



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

Onderzoek naar indicatieve waterkwaliteitsnormen voor stoffen in de GenX-technologie

RIVM Briefrapport 2017-0045
C.E. Smit



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

Onderzoek naar indicatieve waterkwaliteitsnormen voor stoffen in de GenX-technologie

RIVM Briefrapport 2017-0045
C.E. Smit

Colofon

© RIVM 2017

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-2017-0045

C.E. Smit (auteur), RIVM

Contact:

Els Smit

RIVM-VSP

els.smit@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de Directie Water en Bodem van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu in het kader van de opdracht 'Chemische waterkwaliteit, normering en richtlijn prioritaire stoffen'.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Onderzoek naar indicatieve waterkwaliteitsnormen voor stoffen in de GenX-technologie

Het is niet mogelijk om indicatieve waterkwaliteitsnormen te bepalen voor twee perfluorverbindingen die kunnen vrijkomen bij de productie van teflon met de zogeheten GenX-technologie. Er ontbreken gegevens over de mate waarin deze stoffen in vissen ophopen. Deze informatie is onmisbaar om te berekenen welke concentratie in water veilig is als mensen, vogels en zoogdieren hun leven lang vis uit dat water zouden eten.

Dit blijkt uit onderzoek van het RIVM. De veilige concentratie in oppervlaktewater wordt bepaald door uit te rekenen hoeveel er in vis mag zitten als die levenslang wordt gegeten. Deze methodiek is in lijn met de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW). De onderzochte stoffen zijn FRD-902 en FRD-903. Fabrikant Chemours introduceerde de GenX-technologie in 2012 om de omstreden stof PFOA te vervangen.

Voor dit onderzoek is een inventarisatie gemaakt van wat er in de wetenschappelijke literatuur bekend is over effecten van deze stoffen op waterorganismen en over de opname door vissen. In recent onderzoek heeft het RIVM bepaald hoeveel een mens van de stof zou mogen binnenkrijgen zonder daar schadelijke gevolgen van te ondervinden. Vervolgens is berekend wat er maximaal in vis zou mogen zitten als mensen die elke dag gedurende hun hele leven zouden eten. Deze waarde beschermt ook vogels en zoogdieren. Om de waarde in vis te kunnen vertalen naar een veilige concentratie in water, zijn gegevens nodig over hoeveel FRD-902 en FRD-903 door die vissen vanuit water wordt opgenomen. Dit soort informatie ontbreekt momenteel.

Deze informatie is belangrijk omdat de voedselketen onvoldoende wordt beschermd door de ecologische norm voor waterorganismen. De stoffen zijn relatief weinig giftig voor waterorganismen zelf, maar kunnen een probleem vormen als ze via vis in de voedselketen terecht komen.

Het RIVM beveelt aan te onderzoeken hoeveel FRD-902 en FRD-903 door vissen wordt opgenomen. Dit kan door middel van een laboratoriumstudie of door analyse van representatieve vissen en water in de praktijk.

Kernwoorden: GenX; waterkwaliteitsnormen; FRD-902; FRD-903; perfluorverbindingen

Synopsis

Research into indicative water quality standards for substances used in the GenX technology

It is not possible to derive indicative water quality standards for two perfluoro compounds that may be discharged when producing teflon with the GenX methodology. Data on the bioaccumulation of these compounds in fish are lacking. This information is essential to calculate safe concentrations in water for lifetime fish consumption by humans and wildlife.

This is the conclusion of research by RIVM. The safe concentration in surface water is derived by estimating the acceptable concentration in fish assuming lifetime consumption. This methodology is in line with the European Water Framework Directive (WFD). The compounds under consideration are FRD-902 and FRD-903. Producer Chemours introduced the GenX technology to replace the controversial PFOA.

This research was based on a literature screening on the effects of these compounds on aquatic organisms and their accumulation in fish. Based on the oral risk limit for humans as derived recently by RIVM, a maximum allowable concentration in fish was calculated assuming a lifetime daily consumption. This biota standard, that is also protective for birds and mammals, can be converted to an equivalent concentration in water using information on the uptake of FRD-902 and FRD-903 by fish from water. However, such information is not available.

Data on bioaccumulation are needed because the water quality standard for ecological effects on aquatic organisms is not sufficiently protective for food chain effects. The compounds have a relatively low toxicity for water organisms, but may pose a problem when entering the food chain via fish.

RIVM recommends to investigate the uptake of FRD-902 and FRD-903 in fish in a laboratory experiment or by sampling and analysis of representative fish and water from the field.

Keywords: GenX; water quality standards, FRD-902: FRD-903; perfluoro compounds

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

- 1.1 Aanleiding van de opdracht — 11
- 1.2 Algemene beschrijving van de GenX-technologie — 11
- 1.3 Beknopte uitleg van de methodiek — 12
 - 1.3.1 Indicatieve MKN voor directe ecotoxiciteit — 12
 - 1.3.2 Indicatieve MKN voor voedselketeneffecten — 12
- 1.4 Indicatief of gedegen — 14
- 1.5 GenX: beperkingen van de indicatieve methodiek — 14

2 Identiteit, stofeigenschappen en gedrag in water — 17

- 2.1 Identiteit en status van FRD-902 en FRD-903 — 17
- 2.2 Fysisch-chemische eigenschappen — 18
- 2.3 Persistentie en gedrag in water — 18

3 Toxiciteit voor mensen — 19

- 3.1 Humaan-toxicologische risicogrens en biotanorm — 19
- 3.2 Richtwaarde voor drinkwater — 19

4 Bioaccumulatie in vis — 21

- 4.1 Toetsing aan bioaccumulatie-criterium — 21
- 4.2 Accumulatie in vis — 21
- 4.3 Invloed van stofeigenschappen — 22
- 4.4 Invloed van concentratie — 22

5 Ecotoxiciteit — 25

6 Afleiding van indicatieve normen — 27

- 6.1 Afleiding van de i-JG-MKN_{eco} — 27
- 6.2 Afleiding van de i-MAC-MKN_{neco} — 27
- 6.3 Afleiding van de i-JG-MKN_{voedselketen} — 28

7 Discussie en conclusies — 29

Dankbetuiging — 31

Literatuur — 33

Bijlage 1. Ecotoxiciteitsgegevens voor PFOA — 35

Samenvatting

In dit rapport onderzoekt het RIVM de mogelijkheid om indicatieve waterkwaliteitsnormen af te leiden voor twee componenten van de GenX-technologie, FRD-902 en FRD-903. Dit zijn perfluorverbindingen die kunnen vrijkomen bij de productie van teflon.

Bij het afleiden van indicatieve waterkwaliteitsnormen wordt gekeken naar directe effecten op waterorganismen en naar effecten in de voedselketen. Voor voedselketeneffecten wordt een concentratie in water berekend waarbij de ophoping in vis dusdanig laag is, dat levenslange consumptie door mensen, vogels en zoogdieren veilig is.

