



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

## **Risicogrenzen voor het toepassen van PFAS-houdende grond en bagger voor akkerbouw en veeteelt**

RIVM Briefrapport 2019-0068  
A.M. Wintersen et al.





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

## **Risicogrenzen voor het toepassen van PFAS-houdende grond en bagger voor akkerbouw en veeteelt**

RIVM Briefrapport 2019-0068  
A.M. Wintersen et al.

## Colofon

© RIVM 2019

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-2019-0068

A.M. Wintersen (auteur), RIVM  
P.F.A.M. Römkens (auteur), WENR  
R.P.J.J. Rietra (auteur), WENR  
M.J. Zeilmaker (auteur), RIVM  
B.G.H. Bokkers (auteur), RIVM  
F.A. Swartjes (auteur), RIVM

Contact:

Arjen Wintersen

DMG

[arjen.wintersen@rivm.nl](mailto:arjen.wintersen@rivm.nl)

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Hoogheemraadschap van Rijnland.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

## Publiekssamenvatting

### **Risicogrenzen bodem voor het gebruik van PFAS-houdende grond en bagger voor akkerbouw en veeteelt**

PFOS en PFOA zijn chemische stoffen die van nature niet in het milieu voorkomen. Deze stoffen behoren tot de groep poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS) en zijn door mensen gemaakt. Deze stoffen zijn in veel producten toegepast. Daardoor, en door fabrieksemisies en incidenten, zijn PFAS in het milieu terechtgekomen en zitten nu onder andere in de bodem, in bagger en in het oppervlaktewater. Bagger komt vrij als watergangen worden onderhouden om bijvoorbeeld de bevaarbaarheid en de waterafvoer zeker te stellen. Deze bagger wordt vaak op het aangrenzend perceel gelegd. Op deze manier kunnen PFAS op agrarisch land terecht komen.

Het RIVM heeft de risicogrenzen bepaald voor PFAS in grond voor de landbouwvormen akkerbouw en veeteelt. Dit is gedaan omdat er (nog) geen landelijke normen bestaan voor PFAS in grond en bagger voor deze bodemfuncties. Een aantal decentrale overheden, waaronder de provincie Noord-Holland en de gemeente Haarlemmermeer, hebben daarom zelf lokale normen voor grond vastgesteld. Hiervoor zijn risicogrenzen gebruikt die het RIVM eerder heeft bepaald voor niet-agrarische bodemfuncties. In opdracht van het Hoogheemraadschap van Rijnland is onderzocht of deze risicogrenzen ook veilig genoeg zijn voor akkerbouw en veeteelt.

Op basis van wat nu bekend is liggen concentraties PFAS in bagger meestal onder de risicogrenzen voor grond als deze op akkerbouwland wordt gebruikt. De risicogrenzen voor veeteelt zijn strenger dan die voor akkerbouw. De verwachting is dat de bagger op de meeste plaatsen ook zal voldoen aan de risicogrenzen voor veeteelt.

Kernwoorden: PFAS, PFOS, PFOA, bodem, grond, bagger, landbouw, risicogrenzen



## Synopsis

### **Soil risk limits for the use of soil and dredging spoil containing PFAS for arable farming and livestock breeding**

Perfluorooctane sulphonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) are chemical substances that do not naturally occur in the environment. These substances belong to the poly and perfluoralkyl group (PFAS) and are man-made. As a result of emissions and incidents and due to the fact that these substances have been used in an wide range of products, PFAS have been released into the environment and are now present in soil, in the sediment and in surface water. This means that PFAS can be present in dredging spoil, the upper layer of sediment that is dredged out of rivers, ditches and canals to prevent them from clogging up. The dredging spoil is often dumped on the plot adjoining the river, ditch or canal in question.

RIVM has determined the risk limits for PFAS in soil for arable farming and livestock breeding, because there are, as yet, no national standards for PFAS in soil and dredging spoil. For this reason, a number of regional government bodies, including the province of Noord-Holland and the municipality of Haarlemmermeer, have themselves laid down local standards for soil. To this end, they used risk limits determined earlier by RIVM for non-agricultural soil functions. The water board Hoogheemraadschap van Rijnland commissioned this study to determine whether these risk limits are also safe enough for arable farming and livestock breeding.

Based on what we currently know, the concentrations of PFAS in dredging spoil are below the risk limits for soil if it is used on arable farming land. The risk limits for livestock breeding are stricter than those for arable farming, but the dredging spoil is expected to comply with the risk limits for livestock breeding in most places too.

Keywords: PFAS, PFOS, PFOA, soil, land, dredging spoil, agriculture, risk limits





## Inhoudsopgave

### **Samenvatting — 9**

#### **1 Inleiding — 11**

- 1.1 Over PFAS — 11
- 1.2 PFAS in bagger — 11
- 1.3 Vraagstelling — 12
- 1.4 Beleid nieuwe verontreinigingen en niet-genormeerde stoffen — 13
- 1.5 Aanpak en leeswijzer — 13

#### **2 Overdrachtsfactoren voor gewassen en dierlijke producten — 15**

- 2.1 Aanpak — 15
- 2.2 Overdracht naar landbouwgewassen (exclusief groenten en aardappels) en veevoer — 16
- 2.3 Overdracht naar vlees en melk — 18
- 2.4 Overdracht naar water — 20
- 2.5 Overdracht naar groenten en aardappels — 21

#### **3 Overige modelparameters en uitgangspunten — 23**

- 3.1 Stofparameters — 23
- 3.2 Toelichting bij gehanteerde gezondheidskundige grenswaarden voor inname — 23
- 3.3 Blootstellingsscenario en achtergrondblootstelling — 24
- 3.4 Overige parameters voor de berekening van risicogrenzen in grond voor landbouw — 25

#### **4 Resultaten: risicogrenzen in bodem voor landbouw — 27**

- 4.1 Achtergrond van de methode voor de berekening van risicogrenswaarden — 27
- 4.2 Uitwerking van de aanpak: consumptie — 28
- 4.3 Berekening risicogrenzen in bodem — 30
- 4.4 Berekende risicogrenzen voor akkerbouw en veeteelt — 31

#### **5 Risicogrenzen in bodem voor moestuinen — 33**

- 5.1 Aanpassingen aan model blootstellingsmodel CSOIL voor PFAS — 33
- 5.2 Blootstellingsscenario 'Wonen met moestuin' — 33
- 5.3 Resultaten risicogrenzen PFOS en PFOA voor moestuinen — 33

#### **6 Discussie — 35**

- 6.1 Betekenis risicogrenzen in relatie tot chemische kwaliteit bagger en grond bij toepassingen op of in agrarische landbodems — 35
- 6.2 Discussie naar aanleiding van berekening van de risicogrenswaarden voor landbouw — 35

#### **7 Literatuur — 39**

#### **Bijlage 1. Afleiding van bioconcentratiefactoren (BCF) voor PFAS in landbouwgewassen — 45**

#### **Bijlage 2. Afleiding van bioconcentratiefactoren voor PFOS in moestuingewassen — 56**

**Bijlage 3. CSOIL blootstellingsberekeningen voor PFAS in  
moestuinen — 72**

## Samenvatting

PFOS en PFOA zijn door mensen gemaakte chemische stoffen, die van nature niet in het milieu voorkomen. Deze stoffen behoren tot de groep poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS). Doordat deze stoffen in veel producten zijn toegepast en door incidenten en fabrieksemisies in het verleden konden PFAS in het milieu terechtkomen en worden daardoor onder andere aangetroffen in land- en waterbodems. Bij onderhoud van watergangen worden waterbodems als bagger op land gebracht, bijvoorbeeld bij het verspreiden op het aangrenzend perceel en in weilanddepots.

Er bestaat (nog) geen landelijke normering voor PFAS in grond en bagger. Een aantal decentrale overheden, waaronder de Provincie Noord-Holland en de gemeente Haarlemmermeer, heeft lokale normen voor grond vastgesteld. Deze normen zijn mede onderbouwd met risicogrenzen die zijn afgeleid door het RIVM. Deze risicogrenzen zijn afgeleid voor niet-agrarische bodemfuncties. De vraag die nu voorligt, is of deze risicogrenzen ook beschermend zijn voor de functie 'Landbouw' en daarmee voor de consumptie van landbouwproducten.

Om deze vraag te kunnen beantwoorden is kennis nodig over de overdracht van PFAS van bodem naar landbouwproducten, over blootstelling van mens en dier, en over de gezondheidsrisico's. Voor PFAS zijn geen productnormen of normen op basis van diergezondheid beschikbaar. Daarom is gekozen om langs twee sporen risicogrenzen in grond af te leiden die indicatief zijn voor de risico's voor landbouwproductie:

1. Risicogrenzen in grond voor landbouw op basis van de veilige consumptie van akkerbouwgewassen, vlees en melk;
2. Risicogrenzen voor de functie 'Wonen met moestuin'.

In het eerste spoor worden risicogrenzen in grond voor landbouw bepaald op basis van een schatting van de blootstelling door consumptie van landbouwproducten (plantaardig en dierlijk). De systematiek is vergelijkbaar met die van de afleiding van LAC-waarden (Römkens et al. 2006). Om het ontbreken van productnormen te ondervangen, is gekozen voor de berekening van kritische concentraties in producten op basis van gegevens over consumptiehoeveelheden en de gezondheidskundige grenswaarden voor inname.

Het tweede spoor is de afleiding van humane risicogrenzen in grond voor de functie 'Wonen met moestuin' conform de uitgangspunten van het Besluit bodemkwaliteit (NOBO, 2008). De risicogrenzen voor deze functie maken onderdeel uit van het huidige bodembeleid en zijn vanuit een risico-benadering de meest relevante waarden in het huidige beleid voor de toetsing van risico's voor landbouw.

Uit deze berekeningen volgt dat van de beschouwde landbouwproducten, vlees en melk de grootste bijdrage leveren aan de totale inname. Groenten en andere akkerbouwgewassen nemen ook PFAS op uit de bodem, maar dragen in mindere mate bij aan de totale

inname door de mens. De onderstaande tabel vat de in dit rapport afgeleide risicogrenzen samen.

Scenario	C <sub>kritisch</sub> PFOS [µg/kg]*	C <sub>kritisch</sub> PFOA [µg/kg]*
Akkerbouw	109	44
Veeteelt	7,6	15
Moestuinen	92	86

\* Toepassing van correctie naar standaardbodem wordt geadviseerd

De berekende risicogrenzen voor PFOS en PFOA voor akkerbouwgewassen en de risicogrenzen voor 'Wonen met moestuin' liggen hoger dan veelal aangetroffen concentraties in bagger op plaatsen waar geen bekende relatie is met een puntbron. De risicogrenzen voor veeteelt liggen eveneens hoger dan de concentraties die in bagger worden aangetroffen, maar het verschil is minder groot dan voor akkerbouw en moestuinen. Dit betekent dat er in de praktijk situaties kunnen zijn waarin de kwaliteit van diffuus belaste bagger niet voldoet aan de risicogrenzen voor veeteelt.

De in dit rapport berekende risicogrenzen kunnen gebruikt worden om te bepalen of PFAS-houdende bagger en grond na toepassing op agrarische landbodems kunnen leiden tot concentraties PFAS in landbouwproducten die leiden tot overschrijding van de gezondheidskundige grenswaarden voor inname. De methodiek van afleiding sluit aan bij de onderbouwing van de huidige normen voor hergebruik uit de Regeling bodemkwaliteit. Analoot aan deze normen geven de risicogrenzen uit dit rapport een indicatie van de *duurzame geschiktheid* van de bodem voor de betreffende functie. Een lokale overschrijding van de risicogrenzen betekent nog niet dat sprake is van onaanvaardbare risico's. Eventuele normen voor de vaststelling van ernstige bodemverontreinigingen, zogenaamde Interventiewaarden, zullen voor PFAS in een later stadium worden vastgesteld.

# 1 Inleiding

## 1.1 Over PFAS

Perfluorooctaansulfonaat (PFOS) en perfluorooctaanzuur (PFOA) zijn door mensen gemaakte chemische stoffen, die van nature niet in het milieu voorkomen. Deze stoffen behoren tot de groep poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS). PFAS is een verzamelnaam voor een grote groep van verbindingen, waarvan een deel in het milieu wordt aangetroffen. In dit rapport doelen we met de afkorting PFAS op de stoffen PFOS en PFOA.

PFAS worden gebruikt in producten om oppervlakten te beschermen, zoals bij de behandeling van tapijten en kleding, coatings voor kartonnen verpakkingen en anti-aanbaklagen. Ook zijn PFAS gebruikt in blusschuim vanwege hun brandwerende eigenschappen. PFAS kunnen in het milieu terecht komen bij de fabricage, het gebruik en vanuit afval van producten waarin ze verwerkt zijn.

Er is nog geen compleet beeld van de PFAS-concentraties in de Nederlandse bodem, bagger en het grondwater. Het volgende is wel bekend:

- PFAS worden gevonden in land- en waterbodems, bagger en het grondwater op plekken waarvan bekend is dat er in het verleden intensief met PFAS-houdende materialen is gewerkt. Bijvoorbeeld op brandweer-oefenplaatsen, waar blusschuim met PFAS is weggelekt naar de bodem.
- Ook op plekken waar geen sprake is van historische verontreinigingen, worden soms – meestal lage – concentraties PFAS aangetroffen. PFAS kunnen op deze plekken terecht zijn gekomen onder andere via de lucht of doordat PFAS-houdend slib op de bodem werd gebracht.
- PFAS kunnen zich binden aan de (water)bodem en zich verspreiden met de stroming van het grondwater.
- Omdat PFAS zich binden aan eiwitten in organismen, kunnen ze zich ook ophopen in planten en dieren.

Gezien de grote schaal waarop PFAS in het verleden zijn toegepast, moet er rekening mee gehouden worden dat de stoffen in de toekomst op meer plekken worden aangetroffen.

## 1.2 PFAS in bagger

De aanwezigheid van PFAS in bagger wordt verklaard door incidenten met bijvoorbeeld blusschuim enerzijds en een belasting uit diffuse bronnen (via lucht en oppervlaktewater) anderzijds. Het Hoogheemraadschap van Rijnland (Hoogheemraadschap van Rijnland, 2018) heeft een selectie van metingen naar PFOS en PFOA in bagger in het beheergebied samengevat in Tabel 1.1. Dit geeft een globaal beeld van wat er in de praktijk wordt aangetroffen, en kan gebruikt worden voor vergelijking met de berekende risicowaarden. Van dit overzicht zijn watergangen die zich direct in het peilvak (ruimtelijke eenheid in peilbeheer) van het blusschuimincident bij Schiphol bevonden en PFOS-

verdachte watergangen buiten het peilvak uitgesloten. Wat overblijft zijn watergangen die zeer waarschijnlijk niet door het incident zijn beïnvloed. Andere bronnen kunnen weliswaar niet worden uitgesloten, maar die zijn niet uniek voor het gebied. De baggerkwaliteit op deze plekken kan daarmee als representatief worden beschouwd voor die in grotere delen van Nederland.

Aan de verdelingen in Tabel 1.1 is te zien dat PFOS in veel watergangen wordt aangetroffen. PFOA wordt in 23 % van de onderzochte watergangen aangetroffen in concentraties lager dan PFOS.

Tabel 1.1. Concentraties van PFOS gemeten in bagger in het beheergebied van Rijnland (Hoogheemraadschap van Rijnland, 2018)

<b>PFOS</b>	
Aantal metingen	n=393
Range meetwaarden	'<' – 398 µg/kg <sub>ds</sub>
Gemiddeld concentratie	2,4 µg/kg <sub>ds</sub>
Aandeel < 0,1*	18%
Aandeel ≤ 1,0	64%
Aandeel ≤ 3,2	89%
Aandeel ≤ 5,0	95%
Aandeel ≤ 8,0	98%
Aandeel > 8,0	2%**
<b>PFOA</b>	
Aantal metingen	n=388
Range meetwaarden	'<' - 4,5 µg/kg <sub>ds</sub>
Gemiddeld concentratie	0,21 µg/kg <sub>ds</sub>
Aandeel < 0,1*	77%
Aandeel ≤ 1,0	98%
Aandeel ≤ 7,0	100%
Aandeel ≤ 89	-
Aandeel ≤ 674	-
Aandeel > 674	0%

\* Lager dan de rapportagegrens van 0,1 µg/kg<sub>ds</sub>

\*\* De hoogste gehalten konden verklaard worden door aanwezigheid van een puntbron

### 1.3 Vraagstelling

De bevindingen van het Hoogheemraadschap van Rijnland (zie vorige paragraaf) onderschrijven het beeld dat deze stoffen wijdverspreid in lage gehalten in het milieu voorkomen (bijvoorbeeld Renner, 2001 & 2003, Rijkswaterstaat 2014, Kärrman et al. 2019).

Het RIVM heeft diverse risicogrenzen afgeleid voor het toepassen van met PFOS en PFOA verontreinigde grond en bagger, onder andere op basis van humane risico's (onder andere Wintersen et al. 2011 en Lijzen et al. 2018).

De vraag die nu voorligt, is om eveneens risicogrenzen voor grond af te leiden voor het bodemgebruik 'Landbouw'. Deze risicogrenzen kunnen gebruikt worden om te toetsen of het verspreiden van bagger over aangrenzend perceel of weilanddepots tot onaanvaardbare risico's leidt.

#### 1.4 **Beleid nieuwe verontreinigingen en niet-genormeerde stoffen**

Nieuwe verontreinigingen in grond en grondwater dienen op grond van Artikel 13 van de Wet bodembeheer voor zover redelijkerwijze mogelijk weggenomen te worden. Voor diffuse verontreinigingen is dit gezien de grote verspreiding niet altijd mogelijk en kunnen decentrale overheden een aanpak op basis van maatwerk vereisen. Dit rapport gaat niet nader in op de grondslagen van het beleid voor het omgaan met nieuwe verontreinigingen en niet-genormeerde stoffen. Om de vraagstelling te beantwoorden wordt een risicobenadering gevolgd voor de functie 'Landbouw'.

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft het RIVM opdracht gegeven om voor PFOS en PFOA robuuste risicogrenzen af te leiden die geschikt zijn voor de onderbouwing van beleid voor het toepassen van grond in en op de landbodem. De uitkomsten hiervan worden vanaf 2020 verwacht. Hierbij zullen meer aspecten van PFAS worden beschouwd dan in deze rapportage het geval is. Vooral het risico van uitloging na toepassen van PFAS-houdende grond en bagger op landbodems is nu nog niet te kwantificeren. Om dit risico te kunnen duiden, wordt de komende tijd onderzoek verricht. Om tot die tijd verslechtering van de bodem- en grondwaterkwaliteit zoveel mogelijk tegen te gaan wordt geadviseerd om geen grond en bagger toe te passen die van een slechtere kwaliteit is dan de gebiedskwaliteit.

#### 1.5 **Aanpak en leeswijzer**

Om de vraag (Paragraaf 1.3) te kunnen beantwoorden is kennis nodig over de overdracht van PFAS van bodem naar landbouwproducten, blootstelling van de mens en de gezondheidsrisico's. Voor PFAS zijn geen productnormen voor voedselgewassen of normen op basis van diergezondheid beschikbaar. Daarom is gekozen om langs twee sporen risicogrenzen in grond af te leiden die indicatief zijn voor de risico's voor landbouwproductie:

1. Risicogrenzen in grond voor landbouw op basis van de veilige consumptie van akkerbouwgewassen, vlees en melk;
2. Risicogrenzen voor de functie 'Wonen met moestuin'.

In het eerste spoor worden risicogrenzen in grond voor landbouw bepaald op basis van een schatting van de blootstelling door consumptie van landbouwproducten (plantaardig en dierlijk). De systematiek is vergelijkbaar met die van de afleiding van LAC-waarden (Römken et al. 2006). Om het ontbreken van productnormen te ondervangen, is gekozen voor de berekening van kritische concentraties in producten op basis van gegevens over consumptiehoeveelheden en de Gezondheidskundige Grenswaarden voor inname.

Het tweede spoor is de afleiding van humane risicogrenzen in grond voor de functie 'Wonen met moestuin' conform de uitgangspunten van het Besluit bodemkwaliteit (NOBO, 2008). De risicogrenzen voor deze functie maken onderdeel uit van het huidige bodembeleid en zijn vanuit een risico-benadering de meest relevante waarden in het huidige beleid voor de toetsing van risico's voor landbouw. Door deze waarden voor PFAS af te leiden ontstaat bovendien de mogelijkheid om de verkregen waarden uit het eerste spoor te toetsen op plausibiliteit. De risicogrenzen voor akkerbouw uit het eerste spoor kunnen beschouwd

worden als een uitbreiding op het blootstellingsscenario 'Wonen met moestuin'.

Een belangrijk onderdeel van dit rapport bestaat uit de vaststelling van overdrachtsfactoren van bodem naar landbouwproducten. In Hoofdstuk 2 worden de resultaten besproken van de bepaling van overdrachtsfactoren voor de modellering van de opname van PFAS door gewassen en de overdracht naar vlees en melk. In hoofdstuk 3 worden aanvullende modelparameters en uitgangspunten besproken voor de berekeningen in beide sporen. Hoofdstuk 4 beschrijft de totstandkoming van risicogrenzen in grond voor landbouw (spoor 1) en in Hoofdstuk 5 worden de risicogrenzen voor 'Wonen met moestuin' toegelicht. Ten slotte worden in Hoofdstuk 6 de resultaten bediscussieerd, inclusief een duiding van de gevonden risicogrenzen in relatie tot de in bagger aanwezige concentraties PFAS.

De genoemde gehalten in dit rapport gelden voor zogenaamde technisch mengsels, die voor 70 tot 80 % uit lineair PFOS of PFOA bestaan en voor het overige deel uit vertakte isomeren (Van Hees, 2019). Er zijn in Nederland nog geen gestandaardiseerde bemonsterings- en analysemethoden beschikbaar voor PFAS. Indien waarden uit dit rapport vergeleken worden met veldwaarnemingen dient men hier rekening mee te houden.



## 2 Overdrachtsfactoren voor gewassen en dierlijke producten

### 2.1 Aanpak

De overdracht van bodem naar consumptie- en veevoedergewassen wordt berekend met bioconcentratiefactoren (BCF). Een BCF is de concentratie van een stof in gewassen gedeeld door de concentratie van die stof in de bodem. De BCF's worden afgeleid op basis van relevante studies waarin zowel concentraties van PFAS in bodem als in gewassen zijn gepubliceerd. Voor de opname van PFOA door moestuingewassen is gebruik gemaakt van de recente afleiding van BCF's in Lijzen et al. (2018). De overige BCF's voor PFOA en die voor PFOS zijn bepaald op basis van een literatuurstudie.

Voor vrijwel alle stoffen die door planten uit de bodem opgenomen worden geldt dat de opname via de waterfase (bodemvocht) loopt. Een aantal laboratoriumstudies met gewassen in watercultures laat zien dat PFOS- en PFOA-opname door gewassen inderdaad afhankelijk is van concentratie in oplossing (Felizeter et al. 2012). Verschillen tussen gewassen zijn deels ook verklaarbaar door het eiwitconcentratie in de wortels van gewassen (Wen et al. 2016).

Voor zowel PFOS als PFOA en de meeste gewassen ontbreken dergelijke studies en hanteert men de BioConcentratie Factor (BCF), ook wel transfer factor (TF) genoemd, die de verhouding weergeeft tussen de concentratie in de plant en dat in de bodem volgens:

$$BCF = PFAS_{plant}/PFAS_{grond}$$

Waarbij:

$PFAS_{plant}$  = PFOA- of PFOS-concentratie in de plant

$PFAS_{grond}$  = PFOA- of PFOS-concentratie in grond

De BCF's voor landbouwgewassen en moestuingewassen zijn in deze rapportage voor groenten en aardappels op dezelfde wijze afgeleid. Geaggregeerde BCF's komen tot stand door BCF's per gewas(groep) gewogen te middelen op basis van consumptiegegevens voor individuele gewassen. Voor toepassing in het blootstellingsmodel CSOIL 2000 (hierna CSOIL) is deze methodiek al sinds geruime tijd in gebruik (Brand et al. 2007). Door deze methode nu ook toe te passen op de berekening van de overdracht naar de categorieën akkerbouwgewassen, groenten en aardappels heeft als voordelen:

- Aansluiting bij een bestaande methodiek, zodat compatibiliteit gewaarborgd is;
- De risicogrenzen voor akkerbouw is minder afhankelijk van de specifieke gewassen waarvoor overdrachtsfactoren beschikbaar zijn. De methodiek voorziet namelijk in een normalisatie op basis van de totale consumptie van groenten en aardappels.

Naast groenten en aardappels zijn de risicogrenzen voor landbouw gebaseerd op de overdracht naar granen en veevoedergewassen. Voor deze onderdelen is geen gelijkenschakeling met de blootstellingsberekeningen voor moestuinen aan de orde en worden

apart overdrachtsfactoren berekend. Voor de overdracht naar vlees is op vergelijkbare wijze als voor de moestuingewassen een gewogen-gemiddelde overdracht berekend op basis van consumptiegegevens.

De afleiding van BCF's voor landbouw- en moestuingewassen is opgenomen in Bijlagen 1 en 2. Hierna worden de resultaten en enkele bijzonderheden van de afleidingen besproken.

## 2.2 Overdracht naar landbouwgewassen (exclusief groenten en aardappels) en veevoer

Op basis van de in Bijlage 1 besproken literatuur worden voor landbouwgewassen de BCF-waarden in Tabellen 2.1 en 2.2 afgeleid. In deze paragraaf worden de BCF's in relatie tot de onderliggende data nader beschouwd en worden op basis hiervan voor tarwe nog enkele aanpassingen gedaan. Voor groenten en aardappels overlappen de BCF's met die gevonden ten behoeve van de bepaling van de blootstelling uit moestuingewassen. Zoals beargumenteerd in 2.1 worden deze geaggregeerde BCF's in beide methoden toegepast.

Tabel 2.1. Voorgestelde BCF waarden voor PFOS (op basis van droge stofgehalten gewas en bodem) te gebruiken voor berekening van risicogrenzen in grond.

PFOS	Gemiddelde BCF *	Gemiddelde BCF **	referenties
Tarwe	2,332	0,18	(IME 2009; Liu et al. 2017; Stahl et al. 2009; Stahl et al. 2013; Wen et al. 2014)
Maissilage	0,065 (0,055)	0,061	(Stahl et al. 2009, IME 2009)
Gras	0,587 (0,244)	0,591	Brignole cited in Beach et al (2006)(IME 2009; Stahl et al. 2009; Yoo et al. 2011)

\*gemiddelde van alle individuele data per bodem-gewascombinatie. Tussen haakjes het geometrisch gemiddelde, \*\*gemiddelde van de verschillende studies ongeacht aantal waarnemingen per studie

In Tabel 2.1 en 2.2 staan zowel de BCF waarden gebaseerd op alle metingen van alle studies ('Gemiddelde alle waarnemingen'; linkerkolom in Tabel 2.1 en 2.2) als die op basis van de gemiddelden per studie ('Gemiddelde BCF van experimenten'; rechts in Tabel 2.1 en 2.2). In het laatste geval is geen rekening gehouden met het feit dat het aantal waarnemingen per studie sterk verschilt. Een meting van de BCF in een studie met n=2 krijgt in dat geval een zwaarder gewicht dan een meting in een studie met 40 waarnemingen ongeacht of de meting plausibel is of eerder een extreme waarde. Vanwege de grote mate van spreiding binnen en tussen studies en de log-normaal verdeelde data (zie Bijlage 1), is ervoor gekozen om de BCF daarom te berekenen als het geometrisch gemiddelde van alle individuele waarnemingen.

Tabel 2.2. Voorgestelde BCF-waarden voor PFOA (op basis van droge stofgehalten gewas en bodem) te gebruiken voor berekening van risicogrenzen in grond.

PFOA	Gemiddelde BCF *	Gemiddelde BCF**	referenties
Tarwe	0,115	0,088	(IME 2009; Liu et al. 2017; Stahl et al. 2009; Stahl et al. 2013; Wen et al. 2014)
Maissilage	0,125 <b>(0,0884)</b>	0,091	(Stahl et al. 2009, IME 2009)
Gras	0,662 <b>(0,3936)</b>	0,749	(IME 2009; Stahl et al. 2009; Yoo et al. 2011; Zhu and Kannan 2019)

\*gemiddelde van alle individuele data per bodem-gewascombinatie. Tussen haakjes het geometrisch gemiddelde, \*\*gemiddelde van de verschillende studies ongeacht aantal waarnemingen per studie

De BCF voor granen lijken sterk bepaald te worden door één studie. Tabel 2.3 toont de berekende BCF-waarden voor tarwe op basis van alle data, en de BCF-waarden waarvoor de data van Liu et al (2017) niet zijn gebruikt. Voor PFOA blijkt dan dat de data van Liu et al (2017) in dezelfde range liggen als de andere beschikbare data en dat bovendien de data redelijk normaal verdeeld zijn. De mediaan is in veel gevallen vergelijkbaar met de gemiddelde waarde, ofschoon in alle gevallen de hoge uitschieters bijdragen aan een iets hoger gemiddelde in vergelijking met de mediaan.

Voor PFOS is dit beeld echter heel anders, de data van Liu et al (2017) leiden voor tarwe tot een gemiddelde BCF van 2.33, terwijl de data uit de overige literatuur in een gemiddelde BCF van 0,025 resulteert. Dat geldt ook voor alle graan-data, wat op zich niet zo vreemd is want de extra data (voor granen niet zijnde tarwe) zijn gering in aantal (6 op een totaal van 42). Voor PFOS blijkt bovendien de verdeling van de BCF's extreem scheef waardoor de mediaan veel lager is dan het gemiddelde. Dit geldt voor tarwe en voor de overige granen. Ook zonder de data van Liu et al (2017) zijn de verdelingen van de BCF's voor PFOS scheef en wijkt de mediaan van de BCF een factor 4 (alle granen) tot een factor 10 (tarwe) af van de gemiddelde BCF.

Op basis van deze verschillen voor PFOS, die niet verklaarbaar zijn, en de eerder gerapporteerde lage inname van PFOS door tarwe, kiezen we hier voor het gebruik van de geometrisch gemiddelde waarde van de BCF voor zowel PFOS en PFOA. Hierbij wordt tevens de BCF gebaseerd op alle granen beschouwd: BCF voor PFOS = 0,0037; BCF voor PFOA = 0,0630). Deze laatste keuze is gemaakt, omdat bij de berekening van de blootstelling aangenomen wordt dat mensen niet alleen tarwe eten maar voor een kleiner deel ook gerst en rogge.

Tabel 2.3. Overzicht van de BCF-waarden voor enerzijds tarwe en anderzijds de gecombineerde dataset voor alle granen (tarwe, gerst en rogge) op basis van droge stof; **dikgedrukt** de gebruikte BCF op basis van het geometrisch gemiddelde van individuele waarnemingen

Tarwe	PFOS		n	PFOA		n
	gem.	Mediaan		gem.	Mediaan	
<b>Alle data</b>	2,332	0,495	36	0,115	0,080	58
<b>Alle data excl. Liu</b>	0,025	0,002	11	0,088	0,075	14
Alle granen	PFOS		N	PFOA		n
	gem.	Mediaan		gem.	Mediaan	
<b>Alle data</b>	2,000	0,364	42	0,107 <b>(0,0630)</b>	0,076	65
<b>Alle data excl. Liu</b>	0,018 <b>(0,0037)</b>	0,004	17	0,072	0,048	21

Overdracht van PFOS en PFOA naar gras en maïssilage gebruikt als veevoer

Anders dan voor de consumptiegewassen is voor gras dat wordt gebruikt als veevoer voor koe een bodem-plant model gebruikt, waarin de PFAS-concentratie afhankelijk is van het organisch stofconcentratie in de bodem, volgens Yoo et al. (2011):

$$\text{PFOS}_{\text{gras (ds)}} = 0.006 * \text{SOM} * \text{PFOS}_{\text{bodem}}$$

$$\text{PFOA}_{\text{gras (ds)}} = 0.025 * \text{SOM} * \text{PFOA}_{\text{bodem}}$$

Waarbij SOM de organische stofconcentratie in de bodem is (uitgedrukt als fractie, waarbij organische stof 1,7 maal de organisch koolstofconcentratie verondersteld is). De concentratie aan PFOS en PFOA in bodem en gewas is uitgedrukt in  $\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{ds}}$ .

Voor maïssilage is deze functie niet beschikbaar en gebruiken we de BCF-waarden uit Tabel 2.1 en 2.2.

### 2.3 Overdracht naar vlees en melk

In deze studie nemen we de inname via vlees (rund- en varkensvlees) evenals melk (inclusief zuivelproducten) mee. Voor deze drie producten zijn in de literatuur overdrachtscoëfficiënten gepresenteerd die hier toegepast worden.

Voor de berekening van PFAS-concentraties in koemelk en rundvlees zijn data gebruikt van Kowalczyk et al. (2012, 2013) en Vestergren et al. (2013) die de overdracht van PFOS en PFOA naar koe en schaaap (hier verder niet gebruikt) relateren aan de totale dagelijkse inname van PFOS of PFOA. Gebaseerd op experimentele data berekenen zij overdrachtscoëfficiënten bij evenwicht die de PFAS-concentraties in melk en vlees relateren aan de gemiddelde dagelijkse inname van PFAS van koeien (en schapen). De toegepaste transferfactoren zijn weergegeven in Tabel 3.5. Voor de afleiding van risicogrenzen in dit rapport is gekozen voor de transferfactoren voor koe uit Vestergren et al. (2013). De reden hiervoor is dat de ordegröte van de toegediende concentraties in deze studies overeenkomt met die van de berekende risicogrenzen. De

waarden uit Kowalczyk et al. (2012, 2013) zijn gebaseerd op onderzoek waarbij aanzienlijk hogere concentraties PFAS werden toegediend.

De dagelijkse PFAS-inname bestaat uit de som van de inname van PFOS en PFOA via water, voer (gras en mais) en mogelijk aanhangende grond. Per kilo inname van voer wordt uitgegaan van 2% tot maximaal 5% bijvraat van aanhangende grond (Römkens et al. 2007).

Gebruikmakend van de gemiddelde consumptiepatronen voor koeien en varkens wat betreft de hoeveelheid voer en de inname van water volgt daaruit dan een totale gemiddelde dagelijkse PFAS-inname:

### **Dagelijkse inname = inname voer + inname water + inname grond**

De inname van PFOS en PFOA via voer is daarbij weer gelijk aan de concentratie in het voer vermenigvuldigd met de hoeveelheid voer, voor water de hoeveelheid drinkwater vermenigvuldigd met de concentratie daarin en voor grond de hoeveelheid grond vermenigvuldigd met de concentratie. Daarbij geldt dat de concentratie in voer en water ook weer te herleiden is tot een concentratie in grond, op basis van de hetzij de transferfactor tussen gras en grond, ofwel de Kd voor bodem en water.

Voor varkens gebruiken we de relatie tussen gemeten inname uit voer en de resulterende concentraties in vlees uit Numata et al. (2014):

$$PFAS_{\text{vlees}} = TF_{\text{vlees-innamevoer}} * PFAS_{\text{voer}}$$

Daarbij is hier de vereenvoudigde aanname gemaakt dat het voer van varkens uit maïssilage bestaat waarvoor de concentratie berekend wordt uit de gegeven BCF voor de overdracht van PFOS en PFOA uit bodem naar maïssilage.

In deze berekeningen is de veronderstelling dat de inname van PFOS en PFOA uit andere bronnen verwaarloosbaar is. Voor zowel runderen als varkens geldt dat het grootste deel van het voer dat niet bestaat uit maïssilage of gras geïmporteerd wordt van buiten het bedrijf, deels ook uit het buitenland. Hierdoor bestaat er geen relatie met de concentratie aan PFOS of PFOA in de grond en die in de geïmporteerde producten. Uiteindelijk herleiden we deze berekende concentraties in vlees weer naar een TF-getal dat de relatie tussen de concentratie in een product en de bodem weergeeft volgens:

$$TF_{\text{vlees-bodem}} = PFOS_{\text{vlees}} / PFOS_{\text{bodem}}$$

Daarmee is de totale inname door koeien en de daaruit volgende concentraties in melk en vlees te koppelen aan de concentratie in de bodem. Uit de analyse van de data blijkt dat wanneer de uiteindelijk berekende concentraties in vlees en melk gebruikt worden om de overdrachtsfactor tussen bodem en melk en/of vlees te herleiden, deze onafhankelijk is van de gebruikte bodemconcentratie. Wel is deze overdrachtsfactor afhankelijk van de aannames m.b.t. de hoeveelheden water, voer en/of grond die een dier inneemt, want daardoor stijgt de inname onafhankelijk van de bodemconcentratie waardoor uiteindelijk de ratio tussen concentratie in product en die in bodem ook varieert.

In verband met de clustering van categorieën voedselproducten is op basis van de transferfactoren voor varkens- en rundvlees een gewogen gemiddelde transferfactor voor al het vlees in het cluster "vlees totaal" berekend volgens:

$$TF_{\text{vlees-totaal}} = TF_{\text{varkensvlees}} * \left[ \frac{Inname_{\text{varkensvlees}}}{Inname_{\text{varkens+rundvlees}}} \right] + TF_{\text{rundvlees}} * \left[ \frac{Inname_{\text{rundvlees}}}{Inname_{\text{varkens+rundvlees}}} \right]$$

## 2.4 Overdracht naar water

Om de bijdrage aan PFAS-inname voor vee uit water te berekenen wordt een overdrachtsfactor op basis van de  $K_{oc}$  toegepast. Eenmaal in de bodem worden PFOS en PFOA aan de vaste bodemdelen gebonden. De sorptie aan de bodem kan meestal beschreven worden met lineaire relaties tussen PFAS in oplossing (poriewater) en geadsorbeerd aan de bodem, al dan niet na log transformatie. De mate van sorptie aan bodem is in een aantal studies gerelateerd aan de organische stofconcentratie, waarbij zowel PFOA als PFOS sterker binden aan de bodem naarmate er meer organische stof in de bodem aanwezig is. Daarbij zijn vooral de studies van Zareitalabad et al. (2013) en Milinovic (2015) relevant, omdat in deze studie relaties tussen organisch koolstof in de bodem en de  $K_d$  (verhouding PFOS of PFOA tussen bodem en water) gepresenteerd worden waarbij de  $K_d$  (zowel voor PFOS als PFOA) goed te voorspellen is op basis van de organische koolstoffractie ( $f_{oc}$ ) en de gemeten binding van PFOS of PFOA aan bodem organisch koolstof ( $KOC$ ):

$$K_d: \quad [Concentratiebodem] / [PFOSwater]$$

Met:

$$K_d : \quad f_{oc} * K_{oc}$$

Naast organische stof kunnen PFAS ook gebonden worden ook oxiden en kleimineralen in de bodem (Higgins and Luthy 2006), waardoor ook factoren als pH en zoutconcentraties invloed hebben op de binding (Campos Pereira et al. 2018). In landbouwbodems met relatief hoge organische stofconcentraties in de bovengrond is organische stof het meest relevant (Higgins and Luthy 2006). Een aantal studies laat zien dat reversibiliteit niet compleet is, waardoor partiticoëfficiënten na desorptie verschillen van partitie-coëfficiënten die bepaald worden na adsorptie (Enevoldsen and Juhler 2010; Milinovic et al. 2015). Omdat echter in veel gevallen informatie over met name zoutsterkte niet bekend is en de invloed van pH en mineralogie veel minder relevant is dan die van organische stof, kiezen we hier voor de beschrijving van het evenwicht tussen bodem en water op basis van de  $K_d$ .

Uit de literatuur (Zareitalabad et al. 2013) blijkt dat de hoogte van de modelparameters ( $K_d$ ,  $K_{oc}$ ) ook varieert al naar gelang veldmetingen danwel data van experimentele laboratoriumstudies worden gebruikt. Zo verschilt de log  $K_{oc}$  voor PFOS van 2,8 (laboratoriumdata) tot 4,0 (velddata) en die voor PFOA van 2,1 (laboratorium) tot 3,7 (veldmetingen). De  $K_{oc}$ -waarden zijn dus beduidend hoger in het veld, zodat laboratoriumproeven een onderschatting van de werkelijke binding aan de bodem geven. Dergelijke verschillen resulteren bij een zelfde concentratie in de bodem tot een substantieel verschil in de

voorspelde concentratie in water. Het gebruik van de laboratorium gebaseerde  $K_{OC}$ -waarden levert een concentratie op die 25 keer zo hoog is als die berekend met een veld- $K_d$ . Gebruik van een  $K_{OC}$  gebaseerd op laboratoriumdata leidt in veel gevallen tot hoge voorspelde concentraties van PFOS en PFOA die onder veldomstandigheden niet aangetroffen worden.

Bij de standaardberekening (zie hoofdstuk 6) voor de berekening van de kritische concentraties in de bodem gebruiken we in eerste instantie de  $K_{OC}$  gebaseerd op veldmetingen.

## 2.5 Overdracht naar groenten en aardappels

In Bijlage 2 worden representatieve BioConcentratieFactoren (BCF's) voor PFOS afgeleid. Er is een verschil gemaakt tussen een representatieve BCF voor aardappel en voor 'overige groenten'.

Standaard wordt in CSOIL voor organische stoffen een BCF berekend op basis van de  $K_{ow}$  (partiticoëfficiënt octanol-water). Het resultaat is een concentratie in groente gedeeld door een concentratie in het poriewater. Voor PFOS is echter geen betrouwbare  $K_{ow}$  beschikbaar. Bovendien is de berekening van het PFOS-concentratie in poriewater lastig voor dergelijke surfactanten (Moermond, et al. 2010). De bepaling van de BCF voor PFOS vindt daarom empirisch plaats, op basis van gemeten PFOS-concentraties in groenten en bodem, verkregen via literatuuronderzoek. Als gevolg wordt de BCF anders dan voor andere organische stoffen in CSOIL uitgedrukt ten opzichte van de PFOS-concentratie in de bodem en niet ten opzichte van de PFOS-concentratie in poriewater. Er wordt geen aandacht besteed aan processen als biobeschikbaarheid in de bodem, opname in de plantenwortel en transport binnen de plant. Dat is immers niet nodig als gebruik gemaakt wordt van empirische data, waarin de invloed van de genoemde processen verdisconteerd is.

De representatieve BCF voor PFOS voor aardappel bedraagt  $0,0010 (\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{VG}}) / (\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{DG}})$ . De representatieve BCF voor PFOS voor 'overige groenten' is  $0,017 (\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{VG}}) / (\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{DG}})$ . Hierbij is uitgegaan van het geometrisch gemiddelde van de BCF's van de gewasgroepen als meest geschikte waarde.

De afleiding van BCF's voor PFOA is beschreven in Lijzen et al. (2018). De representatieve BCF voor PFOA voor aardappel bedraagt  $0,012 (\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{VG}}) / (\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{DG}})$ . De representatieve BCF voor PFOA voor 'overige groenten' is  $0,035 (\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{VG}}) / (\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{DG}})$ .

<sup>1</sup> Vg staat voor 'versgewicht, dg voor 'drooggewicht'





### 3 Overige modelparameters en uitgangspunten

#### 3.1 Stofparameters

Tabel 3.1 geeft een overzicht van enkele algemene stofgegevens en de gebruikte stofparameters. De waarden zijn afkomstig uit Moermond et al. (2010) (PFOS) en Lijzen et al. (2018). Indien van toepassing zijn de waarden omgerekend naar een temperatuur van 10°C. De fysisch chemische parameters uit tabel 3.1 vormen samen met de BCF's uit Hoofdstuk 2 de basis voor de blootstellingsberekeningen met het model CSOIL (Hoofdstuk 5).

Tabel 3.1. Stofparameters PFOS (Moermond et al., 2010) en PFOA (Lijzen et al., 2018)

Parameter	Eenheid	Waarde	
		PFOS	PFOA
<b>Stof</b>			
<b>CAS nummer<sup>a</sup></b>		1763-23-1	335-67-1
<b>Molmassa</b>	g/mol	500	424,07
<b>Oplosbaarheid in water</b>	mg/l	276	$7,09 \times 10^{-3}$
<b>Dampspanning</b>	Pa	$1,72 \times 10^{-4}$	26,76
<b>LogKow</b>		4.49 (geschat)	4,81 (geschat)
<b>LogKoc</b>		2,57	2,06
<b>pKa</b>		-3,27	2,8
<b>Dpe<sup>b</sup></b>	m <sup>2</sup> /dag	$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-7}$
<b>Gezondheidskundige grenswaarde voor inname</b>	mg/kg lg/dag	$6,25 \times 10^{-6}$	$1,25 \times 10^{-5}$

<sup>a</sup> voor lineair PFOS en PFOA

<sup>b</sup> permeatiecoëfficiënt drinkwaterleidingen

#### 3.2 Toelichting bij gehanteerde gezondheidskundige grenswaarden voor inname

De gezondheidskundige grenswaarden voor inname uit tabel 3.1 vormen het startpunt voor de berekening van de risicogrenzen in bodem. Deze waarden geven aan welke blootstelling, uitgedrukt in µg/kg lichaamsgewicht/dag, bij levenslange blootstelling veilig wordt geacht voor mensen. Eind 2018 is door de Europese Autoriteit voor voedselveiligheid (EFSA) een voorlopige opinie over PFOS en PFOA uitgebracht. RIVM en enkele andere Europese wetenschappelijke instituten hebben inhoudelijke bezwaren kenbaar gemaakt tegen de evaluatie door EFSA.

Voor de afleiding van risicogrenzen in bodem in dit rapport is daarom besloten om gebruik te maken van de gezondheidskundige grenswaarde (Engels: 'Health Based Guidance Value') voor PFOA uit Zeilmaker et al. (2016) en een gezondheidskundige grenswaarde gebaseerd op de Relative Potency Factor (RPF) voor PFOS uit Zeilmaker et al. (2018). In Zeilmaker et al. 2018 wordt gesteld dat PFOS twee maal potenter is dan PFOA. Vandaar dat voor de berekening van de risicogrenzen in bodem gekozen is om voor PFOS een gezondheidskundige grenswaarde te gebruiken op basis van de waarde voor PFOA gedeeld door twee.

Tabel 3.2. Gezondheidskunde grenswaarden voor inname

Stof	Gezondheidskundige grenswaarde in $\mu\text{g}/\text{kg}$ lichaamsgewicht per dag	Referentie
PFOS:	0,00625	Zeilmaker et al. 2018
PFOA:	0,0125	Zeilmaker et al. 2016

### 3.3 Blootstellingsscenario en achtergrondblootstelling

Met deze methodiek worden kritische concentraties in landbouwgrond berekend die, wanneer zij worden bereikt, leiden tot een blootstelling via landbouwproducten die gelijk is aan de gezondheidskundige grenswaarde. Hierbij worden de scenario's akkerbouw en veeteelt onderscheiden.

Tabel 3.3. Scenario's waarvoor risicogrenzen in grond worden afgeleid en bijbehorende productclusters en achtergrondblootstellingen op basis van Noorlander et al. (2011)

Scenario	Clusters voedingsproducten (tabel2)	Achtergrondblootstelling [mg/kg lg/d]	
		PFOS	PFOA
Veeteelt	Melk (ook uit zuivelproducten), vlees totaal	$1,59 \times 10^{-7}$	$2,37 \times 10^{-7}$
Akkerbouw	Aardappels, groenten, tarwe	$3,18 \times 10^{-7}$	$1,63 \times 10^{-7}$

Naast de (orale) blootstelling uit de beschouwde producten, vindt ook blootstelling plaats uit andere voedingsproducten, zoals drinkwater. Om hiermee rekening te houden is gebruik gemaakt van de gegevens over inname uit Noorlander et al. (2011). Tabel 3.4 toont op basis van welke productsoorten de achtergrondblootstellingen uit tabel 3.3 tot stand zijn gekomen:

Tabel 3.4. Bijdragen van product(categorië)en aan de achtergrondblootstelling van PFOS en PFOA

Scenario	Inname [pg/kg lg/d]	
	PFOS	PFOA
Baseline		
Vette vis	3,1	0,4
Magere vis	29,5	2,2
Schaaldieren	8,5	0,7
Eieren	7,7	0
Olie	0	6
Drinkwater	107,3	137,9
Akkerbouw		
Varkensvlees	13,9	14,9
Rundvlees	68,1	0
Kip	0	0
Boter	1,3	0,6
Kaas	0	0
Melk	78,8	0
Veeteelt		
Brood/gebak	3	3,7
Meel	0	38,4
Groenten en fruit	0	47,4

Onder het baselinescenario in Tabel 3.4 vallen de producten die niet in de methodiek voor de afleiding van landbouwriscogrenzen voorkomen. De blootstelling uit deze producten dient altijd in mindering gebracht te worden op de gezondheidkundige risicogrenzen uit Tabel 3.1. De inname uit de producten onder de scenario's akkerbouw en veeteelt worden opgeteld bij de baseline achtergrondblootstelling voor de afleiding van kritische concentraties in bodem voor de betreffende scenario's.

Noorlander et al. (2011) gebruikten voor de bepaling van de inname via drinkwater Europese gegevens van EFSA. Inmiddels zijn meer recente metingen van concentraties PFOS en PFOA in Nederlands drinkwater beschikbaar, bijvoorbeeld uit Zafeiraki et al. (2015). Voor deze bepaling zijn de hogere waarden uit Noordlander et al. gehanteerd.

### 3.4 Overige parameters voor de berekening van risicogrenzen in grond voor landbouw

Naast de BCF's uit Hoofdstuk 2 zijn voor de berekening van risicogrenzen voor landbouw gegevens nodig over onder andere de overdracht van bodem naar vlees en melk. Tabel 3.5 geeft een overzicht van parameters en uitgangspunten die worden gehanteerd in het model voor de berekening van risicogrenzen in grond voor landbouw (Hoofdstuk 4).

Tabel 3.5. Parameters voor de berekening van risicogrenzen in grond voor landbouw

PARAMETER	PFOS	PFOA	Referentie
<b>Keten Bodem - Plant</b>			
Model bodem-gras	OC model	OC model	Yoo et al. 2011
Standaard OC concentratie bodem (%)	5,8	5,8	
<b>Keten Bodem - Dier</b>			
Inname gras: koe, kg ds dag <sup>-1</sup>	15	15	Van Middelkoop et al. (2018)
Inname maïssilage: koe, kg ds dag <sup>-1</sup>	5	5	Van Middelkoop et al. (2018)
Inname water koe, L dag <sup>-1</sup>	60	60	Van Middelkoop et al. (2018)
% aanhangende grond in voer	2%	2%	Franz et al. (2008)
Log TF inname - vlees (koe) <sup>2</sup>	-1.15	-1.92	Vestergren (2013)
Log TF inname - melk (koe) <sup>2</sup>	-1.67	-1.95	Vestergren (2013)
TF vlees - inname (varken) <sup>2</sup>	9.7	5.3	Numata et al. (2014)
Veedrenking met lokaal water <sup>1</sup>	Ja	Ja	Aanname
<b>AANNAMES MBT CONSUMPTIE</b>			
Lichaamsgewicht tbv blootstelling (kg)	53,7 <sup>3</sup>		Van Rossum (2016)

<sup>1</sup> waarbij de concentratie van PFOS en PFOA in water in evenwicht is met de concentratie in de bodem en berekend met het OC model

<sup>2</sup> de transferfactoren voor koe hebben betrekking op de totale inname per dag. Die voor varken hebben betrekking op de concentratie in het voer.

<sup>3</sup> gemiddeld lichaamsgewicht voor totale populatie voedselconsumptiepeiling



## 4 Resultaten: risicogrenzen in bodem voor landbouw

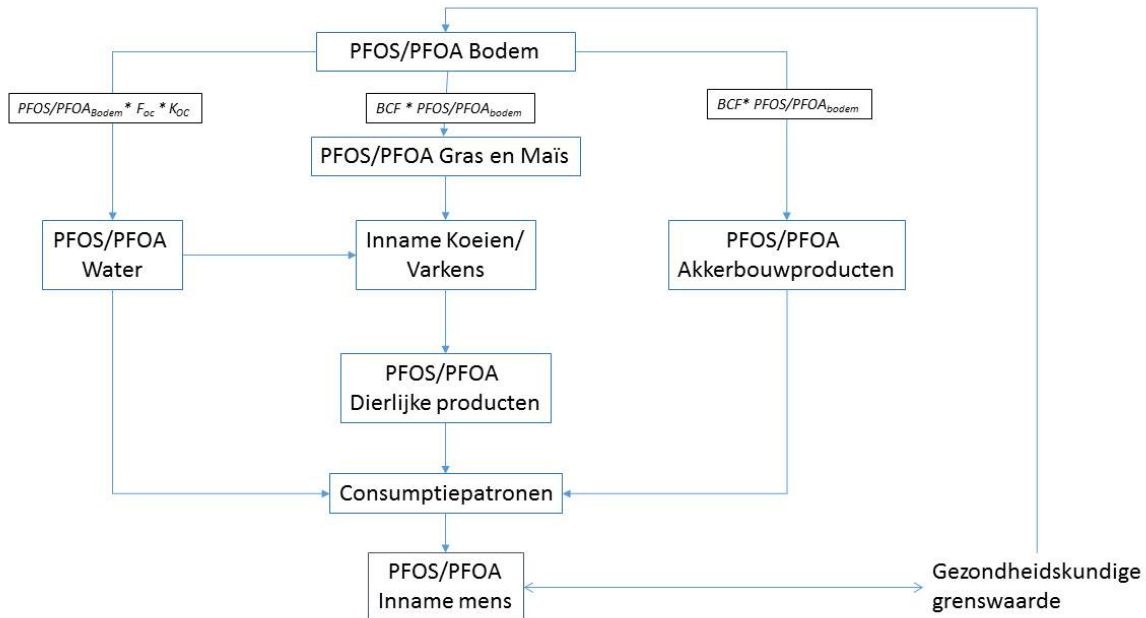
### 4.1 Achtergrond van de methode voor de berekening van risicogrenswaarden

De methodiek berust op de mogelijkheid om de overdracht van PFAS vanuit de bodem, via landbouwproducten, naar de mens te berekenen (Figuur 4.1). Op deze manier wordt bepaald in welke mate de consumptie van deze producten bijdraagt aan de blootstelling van de mens. Door deze relatie om te keren, kunnen concentraties in de bodem worden berekend waarbij de consumptie van een groep producten, of alle voedingsproducten samen, leidt tot een vooraf vastgestelde maximale orale blootstelling/inname. De maximale orale blootstelling/inname is de Gezondheidskundige Grenswaarde voor inname.

Bij de beoordeling van de kwaliteit van landbouwbodems gelden een aantal randvoorwaarden die onder andere voor metalen gebruikt zijn om risicogrenswaarden af te leiden (Römken et al., 2007). Daarbij gelden productkwaliteitseisen of eisen ten aanzien van diergezondheid (gerelateerd aan concentraties in voer) als uitgangspunt waarbij vervolgens met behulp van een model een kritische bodemconcentratie berekend wordt waarbij deze kwaliteitseisen niet overschreden worden. Voor stoffen als PFOS en PFOA bestaan dergelijke gewasspecifieke normen echter niet en deze kunnen dan ook niet als uitgangspunten dienen om een kritische bodemconcentratie af te leiden.

Om toch een risicogrens voor bodem te kunnen berekenen is daarom gekozen deze grenswaarde te koppelen aan de maximaal toegestane dagelijkse inname PFOS en PFOA via voedsel geteeld in een begrensd gebied. De gedachte daarbij is dat de som van alle geconsumeerde voedselproducten en/of water niet mag leiden tot een overschrijding van de gezondheidskundige grenswaarde voor inname.

In onderstaande figuur staan de stappen die in de berekening van de inname gevolgd worden. Uiteindelijk dient de maximaal toegestane inname als criterium om een risicogrenswaarde voor bodem af te leiden.



Figuur 4.1. Onderdelen van de keten tussen bodem en blootstelling die is toegepast om een risicogrenswaarde voor bodem te berekenen

In dit hoofdstuk bespreken we achtereenvolgens de consumptiepatronen en daarin opgenomen producten (4.2), de totstandkoming van de risicogrenzen voor PFOS en PFOA in bodem (4.3) en de resultaten uit de berekening van de kritische bodemhalten (4.4).

## 4.2 Uitwerking van de aanpak: consumptie

De beoordeling omvat de inname van alle voedselproducten die hun oorsprong hebben in de Nederlandse landbouw. De gegevens zijn ontleend aan de meest recente voedselconsumptiepeiling (VCP, Van Rossum et al. 2016). Tabel 4.1 toont de beschouwde producten uit de VCP, en de consumptiehoeveelheden in gram/dag.

Tabel 4.1. Bron: Van Rossum et al., 2016. Gemiddelde voedselconsumptiehoeveelheden van producten uit Nederlandse landbouw voor de gehele onderzoekspopulatie. Dikgedrukte termen in de eerste kolom betreffen categorienamen.

Product	Consumptiehoeveelheid (g/d)	Cluster	Opmerking
<b>Aardappels</b>	73	Aardappels	
<b>Groenten</b>			
Ongeclassificeerd, gemengde salades /groenten	9	Groenten	
Bladgroenten (muv kool)	21	Groenten	
Vruchtgroenten	46	Groenten	
Wortelgroenten	12	Groenten	
Kool	19	Groenten	
Peulvruchten	7	Groenten	

Product	Consumptiehoeveelheid (g/d)	Cluster	Opmerking
Prei, ui, knoflook	12	Groenten	
Steelgroenten, spruiten	2	Groenten	
<b>Zuivelproducten en vervangers</b>	355	Melk (ook uit zuivelproducten)	Melkvervangers en waterijs in mindering gebracht
<b>Granen en graanproducten</b>			
Meel, zetmeel	2	Tarwe (ook uit gebak)	
Pasta	46	Tarwe (ook uit gebak)	
Brood	126	Tarwe (ook uit gebak)	
<b>Vlees, vleesproducten en vleesvervangers</b>			
Niet geclassificeerd	2	Vlees totaal	
Huisdieren	18	Vlees totaal	
Niet geclassificeerd	4	Vlees totaal	
Rundvlees	14	Vlees totaal	
Kalf	0	Vlees totaal	
Varken	13	Vlees totaal	
Paard	0	Vlees totaal	
Lam	1	Vlees totaal	
Konijn	0	Vlees totaal	
Gevogelte	17	Vlees totaal	
Kip, haan	15	Vlees totaal	
Wild	0	Vlees totaal	
Bewerkt vlees	48	Vlees totaal	
Slachtafval	1	Vlees totaal	
<b>Cakes en koekjes</b>			
Cakes, taart, pudding	22	Tarwe (ook uit gebak)	
Droge cake en koekjes	17	Tarwe (ook uit gebak)	

Tabel 4.1 bevat zowel categorienamen (dikgedrukt) als individuele producten en productsoorten. De derde kolom in de tabel geeft aan welk cluster van producten de consumptiehoeveelheden worden toegekend ten behoeve van de berekening van de risicogrenzen voor landbouw. Vlees- en zuivelvervangers zijn niet toegevoegd aan een productcluster. Deze producten zijn weliswaar ook van agrarische oorsprong, maar verondersteld wordt dat deze veelal geen oorsprong hebben in de Nederlandse landbouw (bijvoorbeeld soja, amandelen). De blootstelling wordt in dat geval gerekend tot de achtergrondblootstelling. Andere voorbeelden van landbouwproducten die niet worden meegenomen voor de scenario's akkerbouw of veeteelt zijn: noten, paddestoelen en vruchten.

Tabel 4.2: Totale consumptiehoeveelheden per cluster op basis van de hoeveelheden in Tabel 4.1.

Cluster	Consumptiehoeveelheid [gram/dag]
Aardappels	73
Groenten	128
Melk (ook uit zuivelproducten)	330
Tarwe (ook uit gebak)	213
Vlees totaal	99

De clusters van voedselproducten zijn vastgesteld op basis van de volgende overwegingen:

1. De hoeveelheid overdrachtsfactoren voor individuele producten is beperkt (zie volgende sectie). Door uit te gaan van brede clusters van producten kan desondanks de volledige voedselconsumptie worden beschouwd. Zo zijn op dit moment geen gegevens beschikbaar over de overdracht naar gevogelte, daarom is ervoor gekozen om de totale vleesconsumptie, inclusief alle soorten vleeswaren te bundelen in één categorie;
2. De methodiek sluit voor groenten en aardappels aan bij de wijze van afleiden van humane risicogrenzen met het model CSOIL, waarbij eveneens gebruik gemaakt wordt van overdrachtsfactoren voor groenten en aardappels. Deze BCF's worden berekend op basis van beschikbare overdrachtsfactoren, genormaliseerd op basis van voedselconsumptiehoeveelheden.
3. De clustering vormt een praktische opdeling van vormen van landbouw. De opdeling kan gebruikt worden om de bijdrage van deze vormen van landbouw aan kritische grenzen concentratie in bodem weer te geven, of om individuele risicogrenzen af te leiden per landbouwworm.

### 4.3 Berekening risicogrenzen in bodem

De inname van PFOS en PFOA door de mens via voedsel is berekend uit de concentraties van dagelijks geconsumeerde producten voor zover deze gerelateerd zijn aan de concentraties in de bodem (aardappelen, groenten, vlees en melk). De hoeveelheden aan PFOS en PFOA die gemiddeld genomen van elk product, aangeduid met 'i' gegeten worden volgen dan uit:

$$PFAS_{inname} = \sum (consumptie_i * concentratie PFAS_i)$$

De concentratie van PFOS (of PFOA) wordt per product berekend aan de hand van de concentraties in de bodem en de eerder afgeleide BCF volgens:

$$Concentratie PFAS_{product-i} = BCF/TF * concentratie PFAS_{Bodem}$$

Omdat voor elk van de producten een lineaire overdracht berekend wordt waarin het bodemconcentratie meegenomen wordt kan de kritische bodemconcentratie berekend worden uit de maximale inname, deze laatste is gelijk aan de gezondheidkundige grenswaarde voor inname. We gaan daarbij uit van een gemiddelde consumptie en de



maximale inname hangt daarom af van een, af te leiden, kritisch bodemconcentratie volgens:

$$PFAS_{inname-kritisch} = \Sigma (\text{consumptie}_{product-i} * (BCF_i \text{ of } TF_i) * \text{concentratie } PFAS_{Bodem-kritisch})$$

Omdat de BCF (voor gewassen) danwel TF (voor dierlijke producten en water) bekend is, en verondersteld wordt constant te zijn binnen een product en een gegeven concentratie organisch stof in de bodem (10%), en het kritische bodemconcentratie in elke term voorkomt kan deze vergelijking omgewerkt worden tot:

$$\text{concentratie } PFAS_{Bodem-kritisch} = PFAS_{inname-kritisch} / \{ \Sigma (\text{consumptie}_{product-i} * (BCF_i \text{ of } TF_i)) \}$$

Daarmee kan voor elk scenario uit de meegenomen combinatie van producten die de totale inname bepalen een kritisch bodemconcentratie berekend worden.

#### 4.4 Berekenende risicogrenzen voor akkerbouw en veeteelt

Tabel 4.3 toont de berekende risicogrenzen in bodem voor de twee scenario's:

Tabel 4.3. Risicogrenzen voor PFOS en PFOA in grond

Scenario	C <sub>kritisch</sub> PFOS [µg/kg]	C <sub>kritisch</sub> PFOA [µg/kg]
Akkerbouw	109	44
Veeteelt	7,6	15

De concentraties uit Tabel 4.3 kunnen gebruikt worden om te beoordelen of PFOS- en PFOA-houdende landbouwgrond kan leiden tot overschrijding van de gezondheidskundige grenswaarden voor inname. De gehanteerde relaties zijn deels afhankelijk van de organische-stofconcentratie van de bodem, daarom wordt geadviseerd om bij toetsing een bodemtypecorrectie toe te passen.

De gezondheidskundige grenswaarden zijn gebaseerd op dezelfde eindpunten, waardoor van som-toxiciteit uitgegaan kan worden:

$$RI = C_{PFOS} / C_{kritisch, PFOS} + C_{PFOA} / C_{kritisch, PFOA}$$

Waarbij RI=risico-index. Een RI groter dan 1 betekent dat het mengsel van PFOS en PFOA in de bodem kan leiden tot overschrijding van de gezondheidskundige grenswaarde op basis van som-toxiciteit, bij consumptie van voedsel van die bodem



## 5 Risicogrenzen in bodem voor moestuinen

### 5.1 Aanpassingen aan model blootstellingsmodel CSOIL voor PFAS

PFOS en PFOA zijn organische zuren die in waterig milieu grotendeels gedissocieerd zijn. Dit is mede bepalend voor het partitiegedrag van deze stoffen in bodem en biota. Het blootstellingsmodel CSOIL is in 2018 geactualiseerd om rekening te houden met het specifieke gedrag van PFAS (Quik et al. 2019, in prep.). In de nieuwe versie van het model worden de fracties gedissocieerd en niet-gedissocieerd berekend in poriewater. Voor de blootstellingsroutes uitdamping, permeatie door drinkwaterleidingen en gewasopname (indien geen BCF's worden ingevoerd) is uitsluitend de niet-gedissocierde fractie beschikbaar. Voor PFOS en PFOA leidt dit tot een reductie van de blootstelling via deze routes als gevolg van een meer realistische beschrijving van het stofgedrag.

### 5.2 Blootstellingsscenario 'Wonen met moestuin'

Het blootstellingsscenario 'Wonen met moestuin' veronderstelt dat de volledige jaarlijkse consumptie van (moestuin)groenten afkomstig is uit de moestuin. Het scenario is te vergelijken met de uitgangspunten voor de berekening van de risicogrenzen voor akkerbouw (Hoofdstuk 4). Door de beperkte bijdrage vanuit andere blootstellingsroutes wordt de berekende risicogrens grotendeels bepaald door gewasopname en de consumptie van gewassen.

### 5.3 Resultaten risicogrenzen PFOS en PFOA voor moestuinen

In Bijlage 3 zijn de uitgebreide uitkomsten van de blootstellingsberekeningen met CSOIL opgenomen. Tabel 5.1 toont de berekende risicogrenzen in grond voor PFOS en PFOA. De modeluitkomsten voor PFAS zijn niet gerelateerd aan het organisch stofconcentratie in de bodem. Op deze risicogrenzen is daarom geen bodemtypecorrectie van toepassing.

Tabel 5.1. Risicogrenzen voor grond voor de functie 'Wonen met moestuin'

	$C_{\text{kritisch}}$ PFOS [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ]	$C_{\text{kritisch}}$ PFOA [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ]
<b>Wonen met Moestuin</b>	92	86



## 6 Discussie

### 6.1 Betekenis risicogrenzen in relatie tot chemische kwaliteit bagger en grond bij toepassingen op of in agrarische landbodems

De in dit rapport berekende risicogrenzen kunnen gebruikt worden om te bepalen of PFAS-houdende bagger en grond, na toepassing op agrarische landbodems, kunnen leiden tot overschrijding van de gezondheidskundige grenswaarden voor inname na consumptie van de beschouwde producten. De methodiek van afleiding sluit aan bij de onderbouwing van de huidige normen voor hergebruik uit de Regeling bodemkwaliteit. Analoog aan deze normen geven de risicogrenzen uit dit rapport een indicatie van de *duurzame geschiktheid* van de bodem voor de betreffende functie.

Een lokale overschrijding van de risicogrenzen betekent nog niet dat sprake is van onaanvaardbare risico's. Eventuele normen voor de vaststelling van ernstige bodemverontreinigingen, zogenaamde Interventiewaarden, zullen voor PFAS mogelijk in een later stadium worden vastgesteld.

De berekende risicogrenzen voor PFAS voor akkerbouwgewassen en de risicogrenzen voor 'Wonen met moestuin' liggen hoger dan veelal aangetroffen concentraties PFAS in bagger op plaatsen waar geen bekende relatie is met een puntbron (Paragraaf 1.2, tabel 1.1). Gezondheidsrisico's als gevolg van de blootstelling aan PFAS door de toepassing van bagger op akkerbouwpercelen in het gebied zijn daarmee in de praktijk vrijwel uitgesloten.

Tabel 6.1. Vergelijking risicogrenzen voor landbouw en concentraties PFAS in waterbodems

	PFOS	PFOA
<b>Gemiddelde concentratie</b>	2,4	0,21
<b>Hoogste concentratie</b>	8	7
<b>Risicogrens veeteelt</b>	7,6	15
<b>Risicogrens akkerbouw</b>	109	44

De risicogrenzen voor grond voor veeteelt zijn lager als gevolg van de accumulatie van PFAS in dierlijke producten. De verdeling van concentraties in Tabel 6.1 laat zien dat een groot deel van de concentraties PFAS in bagger alsnog onder de risicogrenzen voor veeteelt blijft.

### 6.2 Discussie naar aanleiding van berekening van de risicogrenswaarden voor landbouw

Bij de berekening van de risicogrenswaarden voor in de bodem landbouw is een aantal factoren van invloed op de uiteindelijk berekende waarde. Voor een aantal van de gehanteerde parameters geldt dat er nog onzekerheden zijn die in meer of mindere mate doorwerken op de berekende risicogrenzen. Hierna worden deze aspecten per onderdeel behandeld, waarbij voor zover mogelijk een indicatie wordt gegeven van de invloed op de berekende risicogrenzen.

### *1. Voedselinnamepatronen*

De data in van Rossum et al. (2016) laten zien dat innamepatronen variabel zijn als gevolg van factoren als leeftijd, geslacht, herkomst etc. Hier hanteren we, voor zover mogelijk, de gemiddelde innamepatronen zoals gegeven door van Rossum et al., 2016. De VCP is uitgesplitst voor verschillende deelgroepen (op basis van geslacht, leeftijd, etc.). Daarnaast geeft de VCP inzage in de spreiding van de consumptiehoeveelheden binnen deze selecties. Hieruit is op te maken dat consumptiepatronen tussen individuen uit de onderzoekspopulatie sterk kunnen variëren. In het bestek van deze opdracht konden deze verdelingen niet als input voor de berekening van de risicogrenzen worden gehanteerd en is met gemiddelde inname gerekend. Op dit moment wordt de VCP geactualiseerd. Door te rekenen met clusters van voedselproducten zijn verschuivingen in de consumptiepatronen slechts beperkt van invloed op de berekende risicogrenzen. We verwachten dat een actualisatie van de VCP daarom niet tot grote verschuivingen zal leiden bij een herberekening van de risicogrenzen uit dit rapport. De keerzijde van de rekenwijze met clusters van voedselproducten is dat de gevoeligheid van de methode voor mogelijk relevante verschillen in de overdrachten van bodem naar verschillende voedselproducten deels wordt uitgevlakt.

### *2. Variatie in BCF of TF voor gewassen*

Uit de data-analyse blijkt dat de BCF kan variëren, waarbij voor sommige producten een hoge mate van variatie wordt aangetroffen die deels gekoppeld is aan de concentraties in de bodem. Voor stoffen die slechts in geringe mate worden opgenomen is vaker aangetoond dat de overdracht bij lage concentraties in de bodem relatief hoog zijn ten opzichte van de opname uit bodems met hogere concentraties. Dit is voor PFOS onder andere het geval voor tarwe uit de studie van Liu et al. (2017) die de opname voor PFOS bepaald heeft. Voor alle andere gewassen (niet zijnde tarwe) en producten geldt dat we, conform de aanpak voor moestuinen de geometrisch gemiddelde waarden (per product) van de BCF van alle data gebruiken. Het voorbehoud betreft ook de beschikbaarheid van de overdrachtsfactoren voor de producten die in het voedingspatroon zijn opgenomen. Er is gekozen om voor groenten, aardappels en vlees te werken met overdrachtsfactoren op basis van gewogen gemiddelden van de beschikbare gegevens.

### *3. Inname van PFOS en PFOA via voeding in relatie tot de gezondheidskundige grenswaarden en achtergrondblootstelling en het omgaan met nieuwe informatie over PFAS*

Het berekende kritische concentratie in de bodem is afhankelijk van de aanname over het aandeel van de inname van de totale gezondheidskundige grenswaarde. We hanteren hiervoor de gezondheidskundige grenswaarden voor inname met daarop in mindering gebracht de achtergrondblootstelling uit de niet beschouwde consumptieproducten. De concentraties in producten zoals gerapporteerd in Noorlander et al. (2011) zijn relatief laag in vergelijking met de concentraties die worden berekend in dierlijke en akkerbouwproducten ten behoeve van de berekening van risicogrenzen in grond. Wanneer we er van uitgaan dat de data uit Noorlander et al. (2011) nog altijd van toepassing zijn op de producten die vandaag de

dag worden geconsumeerd, is de meest waarschijnlijke verklaring voor dit verschil dat in de praktijk de meeste landbouwbodems niet belast zijn met concentraties op het niveau van de risicogrenzen uit dit rapport.

De gezondheidkundige grenswaarden voor inname kunnen nog wijzigen na afronding van de lopende evaluatie van PFAS door EFSA (Paragraaf 3.2). Geadviseerd wordt om in dat geval de in dit rapport berekende risicogrenzen opnieuw te evalueren. Hetzelfde geldt voor het geval wanneer nieuwe informatie beschikbaar komt over overdrachten naar voedingsproducten en de achtergrondblootstelling. Periodiek zal ook nieuwe informatie beschikbaar komen over de voedselconsumptiehoeveelheden.

#### *4. Overige aannames van modelconcept en bodemtypecorrectie*

Het model voor overdracht naar landbouwhuisdieren bevat de worst-case aanname dat het drinkwater van vee in evenwicht is met de gemodelleerde concentraties in grond. In de praktijk zal vee tenminste een deel van het jaar leidingwater consumeren. Getalsmatig is de invloed van het wel of niet meenemen van drinkwater op de berekende risicogrenzen gering (~1%). Hiermee is ook de invloed van de toegepaste  $K_d$  beperkt. Met andere woorden: een betere schatting van de partitie tussen grond en grondwater zal slechts een gering effect hebben op de uitkomsten. Vanuit het oogpunt van een risicoschatting van het uitloggedrag van dit type verbindingen is het echter zeer wenselijk om een beter inzicht te krijgen in de sorptie van deze stoffen aan bodemdeeltjes. Dit valt echter buiten het bestek van deze rapportage.

#### *5. Bodemtypecorrectie*

De concentraties uit Tabel 4.3 kunnen gebruikt worden om te beoordelen of PFOS- en PFOA-houdende landbouwgrond kan leiden tot overschrijding van de gezondheidkundige grenswaarden voor inname. De gehanteerde relaties zijn deels afhankelijk van het organisch-stofconcentratie van de bodem, daarom wordt geadviseerd om bij toetsing een bodemtypecorrectie toe te passen.

#### *6. Vergelijking risicogrenzen landbouw en risicogrenzen Wonen met moestuin*

De berekende risicogrenzen voor moestuinen zijn hoger dan die voor de landbouwscenario's akkerbouw en veeteelt. De verklaring hiervoor is dat in het scenario 'Wonen met moestuin' weliswaar rekening wordt gehouden met een hoge mate van consumptie van groenten (50% knolgewassen, 100% bladgroenten) uit eigen tuin, maar in vergelijking met het landbouwscenario 'akkerbouw' ontbreekt nog de voedingsgroep 'tarwe'.

#### *7. Gezondheidskundige grenswaarden*

Zoals eerder aangegeven heeft de Europese Autoriteit voor voedselveiligheid (EFSA) een voorlopige opinie over PFOS en PFOA uitgebracht, uitmondend in Health Based Guidance Values (HBGVs) voor deze beide stoffen. Op dit moment breidt EFSA deze opinie naar andere PFAS uit (verwachte einddatum: Zomer 2019). Tot dat moment moeten de door EFSA voorgestelde HBGVs als voorlopig beschouwd worden.

Het RIVM heeft bij EFSA inhoudelijke bezwaren tegen het afleiden van de HBGVs voor PFOA en PFOS kenbaar gemaakt. Daarom hanteert het RIVM voornamelijk eigen toxicologische grenswaarden voor PFOA en PFOS. Echter, gegeven de uitkomst van genoemde EFSA PFAS evaluatie, moeten ook de RIVM grenswaarden als voorlopig beschouwd worden.



## 7 Literatuur

Beach SA, Newsted JL, Coady K, Giesy JP (2006) Ecotoxicological evaluation of perfluorooctanesulfonate (PFOS) vol 186. doi: 10.1007/0-387-32883-1\_5

Bizkarguenaga E, Zabaleta I, Mijangos L, Iparraguirre A, Fernandez L, Prieto A, Zuloaga O (2016) Uptake of perfluorooctanoic acid, perfluorooctane sulfonate and perfluorooctane sulfonamide by carrot and lettuce from compost amended soil *Science of the Total Environment* 571: 444-451

Blaine AC, Rich CD, Hundal LS, Lau C, Mills MA, Harris KM, Higgins CP (2013) Uptake of perfluoroalkyl acids into edible crops via land applied biosolids: field and greenhouse studies *Environmental science & technology* 47: 14062-14069

Blaine AC, Rich CD, Sedlacko EM, Hyland KC, Stushnoff C, Dickenson ER, Higgins CP (2014) Perfluoroalkyl acid uptake in lettuce (*Lactuca sativa*) and strawberry (*Fragaria ananassa*) irrigated with reclaimed water *Environmental science & technology* 48: 14361-14368

Brand E, Otte P.F., Lijzen J.P.A. (2007) CSOIL 2000 an exposure model for human risk assessment of soil contamination. A model description. RIVM rapport 711701054.

Campos Pereira H, Ullberg M, Kleja DB, Gustafsson JP, Ahrens L (2018) Sorption of perfluoroalkyl substances (PFASs) to an organic soil horizon – Effect of cation composition and pH *Chemosphere* 207: 183-191 doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.05.012

Domingo JL, Nadal M (2017) Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in food and human dietary intake: A review of the recent scientific literature *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65: 533-543 doi: 10.1021/acs.jafc.6b04683

EFSA 2008. Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food chain on Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts. *The EFSA Journal*, 653: 1-131. Beschikbaar online: [www.efsa.europa.eu](http://www.efsa.europa.eu). EFSA (2012) Perfluoroalkylated substances in food: occurrence and dietary exposure *EFSA* 10: 2743 doi: 10.2903/j.efsa.2012.2743.

EFSA. 2012. European Food Safety Authority; Perfluoroalkylated substances in food: occurrence and dietary exposure. *EFSA Journal* 2012; 10(6):2743. [55 pp.] doi: 10.2903/j.efsa.2012.2743

Emerging Contaminants. 2016. <https://www.emergingcontaminants.eu/index.php/background-info/Factsheets-PFOS-intro/Factsheets-PFOS-behaviour>

Enevoldsen R, Juhler RK (2010) Perfluorinated compounds (PFCs) in groundwater and aqueous soil extracts: Using inline SPE-LC-MS/MS for screening and sorption characterisation of perfluorooctane sulphonate and related compounds *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 398: 1161-1172 doi: 10.1007/s00216-010-4066-0

Environment Canada. 2018. Canadian Environmental Protection Act, 1999. Federal Environmental Quality Guidelines Perfluorooctane Sulfonate (PFOS).  
<https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/pded/feqq-pfos/20180620-PFOS-EN.pdf>

EPA. 2016a. "Health Effects Support Document for Perfluorooctane Sulfonate (PFOS)." EPA 822-R-16-002. [www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/supporting-documents-drinking-water-health-advisories-pfoa-and-pfos](http://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/supporting-documents-drinking-water-health-advisories-pfoa-and-pfos).

EPA. 2016b. "Health Effects Support Document for Perfluorooctanoic Acid (PFOA)." EPA 822-R-16-003. [www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/supporting-documents-drinking-water-health-advisories-pfoa-and-pfos](http://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/supporting-documents-drinking-water-health-advisories-pfoa-and-pfos)

EPA. 2016c. "Drinking Water Health Advisory for Perfluorooctane Sulfonate (PFOS)." EPA 822-R-16-004. [www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/supporting-documents-drinking-water-health-advisories-pfoa-and-pfos](http://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/supporting-documents-drinking-water-health-advisories-pfoa-and-pfos)

EPA. 2016d. "Drinking Water Health Advisory for Perfluorooctanoic Acid (PFOA)." EPA 822-R-16-005. [www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/supporting-documents-drinking-water-health-advisories-pfoa-and-pfos](http://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/supporting-documents-drinking-water-health-advisories-pfoa-and-pfos)

Felizeter S, McLachlan MS, De Voogt P (2012) Uptake of perfluorinated alkyl acids by hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa*) *Environmental Science and Technology* 46: 11735-11743  
doi: 10.1021/es302398u

Fragoulis, G., A. Merli, G. Reeves, G. Meregalli, K. Stenberg, T. Tanaka, E. Capri (2011). A Bayesian approach to assessing the uncertainty in estimating bioconcentration factors in earthworms – the example of quinoxifen. *Pest Manag Sci* 2011; 67: 656–664

Franz, E., P.F.A.M. Römkens, L. van Raamsdonk, and I. van der Fels-Klerx. 2008. A chain modeling approach to estimate the impact of soil cadmium pollution on human dietary exposure. *J. Food Protection*, 71(12): 2504-2513.

Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (IME) (2008) 57392 Schmallenberg. Abschlussbericht zum Vorhaben "Untersuchungen zum Übergang aus PFT-belasteten Böden in Pflanzen". Schmallenberg, Februari 2008

Ghisi, R., T. Vamerali, and S. Manzetti. 2019. Accumulation of perfluorinated alkyl substances (PFAS) in agricultural plants: A review. *Environmental Research*, Volume 169: 326-341,

Hees, van (2009) Branched and linear forms of PFAS – A means of a more comprehensive assessment of environmental impacts. Eurofins factsheet.  
[https://www.eurofins.se/media/809455/branched\\_pfas\\_short\\_facts.pdf](https://www.eurofins.se/media/809455/branched_pfas_short_facts.pdf).  
Geraadpleegd 28 maart 2019.

Herzke D et al. (2013) Perfluorinated alkylated substances in vegetables collected in four European countries; occurrence and human exposure estimations *Environmental Science and Pollution Research* 20: 7930-7939 doi: 10.1007/s11356-013-1777-8

Higgins CP, Luthy RG (2006) Sorption of perfluorinated surfactants on sediments *Environmental Science and Technology* 40: 7251-7256 doi: 10.1021/es061000n

Hoogheemraadschap van Rijnland (2018) Beleidsregel PFAS in waterbodems, 23 mei 2018. Corsa 17.116471.

IME (2009) Abschlussbericht zum Untersuchungsvorhaben. Untersuchungen zum Übergang aus PFT-belasteten Böden in Pflanzen. Ergebnisse der ergänzenden Untersuchungen 2008. Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (IME), Schmallenberg.

Kärrman, Anna, Thanh Wang and Roland Kallenborn Co-authors: Anne Marie Langseter, Siri Merete Grønhovd, Erik Magnus Ræder, Jan Ludvig Lyche, Leo Yeung, Fangfang Chen, Ulrika Eriksson, Rudolf Aro and Felicia Fredriksson (2019) PFASs in the Nordic environment. Screening of Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFASs) and Extractable Organic Fluorine (EOF) in the Nordic Environment. Nordic Council of Ministers 2019. ISBN 978-92-893-6062-3

Kistemaker, C.M, Bouman, K.F.A.M. Hulshof (1998). De consumptie van afzonderlijke producten door Nederlandse bevolkingsgroepen: voedselconsumptiepeiling 1997 – 1998, TNO Voeding, Zeist, 1998.

Kowalczyk, J., J. Numata, B. Zimmermann, R. Klinger, F. Habedank, P. Just, H. Schafft, M. Lahrssen-Wiederholt. 2018. Suitability of Wild Boar (*Sus scrofa*) as a Bioindicator for Environmental Pollution with Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctanesulfonic Acid (PFOS). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* (2018) 75: 594–606

Kowalczyk, J., S. Ehlers, A. Oberhausen, M. Tischer, P. Fürst, H. Schafft, and M. Lahrssen-Wiederholt. 2013. Absorption, Distribution, and Milk Secretion of the Perfluoroalkyl Acids PFBS, PFHxS, PFOS, and PFOA by Dairy Cows Fed Naturally Contaminated Feed. *J. Agric. Food Chem.* 2013, 61, 2903–2912.

Kowalczyk, J., S. Ehlers, P. Fürst, H. Schafft, and M. Lahrssen-Wiederholt. 2012. Transfer of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) From Contaminated Feed Into Milk and Meat of Sheep: Pilot Study. *Arch Environ Contam Toxicol* (2012) 63:288–298.

Krippner J, Brunn H, Falk S, Georgii S, Schubert S, Stahl T (2014) Effects of chain length and pH on the uptake and distribution of perfluoroalkyl substances in maize (*Zea mays*) *Chemosphere* 94:85-90 doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.09.018

Lechner M, Knapp H (2011) Carryover of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) from soil to plant and distribution to the different plant compartments studied in cultures of carrots (*Daucus carota* ssp. *Sativus*), potatoes (*Solanum tuberosum*), and cucumbers (*Cucumis Sativus*) *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59:11011-11018 doi: 10.1021/jf201355y

Lijzen, J.P.A., P.N.H. Wassenaar, C.E. Smit, C.J.A.M. Posthuma, E. Brand, F.A. Swartjes, E.M.J. Verbruggen, J.F.M. Versteegh. 2018. Risicogrenzen PFOA voor grond en grondwater Uitwerking voor generiek en gebiedsspecifiek beleid (herziene versie) RIVM Briefrapport 2018-0060.

Liu Z et al. (2017) Crop bioaccumulation and human exposure of perfluoroalkyl acids through multi-media transport from a mega fluorochemical industrial park, *China Environment International* 106:37-47 doi: 10.1016/j.envint.2017.05.014

Milinic J, Lacorte S, Vidal M, Rigol A (2015) Sorption behaviour of perfluoroalkyl substances in soils *Science of the Total Environment* 511:63-71 doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.12.017

Moermond, C.T.A., Verbruggen, E.M.J., Smit, C.E. 2010. Environmental risk limits for PFOS - A proposal for water quality standards in accordance with the Water Framework Directive. RIVM rapport 601714013.

Mohammadi, M.M., L. Ahrens, and S. Josefsson, The bioavailability of perfluoroalkyl substances (PFASs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil to *Eisenia fetida* and *Cucurbita pepo*. 2015, Swedish University of Agricultural Sciences.

Navarro I, de la Torre A, Sanz P, Porcel MÁ, Pro J, Carbonell G, Martínez MDLÁ (2017) Uptake of perfluoroalkyl substances and halogenated flame retardants by crop plants grown in biosolids-amended soils *Environmental Research* 152:199-206 doi: 10.1016/j.envres.2016.10.018

NOBO (2008) Normstelling en bodemkwaliteitsbeoordeling, onderbouwing en beleidsmatige keuzes voor bodemnormen in 2005, 2006 en 2007. Ministerie van VROM, publicatie 8395. [https://www.bodemplus.nl/publish/pages/91751/rapportage\\_nobo\\_normstelling\\_en\\_bodemkwaliteitsbeoordeling\\_24\\_263999.pdf](https://www.bodemplus.nl/publish/pages/91751/rapportage_nobo_normstelling_en_bodemkwaliteitsbeoordeling_24_263999.pdf)

Noorlander, C.W., S.P.J. van Leeuwen, J.D. te Biesebeek, M.J.B. Mengelers, and M.J. Zeilmaker. 2011. Levels of Perfluorinated Compounds in Food and Dietary Intake of PFOS and PFOA in The Netherlands. *Agric. Food Chem.* 2011, 59, 7496–7505

Quik et al. (2019) CSOIL 3.0: model description (working title). In prep. RIVM rapport.

Renner, R. (2001). Growing concern over perfluorinated chemicals. *Environmental Science and Technology*, 35, 154A–160A.

Renner, R. (2003). Concerns over common perfluorinated surfactant. *Environmental Science and Technology*, 37, 201A–202A.

Rijkswaterstaat (2014) Perfluoralkylzuren in Nederlands oppervlaktewater 2008-2012. Rijkswaterstaat - auteur: UvA IBED-ESS

Römkens, P.F.A.M.; Groenenberg, J.E.; Rietra, R.P.J.J.; Vries, W. de (2006) Onderbouwing LAC-2006 waarden en overzicht van bodem-plant relaties ten behoeve van de Risicotoolbox : een overzicht van gebruikte data en toegepaste methoden. Wageningen : Alterra (Alterra-rapport 1442).

Römkens, P.F.A.M., J.E. Groenenberg, R.P.J.J. Rietra, en W. de Vries. 2007. Bodem – Plant relaties ter onderbouwing van de herziening LAC signaalwaarden en implementatie in de Risicotoolbox. Alterra rapport 1442.

Römkens, P.F.A.M.; Zeilmaker, M.J.; Rietra, R.P.J.J.; Kan, C.A.; Eijkeren, J.C.H. van; Raamsdonk, L.W.D. van; Lijzen, J.P.A. (2007) Blootstelling en opname van cadmium door runderen in de Kempen: een modelstudie. Wageningen : Alterra (Alterra-rapport 1438).

Stahl T, Heyn J, Thiele H, Hüther J, Failing K, Georgii S, Brunn H (2009) Carryover of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) from soil to plants *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 57: 289-298 doi: 10.1007/s00244-008-9272-9

Stahl T, Riebe RA, Falk S, Failing K, Brunn H (2013) Long-term lysimeter experiment to investigate the leaching of perfluoroalkyl substances (PFASs) and the carry-over from soil to plants: Results of a pilot study *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61: 1784-1793 doi: 10.1021/jf305003h

Tian Y et al. (2018) Occurrence and Phase Distribution of Neutral and Ionizable Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in the Atmosphere and Plant Leaves around Landfills: A Case Study in Tianjin, China *Environmental Science and Technology* 52: 1301-1310 doi: 10.1021/acs.est.7b05385

Van Asselt, E.D., R.P.J.J. Rietra, P.F.A.M. Römkens, H.J. van der Fels-Klerx. 2010. Perfluorooctane Sulphonate (PFOS) throughout the food production chain. *Food Chemistry* 128 (1) , pp. 1-6

Van Middelkoop, J., W. Ouwelstjes, G. Remmelink, en H. Wemmenhove. 2018. Handboek Melkveehouderij 2018-2019. Wageningen Livestock research. [www.handboekmelkveehouderij.nl](http://www.handboekmelkveehouderij.nl)

Van Rossum, CTM, EJM Buurma-Rethans, FBC Vennemann, M Beukers, HAM Brants, EJ de Boer, MC Ocké. 2016. The diet of the Dutch: Results of the first two years of the Dutch National Food Consumption Survey 2012-2016. RIVM Report 2016-0082.

Van Rossum, CTM, HP Fransen, J Verkaik-Kloosterman, EJM Buurma-Rethans, and MC Ocke. 2011. Dutch National Food Consumption Survey 2007-2010: Diet of children and adults aged 7 to 69 years 350050006.

Versluijs, C.W., P.F. Otte (2001). Accumulation of metals in plants as function of soil type. RIVM, Bilthoven, The Netherlands. RIVM-rapport 711701024.

Vestergren, R., F. Orata, U. Berger, and I.T. Cousins. 2013. Bioaccumulation of perfluoroalkyl acids in dairy cows in a naturally contaminated environment. *Environ Sci Pollut Res* (2013) 20: 7959–7969

Wen B, Li L, Zhang H, Ma Y, Shan XQ, Zhang S (2014) Field study on the uptake and translocation of perfluoroalkyl acids (PFAAs) by wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in biosolids-amended soils *Environmental Pollution* 184: 547-554 doi: 10.1016/j.envpol.2013.09.040

Wen B, Wu Y, Zhang H, Liu Y, Hu X, Huang H, Zhang S (2016) The roles of protein and lipid in the accumulation and distribution of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) in plants grown in biosolids-amended soils *Environmental Pollution* 216: 682-688 doi: 10.1016/j.envpol.2016.06.032

Wintersen, A.M., J.P.A. Lijzen, R. van Herwijnen (2016) Milieukwaliteitswaarden voor PFOS. Uitwerking van generieke en gebiedsspecifieke waarden voor het gebied rond Schiphol. RIVM rapport 2016-0001.

## Bijlage 1. Afleiding van bioconcentratiefactoren (BCF) voor PFAS in landbouwgewassen

### 1 Achtergrond

Voor de berekening van de transfer van PFOS en PFOA naar de relevante milieucompartimenten, plant en water is het cruciaal te beschikken over transfermodellen die, op basis van een beperkt aantal parameters in staat zijn de concentraties in water en plant te berekenen. Voor zowel PFOS als PFOA geldt dat voor de overdracht naar plant en water er een brede range aan experimentele studies verricht zijn. hierna presenteren we de data voor de overdracht van bodem naar plant die uiteindelijk leidt tot een keuze voor het te hanteren model om gewasconcentraties te voorspellen. Naast de overdracht van bodem naar plant die voor landbouwkundige toepassingen centraal staat in deze studie speelt ook de overdracht van bodem naar water een rol. Niet alleen omdat inname van water door de mens bijdraagt aan de totale inname van PFOS en PFOA maar ook omdat dieren water drinken. De berekening van de concentraties in water, analoog aan die van concentraties in plant, staat beschreven in hoofdstuk 6 als onderdeel van het model om te uiteindelijke kritische waarden voor PFOS en PFOA in de bodem te berekenen.

Voor vrijwel alle stoffen die door planten uit de bodem opgenomen worden geldt dat de opname via de waterfase (bodemvocht) loopt. Een aantal laboratoriumstudies met gewassen in watercultures laat zien dat PFOS en PFOA opname door gewassen inderdaad afhankelijk is van concentratie in oplossing (Felizeter et al. 2012). Verschillen tussen gewassen zijn deels ook verklaarbaar door het eiwitconcentratie in de wortels van gewassen (Wen et al. 2016).

Voor zowel PFOS als PFOA en de meeste gewassen ontbreken dergelijke studies en hanteert men veelal de transfer factor (TF) ook wel BioConcentratie Factor (BCF) genoemd die de verhouding weergeeft tussen de concentratie in de plant en dat in de bodem volgens:

$$TF_{\text{bodem-plant}} = BCF = \frac{PFOS_{\text{plant}}}{PFOS_{\text{bodem}}} \quad \text{Vergelijking 1}$$

Waarbij voor PFOA dezelfde relatie geldt

### 2 Beschikbare data voor bodem en gewas

Een beknopt overzicht van PFOS en PFOA concentraties in gewasproducten is gegeven in respectievelijk Tabel 1 en Tabel 2 op basis van de ESFA studie, en literatuur.

Een overzicht van studies met daarin zowel gegevens van bodem en gewas voor PFOS en PFOA is gegeven in Tabel 3 en Tabel 4. Het betreft uitsluitend veldstudies waarbij grond- en gewasmonsters zijn genomen op locaties waar een verontreiniging heeft plaatsgevonden of nog steeds plaatsvinden. De verontreinigingen kunnen via lucht, water of meststoffen hebben plaatsgevonden (IME 2009), of via meerdere routes (lucht en water) (Liu et al. 2017). Verder zijn er potproeven gedaan met kunstmatige verontreinigde gronden (Stahl et al. 2009), met verontreinigde gronden (Stahl et al. 2013) of met verontreinigde meststoffen (Wen et al. 2014).

Tabel 1. Overzicht van gemeten gewasconcentraties aan PFOS in een aantal relevante landbouwgewassen

gewas	Lab/veld	Aard additie	aantal	LB	UB	ref
				Gemiddelde ug/kg		
<b>Diverse groenten, België</b>	product			0.00324 fw		(Herzke et al. 2013)
<b>Diverse groenten, Tjechie</b>	product			0.00066 fw		
<b>Diverse groenten, Italië</b>	product			0.00566 fw		
<b>Diverse groenten, Noorwegen</b>	product					
<b>Groenten</b>	product	onbekend	286 (1163)	0.020	0.12	(EFSA 2012)
<b>Aardappel</b>	product		303(339)	0.0035	0.63	(EFSA 2012)
<b>Bonen noten oilseeds</b>	product		20 (157)	0.0001	0.11	(EFSA 2012)
<b>Fruit</b>	product		34 (136)	0.032	0.085	(EFSA 2012)

Tabel 2. Overzicht van gemeten gewasconcentraties aan PFOA in een aantal relevante landbouwgewassen

gewas	Lab/veld	Aard additie	aantal	LB	UB	ref
				Gemiddelde ug/kg		
<b>Diverse groenten, België</b>				10.3 fw		(Herzke et al. 2013)
<b>Diverse groenten, Tjechie</b>				1.9 fw		
<b>Diverse groenten, Italië</b>				25 fw		
<b>Diverse groenten, Noorwegen</b>				19.9 fw		
<b>Granen</b>	product		79(778)	0.0002	0.1	
<b>Groenten</b>	product	onbekend	285(1162)	0.0039	0.13	(EFSA 2012)
<b>Aardappel</b>	product		303 (339)	0.0009	0.64	(EFSA 2012)
<b>Bonen noten oilseeds</b>	product		20 (157)	0.0031	0.15	(EFSA 2012)
<b>Fruit</b>	product		35(139)	0.0111	0.062	(EFSA 2012)



Tabel 3. Overzicht van beschikbare data met combinaties van bodem- en gewasconcentraties aan PFOS in een aantal relevante landbouwgewassen

gewas	Type studie	Bereik bodem ug/kg ds	Bereik gewas ug/kg ds	Relatie	Aantal data (in relatie)	Ref
Tarwe graan	veld	<0.01-4.27	<0.05-0.86	geen	44	(Liu et al. 2017)
Mais graan	veld	<0.01-35.5	<0.05-0.23	geen	44	
Mais blad	potproef	38500	23100	Tf 0.8-0.96	2	(Navarro et al. 2017)
Tarwe	Veld, additie via biosolids	0.61-40.8	0-35.6 (graan)	lineair	4	(Wen et al. 2014)
Maiskorrel	potproef	0-50000	0-288	TF 0.003-0.008	4	(Stahl et al. 2009)
Rogge graan			0-124	TF 0.004-0.02	6	
Tarwe graan			0-34	TF 0.0002-0.0007	3	
Aardappel			0-34 (fw)	TF 0.0006-0.0007	3	
Aardappel	Veld	317	4	Tf 0.014	1	(Lechner and Knapp 2011)**
Wortel		10-458	5-196	TF 0.43-0.53	2	
Komkommer		556	40	TF 0.07	1	
Gras	veld	35-203	1.2-20.4		5	(Yoo et al. 2011)
Wintertarwe stro/graan	lysimeter	25000	1300-14500 /<1-54.5		2	(Stahl et al. 2013)
Winterrogge stro/graan			754/<1		1	
Koolzaad stro/graan			496/<1		1	
Winterhaver stro/graan			708/3		1	
Tarwe blad	Potproef 30 dagen	200-1000	76.6-136		6	(Zhao et al. 2014)
Mais	veld	26-3697	0.5-93.9		3	(IME 2009)
Gras			1-435.2		3	
Aardappel			0.5-6		3	
Tarwe			0.14.3		3	
Ui		11100-278000		BAF 0.87-2.0	2	3M cited in (Beach et al. 2006)
Gras				BAF 0.24-2.8	4	

gewas	Type studie	Bereik bodem ug/kg ds	Bereik gewas ug/kg ds	Relatie	Aantal data (in relatie)	Ref
Vlas vegetatief zaad				BAF 1.1-1.69 BAF 0.05-0.12	3	
sla				BAF 0.83-2.4	3	
Sojaboon zaad				BAF 0.41-4.3	4	
Tomaat fruit				BAF 0.04-0.09	2	

\* veld: onbedoelde verontreiniging via meststof, lucht of water. \*\*Droge stofpercentage aardappel, komkommer resp. 3.27 , 11 % uit EPA Exposure Handbook \*\*\*TF (shoot/root) and RCF(root/organic normalized soil).

In een 30 dagen durende potproef met tarwe en wel of geen wormen blijken wormen de PFOS concentraties in tarwe te verlagen (Zhao et al. 2014).

Tabel 4. Overzicht van beschikbare data met combinaties van bodem- en gewasconcentraties aan PFOA in een aantal relevante landbouwgewassen

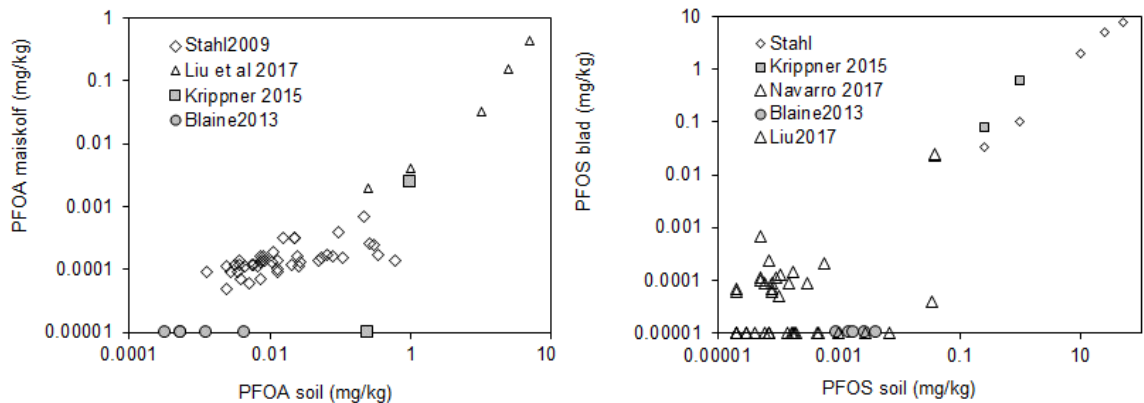
gewas	Type studie*	Bereik bodem ug/kg	Bereik gewas ug/kg	Relatie	Aantal data (in relatie)	Ref
Tarwe graan	veld	<2.2-623	<0.05-39.3	Log-log	44	(Liu et al. 2017)
Mais graan	veld	<1.3-608	<0.05-0.7	Log-log	44	(Liu et al. 2017)
20 varieteiten Sla (Lactuca sativa L.)	potproef	1000	400-3400	TF 0.2-0.86	20	(Xiang et al. 2018)
Tarwe	Veld, additie via biosolids	0.61-26.1	0-2.9 (graan)	Lin-log	4	(Wen et al. 2014)
maiskorrel	potproef	0-50000	0-440	TF 0.003-0.009	5	(Stahl et al. 2009)
Rogge graan			0-1480	TF 0.03-0.12		
Tarwe graan			0-1110	TF 0.01-0.13		
aardappel			0-52 (fw)	TF 0.0007-0.001		
Aardappel	veld	276-795	18-48	Tf 0.06	2	(Lechner and Knapp 2011)**
wortel		676-681	328-333	Tf 0.48-0.49		
komkommer		406-805	346-728	Tf 0.85-0.90		
gras	veld	84-312	9.9-202.7		5	(Yoo et al. 2011)
Wintertarwe stro/graan	lysimeter	25000	1220-2030/39-595		2	(Stahl et al. 2013)
Winterrogge stro/graan			856/11.4		1	
Koolzaad stro/graan			1370/72.7		1	
Winterhaver stro/graan			140/3.5		1	
Tarwe blad	Potproef 30 dagen	200-1000	29.4-136		6	(Zhao et al. 2013)
snijmais	veld	25-315	0.5-6.4		3	(IME 2009)
gras			9.5-254.4		3	
aardappel			3-15		3	
tarwe			0.5-42.9		3	

\* veld: onbedoelde verontreiniging via meststof, lucht of water. \*\*Droge stofpercentage aardappel, komkommer resp. 3.27 , 11 % uit EPA Exposure Handbook

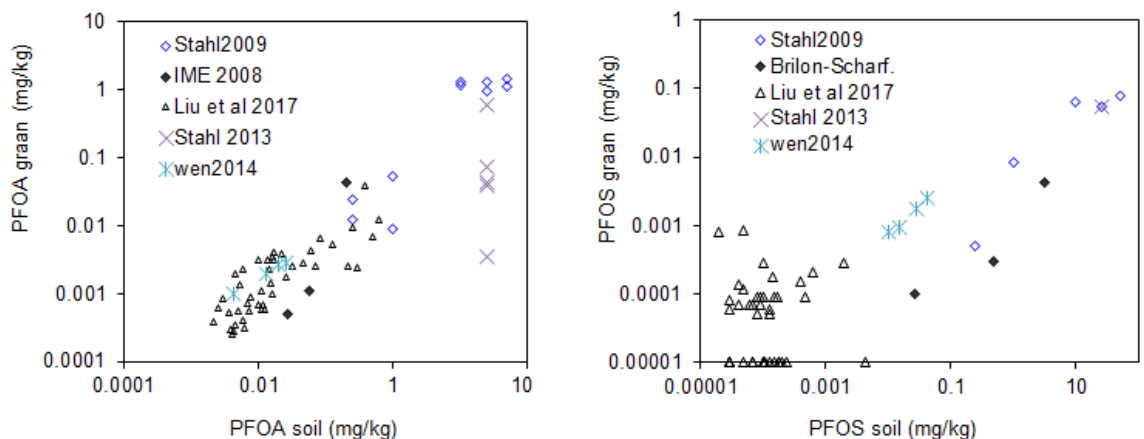
## 2 Afleiding van BCF voor PFOS en PFOA op basis van de literatuurgegevens

In deze paragraaf vatten we de data samen die zijn gevonden voor de relatie tussen concentraties aan PFOS en PFOA in bodem en die in verschillende landbouwgewassen inclusief veevoer (gras en mais).

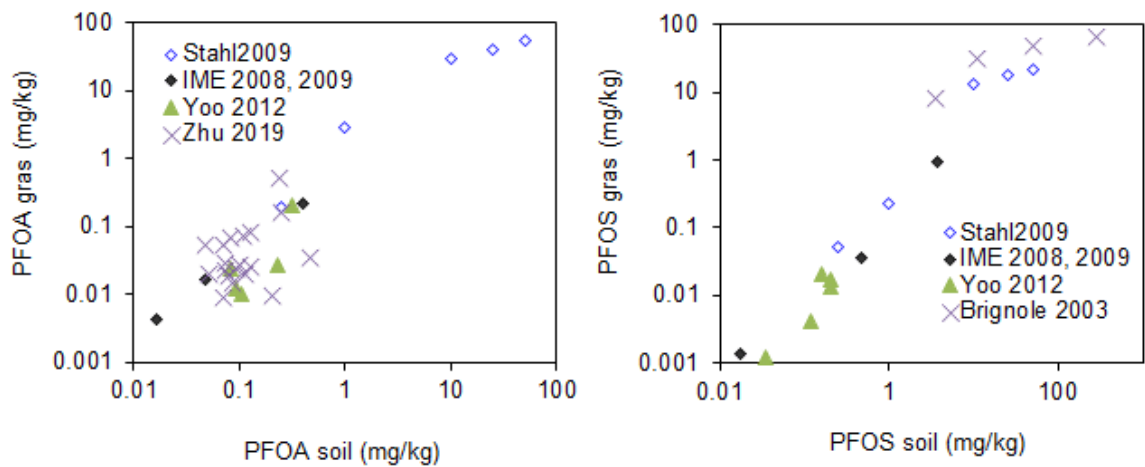
Om te beoordelen of er een relatie tussen de concentraties in de bodem en die in de corresponderende gewassen bestaat zijn in Figuur 1 t/m 3 de concentraties in de gewasproducten uitgezet tegen die in de bodem. Dit betreft verschillende studies met deels sterk verschillende bodems en gewasvariëteiten waarbij ook sprake is van vrijwel onbelaste bodems tot en met –deels artificieel- sterk verontreinigde bodems met concentraties aan PFOS en PFOA die ver boven de normale range in bodems liggen (Tabel 3 en Tabel 4).



Figuur 1. Overdracht van PFOA (a) en PFOS (b) van bodem ( $\text{mg kg}^{-1}$  ds) naar graan van mais (maiskolf;  $\text{mg kg}^{-1}$  ds). Data met een 0-waarde voor PFOS of PFOA in het gewas zijn metingen beneden de detectiegrens voor het gewas.



Figuur 2 Overdracht van PFOA (a) en PFOS (b) van bodem ( $\text{mg kg}^{-1}$  ds) naar graan van tarwe, rogge, gerst en haver ( $\text{mg kg}^{-1}$  ds). Data met een 0-waarde voor PFOS of PFOA in het gewas zijn metingen beneden de detectiegrens voor het gewas.



Figuur 3. Overdracht van PFOA (a) en PFOS (b) van bodem ( $\text{mg kg}^{-1}$  ds) naar gras ( $\text{mg kg}^{-1}$  ds).

Er zijn grote verschillen tussen de concentraties in gewasproducten en bodem waardoor de meeste data niet vergelijkbaar zijn. In het geval van PFOA in tarwegraan en gras is er een duidelijke overlap van data van verschillende auteurs. In het geval van PFOS in tarwegraan is de overlap gering.

Aangezien de relatie tussen PFOS en PFOA in gewasproducten en concentraties in waterculture (Blaine et al. 2014) goed beschreven kunnen worden met een rechte lijn, en de relatie tussen bodemconcentraties en water met Freundlich-achtige vergelijkingen met om en nabij  $n=1$ , of te wel ook met bijna rechte lijnen, is de verwachting dat de relatie tussen gewas en bodem ook te beschrijven is met een rechte lijn of licht gebogen relatie (Freundlich-curve met  $n$  nabij 1). De grootste dataset is gegeven voor PFOA in mais en tarwe graan (Liu et al. 2017) met concentratie in de bodem die variëren over 2 log-eenheden. De relatie tussen PFOA in graan en grond is beschreven als  $\log \text{PFOA}_{\text{graan}} = a \log \text{PFOA}_{\text{grond}} + b$ , waarbij  $a_{\text{mais}}=0,22$  en  $a_{\text{tarwe}}=0,61$ . Dat suggereert dat er geen constante BCF is. Daarentegen geeft Stahl et al (2009) ook data over een groot bereik waarbij de data wel een vrijwel lineaire relatie volgen, en er dus een constante BCF suggereren. Een verklaring hiervoor is mogelijk dat veel gewasdata om en nabij de detectiegrens liggen (zie figuren). Een andere verklaring dat data van verschillende onderzoeken niet op één lijn liggen is dat de relatie bodemafhankelijk is, en afhankelijk van de gewas variëteit.

Twee studies hebben hun bodemconcentraties en BioConcentratieFactor (BCF) uitgedrukt in termen van PFAS per kg bodem of per kg bodemorganische stof, maar onduidelijk is of dat bijdraagt aan het verklaren van de verschillen tussen de BCF's (Wen et al. 2014; Yoo et al. 2011). De bodemafhankelijkheid van de BCF's voor PFOA en PFOS is door Bizkarguenaga et al (2016) en Blaine et al (2014) onderzocht.

Het effect van variëteiten op de BCF is onderzocht voor 20 sla variëteiten bij 2 bodemconcentraties aan PFOA (Xiang et al. 2018). De

verschillen tussen de hoge PFOA en de lage PFOA cultivars is een factor 3,7-5,5. De verschillen tussen twee wortelvariëteiten was significant voor PFOA maar niet voor PFOS (Bizkarguenaga et al. 2016). De bodem-gewasrelaties voor PFOA en PFOS worden dus beïnvloed door bodemeigenschappen en door de gewas variëteiten. Daarom kunnen de BCF waarden tussen studies sterk variëren. Daarom is besloten om de BCF waarden per gewas te gebruiken. Daarbij is de BCF gedefinieerd als de concentratie in het gewasproduct en de concentratie in de grond. De concentratie in het gewas is de concentratie op basis van drogestofconcentratie (veevoeders, granen) of concentraties op basis van versgewichten (aardappel en groenten).

Tabel 5. Overzicht van BCF waarden voor PFOS overdracht van bodem naar gewas. Akkerbouw- en veevoerproducten op basis van drooggewichten, en groenten en aardappel op basis van versgewichten, concentratie in grond steeds op basis van drooggewicht (n = aantal unieke bodem-gewas combinaties)

PFOS	Gewas-concentratie op basis van	Gemiddelde (stdev)	n	referentie
<b>Gerst</b>	ds	0,0001 (-)1	1	(Stahl et al. 2013)
<b>Tarwe</b>	ds	0,82*	1	(Liu et al. 2017)
	ds	0,065 (0,008)	4	(Wen et al. 2014)
	ds	0,0004 (0,00027)	3	(Stahl et al. 2009)
	ds	0,002 (0,002)	3	(IME 2009)
	ds	0,002	1	(Stahl et al. 2013)
<b>Haver</b>	ds	0,008 (0,006) 5	5	(Stahl et al. 2009)
<b>Maissilage</b>	ds	0,086 (0,025)	4	(Stahl et al. 2009)
	ds	0,036 (0,026)	3	(IME 2009)
<b>Gras</b>	ds	1,575 (1,181)	4	Brignole cited in (Beach et al. 2006)
	ds	0,583 (0,455)	5	(Stahl et al. 2009)
	ds	0,137 (0,102)	3	(IME 2009)
	ds	0,069 (0,039)	5	(Yoo et al. 2011)

\*PFOS concentraties net boven detectiegrens, zie figuur 1 en 2. Eén BCF berekend als gemiddelde gewasconcentratie / gemiddelde bodemconcentratie.

Tabel 6 Overzicht van BCF waarden voor PFOA overdracht van bodem naar gewas. Akkerbouw- en veevoerproducten op basis van drooggewichten, en groenten en aardappel op basis van vers gewicht, concentratie in grond steeds op basis van drooggewicht (n = aantal unieke bodem-gewas combinaties)

PFOA	Gewas-concentratie op basis van	Gemiddelde BCF (stdev)	n	referentie
<b>Tarwe</b>	ds	0,124 (0,101)	44	(Liu et al. 2017)
	ds	0,159 (0,053)	4	(Wen et al. 2014)
	ds	0,062 (0,051)	5	(Stahl et al. 2009)
	ds	0,084 (0,112)	3	(IME 2009)
	ds	0,013 (0,016)	2	(Stahl et al. 2013)
<b>Haver</b>	ds	0,058 (0,036)	5	(Stahl et al. 2009)
<b>Rogge</b>	ds	0,0018	1	(Stahl et al. 2013)
<b>Gerst</b>	ds	0,0001	1	(Stahl et al. 2013)
<b>Maissilage</b>	ds	0,125 (0,04)	5	(Stahl et al. 2009)
<b>Gras</b>	ds	0,497 (0,502)	19	(Zhu and Kannan 2019)
	ds	1,865 (1,022)	5	(Stahl et al. 2009)
	ds	0,38 (0,153)	3	(IME 2009)
	ds	0,254 (0,232)	5	(Yoo et al. 2011)

In Tabel 7 (PFOA) en Tabel 8 (PFOS) staan de uiteindelijk geselecteerde waarden voor de BCF zoals gehanteerd in de berekeningen voor de afleiding van de advieswaarden voor de bodem. Hierbij wordt uitgegaan van de geometrisch gemiddelde waarden, gezien de log-normale verdelingen van de bodem-plantgehalten (figuur 1 tot en met 3).

Tabel 7 Voorgestelde (geometrisch) gemiddelde BCF waarden voor PFOA te gebruiken voor berekening van kritische bodemconcentraties

PFOA	DS/vers	Gemiddelde BCF *	Gemiddelde BCF **	referenties
Tarwe	ds	0,115	0,088	(IME 2009; Liu et al. 2017; Stahl et al. 2009; Stahl et al. 2013; Wen et al. 2014)
Haver	ds	0,058		(Stahl et al. 2009)
Maissilage	ds	0,125 <b>(0,0884)</b>	0,091	(Stahl et al. 2009, IME 2009)
Gras	ds	0,662 (0,394)	0,749	(IME 2009; Stahl et al. 2009; Yoo et al. 2011; Zhu and Kannan 2019)

\*gemiddelde van alle bodem-gewascombinaties, \*\*gemiddelde van de verschillende studies

Tabel 8 Voorgestelde (geometrisch) gemiddelde BCF waarden voor PFOS te gebruiken voor berekening van kritische bodemconcentraties

PFOS	DS/vers	Gemiddelde BCF *	Gemiddelde BCF **	referenties
Tarwe	ds	0,091	0,18	(IME 2009; Liu et al. 2017; Stahl et al. 2009; Stahl et al. 2013; Wen et al. 2014)
Haver	ds	0,008		(Stahl et al. 2009)
Maissilage	ds	0,065 <b>(0,0550)</b>	0,061	(Stahl et al. 2009, IME 2009)
Gras	ds	0,587 (0,244)	0,591	Brignole cited in Beach et al (2006)(IME 2009; Stahl et al. 2009; Yoo et al. 2011)

#### Keuze van BCF voor tarwe/granen

Uit de analyse van de brondata blijkt dat voor tarwe er een onevenredig grote invloed is van de dataset van Liu (2017). De gemiddelde BCF op basis van alle data is 2.33 en mede daardoor leidt dit tot een zeer groot aandeel van de inname van PFOS uit tarwe. Dit lijkt tegenstrijdig met de literatuur (Noorlander et al., 2011) waar het aandeel van tarweproducten op de inname van PFOS gering is (< 1% voor bakery products en flour).

In Tabel 9 staat een overzicht van de berekende BCF waarden voor tarwe en alle granen (tarwe, gerst, rogge) waarbij alle data zijn gebruikt danwel de data van Liu eruit gehaald zijn. Voor PFOA blijkt dan dat de data van Liu et al (2017) in dezelfde range liggen als de andere beschikbare data en dat bovendien de data redelijk normaal verdeeld zijn, de mediaan is in veel gevallen vergelijkbaar met de gemiddelde waarde, ofschoon in alle gevallen de hoge uitschieters bijdragen aan een iets hoger gemiddelde in vergelijking met de mediaan.

Voor PFOS is dit beeld echter heel anders, de data van Liu leiden, voor tarwe tot een gemiddelde BCF van 2.33 terwijl de overige data een gemiddelde BCF van 0.025 kennen. Dat geldt ook voor alle graan data wat op zich niet zo vreemd is want de extra data (= graan niet zijnde tarwe) zijn gering in aantal (6 op een totaal van 42). Voor PFOS blijkt bovendien de verdeling extreem scheef waardoor de mediaan veel lager is dan het gemiddelde, zowel alleen voor tarwe als voor alle granen. Ook zonder de data van Liu zijn de verdelingen van PFOS nog steeds scheef en wijkt de mediaan een factor 4 (alle granen) tot 10 (tarwe) af van het



gemiddelde. Omdat dit echter vaker is geconstateerd gebruiken we hier toch de gemiddelde waarde.

Op basis van deze verschillen voor PFOS, die op zich niet verklaarbaar zijn en de eerder gerapporteerde lage inname van PFOS door tarwe, kiezen we hier voor het gebruik van de gemiddelde waarde van de BCF voor zowel PFOS en PFOA waarbij we tevens de BCF gebaseerd op alle granen nemen (PFOS: 0.018; PFOA: 0.107). Deze laatste keuze is gemaakt omdat bij de berekening van de blootstelling de aanname dat mensen niet alleen tarwe eten maar voor een kleiner deel ook gerst en rogge. De hogere waarde voor PFOA vergeleken met PFOS komt daarbij ook weer overeen met data van Noorlander et al (2011) die het aandeel van bakery products en flour op ruim 16% schat.

Tabel 9 Overzicht van de BCF waarden voor tarwe (graan); dikgedrukt de geometrisch gemiddelde waarden nu gebruikt in de berekening

Tarwe	PFOS		n	PFOA		n
	gemiddelde	mediaan		gemiddelde	mediaan	
<b>Alle data</b>	2,332	0,495	36	0,115	0,080	58
<b>Alle data excl. Liu</b>	0,025	0,002	11	0,088	0,075	14
<b>Alle granen</b>	PFOS		n	PFOA		n
	gemiddelde	mediaan		gemiddelde	mediaan	
<b>Alle data</b>	2,000	0,364	42	0,107 <b>(0,0630)</b>	0,076	65
<b>Alle data excl Liu</b>	0,018 <b>(0,0037)</b>	0,004	17	0,072	0,048	21

### 3 Overdracht van PFOS en PFOA naar gras en maissilage gebruikt als veevoer

Anders voor de consumptiegewassen is voor gras dat wordt gebruikt voor veevoer voor koe een bodem plant model gebruikt dat afhankelijk is van het organisch stof concentratie in de bodem volgens Yoo et al. (2011):

$$PFOS_{gras (ds)} = 0.006 * SOM * PFOS_{bodem} \quad \text{Vergelijking 2}$$

$$PFOA_{gras (ds)} = 0.025 * SOM * PFOA_{bodem} \quad \text{Vergelijking 3}$$

Waarbij SOM het organische stof concentratie in de bodem is (uitgedrukt als fractie, hier berekend uit organisch koolstof waarbij organische stof  $1.7 * OC$  is). De concentratie aan PFOS en PFOA in bodem en gewas is in  $\mu g \text{ kg}^{-1} \text{ ds}$ . Voor maissilage is deze functie niet beschikbaar en gebruiken we de BCF voor PFOS (0.065) en PFOA (0.125).

## Bijlage 2. Afleiding van bioconcentratiefactoren voor PFOS in moestuingewassen

### 1. BioConcentratieFactor voor groenten

#### 1.1 Aanpak

In deze paragraaf worden representatieve BioConcentratieFactoren (BCF's) voor PFOS afgeleid. Een BCF is de concentratie van PFOS in gewassen gedeeld door de concentratie van PFOS in de bodem. Er is een verschil gemaakt tussen een representatieve BCF voor aardappel en voor 'overige groenten'. Dit is nodig, omdat in de blootstellingsberekeningen de bijdrage via consumptie van zelf geteelde aardappelen en van zelf geteelde 'overige groenten' verschilt voor het scenario Moestuin.

Standaard wordt in CSOIL voor organische stoffen een BCF berekend op basis van de  $K_{ow}$  (partitiecoëfficiënt octanol-water). Het resultaat is een concentratie in groente gedeeld door een concentratie in het *poriewater*. Voor PFOS is echter geen betrouwbare  $K_{ow}$  beschikbaar. Bovendien is de berekening van het PFOS-concentratie in poriewater lastig voor dergelijke amfifiele stoffen (Moermond, et al., 2010). De bepaling van de BCF voor PFOS vindt daarom empirisch plaats, op basis van gemeten PFOS-concentraties in groenten en *bodem*, verkregen via literatuuronderzoek. Als gevolg wordt de BCF anders dan voor andere organische stoffen in CSOIL uitgedrukt ten opzichte van het PFOS-concentratie in de bodem en niet ten opzichte van het PFOS-concentratie in poriewater. Er wordt geen aandacht besteed aan processen als biobeschikbaarheid in de bodem, opname in de plantenwortel en transport binnen de plant. Dat is immers niet nodig als gebruik gemaakt wordt van empirische meetdata, waarin de invloed van de genoemde processen verdisconteerd is.

### 1.2 Bepaling representatieve BioConcentratieFactor (BCF)

#### 1.2.1 Beschikbare metingen

In totaal werden 10 studies geïdentificeerd waarin opname van PFOS in gewassen werd gemeten. Daaruit werden voor verdere evaluatie zeven studies geselecteerd, waarvan de complete dataset en experimentele condities beschreven waren. Deze zeven studies bevatten gemeten PFOS-concentraties in voor de mens eetbare delen van gewassen die in (moes)tuinen worden verbouwd ('groenten'). Er werd geen gebruik gemaakt van data voor PFOS-concentraties in overige gewassen, zoals typische landbouwgewassen (granen, mais) of grassen. Deze gewassen hebben een eigen karakteristieke opname van stoffen als PFOS en zijn daarom niet representatief voor de accumulatie in typische moestuingewassen.

De zeven studies bevatten gegevens over de accumulatie van PFOS in groenten, waarbij de groenten werden geteeld in een 'bodemachtige matrix'. Met 'bodemachtige matrix' wordt een matrix bedoeld die primair uit bodemmateriaal bestaat, maar toevoegingen kan hebben, zoals afval, zuiveringsslib, kwarts of compost. Het zijn alle zeven studies die in de gematigde streken zijn uitgevoerd. Er is hierbij geen verschil gemaakt voor wat betreft studies die in het veld zijn uitgevoerd of in

potten. In Tabel 1 zijn de gemeten PFOS-concentraties en de berekende BCF's geresumeerd, alsmede de karakteristieken van de metingen gegeven. Naast de PFOS-concentraties in gewas en bodem is weergegeven hoe de BCF's uit verschillende metingen zijn gecombineerd (kolom 'Wijze van combineren'). Het uitgangspunt is dat voor vergelijkbare bodems uit één experiment met dezelfde toevoegingen (rekenkundig en geometrisch) gemiddelde waarden voor de BCF's zijn berekend. Dit is gedaan om niet een te groot accent op de experimenten te leggen waarvoor toevallig veel metingen voor één bodem met toevoeging zijn gedaan. Voor dezelfde bodems met een andere toevoeging zijn de gemeten BCF's separaat beschouwd. Dit resulteert in één of meer BCF's voor iedere groente (kolom 'Waarde per experiment'). Vervolgens is per groente een representatieve BCF berekend als (rekenkundig en geometrisch) gemiddelde van deze BCF's (kolom 'Representatieve waarde per groente'). Alle BCF's in Tabel 1 zijn gegeven op versgewichtsbasis: de PFOS-concentratie per  $\text{kg}_{\text{versgewicht}}$  ( $\text{kg}_{\text{VG}}$ ) in de groente, gedeeld door de PFOS-concentratie per  $\text{kg}_{\text{drooggewicht}}$  ( $\text{kg}_{\text{DG}}$ ) in de bodem.

In Tabel 1 zijn zowel rekenkundig gemiddelden als geometrisch gemiddelden berekend. Per groente en zeker per experiment zijn te weinig data om de statistische verdeling van de BCF's te kunnen bepalen. In de meeste gevallen is een BCF eerder log-normaal dan normaal verdeeld (zoals Fragoulis et al. (2011) constateerden voor BCF's voor het fungicide quinoxifen in regenwormen). Daarom ligt het combineren van BCF's op basis van een geometrisch gemiddelde het meest voor de hand, zowel voor het combineren van individuele BCF's voor een specifieke groente als voor het combineren van BCF's voor specifieke groenten binnen een gewasgroep. De representatieve waarden voor de BCF's van PFOS gebaseerd op geometrische gemiddelde waarden komen iets lager uit dan die gebaseerd op rekenkundig gemiddelde waarden.

Tabel 1: Gemeten PFOS-concentraties, berekende BCF's, de wijze waarop BCF's zijn gecombineerd en de karakteristieken van de metingen

Metingen					Berekende BCF ( $\mu\text{g}/\text{kgVG}$ ) / ( $\mu\text{g}/\text{kgDG}$ )					
Groente	Bodem-materiaal	Bodem-gehalte ( $\mu\text{g}/\text{kgDG}$ )	Groente-gehalte ( $\mu\text{g}/\text{kgVG}$ )	Referentie	Individuele waarde	Wijze van combineren	Waarde per experiment Rekenkundig Gemiddelde    Geometrisch Gemiddelde		Representatieve waarde per groente Rekenkundig Gemiddelde    Geometrisch Gemiddelde	
<b>AARDAPPELS</b>										
aardappel	onbelaste bodem	26	0,20	Schmallenberg, 2008	0,0077	individuele waarde	0,0077	0,0077	0,0022	0,0010
aardappel	gemengde bodem	374	0,10		0,00027	individuele waarde	0,00027	0,00027		
aardappel	bodem met afval	3564	1,2		0,00034	individuele waarde	0,00034	0,00034		
aardappel	bodem met zuiveringsslib	15	<DL	Lechner & Knapp, 2011	-	-	-	-		
aardappel	bodem met zuiveringsslib	317	0,70		0,0022	individuele waarde	0,0022	0,0022		
aardappel	loess met kwarts	10000	7,0	Stahl et al., 2008	0,00070	combinatie Stahl et al., 2008 (3x)	0,00067	0,00067		
aardappel	loess met kwarts	25000	16		0,00064	combinatie Stahl et al., 2008 (3x)				
aardappel	loess met kwarts	50000	34		0,00068	combinatie Stahl et al., 2008 (3x)				
<b>1. KNOL-GEWASSEN</b>										
wortel	bodem met zuiveringsslib	10	0,50	Lechner & Knapp, 2011	0,050	combinatie Lechner & Knapp, 2011 (2x)	0,045	0,045	0,043	0,037
	bodem met zuiveringsslib	458	18		0,040	combinatie Lechner & Knapp, 2011 (2x)				
wortel, Chan, schil	substraat, met compost	348	8,3	Bizkarguenaga et al., 2016 I	0,024	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 I (4x)	0,023	0,023		
	substraat, met compost	371	7,6		0,020	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 I (4x)				
wortel, Chan, hart	substraat,	348	7,8		0,022	combinatie				

Metingen					Berekende BCF ( $\mu\text{g}/\text{kgVG}$ ) / ( $\mu\text{g}/\text{kgDG}$ )					
Groente	Bodem- materiaal	Bodem- gehalte ( $\mu\text{g}/\text{-}$ kgDG)	Groente- gehalte ( $\mu\text{g}/\text{-}$ kgVG)	Referentie	Individuele waarde	Wijze van combineren	Waarde per experiment		Representatieve waarde per groente	
							Reken- kundig Gemid- delde	Geome- trisch Gemid- delde	Reken- kundig Gemid- delde	Geome- trisch Gemid- delde
	met compost									
	substraat, met compost	371	9,4		0,025	Bizkarguenaga et al., 2016 I (4x) combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 I (4x)				
wortel, <i>Chan</i> , schil	zandig leem, met compost	432	21	Bizkarguenaga et al., 2016 II	0,048	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 II (4x)	0,060	0,059		
	zandig leem, met compost	402	21		0,053	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 II (4x)				
wortel, <i>Chan</i> , hart	zandig leem, met compost	432	27		0,064	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 II (4x)				
	zandig leem, met compost	402	31		0,078	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 II (4x)				
wortel, <i>Nan</i> , schil	substraat, met compost	401	9,2	Bizkarguenaga et al., 2016 III	0,023	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 III (4x)	0,018	0,017		
	substraat, met compost	625	7,3		0,012	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 III (4x)				
wortel, <i>Nan</i> , hart	substraat, met compost	401	10		0,025	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 III (4x)				
	substraat, met compost	625	7,8		0,012	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 III (4x)				
wortel, <i>Nan</i> , schil	zandig leem, met compost	324	23	Bizkarguenaga et al., 2016 IV	0,071	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 IV (4x)	0,067	0,067		

Metingen					Berekende BCF ( $\mu\text{g}/\text{kgVG}$ ) / ( $\mu\text{g}/\text{kgDG}$ )					
Groente	Bodem- materiaal	Bodem- gehalte ( $\mu\text{g}/\text{-}$ kgDG)	Groente- gehalte ( $\mu\text{g}/\text{-}$ kgVG)	Referentie	Individuele waarde	Wijze van combineren	Waarde per experiment		Representatieve waarde per groente	
							Reken- kundig Gemid- delde	Geome- trisch Gemid- delde	Reken- kundig Gemid- delde	Geome- trisch Gemid- delde
wortel, <i>Nan</i> , hart	zandig leem, met compost	298	21		0,070	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 IV (4x)				
	zandig leem, met compost	324	18		0,056	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 IV (4x)				
	zandig leem, met compost	298	21		0,071	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 IV (4x)				
radijs	bodem van industriële locatie	50	3,5	Blaine et al., 2014	0,070	combinatie Blaine et al., 2014 (2x)	0,038	0,021	0,150	0,075
	bodem van industriële locatie	319	2,1		0,0066	combinatie Blaine et al., 2014 (2x)				
	bodem met zuiveringsslib	154	40	Wen et al. 2016	0,26	individuele waarde	0,261	0,261		
<b>3. VRUCHT- GEWASSEN</b>										
komkommer	bodem met zuiveringsslib	10	<DL	Lechner & Knapp, 2011	-	combinatie Lechner & Knapp, 2011 (2x)			0,0023	0,0023
	bodem met zuiveringsslib	556	1,3		0,0023	individuele waarde	0,0023	0,0023		
<b>5. BLADGEWASSEN</b>										
sla, hart	zandig leem, met compost	481	73	Bizkarguenaga et al., 2016 I	0,152	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 I (2x)	0,150	0,150		
	zandig leem, met compost	555	82		0,148	combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 I (2x)			0,053	0,029
sla, bladeren	zandig leem,	481	2,4	Bizkarguenaga	0,0051	combinatie	0,007	0,007		

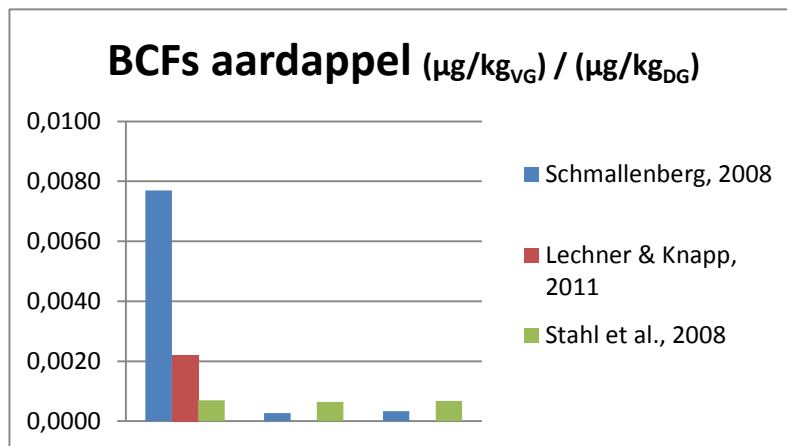
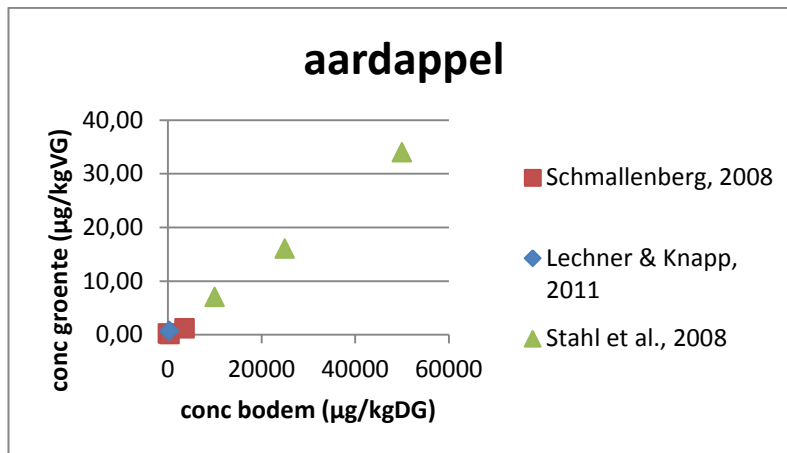
Metingen					Berekende BCF ( $\mu\text{g}/\text{kgVG}$ ) / ( $\mu\text{g}/\text{kgDG}$ )					
Groente	Bodem- materiaal	Bodem- gehalte ( $\mu\text{g}/\text{-}$ kgDG)	Groente- gehalte ( $\mu\text{g}/\text{-}$ kgVG)	Referentie	Individuele waarde	Wijze van combineren	Waarde per experiment		Representatieve waarde per groente	
							Reken- kundig Gemid- delde	Geome- trisch Gemid- delde	Reken- kundig Gemid- delde	Geome- trisch Gemid- delde
	met compost			et al., 2016 II						
	zandig leem, met compost	555	4,6		0,0084	Bizkarguenaga et al., 2016 II (2x) combinatie Bizkarguenaga et al., 2016 II (2x)				
	bodem met zuiveringsslib	154	2,8	Wen et al. 2016	0,018	individuele waarde	0,018	0,018		
sla	bodem van industriële locatie	50	3,8	Blaine et al., 2013 I	0,077	individuele waarde	0,077	0,077		
sla	bodem uit woongebied	319	4,7	Blaine et al., 2013 II	0,015	individuele waarde	0,015	0,015		
<b>6. VERSE PEULVRUCHTEN</b>										
snijboon	bodem van industriële locatie	79	0,26	Blaine et al., 2014	0,0033	individuele waarde	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033
	bodem van industriële locatie	319	<DL		-	-				
alphaalpha	bodem met zuiveringsslib	154	2,9	Wen et al. 2016	0,019	individuele waarde	0,019	0,019	0,019	0,019
<b>8. STENGEL- GEWASSEN</b>										
selderij	bodem van industriële locatie	50	9,7	Blaine et al., 2014	0,20	combinatie Blaine et al., 2014 (2x)	0,10	0,038		
	bodem van industriële locatie	319	2,4		0,0075	combinatie Blaine et al., 2014 (2x)			0,10	0,038

Voordat de gemiddelde waarden van de BCF per groente worden berekend, wordt eerst een evaluatie gemaakt van de gemeten data. Hierbij wordt gekeken naar de concentraties in de bodem en het patroon in de BCF's. Voor wat betreft de concentraties in de bodem zijn gemeten BCF's in het bereik van een concentratie in de bodem in de ordegrrootte van de humane risicogrens het meest relevant. Alhoewel deze humane risicogrens bij voorbaat onbekend is, kan een inschatting worden gemaakt of de concentratie in de bodem met een representatieve BCF in de bodem correspondeert. In het algemeen neemt de BCF af bij hogere concentraties in de bodem. Daarom zou een hoge concentratie een onderschatting van de BCF kunnen betekenen voor de BCF rondom de concentratie in de bodem gelijk aan de humane risicogrenswaarde. Een zeer lage concentratie zou daarentegen een overschatting van de BCF kunnen betekenen voor de BCF rondom de concentratie in de bodem gelijk aan de humane risicogrenswaarde. Wat betreft het patroon in de BCF's wordt gekeken naar uitschieters: waarden voor de BCF die afwijken van de meeste andere waarden. Deze worden niet in beschouwing genomen.

#### *1.2.2 Evaluatie gemeten data*

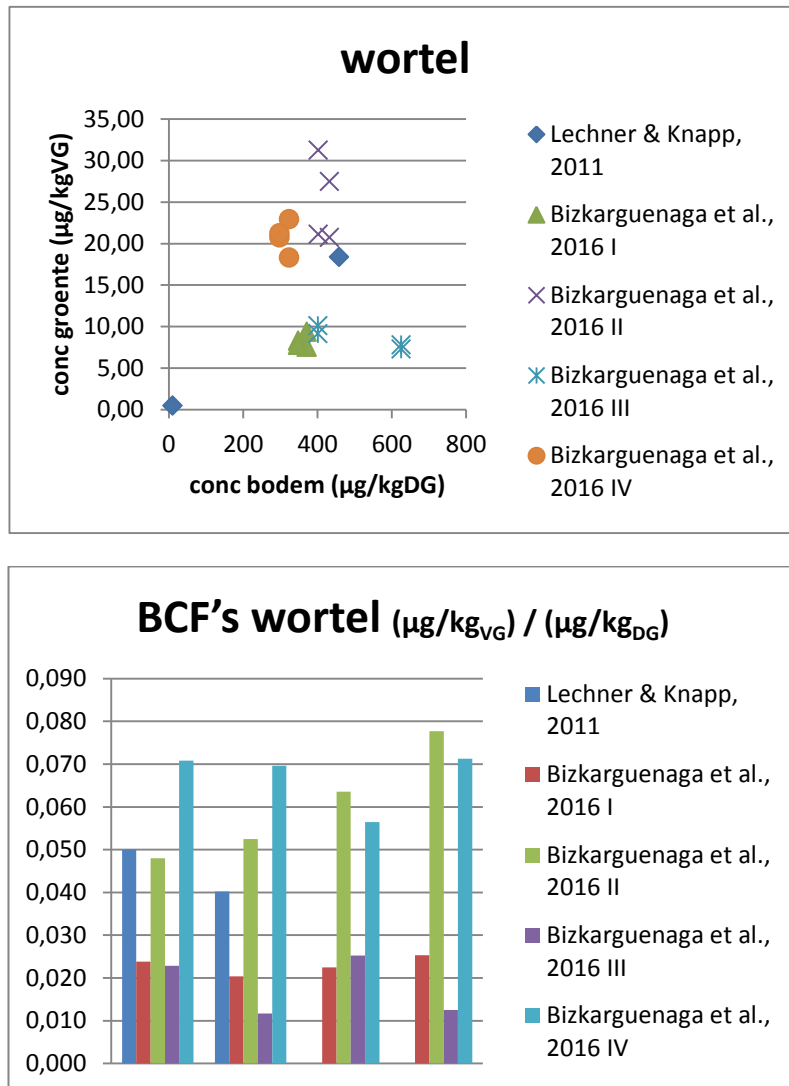
In Figuur 1 zijn de gemeten PFOS-concentraties in bodem en groente voor aardappel en de hieruit resulterende BCF's weergegeven. De meetdata uit Stahl et al. (2008) zijn in een veel hoger bereik van de PFOS-concentratie in de bodem gemeten. Omdat de BCF's niet duidelijk afwijken van de overige BCF's in Figuur 1 zijn deze toch in beschouwing genomen. Eén BCF resulterend uit Schmallenberg (2008) is beduidend hoger dan de overige BCF's. Deze BCF resulteert uit een meting bij een lage concentratie in bodem van  $26 \mu\text{g}/\text{kg}_{\text{DG}}$ , zodat een lagere BCF te verwachten is. Omdat het verschil niet heel groot is ('geen ordegrroottes verschil') vergeleken met de andere BCF's en dit hooguit in een conservatievere overall BCF resulteert, is deze waarde toch in beschouwing genomen in de berekening van een representatieve BCF voor aardappel.





Figuur 1: Gemeten PFOS-concentraties in bodem en groente voor aardappel (boven) en de hieruit resulterende BCF's (onder) BCF's op versgewichtsbasis

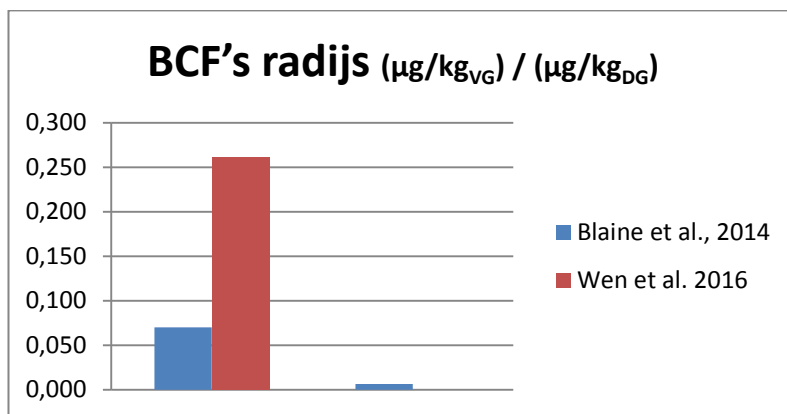
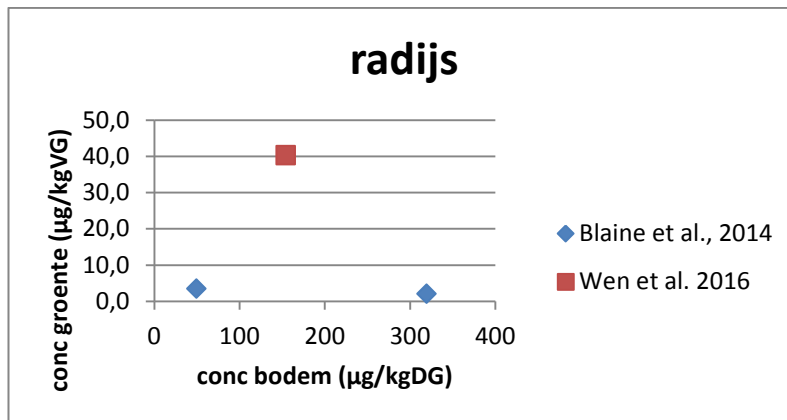
In Figuur 2 zijn de gemeten PFOS-concentraties in bodem en groente voor wortel en de hieruit resulterende BCF's weergegeven. Er lijkt geen duidelijk relatie te zijn tussen de PFOS-concentraties in bodem en wortel. Uit de BCF's is te concluderen dat de variatie binnen een specifieke studie gering is. De variatie in de BCF's tussen de studies onderling is groter, maar het verschil tussen de laagste en de hoogste BCF is niet meer dan een factor 10. Eén van de twee metingen van Lechner en Knapp (2011) heeft een lage PFOS-concentratie in de bodem van 10 µg/kg<sub>DG</sub>. Omdat de hieruit resulterende BCF rondom de gemiddelde BCF uit de hele serie BCF's voor wortel ligt, is deze waarde toch in beschouwing genomen. De conclusie is dat alle weergegeven data in Figuur 2 in beschouwing worden genomen in de berekening van een representatieve BCF voor wortel.



Figuur 2: Gemeten PFOS-concentraties in bodem en groente voor wortel (boven) en de hieruit resulterende BCF's (onder)

BCF's op versgewichtsbasis

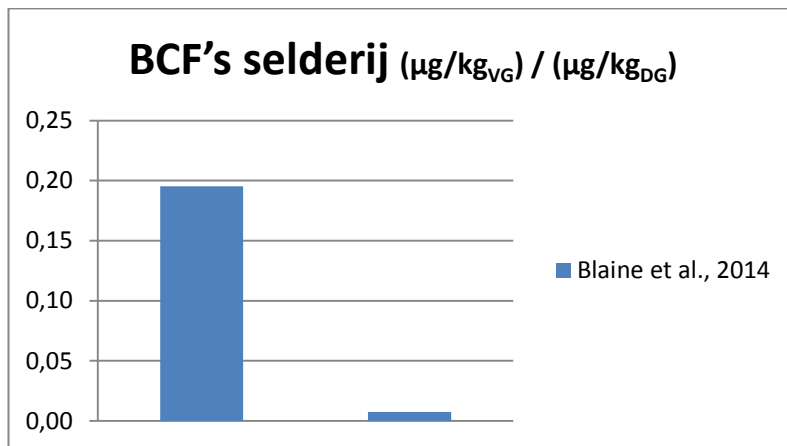
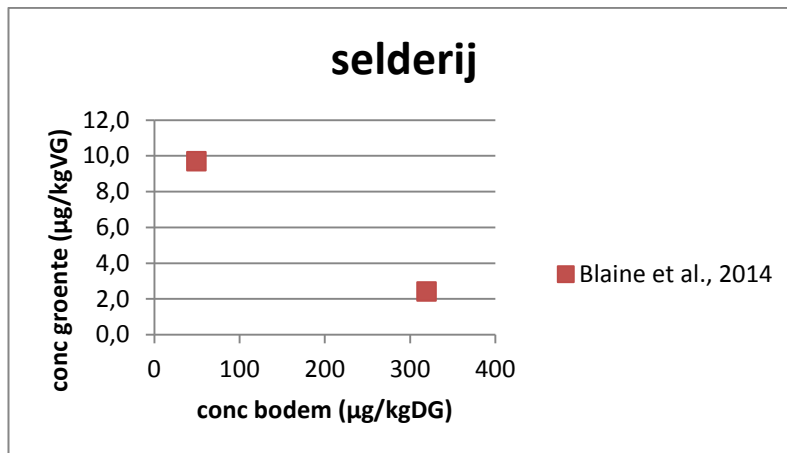
In Figuur 3 zijn de gemeten PFOS-concentraties in bodem en groente voor radijs en de hieruit resulterende BCF's weergegeven. Er zijn maar drie meetdata uit twee studies beschikbaar. Er lijkt geen duidelijke relatie te zijn tussen de PFOS-concentraties in bodem en radijs, maar dat zegt niet veel op grond van een dergelijke kleine dataset. Eén van de twee BCF's uit Blaine et al. (2014) resulteert in een lage BCF. Aangezien de meting betrouwbaar lijkt en in dezelfde industriële bodem is gemeten als de andere meting uit Blaine et al. (2014) wordt deze toch in beschouwing genomen. De conclusie is dat alle drie de weergegeven data in Figuur 3 in beschouwing worden genomen in de berekening van een representatieve BCF voor radijs.



Figuur 3: Gemeten PFOS-concentraties in bodem en groente voor radijs (boven) en de hieruit resulterende BCF's (onder)

BCF's op versgewichtsbasis

In Figuur 4 zijn de gemeten PFOS-concentraties in bodem en groente voor selderij en de hieruit resulterende BCF's weergegeven. Er zijn maar twee meetdata uit één studie beschikbaar. Opvallend is dat bij de hogere PFOS-concentratie in de bodem een lagere PFOS concentratie in de selderij gemeten wordt. Op grond van deze geringe data kan geen uitspraak worden gedaan over de kwaliteit van de twee metingen. Daarom worden beide metingen in beschouwing genomen in de berekening van een representatieve BCF voor selderij.



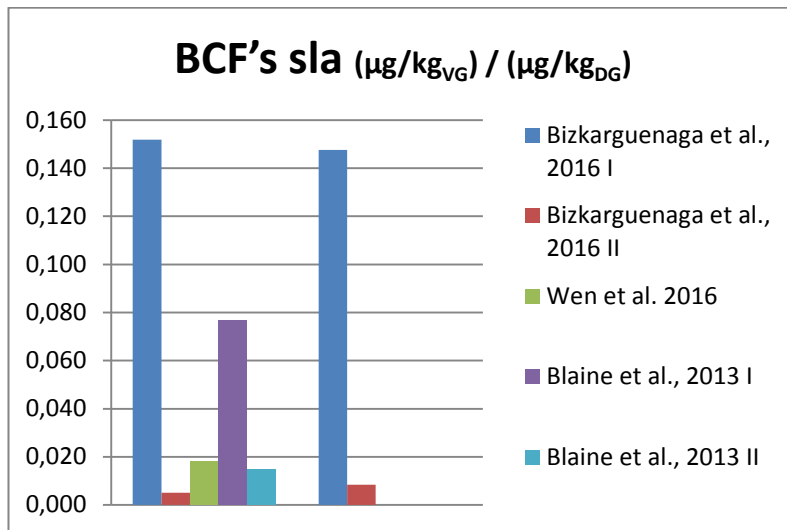
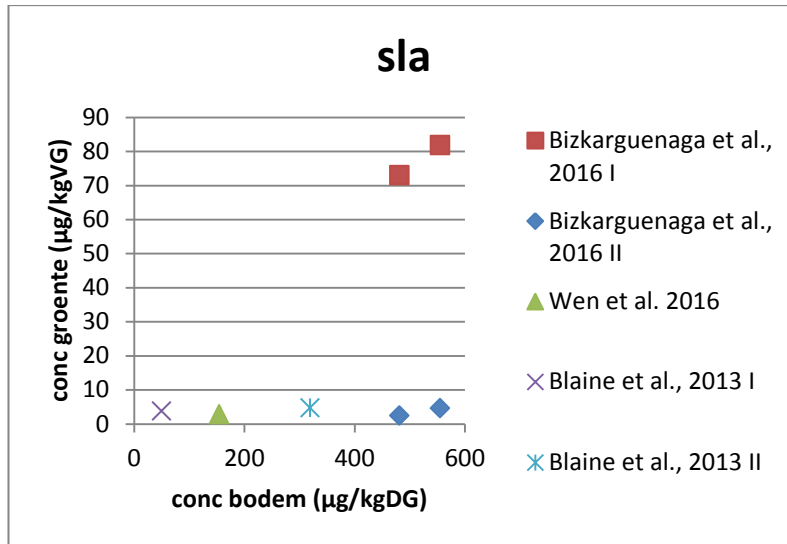
Figuur 4: Gemeten PFOS-concentraties in bodem en groente voor selderij (boven) en de hieruit resulterende BCF's (onder)

BCF's op versgewichtsbasis

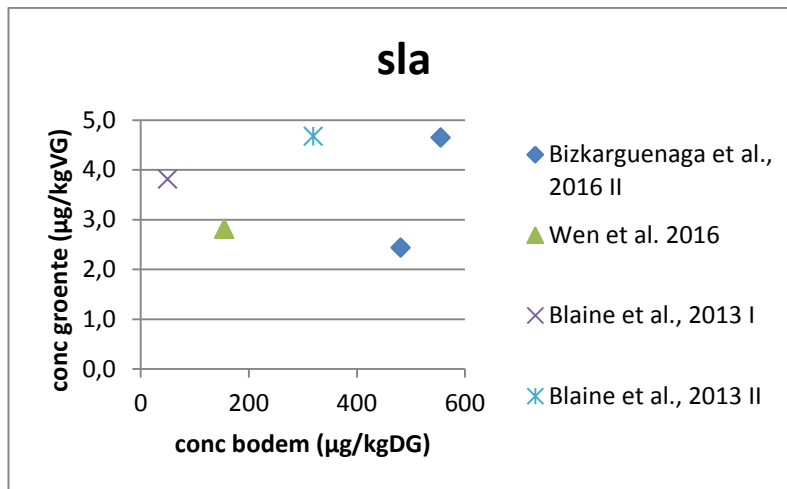
In Figuur 5 zijn de gemeten PFOS-concentraties in bodem en groente voor sla en de hieruit resulterende BCF's weergegeven. Opvallend is dat de metingen uit Bizkarguenaga et al., 2016 I sterk afwijken; de gemeten PFOS-concentraties in sla zijn veel hoger. In Figuur 6 zijn de gemeten PFOS-concentraties in bodem en groente voor sla weergegeven, zonder de meetwaarden uit Bizkarguenaga et al., 2016 I. In deze data lijkt er een geringe relatie te bestaan tussen de PFOS-concentraties in de bodem en in sla, waarbij de invloed van het PFOS-concentratie in de bodem gering is.

De metingen uit Bizkarguenaga et al., 2016 I zijn op dezelfde bodem uitgevoerd met dezelfde bodem en toevoeging als in Bizkarguenaga et al., 2016 II, namelijk zandig leem met compost. In Bizkarguenaga et al., 2016 I zijn echter de PFOS-concentraties in het hart van de sla gemeten, terwijl in Bizkarguenaga et al., 2016 II in analogie met de meetdata uit Wen et al. (2016) en uit Blaine et al. (2014) de PFOS-concentraties in de slabloden gemeten zijn. Het hart van de sla is een relatief klein onderdeel van de slaplant, maar wordt wel geconsumeerd. En omdat het een meer conservatieve benadering is, worden de beide meetdata toch meegenomen. De conclusie is dat alle zeven weergegeven

data in Figuur 5 in beschouwing worden genomen in de berekening van een representatieve BCF voor sla.



Figuur 5: Gemeten PFOS-concentraties in bodem en groente voor sla (boven) en de hieruit resulterende BCF's (onder) BCF's op versgewichtsbasis



Figuur 6: Gemeten PFOS-concentraties in bodem en groente voor sla (boven) en de hieruit resulterende BCF's (onder), zonder de meetdata uit Bizkarguenaga et al., 2016 I

### 1.2.3 Berekening representatieve BCF-waarden

De berekening van representatieve BCF's voor aardappel en voor 'overige groenten' is weergegeven in Tabel 2. In deze tabel zijn de gemiddelde BCF-waarden voor PFOS weergegeven van de groenten die werden geëvalueerd in paragraaf 1.2.2. Tevens zijn weegfactoren in de tabel weergegeven op basis van de relatieve consumptiehoeveelheden, zowel voor individuele groenten als voor de gewasgroepen. De relatieve consumptiehoeveelheden zijn ontleend aan Versluijs en Otte (2001). Voor selderij en alfaalfa ontbreekt een weegfactor in Versluijs en Otte (2001). Voor selderij wordt een weegfactor gelijk aan de waarde voor de gehele groep 'Stengelgewassen' genomen van 0,4%. Er bevinden zich maar twee groenten in deze groep. De 0,4 als weegfactor is een conservatieve schatting. Voor alfaalfa wordt een dagelijkse consumptiehoeveelheid van 0,21 g<sub>DG</sub>/dag verondersteld (Kistemaker et al., 1998). Uitgaande van een vochtconcentratie van 90% is dat 0,021 g<sub>VG</sub>/dag, hetgeen correspondeert met een weegfactor van 0,05%. Vervolgens is een representatieve BCF voor 'overige groenten' berekend als een consumptiehoeveelheid-gewogen gemiddelde, berekend op basis van de consumptiehoeveelheden *per gewasgroep*. De gewasgroepen waarvan meer geconsumeerd wordt, wegen dus zwaarder mee in de bepaling van het representatieve PFOS-concentratie in 'overige groenten'.

Tabel 2: Berekening van representatieve BCF's voor PFOS voor aardappel en voor 'overige groenten'

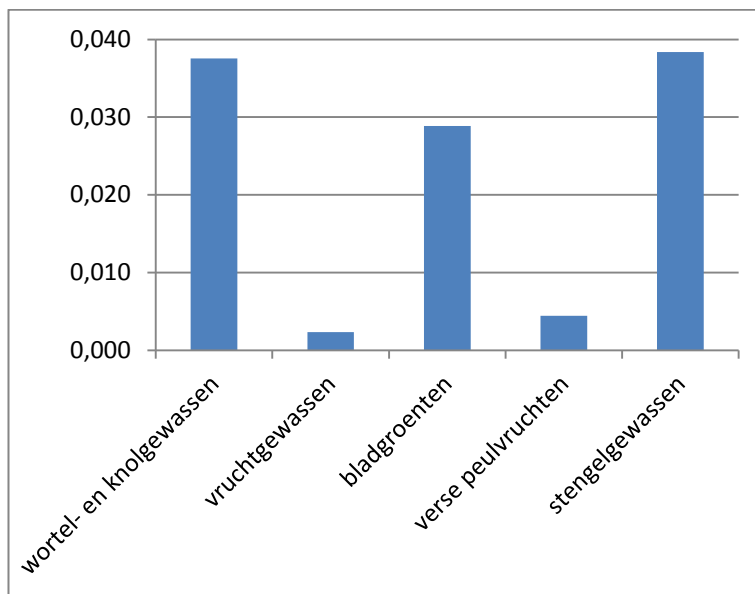
Gewasgroep	Groente	consumptie-gerelateerde wegingsfactor (-)		BCF ( $\mu\text{g}/\text{kgVG}$ ) / ( $\mu\text{g}/\text{kgDG}$ )			
		Groente	Gewasgroep	Groente	Gewasgroep	Groente	Gewasgroep
				rekenkundig gemiddelde	rekenkundig gemiddelde	geometrisch gemiddelde	geometrisch gemiddelde
aardappel	aardappel	61,6	61,6	0,0022	0,0022	0,0010	0,0010
wortel- en knolgewassen	wortelen	3,4	5,1	0,043	0,044	0,037	0,037
	radijs	0,05		0,150		0,075	
bolgewassen	ontbreekt	-	7,7	ontbreekt	ontbreekt	ontbreekt	ontbreekt
vruchtgewassen	komkommer	0,6	5	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023
kolen	ontbreekt	-	7,6	ontbreekt	ontbreekt	ontbreekt	ontbreekt
bladgroenten	sla	0,8	4,4	0,053	0,053	0,029	0,029
verse peulvruchten	snijboon	0,6	6,9	0,0033	0,0044	0,0033	0,0033
	alfaalfa	0,05		0,019		0,019	
bonen	ontbreekt	-	1,2	ontbreekt	ontbreekt	ontbreekt	ontbreekt
stengelgewassen	selderij	0,4	0,4	0,10	0,10	0,038	0,038
alle groenten:		99,9					
				<b>Repr. BCF PFOS aardappel:</b> ( $\mu\text{g}/\text{kgVG}$ ) / ( $\mu\text{g}/\text{kgDG}$ ) groep 1		<b>Repr. BCF PFOS 'overige groenten'</b> ( $\mu\text{g}/\text{kgVG}$ ) / ( $\mu\text{g}/\text{kgDG}$ ) groep 2 t/m 9	
gebaseerd op rekenkundig gemiddelden:				0,0022		0,025	
<b>gebaseerd op geometrisch gemiddelden:</b>				<b>0,0010</b>		<b>0,017</b>	

De representatieve BCF voor PFOS voor aardappel is direct uit Tabel 2 af te lezen en bedraagt 0,0010 ( $\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{VG}}$ ) / ( $\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{DG}}$ ). De representatieve BCF voor PFOS voor 'overige groenten' is 0,017 ( $\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{VG}}$ ) / ( $\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{DG}}$ ). Hierbij is uitgegaan van het geometrisch gemiddelde van de BCF's van de gewasgroepen als meest geschikte waarde.

### Evaluatie

De onderbouwing van de BCF voor aardappelen is relatief goed (zeven gepaarde meetdata, uit drie verschillende onderzoeken).

In Figuur 7 zijn voor de 'overige groenten' de BCF's per gewasgroep weergegeven. Hieruit is te concluderen dat de BCF afneemt in de volgorde wortel- en knolgewassen  $\approx$  bladgroenten  $\approx$  stengelgewassen  $>$  > verse peulvruchten  $\approx$  vruchtgewassen.

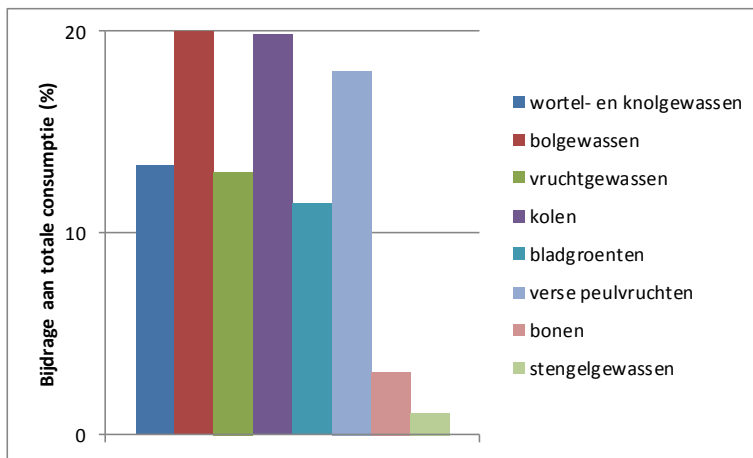


Figuur 7: BCF's per gewasgroep binnen de categorie 'overige groenten'

De onderbouwing van de BCF voor wortel- en knolgewassen is relatief goed (twee verschillende gewassen, met met name veel meetdata voor wortel, uit vier verschillende onderzoeken). De onderbouwing voor de BCF voor bladgroenten (slechts één gewas en vijf gepaarde meetdata) is matig. De onderbouwing van de BCF voor vruchtgewassen, verse peulvruchten en de stengelgewassen) is slecht (voor alle drie de gewasgroepen slechts één gewas en twee gepaarde meetdata). De verwachting is dat de onderbouwing van de overall BCF voor 'overige groenten' iets beter is, omdat er een zekere uitmiddeling plaatsvindt.

In Figuur 8 is de bijdrage per gewasgroep aan de totale consumptie te zien, inclusief de gewasgroepen, waarvoor geen data voor PFOS beschikbaar zijn. Hieruit is te concluderen dat de meeste gewasgroepen een grote bijdrage aan de totale consumptie leveren, behalve stengelgewassen en in mindere mate bonen. Een tekortkoming in de berekening van de BCF voor PFOS voor 'overige groenten' is daarom het gebrek aan data voor groenten behorend bij de bolgewassen (uien en prei) en kolen (met name bloemkool, boerenkool en spruitjes).





Figuur 8: Bijdrage per gewasgroep aan de totale consumptie

## Bijlage 3. CSOIL blootstellingsberekeningen voor PFAS in moestuinen

## 1. Blootstellingsberekeningen CSOIL 3.0 beta PFOS

<b>Naam gebruiker model bestandsnaam</b>	Gebruiker CSOIL	<b>datum versie</b>	3 dec 2018 1.0
<b>contaminant Bodemgebruik</b>	<b>PFOS</b> volks,- moestuin	<b>CASnr. considered receptor</b>	62037-80-3 levenslang gemiddeld
<b>opmerkingen</b>			

## Humane risico grenswaarden

		mg/kg	ug/kg
SRC humaan risico index	0,0000920 g/kg 1,0055 (levenslang gemiddeld)	0,092	92
bodemgehalte C gw-max	0,0000920 g/kg 1,96E-04 ug/dm <sup>3</sup>		

## Bijdrage blootstellingsroutes kind, volwassene, levenslang gemiddelde

in g/kg l.g. *d	in g/kg l.g. *d				
	ingestie grond	dermale opname binnen grond	dermale opname buiten grond	inhalatie grond	inhalatie binnenlucht
kind	6,13333E-10	1,9E-12	3,75735E-11	1,4E-12	9,32751E-22
volwassene	6,57143E-11	5,9E-13	7,16368E-12	8,2E-13	5,68783E-22
levenslang gemiddeld	1,12653E-10	7E-13	9,77024E-12	8,7E-13	5,9998E-22

	inhalatie buitenlucht	consumptie gewas eigen tuin	consumptie drinkwater	inhalatie damp douchen	dermale opname baden
kind	6,92102E-23	7,9E-09	3,44504E-19	9,1E-24	4,11647E-22
volwassene	7,73044E-24	6E-09	1,47644E-19	5,1E-24	1,67135E-22
levenslang gemiddeld	1,30001E-23	6,2E-09	1,64518E-19	5,5E-24	1,88093E-22

#### Procentuele bijdrage blootstellingsroutes kind, volwassene, levenslang

in %					
	ingestie grond	dermale opname binnen grond	dermale opname buiten grond	inhalatie grond	inhalatie binnenlucht
kind	7,15%	0,02%	0,44%	0,02%	0,00%
volwassene	1,08%	0,01%	0,12%	0,01%	0,00%
levenslang gemiddeld	1,79%	0,01%	0,16%	0,01%	0,00%
	inhalatie buitenlucht	consumptie gewas eigen tuin	consumptie drinkwater	inhalatie damp douchen	dermale opname baden
kind	0,00%	92,37%	0,00%	0,00%	0,00%
volwassene	0,00%	98,78%	0,00%	0,00%	0,00%
levenslang gemiddeld	0,00%	98,03%	0,00%	0,00%	0,00%

**Concentraties in relevante milieucompartimenten**

bodem (mg/kg ds)	0,092			binnenlucht (mg/m <sup>3</sup> )	2,09E-18
poriewater (mg/dm <sup>3</sup> )	4,22E-03			kruipruimte (mg/m <sup>3</sup> )	2,09E-17
porielucht (mg/dm <sup>3</sup> )	8,02E-09	C-blad (mg/kg vers)	1,65E-03		
		C-knol/aardappel (mg/kg vers)	9,20E-05		

**Invoer gegevens**

<i>beschrijving</i>	<i>symbool</i>	<i>waarde</i>	<i>eenheid</i>
type stof	0	<b>organische contaminant</b>	
<b>stofspecifieke parameters</b>			
molmassa	M	500,00	[g/mol]
wateroplosbaarheid	S	3,70E+02	[mg/dm <sup>3</sup> ]
dampdruk zuivere stof	Vp	3,31E-03	[Pa]
octanol-water verdelingscoëfficiënt	log Kow	2,57E+00	[-]
organisch koolstof gecorrigeerde verdelingscoëff.	log Koc	2,57E+00	[dm <sup>3</sup> /kg]
permeatie coëfficiënt pe waterleiding	Dpe	2,69E-16	[m <sup>2</sup> /d]
partiticoëfficiënt metalen	log Kp (metaal)	n.v.t.	[dm <sup>3</sup> /kg]
zuurdissociatieconstante	pKa	-3,27E+00	[-]
fractie niet gedissocieerde stof	fnd	5,37E-10	[-]
bcf metalen (groenten)			[(mg/kg d.g.) / (mg/kg d.g.)]
bcf metalen (aardappel)			[(mg/kg d.g.) / (mg/kg d.g.)]
bcf organische stoffen (blad)	BCF_L_vers	0,017	[(mg/kg v.g.) / (mg/kg)]
bcf organische stoffen (wortel)	BCF_R_vers	0,001	[(mg/kg v.g.) / (mg/kg)]

**Criteria gezondheidsrisico**

<b>beschrijving</b>	<b>symbool</b>		<b>waarde</b>	<b>eenheid</b>
maximaal toelaatbaar risiconiveau mens	MTR		6,25E-06	[mg/(kg l.g. d)]
toelaatbare concentratie lucht tdi inhalatoir kind	TCL	NA		[mg/m3]
tdi inhalatoir volwassene	MTR_LC			[mg/(kg l.g. d)]
	MTR_LA			[mg/(kg l.g. d)]

**Locatie specifieke gegevens**

<b>beschrijving</b>	<b>symbool</b>		<b>waarde</b>	<b>eenheid</b>
bodemgehalte	CS		9,20E-02	[mg/kg d.w.]
bodemtemperatuur	T		283	[K]
volume lucht fractie in bodem	Va		0,20	[-]
volume water fractie in bodem	Vw		0,30	[-]
volume vaste fractie in bodem	Vs		0,50	[-]
fractie organische koolstof	foc		0,0580	[-]
lutum gehalte	L		25	[%]
pH	pH		6,00	[-]
bulkdichtheid droge grond	SD		1200,00	[kg/dm3]

**Model parameter waarden**

<b>beschrijving</b>	<b>symbool</b>	<b>waarde</b>	<b>eenheid</b>
gasconstante	R	8,31	[Pa.m3/mol.k]
grenslaagdikte	d	0,01	[m]
diepte verontreiniging t.o.v maaiveld	dp	1,25	[m]
ventilatievoud kruipruimte	Vv	1,10	[1/h]
hoogte kruipruimte	Bh	0,50	[m]
bijdrage kruipruimte lucht aan binnenlucht (fractie)	fbi	0,10	[-]
diameter verontr. gebied	Lp	100	[m]
verhouding droog/vers aardappelen of knolgroente	fdwr	0,167	[-]
verhouding droog/vers bladgroente	fdws	0,098	[-]
depositie constante	dpconst	1,00E-02	[-]
fractie grond in stof binnen	frsi	0,80	[-]
fractie grond in stof buiten	frso	0,50	[-]
verdunningsfactor poriewater - grondwater	fdil	1,00	[-]
temperatuur badwater	Tsh	313	[K]
drinkwaterconstante	dwconst	45,60	[-]
fractie blootgestelde huid douchen	fexp	4,00E-01	[-]
retentiefactor deeltjes in longen	fr	7,50E-01	[-]
relatieve absorptiefactor algemeen (excl grond)	Fa	1,00E+00	[-]
relatieve absorptiefactor grond	Fag	1,00E+00	[-]
matrixfactor dermale absorptie	fm	1,50E-01	[-]
douchetijd per keer	tdc	2,50E-01	[h/d]
verblijf in badkamer	td	5,00E-01	[h]
type waterleiding	waterl	1,00E+00	code 1 = PE / code 0 = metaal
fractie verontreinigde aardappel of knolgewas	Fvk	5,00E-01	[-]
fractie verontreingd bladgewas	Fvb	1,00E+00	[-]

### Blootstellingsberekeningen CSOIL 3.0 beta PFOA

<b>naam gebruiker</b>	Gebruiker	<b>datum</b>	3 dec 2018
<b>model</b>	CSOIL	<b>versie</b>	1.0
<b>bestandsnaam</b>			
<b>contaminant</b>	<b>PFOA</b>	<b>CASnr.</b>	62037-80-3
<b>Bodemgebruik</b>	<b>volks,- moestuin</b>	<b>considered receptor</b>	levenslang gemiddeld
<b>opmerkingen</b>			

### Humane risico grenswaarden

SRC humaan	0,0000860 g/kg	86 ug/kg
risico index	1,0043 (levenslang gemiddeld)	
bodemgehalte	0,0000860 g/kg	
C gw-max	3,93E-04 ug/dm3	

### Bijdrage blootstellingsroutes kind, volwassene, levenslang gemiddelde

in g/kg l.g. *d					
	ingestie grond	dermale opname binnen grond	dermale opname buiten grond	inhalatie grond	inhalatie binnenlucht
kind	5,73333E-10	1,8E-12	3,51231E-11	1,3E-12	1,12909E-12
volwassene	6,14286E-11	5,5E-13	6,69648E-12	7,7E-13	6,88507E-13
levenslang gemiddeld	1,05306E-10	6,6E-13	9,13305E-12	8,2E-13	7,26271E-13
	inhalatie buitenlucht	consumptie gewas eigen tuin	consumptie drinkwater	inhalatie damp douchen	dermale opname baden
kind	7,12624E-16	1,7E-08	1,19296E-12	1,1E-14	3,2893E-13
volwassene	7,95967E-17	1,2E-08	5,11271E-13	6,1E-15	1,33551E-13
levenslang gemiddeld	1,33856E-16	1,2E-08	5,69702E-13	6,5E-15	1,50298E-13

**Procentuele bijdrage blootstellingsroutes kind, volwassene, levenslang**

in %					
	ingestie grond	dermale opname binnen grond	dermale opname buiten grond	inhalatie grond	inhalatie binnenlucht
kind	3,32%	0,01%	0,20%	0,01%	0,01%
volwassene	0,51%	0,00%	0,06%	0,01%	0,01%
levenslang gemiddeld	0,84%	0,01%	0,07%	0,01%	0,01%
	inhalatie buitenlucht	consumptie gewas eigen tuin	consumptie drinkwater	inhalatie damp douchen	dermale opname baden
kind	0,00%	96,45%	0,01%	0,00%	0,00%
volwassene	0,00%	99,42%	0,00%	0,00%	0,00%
levenslang gemiddeld	0,00%	99,07%	0,00%	0,00%	0,00%

**Concentraties in relevante milieucompartimenten**

bodem (mg/kg ds)	0,086			binnenlucht (mg/m <sup>3</sup> )	2,53E-09
poriewater (mg/dm <sup>3</sup> )	1,24E-02			kruipruimte (mg/m <sup>3</sup> )	2,53E-08
porielucht (mg/dm <sup>3</sup> )	8,27E-06	C-blad (mg/kg vers)	3,09E-03		
		C-knol/aardappel (mg/kg vers)	1,03E-03		



**Invoer gegevens**

<b>beschrijving</b>	<b>symbool</b>	<b>waarde</b>	<b>eenheid</b>
type stof	0	<b>organische contaminant</b>	
<b>stofspectifieke parameters</b>			
molmassa	M	414,07	[g/mol]
wateroplosbaarheid	S	7,09E+03	[mg/dm <sup>3</sup> ]
dampdruk zuivere stof	Vp	2,68E+01	[Pa]
octanol-water verdelingscoëfficiënt	log Kow	4,81E+00	[-]
organisch koolstof gecorrigeerde verdelingscoëff.	log Koc	2,06E+00	[dm <sup>3</sup> /kg]
permeatie coëfficiënt pe waterleiding	Dpe	3,15E-10	[m <sup>2</sup> /d]
partitiecoëfficiënt metalen	log Kp (metaal)	n.v.t.	[dm <sup>3</sup> /kg]
zuurdissociatieconstante	pKa	2,80E+00	[-]
fractie niet gedissocieerde stof	fnd	6,31E-04	[-]
bcf metalen (groenten)			[(mg/kg d.g.) / (mg/kg d.g.)]
bcf metalen (aardappel)			[(mg/kg d.g.) / (mg/kg d.g.)]
bcf organische stoffen (blad)	BCF_L_vers	0,035	[(mg/kg v.g.) / (mg/kg)]
bcf organische stoffen (wortel)	BCF_R_vers	0,012	[(mg/kg v.g.) / (mg/kg)]

**Criteria gezondheidsrisico**

<b>beschrijving</b>	<b>symbool</b>	<b>waarde</b>	<b>eenheid</b>
maximaal toelaatbaar risiconiveau mens	MTR	1,25E-05	[mg/(kg l.g. d)]
toelaatbare concentratie lucht	TCL	NA	[mg/m <sup>3</sup> ]
tdi inhalatoir kind	MTR_LC		[mg/(kg l.g. d)]
tdi inhalatoir volwassene	MTR_LA		[mg/(kg l.g. d)]

**Locatie specifieke gegevens**

<b>beschrijving</b>	<b>symbool</b>	<b>waarde</b>	<b>eenheid</b>
bodemgehalte	CS	8,60E-02	[mg/kg d.w.]
bodemtemperatuur	T	283	[K]
volume lucht fractie in bodem	Va	0,20	[-]
volume water fractie in bodem	Vw	0,30	[-]
volume vaste fractie in bodem	Vs	0,50	[-]
fractie organische koolstof	foc	0,0580	[-]
lutum gehalte	L	25	[%]
pH	pH	6,00	[-]
bulkdichtheid droge grond	SD	1200,00	[kg/dm <sup>3</sup> ]

**Model parameter waarden**

<b>beschrijving</b>	<b>symbool</b>	<b>waarde</b>	<b>eenheid</b>
gasconstante	R	8,31	[Pa.m <sup>3</sup> /mol.k]
grenslaagdikte	d	0,01	[m]
diepte verontreiniging t.o.v maaiveld	dp	1,25	[m]
ventilatievoud kruipruimte	Vv	1,10	[1/h]
hoogte kruipruimte	Bh	0,50	[m]
bijdrage kruipruimte lucht aan binnenlucht (fractie)	fbi	0,10	[-]
diameter verontr. gebied	Lp	100	[m]
verhouding droog/vers aardappelen of knolgroente	fdwr	0,167	[-]
verhouding droog/vers bladgroente	fdws	0,098	[-]
depositie constante	dpconst	1,00E-02	[-]
fractie grond in stof binnen	frsi	0,80	[-]
fractie grond in stof buiten	frso	0,50	[-]
verdunningsfactor poriewater - grondwater	fdil	1,00	[-]
temperatuur badwater	Tsh	313	[K]
drinkwaterconstante	dwconst	45,60	[-]
fractie blootgestelde huid douchen	fexp	4,00E-01	[-]

**Model parameter waarden**

<i>beschrijving</i>	<i>symbool</i>	<i>waarde</i>	<i>eenheid</i>
retentiefactor deeltjes in longen	fr	7,50E-01	[-]
relatieve absorptiefactor algemeen (excl grond)	Fa	1,00E+00	[-]
relatieve absorptiefactor grond	Fag	1,00E+00	[-]
matrixfactor dermale absorptie	fm	1,50E-01	[-]
douchetijd per keer	tdc	2,50E-01	[h/d]
verblijf in badkamer	td	5,00E-01	[h]
			code 1 = PE / code 0 =
type waterleiding	waterl	1,00E+00	etaal
fractie verontreinigde aardappel of knolgewas	Fvk	5,00E-01	[-]
fractie verontreinigd bladgewas	Fvb	1,00E+00	[-]

**RIVM**

*De zorg voor morgen begint vandaag*