



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

Advies risicogrenzen grond en grondwater voor PFOS

RIVM Briefrapport 601050002/2011
C.W.M. Bodar et al.



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

Advies risicogrenzen grond en grondwater voor PFOS

RIVM Briefrapport 601050002/2011
C.W.M. Bodar et al.

Colofon

© RIVM 2011

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'.

Charles Bodar
Johannes Lijzen
Caroline Moermond
Willie Peijnenburg
Els Smit
Eric Verbruggen
Martien Janssen

Contact:
Charles Bodar
RIVM-SEC
charles.bodar@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Provincie Noord-Holland (project E/601050/25/AA).

Rapport in het kort

Advies risicogrenzen grond en grondwater voor PFOS

Het RIVM heeft voor de perfluorverbinding PFOS milieurisicogrenzen afgeleid in grond en grondwater. Deze waarden zijn nodig om de meetresultaten bij een bodemsaneringsproject in Nederland te kunnen interpreteren.

PFOS is een stof die giftig is voor mens en milieu, zeer slecht afbreekt, en zich bovendien ophoopt via de voedselketen. Productie en gebruik, zoals in blusschuim, van de stof zijn inmiddels sterk aan banden gelegd via diverse (inter)nationale beleidskaders. Het RIVM doet voorstellen voor het maximaal toelaatbaar risiconiveau (MTR), ernstig risiconiveau (ER) en verwaarloosbaar risiconiveau (VR). De berekeningen zijn uitgevoerd met beperkt beschikbare informatie.

Milieurisicogrenzen richten zich op verschillende beschermingsdoelen c.q. blootstellingsroutes: (grond)water-/bodemorganismen, doorvergiftiging en mens. Als algemeen uitgangspunt geldt dat de laagste waarde de uiteindelijke milieurisicogrens bepaalt. Voor grondwater is dat de directe PFOS-blootstelling van (grond)waterorganismen (MTR: 23 nanogram per liter). Voor grond is dit de route doorvergiftiging via voedsel: vogels en zoogdieren die bodemorganismen eten (MTR: 3,2 microgram per kilogram grond). Met de huidige gegevens kon geen risicogrens voor grond worden afgeleid die risico's van de consumptie van groente, melk en vlees voor de mens uitsluit. Mogelijke risico's voor de mens door het gebruik van grondwater voor de drinkwatervoorziening konden wel worden meegenomen.

Trefwoorden:

PFOS, milieukwaliteitsnorm, grond, grondwater

Abstract

Proposal for environmental risk limits for PFOS in soil and groundwater

RIVM has derived environmental risk limits for the perfluorinated compound PFOS in soil and groundwater. The values are needed for the interpretation of monitoring data in a current soil decontamination case in the Netherlands.

PFOS is a persistent substance that is toxic for man and environment. On top of that it strongly accumulates via the food chain. Production and use, for example fire extinguisher foams, of PFOS is severely restricted through various (inter)national policy frameworks.

RIVM has made proposals for the maximum permissible concentration (MPC), the serious risk concentration (SRC) and the negligible concentration (NC). The derivation is based on a limited amount of information.

Environmental risk limits focus on different protection goals and exposure routes: (ground)water/soil organisms, predators (food chain) and man. In general the lowest value then determines the overall risk limit. The exposure of (ground)water organisms is expected to be the most critical route for PFOS in groundwater, resulting in an overall MPC of 23 ng/L. For soil, the accumulation via the food chain is most critical (MPC of 2.3 µg/kg soil). With the available data no soil risk limits could be derived covering the consumption of vegetables, milk and meat by man. Potential human risks from the use of groundwater abstracted for drinking water are taken into account.

Keywords: PFOS, environmental risk limits, soil, groundwater

Inhoud

Samenvatting—9

1 Inleiding—11

2 Stofeigenschappen PFOS—13

3 Risicogrenzen voor bodem en grondwater—15

3.1 Methodiek—15

3.2 Risicogrenzen voor grondwater—15

3.3 Risicogrenzen voor bodem—16

4 Meetgegevens—21

5 Referenties—23

Bijlage

Samenvatting

De provincie Noord-Holland heeft het RIVM verzocht om milieurisicogrenzen in grond en grondwater af te leiden voor de perfluorverbinding PFOS. Deze waarden zijn nodig voor de interpretatie van de meetresultaten bij een casus bodemsanering.

Het RIVM doet voorstellen voor het maximaal toelaatbaar risiconiveau (MTR), ernstig risiconiveau (ER) en verwaarloosbaar risiconiveau (VR). Er is gekozen voor een benadering die zoveel mogelijk aansluit bij de gebruikelijke methodiek voor het afleiden van risicogrenzen ("Internationale normstelling stoffen" (INS)¹). De berekeningen zijn uitgevoerd met beperkt beschikbare informatie. Vanwege het spoedeisende karakter van de opdracht is er geen aanvullend literatuuronderzoek verricht.

De status van deze waarden is beperkt: het betreft nadrukkelijk geen beleidsmatig vastgestelde of wettelijke normen. Bovendien heeft de toetsing van dit advies zich beperkt tot een interne toetsing binnen het RIVM. De onzekerheden bij de verschillende risicogrenzen, vooral het ER, worden bediscussieerd.

De milieurisicogrenzen richten zich op verschillende beschermingsdoelen c.q. blootstellingsroutes: (grond)water-/bodemorganismen, doorvergiftiging en mens. Als algemeen uitgangspunt geldt dat de laagste waarde de uiteindelijke milieurisicogrens bepaalt. Voor grondwater is PFOS-blootstelling van (grond)waterorganismen de meest kritische route. Dit leidt tot een MTR van 23 ng/L. Voor grond is de route doorvergiftiging, vogels en zoogdieren die bodemorganismen eten, doorslaggevend (MTR 3,2 µg/kg bodem). Met de huidige gegevens konden geen milieurisicogrenzen voor grond worden afgeleid die de risico's van consumptie van groente, melk en vlees door de mens afdekken. Mogelijke risico's van PFOS door het gebruik van grondwater voor de onttrekking van drinkwater zijn wel meegenomen.

Ter vergelijking is een beknopt overzicht gegeven van recent gemeten PFOS concentraties in (grond)water in binnen- en buitenland.