Het RIVM heeft eerder voor beide stoffen een voorlopige risicogrens voor mensen afgeleid. Met deze waarde is berekend wat er maximaal in vis zou mogen zitten als die levenslang door mensen wordt gegeten. Dit levert een indicatieve biotnorm van 1,3 microgram per kilogram vis. Er zijn geen bruikbare gegevens over de opname van FRD-902 en FRD-903 vanuit water door vissen. De indicatieve biotnorm kan daarom niet worden vertaald naar een bijbehorende veilige concentratie in water.

FRD-902 is relatief weinig giftig voor waterorganismen en er wordt aangenomen dat dit ook voor FRD-903 geldt. De indicatieve waterkwaliteitsnorm voor directe ecotoxiciteit is echter niet voldoende beschermend voor voedselketeneffecten. Zelfs bij een zeer kleine opname van de perfluorverbindingen door vissen, is de voedselketenroute al kritisch ten opzichte van directe ecotoxiciteit. Zo'n kleine opname is hoogst onwaarschijnlijk en de veilige waarde voor ecotoxiciteit zal dus leiden tot gehalten in vissen die ver boven de indicatieve biotnorm uitkomen. Ook bij de voorlopige richtwaarde voor drinkwater zijn de concentraties in vis naar verwachting hoger dan de indicatieve biotnorm.

Om een indicatieve waterkwaliteitsnorm voor voedselketeneffecten af te kunnen leiden, zou een bioconcentratiestudie in vissen moeten worden uitgevoerd bij verschillende concentraties tussen 10 ng/L en 100 µg/L. Het meten van de concentratie FRD-902 in representatieve vissen uit het veld kan ook bruikbare informatie geven, mits het water waaruit de vissen bemonsterd zijn ook wordt geanalyseerd.

1 Inleiding

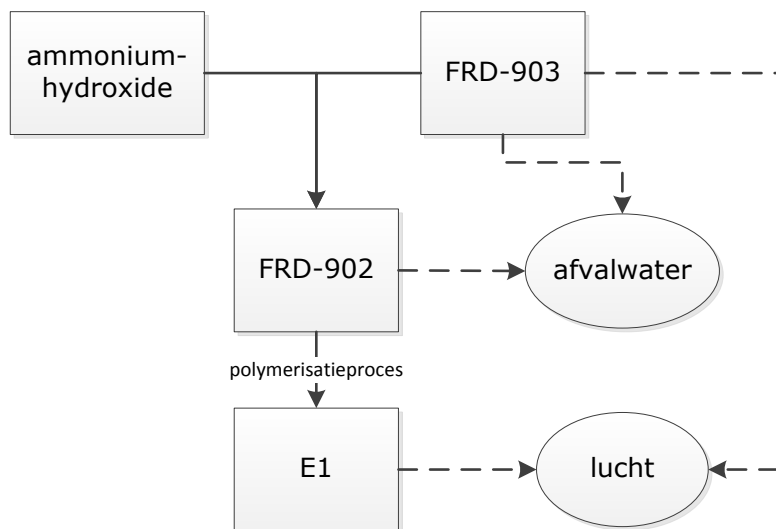
1.1 Aanleiding van de opdracht

Het ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft het RIVM opdracht gegeven om indicatieve waterkwaliteitsnormen af te leiden voor de stoffen die onderdeel zijn van het productieproces dat wordt aangeduid als GenX-technologie. Sinds 2012 gebruikt fabrikant Chemours (Dordrecht) deze GenX-technologie om plastics (fluorpolymeren) te maken. Dit rapport gaat over twee componenten van de GenX-technologie, met de codenamen FRD-902 en FRD-903.

De indicatieve normaflleiding vindt plaats in de context van de evaluatie van mogelijke gezondheids- en milieurisico's als gevolg van emissies door het bedrijf Chemours in Dordrecht. Het ministerie van IenM heeft rondom deze casus meerdere onderzoeken bij het RIVM uitgezet.

1.2 Algemene beschrijving van de GenX-technologie

De informatie in deze paragraaf is grotendeels afkomstig uit de gezondheidskundige stofevaluatie van het RIVM (Beekman et al., 2016). De GenX-technologie is ontwikkeld om perfluorooctaan zuur (PFOA, ook bekend als C8) te vervangen bij de productie van teflon coatings. Chemours is hier vanaf 2005 mee bezig en in de fabriek in Dordrecht gebruikt men vanaf 2012 geen PFOA meer. De GenX-technologie is ook gebaseerd op geperfluoreerde verbindingen. Figuur 1 geeft het GenX-proces schematisch weer. De precursor 2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)-propanoanzuur (FRD-903) wordt gemengd met een ammoniumhydroxide oplossing. Hierbij ontstaat ammonium 2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propanoaat (FRD-902). FRD-902 controleert het polymerisatieproces waarmee fluorpolymeren worden gemaakt. Bij dit productieproces wordt FRD-902 door verhitting omgezet in het niet wateroplosbare hydride heptafluorpropyl 1,2,2,2-tetrafluorethyl ether (E1). Een deel van de FRD-903 en E1 wordt uitgestoten naar lucht, FRD-902 en FRD-903 verdwijnen voor een deel naar het afvalwater. Na een voorzuivering op de industrielocatie wordt het afvalwater afgevoerd naar de lokale rioolwaterzuiveringsinstallatie. Omdat FRD-902 en FRD-903 in het afvalwater terechtkomen, worden voor deze twee componenten waterkwaliteitsnormen afgeleid.



Figuur 1 Schematische weergave van de voornaamste componenten van de GenX-technologie.

1.3 Beknopte uitleg van de methodiek

Het afleiden van indicatieve waterkwaliteitsnormen (i-MKN) gebeurt normaal gesproken volgens de methodiek die is beschreven in RIVM-rapport 2015-0057 (De Poorter et al., 2015). De methodiek is gebaseerd op het Europese guidancedocument voor het afleiden van waterkwaliteitsnormen onder de Kaderrichtlijn water (EC, 2011). Het doel van de indicatieve methodiek is om op een snelle manier normen af te leiden die een eerste indicatie kunnen geven van de milieurisico's van een bepaalde stof. De methodiek bevat twee sporen: er wordt gekeken naar zowel directe effecten op waterorganismen (directe ecotoxiciteit) als naar voedselketeneffecten. De laagste van de twee bepaalt de uiteindelijke indicatieve waterkwaliteitsnorm.

1.3.1 *Indicatieve MKN voor directe ecotoxiciteit*

Voor directe ecotoxiciteit worden twee indicatieve normen afgeleid, de indicatieve jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm voor langdurige blootstelling (i-JG-MKN_{eco}) en de indicatieve maximaal aanvaardbare concentratie voor kortdurende pieken (i-MAC-MKN_{eco}). Beide normen worden afgeleid door middel van een veiligheidsfactor op het laagst beschikbare ecotoxiciteitsgetal. De veiligheidsfactor hangt af van het aantal taxonomische groepen waarvoor gegevens beschikbaar zijn en van het type testen. Als er voor meerdere taxonomische groepen gegevens zijn van langdurige studies, kan een lagere factor worden toegepast dan wanneer alleen acute studies zijn uitgevoerd voor een beperkt aantal soorten.

