeerbaar wordt beschouwd. Voor de Regeling bodemkwaliteit is de bepalingsgrens gelijk gesteld aan driemaal de aantoonbaarheidsgrens (oftewel de detectiegrens).

De bepalingsgrens is daarmee een waarde die niet op risico's is gebaseerd. De normwaarden voor PFOS, PFOA en GenX gebaseerd op de bepalingsgrens is in diffuse verontreinigingssituaties waarschijnlijk niet praktisch uitvoerbaar. Getalsmatig liggen de huidige bepalingsgrenzen aanzienlijk lager ($<0,1 \mu\text{g}/\text{kg}$) dan de concentraties die op dit moment over het algemeen in diffuus verontreinigde gebieden worden aangetroffen (1-4 $\mu\text{g}/\text{kg}$, Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied, 2019). Het is mogelijk om beleidsmatig een normwaarde vast te stellen die hoger is dan de bepalingsgrens, maar dan is de vraag waar deze op gebaseerd moet worden. In optie 2 wordt dit verder uitgewerkt.

2. Risicobenadering Landbouw, natuur en moestuinen(advies)

De normwaarden voor Landbouw en Natuur kunnen ook worden afgeleid op basis van een risicobenadering, waarbij gebruik gemaakt wordt van beschikbare en nog af te leiden risicogrenzen op de niveaus conform NOBO, 2008. Tabel 4.1 geeft aan uit welke beschermingsniveaus (=risicogrenzen) de normen voor de functies Landbouw, natuur en moestuinen (kunnen) bestaan:

Tabel 4.1. Beschermingsniveaus voor functies Landbouw en Natuur

| Risicogrens /functie | Landbouw | Natuur | Moestuinen |
|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Ecologie _{direct} | Gemiddeld ('middenniveau') | Hoog (MTR _{eco}) | Gemiddeld ('middenniveau') |
| Ecologie _{indirect} | Gemiddeld ('middenniveau') | Hoog (MTR _{eco}) | Gemiddeld ('middenniveau') |
| Humaan | Standaardscenario (Wonen) | Ander groen/recreatie | Intensief |
| Landbouw | Landbouwriscogrens | - | - |
| Uitspoeling | Risicogrens uitspoeling | Risicogrens uitspoeling | Risicogrens uitspoeling |

Datum

4 maart 2019

Ons kenmerk

067/2019 DMG/BL/AW

De mogelijkheid bestaat om de bodemfuncties landbouw en natuur niet te clusteren tot één functieklassse. Hiermee wordt een op risico's gebaseerde methodiek gehanteerd die enerzijds dicht bij de bestaande praktijk (op basis van NOBO) blijft en anderzijds recht doet aan de specifieke blootstellingsscenario's van beide functies. Hierbij dient wel aandacht besteed te worden aan de nauwe samenhang van deze functies in de praktijk (bijvoorbeeld landbouwareaal dat een natuurfunctie krijgt). In NOBO (2008) zijn voor alle bodemfuncties de beschermingsniveaus voor directe ecotoxiciteit en indirecte ecotoxiciteit gelijkgeschakeld. Voor de bodemfunctie landbouw wordt hierover het volgende gezegd:

Hoogte ecologisch beschermingsniveau

De indeling in de bodemfuncties Natuur, Groen met natuurwaarden en Ander groen, bebouwing, infrastructuur en industrie is door NOBO gemaakt om een keuzemogelijkheid te bieden tussen gebieden met een hoge, gemiddelde en lage ecologische waarde. De bijbehorende beschermingsniveaus voor de generieke ecologische risico's zijn dan de Achtergrondwaarde, het Middenniveau en de HC50. Voor de bodemfunctie Landbouw is het Middenniveau als beschermingsniveau gekozen voor het ecologisch functioneren. Binnen het ministerie voor LNV zijn hier verschillende discussies over gevoerd. Ook het project Diabolo (Duurzaam bodemgebruik in de landelijke omgeving) heeft hier een relatie mee. Omdat landbouwgrond bedrijfsmatig in gebruik is, werd de Achtergrondwaarde te streng gevonden om het ecologisch functioneren te beschermen. Omdat het tevens gaat om het grootste groene areaal van Nederland, werd de HC50 een te hoge concentratiewaarde gevonden. (NOBO, 2008)

3.3 Bodemfunctieklassse Wonen

Opties

1. Volgens NOBO methodiek

Uitgaande van NOBO gelden de volgende beschermingsniveaus:

- Humaan: wonen met tuin (beperkte gewasconsumptie, intensief contact);
- Ecologie: direct, gemiddeld beschermingsniveau.