PFOS is een stof die giftig is voor mens en milieu, zeer slecht afbreekt, en zich bovendien ophoopt via de voedselketen. Het gebruik van de stof is inmiddels sterk aan banden gelegd via diverse (inter)nationale beleidskaders, bijvoorbeeld het Verdrag van Stockholm.

¹ INS is de algemene aanduiding voor het proces dat leidt tot het vaststellen van beleidsnormen voor stoffen (algemene milieukwaliteitsnormen), ten behoeve van de uitvoering van het milieubeleid. Het INS-proces wordt gestuurd door een samenwerkingsverband tussen de betrokken departementen (IenM en EL&I).

1 Inleiding

De Provincie Noord-Holland heeft het RIVM in december 2010 verzocht om technisch-wetenschappelijke risicogrenzen af te leiden voor de stof perfluorooctaansulfonaat (PFOS) in grond² en grondwater (RIVM-offerte SEC-100364 Mi/mr; 10-12-2010). De voorgestelde waarden dienen voor het interpreteren van meetresultaten in een recente bodemverontreinigingzaak. Naast het opleveren van risicogrenzen (hoofdstuk 3) is het RIVM ook gevraagd om enige achtergrondinformatie te geven over de stofeigenschappen van PFOS, zoals mobiliteit, bioaccumulatie en afbraak (hoofdstuk 2). Hoofdstuk 4 geeft –ter vergelijking– nog enkele meetgegevens van PFOS in (grond)water in binnen- en buitenland.

Het RIVM heeft in 2010 technisch-wetenschappelijke risicogrenzen afgeleid voor PFOS in oppervlaktewater (Moermond et al., 2010:

www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/601714013.pdf). In het rapport van Moermond et al. zijn geen risicogrenzen afgeleid voor bodem en grondwater, omdat dit buiten het kader van die opdracht viel.

Het voorliggende rapport doet voorstellen voor risicogrenzen voor PFOS in de milieucompartimenten grondwater en bodem. De status van deze waarden is beperkt: het betreft nadrukkelijk geen beleidsmatig vastgestelde of wettelijke normen. Bovendien heeft de toetsing van dit advies zich beperkt tot een interne toetsing binnen het RIVM. De gebruikelijke, bredere wetenschappelijke toetsing binnen de zogenaamde Wetenschappelijke Klankbordgroep –INS heeft niet plaatsgevonden. Dit laatste in tegenstelling tot bovengenoemde risicogrenzen voor oppervlaktewater.

Vanwege het spoedkarakter van deze opdracht heeft het RIVM zich gebaseerd op PFOS-informatie die voorhanden was. Het RIVM heeft geen aanvullende literatuuronderzoeken verricht.

De RIVM-opdracht heeft zich niet gericht op de interpretatie van 'zo veel als redelijkerwijs mogelijk' bij eisen aan sanering in de zin van art. 13 Wet bodembescherming. Er wordt vanuit gegaan dat er bij het bevoegd gezag voldoende kennis aanwezig is om de berekende risicogrenzen te interpreteren.

² In het advies wordt verder de term 'bodem' gebruikt, waarmee de 'vaste fase' (= niet grondwater) van de bodem wordt bedoeld.

2 Stofeigenschappen PFOS

Poly- en perfluorverbindingen vormen een groep van organische verbindingen die bestaan uit een gefluorineerde alkylketen met daaraan een zogenaamde terminale functionele groep. In het geval van PFOS bestaat die functionele groep uit een sulfonaat-groep. De aanwezigheid van de fluoratomen zorgt ervoor dat poly- en perfluorverbindingen zeer stabiel zijn. Dit geldt zelfs onder extreme condities, zoals hoge temperatuur en de aanwezigheid van agressieve stoffen, zoals basen, zuren en oxiderende stoffen. PFOS is persistent. Het breekt niet af in water of bodem, ook niet onder invloed van licht of door bacteriën, alleen bij verbranding onder hoge temperatuur. Een andere karakteristieke eigenschap van PFOS is dat het een lage oppervlaktespanning heeft, waardoor het in water aggregaten vormt. De sulfonaatgroep in PFOS zorgt er verder voor dat de stof beter oplosbaar is in water dan fluorverbindingen met hetzelfde aantal koolstofatomen zonder deze groep.

Al deze eigenschappen hebben enerzijds geleid tot specifieke gebruikstoepassingen van PFOS (bijvoorbeeld in blusschuim of vuilafstotende coating), anderzijds zorgen ze er voor dat deze fluorverbindingen zich niet hetzelfde gedragen als 'gangbare' organische stoffen zoals PAKs, dioxines, etc. Schattingen van de mate van sorptie aan deeltjes in bodem en sediment variëren van 'beperkt' tot 'zeer sterk' (zie verder paragraaf 3.3.1). Dit maakt precieze uitspraken over de mobiliteit van PFOS in het milieu vooralsnog moeilijk.

Verder kan PFOS zich ophopen in voedselketens, wat voornamelijk via binding aan eiwitten plaatsvindt. Het gevolg is dat perfluorverbindingen zich vooral in de lever, de nieren en in het bloed van organismen zullen bevinden.

Gezien de stofeigenschappen kan het gedrag van PFOS in de bodem niet goed worden voorspeld. Dit gegeven, gecombineerd met de giftigheid en persistentie, vergt bijzondere aandacht bij het nemen van risicomanagement maatregelen. Het gebruik van PFOS is inmiddels sterk aan banden gelegd, onder andere via het Verdrag van Stockholm (PFOS geldt als POP: Persistent Organic Pollutant). Lidstaten die het Verdrag van Stockholm ondertekenen, spannen zich in om zich gecontroleerd van de stof te ontdoen (onder andere via bodemsanering en reiniging van grond en grondwater). Dit wordt periodiek gerapporteerd. Het grootschalige gebruik in het verleden, de persistentie in het milieu en de goede oplosbaarheid in water verklaren dat fluorverbindingen als PFOS in alle milieucompartimenten, inclusief organismen, voorkomen, zelfs in afgelegen gebieden op aarde.

De belangrijkste bron voor bovenstaande informatie is: Guanghui Ding en Peijnenburg (2010).