1.3.2 *Indicatieve MKN voor voedselketeneffecten*

Er wordt ook een indicatieve jaargemiddelde waterkwaliteitsnorm voor voedselketeneffecten afgeleid (i-JG-MKN_{voedselketen}). Hierbij wordt gekeken naar de effecten op mensen die een stof binnen kunnen krijgen via het eten van vis. De aanname is dat de norm voor visconsumptie ook beschermend is voor vogels en zoogdieren die van vis leven. De afleiding van de i-JG-MKN_{voedselketen} gebeurt in twee stappen.

Eerst wordt een indicatieve biotnorm berekend. Deze $i\text{-JG-MKN}_{\text{humaan, voedsel}}$ is de concentratie die maximaal in vis mag zitten als die levenslang iedere dag door mensen wordt gegeten. Daarna wordt met de $i\text{-JG-MKN}_{\text{humaan, voedsel}}$ uitgerekend wat er maximaal in water mag zitten zodat de indicatieve biotnorm niet wordt overschreden. Beide stappen worden hieronder toegelicht.

- 1.3.2.1 Berekening van de biotnorm $i\text{-JG-MKN}_{\text{humaan, voedsel}}$
 Voor het afleiden van de $i\text{-JG-MKN}_{\text{humaan, voedsel}}$ is informatie over humane toxiciteit nodig. Bij de afleiding wordt op basis van een humaan-toxicologische risicogrens (TDI; *Tolerable Daily Intake*) berekend welke concentratie maximaal in vis mag zitten, uitgaande van een standaard lichaamsgewicht van 70 kilo en een dagelijkse visconsumptie van 115 gram per dag. Er wordt een factor van 10% gebruikt om rekening te houden met het feit dat andere blootstellingsroutes (tot 90%) kunnen bijdragen aan de totale inname van de stof, zie vergelijking (1):

$$i\text{-JG-MKN}_{\text{humaan, voedsel}} = \frac{\text{TDI} \times 10\% \times 70}{\text{DFI}} \quad (1)$$

met:

$i\text{-JG-MKN}_{\text{humaan, voedsel}}$ = biotnorm in ng/kg vis

TDI = humaan toxicologische risicogrens in ng/kg
 lichaamsgewicht per dag

DFI = Daily Fish Intake: 0,115 kg vis/persoon per dag

De berekeningsmethodiek is afkomstig uit het Europese guidancedocument voor het afleiden van waterkwaliteitsnormen onder de Kaderrichtlijn water (EC, 2011). De DFI van 0,115 kg vis/persoon per dag geldt voor een persoon van 70 kg. Dit zijn de standaardwaarden die ook in REACH worden gebruikt. De visconsumptie van 115 g per dag is hoger dan de gemiddelde visconsumptie in Nederland, maar is gekozen als een Europese waarde die bescherming biedt aan mensen die veel vis eten. Recent is voorgesteld om de factor van 10% te veranderen naar 20% (Smit et al., 2016), maar in de huidige indicatieve en gedegen methodiek wordt gerekend met een bijdrage van vis van 10%.

- 1.3.2.2 Berekening van de waterkwaliteitsnorm $i\text{-JG-MKN}_{\text{voedselketen}}$
 De concentratie in vis wordt vervolgens omgerekend naar een bijbehorende concentratie in water met behulp van de bioconcentratiefactor (BCF), die de opname van de stof uit water beschrijft en de biomagnificatiefactor die de doorgifte in de voedselketen weergeeft. Dit gebeurt met vergelijking (2):

$$i\text{-JG-MKN}_{\text{voedselketen}} = \frac{i\text{-JG-MKN}_{\text{humaan, voedsel}}}{\text{BCF} \times \text{BMF}} \quad (2)$$

met:

$i\text{-JG-MKN}_{\text{voedselketen}}$ = waterkwaliteitsnorm in ng/L

$i\text{-JG-MKN}_{\text{humaan, voedsel}}$ = biotnorm in ng/kg vis

BCF = bioconcentratiefactor in L/kg vis

BMF = biomagnificatiefactor [-]

In plaats van de combinatie van BCF en BMF wordt de voorkeur gegeven aan de bioaccumulatiefactor (BAF, zie hoofdstuk 4) die zowel de opname uit water als uit voedsel beschrijft. De BAF wordt bepaald door vissen in

het veld te bemonsteren en de gemeten concentratie in de vis te delen door de waterconcentratie ter plekke. De vissensoort moet representatief zijn voor wat mensen eten. In plaats van vergelijking (2) wordt dan vergelijking (3) gebruikt voor het berekenen van de indicatieve voedselketennorm:

$$i\text{-JG-MKN}_{\text{voedselketen}} = \frac{i\text{-JG-MKN}_{\text{humaan, voedsel}}}{\text{BAF}} \quad (3)$$

met:

$i\text{-JG-MKN}_{\text{voedselketen}}$ = waterkwaliteitsnorm in ng/L

$i\text{-JG-MKN}_{\text{humaan, voedsel}}$ = biotanorm in ng/kg vis

BAF = bioaccumulatiefactor in L/kg vis

1.4 Indicatief of gedegen

De indicatieve methodiek wordt meestal ingezet in situaties waar tijd een beperkende factor is, bijvoorbeeld een vergunningprocedure of een calamiteit. De indicatieve methodiek gaat uit van een aantal principes:

- er wordt naar informatie gezocht in een beperkt aantal, vast omschreven gegevensbronnen,
- voor directe ecotoxiciteit wordt er gekeken naar een beperkte set van effecten in relatief eenvoudige laboratoriumstudies,
- de onderliggende studies worden niet inhoudelijk geëvalueerd,
- de normafleiding wordt volgens vaste stappenschema's uitgevoerd.

Voor de humane component wordt waar mogelijk gebruik gemaakt van risicogrenzen voor de mens die in andere (inter)nationale kaders zijn afgeleid. Als die niet beschikbaar zijn, wordt via een relatief eenvoudige procedure een humaan-toxicologische risicogrens afgeleid. De indicatieve methodiek laat weinig ruimte voor 'expert judgement'. Ondanks deze beperking levert de indicatieve methodiek vaak een goede basis om een oordeel te geven over bijvoorbeeld de toelaatbaarheid van lozingen.

Het kan gebeuren dat de indicatieve norm duidt op een mogelijk kritische situatie, bijvoorbeeld net wel of net geen normoverschrijding. Ook zijn er situaties waarin de indicatieve methodiek geen recht doet aan de complexiteit van de stof of situatie, bijvoorbeeld als de stof eigenschappen heeft die extra eisen stellen aan de uitvoering van ecotoxicologische experimenten of als er aanvullende gegevens (nodig) zijn die niet door de indicatieve methodiek worden afgedekt. In dat geval is het beter om een gedegen normafleiding uit te voeren, waarin een volledige evaluatie van de beschikbare literatuur plaatsvindt en specifieke (stof)aspecten kunnen worden meegenomen. Gedegen waterkwaliteitsnormen worden afgeleid volgens de eerder genoemde Europees afgestemde methodiek onder de Kaderrichtlijn water (EC, 2011).