2. NOBO methodiek + uitspoeling en doorvergiftiging (**advies**)

- a) Met het oog op het mobiele karakter van PFAS is het aan te raden om in de normaflleiding waarborgen in te bouwen die voorkomen dat het toepassen van grond of bagger leidt tot onaanvaardbare emissies naar het grondwater.
- b) Ook op het niveau van kleinere (aaneengesloten) arealen kunnen diffuse verontreinigingen leiden tot ophoping in de voedselketen. Om hier rekening mee te houden in de normstelling, kan voor de functie wonen met tuin getoetst worden aan het gemiddelde beschermingsniveau voor doorvergiftiging.

Datum

4 maart 2019

Ons kenmerk

067/2019 DMG/BL/AW

Tabel 4.2. Beschermingsniveaus voor bodemfunctieklasse Wonen

| | |
|------------------------------|---|
| Risicogrens/functie | Wonen |
| Ecologie _{direct} | Gemiddeld ('Middenniveau') |
| Ecologie _{indirect} | Voorstel: Gemiddeld ('Middenniveau') |
| Humaan | Wonen met tuin (veel contact, beperkte gewasconsumptie) |
| Landbouw | - |
| Uitspoeling | Risicogrens uitspoeling |

3.4 Bodemfunctieklasse Industrie

Opties

1. Volgens NOBO methodiek

Conform NOBO gelden de volgende beschermingsniveaus:

- Humaan: geen gewasconsumptie, beperkt bodemcontact en beperkte verblijftijden in vergelijking met Wonen;
- Ecologie: direct en indirect, matig.

2. NOBO methodiek + uitspoeling (**advies**)

In aanvulling op het basisscenario geldt ook voor deze functieklasse dat een waarborg tegen onaanvaardbare verspreiding aan te raden is. We stellen voor om het beschermingsniveau uit te breiden met een risicogrens voor uitloging naar grondwater.

Tabel 4.3. Beschermingsniveaus voor bodemfunctieklasse Industrie

| | |
|------------------------------|--|
| Risicogrens/functie | Wonen |
| Ecologie _{direct} | Matig (ER _{eco}) |
| Ecologie _{indirect} | Matig (ER _{eco}) |
| Humaan | Recreatie (geen gewasconsumptie, beperkt bodemcontact) |
| Landbouw | - |
| Uitspoeling | Risicogrens uitspoeling |

3.5 Tijdelijk en definitief handelingskader

De risicogrenzen voor landbouw en uitspoeling zijn naar verwachting 1 maart 2020 beschikbaar. Een tijdelijk handelingskader kan worden vastgesteld op basis van de nu beschikbare risicogrenzen voor de mens en het ecosysteem, in combinatie met een invulling van het stand still principe. Hierbij wordt voorgesteld om in ieder geval *voor het tijdelijk*

kader de functies landbouw en natuur weer te clusteren in één bodemfunctieklassse 'Landbouw/natuur/moestuinen'³. In het definitieve handelingskader kunnen alle bovengenoemde risicogrenzen worden meegewogen. Hierbij wordt gestreefd om het kader robuust en reproduceerbaar in te richten zodat het ook voor eventuele toekomstige diffuse verontreinigingen toepasbaar is.

Datum

4 maart 2019

Ons kenmerk

067/2019 DMG/BL/AW

³ Deze waarden zijn ook beschermend voor de functie 'Wonen met moestuin'

4. Maximale Waarden voor hergebruik in droge toepassingen: getalsmatige invulling van een tijdelijk handelingskader

Datum
4 maart 2019

Ons kenmerk
067/2019 DMG/BL/AW

4.1 **Overzicht van risicogrenzen (getalsmatig)**

Tabel 5.1 geeft het overzicht van alle beschikbare risicogrenzen voor de onderbouwing van een tijdelijk handelingskader voor hergebruik van PFAS in droge toepassingen.

Tabel 5.1. Beschikbare risicogrenzen voor tijdelijk kader voor hergebruik. Vetgedrukt de laagste waarden per bodemfunctie.

| Risicogrens /functie | Landbouw ⁺ | Natuur ⁺ | Wonen met moestuin ⁺ | Wonen | Industrie |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| Ecologie _{direct} | Middenniveau PFOS: 380 µg/kg _{ds} PFOA: 5.000 µg/kg _{ds} GenX: - | Hoog (HC ₅) PFOS: 16 µg/kg _{ds} PFOA: 500 µg/kg _{ds} GenX: - | Middenniveau PFOS: 380 µg/kg _{ds} PFOA: 5.000 µg/kg _{ds} GenX: - | Middenniveau PFOS: 380 µg/kg _{ds} PFOA: 5.000 µg/kg _{ds} GenX: - | Matig (HC ₅₀) PFOS: 9.1000 µg/kg _{ds} PFOA: 50.000 µg/kg _{ds} GenX: - |
| Ecologie _{indirect} | Middenniveau PFOS: 18 µg/kg_{ds} PFOA: 89 µg/kg_{ds} GenX: 54 µg/kg_{ds} | Hoog (HC₅) PFOS: 3,0 µg/kg_{ds} PFOA: 7,0 µg/kg_{ds} GenX: 3,0 µg/kg_{ds} | Middenniveau PFOS: 18 µg/kg_{ds} PFOA: 89 µg/kg_{ds} GenX: 54 µg/kg_{ds} | Middenniveau PFOS: 18 µg/kg_{ds} PFOA: 89 µg/kg_{ds} GenX: 54 µg/kg_{ds} | Matig (HC₅₀) PFOS: 110 µg/kg_{ds} PFOA: 1.100 µg/kg_{ds} GenX: 960 µg/kg_{ds} |
| Humaan | - | Natuur (geen gewasconsumptie, beperkt bodemcontact) PFOS: 19.000 µg/kg _{ds} PFOA: 37.000 µg/kg _{ds} GenX: 25.000 µg/kg _{ds} | Moestuinen (veel contact en veel gewasconsumptie) PFOS: 92 µg/kg _{ds} PFOA: 86 µg/kg_{ds} GenX: 8 µg/kg_{ds} | Wonen (veel contact, matige gewasconsumptie) PFOS: 1.200 µg/kg _{ds} PFOA: 1.100 ⁺⁺⁺ µg/kg _{ds} GenX: 97 µg/kg _{ds} | Industrie (geen gewasconsumptie, beperkt bodemcontact) PFOS: 19.000 µg/kg _{ds} PFOA: 37.000 ⁺⁺⁺ µg/kg _{ds} GenX: 25.000 µg/kg _{ds} |
| Landbouw ⁺⁺ | Landbouw-risicogrens | - | - | - | - |
| Uitspoeling ⁺⁺ | Risicogrens uitspoeling | Risicogrens uitspoeling | Risicogrens uitspoeling | Risicogrens uitspoeling | Risicogrens uitspoeling |

⁺ De bodemfuncties landbouw, natuur en moestuinen worden voor het tijdelijk kader geclusterd tot de functieklasse 'Landbouw/natuur/moestuinen'

⁺⁺ Onderdeel van definitief handelingskader verwacht maart 2020

⁺⁺⁺ Waarden voor PFOA zijn herberekend met nieuwe versie van CSOIL. De parametrisatie is ongewijzigd ten opzichte van Lijzen et al. (2018)

Voor de drie bodemfunctieklassen zijn de ecologische risicogrenzen op basis van doorvergiftiging het laagst. Tabel 5.2 toont hoe dit per bodemfunctieklasse tot maximale waarden voor hergebruik leidt.

Tabel 5.2. Maximale waarden voor hergebruik per geclusterde bodemfunctieklasse in µg/kg_{ds} voor standaardbodem (10% OS)

| Functieklasse/stof | PFOS | PFOA | GenX |
|-----------------------------------|------|-------|------|
| Landbouw/natuur/moestuinen | 3,0 | 7,0 | 3,0 |
| Wonen | 18 | 89 | 54 |
| Industrie | 110 | 1.100 | 960 |

Voor de som-toxiciteit kan worden uitgegaan van:

$$RI = C_{PFOS}/C_{RG,PFOS} + C_{PFOA}/C_{RG,PFOA} + C_{GenX}/C_{RG,GenX}$$

Waarbij RI=risico-index en C_{RG} de van toepassing zijnde risicogrens. Een RI groter dan 1 betekent dat het mengsel van PFAS leidt tot overschrijding van het gekozen beschermingsniveau voor doorvergiftiging.

4.2 Bodemtypecorrectie

Normen voor grond worden gecorrigeerd voor het bodemtype. Deze 'bodemtypecorrectie' is ontwikkeld om bij de beoordeling rekening te houden met de natuurlijke achtergrondgehalten (metalen; ecologische risico's) of te corrigeren voor biobeschikbaarheid (organische stoffen). Voor organische stoffen is de correctie gebaseerd op het organisch stofgehalte van de bodem. Uit publicaties over het gedrag van PFOA blijkt dat de mobiliteit en biobeschikbaarheid naast het organisch stofgehalte ook afhankelijk is van pH en (type) lutum. Van GenX is bekend dat deze stof nog minder binding dan PFOA vertoont aan matrixcomponenten, zoals organische stof en actieve kool. Bovendien is GenX mobiel door de hoge wateroplosbaarheid. Bij een gemiddelde bodem pH is het anion veruit de meest dominante verschijningsvorm. Vanwege deze kenmerken wordt geadviseerd om af te zien van een bodemtypecorrectie voor PFAS.

4.3 ms-PAF toets

In het Besluit bodemkwaliteit wordt het verspreiden van bagger op aangrenzende percelen geregeld. Hiertoe dient de zogenaamde 'ms-PAF'-toets uitgevoerd te worden. Deze toets heeft uitsluitend betrekking op de toe te passen partij bagger, in tegenstelling tot het kader voor het toepassen op of in de landbodem, waarbij zowel de kwaliteit van toe te passen grond of bagger als de ontvangende bodem bepalend zijn voor de afzetmogelijkheden.

De ms-PAF-toets berust op een berekening van de toxische druk van de aanwezige metalen en organische contaminanten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van gegevens over de directe ecotoxiciteit. Daarmee is deze methodiek minder geschikt voor de toetsing van stoffen die accumuleren in organismen, zoals PFAS. Aanbevolen wordt om voor PFAS de huidige ms-PAF-toets voor verspreiden van bagger aan te vullen met een toets van de baggerkwaliteit aan de Maximale Waarden uit Tabel 5.2, inclusief som-toxiciteit, waarbij voor de bodemfunctieklasse wordt uitgegaan van de functie van de ontvangende bodem.

4.4 Chemische analyse

De concentraties PFOS en PFOA worden gebaseerd op de som van de lineaire en vertakte componenten.

Het is van belang eenduidig te zijn in methodiek, zolang er geen geaccrediteerde methode is vastgesteld. Fenelab (de branche organisatie voor laboratoria) stelt dat de volgende algemeen bekende en geaccepteerde internationale methoden geschikt zijn:

- ISO 25101 (water)
- DIN 38407-42 (water, afvalwater, zuiveringsslib)
- DIN 38414-14 (sediment, zuiveringsslib, compost en grond)

Geadviseerd wordt om de chemische analyse te baseren op deze methoden waarbij rekening gehouden wordt met de minimale

detectiegrenzen van 0,1 µg/kg ds voor grond en 0,1 µg/l voor grondwater. Daarbij moet opgemerkt worden dat bij bemonsteringen van monsters met een te verwachten lage droge stof gehalte er rekening gehouden moet worden met het inzetten van voldoende monstermateriaal, aangezien anders sprake kan zijn van verhoogde detectiegrenzen.

Datum

4 maart 2019

Ons kenmerk

067/2019 DMG/BL/AW

5. Discussie

Datum

4 maart 2019

Ons kenmerk

067/2019 DMG/BL/AW

5.1 Betekenis van de risicogrenzen in de praktijk

Uit de afgeleide risicogrenzen blijkt dat bij de huidige diffuse concentratieniveaus van PFAS in de bodem (Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied, 2019) gezondheidsrisico's en directe ecologische risico's doorgaans niet aan de orde zijn. De problematiek ligt voornamelijk in de risico's voor doorvergiftiging en de risico's van verspreiding van PFAS naar het grondwater.

Voor de korte termijn dient ingezet te worden op een kader dat zoveel mogelijk verspreiding van grond en bagger uit gebieden met hogere concentraties naar gebieden met lagere concentraties voorkomt (stand still) en beschermend is voor kwetsbare objecten. Samen met de risicogrenzen uit deze notitie vormt dit de basis voor de toetsing van de toepassing van grond en bagger.

5.2 Onzekerheden

Voor GenX zijn minder gegevens beschikbaar over stofgedrag en (eco)toxiciteit dan voor PFOS en PFOA. Voor alle beschouwde PFAS is de de risicogrens voor doorvergiftiging (indirecte ecotoxiciteit) bepalend voor de hoogte van de normwaarden in een tijdelijk handelingskader voor hergebruik. Het verdient daarom de aanbeveling de waarden voor doorvergiftiging uit deze notitie te evalueren zodra nieuwe informatie beschikbaar komt.

De huidige evaluatie van PFAS door EFSA kan gevolgen hebben voor de in deze notitie gepresenteerde humane risicogrenzen. De consequenties van een eventuele aanscherping van de risicogrenzen humaan zijn voor de hoogte van de Maximale Waarden voor hergebruik echter beperkt omdat de verwachting is dat de risicogrenzen voor doorvergiftiging lager zullen blijven dan de risicogrenzen voor de mens, met uitzondering van de bodemfunctie 'Wonen met moestuin'. Wanneer wordt gerekend met de (lagere) waarden voor inname uit de voorlopige EFSA opinie voor PFOS en PFOA gaan de berekende humane risicogrenzen voor bodem weliswaar omlaag, maar zij blijven nog altijd (ruim) hoger dan de risicogrenzen op basis van de risicogrenzen voor doorvergiftiging (indirecte ecotoxiciteit).

5.3 Clustering van bodemfuncties tot functieklassen en beschermingsdoelen en -niveaus

Het vertrekpunt van deze notitie wordt gevormd door de beschermingsdoelen en -niveaus van NOBO (2008) voor individuele bodemfuncties. Voor het tijdelijk handelingskader wordt voorgesteld om een clustering van de bodemfuncties tot drie bodemfunctieklassen te hanteren, zoals dat voor de Regeling bodemkwaliteit ook is gedaan. Een verschil met het huidige beleid is dat de basis voor de laagste ('strengste') bodemfunctieklasse bestaat uit de achtergrondwaarden uit het project AW2000. Deze wordt in het voorstel voor een tijdelijk handelingskader vervangen door het beschermingsdoel 'indirecte ecotoxiciteit' met het hoogste beschermingsniveau (MTR_{eco}). Een ander belangrijk

verschil betreft het toepassen van het beschermingsdoel doorvergiftiging ('indirecte ecotoxiciteit') op de bodemfunctieklassen 'Wonen'. Wanneer alle voor PFAS relevante risicogrenzen zijn afgeleid (met name die voor landbouw en uitspoeling), dient een tijdelijk kader opnieuw te worden bezien, inclusief de clustering van bodemfuncties tot bodemfunctieklassen. Daarbij is het ook van belang de keuzes voor beschermingsdoelen en –niveaus kritisch geëvalueerd worden. In het bijzonder de keuzes rondom indirecte ecotoxiciteit, gezien de relevantie voor dit type verbindingen en het feit dat dit aspect tot nu toe in de doorwerking naar normstelling voor hergebruik een minder grote rol heeft gespeeld.

Datum

4 maart 2019

Ons kenmerk

067/2019 DMG/BL/AW

5.4 Vervolg

Deze notitie is bedoeld als advies voor het ministerie van IenW en de adviesgroep Normstelling Instrumentarium voor Bodem en Ondergrond en opkomende stoffen.

De onderbouwing van de risicogrenzen voor PFOA uit deze notitie is grotendeels gepubliceerd in Lijzen et al. (2018). De onderbouwing van de overige risicogrenzen voor PFAS zal worden verantwoord in een drietal rapporten die in voorbereiding zijn:

- RIVM briefrapport met risicogrenzen voor GenX;
- RIVM briefrapport met risicogrenzen voor PFOS en PFOA voor landbouw;
- RIVM briefrapport met risicogrenzen voor PFOS en PFOA ten behoeve van een definitief handelingskader voor hergebruik van grond en bagger in droge toepassingen.

Bovenstaande rapporten vormen een basis voor een, nog op te stellen, definitief handelingskader voor het toepassen van PFAS-houdende grond en baggerspecie in en op landbodems. Aan de definitie van een dergelijk kader wordt in de adviesgroep Normstelling Instrumentarium voor Bodem en Ondergrond en opkomende stoffen de komende tijd verder gewerkt. De methoden die zijn ontwikkeld voor PFAS kunnen worden vertaald naar een algemeen kader voor niet genormeerde, diffuse verontreinigingen in grond en bagger.

6. Literatuur

Datum
4 maart 2019

Ons kenmerk
067/2019 DMG/BL/AW

Bodar CWM, Lijzen JPA, Moermond CTA, Peijnenburg WJGM, Smit CE, Verbruggen EMJ (2011) Advies risicogrenzen grond en grondwater voor PFOS. Bilthoven: RIVM, 2011 601050002.

Lamé, F.P.J., Brus, D.J., Nieuwenhuis, R.H. (2004). Achtergrondwaarden 2000. Hoofdrapport fase 1. NITG 04-242-A. 2004. TNO.

Lijzen JPA, Wassenaar PNH, Smit CE, Posthuma CJAM, Brand E, Swartjes FA, Verbruggen EMJ, Versteegh JFM (2018) Risicogrenzen PFOA voor grond en grondwater. Uitwerking voor generiek en gebiedsspecifiek beleid (herziene versie) Briefrapport 2018-0060, RIVM, Bilthoven.

NOBO (2008) Normstelling en bodemkwaliteitsbeoordeling, onderbouwing en beleidsmatige keuzes voor bodemnormen in 2005, 2006 en 2007. Ministerie van VROM, publicatie 8395.
https://www.bodemplus.nl/publish/pages/91751/rapportage_nobo_norms_telling_en_bodemkwaliteitsbeoordeling_24_263999.pdf

Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied. Online kaart met monsterlocaties en meetresultaten PFOS en PFOA in bodem. Geraadpleegd 1 februari 2019.
<https://gisviewer.odnzkg.nl/index.php?@PFOS#>

Smit CCE (2017) Onderzoek naar indicatieve waterkwaliteitsnormen voor stoffen in de GenX-technologie. Briefrapport 2017-0045. RIVM, Bilthoven.

Van Vlaardingen PLA, Verbruggen EMJ (2007) Guidance for the derivation of environmental risk limits within the framework of "International and national environmental quality standards for substances in the Netherlands" (INS). Rapport 601782001. RIVM, Bilthoven.

Verbruggen EMJ, Wassenaar PNH, Smit CE (2017). Water quality standards for PFOA. A proposal in accordance with the methodology of the Water Framework Directive. Letter report 2017-0044. RIVM, Bilthoven.

Zeilmaker MJ, Janssen P, Versteegh A, Van Pul A, De Vries W, Bokkers B, Wuijts S, Oomen A, Herremans J (2016) Risicoschatting emissie PFOA voor omwonenden. Locatie: DuPont/Chemours, Dordrecht, Nederland. Rapport 2016-0049. RIVM, Bilthoven.

Zeilmaker, M., S Fragki, EMJ Verbruggen, BGH Bokkers, JPA Lijzen (2018) Mixture exposure to PFAS: A Relative Potency Factor approach. RIVM report 2018-0070. RIVM, Bilthoven.