3 Risicogrenzen voor bodem en grondwater

3.1 Methodiek

De methodiek voor het afleiden van milieurisicogrenzen voor water, bodem en grondwater is vastgelegd in RIVM-rapport 601782001 (Van Vlaardingen en Verbruggen, 2007). De methodiek sluit aan bij de Europese kaders. De richtsnoeren van REACH en Kaderrichtlijn Water zijn erin verwerkt (EC, 2003; Lepper, 2005; ECHA, 2008).

De methode wordt toegepast voor normstelling binnen het proces

“Internationale normstelling stoffen” (INS)³.

Binnen INS worden verschillende risicogrenzen afgeleid (VROM, 2004). De volgende grenzen zijn relevant voor dit advies:

- Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR): een op basis van wetenschappelijke gegevens afgeleide norm voor een stof die aangeeft bij welke concentratie in een milieucompartiment:
 - voor ecosystemen geen nadelig effect te verwachten is,
 - voor de mens geen nadelig te waarden effect te verwachten is (voor niet-carcinogene stoffen),
 - voor de mens niet meer dan een kans van 10^{-6} per jaar op overlijden berekend kan worden (voor carcinogene stoffen).
- Verwaarloosbaar Risiconiveau (VR): een concentratie waarbij effecten op mens en milieu te verwaarlozen zijn. Het VR wordt gesteld op 1/100 van het MTR.
- Ernstig Risiconiveau (ER): een concentratie waarbij ernstige effecten zijn te verwachten voor ecosystemen of de mens.

De methodiek van INS gaat uit van een bepaalde minimum-set aan gegevens. Omdat voor PFOS deze gegevens deels ontbreken, kunnen niet alle risicogrenzen worden afgeleid, zoals voorgeschreven in Van Vlaardingen en Verbruggen (2007). Voor het huidige advies is gekozen voor een benadering die zoveel mogelijk aansluit bij de gebruikelijke methodiek. Bij bepaalde onderdelen voldoet de afleiding niet aan de criteria die binnen INS aan een gedegen norm worden gesteld. Waar dit het geval is, wordt dit in de tekst aangegeven.

3.2 Risicogrenzen voor grondwater

3.2.1 Inleiding

Voor grondwater worden milieurisicogrenzen (MTR, VR en ER, zie paragraaf 3.1) afgeleid voor twee beschermingsdoelen c.q. blootstellingsroutes:

1. directe ecotoxiciteit voor grondwaterorganismen
2. gebruik van grondwater voor de onttrekking van drinkwater

Deze doelen worden hieronder besproken. Normaliter wordt de uiteindelijke milieurisicogrens bepaald door de laagste (meest kritische) milieurisicogrens van beide beschermingsdoelen.

³ INS is de algemene aanduiding voor het proces dat leidt tot het vaststellen van beleidsnormen voor stoffen (algemene milieukwaliteitsnormen), ten behoeve van de uitvoering van het milieubeleid. Het INS-proces wordt gestuurd door een samenwerkingsverband tussen de betrokken departementen (IenM en EL&I).

3.2.2 *Directe ecotoxiciteit voor grondwaterorganismen*

Specifieke gegevens voor grondwaterorganismen zijn voor vrijwel geen enkele stof voorhanden, ook niet voor PFOS. Er wordt aangenomen dat de gevoeligheid van organismen in het grondwater gelijk is aan die in zoet oppervlaktewater. Daarom worden volgens de INS methode de risicogrenzen voor directe ecotoxiciteit in oppervlaktewater ook voor grondwater gebruikt. Voor PFOS zijn het MTR en ER voor oppervlaktewater beschikbaar uit RIVM-rapport 601714013 (Moermond et al., 2010). Het MTR voor directe ecotoxiciteit is 23 ng/L. Het VR wordt gesteld op 1/100 van het MTR en bedraagt voor deze route 0,23 ng/L. Het ER is 930 µg/L.

Het ER is opvallend veel hoger dan het MTR. Het MTR is berekend op basis van het gevoeligste organisme (in dit geval een waterinsect), het doel van het MTR is immers om het gehele ecosysteem te beschermen. Voor het ER wordt het gemiddelde van alle beschikbare gegevens gebruikt. De verschillen in gevoeligheid voor PFOS tussen waterorganismen zijn groot en relatief ongevoelige soorten tellen mee in de berekening. Het is dus te verwachten dat op het niveau van het ER aanzienlijke effecten optreden. Het ER wordt om die reden niet als een maatgevende risicogrens gezien.

3.2.3 *Gebruik van grondwater voor onttrekking van drinkwater*

De risicogrenzen voor deze route zijn volgens de INS-methodiek gelijk aan die voor oppervlaktewater dat gebruikt wordt voor drinkwaterbereiding. Voor PFOS is er voor deze route een MTR van 530 ng/L beschikbaar uit bovengenoemd RIVM-rapport. Deze waarde is berekend op basis van de norm voor humane toxiciteit zoals afgeleid door de EFSA (EFSA, 2008), onder de aanname dat er geen zuivering plaatsvindt. Het VR wordt gesteld op 1/100 van het MTR en bedraagt 5,3 ng/L. Voor deze route wordt volgens de INS-methodiek geen ER afgeleid. In het RIVM-rapport (Moermond et al., 2010) wordt in paragraaf 3.13.1 een vergelijking gemaakt met drinkwaternormen in andere landen.

3.2.4 *Samenvatting risicogrenzen voor grondwater*

De risicogrenzen voor grondwater zijn samengevat in onderstaande tabel. De waarden voor directe ecotoxiciteit in het ecosysteem zijn het meest kritisch en bepalen daarom het uiteindelijke MTR en VR (vet gedrukt).

	VR	MTR	ER
Ecosysteem	0,23 ng/L	23 ng/L	930 µg/L
Drinkwaterbereiding	5,3 ng/L	530 ng/L	n.v.t.

n.v.t. = niet van toepassing

3.3 **Risicogrenzen voor bodem**

3.3.1 *Inleiding*

Voor bodem worden de milieurisicogrenzen (MTR, VR, ER, zie paragraaf 3.1) bepaald op basis van drie beschermingsdoelen c.q. blootstellingsroutes:

1. directe ecotoxiciteit voor bodemorganismen
 2. doorvergiftiging van vogels en zoogdieren die bodemdieren (regenwormen) eten
 3. mensen via consumptie van landbouwproducten (groente/melk/vlees)
- De laagste van deze drie waarden bepaalt de uiteindelijke milieurisicogrens voor bodem. Hieronder wordt per beschermingsdoel de afleiding besproken. Zoals

aangegeven onder 3.1, is deze gebaseerd op de methodiek volgens INS (Van Vlaardingen en Verbruggen, 2007).