1.5 GenX: beperkingen van de indicatieve methodiek

In het licht van het bovenstaande is de normafleiding voor GenX een speciale situatie. De stoffeigenschappen van perfluorverbindingen zijn complex en het gedrag in water en organismen is niet voorspelbaar op basis van bekende modellen. De Poorter et al. (2015) maken een

voorbehoud bij het toepassen van indicatieve methodiek voor stoffen met afwijkende (combinaties van) eigenschappen. Bovendien is deze normafleiding onderdeel van een bredere evaluatie die uit meerdere onderzoeken bestaat (zie 1.1). De al gepubliceerde deelonderzoeken naar de componenten van de GenX-technologie bevatten de afleiding van een humaan-toxicologische risicogrens (*Tolerable Daily Intake*; TDI), toetsing aan de criteria voor persistentie, bioaccumulatie en toxiciteit (PBT) en de afleiding van een richtwaarde voor drinkwater (Beekman et al., 2016; Janssen, 2016).

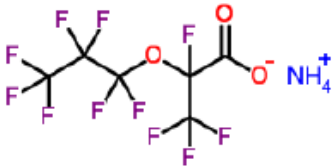
Er is voor gekozen om de relevante informatie uit deze onderzoeken zoveel mogelijk te benutten. Daarmee wordt gebruik gemaakt van informatie die buiten de vast omschreven gegevensbronnen van de indicatieve methodiek valt. Dit betekent dat er is afgeweken van de methodiek zoals beschreven in De Poorter et al. (2015). Vanwege de complexe stoffeigenschappen van GenX zou een gedegen normafleiding nodig zijn. Binnen het tijdsbestek van deze opdracht kon echter geen volledige evaluatie van de ecotoxiciteits- en zoogdierstudies worden uitgevoerd. Bovendien wordt in de rapporten van Beekman et al. (2016) en Janssen (2016) al op meerdere plaatsen aangegeven dat er vanwege het ontbreken van gegevens onzekerheid bestaat over de uitkomsten. Bij gebrek aan gegevens voor FRD-902 en FRD-903 moest in die rapporten worden teruggevallen op informatie over PFOA. Ook in het huidige rapport wordt kennis over PFOA gebruikt.

2 Identiteit, stofeigenschappen en gedrag in water

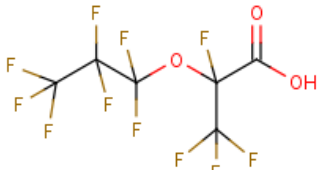
2.1 Identiteit en status van FRD-902 en FRD-903

In de Tabel 1 en 2 staat de informatie voor de stoffen samengevat.

Tabel 1 Identiteit en status van FRD-902

Naam	ammonium 2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)-propanoaat
CAS-nummer	62037-80-3
EC-nummer	700-242-3
Synoniemen	FRD-902, C3-dimeer zout
IUPAC naam	ammonium 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(heptafluorpropoxy)-propanoate
Molecuulformule	C ₆ H ₄ NF ₁₁ O ₃
Structuurformule	
Smiles code	C(=O)(C(C(F)(F)F)(OC(C(C(F)(F)F)(F)F)(F)F)F)F)[O-].[NH4+]
REACH	geregistreerd door Chemours Nederland BV 10 – 100 ton/jaar, volledige registratie
CLP	geen geharmoniseerde classificatie; 28 notificaties (19 september 2016), waaronder: Acute Tox. 4; H302, Eye Dam. 1; H318, STOT RE 2; H373

Tabel 2 Identiteit en status van FRD-903

Naam	2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propaanzuur
CAS-nummer	13252-13-6
EC-nummer	236-236-8
Synoniemen	FRD-903, C3-dimeer
IUPAC naam	2,3,3,3-tetrafluoro-2-(heptafluorpropoxy)propanoic acid; perfluoro-2-methyl-3-oxahexanoic acid
Molecuulformule	C ₆ HF ₁₁ O ₃
Structuurformule	
Smiles code	C(=O)(C(C(F)(F)F)(OC(C(C(F)(F)F)(F)F)(F)F)F)F)O
REACH	pre-registratie
CLP	geen geharmoniseerde classificatie; 99 notificaties (19 september 2016), waaronder: Acute Tox. 4; H302, Skin Corr. 1B of 1C; H314, Eye Dam. 1; H318, STOT SE 3; H335 (Respiratory)

2.2 Fysisch-chemische eigenschappen

De fysisch-chemische eigenschappen van FRD-902 zoals opgenomen in het REACH-registratiedossier zijn hieronder samengevat, gebaseerd op Beekman et al. (2016). De fysisch-chemische eigenschappen van FRD-903 zijn afkomstig uit veiligheidsinformatiebladen op internet¹ en een recente publicatie (Hoke et al., 2016).

Tabel 3 Fysisch-chemische eigenschappen van FRD-902 en FRD-903. De percentages zijn de zuiverheid van geteste stof.

Parameter	FRD-902	FRD-903
Molecuulgewicht	347,084 g/mol	330,06 g/mol
Smeltpunt/vriespunt	-21 °C (86%; vloeistof) 208 °C (99,4%; vast)	< -40 °C
Kookpunt	108 °C	60 °C (10 mm Hg)
Dampdruk	0,012 Pa (99,4%)	100-300 Pa (waterige oplossing) ^b
Wateroplosbaarheid	207 mg/L (10 °C) > 200 g/L ^b	
Vorm van de stof	kleurloze vloeistof (86%) vaste stof (99,4%)	kleurloze vloeistof
Dichtheid	1118 g/L (99,4%)	1185 g/L ^a 1690 g/L ^b
Dissociatieconstante pKa pKb	3,82 (86%; 20 °C) 8,10 (86%; 20 °C)	2,8

a: zie voetnoot 1

b: voor de 85% waterige oplossing (Hoke et al., 2016)

2.3 Persistentie en gedrag in water

Het RIVM-rapport van Beekman et al. (2016) bevat een beoordeling van de persistentie van FRD-902.

FRD-902 is hydrolytisch stabiel, oppervlakte-actief en niet *readily biodegradable*. Er is geen informatie uit afbraakstudies in water/sediment-systemen of bodem. Omdat FRD-902 een geperfluoreerde etherverbinding is, kan met grote zekerheid worden aangenomen dat de stof persistent of zeer persistent is. Dit wordt bevestigd door QSAR-voorspellingen (QSAR = *Quantitative Structure Activity Relationship*). Voor FRD-902 zijn log Koc-waarden van 1,1 en 1,08 beschikbaar, de Henry-coëfficiënt is laag ($4,06 \times 10^{-6}$ Pa.m³/mol) en de wateroplosbaarheid is hoog (207 mg/L). Op basis hiervan zou een lage binding van FRD-902 aan zwevend stof en bodem verwacht kunnen worden. Aan de andere kant kunnen de oppervlakte-actieve eigenschappen binding bevorderen. In water zal FRD-902 bij omgevingstemperatuur en neutrale pH in gedissocieerde vorm aanwezig zijn.

Voor FRD-903 is geen aanvullende informatie gevonden en de bovenstaande informatie over FRD-902 wordt van toepassing geacht op FRD-903.

¹ <http://synquestlabs.com/msds/2121-3-13.pdf>; <https://www.alfa.com/en/content/msds/dutch/L16968.pdf>

3 Toxiciteit voor mensen

3.1 Humaan-toxicologische risicogrens en biotanorm

In het RIVM-rapport van Beekman et al. (2016) zijn de beschikbare humaan-toxicologische gegevens voor FRD-902 samengevat en is een humaan-toxicologische risicogrens voor inhalatie afgeleid van 73 ng/m^3 . Deze geldt voor zowel FRD-902 als FRD-903. Janssen (2016) heeft op basis van dezelfde dataset een voorlopige TDI voor orale inname afgeleid van $21 \text{ ng/kg}_{\text{ig}}/\text{d}$. Er zijn geen gegevens over de eliminatiesnelheid in mensen en daarom zijn gegevens voor PFOA gebruikt om een veiligheidsfactor af te leiden. Er zijn weliswaar aanwijzingen dat FRD-902 in ratten, muizen en apen sneller wordt geëlimineerd dan PFOA, maar de eliminatiesnelheid van PFOA in mensen is veel lager dan in proefdieren. De TDI van $21 \text{ ng/kg}_{\text{ig}}/\text{d}$ wordt aangeduid als een voorlopige waarde op basis van een pragmatische *worst-case* benadering. Voor een definitieve waarde is aanvullende informatie nodig over de accumulatie in mensen (Janssen, 2016). De voorlopige TDI voor FRD-902 is bijna twee keer zo hoog als de TDI voor PFOA van $12,5 \text{ ng/kg}_{\text{ig}}/\text{d}$ (Zeilmaker et al., 2016).

Met de voorlopige TDI van $21 \text{ ng/kg}_{\text{ig}}/\text{d}$ wordt met behulp van vergelijking (1) een indicatieve biotanorm ($i\text{-JG-MKN}_{\text{humaan, voedsel}}$) berekend van $1,3 \text{ } \mu\text{g/kg}_{\text{vis}}$.

3.2 Richtwaarde voor drinkwater

Met de voorlopige TDI van $21 \text{ ng/kg}_{\text{ig}}/\text{d}$ is een richtwaarde voor drinkwater afgeleid van $0,15 \text{ } \mu\text{g/L}$ (Janssen, 2016). Deze waarde is berekend met vergelijking (4):

$$\frac{\text{TDI (} 21 \text{ ng/kg}_{\text{ig}}/\text{d} \text{)} \times 20\% \times \text{lichaamsgewicht (} 70 \text{ kg)}}{\text{Dagelijkse drinkwaterinname (} 2 \text{ L/d)}} \quad (4)$$

In zowel de indicatieve als gedegen methodiek voor waterkwaliteitsnormen, wordt de richtwaarde gebruikt als waterkwaliteitsnorm voor oppervlaktewater op innamepunten voor drinkwater, onder de aanname dat er geen verdere zuivering plaatsvindt. Net als bij de berekening van de $i\text{-JG-MKN}_{\text{voedselketen}}$ wordt rekening gehouden met het feit dat andere blootstellingsroutes kunnen bijdragen aan de totale inname van de stof. In de huidige indicatieve en gedegen methodiek is de bijdrage van drinkwater op 10% gesteld, maar bij de richtwaarde is gerekend met de standaardwaarde van 20% uit de meest recente WHO-methodiek (WHO, 2011).

4 Bioaccumulatie in vis

4.1 Toetsing aan bioaccumulatie-criterium

De evaluatie van Beekman et al. (2016) is gericht op het toetsen van FRD-902 en FRD-903 (en E1) aan de PBT-criteria en beantwoordt de vraag of het aannemelijk is dat de stoffen als bioaccumulerend moeten worden beschouwd. Bij de beoordeling van het B-criterium in de context van REACH speelt niet alleen stapeling in vis een rol, maar wordt ook meegewogen of de stoffen in hogere organismen stapelen. De verwante stof PFOA wordt als bioaccumulerend beschouwd. Dit is niet zozeer omdat de stof sterk accumuleert in vissen, maar omdat de stof in hogere dieren en mensen wordt aangetroffen. Mensen blijken PFOA moeilijk te kunnen uitscheiden. Het is niet precies bekend waardoor dat komt, maar de sterke binding aan (bloed)eiwitten speelt waarschijnlijk een rol. In de RIVM-evaluatie van Beekman et al. (2016) is onderzocht of het aannemelijk is dat FRD-902 en FRD-903 zich ophopen in mensen. Door het ontbreken van specifieke informatie over de uitscheiding van deze stoffen, kan dit niet worden uitgesloten.

4.2 Accumulatie in vis

Het huidige rapport gaat over het afleiden van waterkwaliteitsnormen, waarvoor niet de accumulatie in mensen, maar de bioaccumulatie in vis een bepalende factor is. Zoals hierboven is aangegeven (zie 1.3), is voor het berekenen van de waterkwaliteitsnorm voor de route mens-via-vis een numerieke waarde voor bioaccumulatie in vis nodig (BAF). Voor FRD 902 en FRD-903 zijn dit soort gegevens nauwelijks beschikbaar. Beekman et al. (2016) citeren de eerder genoemde publicatie van Hoke et al. (2016), die een laboratoriumstudie hebben uitgevoerd naar de bioconcentratie van het zuur FRD-903 in karpers. In deze studie werden vissen gedurende 28 dagen blootgesteld aan 20 of 200 µg FRD-903/L. Aan het eind van de studie waren de residuen in de vissen lager dan de detectielimiet van 0,55 mg/kg. De analysemethode voor de vissen is relatief ongevoelig en uit de studie kan alleen worden geconcludeerd dat de bioconcentratiefactor (BCF) van FRD-903 voor de karper lager is dan <30 L/kg bij 20 µg/L en <3 L/kg bij 200 µg/L.

De perfluorverbindingen PFOS en PFOA binden vooral aan eiwitten en opname in vetweefsel is niet relevant voor het beoordelen van de bioaccumulatie. FRD-902 en FRD-903 zijn ook perfluorverbindingen en hoewel er nauwelijks experimentele informatie beschikbaar is, wordt op basis van analogie met PFOA aangenomen dat ook voor deze stoffen met name eiwitbinding plaatsvindt. De resultaten van Hoke et al. (2016) zijn in lijn met de BCF-waarden die in het laboratorium voor PFOA zijn gevonden: 1,8 tot 43 L/kg voor zalmforel, karper en zebravis. Voor de Japanse oester ligt de BCF tussen 0,8 tot 3,1 L/kg, afhankelijk van het zoutgehalte van het water. Zie voor een overzicht Verbruggen et al. (2017).

4.3 Invloed van stofeigenschappen

Het is bij perfluorverbindingen niet duidelijk welke stofeigenschappen de BAF in waterorganismen bepalen. Het zou kunnen liggen aan het aantal koolstofatomen met een perfluorbinding. Over het algemeen hebben de verbindingen met korte ketens een hogere wateroplosbaarheid. Dat betekent enerzijds dat ze beter beschikbaar zijn om uit de waterfase te worden opgenomen, maar ook dat ze beter kunnen worden uitgescheiden. De interne verdeling in het organisme is ook stofafhankelijk. De accumulatie in vissen is dus de resultante van het vóórkomen in de waterfase, de opname via de kieuwen, de verdeling in het lichaam van de vis en de mate waarin de stof weer via de kieuwen kan worden uitgescheiden. PFOS heeft 8 geperfluoreerde C-atomen en accumuleert sterker in vissen dan PFOA dat er 7 heeft (Moermond et al., 2010; Verbruggen et al., 2017). Het aantal geperfluoreerde C-atomen is bij FRD-902 kleiner dan bij PFOA (4,5; een van de C-atomen heeft een carboxylgroep en is niet volledig geperfluoreerd). Dit betekent echter niet automatisch dat FRD-902 en FRD-903 minder accumuleren dan PFOA. Het is bijvoorbeeld niet duidelijk welke rol de etherbinding speelt in de mate van eiwitbinding en accumulatie.

Het gedrag van perfluorverbindingen in water en organismen is complex en niet voorspelbaar op basis van bekende modellen. Omdat de stof aan eiwit bindt en niet aan vet, is de $\log K_{ow}$ geen goede maat voor het schatten van de bioaccumulatie. Bij het afleiden van waterkwaliteitsnormen voor PFOA zijn bioaccumulatiestudies gevonden waarin reeksen van perfluorverbindingen zijn gemeten in water en biota. Theoretisch zou je uit dit soort studies patronen kunnen afleiden tussen structuur en accumulatie-niveau. De evaluatie van PFOA-studies laat echter zien dat de biologische en analytische variatie aanzienlijk is, ook binnen één studie (Verbruggen et al., 2017). Hierdoor is het zelfs voor een individuele perfluorverbinding lastig om te komen tot 'de' schatting van de BAF, laat staan dat het mogelijk is om de gegevens van de ene verbinding te vertalen in een andere.

4.4 Invloed van concentratie

Uit de evaluatie van PFOA blijkt dat de accumulatie in de aquatische voedselketen (vissen, kreeftachtigen en weekdieren) vooral wordt bepaald door de opname uit de waterfase. De in het veld gemeten bioaccumulatiefactoren (BAF) zijn in lijn met de in het laboratorium bepaalde bioconcentratiefactoren (BCF) en biomagnificatie lijkt geen rol te spelen. Wel blijkt dat de bioconcentratie en bioaccumulatie van PFOA afhankelijk is van de concentratie in het water. Bij lagere, veldrelevante, concentraties wordt verhoudingsgewijs meer opgenomen dan bij hogere concentraties. De precieze achtergrond van dit fenomeen is niet duidelijk, maar het zou te maken kunnen hebben met de specifieke binding van PFOA aan eiwitten en de ophoping in bepaalde organen. Vanuit de relatie tussen de BAF en externe concentratie kan de waterconcentratie worden berekend waarbij de BAF leidt tot het bereiken van de biotanorm.

Waarschijnlijk zou voor FRD-902 een soortgelijke benadering moeten worden gevolgd als voor PFOA, maar de gegevens om dit te kunnen doen ontbreken. De eerder genoemde bioconcentratiestudie van Hoke et

al. (2016) geeft geen uitsluitel of een dergelijk fenomeen ook voor FRD-902 geldt. De concentraties die in die studie zijn gebruikt (20 en 200 µg/L) zijn veel hoger dan gemeten concentraties in het veld. Heydebreck et al. (2015) hebben in 2013 in de Nieuwe Waterweg een concentratie van 91,4 ng/L gemeten. Een bioconcentratiestudie zou moeten worden uitgevoerd bij verschillende concentraties die enkele ordegroottes verschillen en ook de milieurelevante concentraties bevatten, bijvoorbeeld 5 concentraties tussen 10 ng/L – 100 µg/L.

5 Ecotoxiciteit

In het REACH-registratiedossier zit informatie over directe ecotoxiciteit van FRD-902 voor waterorganismen. De gegevens uit het REACH-registratiedossier zijn in 2016 ook gepubliceerd in de openbare literatuur (Hoke et al., 2016). Voor de algen is er een klein verschil tussen de waarde in Hoke et al. (2016) en het REACH-registratiedossier (> 107 en >106 mg/L), maar uit de beschrijving is duidelijk dat het dezelfde studie betreft. Voor vissen geeft het REACH-dossier een 90-dagen NOEC van 1,08 mg/L. Bij de drie hoogste concentraties was de laatste dag van het uitkomen van de eieren 23 dagen in plaats van 24 dagen. Omdat er voor geen van de andere eindpunten een verschil optrad, concluderen Hoke et al. (2016) dat dit verschil van een dag niet relevant is en zij geven een NOEC $\geq 8,89$ mg/L. De beschikbare ecotoxiciteitsgegevens zijn samengevat in Tabel 4, alle waarden voor FRD-902 zijn gebaseerd op gemeten concentraties. Er zijn geen gegevens voor FRD-903, maar er wordt aangenomen dat de ecotoxiciteit van beide stoffen vergelijkbaar is. De PNEC in het REACH-dossier is 0,108 mg/L, op basis van de NOEC voor vissen van 1,08 mg/L met een veiligheidsfactor van 10.

Ter vergelijking zijn de ecotoxiciteitsgegevens voor PFOA bijgevoegd in Bijlage 1. Deze gegevens zijn afkomstig uit Verbruggen et al. (2017).

Tabel 4 Overzicht van de acute en chronische ecotoxiciteit van FRD-902 voor waterorganismen.

Taxon	Organisme	Tijdsduur	Criterium	Waarde FRD-902 [mg/L]
acut				
algen	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	72 h	ErC50	> 106
kreeftachtigen	<i>Daphnia magna</i>	48 h	EC50	> 102
vissen	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	96 h	LC50	$> 96,9$
	<i>Gobiocypris raris</i>	96 h	LC50	> 145
chronisch				
algen	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	72 h	NOE _r C	≥ 106
kreeftachtigen	<i>Daphnia magna</i>	21 d	NOEC	4,17
vissen	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	90 d	NOEC	1,08 $\geq 8,89$

De chronische NOEC van 4,17 mg FRD-902/L voor *Daphnia magna* is vergelijkbaar met de waarden die voor PFOA zijn gevonden in laboratoriumtoetsen met zoetwater kreeftachtigen (zie Bijlage 1; NOEC-waarden van 3,13 en 7,02 mg PFOA/L voor *Moina macrocopa* en *D. magna*). De chronische NOEC van FRD-902 voor zoetwatervissen van $\geq 8,89$ mg/L is ook vergelijkbaar met die van PFOA (zie Bijlage 1; LC10 11,78 mg/L; NOEC ≥ 30 , ≥ 33 en 40 en mg/L).

6 Afleiding van indicatieve normen

6.1 Afleiding van de i-JG-MKN_{eco}

De laagste NOEC voor FRD-902 is 4,17 mg/L voor *Daphnia magna*. Er zijn acute en chronische gegevens beschikbaar voor de basisset van alg, *Daphnia* en vis. Volgens het stappenschema van de indicatieve methodiek (De Poorter et al., 2015) mag dan een veiligheidsfactor van 10 worden toegepast, tenzij er aanwijzingen zijn dat bepaalde gevoelige groepen niet voldoende zijn vertegenwoordigd in de dataset. In dat geval wordt een factor van 100 gebruikt. De gedegen methodiek kent een soortgelijke benadering en past een hogere veiligheidsfactor dan 10 toe bij twijfel over de representativiteit van de geteste soorten (EC, 2011)

In de dataset voor PFOA (zie Bijlage 1) zitten echter ook zoutwatersoorten met acute effectwaarden die een ordegrrootte lager zijn dan voor zoetwatersoorten, zoals de kreeftachtige *Sirella armata* (LC50 15,5 mg/L) en de vis *Psetta maxima* (LC50 11,9 mg/L). Bovendien is er een semi-veldstudie met PFOA waarin vissen (*Pimephales promelas*) buiten in kooitjes zijn getest. In deze studie werd bij een concentratie van 1 mg/L een effect gevonden op de afzetting van eitjes, de NOEC was 0,3 mg/L. Dit is dus ongeveer een factor 10 lager dan de laagste laboratoriumwaarden voor vissen. Op basis hiervan is voor PFOA een JG-MKN_{eco} afgeleid van 0,03 mg/L (30 µg/L) voor zoetwater en van 0,003 mg/L (3,0 µg/L) voor zoutwater (Verbruggen et al., 2017).

Het is niet bekend of FRD-902 en FRD-903 op dezelfde manier werken als PFOA. In het licht van de gegevens over PFOA is ervoor gekozen om een veiligheidsfactor van 100 toe te passen om rekening te houden met de beperktere dataset en eventuele effecten na langdurige blootstelling. Voor beide stoffen wordt daarom een i-JG-MKN_{eco, zoet} voorgesteld van 0,0417 mg/L = 42 µg/L. Deze waarde geldt voor de totale concentratie van beide stoffen. Voor het mariene ecosysteem wordt een veiligheidsfactor van 10 op de zoetwaternorm gezet, dit leidt tot een i-JG-MKN_{eco, zout} = 4,2 µg/L.

6.2 Afleiding van de i-MAC-MKN_{eco}

In geen van de acute studies is bij de hoogste testconcentratie >50% effect gevonden, alle LC50 en EC50-waarden zijn >-waarden. Het afleiden van een i-MAC-MKN_{eco} is daarom niet mogelijk.

Voor PFOA zijn MAC_{eco}-waarden voorgesteld van 2,8 mg/L voor zoetwater en 0,56 mg/L voor zoutwater. Omdat er relatief veel gegevens zijn, kon statistische extrapolatie worden toegepast (Verbruggen et al., 2017). Deze waarden zijn meer dan 12 maal hoger dan de corresponderende JG-waarden. Bij maandelijkse monitoring leidt overschrijding van de MAC dus direct tot een overschrijding van de JG-MKN. Een waterkwaliteitsnorm voor piekblootstelling is voor persistente perfluorverbindingen weinig zinvol.

6.3 Afleiding van de i-JG-MKN_{voedselketen}

De indicatieve biotnorm, uitgedrukt als een concentratie in vis, is $1,3 \mu\text{g}/\text{kg}_{\text{vis}}$ (zie 3.1). Deze waarde kan worden omgerekend naar een bijbehorende concentratie in water met behulp van een bioaccumulatiefactor. Uit hoofdstuk 4 blijkt echter dat concrete informatie over de bioconcentratie en bioaccumulatie van FRD-902 en FRD-903 in vissen ontbreekt. Het is niet mogelijk om op basis van een vergelijking met PFOA een BAF af te leiden. Dit betekent dat het niet mogelijk is om de indicatieve waterkwaliteitsnorm voor de voedselketenroute op een goede manier uit te rekenen.

Om een indicatieve waterkwaliteitsnorm af te kunnen leiden, zou een bioconcentratie studie in vissen moeten worden uitgevoerd bij verschillende concentraties volgens OECD richtlijn 305 (OECD, 2012). Het concentratiebereik zou enkele ordegroottes moeten beslaan en tenminste de milieurelevante concentraties bevatten (zie hoofdstuk 4), bijvoorbeeld $0,01 - 0,1 - 1 - 10 - 100 \mu\text{g}/\text{L}$ ($10 \text{ ng}/\text{L}$ tot $100 \mu\text{g}/\text{L}$). Het meten van de concentratie FRD-902 in relevante vissoorten uit het veld kan ook bruikbare informatie geven, mits het water waaruit de vissen bemonsterd zijn ook wordt bemonsterd en geanalyseerd.

7 Discussie en conclusies

In de inleiding is aangegeven dat een normafleiding voor de componenten van GenX een speciale situatie met zich meebrengt. De indicatieve methodiek is niet toegesneden op de bijzondere stoffeigenschappen van perfluorverbindingen en er is een gebrek aan specifieke gegevens voor de twee relevante stoffen FRD-902 en FRD-903.

Op basis van de beschikbare ecotoxiciteitsgegevens is FRD-902 relatief weinig giftig voor waterorganismen en er wordt aangenomen dat dit ook voor FRD-903 geldt. Gelet op wat bekend is over PFOA, is er onvoldoende inzicht in effecten op de lange termijn. Daarom is ervoor gekozen om een extra veiligheidsfactor toe te passen. De indicatieve norm voor directe ecotoxiciteit van beide stoffen wordt hiermee berekend als 42 µg/L.

Er zijn geen bruikbare gegevens beschikbaar over de accumulatie van FRD-902 en FRD-903 in vissen. Daarom kan er geen indicatieve waterkwaliteitsnorm voor voedselketeneffecten worden berekend. Het is echter duidelijk dat een norm op basis van directe ecotoxiciteit niet voldoende beschermend is voor deze route. Dit komt door de relatief lage humaan-toxicologische risicogrens voor FRD-902. Met de voorlopige TDI wordt een indicatieve biotnorm in vis berekend van 1,3 µg/kg_{vis}. Zelfs bij een onwaarschijnlijk lage bioaccumulatiefactor van 0,03 L/kg is de voedselketenroute al kritisch ten opzichte van directe ecotoxiciteit. Met andere woorden: als de indicatieve norm op het niveau van directe ecotoxiciteit zou worden gezet, leidt dit tot concentraties in vissen die ver boven de indicatieve biotnorm uitkomen. Het afleiden van een risicogrens op basis van alleen directe ecotoxicologie is daarom weinig betekenisvol.

De richtwaarde voor drinkwater is waarschijnlijk ook niet beschermend voor de voedselketen. Uit de combinatie van de berekeningen voor de voedselketen (vergelijking 1 en 3) en de richtwaarde voor drinkwater (vergelijking 4) volgt dat de eerste kritisch wordt bij een BAF van 8,7 L/kg en hoger. Voor FRD-902 en FRD-903 is het aannemelijk dat de BAF hoger is dan deze waarde.

De conclusie van het voorgaande is dat er geen indicatieve waterkwaliteitsnorm kan worden afgeleid. Perfluorverbindingen zijn relatief giftig voor mensen en zoogdieren. Voor dit soort stoffen moet de waterkwaliteitsbeoordeling dus ook gericht zijn op het voorkómen van effecten in de voedselketen. Informatie over de opname van deze stoffen door vissen is hiervoor essentieel. Om een veilige concentratie voor voedselketeneffecten te berekenen, zou een bioconcentratiestudie in vissen moeten worden uitgevoerd volgens OECD richtlijn 305 bij verschillende concentraties, bijvoorbeeld vijf concentraties tussen 10 ng/L tot 100 µg/L. Het meten van de concentratie FRD-902 in representatieve vissensoorten uit het veld kan ook bruikbare informatie geven, mits het water waaruit de vissen bemonsterd zijn ook wordt bemonsterd en geanalyseerd.

Dankbetuiging

De auteur bedankt Patrick Zweers en Pim Wassenaar (RIVM) en de leden van de Wetenschappelijke Klankbordgroep normstelling water en lucht voor discussie en commentaar naar aanleiding van eerdere versies van dit rapport. Het advies van de WK normstelling is in de eindrapportage verwerkt.

Literatuur

- Beekman M, Zweers P, Muller A, De Vries W, Janssen P, Zeilmaker M. 2016. Evaluation of substances used in the GenX technology by Chemours, Dordrecht. Bilthoven, Nederland: RIVM. Rapport nr. 2016-0174.
- De Poorter LRM, Van Herwijnen R, Janssen PJCM, Smit CE. 2015. Handleiding voor de afleiding van indicatieve milieurisicogrenzen. Bilthoven, Nederland: RIVM. Rapport nr. 2015-0057.
- EC. 2011. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document No. 27. Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards. Brussels, Belgium: European Commission. Rapport nr. Technical Report - 2011 - 055.
- Heydebreck F, Tang J, Xie Z, Ebinghaus R. 2015. Alternative and Legacy Perfluoroalkyl Substances: Differences between European and Chinese River/Estuary Systems. *Environ Sci Technol* 49: 8386–8395 (with erratum *EST* 49, 14742–14743).
- Hoke RA, Ferrell BD, Sloman TL, Buck RC, Buxton LW. 2016. Aquatic hazard, bioaccumulation and screening risk assessment for ammonium 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy)-propanoate. *Chemosphere* 149 (336-342).
- Janssen P. 2016. Derivation of a lifetime drinking-water guideline for 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy)propanoic acid (FRD-902). Advies van 17 november 2016 aan Jelka Appelman, Ministerie van IenM. Project nummer M/300007/16/PF. Bilthoven, Nederland, RIVM.
- 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, the Netherlands: National Institute for Public Health and the Environment. Rapport nr. 601714013.
- OECD. 2012. OECD Guidelines for the testing of chemicals. Bioaccumulation in Fish: Aqueous and Dietary Exposure. OECD Guideline 305. Adopted: 2 October 2012.
- Smit CE, Van Herwijnen R, Verbruggen EMJ. 2016. Water quality standards based on human fish consumption. Background document for revision of the WFD-methodology. Bilthoven, the Netherlands: National Institute for Public Health and the Environment. Rapport nr. 2016-0164.
- Verbruggen EMJ, Wassenaar PNH, Smit CE. 2017. Water quality standards for PFOA. Bilthoven: RIVM. Rapport nr. 2017-0044 (in voorbereiding).
- WHO. 2011. Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th edition. Chapter 8 Chemical aspects. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Zeilmaker MJ, Janssen P, Versteegh A, Van Pul A, De Vries W, Bokkers B, Wuijts S, Oomen A, Herremans J. 2016. Risicoschatting emissie PFOA voor omwonenden. Locatie: DuPont/Chemours, Dordrecht, Nederland. Bilthoven, the Netherlands: National Institute for Public Health and the Environment. Rapport nr. 2016-0049.

Bijlage 1. Ecotoxiciteitsgegevens voor PFOA

Tabel 1.1 Overzicht van acute ecotoxiciteitsgegevens voor PFOA afkomstig uit Verbruggen et al. (2017).

Taxon	Organisme	Tijdsduur	Criterium	Waarde PFOA [mg/L]
zoetwater				
Cyanobacteria	<i>Anabaena</i>	24 h	EC50	39,53
	<i>Geitlerinema amphibium</i>	72 h	EC50	247,8
Algae	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	96 h	EC50	51,9
	<i>Chlorella vulgaris</i>	72 h	EC50	974,82
	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	72 h	EC50	> 100
	<i>Scenedesmus obliquus</i>	96 h	EC50	44
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	96 h	EC50	269,63
Crustacea	<i>Chydorus sphaericus</i>	48 h	EC50	103,0
	<i>Daphnia magna</i>	48 h	EC50	305,7
	<i>Macrobrachium nipponense</i>	96 h	LC50	201,85
	<i>Moina macrocopa</i>	48 h	EC50	366,66
	<i>Neocaridina denticulata</i>	96 h	LC50	454
Rotifera	<i>Brachionus calyciflorus</i>	24 h	LC50	150
Insecta	<i>Chironomus plumosus</i>	96 h	LC50	402,24
Gastropoda	<i>Cipangopaludina cathayensis</i>	96 h	LC50	740,07
	<i>Physa acuta</i>	96 h	LC50	672
Mollusca	<i>Lampsilis siliquoidea</i>	96 h	LC50	>500
	<i>Ligumia recta</i>	96 h	LC50	>500
Platyhelminthes	<i>Dugesia japonica</i>	96 h	LC50	392,9
Annelida	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	96 h	LC50	568,2
Amphibia	<i>Bufo gargarizans</i>	96 h	LC50	114,74
Pisces	<i>Carassius auratus</i>	96 h	LC50	606,61
	<i>Cyprinus carpio</i>	96 h	LC50	> 55,6
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	96 h	LC50	752,1
	<i>Pseudorasbora parva</i>	96 h	LC50	365,02
zoutwater				
Algae	<i>Isochrysis galbana</i>	72 h	EC50	163,6
	<i>Skeletonema marinoi</i>	72 h	EC50	367,52
Crustacea	<i>Sirella armata</i>	96 h	LC50	15,5
Echinodermata	<i>Paracentrotus lividus</i>	48 h	EC50	110
Pisces	<i>Psetta maxima</i>	144 h	LC50	11,9

Tabel 1.2 Overzicht van chronische ecotoxiciteitsgegevens voor PFOA afkomstig uit Verbruggen et al. (2017).

Taxon	Organisme	Tijdsduur	Criterium	Waarde PFOA [mg/L]
zoetwater				
Cyanobacteria	<i>Anabaena</i>	24 h	EC10	49,05
Algae	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	96 h	NOEC	12,5
Crustacea	<i>Daphnia magna</i>	21 d	EC10	7,02
	<i>Moina macrocopa</i>	7 d	NOEC	3,125
Rotifera	<i>Brachionus calyciflorus</i>	4 d	NOEC	4
Amphibia	<i>Bufo gargarizans</i>	30 d	LC10	5,89
Pisces	<i>Danio rerio</i>	120 h	NOEC	≥ 33
	<i>Gobiocypris rarus</i>	28 d	NOEC	≥ 30
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	85 d	NOEC	40
	<i>Pseudorasbora parva</i>	30 d	LC10	11,78
zoutwater				
Algae	<i>Isochrysis galbana</i>	72 h	EC10	41,6

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag