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

Ecotoxicologische risicogrenzen voor PFOS in bodem en grondwater

RIVM-briefrapport 2020-0085
E.M.J. Verbruggen | M. Marinković | P.N.H. Wassenaar

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

Ecotoxicologische risicogrenzen voor PFOS in bodem en grondwater

RIVM-briefrapport 2020-0085
E.M.J. Verbruggen | M. Marinković | P.N.H. Wassenaar

Colofon

© RIVM 2020
Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2020-0085

E.M.J. Verbruggen (auteur), RIVM
M. Marinković (auteur), RIVM
P.N.H. Wassenaar (auteur), RIVM

Contact:
Eric Verbruggen
Centrum voor Veiligheid van Stoffen en Producten
eric.verbruggen@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat in het kader van opdracht M/270054 "Onderbouwing normenkader en landsdekkend beeld PFAS"

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

Publiekssamenvatting

Ecotoxicologische risicogrenzen voor PFOS in bodem en grondwater

Het RIVM heeft risicogrenzen bepaald voor PFOS in bodem en grondwater. De risicogrenzen houden rekening met twee routes: directe effecten van PFOS op planten en dieren in de bodem, en effecten op vogels en zoogdieren die PFOS via hun voedsel binnenkrijgen. Het bevoegd gezag gebruikt de risicogrenzen om te beslissen of hergebruik van grond veilig is voor het milieu.

PFOS en andere poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS) zijn door de mens gemaakte stoffen die heel langzaam afbreken, ophopen in het lichaam en giftig zijn. Het gebruik van PFOS is wereldwijd zeer sterk aan banden gelegd. Maar doordat de stof bijna niet afbreekt, zitten er nog steeds resten in het milieu. PFOS hoopt zich op in planten en dieren. Daarom is het relevant om te kijken naar de risico's voor vogels en zoogdieren die PFOS binnenkrijgen via het eten van bodemdieren, zoals regenwormen. Dit heet doorvergiftiging.

Per route zijn twee risiconiveaus bepaald: het Ernstig Risiconiveau (ER) en het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR). Het MTR is de concentratie waarbij geen nadelige effecten zijn te verwachten. Het MTR voor doorvergiftiging is 3 microgram per kilogram droge grond. Het ER (106 microgram per kilogram) is de concentratie waarbij PFOS ernstige effecten kan hebben op vogels en zoogdieren.

Het RIVM heeft in 2011 ook ecotoxicologische risicogrenzen afgeleid voor PFOS in bodem en grondwater, toen op basis van beperkt beschikbare informatie. De risicogrenzen zijn nu beter onderbouwd. Het nieuwe MTR voor doorvergiftiging is hetzelfde als in 2011, het ER voor doorvergiftiging is nu voor het eerst bepaald.

Dit onderzoek is onderdeel van een serie rapportages over risicogrenzen van PFAS. Hiermee draagt het RIVM bij aan een landelijk kader waarmee bevoegde gezagen kunnen bepalen hoe zij omgaan met PFAS-houdende grond en baggerspecie. Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW).

Kernwoorden: PFOS; bodeminterventiewaarden; Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau, Ernstig Risiconiveau; doorvergiftiging

Synopsis

Ecotoxicological risk limits for PFOS in soil and groundwater

RIVM determined risk limits for PFOS in soil and groundwater. The risk limits take account of two routes: direct effects of PFOS on plants and animals in soil and effects on birds and mammals that are exposed to PFOS via food. Competent authorities use risk limits to decide whether re-use of soil is environmentally safe.

PFOS and other poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) are manmade chemicals that degrade very slowly, accumulate in the body and are toxic. Stringent restrictions on PFOS use have been implemented worldwide. However, because the compound hardly degrades, residues remain present in the environment. PFOS accumulates in plants and animals. It is therefore relevant to consider the risks for birds and mammals due to PFOS intake via ingestion of soil organisms, such as earthworms. This is called secondary poisoning.

Two risk levels were determined for each route: the Serious Risk Concentration (SRC) and the Maximum Permissible Concentration (MPC). The MPC is the concentration at which no adverse effects are to be expected. The MPC for secondary poisoning is 3 micrograms per kilogram dry soil. The SRC (106 micrograms per kg) is the concentration at which PFOS may seriously affect birds and mammals.

Back in 2011, RIVM also determined ecotoxicological risk limits for PFOS in soil and groundwater, at that time on the basis of scarce available information. The current risk limits are better underpinned. The new MPC for secondary poisoning is similar to the 2011 value. The SRC was determined for the first time.

This research is part of a series of reports on risk limits for PFAS. Via these reports, RIVM contributes to a national framework used by competent authorities to decide on how to deal with PFAS-contaminated soil and dredged material. This research was commissioned by the Ministry of Infrastructure and Water management (I&W).

Keywords: PFOS. soil intervention levels, Maximum Permissible Concentration, Serious Risk Concentration, secondary poisoning

Inhoudsopgave

1 Inleiding — 11
1.1 Aanleiding en doel — 11
1.2 Eerder afgeleide ecotoxicologische risicogrenzen voor PFOS — 11
1.3 Aanpak en leeswijzer — 12

2 Risicogrenzen voor directe ecotoxiciteit in bodem — 15
2.1 Inleiding — 15
2.2 Ecotoxiciteit voor bodemorganismen — 15
2.2.1 Planten — 15
2.2.2 Regenwormen, springstaarten en mijten — 16
2.2.3 Samenvatting ecotoxiciteitsgegevens voor bodem — 19
2.3 Afleiding risicogrenzen voor directe ecotoxiciteit in bodem — 20
2.3.1 Ernstig Risiconiveau — 20
2.3.2 Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau — 20
2.3.3 Ecotoxicologisch middenniveau — 21

3 Risicogrenzen voor doorvergiftiging — 23
3.1 Inleiding — 23
3.2 Toxiciteit voor vogels en zoogdieren — 23
3.2.1 Vogels — 23
3.2.2 Zoogdieren — 24
3.2.3 Samenvatting toxiciteitsgegevens vogels en zoogdieren — 25
3.3 Risicogrenzen in wormetende vogels en zoogdieren — 27
3.4 Biomagnificatie gegevens voor PFOS — 27
3.5 Risicogrenzen in regenwormen en bodem — 28

4 Risicogrenzen voor directe ecotoxiciteit in grondwater — 29
4.1 Inleiding — 29
4.2 Ecotoxiciteit voor waterorganismen — 29
4.3 Afleiding risicogrenzen voor directe ecotoxiciteit in grondwater — 30
4.3.1 Ernstig Risiconiveau — 30
4.3.2 Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau — 31

5 Discussie en conclusies — 33

Referenties — 35

Lijst met afkortingen — 41

Bijlage 1. Directe ecotoxiciteit voor bodemorganismen — 43

Bijlage 2. Energie-genormaliseerde toxiciteit vogels en zoogdieren — 49

Bijlage 3. Biomagnificatie in vogels en zoogdieren — 54

Bijlage 4. Accumulatie in regenwormen — 71

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de afleiding van ecotoxicologische risicogrenzen voor PFOS (perfluoroctaansulfonzuur) in bodem en grondwater. PFOS en andere poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS) zijn in het milieu terechtgekomen door industriële emissies en gebruik van PFAS-houdende producten. PFOS is een *persistent organic pollutant* (POP). POP's zijn door de mens gemaakte stoffen die heel langzaam afbreken, ophopen in het lichaam en giftig zijn. Het gebruik van PFOS is wereldwijd zeer sterk aan banden gelegd, maar doordat de stof vrijwel niet afbreekt, zijn de restanten nog steeds in het milieu aanwezig.

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft het RIVM opdracht gegeven om ecotoxicologische risicogrenzen af te leiden voor PFOS in bodem en grondwater. Samen met gezondheidskundige risicogrenzen vormen ze onderdeel van het beoordelingskader voor bodem- en grondwaterkwaliteit. De risicogrenzen kunnen worden gebruikt voor beslissingen over hergebruik van grond.

Het RIVM heeft in 2011 ook ecotoxicologische risicogrenzen afgeleid voor PFOS in bodem en grondwater, maar destijds kon alleen beperkt naar gegevens over directe effecten op bodemorganismen worden gezocht. Voor dit rapport is de ecotoxicologische dataset aangevuld met recente literatuurgegevens. PFOS hoopt zich op in planten en dieren. Daarom is het relevant om ook te kijken naar de risico's voor vogels en zoogdieren die PFOS binnenkrijgen via het eten van bodemorganismen. De berekening van deze risicogrenzen voor doorvergiftiging houdt rekening met de energiebehoefte en voedselinname van wormetende vogels en zoogdieren en hun predatoren. Hiervoor zijn gegevens verzameld over de toxiciteit van PFOS voor vogels en zoogdieren en de accumulatie in de voedselketen.

In dit rapport zijn het Ernstig Risiconiveau (ER), het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR) en het middenniveau afgeleid. Het ER is de concentratie waarbij 50% van de soorten bij langdurige blootstelling een effect kan ondervinden. Het MTR is de concentratie waarbij geen nadelige effecten zijn te verwachten. Het middenniveau wordt gebruikt voor het afleiden van maximale waarden in het bodembeheer en wordt berekend als het geometrisch gemiddelde van het ER en MTR. De resultaten staan in onderstaande tabel.

Bodem		**[µg PFOS/kg ds]**
Directe ecotoxiciteit	$ER_{bodem,\ eco}$	9100
	$MTR_{bodem,\ eco}$	16
	middenniveau	380
Doorvergiftiging	$ER_{bodem,\ dv}$	106
	$MTR_{bodem,\ dv}$	3,0
	middenniveau	18
Grondwater		**[µg PFOS/L]**
Directe ecotoxiciteit	$ER_{grw,\ eco}$	1000
	$MTR_{grw,\ eco}$	0,023

Zoals in 2011 ook is geconstateerd, is er een groot verschil tussen het ER- en MTR-niveau. Voor een stof als PFOS, met een grote variatie in gevoeligheid tussen soorten én een relatief beperkte dataset, is het ER geen geschikte maat om de risico's te bepalen. Dit geldt ook voor het middenniveau, zij het in beperktere mate.

De risicogrenzen voor doorvergiftiging in bodem zijn lager dan die voor directe ecotoxiciteit. Dit betekent dat de risicogrenzen voor directe ecotoxiciteit geen bescherming bieden aan predatoren. Net als eerder is aangetoond voor oppervlaktewater, bevestigt dit onderzoek dat het belangrijk is om de risico's voor predatoren mee te nemen bij het afleiden van risicogrenzen voor bodem.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Dit rapport beschrijft de afleiding van ecotoxicologische risicogrenzen voor PFOS in bodem en grondwater. PFOS (perfluoroctaansulfonzuur) is een perfluoralkyl verbinding. Poly- en perfluoralkylstoffen zijn ook wel bekend onder de verzamelnaam PFAS. Het zijn door de mens gemaakte stoffen die van nature niet in het milieu voorkomen. Vanwege hun water-, vet- en vuilafstotende eigenschappen zijn ze in allerlei producten toegepast. PFAS komen in het milieu door emissies uit fabrieken die de stoffen maken of gebruiken, door het gebruik van PFAS-houdende producten, zoals blusschuim, impregneermiddel voor textiel en smeermiddelen, of doordat PFAS-houdende producten bij het afval terecht komen.

PFOS staat sinds 2009 op de lijst van persistente organische verontreinigingen (*persistent organic pollutants*, POP's). Dit zijn toxische stoffen die heel langzaam afbreken en zich ophopen in de voedselketen. Door hun eigenschappen kunnen ze over lange afstanden worden getransporteerd en worden ze wereldwijd aangetroffen. POP's zijn zeer schadelijk voor mens en milieu. Inmiddels is het gebruik van PFOS wereldwijd zeer sterk aan banden gelegd, maar doordat de stof vrijwel niet afbreekt, zijn de restanten nog steeds in het milieu aanwezig.

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft het RIVM gevraagd om ecotoxicologische risicogrenzen af te leiden voor PFOS in bodem en grondwater. Deze risicogrenzen zijn onderdeel van het beoordelingskader voor bodem- en grondwaterkwaliteit. Samen met gezondheidskundige risicogrenzen, leveren ze informatie of de kwaliteit van de bodem en het grondwater een risico vormt voor mens en milieu en of maatregelen nodig zijn.

1.2 Eerder afgeleide ecotoxicologische risicogrenzen voor PFOS

Het RIVM heeft in 2011 ook ecotoxicologische risicogrenzen afgeleid voor PFOS in bodem en grondwater. Deze waarden waren nodig om de meetresultaten bij een bodemsaneringsproject te kunnen interpreteren. (Bodar et al., 2011). In dat rapport zijn het Ernstig Risiconiveau (ER), het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR) afgeleid. Het ER is de concentratie waarbij 50% van de soorten bij langdurige blootstelling een effect kan ondervinden. Het MTR is de concentratie waarbij geen nadelige effecten zijn te verwachten.

In 2011 is voor het MTR voor bodem gekeken naar directe ecotoxiciteit voor bodemorganismen en indirecte toxiciteit voor vogels en zoogdieren (doorvergiftiging). Effecten in de terrestrische voedselketen zijn relevant vanwege de sterk bioaccumulerende eigenschappen van PFOS. Doorvergiftiging bleek de meest kritische route met een $MTR_{bodem,\ dv}$ van 3,2 µg/kg droge standaardbodem (µg/kg ds). Het $MTR_{bodem,\ eco}$ voor directe ecotoxiciteit was met 10 µg/kg ds ruim drie keer hoger.
In het rapport zijn wel een aantal voorbehouden gemaakt. Zo wordt opgemerkt dat de berekeningen zijn uitgevoerd met beperkt

beschikbare informatie, omdat er door het spoedeisende karakter van de opdracht geen aanvullend literatuur onderzoek kon worden verricht. Voor directe toxiciteit voor bodemorganismen waren alleen gegevens beschikbaar voor regenwormen (acuut) en planten (acuut en chronisch), terwijl uit aquatische studies blijkt dat met name insecten gevoelig zijn voor PFOS. Bodar et al. (2011) merken dan ook op dat het $MTR_{bodem, eco}$ onvoldoende beschermend zou kunnen zijn voor bodeminsecten en geven aan dat gegevens van chronische studies met bodemdieren noodzakelijk zijn voor een goede schatting van het $MTR_{bodem, eco}$.
Het ER is volgens de toen geldende methodiek alleen gebaseerd op directe ecotoxiciteit. Stapeling in de voedselketen is wel degelijk relevant voor PFOS en bovendien ontbraken ook hier mogelijk gevoelige soorten in de dataset. Bodar et al. (2011) waarschuwen daarom nadrukkelijk voor het gebruik van het afgeleide $ER_{bodem, eco}$ van 16,0 mg/kg ds.

Voor het MTR en ER voor grondwater is in 2011 alleen gekeken naar directe ecotoxiciteit, omdat consumptie van grondwaterorganismen naar verwachting geen relevante bijdrage levert aan de blootstelling van vogels en zoogdieren. Het $MTR_{grw, eco}$ van 23 ng/L en het $ER_{grw, eco}$ van 930 µg/L zijn overgenomen uit het RIVM-rapport van Moermond et al. (2010) met waterkwaliteitsnormen voor PFOS. Bodar et al. (2011) wijzen op het opvallend grote verschil tussen het ER en MTR voor grondwater. Er zijn grote verschillen in gevoeligheid voor PFOS tussen waterorganismen. Het MTR is gebaseerd op het gevoeligste organisme (een waterinsect), terwijl het ER het gemiddelde is van alle beschikbare ecotoxiciteitsgegevens, ook van relatief ongevoelige soorten.

1.3 Aanpak en leeswijzer

Gezien de hierboven besproken beperkingen, is besloten om de ecotoxicologische dataset aan te vullen en de risicogrenzen voor PFOS voor bodem en grondwater bij te werken op basis van recente literatuur. Voor bodem wordt hierbij rekening gehouden met doorvergiftiging.

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de bestaande en nieuwe gegevens voor directe ecotoxiciteit voor bodemorganismen en de bijgewerkte ecotoxicologische risicogrenzen. De onderliggende ecotoxiciteitsstudies zijn samengevat in Bijlage 1.

Hoofdstuk 3 beschrijft de afleiding van het MTR en ER voor indirecte toxiciteit van PFOS als gevolg van doorvergiftiging in vogels en zoogdieren. Hiervoor is gebruik gemaakt van gegevens over de toxiciteit van PFOS voor vogels en zoogdieren (Bijlage 2), gegevens over de accumulatie in prooidieren van deze organismen (Bijlage 3) en van gegevens over accumulatie in regenwormen (Bijlage 4). De risicogrenzen voor doorvergiftiging zijn berekend met de vernieuwde methodiek voor doorvergiftiging, zoals beschreven in Verbruggen (2014). Deze methode houdt rekening met de energiebehoefte en voedselinname van wormetende vogels en zoogdieren en hun predatoren.

Hoofdstuk 4 bespreekt de ecotoxiciteit en risicogrenzen voor grondwaterorganismen. In het kader van dit rapport is geen uitputtend literatuuronderzoek uitgevoerd naar recente aquatische ecotoxiciteitsgegevens voor PFOS. Wel is de dataset van Moermond et al. (2010) vergeleken met recente internationale evaluaties.

2 Risicogrenzen voor directe ecotoxiciteit in bodem

2.1 Inleiding

Het ER voor bodem op basis van directe ecotoxiciteit ($ER_{bodem, eco}$) is de concentratie PFOS in bodem waarbij 50% van de bodemorganismen een negatief effect kan ondervinden. Het MTR voor bodem voor directe ecotoxiciteit ($MTR_{bodem, eco}$) is de concentratie waar beneden geen negatief effect is te verwachten na directe blootstelling. Het $ER_{bodem, eco}$ en $MTR_{bodem, eco}$ zijn bij voorkeur gebaseerd op chronische ecotoxiciteitsstudies met bodemorganismen. De relevante eindpunten uit deze studies zijn de concentraties met geen significant, of ten hoogste 10% effect op populatie-relevante parameters zoals sterfte, voortplanting of groei. Deze waarden worden aangeduid als NOEC (*No Observed Effect Concentration*) of $L(E)C_{10}$.

Het $ER_{bodem, eco}$ is het geometrisch gemiddelde van de chronische ecotoxiciteitswaarden. Voor het $MTR_{bodem, eco}$ wordt de laagste waarde gedeeld door een veiligheidsfactor. De hoogte van die factor is afhankelijk van het aantal geteste soorten. Als er alleen acute studies zijn, worden daaruit de concentraties met 50% sterfte of 50% effect gebruikt (LC_{50}, EC_{50}) en wordt een extra veiligheidsfactor toegepast. Voor dit rapport zijn de ecotoxiciteitsgegevens uit Bodar et al. (2011) opnieuw geëvalueerd en aangevuld met nieuwe gegevens voor planten en bodemdieren. De methodiek voor de selectie van gegevens staat beschreven in Van Vlaardingen & Verbruggen (2007). De belangrijkste bevindingen uit de ecotoxiciteitsstudies worden hieronder besproken in paragraaf 2.2, details zijn te vinden in Bijlage 1. De afleiding van de risicogrenzen staat in paragraaf 2.3.

2.2 Ecotoxiciteit voor bodemorganismen

2.2.1 Planten

Er zijn twee relevante studies waarin planten via bodem zijn blootgesteld[1]. De eerste is een 21-daagse plantenstudie van Brignole et al. (2003), die zeven plantensoorten hebben getest: ui (*Allium cepa*), raaigras (*Lolium perenne*), luzerne (*Medicago sativa*), vlas (*Linum usitatissimum*), tomaat (*Lycopersicon esculentum*), soja (*Glycine max*) en sla (*Lactuca sativa*). Deze studie is eerder gebruikt voor het afleiden van ecotoxicologische risicogrenzen, zie citaties in Beach et al. (2006) en ECCC (2018). De tweede studie is een recentere studie met paksoi (*Brassica rapa chinensis*) van Zhao et al. (2011). Voor planten wordt geen onderscheid gemaakt tussen acute en chronische studies, maar is de EC_{50} als acuut eindpunt gebruikt en de NOEC/EC_{10} als chronisch eindpunt (EC, 2018).

Het orginele studierapport van Brignole et al. (2003) was in 2011 niet beschikbaar. Daarom is het $MTR_{bodem, eco}$ destijds berekend op basis van een geschatte EC_{10} voor de gevoeligste soort (sla) met een waarde in de orde van 1 mg/kg ds of iets daaronder. De rapportage is nu wel beschikbaar. De studie is uitgevoerd in lemige kunstgrond en de

[1] Er is ook een aantal studies met blootstelling via voedingsoplossing, agar of filtreerpapier, deze zijn niet relevant voor het afleiden van het ER en MTR voor bodem.

concentraties PFOS zijn gemeten. Voor het huidige rapport zijn EC_{10} en EC_{50} waarden voor alle plantensoorten berekend met behulp van de gerapporteerde ecotoxiciteitsgegevens. Daarbij is het geometrisch gemiddelde gebruikt van de gemeten concentraties aan het begin en einde van de studie. De EC_{10} en EC_{50} waarden zijn gebaseerd op scheutgewicht. Dit was voor alle plantensoort het gevoeligste eindpunt, met uitzondering van tomaten. Voor deze soort is de EC_{10} gebaseerd op scheuthoogte. De laagste EC_{10} is voor raaigras en bedraagt 0,79 mg/kg ds, terwijl voor sla een iets hogere EC_{10} van 0,81 mg/kg ds is berekend. Een volledig overzicht van de afgeleide effectconcentraties is te vinden in Bijlage 1, Tabel B1.1.

Zhao et al. (2011) hebben paksoi (*Brassica rapa chinensis*) gedurende 7 dagen blootgesteld aan PFOS in zes verschillende bodems, waarna het effect op wortelgroei is bepaald. De EC_{50} waarden lagen tussen 95 en >200 mg/kg, er is aangenomen dat deze concentraties zijn uitgedrukt op basis van drooggewicht. Gebruik makend van het programma Mosaic SSD (Kon Kam King et al., 2014) is de 'groter-dan' waarde meegenomen bij het berekenen van de geometrisch gemiddelde EC_{50}, deze is 140 mg/kg ds. De EC_{10} waarden lagen tussen 40 en 115 mg/kg ds, met een geometrisch gemiddelde van 72 mg/kg ds.

In deze plantenstudie zijn de actuele PFOS concentraties niet bepaald. Voor PFOS kan worden aangenomen dat bodemconcentraties niet substantieel zullen afnemen door afbraak en/of vervluchtiging. Blootstelling kan echter wel lager zijn door uitspoeling of binding van PFOS aan de bodem. Dit is een onzekerheid, maar geen reden om de studie af te keuren.

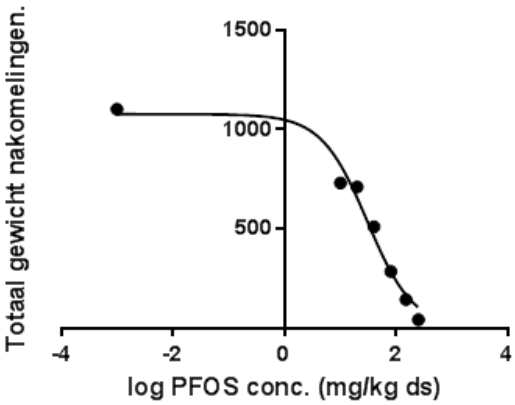
2.2.2 *Regenwormen, springstaarten en mijten*

Bodar et al. (2011) rapporteren acute ecotoxiciteitsgegevens voor de regenworm *Eisenia fetida*, afkomstig uit een studie van Sindermann et al. (2002) en geciteerd in 3M (2003) en Beach et al. (2006). Voor het huidige rapport zijn nog aanvullende betrouwbare acute en chronische studies gevonden voor regenwormen (Joung et al., 2010; Stubberud, 2006; Yuan et al., 2017; Zheng et al., 2016) en chronische studies voor de springstaart *Folsomia candida* en de mosmijt *Oppia nitens* (Princz et al., 2018).

De acute toxiciteitswaarden voor regenwormen zijn in alle vier de studies gebaseerd op overleving na 14 dagen, met LC_{50} waarden van 373 mg/kg ds (Sindermann et al., 2002), 365 mg/kg ds (Joung et al., 2010), 478 mg/kg ds (Zheng et al., 2016) en 541 mg/kg ds (Yuan et al., 2017). Alleen de laatste auteurs hebben de actuele PFOS concentraties bepaald. Het organische stof gehalte van de bodem is alleen gespecifieerd in Joung et al. (2010) en Zheng et al. (2016). In het geval van PFOS is dit geen reden om de gegevens af te keuren (zie ook 2.2.3, normalisatie van effectconcentraties). Ook zijn de verschillen tussen de effectconcentraties niet groot. Van de vier waarden is het geometrisch gemiddelde genomen, resulterend in een acute LC_{50} voor regenwormen van 423 mg/kg ds.

Anders dan in 2011, zijn er voor het huidige rapport chronische ecotoxiciteitsgegevens voor drie soorten bodemorganismen. Stubberud

(2006) heeft een 28-daagse reproductietest uitgevoerd met regenwormen volgens OECD richtlijn 222. Het gevoeligste eindpunt was afname van het gemiddelde gewicht van de nakomelingen. Actuele concentraties zijn bepaald bij drie concentraties en komen goed overeen met de nominale waarden. De NOEC bedraagt 9,9 mg/kg ds, en de EC_{10} 0,9 mg/kg ds. De auteurs geven aan dat voorzichtigheid is geboden bij het gebruik van de EC_{10}, aangezien deze geëxtrapoleerd is buiten de geteste range van 10 tot 500 mg/kg ds. De onzekerheid rond deze EC_{10} wordt geïllustreerd door het wijde 95% betrouwbaarheidsinterval (95% CI) van 0,07 tot 10 mg/kg ds. Er wordt ook een EC_{10} van 4 mg/kg ds (95% CI 2-8 mg/kg ds) gerapporteerd voor het totale gewicht van de nakomelingen. Dit eindpunt is een combinatie van het aantal nakomelingen en het gemiddelde gewicht per nakomeling. De onzekerheid rond deze geëxtrapoleerde EC_{10} waarde is aanzienlijk minder, omdat het eindpunt een combinatie is van twee eindpunten die beiden een concentratie-effectrelatie laten zien met de PFOS concentratie. Dit eindpunt laat dan ook bij elke concentratie het hoogste effectpercentage zien en kan daarmee als het meest gevoelige worden beschouwd, ondanks het feit dat zowel de NOEC als de EC_{10} hoger zijn dan voor het gemiddelde gewicht per nakomeling. Herberekening van de EC_{10} op basis van de ruwe data (zie Figuur 1) levert een waarde van 3,8 mg/kg ds (95% CI 0.7-13.8 mg/kg ds). Deze EC_{10} wordt gebruikt in dit rapport.



Figuur 1. EC_{10} afleiding voor totaal gewicht van de nakomelingen (gebaseerd op gegevens van Stubberud (2006).

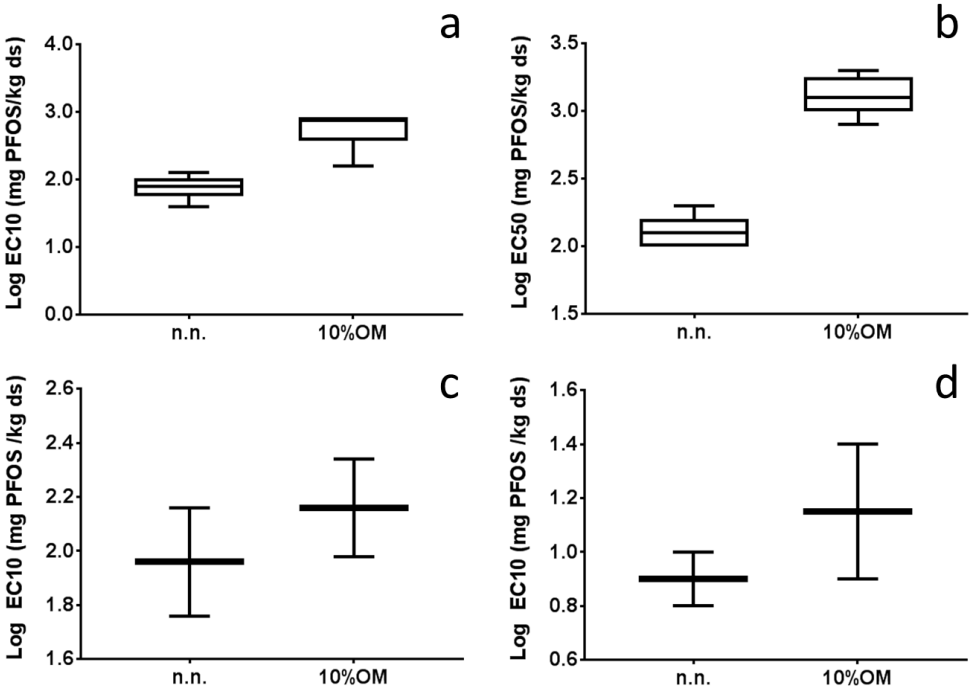
Princz et al. (2018) hebben 28-daagse reproductietesten uitgevoerd met springstaarten en mosmijten in twee bodems. Voor springstaarten is OECD richtlijn 232 gevolgd, terwijl voor mosmijten een in ontwikkeling zijnde ISO richtlijn is gevolgd. Voor beide soorten was het gevoeligste eindpunt het aantal nakomelingen. De effectconcentraties zijn gebaseerd op gemeten PFOS concentraties. De gerapporteerde EC_{10} waarden zijn 57 en 142 mg/kg ds voor springstaarten en 6,8 en 11 mg/kg ds voor mosmijten. De overzichtstabel geeft de geometrisch gemiddelde waarden voor deze twee soorten.

2.2.3 *Normalisatie van effectconcentraties*

Zhao et al. (2011) rapporteren voor PFOS (en PFOA) een correlatie tussen de waargenomen toxiciteit voor paksoi en het organisch stofgehalte van de bodems, en in mindere mate met de kationen

uitwisselings capaciteit (*cation exchange capacity*, CEC) van de bodems. Het uitzetten van de log(EC_{10}/EC_{50}) tegen de log waarde van het organisch materiaal van de bodems geeft aan dat er wel een correlatie is. Deze is echter niet 1-op-1, waar wel van wordt uitgegaan bij normalisatie naar organisch stofgehalte van de bodem. Dit komt doordat andere factoren, zoals CEC, waarschijnlijk ook een rol spelen bij de adsorptie. Andere studies rapporteren ook een correlatie tussen PFOS en organisch stofgehalte. Möller (2009) onderzocht het gedrag van perfluorverbindingen in water en zwevend stof en vond voor PFOS een significante relatie tussen de verdelingscoefficiënt K_d en de fractie organisch koolstof (Pearson correlatie= 0,690; significantie= 0,000; n=62). Ook Higgins & Luthy (2006) rapporteren een sterke relatie tussen adsorptie van PFOS en organische stofgehalte van sediment, met een log K_{oc} van 2,57.

Op basis van deze bevindingen zou besloten kunnen worden om te corrigeren voor verminderde biobeschikbaarheid door adsorptie en de effectconcentraties te normaliseren naar het organische stofgehalte van standaard bodem (10%). Figuur 2 laat de verdeling zien van niet genormaliseerde (n.n.) en naar standaard bodem (10% organisch stof) genormaliseerde log getransformeerde ecotoxiciteitsgegevens voor de studies waarvoor deze vergelijking kan worden gemaakt.



Figuur 2. Verdeling van niet genormaliseerde (n.n.) en naar standaard bodem (10% organisch stof) genormaliseerde log getransformeerde ecotoxiciteitsgegevens voor: (a) paksoi EC_{10}; (b) paksoi EC_{50}; (c) springstaart EC_{10}; (d) mosmijt EC_{10}. De gegevens per soort komen uit dezelfde studie.

Normalisatie zou de variatie moeten verminderen, echter dit blijkt niet het geval te zijn voor de paksoi-studie. Ook bij Princz et al. (2018), die springstaarten en mijten hebben blootgesteld aan PFOS in twee bodems (zie 2.2.2), levert normalisatie naar organisch stofgehalte van standaard bodem (10%) niet het gewenste resultaat op (zie Figuur 2). Het effect

van normalisatie kan niet bepaald worden voor regenwormen omdat slechts twee van de vier studies het organisch stofgehalte van de bodems rapporteren en beide zijn uitgevoerd met standaard OECD kunstgrond met 10% organisch materiaal (zie 2.2.2).

Als de ecotoxiciteitsgegevens zouden moeten worden genormaliseerd voor het organische stofgehalte, zou een aantal studies niet kunnen worden meegenomen omdat het organische stofgehalte niet bekend is. Uit het bovenstaande blijkt echter dat er geen eenduidige relatie is tussen het organische stofgehalte in de bodem en de toxiciteit van PFOS. Daarom is afgezien van normalisatie. Ook bij bioaccumulatie in wormen is geen normalisatie toegepast omdat een evenredige correlatie tussen BAF en organisch koolstof van de bodem ontbreekt (zie 3.5).

2.2.4 *Samenvatting ecotoxiciteitsgegevens voor bodem*

Tabel 1 en 2 geven een samenvatting van de acute en chronische ecotoxiciteitsgegevens voor planten en bodemdieren.

Tabel 1. Overzicht van acute ecotoxiciteitsgegevens voor planten en andere bodemorganismen. De waarden zijn in mg/kg droge stof.

Taxonomische Groep	**Soort**	**Criterium**	**Waarde [mg/kg ds]**
Acuut			
Planten	*Allium cepa*	EC_{50}	11[a]
	Brassica rapa chinensis	EC_{50}	140[b,c]
	Glycine max	EC_{50}	251[a]
	Lactuca sativa	EC_{50}	7,4[a]
	Linum usitatissimum	EC_{50}	78[a]
	Lolium perenne	EC_{50}	34[a]
	Medicago sativa	EC_{50}	115[a]
	Lycopersicum esculentem	EC_{50}	14[a]
Ongewervelden	*Eisenia fetida*	LC_{50}	433[b,d,e]

a: EC_{50} en EC_{10} voor scheutgewicht berekend voor dit rapport, met uitzondering van de EC_{10} voor tomaat die is gebaseerd op scheuthoogte.
b: Gebaseerd op nominale PFOS concentraties.
c: Geometrisch gemiddelde van EC_{50} 107, 95, 122, 119, 178 en 200 mg/kg ds voor wortelgroei.
d: Organisch stofgehalte bodem niet gespecificeerd.
e: Geometrisch gemiddelde van LC_{50} 373, 365, 478 en 541 mg/kg ds.

Tabel 2. Overzicht van chronische ecotoxiciteitsgegevens voor planten en andere bodemorganismen. De waarden zijn in mg/kg droge stof.

Taxonomische Groep	**Soort**	**Criterium**	**Waarde [mg/kg ds]**
Chronisch			
Planten	*Allium cepa*	EC_{10}	2,3[a]
	Brassica rapa chinensis	EC_{10}	72[b,c]
	Glycine max	EC_{10}	75[a]
	Lactuca sativa	EC_{10}	0,81[a]
	Linum usitatissimum	EC_{10}	28[a]
	Lolium perenne	EC_{10}	0,79[a]
	Medicago sativa	EC_{10}	18[a]
	Lycopersicum esculentem	EC_{10}	3,2[a]
Ongewervelden	*Eisenia fetida*	NOEC	3,8
	Folsomia candida	EC_{10}	90[e]
	Oppia nitens	EC_{10}	8,6[f]

a: EC_{50} en EC_{10} voor scheutgewicht berekend voor dit rapport, met uitzondering van de EC_{10} voor tomaat die is gebaseerd op scheuthoogte.
b: Gebaseerd op nominale PFOS concentraties.
c: Geometrisch gemiddelde van EC_{10} 115, 58, 40, 72, 83 en 90 mg/kg ds voor wortelgroei.
d: EC_{10} voor het totaal gewicht van de nakomelingen berekend voor dit rapport.
e: Geometrisch gemiddelde van EC_{10} 57 en 143 mg/kg ds voor aantal nakomelingen.
f: Geometrisch gemiddelde van EC_{10} 6,8 en 11 mg/kg ds voor aantal nakomelingen.

2.3 Afleiding risicogrenzen voor directe ecotoxiciteit in bodem

2.3.1 Ernstig Risiconiveau

Het $ER_{bodem, eco}$ is de concentratie waarbij voor 50% van de bodemorganismen een negatief effect van PFOS door directe blootstelling niet is uit te sluiten. De methodiek voor het afleiden van het $ER_{bodem, eco}$ staat beschreven in Van Vlaardingen & Verbruggen (2007). Het eerdere $ER_{bodem, eco}$ van 16 mg/kg ds uit RIVM briefrapport 601050002 is afgeleid op basis van het geometrisch gemiddelde van de beschikbare acute EC_{50} en LC_{50} waarden voor alle soorten met een extra veiligheidsfactor van 10 (Bodar et al., 2011). Destijds werd deze benadering gevolgd omdat er alleen chronische gegevens waren voor één trofisch niveau. Nu zijn er acute gegevens voor twee trofische niveaus, aangevuld met chronische EC_{10} waarden voor twee trofische niveaus. In dit geval wordt het $ER_{bodem, eco}$ berekend als het geometrisch gemiddelde van de chronische waarden. Het $ER_{bodem, eco}$ is 9,1 mg/kg ds.

2.3.2 Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau

Het $MTR_{bodem, eco}$ is de concentratie PFOS in bodem waar beneden geen negatief effect is te verwachten na directe blootstelling. Tabel 2 laat zien dat er chronische ecotoxiciteitsgegevens zijn voor meerdere soorten behorend tot twee taxonomische groepen. Het eerdere $MTR_{bodem, eco}$ van 0,01 mg/kg ds uit RIVM briefrapport 601050002 is afgeleid met een veiligheidsfactor van 100 op een geschatte EC_{10} voor sla van 1 mg/kg ds (Bodar et al., 2011). De laagste EC_{10} uit de nieuwe dataset is iets lager, maar doordat er nu meer chronische gegevens beschikbaar zijn, kan een lagere veiligheidsfactor worden toegepast. Volgens de handreiking van Van Vlaardingen & Verbruggen (2007) wordt het $MTR_{bodem, eco}$ in deze situatie afgeleid door een veiligheidsfactor van 50 toe te passen op de laagste waarde. Het $MTR_{bodem, eco}$ wordt dan 0,81/ 50 = 0,016 mg/kg ds.

2.3.3 Ecotoxicologisch middenniveau

Het ecotoxicologisch middenniveau wordt gebruikt voor het afleiden van maximale waarden in het bodembeheer. Het wordt berekend als het geometrisch gemiddelde van het $MTR_{bodem, eco}$ en het $ER_{bodem, eco}$ en bedraagt 0,38 mg/kg ds.

3 Risicogrenzen voor doorvergiftiging

3.1 Inleiding

Omdat PFOS stapelt in de voedselketen, worden ook risicogrenzen afgeleid voor indirecte toxiciteit als gevolg van doorvergiftiging. Deze risicogrenzen beschermen hogere organismen die leven van prooidieren die aan PFOS zijn blootgesteld. Concreet betekent dit dat er risicogrenzen voor grond worden afgeleid die bescherming bieden aan de voedselketen van regenwormen, wormetende vogels of zoogdieren naar grotere roofvogels of roofdieren. De methode voor het afleiden van het $MTR_{bodem, dv}$ en $ER_{bodem, dv}$ staat beschreven in Verbruggen (2014) en bestaat uit een aantal stappen. In de eerste stap zijn relevante toxiciteitsgegevens van PFOS voor vogels en zoogdieren verzameld en omgerekend op basis van het energiegehalte van het voedsel (zie 3.2 en Bijlage 2). In de volgende stap is berekend hoeveel PFOS maximaal in wormetende vogels en zoogdieren mag zitten zonder dat grotere predatoren daar effect van ondervinden. Dit gebeurt op basis van de energetische waarde en het vochtgehalte in deze voedselbronnen (zie 3.3). Daarna wordt de hoeveelheid PFOS in wormetende vogels en zoogdieren teruggerekend naar een concentratie in regenwormen en bodem, rekening houdend met de stapeling van PFOS in de voedselketen (zie 3.4 en 3.5; Bijlage 3 en 4).

3.2 Toxiciteit voor vogels en zoogdieren

Gegevens over de toxiciteit van PFOS voor zoogdieren en vogels zijn verzameld in Moermond et al. (2010). Voor het huidige rapport zijn aanvullende gegevens verzameld uit de onderliggende publicaties en uit een aantal recente internationale evaluaties. Op basis hiervan zijn er relevante toxiciteitsstudies met boomkwartels, wilde eenden, muizen, ratten, konijnen en twee soorten apen geïdentificeerd. De relevante eindpunten uit deze studies zijn de NOEC uitgedrukt als concentratie in het voer (mg PFOS/kg voer) en de NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*), de dagelijke inname als fractie van het lichaamsgewicht (mg PFOS/kg lg/d). De details van deze studies zijn samengevat in Bijlage 2, de kritische studies voor deze vijf soorten worden hieronder besproken. De geselecteerde toxiciteitswaarden zijn weergegeven in Tabel 3.

3.2.1 Vogels

Newsted et al. (2007) hebben een reproductiestudie uitgevoerd waarin wilde eenden (*Anas platyrhynchos*) en boomkwartels (*Colinus virginianus*) gedurende 21 weken zijn blootgesteld aan PFOS in het voer. De gekozen testconcentraties waren 10,2, 50,9 en 161 mg/kg voer, maar omdat er bij de hoogste concentratie grote effecten optraden, kreeg die groep dieren na 3 weken een lagere dosering van 20,8 mg/kg voer (gemeten concentraties). In de publicatie wordt ook verwezen naar twee pilotstudies. De details van deze pilots zijn niet bechikbaar. De studies zijn grotendeels op dezelfde manier uitgevoerd, maar met andere concentraties en het is niet duidelijk hoe lang de vogels precies zijn blootgesteld voordat de eieren werden gelegd.
In de pilotstudies werd bij een concentratie van 17,6 mg/kg voer een significante afname gevonden in de voedselconsumptie en het gewicht

van de vogels. Bij 6,2 mg/kg voer (pilot) en 10,2 mg/kg voer (definitieve studie) was geen effect op deze eindpunten.
In de definitieve studie was er bij de wilde eend geen effect op de reproductie. Bij de boomkwartel was er geen effect op het aantal eieren en de levensvatbaarheid van embryo's. Bij de testdosering van 10,2 mg/kg voer waren er lichte, niet significante effecten op de vruchtbaarheid en het uitkomstpercentage van de eieren. Ook was er een kleine, wel significante vermindering van 17% in het aantal overlevende kuikens op 14 dagen na het uitkomen van de eieren, gemeten als percentage van het aantal uitgebroede eieren. De studie bevat onvoldoende gegevens om een LC_{10} te kunnen berekenen.

Newsted et al. (2007) komen op basis de pilots en de definitieve studie tot een NOEC van 6,2 mg/kg voer voor de boomkwartel. Ze verwachten dat deze concentratie ook voldoende veilig is om het effect op de 14-daagse overleving van de kuikens af te dekken. Bij de testconcentratie van 10,2 mg/kg voer, was de door de kwartel ingenomen dagelijkse dosis 0,77 mg/kg lichaamsgewicht per dag. Met dezelfde relatie tussen concentratie in het voer en ingenomen dosis, komt de NOEC van 6,2 mg/kg voer overeen met een NOAEL van 0,47 mg/kg lg/d. De NOEC voor de wilde eend is 10,2 mg/kg voer, overeenkomend met 1,48 mg/kg lg/d.

3.2.2 *Zoogdieren*

De kritische studie met muizen is een ontwikkelingsstudie waarin vrouwtjes tijdens de zwangerschap zijn blootgesteld aan PFOS in doseringen van 1,0 – 20 mg/kg ld/d (Thibodeaux et al., 2003). In deze studie waren misvormingen in de nakomelingen het meest gevoelige eindpunt, met een NOAEL van 1,0 mg/kg lg/d.

De laagste toxiciteitswaarden voor ratten zijn afkomstig uit een 2-generatiestudie gepubliceerd door Luebker et al. (2005a). In de betreffende publicatie wordt een NOAEL van 0,1 mg/kg lg/d gerapporteerd, gebaseerd op groeiremming en verminderde voedselinname bij de mannetjes van de ouderdieren (F0 generatie). Ook wordt een NOAEL van 0,4 mg/kg lg/d gerapporteerd voor verhoogde sterfte en gewichtsafname van de nakomelingen van de F0 generatie (de F1). Een significant verschil van het gewicht van de F2 generatie bij 0,4 mg/kg/d wordt in de studie toegeschreven aan het willekeurig selecteren van een beperkt aantal F2 nakomelingen voor de rest van de test. Dit lijkt echter niet juist, omdat de significante verschillen pas ontstaan na deze selectie en de groei in de dagen daarna significant lager is. Hoewel op andere tijdstippen de groei en het gewicht niet significant verschillen, zijn deze wel lager dan in de controlegroep. Daarom wordt de dosering van 0,1 mg/kg lg/d geselecteerd als de NOAEL voor groei en gewicht van de F2 generatie. Ook voor de opening van de ogen in de F1 generatie is de NOAEL 0,1 mg/kg lg/d, vanwege een significante vertraging bij 0,4 mg/kg/d. In deze ratten studie zijn de NOAEL's uitgedrukt als de teststof, PFOS kaliumzout met onzuiverheden. De gebruikte waarden zijn hier voor gecorrigeerd.

Voor konijnen is één studie beschikbaar, met blootstelling tijdens de zwangerschap aan doseringen van 0,1 – 3,75 mg/kg lg/d (Case et al., 2001). Bij 1 mg/kg lg/d was er een significante afname in

lichaamsgewicht van de moederdieren en de dosering daaronder van 0,1 mg/kg lg/d is gerapporteerd als de NOAEL. De doseringen in deze studie liggen met een factor 10 ver uit elkaar. Bij de NOAEL is het effect op de groei (moedergewicht) echter al meer dan 10% en deze NOAEL lijkt dus zeker niet te laag te zijn.

Voor Java-apen (*Macaca fasicularis*) is een subchronische toxiciteitsstudie beschikbaar waar de apen 26 weken blootgesteld zijn aan PFOS in doseringen van 0,03-0,75 mg/kg lg/d (Seacat et al., 2002). Het gevoeligste eindpunt was sterfte en afname in lichaamsgewicht met een NOAEL van 0,15 mg/kg lg/d. De kritische studie met resusapen (*Macaca mulatta*) is een 90-daagse subacute toxiciteitsstudie met een NOAEL van 0,5 mg/kg lg/d van Goldenthal et al. (1978a), geciteerd in 3M (2003). Bij hogere doseringen beefden de apen en waren er ernstige effecten op het maag-darmkanaal.

3.2.3 Samenvatting toxiciteitsgegevens vogels en zoogdieren

Tabel 3 geeft een samenvatting van de bovengenoemde studies. In de tabel staan de NOAEL's in mg/kg lg/d zoals die in de studie zijn bepaald en de overeenkomstige toxiciteitswaarden uitgedrukt op basis van het energiegehalte in het voedsel van de dieren. Verdere details zijn te vinden in Bijlage 2.

Het ER en MTR gelden voor langdurige blootstelling en zijn bij voorkeur gebaseerd op chronische studies. Als de studieduur korter is, moet er een extra veiligheidsfactor worden toegepast. De gebruikelijke factor staat ook in Tabel 3. De waarden na correctie voor energiebehoefte en studieduur zijn het uitgangspunt voor de afleiding van het ER en MTR in paragraaf 3.3.

Tabel 3. Overzicht van de kritische studies voor vogels en zoogdieren. Vetgedrukte waarden zijn gebruikt in de afleiding van de risicogrenzen voor doorvergiftiging.

Soort	**Studie-duur**	**Effect**	**NOAEL dagelijkse dosis [mg/kg lg/d]**	**NOAEL energiegehalte van het voedsel [µg/kJ]**	**Correctie-factor voor studieduur**	**Waarde voor afleiding ER en MTR [µg/kJ]**	**Referentie**
wilde eend	chronisch	gewicht F0	1,48	2,20	1	**2,20**	Newsted et al. (2007)
boomkwartel	chronisch	sterfte, reproductie	0,47	0,409	1	**0,409**	Newsted et al. (2007)
muis	sub-chronisch	misvormingen F1	1	0,418	3	**0,139**	Thibodeaux et al. (2003)
rat	chronisch	mortaliteit, gewicht F1	0,081	0,0628	1	**0,0628**	Luebker et al. (2005a)
konijn	sub-chronisch	gewicht F0	0,1	0,156	3	**0,0520**	Case et al. (2001)
Java-aap	sub-chronisch	mortaliteit, gewicht	0,15	0,227	3	**0,0755**	Seacat et al. (2002)
resusaap	sub-chronisch	mortaliteit, gewicht	0,5	0,763	3	**0,254**	Goldenthal et al. (1978a)

3.3 Risicogrenzen in wormetende vogels en zoogdieren

De toxiciteitswaarden voor vogels en zoogdieren in Tabel 3 staan model voor de toxiciteit van PFOS voor de roofdieren die leven van kleinere wormetende vogels en zoogdieren. Zoals beschreven in Verbruggen (2014) wordt het MTR voor de predator bepaald op basis van de laagste beschikbare waarde, dit is 0,0520 µg/kJ voor konijnen. Om de onzekerheid voor niet geteste soorten af te dekken, wordt een veiligheidsfactor van 10 toegepast. Dit levert een $MTR_{predator}$ van 0,0052 µg PFOS/kJ. Het ER voor de predator wordt berekend op basis van het geometrisch gemiddelde van de voor de studieduur gecorrigeerde waarden voor de zeven soorten (wilde eend, boomkwartel, muis, rat, konijn, Java- en resusaap). Dit levert een $ER_{predator}$ van 0,184 µg PFOS/kJ. Deze waarden worden omgerekend naar een gehalte in hun prooi met behulp van het standaard energie- en vochtgehalte voor vertebraten van respectievelijk 23,2 kJ/g dw en 68,4% uit Verbruggen (2014). Het MTR_{prooi}, uitgedrukt als gehalte PFOS in wormetende vogels en zoogdieren, is dan 0,038 mg PFOS/kg prooidier (natgewicht), het ER_{prooi} is 1,35 mg PFOS/kg prooidier (natgewicht)[2]. Om te komen tot risicogrenzen in grond, worden deze waarden eerst teruggerekend naar een concentratie in regenwormen en vervolgens naar een concentratie in bodem. Hierbij is rekening gehouden met het feit dat er biomagnificatie optreedt, waardoor hogere organismen relatief meer PFOS bevatten dan dieren die lager in de voedselketen zitten. Dit wordt in de volgende paragrafen uitgewerkt.

3.4 Biomagnificatie gegevens voor PFOS

Voor dit rapport zijn PFOS biomagnificatie gegevens verzameld voor zoogdieren en vogels uit aquatische en terrestrische voedselketens. Hierbij is aangenomen dat biomagnificatie in beide type voedselketens vergelijkbaar is voor zoogdieren en vogels. Bijlage 3 bevat een overzicht van alle beoordeelde studies. In sommige studies zijn geen biomagnificatie factoren (BMF) gerapporteerd, maar konden deze worden berekend door de gerapporteerd PFOS concentraties in predatoren te delen door die van de prooi.

De gevonden BMF-waarden variëren sterk met waarden van 0,1 tot 775 kg/kg, waarbij een aanzienlijk deel als niet betrouwbaar is beoordeeld. Hier zijn een aantal verklaringen voor te vinden. De belangrijkste verklaring is dat PFOS concentraties in predatoren vaak bepaald zijn in de lever (of een ander orgaan), terwijl de PFOS concentraties in de prooi gebaseerd zijn op het gehele lichaam. PFOS bindt aan eiwitten en de lever is een eiwitrijk orgaan. Het is aannemelijk dat deze methodiek leidt tot een overschatting van de biomagnificatie van PFOS. Franklin (2016) heeft recent een overzichtsstudie gepubliceerd die is toegespitst op de betrouwbaarheid van veld BMF-waarden voor perfluorverbindingen. De auteur noemt daarin nog een aantal redenen, zoals het eetpatroon, de sekse, leeftijd en omvang van het bemonsterde organisme. Ook zijn er stof-gerelateerde factoren, zoals het wel of niet bereiken van een evenwicht tussen opname en uitscheiding en het optreden van omzetting in het lichaam (biotransformatie, wat voor een geperfluoreerde stof als PFOS niet zal

[2] Bij een vochtgehalte van 68,4%, komt 1 kg natgewicht overeen met 0,316 kg drooggewicht. Het energiegehalte uitgedrukt op basis van natgewicht is dus 0,316 x 23200 = 7331 kJ/kg natgewicht.

optreden). Andere factoren die een rol kunnen spelen in de gevonden variatie hebben meer met de studieopzet te maken. Zo kunnen organismen bemonsterd zijn in sterk vervuilde omgevingen (D'Hollander et al., 2014; Quinete et al., 2009). Soms zijn de locaties van predator en prooi te ver van elkaar verwijderd, zoals onder andere bij Sinclair et al. (2006) en Tomy et al. (2004), of zit er erg veel tijd tussen de bemonstering van predator en prooi (Martin et al., 2004).

Uiteindelijk zijn er negen studies die betrouwbare BMF-waarden voor PFOS rapporteren (Bossi et al., 2005; Gulkowska et al., 2005; Haukås et al., 2007; Houde et al., 2006; Kallenborn et al., 2004; Kannan et al., 2005; Müller et al., 2011; Xu et al., 2014; Zhou et al., 2012). Bij de meeste van deze studies zijn PFOS concentraties in de lever van predator en prooi bepaald, waardoor de BMF waarden een vertekend beeld kunnen geven. Een ijsbeer eet vooral 'blubber' van zeehonden en niet de lever en de concentraties in de lever zijn dan geen goede maat voor de relatie tussen predator en prooi. Alles in beschouwing nemende, zijn er slechts twee relevante biomagnificatiestudies, die betrouwbare BMF waarden rapporteren gebaseerd op PFOS concentraties in het gehele lichaam van zowel de predator (op basis van schattingen) als de prooi. Dit zijn de studies van Müller et al. (2011) voor een terrestrische voedselketen en van Houde et al. (2006) voor een mariene voedselketen. Uit deze biomagnificatiestudies is een geometrisch gemiddelde BMF afgeleid van 6,74, uitgedrukt als kg worm/kg zoogdier of vogel, beide op basis van natgewicht (zie Bijlage 3).

3.5 Risicogrenzen in regenwormen en bodem

De risicogrenzen in wormetende vogels en zoogdieren zijn teruggerekend naar de bijbehorende concentratie in regenwormen door het MTR_{prooi} en ER_{prooi} (0,038 en 1,35 mg PFOS/kg natgewicht) te delen door de BMF van 6,74. Dit levert een MTR_{worm} van 5,65 µg/kg worm (natgewicht) en een ER_{worm} van 203 µg/kg worm (natgewicht). De laatste stap in de afleiding is het terugrekenen van deze risicogrenzen in wormen naar een concentratie in bodem. Dit gebeurt door ze te delen door een bioaccumulatiefactor (BAF) die de opname van PFOS door de worm uit de bodem beschrijft. Voor wormen is op basis van de betrouwbare studies een geometrisch gemiddelde BAF van 1,92 afgeleid, uitgedrukt als kg ds bodem/kg natgewicht worm (zie Bijlage 4 voor details). In de studies is er geen proportionele relatie tussen de bioaccumulatie van PFOS in wormen en het organische stofgehalte in de bodem. Daarom is een geometrische gemiddelde BAF gebruikt zonder normalisatie voor organische stofgehalte. De BAF van 1,92 levert een $MTR_{bodem,\ dv}$ van 3,0 µg PFOS/kg ds, het $ER_{bodem,\ dv}$ is 106 µg/kg ds.

Het ecotoxicologische middenniveau, dat wordt gebruikt voor het afleiden van maximale waarden in het bodembeheer, is het geometrisch gemiddelde van het $MTR_{bodem,\ dv}$ en het $ER_{bodem,\ dv}$, en bedraagt 18 µg/kg ds.

4 Risicogrenzen voor directe ecotoxiciteit in grondwater

4.1 Inleiding

Voor het bepalen van de risicogrenzen voor grondwater wordt alleen de route directe ecotoxiciteit meegenomen. Consumptie van grondwaterorganismen levert naar verwachting geen relevante bijdrage aan de blootstelling van vogels en zoogdieren. Het $ER_{grw, eco}$ is de concentratie waarbij 50% van de grondwaterorganismen een negatief effect door PFOS kan ondervinden. Het $MTR_{grw, eco}$ is de concentratie PFOS in grondwater waar beneden geen negatief effect is te verwachten. De afleiding van het $ER_{grw, eco}$ en het $MTR_{grw, eco}$ zou idealiter gebeuren aan de hand van ecotoxiciteitsgegevens voor grondwaterorganismen. Deze zijn echter voor vrijwel geen enkele stof beschikbaar, zo ook niet voor PFOS. Daarom wordt gebruik gemaakt van de ecotoxiciteitsgegevens voor oppervlaktewater. Hierbij wordt aangenomen dat de gevoeligheid van organismen in het grondwater gelijk is aan die in oppervlaktewater (Van Vlaardingen & Verbruggen, 2007). Het $ER_{grw, eco}$ wordt berekend als het geometrisch gemiddelde van de chronische ecotoxiciteitsdata voor waterorganismen.

4.2 Ecotoxiciteit voor waterorganismen

Gegevens over de directe ecotoxiciteit van PFOS voor waterorganismen zijn verzameld in RIVM rapport 601714013 (Moermond et al., 2010). Het eerdere RIVM briefrapport van Bodar et al. (2011) verwijst voor de risicogrenzen voor grondwater ook naar deze waarden. Voor het huidige rapport is geen uitgebreid literatuuronderzoek uitgevoerd naar recente aquatische ecotoxiciteitsgegevens voor PFOS. Wel is gekeken of er aanvullende gegevens staan in het Europese EQS-dossier met milieukwaliteitsnormen voor de Kaderrichtlijn Water (EC, 2011) en een recent rapport van Environment and Climate Change Canada (ECCC, 2018). De chronische ecotoxiciteitswaarden staan in Tabel 4.

De aanvullende waarden uit ECCC (2018) voor de zebravis *Danio rerio* en de groenalg *Scenedesmus obliquus* zijn toegevoegd aan Tabel 4. Voor de zebravis vermeldt het rapport een 40-daagse *Maximum Acceptable Toxicant Concentration* (MATC) van 0,112 mg/L voor groei (Du et al., 2009). De MATC is het geometrisch gemiddelde van NOEC en LOEC. Uit de betreffende studie kan een NOEC van 0,01 mg/L worden afgeleid voor misvormingen en verhoogde sterfte bij de nakomelingen. Voor de groenalg vermeldt ECCC (2018) een 72-uurs EC_{10} van 53 mg/L voor groeiremming (Liu et al., 2008).

In het ECCC overzicht staat ook een 67-daagse NOEC van 0,1 mg/L voor overleving van de klauwkikker (*Xenopus laevis*) uit Cheng et al. (2011). Het betreffende artikel is geraadpleegd en daaruit blijkt dat de blootstelling van dag 46/47 tot dag 62 heeft plaatsgevonden. Ook blijkt dat bij de hoogste concentratie van 0,1 mg/L geen effect op overleving was waargenomen, en dus zou de 16 daagse NOEC als ≥0,1 mg/L gerapporteerd moeten worden. Daarom is deze studie niet informatief over het effectniveau voor deze soort. Hetzelfde geldt voor de NOEC van ≥3,2 mg/L voor de zoutwateralg *Skeletonema costatum* uit het EQS-

dossier. Omdat de getallen niet aan de onderkant of bovenkant van de andere ecotoxiciteitswaarden liggen, is het effect van deze getallen op het ER verwaarloosbaar en zijn ze niet meegenomen.

Het EQS-dossier bevat enkele waarden die door Moermond et al. (2010) als niet betrouwbaar zijn beoordeeld. Het EQS-dossier vermeldt bij de betreffende waarden dat voorzichtigheid is geboden bij gebruik, omdat ze zijn gebaseerd op nominale waarden of uit een microcosm-studie komen die onvoldoende studiedetails bevat.

Tabel 4. Overzicht van chronische ecotoxiciteitsgegevens van PFOS voor waterorganismen gebruikt voor afleiden $ER_{grw,eco}$ en $MTR_{grw, eco}$. Details zijn te vinden in Moermond et al. (2010), behalve voor de dikgedrukte waarden die in dit rapport zijn bijgevoegd.

Taxonomische groep	**Soort**	**Criterium***	**Waarde [mg/L]**
Blauwalgen	*Anabaena flos-aqua*	NOEC	94
Algen	*Chlorella vulgaris*	EC_{10}	8,2
	Navicula pelliculosa	NOEC	191
	Pseudokirchneriella subcapitata	EC_{10}	53
	Scenedesmus obliquus	**EC_{10}**	**53**
Waterplanten	*Lemna gibba*	EC_{10}	6,6
	Myriophyllum sibiricum	EC_{10}	0,56
	Myriophyllum spicatum	EC_{10}	3,2
Kreeftachtigen	*Daphnia magna*	NOEC	7,0
	Moina macrocopa	NOEC	0,40
	Americamysis bahia (zout)	NOEC	0,25
Insecten	*Chironomus tentans*	EC_{10}	<0,0023
	Enallagma cyathigerum	NOEC	<0,01
Vissen	***Danio rerio***	**NOEC**	**0,01**
	Oryzias latipes	NOEC	<0,01
	Pimephales promelas	NOEC	0,028
Amfibieën	*Xenopus laevis*	NOEC	5,0

4.3 Afleiding risicogrenzen voor directe ecotoxiciteit in grondwater

4.3.1 Ernstig Risiconiveau

Met de twee aanvullende chronische ecotoxiciteitswaarden zijn er in totaal 14 begrensde NOEC/EC_{10} waarden voor zeven taxonomische groepen uit tenminste drie trofische niveaus. Volgens de handreiking van Van Vlaardingen & Verbruggen (2007) is het $ER_{grw, eco}$ in deze situatie gelijk aan het geometrisch gemiddelde van de NOEC/EC_{10} waarden. Dit levert een $ER_{grw, eco}$ van 3,0 mg/L. Zoals aangegeven door Moermond et al. (2010) is deze benadering echter ontoereikend voor de beschikbare dataset. Bij de drie gevoeligste soorten waren er al effecten bij de laagste testconcentratie en konden er geen NOEC's worden bepaald. Daarom zijn ook de <-waarden meegenomen in de berekening van het geometrisch gemiddelde, hiermee komt het $ER_{grw, eco}$ op 1,0 mg/L.

4.3.2 *Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau*

Met het beschikbare aantal soorten/taxonomische groepen zou het $MTR_{grw,\ eco}$ normaliter worden afgeleid met een veiligheidsfactor van 10 op de laagste NOEC of EC_{10}. Moermond et al. (2010) zijn in RIVM rapport 601714013 afgeweken van de standaard benadering. Een veiligheidsfactor van 10 op de laagste begrensde NOEC is namelijk niet beschermend voor een aantal gevoelige soorten, zoals de rijstvis *Oryzias latipes* en het insect *Enallagma cyathigerum*. Bij de laagste testconcentratie van 10 µg/L was er 80% effect op overleving van vissenlarven en 18% effect op de metamorfose van *E. nallagma*. In navolging van Moermond et al. (2010) en Bodar et al. (2011) wordt het $MTR_{grw,\ eco}$ daarom berekend met een veiligheidsfactor van 100 op de laagste effectconcentratie van <0,0023 mg/L (2,3 µg/L) voor *Chironomus tentans*. Dit levert een $MTR_{grw,\ eco}$ van 0,023 µg/L (23 ng/L)[3].

[3] De chronische waterkwaliteitsnorm voor directe ecotoxiciteit uit het Europese EQS dossier ($AA\text{-}QS_{freshwater,\ eco}$) is een factor 10 hoger dan de waarde uit Moermond et al. (2010). De $AA\text{-}QS_{freshwater,\ eco}$ in het EQS-dossier is volgens de tekst gebaseerd op een chronische NOEC van 2,3 µg/L voor *Chironomus tentans* met een veiligheidsfactor van 10. De evaluatie in het rapport van Moermond et al. (2010) laat echter zien dat er bij de laagste testconcentratie al meer dan 10% effect is. Bovendien zijn er ernstige effecten op vissen en insecten.

5 Discussie en conclusies

Dit rapport beschrijft de afleiding van ecotoxicologische risicogrenzen voor PFOS (perfluoroctaansulfonzuur) in bodem en grondwater. Samen met gezondheidskundige risicogrenzen vormen ze onderdeel van het beoordelingskader voor bodem- en grondwaterkwaliteit. De risicogrenzen kunnen worden gebruikt voor beslissingen over hergebruik van grond. Tabel 5 geeft een overzicht van de risicogrenzen die in dit rapport zijn afgeleid. Hiervoor zijn recente literatuurgegevens gebruikt over de effecten van PFOS op bodem- en waterorganismen, vogels en zoogdieren en over de accumulatie van PFOS in de terrestrische voedselketen.

Tabel 5. Overzicht van de afgeleide risicogrenzen voor PFOS in bodem en grondwater.

Bodem		**[µg PFOS/kg ds]**
Directe ecotoxiciteit	$ER_{bodem, eco}$	9100
	$MTR_{bodem, eco}$	16
	middenniveau	380
Doorvergiftiging	$ER_{bodem, dv}$	106
	$MTR_{bodem, dv}$	3,0
	middenniveau	18
Grondwater		**[µg PFOS/L]**
Directe ecotoxiciteit	$ER_{grw, eco}$	1000
	$MTR_{grw, eco}$	0,023

Net al in de eerdere evaluaties van PFOS door het RIVM (Bodar et al., 2011; Moermond et al., 2010) is er een groot verschil tussen het ER- en MTR-niveau, met name voor grondwater. Dit komt door de grote variatie in gevoeligheid voor PFOS bij waterorganismen. Het MTR heeft als doel om het hele ecosysteem te beschermen en is gebaseerd op het gevoeligste organisme. Het ER is het gemiddelde is van alle beschikbare ecotoxiciteitsgegevens, waardoor ook relatief ongevoelige soorten meetellen in de berekening. De toevoeging van twee aanvullende chronische waarden heeft ertoe geleid dat het verschil tussen het ER en MTR voor grondwater nog iets groter is geworden dan in Bodar et al. (2011).

Op basis van de gegevens voor waterorganismen werd verwacht dat bodeminsecten gevoelig zijn. De effectwaarden voor springstaarten en mijten, die model staan voor bodeminsecten, zijn echter hoger dan voor regenwormen en planten. Bij bodemorganismen lijkt de variatie in gevoeligheid voor PFOS kleiner dan bij waterorganismen, maar binnen de planten is er nog altijd een factor 95 verschil tussen het hoogste en laagste chronische toxiciteitsgetal. Verschillen in biologische beschikbaarheid tussen bodems zouden een rol kunnen spelen, maar dit vraagt meer onderzoek naar de relatie tussen bodemsamenstelling en toxiciteit. De dataset voor bodem bevat minder taxonomische groepen dan die voor water. Dit geldt voor veel meer stoffen dan PFOS en komt onder andere doordat er niet zoveel standaard testrichtlijnen met bodemorganismen zijn. Ondanks de kleinere verschillen in gevoeligheid,

zijn de verschillen tussen het ER en MTR ook voor bodem groot. Voor een stof als PFOS, met een grote variatie in gevoeligheid tussen soorten én een relatief beperkte dataset, is het ER geen geschikte maat om de risico's te bepalen. Dit geldt ook voor het middenniveau, zij het in beperktere mate.

De verzamelde literatuurgegevens wijzen ook op een grote variatie in bioamagnificatiefactoren van PFOS voor vogels en zoogdieren. Bij veldstudies zijn grotere verschillen te verwachten dan bij gecontroleerde laboratoriumproeven, maar de gekozen studieopzet is ook van grote invloed op de betrouwbaarheid van de uitkomsten. Gezien de POP-status van PFOS en de daarmee samenhangde relevantie van doorvergiftiging, is het opmerkelijk dat er uiteindelijk maar twee studies bruikbaar bleken. Bovendien zijn er vrijwel geen studies met metingen in terrestrische voedselketens. Ondanks de beperkingen, leveren de veldgegevens een beter beeld dan de voorheen gebruikte standaardfactor voor biomagnificatie, zeker in combinatie met de verbeterde berekeningsmethodiek op basis van energiegehalten.

De risicogrenzen voor doorvergiftiging in bodem zijn lager dan die voor directe ecotoxiciteit. Het $ER_{bodem, dv}$ is 86 keer lager dan het $ER_{bodem, eco}$ en op MTR-niveau zit er ruim een factor 5 tussen beide risicogrenzen. Bij het middenniveau voor directe ecotoxiciteit zijn ernstige effecten op toppredatoren niet uitgesloten. Net als eerder is aangetoond voor oppervlaktewater, bevestigt dit onderzoek dat het belangrijk is om de risico's voor predatoren mee te nemen bij het afleiden van risicogrenzen voor bodem.

Referenties

3M. 2003. Environmental and health assessment of perfluorooctane sulfonic acid and its salts.

Amundsen CE. 2008. Screening of polyfluorinated organic compounds at four fire training facilities in Norway. Oslo, Norway: Norwegian Pollution Control Authority (SFT). Rapport nr. TA-2444/2008.

Beach SA, Newsted JL, Coady K, Giesy JP. 2006. Ecotoxicological evaluation of perfluorooctanesulfonate (PFOS). Reviews in Environmental Contamination and Toxicology 186: 133-174.

Bodar C, Lijzen J, Moermond C, Peijnenburg W, Smit E, Verbruggen E, Janssen M. 2011. Advies risicogrenzen grond en grondwater voor PFOS. Bilthoven, Nederland: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Rapport nr. 601050002/2011.

Bossi R, Riget FF, Dietz R, Sonne C, Fauser P, Dam M, Vorkamp K. 2005. Preliminary screening of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and other fluorochemicals in fish, birds and marine mammals from Greenland and the Faroe Islands. Environmental Pollution 136 (2): 323-329.

Bräunig J, Baduel C, Barnes CM, Mueller JF. 2019. Leaching and bioavailability of selected perfluoroalkyl acids (PFAAs) from soil contaminated by firefighting activities. Science of The Total Environment 646: 471-479.

Brignole AJ, Porch JR, Krueger HO, van Hoven RL. 2003. PFOS: A toxicity test to determine the effects of the test substance on seedling emergence of seven species of plants. Easton, MD, USA: Wildlife International, Ltd. Rapport nr. 454-110.

Butt CM, Mabury SA, Kwan M, Wang X, Muir DCG. 2008. Spatial trends of perfluoroalkyl compounds in ringed seals (*Phoca hispida*) from the Canadian Arctic. Environmental Toxicology and Chemistry 27 (3): 542-53.

Case MT, York RG, Christian MS. 2001. Rat and rabbit oral developmental toxicology studies with two perfluorinated compounds. International Journal of Toxicology 20: 101-109.

Cheng Y, Cui Y, Chen H-m, Xie W-p. 2011. Thyroid disruption effects of environmental level perfluorooctane sulfonates (PFOS) in *Xenopus laevis*. Ecotoxicology 20 (8): 2069-2078.

Christian MS, Hoberman AM, York RG. 1999. Oral (gavage) cross-fostering study of PFOS in rats. Horsham, PA, USA: Argus Research Laboratories, Inc. Rapport nr. 418-014.

COT. 2006. COT Statement on the tolerable daily intake for perfluorooctane sulfonate. London, UK: Committee on Toxicity of Chemicals in Food, Consumer Products and the Environment.

CRC CARE. 2017. Assessment, management and remediation for PFOS and PFOA Part 3: ecological screening levels. Callaghan NSW, Australia: CRC CARE Pty Ltd. Rapport nr. Technical Report No . 38.

D'Hollander W, De Bruyn L, Hagenaars A, de Voogt P, Bervoets L. 2014. Characterisation of perfluorooctane sulfonate (PFOS) in a terrestrial ecosystem near a fluorochemical plant in Flanders, Belgium. Environmental Science and Pollution Research 21 (20): 11856-11866.

Das P, Megharaj M, Naidu R. 2015. Perfluorooctane sulfonate release pattern from soils of fire training areas in Australia and its bioaccumulation potential in the earthworm *Eisenia fetida*. Environmental Science and Pollution Research 22 (12): 8902-8910.

Du Y, Shi X, Liu C, Yu K, Zhou B. 2009. Chronic effects of water-borne PFOS exposure on growth, survival and hepatotoxicity in zebrafish: a partial life-cycle test. Chemosphere 74 (5): 723-729.

EC. 2011. EQS dossier 2011 Perfluorooctane sulphonate (PFOS). Available at: https://circabc.europa.eu/sd/a/027ff47c-038b-4929-a84c-da3359acecee/PFOS%20EQS%20dossier%202011.pdf.

EC. 2018. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document No. 27. Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards. Updated version 2018. Brussels, Belgium: European Commission.

ECCC. 2018. Canadian Environmental Protection Act, 1999. Federal Environmental Quality Guidelines. Perfluorooctane Sulfonate (PFOS). Environment and Climate Change Canada. Beschikbaar via https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/evaluating-existing-substances/federal-environmental-quality-guidelines-perfluorooctane-sulfonate.html.

EFSA. 2008. Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. EFSA Journal 653: 1-131.

Falandysz J, Taniyasu S, Gulkowska A, Yamashita N, Schulte-Oehlmann U. 2006. Is Fish a Major Source of Fluorinated Surfactants and Repellents in Humans Living on the Baltic Coast? Environmental Science & Technology 40 (3): 748-751.

Franklin J. 2016. How reliable are field-derived biomagnification factors and trophic magnification factors as indicators of bioaccumulation potential? Conclusions from a case study on per- and polyfluoroalkyl substances. Integrated Environmental Assessment and Management 12 (1): 6-20.

Giesy JP, Kannan K. 2001. Global distribution of perfluorooctane sulfonate in wildlife. Environmental Science & Technology 35 (7): 1339-1342.

Goldenthal EI, Jessup DC, Geil RG, Mehring JS. 1978a. Ninety-day subacute rhesus monkey toxicity study. International Research and Development Corporation. Rapport nr. 137-092.

Goldenthal EI, Jessup DC, Geil RG, Mehring JS. 1978b. Ninety-day subacute rat toxicity study. International Research and Development Corporation. Rapport nr. 137-085.

Gortner EG. 1980. Oral teratology study of FC-95 in rats. St. Paul, MN, USA: Safety Evaluation Laboratory and Riker Laboratories, Inc. Rapport nr. 0680TR0008.

Gulkowska A, Falandysz J, Taniyasu S, Bochentin I, So MK, Yamashita N. 2005. Perfluorinated chemicals in blood of fish and waterfowl from gulf of Gdansk, Baltic sea. Fluoros Symposium. Toronto, Canada.

Haukås M, Berger U, Hop H, Gulliksen B, Gabrielsen GW. 2007. Bioaccumulation of per- and polyfluorinated alkyl substances (PFAS) in selected species from the Barents Sea food web. Environmental Pollution 148: 360-371.

Higgins CP, Luthy RG. 2006. Sorption of perfluorinated surfactants on sediments. Environmental Science & Technology 40 (23): 7251-7256.
Houde M, Bujas TAD, Small J, Wells RS, Fair PA, Bossart GD, Solomon KR, Muir DCG. 2006. Biomagnification of perfluoroalkyl compounds in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) food web. Environmental Science & Technology 40 (13): 4138-4144.
Joung K-E, Jo E-H, Kim H-M, Choi K, Yoon J. 2010. Toxicological Effects of PFOS and PFOA on Earthworm, *Eisenia fetida*. Environmental Health & Toxicology 25 (3): 181-186.
Kallenborn R, Berger U, Järnberg U, Dam M, Glesne O, Hedlund B, Hirvi J-P, Lundgren A, Bügel Mogensen B, Sigurdsson AS. 2004. Perfluorinated alkylated substances (PFAS) in the Nordic environment. Copenhagen, Denmark: Nordic Council of Ministers. Rapport nr. TemaNord 2004:552.
Kannan K, Newsted J, Halbrook RS, Giesy JP. 2002. Perfluorooctanesulfonate and Related Fluorinated Hydrocarbons in Mink and River Otters from the United States. Environmental Science & Technology 36 (12): 2566-2571.
Kannan K, Tao L, Sinclair E, Pastva SD, Jude DJ, Giesy JP. 2005. Perfluorinated compounds in aquatic organisms at various trophic levels in a Great Lakes food chain. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 48 (4): 559-566.
Kelly BC, Ikonomou MG, Blair JD, Surridge B, Hoover D, Grace R, Gobas FAPC. 2009. Perfluoroalkyl contaminants in an Arctic marine food web: Trophic magnification and wildlife exposure. Environmental Science & Technology 43: 4037-4043.
Kon Kam King G, Veber P, Charles S, Delignette-Muller ML. 2014. MOSAIC-SSD: A new web tool for species sensitivity distribution to include censored data by maximum likelihood. Environ Toxicol Chem 33 (9): 2133–2139.
Lau C, Thibodeaux JR, Hanson RG, Rogers JM, Grey BE, Stanton ME, Butenhoff JL, Stevenson LA. 2003. Exposure to perfluorooctane sulfonate during pregnancy in rat and mouse. II: Postnatal evaluation. Toxicological Sciences 74: 382-392.
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). Bilthoven, Nederland: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Rapport nr. 2018-0060.
Liu W, Chien S, Quan X, Jin Y-H. 2008. Toxic effect of serial perfluorosulfonic and perfluorocarboxylic acids on the membrane system of a freshwater alga measured by flow cytometry. Environmental Toxicology and Chemistry 27: 1597-1604.
Loi EIH, Yeung LWY, Taniyasu S, Lam PKS, Kannan K, Yamashita N. 2011. Trophic magnification of poly- and perfluorinated compounds in a subtropical food web. Environmental Science & Technology 45 (13): 5506-5513.
Luebker DJ, Case MT, York RG, Moore JA, Hansen KJ, Butenhoff JL. 2005a. Two-generation reproduction and cross-foster studies of perfluorooctanesulfonate (PFOS) in rats. Toxicology 215 (1-2): 126-148.

Luebker DJ, York RG, Hansen KJ, Moore JA, Butenhoff JL. 2005b. Neonatal mortality from in utero exposure to perfluorooctanesulfonate (PFOS) in Sprague–Dawley rats: Dose–response, and biochemical and pharamacokinetic parameters. Toxicology 215 (1-2): 149-169.

Martin JW, Smithwick MM, Braune BM, Hoekstra PF, Muir DCG, Mabury SA. 2004. Identification of long-chain perfluorinated acids in biota from the Canadian Arctic. Environmental Science & Technology 38 (2): 373-80.

Mayilswami S, Krishnan K, Megharaj M, Naidu R. 2014. Chronic PFOS exposure alters the expression of neuronal development-related human homologues in *Eisenia fetida*. Ecotoxicology and Environmental Safety 110: 288-297.

Moermond CTA, Verbruggen EMJ, Smit CE. 2010. Environmental risk limits for PFOS. A proposal for water quality standards in accordance with the Water Framework Directive. Bilthoven, Nederland: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Rapport nr. 601714013/2010.

Mohammadi MM. 2015. The bioavailability of perfluoroalkyl substances (PFASs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil to *Eisenia fetida* and *Cucurbita pepo*. Department of Aquatic Sciences and Assessment Section of Organic Environmental Chemistry and Ecotoxicology. Uppsala, Sweden, Swedish University of Agricultural Sciences.

Möller A. 2009. Analysis of poly- and perfluoroalkyl compounds (PFCs) in surface water of the River Rhine using HPLC-MS/MS. Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften, Studiengang Chemieingenieurwesen. Hamburg, Fachhochschule Lübeck, University of Applied Sciences.

Müller CE, De Silva AO, Small J, Williamson M, Wang X, Morris A, Katz S, Gamberg M, Muir DCG. 2011. Biomagnification of perfluorinated compounds in a remote terrestrial food chain: Lichen-caribou-wolf. Environmental Science & Technology 45 (20): 8665-8673.

Navarro I, de la Torre A, Sanz P, Porcel MA, Pro J, Carbonell G, de Los Ángeles Martínez M. 2017. Uptake of perfluoroalkyl substances and halogenated flame retardants by crop plants grown in biosolids-amended soils. Environmental Research 152: 199-206.

Navarro I, de la Torre A, Sanz P, Pro J, Carbonell G, de Los Ángeles Martínez M. 2016. Bioaccumulation of emerging organic compounds (perfluoroalkyl substances and halogenated flame retardants) by earthworm in biosolid amended soils. Environmental Research 149: 32-39.

Newsted JL, Coady KK, Beach SA, Butenhoff JL, Gallagher S, Giesy JP. 2007. Effects of perfluorooctane sulfonate on mallard and northern bobwhite quail exposed chronically via the diet. Environmental Toxicology and Pharmacology 23: 1-9.

OECD. 2002. Co-operation on existing chemicals. Hazard assessment of perfluorooctane (PFOS) and its salts. Organisation for Economic Co-operation and Development, Environment Directorate. Joint meeting of the chemicals committee and the working party on chemicals, pesticides and biotechnology.

Powley CR, George SW, Russell MH, Hoke RA, Buck RC. 2008. Polyfluorinated chemicals in a spatially and temporally integrated food web in the Western Arctic. Chemosphere 70 (4): 664-672.

Princz J, Jatar M, Lemieux H, Scroggins R. 2018. Perfluorooctane sulfonate in surface soils: Effects on reproduction in the collembolan, *Folsomia candida*, and the oribatid mite, *Oppia nitens*. Chemosphere 208: 757-763.

Quinete N, Wu Q, Zhang T, Yun SH, Moreira I, Kannan K. 2009. Specific profiles of perfluorinated compounds in surface and drinking waters and accumulation in mussels, fish, and dolphins from southeastern Brazil. Chemosphere 77 (6): 863-869.

Rich CD, Blaine AC, Hundal L, Higgins CP. 2015. Bioaccumulation of perfluoroalkyl acids by earthworms (*Eisenia fetida*) exposed to contaminated soils. Environmental Science & Technology 49 (2): 881-888.

Seacat AM, Thomford PJ, Hansen KJ, Clemen LA, Eldridge SR, Elcombe CR, Butenhoff JL. 2003. Sub-chronic dietary toxicity of potassium perfluorooctanesulfonate in rats. Toxicology 183 (1-3): 117-131.

Seacat AM, Thomford PJ, Hansen KJ, Olsen GW, Case MT, Butenhoff JL. 2002. Subchronic toxicity studies on perfluorooctanesulfonate potassium salt in cynomolgus monkeys. Toxicological Sciences 68: 249-264.

Sinclair E, Mayack DT, Roblee K, Yamashita N, Kannan K. 2006. Occurrence of perfluoroalkyl surfactants in water, fish, and birds from New York State. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 50 (3): 398-410.

Sindermann AB, Porch JR, Krueger HO, Van Hoven RL. 2002. PFOS: an acute toxicity study with the earthworm in an artificial soil substrate. Project No. 454-111. EPA Docket AR226-1106. Easton, MD, USA: Wildlife International Ltd.

Smithwick MM, Mabury SA, Solomon KR, Sonne C, Martin JW, Born EW, Dietz R, Derocher AE, Letcher RJ, Evan TJ, Gabrielsen GW, Nagy J, Stirling I, Taylor MK, Muir DCG. 2005. Circumpolar Study of Perfluoroalkyl Contaminants in Polar Bears (*Ursus maritimus*). Environmental Science & Technology 39: 5517-5523.

Stubberud H. 2006. Økotoksikologiske effekter av PFOS, PFOA og 6:2 FTS på meitemark (*Eisenia fetida*) (TA-2212/2006) Oslo, Norway: Norwegian Pollution Control Authority (SFT). Rapport nr. TA-2212/2006.

Thibodeaux JR, Hanson RG, Rogers JM, Grey BE, Barbee BD, Richards JH, Butenhoff JL, Stevenson LA, Lau C. 2003. Exposure to perfluorooctane sulfonate during pregnancy in rat and mouse. I: maternal and prenatal evaluations. Toxicological Sciences 74 (2): 369-381.

Thomford PJ. 2002. 104-week dietary chronic toxicity and carcinogenicity study with perfluorooctane sulfonic acid potassium salt (PFOS; T-6295) in rats. Madison, WI, USA: Covance Laboratories Inc. Rapport nr. 6329-183.

Tomy GT, Budakowski W, Halldorson T, Helm PA, Stern GA, Friesen K, Pepper K, Tittlemier SA, Fisk AT. 2004. Fluorinated organic compounds in an eastern arctic marine food web. Environmental Science & Technology 38 (24): 6475-6481.

Tomy GT, Pleskach K, Ferguson SH, Hare J, Stern G, MacInnis G, Marvin CH, Loseto L. 2009. Trophodynamics of some PFCs and BFRs in a Western Canadian Arctic marine food web. Environmental Science & Technology 43 (11): 4076-4081.

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). Bilthoven, Nederland: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Rapport nr. 601782001/2007.

Verbruggen EMJ. 2014. New method for the derivation of risk limits for secondary poisoning. Bilthoven, Nederland: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Rapport nr. 2014-0097.

Wen B, Zhang H, Li L, Hu X, Liu Y, Shan X-q, Zhang S. 2015. Bioavailability of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in biosolids-amended soils to earthworms (*Eisenia fetida*). Chemosphere 118: 361-366.

Wetzel LT. 1983. Rat teratology study, T-3351, Final Report. Reston, VA, USA: Hazleton Laboratories America, Inc. Rapport nr. 154-160.

Xu D, Li C, Wen Y, Liu W. 2013. Antioxidant defense system responses and DNA damage of earthworms exposed to perfluorooctane sulfonate (PFOS). Environmental Pollution 174: 121-127.

Xu J, Guo C-S, Zhang Y, Meng W. 2014. Bioaccumulation and trophic transfer of perfluorinated compounds in a eutrophic freshwater food web. Environmental Pollution 184: 254-261.

Yuan Z, Zhang J, Zhao L, Li J, Liu H. 2017. Effects of perfluorooctanoic acid and perfluorooctane sulfonate on acute toxicity, superoxide dismutase, and cellulase activity in the earthworm *Eisenia fetida*. Environmental Science and Pollution Research 24 (22): 18188-18194.

Zareitalabad P, Siemens J, Wichern F, Amelung W, Joergensen RG. 2013. Dose-dependent reactions of *Aporrectodea caliginosa* to perfluorooctanoic acid and perfluorooctanesulfonic acid in soil. Ecotoxicology and Environmental Safety 95: 39-43.

Zhao H, Chen C, Zhang X, Chen J, Quan X. 2011. Phytotoxicity of PFOS and PFOA to *Brassica chinensis* in different Chinese soils. Ecotoxicology and Environmental Safety 74 (5): 1343-1347.

Zhao H, Guan Y, Zhang G, Zhang Z, Tan F, Quan X, Chen J. 2013. Uptake of perfluorooctane sulfonate (PFOS) by wheat (*Triticum aestivum* L.) plant. Chemosphere 91 (2): 139-144.

Zhao S, Fang S, Zhu L, Liu L, Liu Z, Zhang Y. 2014. Mutual impacts of wheat (*Triticum aestivum* L.) and earthworms (*Eisenia fetida*) on the bioavailability of perfluoroalkyl substances (PFASs) in soil. Environmental Pollution 184: 495-501.

Zhao S, Yang Q, Wang B, Peng Y, Zhan J, Liu L. 2018. Effects of combined exposure to perfluoroalkyl acids and heavy metals on bioaccumulation and subcellular distribution in earthworms (Eisenia fetida) from co-contaminated soil. Environmental Science and Pollution Research 25 (29): 29335-29344.

Zheng X-q, Shi Y-j, Lu Y-l, Xu X-b. 2016. Growth inhibition and DNA damage in the earthworm (*Eisenia fetida*) exposed to perfluorooctane sulphonate and perfluorooctanoic acid. Chemistry and Ecology 32 (2): 103-116.

Zhou Z, Shi Y, Li W, Xu L, Cai Y. 2012. Perfluorinated compounds in surface water and organisms from Baiyangdian Lake in North China: Source profiles, bioaccumulation and potential risk. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 89 (3): 519-524.

Lijst met afkortingen

Abbreviations	Description
BAF	Bioaccumulatiefactor –de concentratie van een stof in een organisme ten opzichte van het omringende water, bepaald in het veld
BMF	Biomagnificatiefactor – verhouding tussen de concentratie van een stof in de predator ten opzichte van de prooi
dw	drooggewicht
ECx, EC10, EC50	Concentratie die x%, 10% of 50% effect veroorzaakt
ER	Ernstig Risiconiveau
$ER_{bodem, eco}$	ER voor bodem gebaseerd op directe ecotoxiciteit
$ER_{bodem, dv}$	ER voor bodem gebaseerd op doorvergiftiging
$ER_{grw, eco}$	Ernstig Risiconiveau voor directe toxiciteit in grondwater
LCx	Concentratie die x% sterfte veroorzaakt
LOEC	Lowest Observed Effect Concentration – laagste concentratie in een experiment die een effect veroorzaakt
MTR	Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau
$MTR_{bodem, eco}$	MTR voor bodem gebaseerd op directe ecotoxiciteit
$MTR_{bodem, dv}$	MTR voor bodem gebaseerd op doorvergiftiging
$MPC_{grw, eco}$	MTR voor grondwater gebaseerd op directe ecotoxiciteit
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level – hoogste dosering die geen effect veroorzaakt
NOEC	No Observed Effect Concentration – hoogste concentratie in voer, water of bodem die geen effect veroorzaakt
ww	wet weight - natgewicht
GD	Gestation day –gebruikt voor aanduiden blootstellingsperiode tijdens de dracht
LD	Lactation day (day post delivery) – gebruikt voor aanduiden blootstellingsperiode na het werpen van de jongen

* Voor meer details zie:
http://www.rivm.nl/rvs/Normen/Milieu/Milieukwaliteitsnormen/Handleiding_normafleiding

Bijlage 1. Directe ecotoxiciteit voor bodemorganismen

Voor de actualisatie van de ecotoxiciteitsgegevens in dit rapport zijn recente internationale PFOS-evaluaties geraadpleegd van o.a. CRC CARE (2017) en ECCC (2018) en is wetenschappelijke literatuur gezocht via Scopus, NCBI databases (incl. Pubmed en Pubchem) en GoogleScholar (zoektermen: PFOS; perfluorooctane sulfonate; perfluorooctane sulfonic acid; CAS nummers van verschillende PFOS zouten). Dit is aangevuld met retrospectief zoeken op basis van de gevonden referenties. Raadpleging van de ECHA disseminatie webpagina laat zien dat alleen PFOS-tetraethylammonium (CAS nummer 56773-42-3) is geregistreerd (status = inactief). In dit registratiedossier zijn de datavereisten grotendeels ingevuld door *read-across* naar eindpunten voor PFOS-kaliumzout (CAS nummer 2795-39-3) uit de openbare literatuur. De US EPA Health & Environmental Research Online (HERO) gegevensbank is geraadpleegd voor originele PFOS studierapporten, maar deze zijn niet gevonden. Tabel B1.1 bevat de acute bodem ecotoxiciteitsgegevens, en tabel B1.2 de chronische ecotoxicteitsgegevens. Studies met blootstelling via voedingsoplossing, agar of filtreerpapier zijn niet opgenomen in de tabellen.

Legenda	
Teststof	KPFOS = PFOS kaliumzout
Z	zuiverheid
A	geanalyseerd Ja/Nee
OC	organische koolstofgehalte
Ri	Reliability index; studies met Ri1 of 2 worden geaccepteerd; niet-betrouwbare studies (Ri3) of studies met te weinig informatie (Ri4) worden niet gebruikt en zijn cursief weergegeven.
Opm	zie voetnoot
Ref	referentie

Tabel B1.1: Overzicht van acute PFOS bodem ecotoxiciteitsgegevens. '-' = waarde niet bekend of te berekenen. Vetgedrukte waarden zijn gebruikt voor de normafleiding. Referenties: [1] Brignole et al. (2003); [2] Zhao et al. (2011); [3] 3M (2003); [4] Sindermann et al. (2002) geciteerd in 3M (2003) en Beach et al. (2006); [5] Joung et al. (2010); [6] Zheng et al. (2016); [7] Yuan et al. (2017); [8] Mayilswami et al. (2014)

Soort	**Test-stof**	**Z [%]**	**A**	**Duur**	**Grondsoort**	**pH**	**OC [%]**	**Effect**	**Crite-rium**	**Waarde [mg/kg ds]**	**Ri**	**Opm**	**Ref**
Planten													
Allium cepa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheuthoogte	EC50	22,4	1	a	[1]
Allium cepa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheutgewicht	EC50	**11,4**	1	a	[1]
Allium cepa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	sterfte	EC50	24,1	1	a	[1]
Allium cepa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	opkomst	EC50	106	1	a	[1]
Brassica rapa chinensis	PFOS	>98	N	7d	leem	6,1	4,6	wortelgroei	EC50	>200	2		[2]
Brassica rapa chinensis	PFOS	>98	N	7d	kleiig leem	5,4	0,41	wortelgroei	EC50	**107**	2		[2]
Brassica rapa chinensis	PFOS	>98	N	7d	zandig kleileem	4,7	0,29	wortelgroei	EC50	**95**	2		[2]
Brassica rapa chinensis	PFOS	>98	N	7d	zandig leem	6,6	0,57	wortelgroei	EC50	**122**	2		[2]
Brassica rapa chinensis	PFOS	>98	N	7d	leem	7,7	0,61	wortelgroei	EC50	**119**	2		[2]
Brassica rapa chinensis	PFOS	>98	N	7d	zandig leem	7,4	1,2	wortelgroei	EC50	**178**	2		[2]

Soort	Test-stof	Z [%]	A	Duur	Grondsoort	pH	OC [%]	Effect	Crite-rium	Waarde [mg/kg ds]	Ri	Opm	Ref
Glycine max	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheuthoogte	EC50	367	1	a	[1]
Glycine max	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheutgewicht	EC50	**251**	1	a	[1]
Lactuca sativa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheuthoogte	EC50	22,7	1	a	[1]
Lactuca sativa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheutgewicht	EC50	**7,4**	1	a	[1]
Lactuca sativa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	sterfte	EC50	307	1	a	[1]
Lactuca sativa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	opkomst	EC50	448	1	a	[1]
Linum usitatissimum	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheuthoogte	EC50	99,2	1	a	[1]
Linum usitatissimum	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheutgewicht	EC50	**78,5**	1	a	[1]
Linum usitatissimum	*KPFOS*	*86,9*	*J*	*21d*	*kunstgrond leem*	*7,8*	*1,2*	*sterfte*	*EC50*	*~208*	*3*	*a*	*[1]*
Linum usitatissimum	*KPFOS*	*86,9*	*J*	*21d*	*kunstgrond leem*	*7,8*	*1,2*	*opkomst*	*EC50*	*~257*	*3*	*a*	*[1]*
Lolium perenne	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheuthoogte	EC50	102	1	a	[1]
Lolium perenne	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheutgewicht	EC50	**33,5**	1	a	[1]
Lolium perenne	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	mortaliteit	EC50	257	1	a	[1]
Lolium perenne	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	opkomst	EC50	279	1	a	[1]
Medicago sativa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheuthoogte	EC50	197	1	a	[1]
Medicago sativa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheutgewicht	EC50	**115**	1	a	[1]
Medicago sativa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	sterfte	EC50	362	1	a	[1]
Medicago sativa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	opkomst	EC50	575	1	a	[1]
Lycopersicum esculentem	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheuthoogte	EC50	46,0	1	a	[1]
Lycopersicum esculentem	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheutgewicht	EC50	**13,8**	1	a	[1]
Lycopersicum esculentem	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	sterfte	EC50	63,1	1	a	[1]
Lycopersicum esculentem	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	opkomst	EC50	376	1	a	[1]
Regenwormen													
Eisenia fetida		-	J	7 d	kunstgrond	-	-	sterfte	LC50	398	2		[3]
Eisenia fetida		-	J	14 d	kunstgrond	-	-	sterfte	LC50	**373**	2		[4]
Eisenia fetida	-	-	N	7 d	kunstgrond	6,3-6,4	5,8	sterfte	LC50	405	2		[5]

Soort	Test-stof	Z [%]	A	Duur	Grondsoort	pH	OC [%]	Effect	Crite-rium	Waarde [mg/kg ds]	Ri	Opm	Ref
Eisenia fetida	-	-	N	14 d	kunstgrond	6,3-6,4	5,8	sterfte	LC50	**365**	2		[5]
Eisenia fetida	KPFOS	95	N	14 d	kunstgrond	7,0±0,2	5,8	sterfte	LC50	**478**	2		[6]
Eisenia fetida	PFOS	99	N	7 d	lemig zand	-	-	sterfte	LC50	628	2	b	[7]
Eisenia fetida	PFOS	99	N	14 d	lemig zand	-	-	sterfte	LC50	**541**	2	b	[7]
Eisenia fetida	-	-		*28 d*	-	*7,4*	*2,4*	*sterfte*	*LC50*	*447*	*4*	*c*	*[8]*

a: EC50 waarden berekend in dit rapport.
b: Yuan et al., 2017 rapporteren ook andere eindpunten, incl. enzymactiviteiten en vermijdingsgedrag.
c: CRC Care 2017 rapporteert slechts summiere informatie. Originele studie is niet beschikbaar.

Tabel B1.2: Overzicht van chronische PFOS bodem ecotoxiciteitsgegevens. '-' = waarde onbekend of niet te berekenen. Referenties: [1] Zareitalabad et al. (2013); [2] Brignole et al. (2003); [3] Zhao et al. (2011); [4] Zhao et al. (2014); [5] Princz et al. (2018); [6] Stubberud (2006); [7] Xu et al. (2013).

Soort	Test-stof	Z [%]	A	Duur	Grondsoort	pH	OC [%]	Effect	Crite-rium	Waarde [mg/kg ds]	Ri	Opm	Ref
Bacteriën													
			N	*40 d*	*siltig leem*	*6,8*	*1,1*	*biomassa*	*NOEC*	*≥500*	*3*	*a*	*[1]*
Planten													
Allium cepa	KPFOS	86,9	J	21 d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheuthoogte	EC10	7,2	1	b	[2]
Allium cepa	KPFOS	86,9	J	21 d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheutgewicht	EC10	**2,3**	1	b	[2]
Allium cepa	KPFOS	86,9	J	21 d	kunstgrond leem	7,8	1,2	sterfte	EC10	7,6	1	b	[2]
Allium cepa	KPFOS	86,9	J	21 d	kunstgrond leem	7,8	1,2	opkomst	EC10	11,3	1	b	[2]
Brassica rapa chinensis	PFOS	>98	N	7 d	leem	6,1	4,6	wortelgroei	EC10	**115**	2		[3]
Brassica rapa chinensis	PFOS	>98	N	7 d	kleiig leem	5,4	0,41	wortelgroei	EC10	**58**	2		[3]
Brassica rapa chinensis	PFOS	>98	N	7 d	zandig kleileem	4,7	0,29	wortelgroei	EC10	**40**	2		[3]
Brassica rapa chinensis	PFOS	>98	N	7 d	zandig leem	6,6	0,57	wortelgroei	EC10	**72**	2		[3]
Brassica rapa chinensis	PFOS	>98	N	7 d	leem	7,7	0,61	wortelgroei	EC10	**83**	2		[3]
Brassica rapa chinensis	PFOS	>98	N	7 d	zandig leem	7,4	1,2	wortelgroei	EC10	**90**	2		[3]
Glycine max	KPFOS	86,9	J	21 d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheuthoogte	EC10	155	1	b	[2]
Glycine max	KPFOS	86,9	J	21 d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheutgewicht	EC10	**74,5**	1	b	[2]
Lactuca sativa	KPFOS	86,9	J	21 d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheuthoogte	EC10	0,83	1	b	[2]
Lactuca sativa	KPFOS	86,9	J	21 d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheutgewicht	EC10	**0,81**	1	b	[2]

Soort	Test-stof	Z [%]	A	Duur	Grondsoort	pH	OC [%]	Effect	Crite-rium	Waarde [mg/kg ds]	Ri	Opm	Ref
Lactuca sativa	KPFOS	86,9	J	21 d	kunstgrond leem	7,8	1,2	sterfte	EC10	154	1	b	[2]
Lactuca sativa	KPFOS	86,9	J	21 d	kunstgrond leem	7,8	1,2	opkomst	EC10	243	1	b	[2]
Linum usitatissimum	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheuthoogte	EC10	38,5	1	b	[3]
Linum usitatissimum	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheutgewicht	EC10	**27,8**	1	b	[3]
Linum usitatissimum	*KPFOS*	*86,9*	*J*	*21d*	*kunstgrond leem*	*7,8*	*1,2*	*sterfte*	*EC10*	*~184*	*3*	*b*	*[3]*
Linum usitatissimum	*KPFOS*	*86,9*	*J*	*21d*	*kunstgrond leem*	*7,8*	*1,2*	*opkomst*	*EC10*	*~219*	*3*	*b*	*[3]*
Lolium perenne	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheuthoogte	EC10	18,7	1	b	[3]
Lolium perenne	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheutgewicht	EC10	**0,79**	1	b	[3]
Lolium perenne	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	sterfte	EC10	92,9	1	b	[3]
Lolium perenne	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	opkomst	EC10	112	1	b	[3]
Medicago sativa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheuthoogte	EC10	41,5	1	b	[3]
Medicago sativa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheutgewicht	EC10	**17,7**	1	b	[3]
Medicago sativa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	sterfte	EC10	127	1	b	[3]
Medicago sativa	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	opkomst	EC10	171	1	b	[3]
Lycopersicum esculentem	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheuthoogte	EC10	**3,2**	1	b	[3]
Lycopersicum esculentem	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	scheutgewicht	EC10	3,6	1	b	[3]
Lycopersicum esculentem	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	sterfte	EC10	19,5	1	b	[3]
Lycopersicum esculentem	KPFOS	86,9	J	21d	kunstgrond leem	7,8	1,2	opkomst	EC10	180	1	b	[3]
Triticum aestivum L.	*PFOS*	*98*	*N*	*30 d*	*leem*	*7,7*	*2,4*	*groei, sterfte*	*NOEC*	*>1*	*4*	*d*	*[4]*
Springstaarten													
Folsomia candida	KPFOS	≥98	Y	28 d	zandig leem	5,4± 0,2	1,51	reproductie	EC10	**57**	1		[5]
Folsomia candida	KPFOS	≥98	Y	28 d	kleiig leem	6,8± 0,1	8,72	reproductie	EC10	**143**	1		[5]
Mijten													
Oppia nitens	KPFOS	≥98	Y	28 d	zandig leem	5,4± 0,2	1,51	reproductie	EC10	**6,8**	1		[5]
Oppia nitens	KPFOS	≥98	Y	28 d	kleiig leem	6,8± 0,1	8,72	reproductie	EC10	**11**	1		[5]
Regenwormen													
Aporrectodea caliginosa	*-*	*-*	*N*	*40 d*	*siltig leem*	*6,8*	*1,1*	*sterfte*	*NOEC*	*1*	*4*	*c*	*[1]*
Aporrectodea caliginosa	*-*	*-*	*N*	*8 m*	*siltig leem*	*6,8*	*1,1*	*biomassa*	*NOEC*	*1*	*4*	*c*	*[1]*
Eisenia fetida	PFOS	>98	Y	28 d	kunstgrond	5,5-6,5	2,9	sterfte	NOEC	≥500	1		[6]
Eisenia fetida	PFOS	>98	Y	28 d	kunstgrond	5,5-6,5	2,9	reproductie	NOEC	42	1		[6]

Soort	Test-stof	Z [%]	A	Duur	Grondsoort	pH	OC [%]	Effect	Crite-rium	Waarde [mg/kg ds]	Ri	Opm	Ref
Eisenia fetida	PFOS	>98	Y	28 d	kunstgrond	5,5-6,5	2,9	totaal gewicht nakomelingen	NOEC	21	1		[6]
Eisenia fetida	PFOS	>98	Y	28 d	kunstgrond	5,5-6,5	2,9	gemiddeld gewicht nakomelingen	NOEC	9,9	1		[6]
Eisenia fetida	PFOS	>98	Y	28 d	kunstgrond	5,5-6,5	2,9	aantal cocons	NOEC	43	1		[6]
Eisenia fetida	PFOS	>98	Y	28 d	kunstgrond	5,5-6,5	2,9	aantal nakomelingen	NOEC	25	1		[6]
Eisenia fetida	PFOS	>98	Y	28 d	kunstgrond	5,5-6,5	2,9	totaal gewicht nakomelingen	EC10	**3,8**	2	b	[6]
Eisenia fetida	*PFOS*	*>98*	*Y*	*28 d*	*kunstgrond*	*5,5-6,5*	*2,9*	*gemiddeld gewicht nakomelingen*	*EC10*	*0,9*	*3*	*d*	*[6]*
Eisenia fetida	*KPFOS*	*98*	*N*	*42 d*	*kunstgrond*	*7.0*	*5,8*	*gewicht*	*NOEC*	*80*	*3*	*e*	*[7]*

a: Microcosm studie met wormen en bodem micro-organismen. Laagste microbiële biomassa in controle met wormen en zonder PFOS. Studie meet indirect het effect van PFOS op wormen.
b: EC_{10} waarden berekend in dit rapport.
c: Microcosm studie met wormen en bodem micro-organismen. NOEC onbetrouwbaar omdat de geteste concentraties erg ver uit elkaar liggen (1, 100 en 500 mg/kg ds).
d: Onzekere EC_{10}, gekenmerkt door hoge 95% betrouwbaarheidsinterval van 0,07 tot 10 mg/kg ds.,
e: Studie had als primaire doel enzymactiviteit en DNA schade te bepalen. Wormen tussentijds opgeofferd voor bepalen enzymactiviteit. Reproductie eindpunten niet meegenomen. Hoge variatie in NOECs over tijd (NOEC na 7, 14, 28 en 42 dagen <10, 80, <10 en 80 mg /kg dw).

Bijlage 2. Energie-genormaliseerde toxiciteit vogels en zoogdieren

Deze bijlage geeft een samenvatting van de toxiciteitsstudies met vogels en zoogdieren en beschrijft de afleiding van de energie-genormaliseerde eindpunten uit deze studies. Voor het afleiden van de risicogrenzen voor doorvergiftiging is de methode gevolgd van (Verbruggen, 2014). Hieronder volgt een korte beschrijving van die methode, gebaseerd op Bijlage IV van RIVM Briefrapport 2018-0060. In dat rapport zijn risicogrenzen voor PFOA in grond en grondwater afgeleid (Lijzen et al., 2018). Voor een gedetailleerde beschrijving van de gebruikte methode wordt verwezen naar het rapport van (Verbruggen, 2014).

Voor PFOS zijn relevante toxiciteitsgegevens beschikbaar voor twee vogelsoorten (wilde eend en boomkwartel) en vijf zoogdiersoorten (muizen, ratten, konijnen, java-apen en resusapen). In deze studies zijn de eindpunten uitgedrukt als dagelijkse dosis op basis van het lichaamsgewicht (mg PFOS/kg lg/d) of als concentratie in het voer (mg PFOS/kg voedsel). Deze eindpunten moeten worden omgerekend naar een waarde op basis van het energiegehalte in het voedsel (mg PFOS/kJ). Dit kan door gebruik te maken van bekende relaties tussen lichaamsgewicht en dagelijkse energiebehoefte voor zoogdieren en vogels. Deze relaties zijn als volgt:

zoogdieren: $\log DEE = 0{,}8136 + 0{,}7149 \times \log BW$
vogels: $\log DEE = 0{,}839 + 0{,}669 \times \log BW$

waarin:
DEE = Daily Energie Expenditure (in kJ/d)
BW = Body Weight (in g)

De geen-effectconcentraties (NOAEL's) voor vogels, muizen, ratten, konijnen en apen zijn omgerekend van mg/kg lg/d naar concentraties in voer in mg/kJ met de volgende formule:

$$NOAEC_{energie} = NOAEL \times \frac{BW}{DEE}$$

waarin
$NOEC_{energie}$ = energie genormaliseerde NOEC (in mg PFOS/kJ)
NOAEL = NOAEL uit studie (in mg PFOS/kg lg/d)
BW = lichaamsgewicht (in kg)
DEE = Daily Energy Expenditure (in kJ/d)

In Tabel B2.1-B2.5 staan de individuele toxiciteitsgegevens per soort. In deze tabellen is nog geen rekening gehouden met de veiligheidsfactor (assessment factor, AF) voor blootstellingsduur. Voor sub-chronische studies wordt een AF van 3 toegepast. Voor de chronische studies is zo'n extra factor niet nodig. Tabel B2.6 geeft een overzicht van de kritische waarden per soort die zijn gebruikt voor de afleiding van het MTR en ER, inclusief AF.

Legenda	
Lg	Lichaamsgewicht
Teststof	KPFOS = PFOS kaliumzout
NOEC	No Observed Effect Concentration in mg/kg voer
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level (voor energie genormaliseerde concentraties)
Opm	zie voetnoot
Ref	Referentie

Tabel B2.1: Overzicht van toxiciteitsgegevens voor vogels. Referentie: [1] Newsted et al. (2007)

Soort	**Lg [g]**	**Test-stof**	**Route**	**Duur**	**Effect**	**Waarde NOEC [mg/kg voer]**	**Waarde NOAEL [mg/kg lg/d]**	**Waarde NOAEL [µg/kJ]**	**Opm**	**Ref**
Anas platyrhynchos	1136	KPFOS	voer	21 w	gewicht	10	1,48	2,20	a,b	[1]
Colinus virginianus	230	KPFOS	voer	21 w	gewicht	10	0,77	0,647	a,c	[1]
Colinus virginianus	230	KPFOS	voer	21 w	sterfte F1	6,2	0,47	0,409	a,c	[1]

a: Waarde uitgedrukt als PFOS
b: Lichaamsgewicht gebaseerd op waarde aan het einde van de studie, gemiddelde van mannetjes en vrouwtjes in de 10 mg/kg groep.
c: Lichaamsgewicht gebaseerd op waarde aan het einde van de studie, gemiddelde van mannetjes en vrouwtjes in de controle en de 10 mg/kg groep.

Tabel B2.2: Overzicht van toxiciteitstesten met muizen. Referentie: [1] Thibodeaux et al. (2003).

Soort	**Lg [g]**	**Test-stof**	**Route**	**Duur**	**Effect**	**Waarde NOAEL [mg/kg lg/d]**	**Waarde NOAEL [µg/kJ]**	**Opm**	**Ref**
muis, CD-1	31,9	KPFOS	Sonde	GD 1-17	gewicht moeder	15	6,18	a	[1]
muis, CD-1	30,7	KPFOS	Sonde	GD 1-17	foetaal gewicht	5	2,04	a	[1]
muis, CD-1	31,5-33,4	KPFOS	Sonde	GD 1-17	foetale afwijkingen	1-15	0,418-6,18	a	[1]
muis, CD-1	33,4	KPFOS	Sonde	GD 1-17	sternale defecten	1	0,418	a	[1]
muis, CD-1	31,5	KPFOS	Sonde	GD 1-17	gespleten gehemelte	10	4,11	a	[1]

a: Eindpunt uitgedrukt als PFOS; lichaamsgewicht afgeleid aan de hand van relatief en absoluut lever gewicht.

Tabel B2.3: Overzicht van toxiciteitstesten met ratten. '-' = waarde onbekend of niet te berekenen. Referenties: [1] Gortner (1980), geciteerd in OECD (2002) en COT (2006); [2] Wetzel (1983) , geciteerd in OECD (2002) en COT (2006); [3] Thibodeaux et al. (2003); [4] Lau et al. (2003); [5] Luebker et al. (2005b); [6] Goldenthal et al. (1978b) in OECD (2002); [7] Seacat et al. (2003); [8] Thomford (2002) in EFSA (2008); [9] Luebker et al. (2005a); [10] Christian et al. (1999) in OECD (2002), COT (2006) en EFSA (2008).

Soort	**Lg [g]**	**Test-stof**	**Route**	**Duur**	**Effect**	**Waarde NOEC [mg/kg voer]**	**Waarde NOAEL [mg/kg lg/d]**	**Waarde NOAEL [µg/kJ]**	**Opm**	**Ref**
rat, SD	-	KPFOS	sonde	GD 6-15	maternale gewichtafname GD 12-20		5	-	a	[1]
rat, SD	-	KPFOS	sonde	GD 6-15	afname foetaal gewicht		<1	-	a	[1]
rat, SD	-	KPFOS	sonde	GD 6-15	maternale toxiciteit: lichaamsgewicht, voedselopname, gastro-intestinale letsels; ontwikkelingstoxiciteit: gemiddeld foetaal gewicht		1	-	a	[2]
rat, SD	310	KPFOS	sonde	GD 2-20	maternale gewichtstoename; foetale afwijkingen		1	0,788	a,c	[3]
rat, SD	285	KPFOS	sonde	GD 2-20	foetaal gewicht		5	3,85	a,c	[3]
rat, SD	285-294	KPFOS	sonde	GD 2-20	foetale afwijkingen		3-5	2,33-3,85	a,c	[3]
rat, SD	285	KPFOS	sonde	GD 2-20	foetale afwijkingen		5	3,85	a,c	[3]
rat, SD	310	KPFOS	sonde	GD 2-20	sterfte, groei, ontwikkeling		1	0,788	a,c	[4]
rat: Crl:CD® (SD)IGS VAF/Plus®	306	KPFOS	sonde	6 w voor paring - LD4	maternale gewichtstoename, draagtijd; levensvatbaarheid nakomelingen		0,32	0,254	a,d,e	[5]
rat, CD	214 (m) 186 (v)	KPFOS	voer	90 d	Sterfte	30	1,7 (m); 2,3 (v)	1,21 (m); 1,57 (v)	a,b	[6]
rat, CD	214 (m) 186 (v)	KPFOS	voer	90 d	lichaamsgewicht, voedselinname mannetjes	<30	<1,7 (m); <2,3 (v)	<1,21 (m); <1,57 (v)	a,b	[6]

Soort	Lg [g]	Test-stof	Route	Duur	Effect	Waarde NOEC [mg/kg voer]	Waarde NOAEL [mg/kg lg/d]	Waarde NOAEL [µg/kJ]	Opm	Ref
rat, Crl:CD (SD) IGS BR	383 (m) 221 (v)	KPFOS	voer	14 w	lichaamsgewicht	≥18,6	≥1,24 (m); ≥1,45 (v)	≥1,04	a,f	[7]
rat, Crl:CD (SD) IGS BR	-	KPFOS	voer	104 w	niet-neo-plastische lever-pathologie	2	0,14	-	a,g,h	[8]
rat, SD	295	KPFOS	sonde	2 gen	F0: toename lichaamsgewicht en voedsel consumptie vrouwtjes; F1: groei, sterfte, ontwikkeling		0,32	0,251	a,d,i	[9,10]
rat, SD	295	KPFOS	sonde	2 gen	F0: toename lichaamsgewicht en voedsel consumptie mannetjes; F1: opening van de ogen F2: (toename) gewicht		0,081	0,0628	a,d,i	[9,10]

a: Waarde uitgedrukt als PFOS.
b: Gebaseerd op lichaamsgewicht aan het begin van de studie.
c: Lichaamsgewicht afgeleid aan de hand van relatief en absoluut lever gewicht aan het eind van de studie.
d: Waarde is gecorrigeerd voor het molecuulgewicht en zuiverheid, omdat de dosis expliciet voor het product wordt gegeven.
e: Gebaseerd op gemiddeld maternaal gewicht van het begin en eindgewicht in de 0,4 mg/kg/d groep.
f: Gemiddelde gewichten na 4 en 14 weken voor mannetjes (m) en vrouwtjes (v). Samen met de gemiddelde gerapporteerde doses van 1,33 (m) en 1,56 (v) mg/kg/d levert dit voor beide groepen (m/v) dezelfde energiegenormaliseerde concentratie op. Concentraties zijn uitgedrukt als KPFOS en daarom gecorrigeerd.
g: Eindpunt niet populatie relevant.
h: Bij deze concentratie in het voer variëerden de doses op basis van lichaamsgewicht voor de mannetjes van 0,064 tot 0,226 mg/kg/d, en voor de vrouwtjes van 0,073 tot 0,213 mg/kg (EFSA, 2008). De gemiddelde doses worden gerapporteerd als 0,16 mg/kg/d voor mannetjes and 0,14 mg/kg/d voor vrouwtjes (COT, 2006). Concentraties zijn uitgedrukt als KPFOS en met een correctie voor moleculair gewicht zijn de gemiddelde doses 0,15 en 0,13 mg/kg/d voor mannetjes vrouwtjes, respectievelijk. Deze zijn vergelijkbaar met de doses in de 2-generatie reproductie studie.
i: Gewicht gebaseerd op het gemiddelde gewicht van de F0 vrouwtjes tijdens de gehele studie en de F1 vrouwtjes vanaf 42 dagen voor paring tot het einde van de studie (zelfde periode als F0) voor de controle en de 0,1 mg/kg/d (295, 295, 290 en 299 g)

Tabel B2.4: Overzicht van toxiciteitstesten met konijnen. Referentie: [1] Case et al. (2001)

Soort	Lg [g]	Test-stof	Route	Duur	Effect	Waarde NOAEL [mg/kg lg/d]	Waarde NOAEL [µg/kJ]	Opm	Ref
konijn; New Zealand white	3400	KPFOS	sonde	GD 7-20	geboortegewicht, beenvorming	1	1,56	a	[1]
konijn; New Zealand white	3400	KPFOS	sonde	GD 7-20	maternale gewichts-toename	0,1	0,156	a	[1]

a: Gebaseerd op lichaamsgewicht aan het begin van de studie

Tabel B2.5: Overzicht van toxiciteitstesten met apen. Referenties: [1] Seacat et al. (2002); [2] Goldenthal et al. (1978a), geciteerd in 3M (2003)

Soort	Lg[a] [g]	Test-stof	Route	Duur	Effect	Waarde NOAEL [mg/kg lg/d]	Waarde NOAEL [µg/kJ]	Opm	Ref
Macaca fasicularis	3033	KPFOS	sonde	183 d	sterfte, gewicht	0,15	0,227	a	[1]
Macaca mulatta	3138	KPFOS	sonde	90 d	sterfte	1,5	2,29	a	[2]
Macaca mulatta	3138	KPFOS	sonde	90 d	gewicht	0,5	0,763	a,b	[2]

a Lichaamsgewicht aan het begin van de studie.
b Bij deze concentratie werden echter nog wel van tijd tot tijd effecten op het maag-darmkanaal gevonden.

Tabel B2.6: Overzicht van de kritische studies voor wilde eend, boomkwartel, muis, konijn, rat en aap. Zie tabel B2-2 voor details. Referenties:[1] Newsted et al. (2007); [2] Thibodeaux et al. (2003); [3] Luebker et al. (2005a); [4] Case et al. (2001); [5] Seacat et al. (2002); [6] Goldenthal et al. (1978a), geciteerd in 3M (2003)

Soort	Lg [g]	Duur	Type studie	Waarde NOAEL PFOS [mg/kg lg/d]	Waarde NOAEL PFOS [mg/kJ]	Veiligheids-factor voor studieduur	Waarde voor afleiding MTR en ER	Ref
wilde eend	1136	21 w	chronisch	1,48	0,00220	1	0,00220	[1]
boomkwartel	230	21 w	chronisch	0,47	0,000409	1	0,000409	[1]
muis	33,4	GD 1-17	sub-chronisch	1	0,000418	3	0,000139	[2]
rat	295	2 gen	chronisch	0,081	0,0000556	1	0,0000628	[3]
konijn	3400	GD 7-20	sub-chronisch	0,1	0,000156	3	0,0000520	[4]
Java-aap	3033	183 d	sub-chronisch	0,15	0,000227	3	0,0000755	[5]
resusaap	3138	90 d	sub-chronisch	0,5	0,000763	3	0,000254	[6]

Bijlage 3. Biomagnificatie in vogels en zoogdieren

Deze bijlage geeft een samenvatting van de biomagnificatiegegevens voor PFOS in aquatische en terrestrische voedselketens. Alles in beschouwing nemende, zijn er slechts twee relevante biomagnificatiestudies, die betrouwbare BMF waarden rapporteren gebaseerd op PFOS concentraties in het gehele lichaam van zowel de predator (op basis van schattingen) als de prooi. Dit zijn de studies van Müller et al. (2011) voor een terrestrische voedselketen en van Houde et al. (2006) voor een mariene voedselketen.

De BMF's uit Houde et al. (2006) en Müller et al. (2011) geven aan in welke mate de concentratie in de predator is verhoogd ten opzichte van zijn voedsel en zijn uitgedrukt als kg voedsel/kg predator. In de studie van Houde et al. (2006) is dat "kg vis/kg zoogdier", in de studie van Müller et al. (2011) is het "kg zoogdier/kg zoogdier", beide op basis van natgewicht. Voor de risicogrenzen van PFOS gaat het om de voedselketen van regenwormen naar zoogdieren (en vogels). Daarom moeten de relevante BMF waarden worden omgerekend naar "kg worm/kg zoogdier" of "kg worm/kg vogel". Dit kan door gebruik te maken van het energiegehalte in vissen, vogels/zoogdieren en regenwormen, zoals vermeld in Verbruggen (2014).
Het energiegehalte van een vis is 21000 kJ/kg ds. Het vochtgehalte is 73,7%, dus 1 kg natgewicht komt overeen met 263 g drooggewicht. Omgerekend naar natgewicht, is het energiegehalte van een vis 0,263 kg x 21000 kJ/kg ds = 5523 kJ/kg natgewicht. Voor zoogdieren/vogels met 23200 kJ/kg ds en 68,4% vocht is het energiegehalte 0,316 x 23200 = 7331 kJ/kg natgewicht, voor regenwormen met 19400 kJ/kg ds en 84,3% vocht is dit 3046 kJ/kg natgewicht.

Een vogel of zoogdier moet dus 5523/3046 = 1,81 keer zoveel regenwormen eten om aan dezelfde hoeveelheid energie te komen als die in vis zit. Daarmee wordt de BMF bij het eten van wormen 1,81 maal hoger dan de BMF bij het eten van vis. Als een vogel of zoogdier regenwormen eet in plaats van andere vogels of zoogdieren, is het verschil een factor 2,41.

Tabel B3.1 geeft de BMF's uit Houde et al. (2006) en Müller et al. (2011) en de energie-gecorrigeerde waarden op basis van regenwormen. Het geometrisch gemiddelde van de gecorrigeerde BMF's is 6,74 kg worm/kg zoogdier, beide op basis van natgewicht.

Tabel B3.2 (aquatisch) en B3.3 (terrestrisch) bevatten de gegevens van alle geëvalueerde studies.

Tabel B3.1: BMF-waarden uit de studies van Houde et al. (2006) en Müller et al. (2011) en de bijbehorende waarden op basis van regenwormen.

BMF in studie		**BMF gecorrigeerd**	
2,6	kg vis ww / kg zoogdier ww	4,71	kg worm ww / kg zoogdier ww
4,0		7,25	
1,2		2,18	
2,2		3,99	
0,8		1,45	
0,9		1,63	
9,6		17,4	
18,0		32,6	
16,0		29,0	
11,0		19,9	
6,2		11,2	
1,2	kg zoogdier ww / kg zoogdier ww	2,89	
3,3		7,94	

Tabel B3.2: Overzicht van biomagnificatie factoren (BMF's) voor hogere organismen op basis van veldmetingen – aquatische studies. '-' = niet gerapporteerd/niet bekend. Referenties: [1] Martin et al. (2004); [2] Tomy et al. (2004); [3] Butt et al. (2008); [4] Powley et al. (2008); [5] Kelly et al. (2009); [6] Tomy et al. (2009); [7] Bossi et al. (2005); [8] Haukås et al. (2007); [9] Gulkowska et al. (2005); [10] Kallenborn et al. (2004); [11] Houde et al. (2006); [12] Quinete et al. (2009); [13] Loi et al. (2011); [14] Giesy & Kannan (2001); [15] Kannan et al. (2002); [16] Kannan et al. (2005); [17] Sinclair et al. (2006); [18] Zhou et al. (2012); [19] Xu et al. (2014)

Legenda	
WT	watertype: M = marien, B = brak, Z = zoet
MAT	matrix: LE = lever, HD = hele dier, HD* = hele dier op basis van schatting; BL = bloed, PL = plasma, SP = spieren, NI = nieren
BMF	biomagnificatiefactor
Ri	Reliability index; studies met Ri1 of 2 worden geaccepteerd; niet-betrouwbare studies (Ri3) of studies met te weinig informatie (Ri4) worden niet gebruikt en zijn in cursief weergegeven.
Opm	zie voetnoot
Ref	referentie

Locatie	**WT**	**Predator**				**Prooi**				**BMF**	**Ri**	**Opm**	**Ref**
		Naam Engels	**Nederlands**	**Latijn**	**MAT**	**Naam UK**	**NL**	**LAT**	**MAT**				
CAN poolgebied	*M*	*common loon*	*ijsduiker*	*Gavia immer*	*LE*	*white sucker*		*Catostomus commersoni*	*LE*	*2,6*	*3*	*a,b*	*[1]*
		common loon	*ijsduiker*	*Gavia immer*	*LE*	*brook trout*	*bronforel*	*Salvelinus fontinalis*	*LE*	*0,5*	*3*	*a,b*	
		common loon	*ijsduiker*	*Gavia immer*	*LE*	*lake whitefish*		*Coregonus clupeaformis*	*LE*	*1,7*	*3*	*a,b*	
		common loon	*ijsduiker*	*Gavia immer*	*LE*	*Northern pike*	*snoek*	*Esox lucius*	*LE*	*3,5*	*3*	*a,b*	
		common loon	*ijsduiker*	*Gavia immer*	*LE*	*arctic sculpin*		*Myoxocephalus scorpioides*	*LE*	*1,7*	*3*	*a,b*	
		polar bear	*ijsbeer*	*Ursus maritimus*	*LE*	*ringed seal*	*ringelrob*	*Phoca hispida*	*LE*	*194*	*3*	*b,c*	
		polar bear	*ijsbeer*	*Ursus maritimus*	*LE*	*ringed seal*	*ringelrob*	*Phoca hispida*	*LE*	*163*	*3*	*b,d*	

Locatie	WT	Predator				Prooi				BMF	Ri	Opm	Ref
		Naam Engels	Nederlands	Latijn	MAT	Naam UK	NL	LAT	MAT				
CAN poolgebied	*M*	*beluga whale*	*witte dolfijn*	*Delphinapterus leucas*	*LE*	*redfish*	*diepzee-roodbaars*	*Sebastes mentella*	*LE*	*4,0*	*3*	*e,f*	*[2]*
		beluga whale	*witte dolfijn*	*Delphinapterus leucas*	*LE*	*polar cod*	*poolkabeljauw*	*Boreogadus saida*	*LE*	*8,4*	*3*	*e,f*	
		narwhal	*narwal*	*Monodon onoceros*	*LE*	*polar cod*	*poolkabeljauw*	*Boreogadus saida*	*HD*	*7,2*	*3*	*e,f,g*	
		walrus	*walrus*	*Odobenus rosmarus*	*LE*	*Greenland smoothcockle*		*Serripes groenlandicus*	*HD*	*4,6*	*3*	*e,f,g*	
		glaucus gull	*grote burge-meester*	*Larus hyperboreus*	*LE*	*arctic cod*	*poolkabeljauw*	*Boreogadus saida*	*HD*	*9,0*	*3*	*e,f,g*	
		black-legged kittiwake	*drieteen-meeuw*	*Rissav tridactyla*	*LE*	*zooplankton*		*-*	*HD*	*5,1*	*3*	*e,f,g*	
CAN poolgebied	*M*	*polar bear*	*ijsbeer*	*Ursus maritimus*	*LE*	*ringed seal*	*ringelrob*	*Phoca hispida*	*LE*	*119*	*3*	*h,i*	*[3]*
		polar bear	*ijsbeer*	*Ursus maritimus*	*LE*	*ringed seal*	*ringelrob*	*Phoca hispida*	*LE*	*125*	*3*	*h,j*	
		polar bear	*ijsbeer*	*Ursus maritimus*	*LE*	*ringed seal*	*ringelrob*	*Phoca hispida*	*LE*	*107*	*3*	*h,k*	
		polar bear	*ijsbeer*	*Ursus maritimus*	*LE*	*ringed seal*	*ringelrob*	*Phoca hispida*	*LE*	*45*	*3*	*h,l*	
CAN poolgebied	*M*	*ringed seal*	*ringelrob*	*Phoca hispida*	*BL*	*arctic cod*	*poolkabeljauw*	*Boreogadus saida*	*HD*	*7*	*3*	*e,m*	*[4]*
		bearded seal	*baardrob*	*Erignathus barbatus*	*BL*	*arctic cod*	*poolkabeljauw*	*Boreogadus saida*	*HD*	*7*	*3*	*e,m*	

Locatie	WT	Predator				Prooi				BMF	Ri	Opm	Ref
		Naam Engels	Nederlands	Latijn	MAT	Naam UK	NL	LAT	MAT				
CAN poolgebied	*M*	*beluga whale*	*witte dolfijn*	*Delphinapterus leucas*	*LE*	*arctic cod*	*poolkabeljauw*	*Boreogadus saida*	*SP*	*39*	*3*	*b,g*	*[5]*
		beluga whale	*witte dolfijn*	*Delphinapterus leucas*	*SP*	*arctic cod*	*poolkabeljauw*	*Boreogadus saida*	*SP*	*0,23*	*3*	*b,n*	
		beluga whale	*witte dolfijn*	*Delphinapterus leucas*	*BL*	*arctic cod*	*poolkabeljauw*	*Boreogadus saida*	*SP*	*15*	*3*	*b,g*	
**		*white winged scoter*	*grote zee-eend*	*Melanitta fusca*	*LE*	*arctic cod*	*poolkabeljauw*	*Boreogadus saida*	*SP*	*31*	*3*	*b,g,q*	
CAN poolgebied	*M*	*ringed seal*	*ringelrob*	*Phoca hispida*	*LE*	*arctic cod*	*poolkabeljauw*	*Boreogadus saida*	*LE*	*28*	*3*	*e,f*	*[6]*
		beluga whale	*witte dolfijn*	*Delphinapterus leucas*	*LE*	*Pacific herring*		*Clupea pallasi*	*LE*	*276*	*3*	*e,f*	
		beluga whale	*witte dolfijn*	*Delphinapterus leucas*	*LE*	*arctic cisco*	*Baikalhouting*	*Coregonus autumnalis*	*LE*	*141*	*3*	*e,f*	
		beluga whale	*witte dolfijn*	*Delphinapterus leucas*	*LE*	*arctic cod*	*poolkabeljauw*	*Boreogadus saida*	*LE*	*179*	*3*	*e,f*	
Groenland poolgebied	M	polar bear	ijsbeer	Ursus maritimus	LE	ringed seal	ringelrob	Phoca hispida	LE	22	2	b,o	[7]
		ringed seal	ringelrob	Phoca hispida	LE	shorthorn sculpin	gewone zeedonderpad	Myoxocephalus scorpius	LE	3,8	2	b,o	
		black guillemot	zwarte zeekoet	Cepphus grylle	LE	shorthorn sculpin	gewone zeedonderpad	Myoxocephalus scorpius	LE	0,9	2	b,o	
Barentszze e	M	glaucus gull	grote burgemeester	Larus hyperboreus	LE	arctic cod	poolkabeljauw	Boreogadus saida	LE	33	2	b	[8]
		black guillemot	zwarte zeekoet	Cepphus grylle	LE	arctic cod	poolkabeljauw	Boreogadus saida	LE	6,7	2	b	

Locatie	WT	Predator				Prooi				BMF	Ri	Opm	Ref
		Naam Engels	Nederlands	Latijn	MAT	Naam UK	NL	LAT	MAT				
		black guillemot	*zwarte zeekoet*	*Cepphus grylle*	*LE*	*ice amphipod*		*-*	*HD*	*3,5*	*3*	*b,g*	
POL Baltische Zee	*M*	*eider duck*	*eidereend*	*Sommateria mollisima*	*BL*	*Atlantic cod*	*kabeljauw*	*Gadus morhua*	*BL*	*1,4*	*3*	*p,q*	*[9]*
		common scoter	*zwarte zee-eend*	*Melanita nigra*	*BL*	*Atlantic od*	*kabeljauw*	*Gadus morhua*	*BL*	*0,56*	*3*	*p,q*	
		red-throatened loon	roodkeel duiker	Gavia stellata	BL	Atlantic cod	kabeljauw	Gadus morhua	BL	4,5	2	p	
		razorbill	alk	Alca torda	BL	Atlantic cod	kabeljauw	Gadus morhua	BL	2,1	2	p	
		longtailed duck	*ijseend*	*Clangula hyemalis*	*BL*	*Atlantic cod*	*kabeljauw*	*Gadus orhua*	*BL*	*1,3*	*3*	*p,q*	
DNK	M	harbour seal	gewone zeehond	Phoca vitulina	LE	European flounder	bot	Platichthys flesus	LE	40	2	b	[10]
		harbour seal	gewone zeehond	Phoca vitulina	LE	viviparous eelpout		Zoarces viviparous	LE	13	2	b	
		harbour seal	gewone zeehond	Phoca vitulina	LE	herring	haring	Clupea harengus	LE	52	2	b	
Faroer	M	pilot whale	griend	Globicephala melas	LE	shorthorn sculpin	gewone zeedonderpad	Myoxocephalus scorpius	LE	80	2	b,r	[10]
		pilot whale	griend	Globicephala melas	LE	common dab	schar	Limanda limanda	LE	108	2	b,r	
		pilot whale	griend	Globicephala melas	LE	Atlantic cod	kabeljauw	Gadus morhua	LE	211	2	b,r	

Locatie	WT	Predator				Prooi				BMF	Ri	Opm	Ref
		Naam Engels	Nederlands	Latijn	MAT	Naam UK	NL	LAT	MAT				
ISL	M	minke whale	dwerg-vinvis	Balaenoptera acutorostrata	LE	long rough dab	lange schar	Hippoglossoides platessoides	LE	2,1	2	b,r	[10]
		minke whale	dwerg-vinvis	Balaenoptera acutorostrata	LE	shorthorn sculpin	gewone zeedonderpad	Myoxocephalus scorpius	LE	1,8	2	b,r	
		minke whale	dwerg -vinvis	Balaenoptera acutorostrata	LE	common dab	schar	Limanda limanda	LE	2,1	2	b,r	
SWE	M	grey seal	grijze zeehond	Halichoerus grypus	LE	Atlantic cod	kabeljauw	Gadus morhua	LE	33	2	b	[10]
USA Charleston Harbour	M	bottlenose dolphin	tuimelaar	Tursiops truncatus	HD*	striped mullet		Mugil cephalus	HD	2,6	2		[11]
		bottlenose dolphin	tuimelaar	Tursiops truncatus	HD*	pinfish		Lagodon rhomboides	HD	4	2		
		bottlenose dolphin	tuimelaar	Tursiops truncatus	HD*	red drum		Sciaenops ocellatus	HD	1,2	2		
		bottlenose dolphin	tuimelaar	Tursiops truncatus	HD*	Atlantic croaker	knorrepos	Micropogonias undulatus	HD	2,2	2		
		bottlenose dolphin	tuimelaar	Tursiops truncatus	HD*	spotfish	puntomber-vis	Leiostomus xanthurus	HD	0,8	2		
		bottlenose dolphin	tuimelaar	Tursiops truncatus	HD*	spotted seatrout	gevlekte ombervis	Cynoscion nebulosus	HD	0,9	2		
USA Sarasota Bay	M	bottlenose dolphin	tuimelaar	Tursiops truncatus	HD*	striped mullet		Mugil cephalus	HD	9,6	2		[11]
		bottlenose dolphin	tuimelaar	Tursiops truncatus	HD*	pigfish	varkenvis	Orthopristis chrysoptera	HD	18	2		

Locatie	WT	Predator				Prooi				BMF	Ri	Opm	Ref
		Naam Engels	Nederlands	Latijn	MAT	Naam UK	NL	LAT	MAT				
		bottlenose dolphin	tuimelaar	Tursiops truncatus	HD*	sheephead	schaapskop-brasem	Archosargus probatocephalus	HD	16	2		
		bottlenose dolphin	tuimelaar	Tursiops truncatus	HD*	pinfish		Lagodon rhomboides	HD	11	2		
		bottlenose dolphin	tuimelaar	Tursiops truncatus	HD*	spotted seatrout	gevlekte ombervis	Cynoscion nebulosus	HD	6,2	2		
BRA Paraiba do Sul	*M/B*	*Guiana dolphin*		*Sotalia guianensis*	*LE*	*Atlantic croaker*	*knorrepos*	*Micropogonias furnieri*	*LE*	*7,7-63*	*3*	*e,s*	*[12]*
		Guiana dolphin		*Sotalia guianensis*	*LE*	*silver scabbardfish*	*zilveren degenvis*	*Lepidopus caudatus*	*LE*		*3*	*e,s*	
		Guiana dolphin		*Sotalia guianensis*	*SP*	*Atlantic croaker*	*knorrepos*	*Micropogonias furnieri*	*SP*	*-*	*3*	*e,s*	
		Guiana dolphin		*Sotalia guianensis*	*SP*	*silver scabbardfish*	*zilveren degenvis*	*Lepidopus caudatus*	*SP*	*-*	*3*	*e,s*	
CHN Mai Po	*M/B*	*grey heron*	*blauwe reiger*	*Ardea cinerea*	*LE*	*grey mullet*	*harder*	*Mugil cephalus*	*HD*	*6*	*3*	*b,g,t*	*[13]*
		grey heron	*blauwe reiger*	*Ardea cinerea*	*LE*	*Mozambique tilapia*		*Oreochromis mossambicus*	*HD*	*11,7*	*3*	*b,g,t*	
		Chinese pond heron	*Chinese ralreiger*	*Ardeola bacchus*	*LE*	*grey mullet*	*harder*	*Mugil cephalus*	*HD*	*14,9*	*3*	*b,g,t*	
		Chinese pond heron	*Chinese ralreiger*	*Ardeola bacchus*	*LE*	*Mozambique tilapia*		*Oreochromis mossambicus*	*HD*	*29*	*3*	*b,g,t*	
		grey heron	*blauwe reiger*	*Ardea cinerea*	*LE*	*Chinese snakehead*	*Chinese slan-genkopvis*	*Channa asiatica*	*HD*	*3,9*	*3*	*b,g*	
		grey heron	*blauwe reiger*	*Ardea cinerea*	*LE*	*ladyfish*	*tienponder*	*Elops saurus*	*HD*	*9*	*3*	*b,g*	

Locatie	WT	Predator				Prooi				BMF	Ri	Opm	Ref
		Naam Engels	Nederlands	Latijn	MAT	Naam UK	NL	LAT	MAT				
		grey heron	*blauwe reiger*	*Ardea cinerea*	*LE*	*flag-tailed glass perchlet*		*Ambassis miops*	*HD*	*6,4*	*3*	*b,g*	
		grey heron	*blauwe reiger*	*Ardea cinerea*	*LE*	*giant tiger prawn*	*grote tijgergarnaal*	*Penaeus monodon*	*HD*	*22,5*	*3*	*b,g*	
		grey heron	*blauwe reiger*	*Ardea cinerea*	*LE*	*sand prawn*	*zandgarnaal*	*Metapenaeus ensis*	*HD*	*17,3*	*3*	*b,g*	
		Chinese pond heron	*Chinese ralreiger*	*Ardeola bacchus*	*LE*	*Chinese snakehead*	*Chinese slan-genkopvis*	*Channa asiatica*	*HD*	*9,5*	*3*	*b,g*	
		Chinese pond heron	*Chinese ralreiger*	*Ardeola bacchus*	*LE*	*ladyfish*	*tienponder*	*Elops saurus*	*HD*	*22,2*	*3*	*b,g*	
		Chinese pond heron	*Chinese ralreiger*	*Ardeola bacchus*	*LE*	*flag-tailed glass perchlet*		*Ambassis miops*	*HD*	*15,8*	*3*	*b,g*	
		Chinese pond heron	*Chinese ralreiger*	*Ardeola bacchus*	*LE*	*giant tiger prawn*	*grote tijgergarnaal*	*Penaeus monodon*	*HD*	*55,5*	*3*	*b,g*	
		Chinese pond heron	*Chinese ralreiger*	*Ardeola bacchus*	*LE*	*sand prawn*	*zandgarnaal*	*Metapenaeus ensis*	*HD*	*42,8*	*3*	*b,g*	
USA Midwestern	*Z*	*mink*	*Amerikaanse nerts*	*Mustela vison*	*LE*	*carp*		*-*	*SP*	*~22*	*4*	*u*	*[14]*
USA laboratory	*Z*	*mink*	*Amerikaanse nerts*	*Mustela vison*	*LE*	*common carp*	*karper*	*Cyprinus carpio*	*HD*	*11*	*3*	*v,g*	*[15]*
		mink	*Amerikaanse nerts*	*Mustela vison*	*LE*	*common carp*	*karper*	*Cyprinus carpio*	*HD*	*23*	*3*	*v,g*	
		mink	*Amerikaanse nerts*	*Mustela vison*	*LE*	*common carp*	*karper*	*Cyprinus carpio*	*HD*	*20*	*3*	*v,g*	

Locatie	WT	Predator				Prooi				BMF	Ri	Opm	Ref
		Naam Engels	Nederlands	Latijn	MAT	Naam UK	NL	LAT	MAT				
USA Michigan	*Z*	*bald eagle*	*Amerikaanse zeearend*	*Haliaeetus leucocephalus*	*LE*	*crayfish*		*-*	*HD*	*39*	*3*	*b,g,w*	*[16]*
		bald eagle	*Amerikaanse zeearend*	*Haliaeetus leucocephalus*	*LE*	*round goby*	*zwartbek-grondel*	*Neogobius melanostomus*	*HD*	*14*	*3*	*b,g,w*	
		bald eagle	*Amerikaanse zeearend*	*Haliaeetus leucocephalus*	*LE*	*smallmouth bass*	*kleinbek-baars*	*Micropterus dolomieu*	*HD*	*23*	*3*	*b,g,w*	
		bald eagle	*Amerikaanse zeearend*	*Haliaeetus leucocephalus*	*LE*	*brown trout*	*beekforel*	*Salmo trutta*	*EI*	*2,1*	*3*	*b,g,w*	
		bald eagle	*Amerikaanse zeearend*	*Haliaeetus leucocephalus*	*LE*	*common carp*	*karper*	*Cyprinus carpio*	*SP*	*0,99*	*3*	*b,g,w*	
		bald eagle	*Amerikaanse zeearend*	*Haliaeetus leucocephalus*	*LE*	*snapping turtles*	*bijtschild-pad*	*Chelydra serpentina*	*PL*	*0,091*	*3*	*b,g,w*	
		bald eagle	*Amerikaanse zeearend*	*Haliaeetus leucocephalus*	*LE*	*lake whitefish*	*houting*	*Coregonus clupeaformis*	*EI*	*0,56*	*3*	*b,g,w*	
		bald eagle	*Amerikaanse zeearend*	*Haliaeetus leucocephalus*	*LE*	*lake whitefish*	*houting*	*Coregonus clupeaformis*	*LE*	*2,5*	*2*	*b,w*	
		bald eagle	*Amerikaanse zeearend*	*Haliaeetus leucocephalus*	*LE*	*chinook salmon*	*chinook-zalm*	*Oncorhynchus tshawytscha*	*LE*	*1,8*	*2*	*b,w*	
		mink	*Amerikaanse nerts*	*Mustela vison*	*LE*	*green frog*	*schreeuw-kikker*	*Rana clamitans*	*LE*	*32*	*3*	*b,w*	
		mink	*Amerikaanse nerts*	*Mustela vison*	*LE*	*crayfish*	*rivierkreeft*	*-*	*HD*	*430*	*3*	*b,g,x*	
		mink	*Amerikaanse nerts*	*Mustela vison*	*LE*	*round goby*	*zwartbek-grondel*	*Neogobius melanostomus*	*HD*	*152*	*3*	*b,g,x*	
		mink	*Amerikaanse nerts*	*Mustela vison*	*LE*	*smallmouth bass*	*kleinbek-baars*	*Micropterus olomieu*	*HD*	*261*	*3*	*b,g,x*	
		mink	*Amerikaanse nerts*	*Mustela vison*	*LE*	*brown trout*	*beekforel*	*Salmo trutta*	*EI*	*23*	*3*	*b,g,x*	
		mink	*Amerikaanse nerts*	*Mustela vison*	*LE*	*common carp*	*karper*	*Cyprinus carpio*	*SP*	*11*	*3*	*b,g,x*	

Locatie	WT	Predator				Prooi				BMF	Ri	Opm	Ref
		Naam Engels	Nederlands	Latijn	MAT	Naam UK	NL	LAT	MAT				
		mink	*Amerikaanse nerts*	*Mustela vison*	*LE*	*lake whitefish*	*houting*	*Coregonus clupeaformis*	*EI*	*6,2*	*3*	*b,g,x*	
		mink	*Amerikaanse nerts*	*Mustela vison*	*LE*	*lake whitefish*	*houting*	*Coregonus clupeaformis*	*LE*	*28*	*3*	*b,x*	
		mink	*Amerikaanse nerts*	*Mustela vison*	*LE*	*chinook salmon*	*chinook-zalm*	*Oncorhynchus tshawytscha*	*LE*	*20*	*3*	*b,x*	
USA NY state	*Z*	*common merganser*	*grote zaagbek*	*Mergus merganser*	*LE*	*smallmouth bass*	*kleinbekbaars*	*Micropterus dolomieu*	*LE*	*8*	*3*	*q,y*	*[17]*
		common merganser	*grote zaagbek*	*Mergus merganser*	*LE*	*largemouth bass*	*forelbaars*	*Micropterus salmoides*	*LE*	*8,4*	*3*	*q,y*	
		hooded merganser	*kokarde-zaagbek*	*Lophodytes Cucullatus*	*LE*	*smallmouth bass*	*kleinbekbaars*	*Micropterus dolomieu*	*LE*	*0,64*	*3*	*b,q,y*	
		hooded merganser	*kokarde-zaagbek*	*Lophodytes Cucullatus*	*LE*	*largemouth bass*	*forelbaars*	*Micropterus salmoides*	*LE*	*0,67*	*3*	*b,q,y*	
		bufflehead	*buffelkopeend*	*Bucephala albeola*	*LE*	*smallmouth bass*	*kleinbekbaars*	*Micropterus dolomieu*	*LE*	*12*	*3*	*b,q,y*	
		bufflehead	*buffelkopeend*	*Bucephala albeola*	*LE*	*largemouth bass*	*forelbaars*	*Micropterus salmoides*	*LE*	*12*	*3*	*b,q,y*	
		mallard duck	*wilde eend*	*Anas platyrhynchos*	*LE*	*smallmouth bass*	*kleinbekbaars*	*Micropterus dolomieu*	*LE*	*3,1*	*3*	*b,q,y*	
		mallard duck	*wilde eend*	*Anas platyrhynchos*	*LE*	*largemouth bass*	*forelbaars*	*Micropterus salmoides*	*LE*	*3,3*	*3*	*b,q,y*	
		surf scoter	*brilzee-eend*	*Melanitta perspicillata*	*LE*	*smallmouth bass*	*kleinbekbaars*	*Micropterus dolomieu*	*LE*	*0,51*	*3*	*b,q,y*	
		surf scoter	*brilzee-eend*	*Melanitta perspicillata*	*LE*	*largemouth bass*	*forelbaars*	*Micropterus salmoides*	*LE*	*0,54*	*3*	*b,q,y*	
		American black duck		*Anas rubripes*	*LE*	*smallmouth bass*	*kleinbekbaars*	*Micropterus dolomieu*	*LE*	*3,7*	*3*	*b,q,y*	

Locatie	WT	Predator				Prooi				BMF	Ri	Opm	Ref
		Naam Engels	Nederlands	Latijn	MAT	Naam UK	NL	LAT	MAT				
		American black duck		*Anas rubripes*	*LE*	*largemouth bass*	*forelbaars*	*Micropterus salmoides*	*LE*	*3,9*	*3*	*b,q,y*	
		common goldeneye	*brilduiker*	*Bucephala clangula*	*LE*	*smallmouth bass*	*kleinbekbaars*	*Micropterus dolomieu*	*LE*	*3,7*	*3*	*b,q,y*	
		common goldeneye	*brilduiker*	*Bucephala clangula*	*LE*	*largemouth bass*	*forelbaars*	*Micropterus salmoides*	*LE*	*3,9*	*3*	*b,q,y*	
		greater scaup	*toppereend*	*Aythya marila*	*LE*	*smallmouth bass*	*kleinbekbaars*	*Micropterus dolomieu*	*LE*	*1,5*	*3*	*b,q,y*	
		greater scaup	*toppereend*	*Aythya marila*	*LE*	*largemouth bass*	*forelbaars*	*Micropterus salmoides*	*LE*	*1,6*	*3*	*b,q,y*	
		lesser scaup	*kleine topper*	*Aythya affinis*	*LE*	*smallmouth bass*	*kleinbekbaars*	*Micropterus dolomieu*	*LE*	*2,7*	*3*	*b,q,y*	
		lesser scaup	*kleine topper*	*Aythya affinis*	*LE*	*largemouth bass*	*forelbaars*	*Micropterus salmoides*	*LE*	*2,8*	*3*	*b,q,y*	
		ring-necked duck	*ringsnavel-eend*	*Aythya collaris*	*LE*	*smallmouth bass*	*kleinbekbaars*	*Micropterus dolomieu*	*LE*	*0,29*	*3*	*b,q,y*	
		ring-necked duck	*ringsnavel-eend*	*Aythya collaris*	*LE*	*largemouth bass*	*forelbaars*	*Micropterus salmoides*	*LE*	*0,31*	*3*	*b,q,y*	
CHN Lake Baiyangdian	Z	Chinese pond heron	Chinese ralreiger	Ardeola bacchus	SP	common carp	karper	Cyprinus carpio	SP	0,36	2	b	[18]
		Chinese pond heron	*Chinese ralreiger*	*Ardeola bacchus*	*SP*	*oriental weatherfish*	*weeraal*	*Misgurnus anguillicaudatus*	*HD*	*3,8*	*3*	*b,g*	
		Chinese pond heron	*Chinese ralreiger*	*Ardeola bacchus*	*SP*	*shrimp*		*Macrobrachium nipponense*	*HD*	*0,40*	*3*	*b,g*	
		Chinese pond heron	*Chinese ralreiger*	*Ardeola bacchus*	*SP*	*Chinese mitten crab*	*Chinese wolhand-krab*	*Eriocheir sinensis*	*HD*	*0,66*	*3*	*b,g*	

Locatie	WT	Predator				Prooi				BMF	Ri	Opm	Ref
		Naam Engels	Nederlands	Latijn	MAT	Naam UK	NL	LAT	MAT				
CHN Taihu lake	*Z*	*little*	*kleine zilverreiger*	*Egretta garzetta*	*SP*	*redfin culter*		*Erythroculter ilishaeformi*	*HD*	*1,8*	*3*	*b,g*	*[19]*
		egret	kleine zilverreiger	Egretta garzetta	SP	bighead carp		Aristichthys nobilis	SP	5,1	2	b	
		little	kleine zilverreiger	Egretta garzetta	SP	Asian pencil halfbeak		Hyporhamphus intermedius	SP	1,5	2	b	
		egret	kleine zilverreiger	Egretta garzetta	SP	sharpbelly		Hemiculter leucisculus	SP	2,4	2	b	
		little	*kleine zilverreiger*	*Egretta garzetta*	*SP*	*silver carp*	*zilverkarper*	*Hypophthalmichthys molitrix*	*HD*	*2,9*	*3*	*b,g*	
		little egret	*kleine zilverreiger*	*Egretta garzetta*	*SP*	*Japanese grenadier anchovy*		*Coilia ectenes*	*HD*	*1,8*	*3*	*b,g*	
		little	kleine zilverreiger	Egretta garzetta	SP	common carp	karper	Cyprinus carpio	SP	1,7	2	b	
		egret	*kleine zilverreiger*	*Egretta garzetta*	*SP*	*clearhead icefish*		*Protosalanx hyalocranius*	*HD*	*1,8*	*3*	*b,g*	
		little	kleine zilverreiger	Egretta garzetta	SP	Siberian prawn		Exopalaemon modestus Heller	SP	9,3	2	b	
		egret	kleine zilverreiger	Egretta garzetta	SP	yellowhead catfish		Pelteobagrus fulvidraco	SP	1,1	2	b	

a: Lange tijd tussen bemonsteren predator (1992) en prooi (2002); Sublocatie: Kuujjuarapik, QC
b: BMF niet gerapporteerd, berekend in dit rapport
c: Sublocaties ver van elkaar: Sanikiluaq, NU (ijsbeer); Holman, NT (zeehond)
d: Sublocaties ver van elkaar: Sanikiluaq, NU (ijsbeer); Ausuittuq, NU (zeehond)
e: BMF waarden konden niet gereproduceerd worden.
f: Trofisch niveau (TL) aangepaste BMF waarden
g: Verschillend weefsel/orgaan/gehele lichaam bemonsterd in predator en prooi.
h: ijsbeer locatie onbekend; ijsbeer gegevens uit een andere studie (Smithwick et al., 2005)
i: Sublocatie zeehond: Southeast beaufort sea

j: Sublocatie zeehond: Hudson bay
k: Sublocatie zeehond: South baffin island and Labrador
l: Sublocatie zeehond: High Arctic
m: Eén BMF waarde gerapporteerd gebaseerd op beide zeehond soorten
n: PFOS geanalyseerd in alle witte dolfijnen (n=18), echter in alle vrouwtjes (n=9) PFOS concentratie lager dan LOD van 0,06 ng/g ww. Geometrisch gemiddelde genomen van PFOS concentratie in mannetjes en helft LOD in vrouwtjes.
o: Predator en prooi uit hetzelfde gebied in Groenland (Ittoqqortoormiit)
p: SETAC poster. Echter, methodologie en gegevens voor eend en kabeljauw gepubliceerd in Falandysz et al. (2006). Betrouwbaarheid is daarom te beoordelen.
q: Geen predator/prooi set.
r: Kleine vissen ook prooi, maar belangrijkste prooien zijn inktvissen voor grienden en krill voor dwergvinvissen
s: Vervuild gebied; exacte locatie en tijd van gearchiveerde monsters onduidelijk
t: Belangrijkste prooi
u: Gegevens uit een andere studie
v: Laboratorium studie. Dieet bestaande uit 10, 20 en 40% karper (270 ng PFOS/g ww), aangevuld met andere vis (87 ng PFOS/g ww).
w: PFOS concentraties gemeten in vers overleden zeearenden. Naast lever, ook andere weefsel bemonsterd.
x: Nerts PFOS concentraties zijn te onzeker (heel hoog gehalte bij één vrouwtje, en geen ruwe data om geometrisch gemiddelde te berekenen).
y: Vissen en vogels op verschillende locaties en periodes bemonstert. BMF van 8,9 voor 'Common merganser' op basis van beide vissoorten gerapporteerd.

Tabel B3.3: Overzicht van biomagnificatie factoren (BMF's) voor hogere organismen op basis van veldmetingen – terrestrische studies. Referenties: [1] Müller et al. (2011); [2] D'Hollander et al. (2014)

Legenda	
MAT	matrix: LE = lever, HD = hele dier, HD* = hele dier op basis van schatting, SP = spieren, NI = nieren, MI = milt, AK = alvleesklier; LO = longen, VR = vrucht
BMF	biomagnificatiefactor
Ri	Reliability index; studies met Ri1 of 2 worden geaccepteerd; niet-betrouwbare studies (Ri3) of studies met te weinig informatie (Ri4) worden niet gebruikt en zijn cursief weergegeven.
Opm	zie voetnoot
Ref	referentie

Locatie	Predator				Prooi				BMF	Ri	Opm	Ref
	Naam UK	NL	LAT	MAT	Naam UK	NL	LAT	MAT				
CAN Yukon/ Northwest Territories	wolf	wolf	Canis lupus	LE	barrenground caribou	toendrakariboe	Rangifer tarandus groenlandicus	LE	0,8	2		[1]
	wolf	wolf	Canis lupus	LE	barrenground caribou	toendrakariboe	Rangifer tarandus groenlandicus	LE	2,1	2		
	wolf	wolf	Canis lupus	SP	barrenground caribou	toendrakariboe	Rangifer tarandus groenlandicus	SP	1,8	2		
	wolf	wolf	Canis lupus	SP	barrenground caribou	toendrakariboe	Rangifer tarandus groenlandicus	SP	4,5	2		
	wolf	wolf	Canis lupus	HD*	barrenground caribou	toendrakariboe	Rangifer tarandus groenlandicus	HD*	1,2	2		
	wolf	wolf	Canis lupus	HD*	barrenground caribou	toendrakariboe	Rangifer tarandus groenlandicus	HD*	3,3	2		
BEL Blokkersdijk	*wood mouse*	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*LE*	*earthworms*	*regenwormen*	*Lumbricidae*	*HD*	*1,2*	*3*	*a,b,c*	*[2]*
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*LE*	*slugs*	*slakken*	*Stylommatophora*	*HD*	*1,4*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*LE*	*millipedes*	*miljoenpoten*	*Diplopoda*	*HD*	*2,4*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*LE*	*woodlice*	*pissebedden*	*Isopoda*	*HD*	*12*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*LE*	*blackberry*	*braam*	*Rubus fruticosus*	*VR*	*775*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*LE*	*European elder*	*gewone vlier*	*Sambucus nigra*	*VR*	*187*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*NI*	*earthworms*	*regenwormen*	*Lumbricidae*	*HD*	*0,19*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*NI*	*slugs*	*slakken*	*Stylommatophora*	*HD*	*0,22*	*3*	*a,b,c*	

Locatie	Predator				Prooi				BMF	Ri	Opm	Ref
	Naam UK	NL	LAT	MAT	Naam UK	NL	LAT	MAT				
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*NI*	*millipedes*	*miljoenpoten*	*Diplopoda*	*HD*	*0,36*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*NI*	*woodlice*	*pissebedden*	*Isopoda*	*HD*	*1,8*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*NI*	*blackberry*	*braam*	*Rubus fruticosus*	*VR*	*118*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*NI*	*European elder*	*gewone vlier*	*Sambucus nigra*	*VR*	*29*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*MI*	*earthworms*	*regenwormen*	*Lumbricidae*	*HD*	*0,13*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*MI*	*slugs*	*slakken*	*Stylommatophora*	*HD*	*0,15*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*MI*	*millipedes*	*miljoenpoten*	*Diplopoda*	*HD*	*0,25*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*MI*	*woodlice*	*pissebedden*	*Isopoda*	*HD*	*1,3*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*MI*	*blackberry*	*braam*	*Rubus fruticosus*	*VR*	*81,9*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*MI*	*European elder*	*gewone vlier*	*Sambucus nigra*	*VR*	*19,8*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*AK*	*earthworms*	*regenwormen*	*Lumbricidae*	*HD*	*1*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*AK*	*slugs*	*slakken*	*Stylommatophora*	*HD*	*1,1*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*AK*	*millipedes*	*miljoenpoten*	*Diplopoda*	*HD*	*1,9*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*AK*	*woodlice*	*pissebedden*	*Isopoda*	*HD*	*9,6*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*AK*	*blackberry*	*braam*	*Rubus fruticosus*	*VR*	*627*	*3*	*a,b,c*	

Locatie	Predator				Prooi				BMF	Ri	Opm	Ref
	Naam UK	NL	LAT	MAT	Naam UK	NL	LAT	MAT				
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*AK*	*European elder*	*gewone vlier*	*Sambucus nigra*	*VR*	*152*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*LO*	*earthworms*	*regenwormen*	*Lumbricidae*	*HD*	*0,71*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*LO*	*slugs*	*slakken*	*Stylommatophora*	*HD*	*0,82*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*LO*	*millipedes*	*miljoenpoten*	*Diplopoda*	*HD*	*1,4*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*LO*	*woodlice*	*pissebedden*	*Isopoda*	*HD*	*6,9*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*LO*	*blackberry*	*braam*	*Rubus fruticosus*	*VR*	*446*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*LO*	*European elder*	*gewone vlier*	*Sambucus nigra*	*VR*	*108*	*3*	*a,b,c*	
	wood mouse	*bosmuis*	*Apodemus sylvaticus*	*LE*	*earthworms*	*regenwormen*	*Lumbricidae*	*HD*	*0,83*	*3*	*a,b,c*	
	bank vole	*rosse woelmuis*	*Myodes glareolus*	*LE*	*slugs*	*slakken*	*Stylommatophora*	*HD*	*0,95*	*3*	*a,b,c*	
	bank vole	*rosse woelmuis*	*Myodes glareolus*	*LE*	*millipedes*	*miljoenpoten*	*Diplopoda*	*HD*	*1,6*	*3*	*a,b,c*	
	bank vole	*rosse woelmuis*	*Myodes glareolus*	*LE*	*woodlice*	*pissebedden*	*Isopoda*	*HD*	*8*	*3*	*a,b,c*	
	bank vole	*rosse woelmuis*	*Myodes glareolus*	*LE*	*blackberry*	*braam*	*Rubus fruticosus*	*VR*	*519*	*3*	*a,b,c*	
	bank vole	*rosse woelmuis*	*Myodes glareolus*	*LE*	*European elder*	*gewone vlier*	*Sambucus nigra*	*VR*	*125*	*3*	*a,b,c*	

a: BMF niet gerapporteerd, berekend in dit rapport
b: Verschillend weefsel/orgaan/gehele lichaam bemonsterd in predator en prooi.
c: Vervuild gebied; BMF gerapporteerd voor muizen (lever/nieren) op basis van twee plantensoorten of vier invertebraten soorten samen. Per soort herberekend.

Bijlage 4. Accumulatie in regenwormen

*Tabel B4.1: Overzicht van bioaccumulatie factoren (BAF) voor PFOS in regenwormen (all Eisenia fetida except Eisenia andrei in both studies by Navarro et al. and Lumbricus rubellus, Aporrectodea rosea, Dendrobaena octaedra and Dendrodrilus rubidus in the field samples by Amundsen). '-'= niet gerapporteerd/niet bekend/niet te berekenen; * = berekend in dit rapport. Referenties: [1] 3M (2003); [2] Stubberud (2006); [3] Amundsen (2008); [4] Zhao et al. (2013); [5] Zhao et al. (2014); [6] Das et al. (2015); [7] Mohammadi (2015); [8] Rich et al. (2015); [9] Wen et al. (2015); [10] Navarro et al. (2016); [11] Navarro et al. (2017); [12] Zhao et al. (2018); [13] Bräunig et al. (2019)*

Legenda	
Type	KK = kunstmatig verontreinigde kunstgrond, VV = gecontamineerde veldgrond, KV = kunstmatig verontreinigde veldgrond
OM	organisch materiaal
OC	organisch koolstof
T	temperatuur
BAF	bioaccumulatiefactor
Ri	Reliability index; studies met Ri1 of 2 worden geaccepteerd; niet-betrouwbare studies (Ri3) of studies met te weinig informatie (Ri4) worden niet gebruikt en zijn in cursief weergegeven.
Opm	zie voetnoot
Ref	Referentie

Locatie	**Type**	**Zand [%]**	**Silt [%]**	**Klei [%]**	**pH**	**OM [%]**	**OC [%]**	**T [°C]**	**Blootstel-lingsduur**	**Gehalte PFOS grond [ng/g dw]**	**Gehalte PFOS worm [ng/g dw]**	**Gehalte PFOS worm [ng/g ww]**	**BAF dw/dw**	**BAF dw grond/ ww worm**	**Ri**	**Opm**	**Ref**
	KK	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*14 d*	*-*	*-*	*-*	*-*	*0,8 - 2,4*	*4*		*[1]*
	KK	70	20	-	5,5-6,5	5	2,9	20±2	28 d	9900	-	19300	12	1,9	2		[2]
	KK	*70*	*20*	*-*	*5,5-6,5*	*5*	*2,9*	*20±2*	*28 d*	*21000*	*-*	*33300*	*10*	*1,6*	*3*	*a*	
	KK	*70*	*20*	*-*	*5,5-6,5*	*5*	*2,9*	*20±2*	*28 d*	*42000*	*-*	*46300*	*7,0*	*1,1*	*3*	*a*	
NOR Mongstad 25 m	VV	-	-	-	5,1-5,6	-	35	20-23	dieren uit veld	1026	-	1838	11*	1,8	2	b,c	[3]

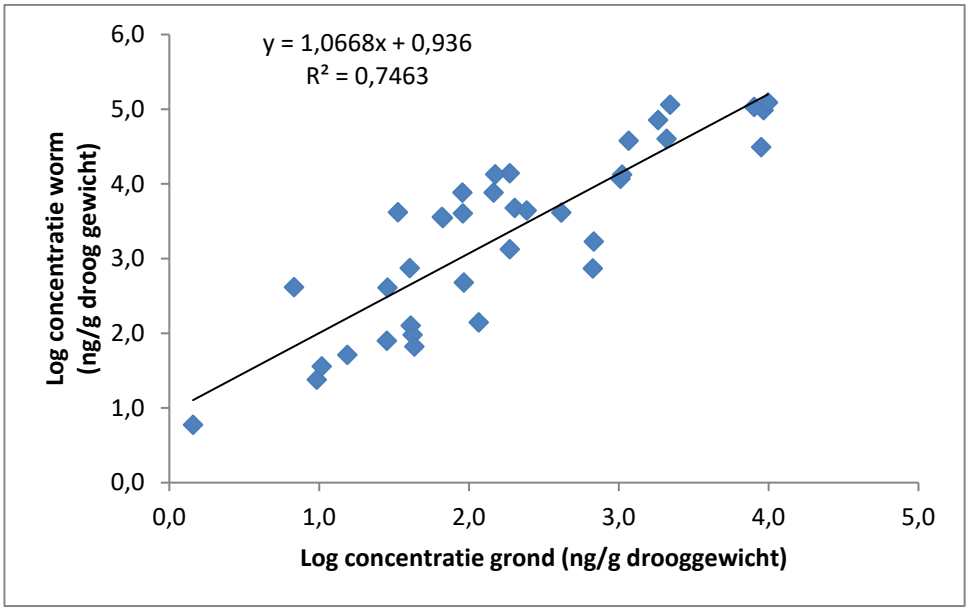
Locatie	Type	Zand [%]	Silt [%]	Klei [%]	pH	OM [%]	OC [%]	T [°C]	Blootstel-lingsduur	Gehalte PFOS grond [ng/g dw]	Gehalte PFOS worm [ng/g dw]	Gehalte PFOS worm [ng/g ww]	BAF dw/dw	BAF dw grond/ ww worm	Ri	Opm	Ref
NOR Mongstad 52 m	VV	-	-	-	5,4	-	37	20-24	dieren uit veld	8000	-	16814	13*	2,1	2	b,c	
NOR Mongstad 25 m	VV	-	-	-	5,1-5,6	-	31	20-25	21 d	680	-	265	2,5*	0,39	2	b,c	
NOR Mongstad 40 m	VV	-	-	-	5,1	-	38	20-26	21 d	8924	-	4882	3,5*	0,55	2	b	
NOR Mongstad 200 m	VV	-	-	-	5,2	-	43	20-27	21 d	29	-	64	14*	2,2	2	b	
NOR Solberg 16 m	VV	16,2	-	-	4,9-5,0	-	28	20-28	21 d	671	-	116	1,1*	0,17	2	b,c,d	
NOR Solberg 38 m	VV	13,6	-	-	-	-	4,0	20-29	21 d	92	-	75	5,2*	0,81	2	b,d	
NOR Solberg 155 m	VV	-	-	-	5,3	-	46	20-30	21 d	116	-	22	1,2*	0,19	2	b,d	
NOR Gardermoen 1 m	VV	8.8	-	-	6,7	-	0,8	20-31	21 d	1162	-	5938	32*	5,1	2	b,d	
NOR Gardermoen 1 m	VV	9,9	-	-	6,4	-	0,7	20-32	21 d	2085	-	6317	19*	3,0	2	b,d	
NOR Gardermoen 1 m	VV	11,3	-	-	6,9	-	0,8	20-32	21 d	1051	-	2086	13*	2,0	2	b,d	
NOR Rygge 26 m	VV	– 46,3	-	-	6,3	-	12	20-32	21 d	413	-	649	10*	1,6	2	b,c	
NOR Rygge 38 m	VV	18,	-	-	6,7	-	3	20-32	21 d	187	-	209	7,1*	1,1	2	b	
NOR Rygge 174 m	VV	9,3	-	-	5,4	-	2,6	20-32	21 d	40	-	117	18*	2,9	2	b	

Locatie	Type	Zand [%]	Silt [%]	Klei [%]	pH	OM [%]	OC [%]	T [°C]	Blootstel-lingsduur	Gehalte PFOS grond [ng/g dw]	Gehalte PFOS worm [ng/g dw]	Gehalte PFOS worm [ng/g ww]	BAF dw/dw	BAF dw grond/ ww worm	Ri	Opm	Ref
CHN Tianjin	*KV*	*12*	*64*	*24*	*7,67*	*4,88*	*2,8**	*22*	*30 d*	*100*	*511*	*-*	*5*	*0,80*	*3*	*e,f*	*[4]*
	KV	*12*	*64*	*24*	*7,67*	*4,88*	*2,8**	*22*	*30 d*	*200*	*916*	*-*	*5*	*0,72*	*3*	*e,f*	
	KV	*12*	*64*	*24*	*7,67*	*4,88*	*2,8**	*22*	*30 d*	*500*	*1709*	*-*	*3*	*0,54*	*3*	*e,f*	
CHN Tianjin	*KV*	*12*	*64*	*24*	*7,67*	*4,11*	*2,4*	*-*	*30 d*	*200*	*35070*	*-*	*175*	*27*	*3*	*e,f*	*[5]*
	KV	*12*	*64*	*24*	*7,67*	*4,11*	*2,4*	*-*	*30 d*	*200*	*39414*	*-*	*197*	*31*	*3*	*e,g*	
	KV	*12*	*64*	*24*	*7,67*	*4,11*	*2,4*	*-*	*30 d*	*500*	*70181*	*-*	*140*	*22*	*3*	*e,f*	
	KV	*12*	*64*	*24*	*7,67*	*4,11*	*2,4*	*-*	*30 d*	*500*	*89453*	*-*	*179*	*28*	*3*	*e,g*	
	KV	*12*	*64*	*24*	*7,67*	*4,11*	*2,4*	*-*	*30 d*	*1000*	*123246*	*-*	*123*	*19*	*3*	*e,f*	
	KV	*12*	*64*	*24*	*7,67*	*4,11*	*2,4*	*-*	*30 d*	*1000*	*171372*	*-*	*171*	*27*	*3*	*e,g*	
AUS Darwin	VV	52,63	25,62	21,74	4,8	1,6512	0,96	25	30 d	1830	-	11240	39	6,1	2	b	[6]
	VV+ KV	*52,63*	*25,62*	*21,74*	*4,8*	*1,6512*	*0,96*	*25*	*30 d*	*1830+ 100000*	*-*	*349600*	*-*	*-*	*3*	*b,e*	
AUS Tindal	VV	57	11	32	6,5	3,5	2,0	25	30 d	9260	-	15250	10,5	1,6	2	b	
	VV+ KV	*57*	*11*	*32*	*6,5*	*3,5*	*2,0*	*25*	*30 d*	*9260+ 100000*	*-*	*57680*	*-*	*-*	*3*	*b,e*	
	VV	*75*	*9,1*	*16*	*8,1*	*0,50*	*0,29*	*25*	*30 d*	*16170*	*-*	*-*	*-*	*-*	*3*	*a,b*	
	VV+ KV	*75*	*9,1*	*16*	*8,1*	*0,50*	*0,29*	*25*	*30 d*	*16170+ 100000*	*-*	*-*	*-*	*-*	*3*	*b,e*	
SWE Riksten	VV	97	2,8	0,8	4,5	4,3	1,9	-	28 d	146	7667	-	53	8,3	2	h,i	[7]
	VV	89	9,3	1,4	4,4	13	8,8	-	28 d	9,6	23,9	-	2,5	0,39	2	h,i	
	VV	99	0,7	0,2	5,6	1,8	0,71	-	28 d	90	7670	-	85	13	2	h,i	
	KV	94	4,4	1,3	4,9	3,6	1,4	-	28 d	67	3492	-	52	8,2	2	h,i	
	KV	94	6,8	1,1	5,9	3,2	1	-	28 d	91	4040	-	44	7,0	2	h,i	
	VV	96	4	1,1	7,7	5,1	3,3	-	28 d	33,5	4177	-	125	20	2	h,i	
USA	VV	-	-	-	6,9	-	6,5	25	28 d	202	4767	-	24	3,7	2	j	[8]

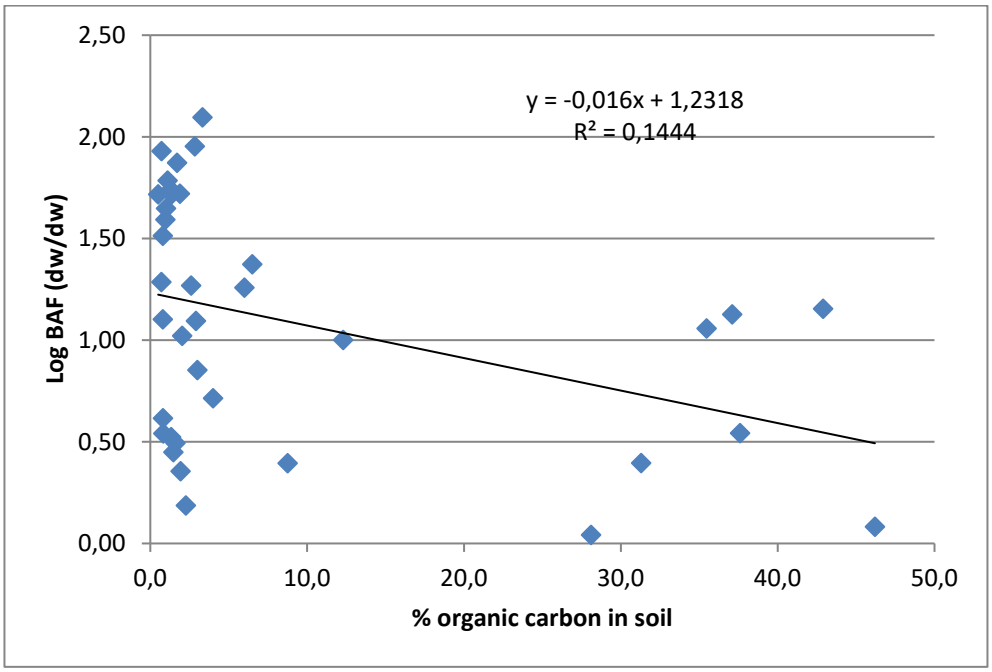
Locatie	Type	Zand [%]	Silt [%]	Klei [%]	pH	OM [%]	OC [%]	T [°C]	Blootstel-lingsduur	Gehalte PFOS grond [ng/g dw]	Gehalte PFOS worm [ng/g dw]	Gehalte PFOS worm [ng/g ww]	BAF dw/dw	BAF dw grond/ ww worm	Ri	Opm	Ref
USA Illinois	VV	-	-	-	6,5	-	6,0	25	28 d	243	4398	-	18	2,8	2	k	
USA South Dakota	VV	-	-	-	7,9	-	1,7	25	28 d	187	13932	-	74	12	2	h	
	VV	-	-	-	7,9	-	1,3	25	28 d	66	3623	-	55	8,6	2	h	
CHN Changpi	VV	6,8	81	12	8,2	1,4	0,83	22	30 d	10	36	-	3,5	0,54	2	l	[9]
	VV	22	69	8,6	8,4	2,3	1,3	22	30 d	15	51	-	3,3	0,52	2	l	
	VV	2,3	83	14	8,1	2,5	1,5	22	30 d	28	79	-	2,8	0,44	2	l	
	VV	2,8	85	12	8,2	2,8	1,6	22	30 d	41	127	-	3,1	0,49	2	l	
CHN Dezhou	VV	33	57	9,1	8,1	1,4	0,80	22	30 d	1,4	5,9	-	4,1	0,65	2	l	
	VV	11	79	9,9	8,3	3,3	1,9	22	30 d	42	95	-	2,3	0,35	2	l	
	VV	12	79	9,4	8,1	3,9	2,3	22	30 d	43	66	-	1,5	0,24	2	l	
SPA	*VV*	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*21*	*21 d*	*0,16*	*1,3*	*-*	*8,6*	*1,3*	*4*	*m*	*[10]*
	VV	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*21*	*21 d*	*0,35*	*11*	*-*	*30*	*4,8*	*4*	*m*	
	VV	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*21*	*21 d*	*0,60*	*17*	*-*	*28*	*4,4*	*4*	*m*	
	VV	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*21*	*21 d*	*0,58*	*15*	*-*	*25*	*3,9*	*4*	*m*	
	VV	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*21*	*21 d*	*0,27*	*2,8*	*-*	*11*	*1,7*	*4*	*m*	
SPA	*KV*	*82*	*9,4*	*8,4*	*7,5*	*5,2*	*3*	*21*	*28 d*	*19100*	*74*	*-*	*3,9*	*0,61*	*3*	*a*	*[11]*
	KV	*82*	*9,4*	*8,4*	*7,5*	*5,2*	*3*	*21*	*28 d*	*13900*	*85*	*-*	*6,1*	*0,96*	*3*	*a*	
CHN Panjin	KV	53	25	22	7,6	4,9	2,8	20-25	30 d	150	-	2108	90	14	2	f	[12]
AUS	*VV*	*63*	*25*	*20*	*6,3*	*5,0*	*2,9*	*19-26*	*28 d*	*13400*	*-*	*65100*	*32*	*5*	*3*	*a,h*	*[13]*
	VV	92	4	5	8,5	0,86	0,5	19-26	28 d	2200	-	18000	51	8	2	h	
	VV	54	16	33	6,9	1,9	1,1	19-26	28 d	6,8	-	65.0	64	10	2	n	

a: Concentratie PFOS hoger dan >1% acute LC50 (4330 ng/g ds) en chronische NOEC (9900 ng/g ds). Dit kan bioaccumulatie beïnvloeden.
b: Brandweer trainingscentrum; bemonstering op verschillende afstanden van het trainingsplatform

c: Voor wormen bemonsterd uit het veld aangenomen dat ze leven op een diepte van 0-10 cm. Indien diepte bemonsterde bodem niet gerapporteerd werd, is aangenomen dat die overeenkomt met diepte van andere monsters van dezelfde locatie (~0-5cm).
d: PFOS precursors (PFOSA; FOSA; FOSE) in lage concentraties gemeten in de bodem.
e: PFOS concentraties in bodem niet gemeten.
f: Landbouwgrond.
g: Landbouwgrond met tarwe.
h: Veldgrond van (voormalig) vliegveld waar PFOS werd gebruikt.
i: Adulte en juveniele wormen gebruikt.
j: Grond van industriële locatie.
k: Grond uit woongebied.
l: Landbouwgrond met biosolids.
m: Grond met biosolids afkomstig van afval, compost en rwzi
n: Grond van schone vliegveldlocatie.



Figuur B4-1: Bioaccumulatie van PFOS in regenwormen. De concentratie in de worm is rechtevenredig met de concentratie in bodem (richtingscoëfficiënt ~1) wat inhoudt dat de BAF niet afhankelijk is van de bodemconcentratie (gebaseerd op betrouwbare BAF waarden van Tabel B4-1).



Figuur B4-2: BAF voor PFOS in regenwormen als functie van organisch koolstof gehalte van de bodem. Er is geen significant verband tussen de BAF en het percentage organisch koolstof (gebaseerd op betrouwbare BAF waarden van Tabel B4-1).

RIVM
De zorg voor morgen begint vandaag