Hierboven is ook al aangegeven dat de benodigde gegevens voor het afleiden van risicogrenzen deels ontbreken. Als er voor bodem geen gegevens zijn, kunnen de milieurisicogrenzen worden gebruikt die voor oppervlaktewater zijn afgeleid (zoals voor PFOS in Moermond et al., 2010). Uitgangspunt is dat bodemorganismen via het bodemvocht (poriewater) aan PFOS worden blootgesteld en dat de concentraties van PFOS in poriewater en de bodem met elkaar in evenwicht zijn. Risicogrenzen op basis van concentraties in water kunnen dan worden omgerekend naar concentraties in bodem met behulp van een factor die de verdeling tussen water en bodem beschrijft. Deze factor wordt verdelingscoëfficiënt of partiticoëfficiënt genoemd en aangeduid als K_p , of als K_{oc} wanneer het getal is omgerekend naar organisch koolstof. Deze omrekenmethode wordt evenwichts-partitie genoemd. In hoofdstuk 2 is aangegeven dat de binding van PFOS aan sediment- en bodemdeeltjes varieert. Een betrouwbare K_p waarde voor gesuspendeerd materiaal in rivieren is 10 000 L/kg, overeenkomend met een $\log K_{oc}$ van 5,0. Dit getal is gebaseerd op metingen van Möller (2009). Echter, er worden in de literatuur (Higgins en Luthy, 2006) ook getallen gevonden die omgerekend op een K_p -waarde van 22 L/kg voor standaardbodem uitkomen ($\log K_{oc}$ 2,57).

3.3.2 *Directe ecotoxiciteit*

Het MTR_{bodem} voor directe ecotoxiciteit kan op twee manieren worden uitgerekend.

- toepassen van een veiligheidsfactor op ecotoxiciteitsgegevens voor bodemorganismen
- omrekenen van het MTR voor directe ecotoxiciteit in water naar een concentratie in bodem zoals hierboven is beschreven

In principe wordt het MTR voor bodem op gegevens voor terrestrische soorten gebaseerd als er gegevens zijn voor tenminste twee voor bodem belangrijke taxonomische groepen. Voor PFOS is dat het geval. De omrekening vanuit water wordt ter illustratie toegevoegd.

Ecotoxiciteitsgegevens voor bodemorganismen

Er zijn een paar studies beschikbaar over de ecotoxiciteit van PFOS voor bodemorganismen (zie bijlage). Er zijn getallen voor regenwormen en voor zeven soorten planten aanwezig. De 14-daagse regenwormstudie is een acute test in kunstgrond met 10% organische stof, die een $LC50^4$ van 373 mg/kg droge bodem en een $NOEC^5$ van 77 mg/kg geeft. Voor de zeven plantensoorten werden de laagste waarden gevonden voor groei van sla met een $NOEC$ van lager dan ~3,5 mg/kg, gebaseerd op concentraties op basis van drooggewicht en gecorrigeerd voor werkelijk gemeten concentraties. De $EC10$ voor sla ligt in de orde van 1 mg/kg drooggewicht of iets daaronder. Met chronische gegevens voor maar één taxonomische groep (planten), geldt een veiligheidsfactor van 100. Het MTR voor directe terrestrische toxiciteit komt daarmee uit op $1/100 = 10 \mu g/kg$.

Bij deze waarde moet worden opgemerkt dat uit studies in water blijkt dat met name insecten gevoelig zijn voor PFOS. Een MTR gebaseerd op planten en regenwormen is dus mogelijk niet beschermend voor bodeminsecten. Nematoden (aaltjes) zijn mogelijk ook erg gevoelig (zie bijlage). Gegevens van

⁴ $LC50$ = geschatte concentratie die leidt tot 50% sterfte

⁵ $NOEC$ = testconcentratie waarbij geen significant effect is waargenomen ten opzichte van de controle

langdurige studies met bodemdieren zijn eigenlijk noodzakelijk voor een goede schatting van het MTR.

Omrekenen vanuit MTR voor water

Het MTR voor directe ecotoxiciteit in water is 23 ng/L (Moermond et al., 2010). De omrekening naar bodem is afhankelijk van de verdelingscoëfficiënt water-bodem (K_p). Zoals hierboven is aangegeven, is deze echter zeer variabel en dit werkt door in het berekende MTR. De K_p -waarden van 22 en 10 000 L/kg leiden omgerekend naar bodem tot een MTR van respectievelijk 0,5 en 140 µg/kg droge bodem voor een standaardbodem met 10% organische stof (zie bijlage). De MTR-waarde van 10 µg/kg voor directe terrestrische toxiciteit, zoals hierboven bepaald, valt binnen de range van 0,5 tot 140 µg/kg, zoals omgerekend vanuit het MTR voor water. Met de beschikbare gegevens wordt de waarde van 10 µg/kg als minst onzeker beschouwd, hoewel niet kan worden uitgesloten dat gevoelige bodemdieren bij deze concentratie effecten ondervinden.

Concluderend: het MTR_{bodem} voor directe ecotoxiciteit is 10 µg/kg bodem (op basis van drooggewicht) voor Nederlandse standaardbodem met 10% organische stof. Het VR is een factor 100 lager en is dus 0,1 µg/kg standaardbodem.

Ernstig risiconiveau

Voor de berekening van het ER voor directe ecotoxiciteit gelden dezelfde overwegingen en berekeningen als voor het MTR. Hierbij wordt dan uitgegaan van het geometrisch gemiddelde van alle chronische gegevens voor terrestrische planten. Dit komt neer op een ER voor directe ecotoxiciteit in bodem van 18,4 mg/kg droge standaardbodem (10% organische stof). Omdat er maar voor één groep chronische gegevens beschikbaar zijn, wordt dit getal vergeleken met het geometrisch gemiddelde van de LC_{50} en EC_{50} ⁶-waarden voor alle soorten, inclusief regenwormen, met een extra factor 10. Dit komt neer op een ER voor directe ecotoxiciteit in bodem van 16,0 mg/kg droge standaardbodem. De relevantie van het ER voor effecten op het ecosysteem is echter beperkt, omdat effecten als gevolg van stapeling in de voedselketen bij de berekening volgens de huidige methodiek niet worden meegenomen (zie hiervoor paragraaf 3.3.3). Bovendien ontbreken mogelijk gevoelige soorten in de dataset. Het is dus te verwachten dat op het niveau van het ER aanzienlijke effecten optreden. Ter vergelijking wordt ook het ER berekend op basis van het ER voor waterorganismen van 930 µg/L (zie 3.2.2). Dit levert met de K_p 's van 22 tot 10 000 L/kg een ER van 20 mg/kg tot 6 g/kg voor droge bodem met 10% organische stof. De ER-waarde van 16,0 mg/kg voor directe terrestrische toxiciteit is vergelijkbaar met de ondergrens van 20 mg/kg, zoals omgerekend vanuit het ER voor water, maar is veel lager dan de bovengrens van 6 g/kg. Bij de discussie over het ER voor grondwater in paragraaf 3.2.2 is aangegeven dat het ER van 930 µg/L voor zoetwaterorganismen zeer hoog is ten opzichte van het MTR. Wanneer deze waarde vervolgens wordt doorgerekend naar bodem met de hoogste K_p , levert dit een ER-bodem dat gezien de beschikbare ecotoxiciteitsgegevens onrealistisch hoog is. De waarde van 16,0 mg/kg wordt dan ook als het meest bruikbare ER beschouwd. Zoals eerder opgemerkt wordt het ER niet als een maatgevende risicogrens gezien.

⁶ EC_{50} = geschatte concentratie waarbij de prestatie (bijv. groei) met 50% is geremd ten opzichte van de controle

3.3.3 Doorvergiftiging

Het MTR_{bodem} voor doorvergiftiging heeft als doel vogels en zoogdieren te beschermen die met PFOS verontreinigde bodemdieren eten. Om dit MTR_{bodem} voor doorvergiftiging te berekenen, wordt volgens de INS-methodiek eerst een MTR_{oraal} voor vogels/zoogdieren berekend, uitgedrukt als een concentratie in prooidieren. Het MTR_{oraal} voor vogels/zoogdieren is 0,037 mg/kg voedsel (Moermond et al., 2010). Vervolgens wordt berekend welke concentratie in de bodem tot dit niveau in regenwormen (voedsel) leidt. Hiervoor is een zogenaamde 'biota-to-soil-accumulation-factor' (BSAF) nodig, een waarde die de verhouding tussen PFOS in regenwormen en bodem weergeeft. Deze is 2,5 kg/kg (3M, 2003) voor een bodem met 10% organische stof. Met deze waarden wordt het MTR_{bodem} voor doorvergiftiging 16 µg/kg droge bodem voor Nederlandse standaardbodem met 10% organische stof (voor de berekening: zie bijlage).

Bij deze berekening is alleen uitgegaan van het eten van regenwormen door kleine vogels en zoogdieren. Verdere doorvergiftiging naar, bijvoorbeeld, roofvogels en marterachtigen is in deze berekening niet meegenomen, maar wordt wel gezien als een reële blootstellingsroute. PFOS is een stof die stapelt in de voedselketen. Hoe hoger een dier in de voedselketen zit, des te meer van de stof zich ophoopt. Om ook roofvogels en andere roofdieren te beschermen, moet de waarde van 16 µg/kg nog gecorrigeerd worden met een zogenaamde biomagnificatiefactor (BMF). Voor oppervlaktewater is deze vastgesteld op 5, wat ook voor doorvergiftiging in de terrestrische voedselketen als een relevante waarde wordt gezien. Dit resulteert in een MTR_{bodem} voor doorvergiftiging van $16/5 = 3,2$ µg/kg droge bodem voor Nederlandse standaardbodem met 10% organische stof.

Er zijn onzekerheden rond het hierboven genoemde BSAF getal van 2,5 kg/kg. Metingen in België laten zien dat opname van PFOS door dieren uit de bodem substantieel is, en zelfs nog wel veel hoger zou kunnen zijn dan de door 3M (2003) gerapporteerde waarde (ongepubliceerde gegevens prof. dr. R. Blust Universiteit Antwerpen). Dit betekent dat de waarde van 3,2 µg/kg waarschijnlijk een onderschatting is en het 'werkelijke' MTR voor doorvergiftiging lager uitkomt als er meer gegevens zouden zijn.

Ter vergelijking is ook de milieurisicogrens voor doorvergiftiging in water (2,6 ng/L) omgerekend naar een bodem-risicogrens met behulp van evenwichtspartitie (volgens dezelfde berekening als voor directe ecotoxiciteit; zie bijlage). Dit resulteert in een MTR_{bodem} variërend van 0,1 tot 16 µg/kg bodem (dw) voor Nederlandse standaardbodem met 10% organische stof. De MTR-waarde van 3,2 µg/kg, zoals berekend met BSAF, valt binnen de range van 0,1 tot 15 µg/kg, zoals omgerekend vanuit het MTR doorvergiftiging voor water. Met de beschikbare gegevens wordt de waarde van 3,2 µg/kg als minst onzeker beschouwd, hoewel niet kan worden uitgesloten dat meer gegevens zouden leiden tot een lager MTR.

Het MTR_{bodem} voor doorvergiftiging is 3,2 µg/kg bodem (dw) voor Nederlandse standaardbodem met 10% organische stof. Het VR is een factor 100 lager, en bedraagt 0,032 µg/kg bodem (dw).

3.3.4 Consumptie van planten, melk en vlees door de mens

Het MTR_{bodem} voor consumptie van planten, melk en vlees door de mens wordt volgens de INS-methodiek gebaseerd op de TDI (Tolerable Daily Intake) van 150 nanogram per kilogram lichaamsgewicht per dag (EFSA, 2008). Deze TDI moet worden omgerekend naar een maximale concentratie in voedsel

(bladgroente, wortels, melk en vlees). Vervolgens moet worden berekend welke concentratie in de bodem tot dit niveau in voedsel leidt.

De standaardformules voor de omrekening van gehalten in blad, melk en vlees naar bodemconcentraties, zoals in de Europese richtsnoeren omschreven (EC, 2003), zijn echter niet bruikbaar voor PFOS. Deze formules gelden voor organische verbindingen die zich ophopen in vetweefsel. PFOS is een ioniseerbare stof die aan eiwitten bindt. Daarom zijn experimentele gegevens nodig om deze berekeningen deels te vervangen. De beschikbare gegevens voor de opname van PFOS door planten uit grond (zie bijlage) geven echter een zeer variabel beeld, en zijn dus niet met enige zekerheid te gebruiken. Voor dieren die geschikt zijn voor menselijke consumptie, zijn er helemaal geen experimentele gegevens die de verhouding tussen PFOS in de bodem en vlees of melk beschrijven.

Voor oppervlaktewater is een milieurisicogrens afgeleid op basis van humane consumptie van vis. Het omrekenen van deze milieurisicogrens naar een concentratie in bodem is niet aan de orde, omdat de aannames voor de consumptie van vis niet gelden voor consumptie van groente, vlees en melk. De conclusie is dat met de huidige gegevens geen milieurisicogrenzen voor bodem afgeleid kunnen worden die de consumptie van groente, melk en vlees door de mens afdekken. Accumulatie in vee treedt op als er overdracht van PFOS van de bodem naar gras of veevoer plaatsvindt. Consumptie van vlees en melk door de mens zou dan de kritische route kunnen zijn voor het MTR_{bodem} . Indien de bodem gebruikt wordt voor landbouw, zou hiermee rekening gehouden moeten worden.

3.3.5 Overzicht van afgeleide milieurisicogrenzen voor bodem

De risicogrenzen voor bodem zijn samengevat in onderstaande tabel. De waarden voor doorvergiftiging zijn het meest kritisch en bepalen daarom het uiteindelijke MTR en VR (vetgedrukt). Waarden zijn gegeven voor Nederlandse standaardbodem met 10% organische stof en zijn gebaseerd op drooggewicht. De ER-waarde van 16,0 mg/kg dient met grote terughoudendheid te worden gebruikt, omdat effecten als gevolg van doorvergiftiging (stapeling in de voedselketen) bij de berekening van het ER volgens de huidige methodiek niet worden meegenomen. Op basis van de berekeningen voor het MTR blijkt dat de route doorvergiftiging kritischer is dan de route directe ecotoxiciteit waarop de voorgestelde ER-waarde nu is gebaseerd. De milieurisicogrenzen op basis van de consumptie van planten, melk en vlees door de mens kunnen niet bepaald worden. Er wordt echter vanuit gegaan dat dat de meest kritische route zou kunnen zijn.

	VR	MTR	ER
Ecosysteem	0,1 µg/kg	10 µg/kg	16,0 mg/kg
Doorvergiftiging	0,032 µg/kg	3,2 µg/kg	-
Mens	n.b.	n.b.	n.b.

n.b. = niet bepaald in dit advies

- = niet afgeleid, omdat methodiek ontbreekt

4 Meetgegevens

Moermond et al. (2010) geven een overzicht van gemeten concentraties van PFOS in oppervlaktewater. In 2006 en 2007 lagen de maandelijkse concentraties van PFOS in het Lekkanaal bij Nieuwegein tussen 5,0 en 26 ng/L, de jaargemiddelde concentratie was 13 ng/L in 2006 en 8,6 ng/L in 2007. In het Amsterdam-Rijnkanaal bij Nieuwersluis was de jaargemiddelde concentratie 14 ng/L, de hoogst gemeten concentratie was 26 ng/L. Möller (2009) rapporteert concentraties PFOS in het Nederlandse deel van de Rijn- en Maas-delta tussen 1.1 and 25 ng/L. Relatief hoge concentraties zijn gemeten in de Schelde en het Kanaal Gent-Terneuzen (14-25 ng/L), het Noordzeekanaal (12 ng/L) en de Waal (7.2 ng/L).

Voor dit advies is nog een aanvullende, beperkte inventarisatie gedaan naar PFOS-metingen in (grond)water. Dit leverde enkele bronnen op over gemeten concentraties in grondwater en, vooral, in rivieren (Eschauzier et al., 2010a/b). Er treden relatief grote variaties in concentraties op, waarbij verhoogde gehalten altijd te relateren zijn aan bepaalde brongebieden of calamiteiten. In oppervlaktewater komen concentraties van 0,5 ng/L voor in weinig specifiek belaste gebieden, maar concentraties tussen 5-15 ng/L in grotere rivieren als de Elbe, en de Rijn. In het grondwater worden nabij bronnen ook hogere concentraties aangetroffen van 0,5 tot 1 µg/L (Eschauzier et al., 2010a). In Rijnwater wordt een range waargenomen van 2.4 – 24 ng/L (Eschauzier et al., 2010b). Grondwatermetingen van PFOS in de Waterleidingduinen van Amsterdam (Rijnwater infiltratie) laten een gradiënt zien in relatie met de afstand tot het infiltratie punt en de verblijftijd. De gevonden waarden lopen van 15 ng/L in relatief jong water tot minder dan 1 ng/L in oud water (Eschauzier et al., 2010b).

5 Referenties

- Beach SA, Newsted JL, Coady K, Giesy JP. 2006. Ecotoxicological evaluation of perfluorooctanesulfonate (PFOS). *Rev Environ Contam Toxicol* 186: 133-174.
- EC. 2003. Technical Guidance Document on risk assessment in support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for new notified substances, Commission Regulation (EC) No 1488/94 on Risk Assessment for existing substances and of Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council concerning the placing of biocidal products on the market. European Chemicals Agency, Ispra, Italy. Report no. EUR 20418 EN/2
- ECHA. 2008. Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R.10: Characterisation of dose [concentration]-response for environment. Helsinki, Finland: European Chemicals Agency. Guidance for the implementation of REACH. May 2008. http://guidance.echa.europa.eu/docs/guidance_document/information_requirements_r10_en.pdf?vers=20_08_08
- EFSA. 2008. Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. *The EFSA Journal* 653: 1-131.
- Eschauzier C, De Voogt P, Brauch HJ, Lange FT. 2010a Polyfluorinated alkylated substances (PFAS) in the European drinking water environment: from raw water to tap water. Submitted.
- Eschauzier C, Haftka J, Stuyfzand PJ, De Voogt P. 2010b. Perfluorinated Compounds in Infiltrated River Rhine Water and Infiltrated Rainwater in Coastal Dunes. *Environ. Sci. Technol.* 2010, 44, 7450-7455.
- Guanghui Ding, Peijnenburg WJGM. 2010. Physicochemical Properties and Aquatic Toxicity of Poly- and Perfluorinated Compounds. Submitted to Reviews in Environmental Science and Technology.
- Higgins CP, Luthy RG. 2006. Sorption of perfluorinated surfactants on sediments. *Environ Sci Technol* 40: 7251-7256.
- 3M. 2003. Environmental and health assessment of perfluorooctane sulfonic acid and its salts.
- Lepper P. 2005. Manual on the methodological framework to derive environmental quality standards for priority substances in accordance with Article 16 of the Water Framework Directive (2000/60/EC). Schmallenberg, Germany: Fraunhofer-Institute for Molecular Biology and Applied Ecology.
- Moermond CTA, Verbruggen EMJ, Smit CE. 2010. Environmental risk limits for PFOS. A proposal for water quality standards in accordance with the Water Framework Directive. Bilthoven, Nederland: RIVM. Rapport 601714013.
- Möller A. 2009. Analysis of poly- and perfluoroalkyl compounds (PFs) in surface water of the River Rhine using HPLC-MS/MS. Diplomarbeit Fachhochschule Lübeck, Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften Studiengang Chemieingenieurwesen. Hamburg.
- Qu B, Zhao H, Zhou J. 2010. Toxic effects of perfluorooctane sulfonate (PFOS) on wheat (*Triticum aestivum* L.) plant. *Chemosphere* 79: 555-560.
- Stahl T, Heyn J, Thiele H, Hüther J, Failing K, Georgli S, Brunn H. 2009. Carryover of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) from soil to plants. *Arch Environ Contam Toxicol* 57: 289-298.

- Tominaga N, Kohra S, Iguchi T, Arizono K. 2004. Effects of perfluoro organic compound toxicity on nematode *Caenorhabditis elegans* fecundity. *Journal of health Science* 50(5): 545-550.
- Van Vlaardingen PLA, Verbruggen EMJ. 2007. Guidance for the derivation of environmental risk limits within the framework 'International and national environmental quality standards for substances in the Netherlands' (INS). Bilthoven, Nederland: RIVM. Rapport 601782001.
- VROM. 2004. (Inter)nationale Normen Stoffen. Den Haag, Nederland: Ministerie van VROM.

Bijlage: Berekening milieurisicogrenzen

Directe ecotoxiciteit

Berekening via evenwichtspartitie-methode:

(MPC is de Engelse term voor MTR)

$$MPC_{\text{soil, TGD, EqP, dw}} = \frac{RHO_{\text{soil}}}{F_{\text{solid}}_{\text{soil}} \times RHO_{\text{solid}}} \times MPC_{\text{soil, TGD, EqP, ww}}$$

$$MPC_{\text{soil, TGD, EqP, ww}} = \frac{K_{\text{soil-water}}}{RHO_{\text{soil}}} \times MPC_{\text{eco, water}} \times 1000$$

Met

$$K_{\text{soil-water}} = F_{\text{air}}_{\text{soil}} \times K_{\text{air-water}} + F_{\text{water}}_{\text{soil}} + F_{\text{solid}}_{\text{soil}} \times \frac{Kp_{\text{soil}}}{1000} \times RHO_{\text{solid}}$$

$$K_{\text{air-water}} = \frac{H}{R} \times TEMP = \frac{0,044}{8,314} \times 285 = 1,5$$

$$Kp_{\text{soil}} = Foc_{\text{soil}} \times K_{\text{oc}} = 0,02 \times 107000 = 2140$$

$$K_{\text{soil-water}} = 0,2 \times 1,5 + 0,2 + 0,6 \times \frac{2140}{1000} \times 2500 = 3210,5$$

En dus:

$$MPC_{\text{soil, TGD, EqP, ww}} = \frac{3210,5}{1700} \times 2,3 \times 10^{-5} \times 1000 = 0,043 \text{ mg/kg bodem (ww)}$$

$$MPC_{\text{soil, TGD, EqP, dw}} = \frac{1700}{0,6 \times 2500} \times 0,043 = 0,049 \text{ mg/kg bodem (dw)}$$

Omrekening naar Nederlandse standaardbodem

$$MPC_{\text{Dutch standard soil, EqP, dw}} = \frac{Foc_{\text{Dutch standard soil}}}{Foc_{\text{soil, TGD}}} \times MPC_{\text{soil, TGD EqP, dw}} = \frac{0,0588}{0,02} \times 0,049$$

= **0,14 mg/kg** standaardbodem (dw)

Met een log Koc waarde van 2,57 (= Kp van 22 L/kg) komt bovenstaande berekening op **0,5 µg/kg** standaardbodem (dw).

Beschikbare bodem-toxiciteitsgegevens

De laagste waarde voor planten in de studie van Beach et al (2006) is < 3,61 mg/kg droge bodem voor groei van sla na 21 dagen (vochtgehalte bodem is 15%). Qu et al. (2010) hebben tarwe blootgesteld aan PFOS. Dit is echter in systemen zonder bodem gedaan, waardoor de uitkomst niet bruikbaar is.

Voor wormen is door 3M (2003) een 14-daagse NOAEC van 77 mg/kg droge bodem gerapporteerd (kunstgrond, vochtgehalte 32%). Een 14-daagse studie is niet lang genoeg om chronische effecten op voortplanting aan te tonen. De studie van Tominaga et al. (2004) die nematoden in agar (dus zonder bodem) blootstelde aan PFOS laat zien, dat nematoden met een laagste effect-concentratie (LOEC) in agar van 5 ng PFOS per liter voor PFOS-tetraethylammonium en 500 nanogram PFOS per liter voor het PFOS-kaliumzout, zeker niet ongevoeliger zijn dan water-organismen.

Doorvergiftiging

$$MPC_{sp, soil, TGD} = \frac{MPC_{oral, min} \cdot (1 + F_{gut} \cdot CONV_{soil})}{BSAF_{earthworm} + F_{gut}}$$

met

$$CONV_{soil} = \frac{RHO_{soil}}{F_{solid, soil} \cdot RHO_{solid}} = \frac{1700}{0,6 \times 2500} = 1,13$$

En is dus:

$$MPC_{sp, soil, TGD} = \frac{0,037 \cdot (1 + 0,1 \cdot 1,13)}{2,5 + 0,1} = \mathbf{0,016 \text{ mg/kg (dw)}}$$

omdat de BSAF is bepaald in grond met 10% organische stof, is deze waarde geldig voor Nederlandse standaardbodem.

Berekening via evenwichtspartitie-methode

Met de verschillende Koc waarden en de berekening als hierboven beschreven gelden de volgende resultaten voor drooggewicht standaard Nederlandse bodem:

log Koc	MTR water dv (ng/L)	MTR dv standaard bodem (µg/kg)
5,0	2,6	15
2,57	2,6	0,06 (0,1)

Consumptie door de mens

Opname van PFOS door planten uit de bodem

De studie van Beach et al (2006) is uitgevoerd bij verschillende concentraties, met zeven verschillende plantensoorten. Echter, het blijkt dat de BAF voor planten in deze studie zeer concentratie-afhankelijk is met de hoogste opname bij de laagst gebruikte concentratie. Deze concentratie-afhankelijkheid komt doordat de planten bij de gebruikte concentraties al toxische effecten lieten zien, en ook bij de laagste concentratie de opname dus niet optimaal is geweest. In de studie van Stahl et al. (2009), is voor vijf plantensoorten de opname van PFOS bepaald bij vijf verschillende concentraties. Echter, bij de laagste concentraties zijn hier geen toxische effecten waargenomen en de concentratie-afhankelijkheid uit de studie van Beach is hier niet waargenomen. Er lijkt zelfs een iets hogere opname bij de hoogst gebruikte concentraties te zijn. De gemiddelde BAF voor plantenbladeren uit de studie van Beach et al is 2,4 kg/kg. Dit is dezelfde waarde als de meest betrouwbare waarde uit die studie, die voor sla bij de laagste concentratie. De gemiddelde BAF voor eetbare

plantendelen uit de studie van Stahl is veel lager, namelijk 0,005 kg/kg. Deze discrepantie lijkt moeilijk te verklaren. Uit de studie van Stahl et al. is ook een BAF voor aardappelen te berekenen op basis van natgewicht van de aardappel. Deze BAF is 0,0007 kg/kg.

Parameters en gebruikte default waarden

Bron: Van Vlaardingen en Verbruggen, 2007.

Symbol	Description of variable	Unit	Value
$BCF_{\text{earthworm}}$	bioconcentration factor for earthworm on wet weight basis	$\text{L.kg}_{\text{ww}}^{-1}$	
BMF	biomagnification from (small) animals to predators		
$BSAF_{\text{earthworm}}$	biota (earthworm) to soil accumulation factor	$\text{kg}_{\text{dw}} \cdot \text{kg}_{\text{ww}}^{-1}$	
$CONV_{\text{soil}}$	conversion factor for soil concentration wet-dry weight soil	$\text{kg}_{\text{ww}} \cdot \text{kg}_{\text{dw}}^{-1}$	
$F_{\text{air soil}}$	fraction air in soil	$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	0.2
F_{gut}	fraction of gut loading in earthworm	$\text{kg}_{\text{dw}} \cdot \text{kg}_{\text{ww}}^{-1}$	0.1
$F_{\text{oc Dutch standard soil}}$	fraction organic carbon in Dutch standard soil	kg.kg^{-1}	0.058
$F_{\text{oc soil, TGD}}$	weight fraction of organic carbon in soil as defined in the TGD	kg.kg^{-1}	8
$F_{\text{solid soil}}$	fraction solids in soil	$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	0.02
$F_{\text{water soil}}$	fraction water in compartment soil	$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	0.6
H	Henry's law constant	$\text{Pa.m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$	0.2
$K_{\text{air-water}}$	air-water partition coefficient	$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	
$K_{\text{p soil}}$	solids-water partition coefficient in soil	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	
$K_{\text{soil-water}}$	total soil-water partition coefficient	$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	
K_{oc}	partition coefficient between organic carbon and water	L.kg^{-1}	
$K_{\text{p soil}}$	partition coefficient solid-water in soil	L.kg^{-1}	
MPC	maximum permissible concentration (general term)	mg.L^{-1} or mg.kg^{-1} or equivalent	
$MPC_{\text{Dutch standard soil, EqP, dw}}$	maximum permissible concentration in soil based on equilibrium partitioning, expressed in dry weight Dutch standard soil	$\text{mg.kg}_{\text{dw}}^{-1}$	
$MPC_{\text{eco, water}}$	maximum permissible concentration in freshwater based on ecotoxicity	mg.L^{-1}	
$MPC_{\text{oral, min}}$	lowest MPC_{oral} derived from toxicity studies	$\text{mg.kg}_{\text{food}}^{-1}$	
$MPC_{\text{soil, TGD, EqP, dw}}$	maximum permissible concentration in soil based on equilibrium partitioning, expressed in dry weight soil with standard TGD characteristics	$\mu\text{g.kg}_{\text{dw}}^{-1}$	

Symbol	Description of variable	Unit	Value
$MPC_{\text{soil, TGD, EqP, ww}}$	maximum permissible concentration in soil based equilibrium partitioning, expressed in wet weight soil with standard TGD characteristics	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}_{\text{ww}}^{-1}$	
$MPC_{\text{sp, soil, TGD}}$	maximum permissible concentration in soil based on secondary poisoning using TGD soil characteristics	$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	
R	gas constant	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	8.314
RHO_{soil}	bulk density of wet soil	$\text{kg}_{\text{ww}} \cdot \text{m}^{-3}$	1700
RHO_{solid}	density of the solid phase	$\text{kg}_{\text{solid}} \cdot \text{m}_{\text{solid}}^{-3}$	2500
$TEMP$	environmental temperature	K	285

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl