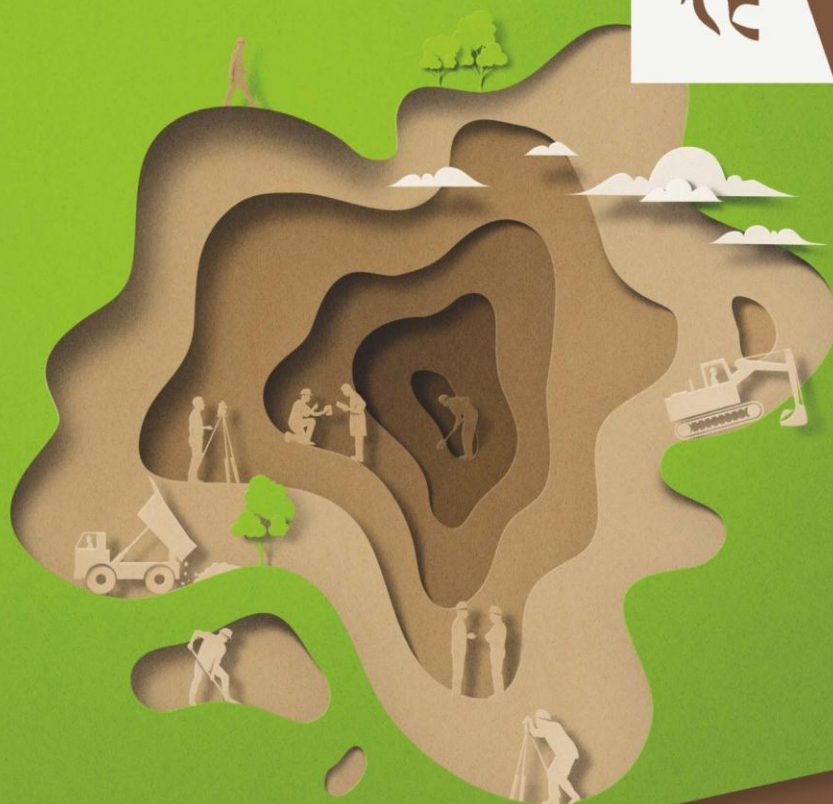




Vlaanderen
is bodembewust



ONDERZOEK NAAR AANWEZIGHEID VAN PFAS IN GRONDWATER, BODEM EN WATERBODEM TER HOOGTE VAN RISICOACTIVITEITEN IN VLAANDEREN

SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER

OVAM

WWW.OVAM.BE

SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER

OVAM

////////////////////////////////////

ONDERZOEK NAAR AANWEZIGHEID VAN
PFAS IN GRONDWATER, BODEM EN
WATERBODEM TER HOOGTE VAN
RISICOACTIVITEITEN IN VLAANDEREN

publicatiedatum / 26.06.2018

////////////////////////////////////

DOCUMENTBESCHRIJVING

- | | |
|--|---|
| 1 <i>Titel van publicatie:</i>
Onderzoek naar aanwezigheid van PFAS in
grondwater, bodem en waterbodem ter
hoogte van risicoactiviteiten in Vlaanderen | 2 <i>Verantwoordelijke Uitgever:</i>
OVAM |
| 3 <i>Wettelijk Depot nummer:</i> | 4 <i>Trefwoorden:</i>
Bodemverontreiniging, perfluor-
alkylstoffen, PFAS, PFOS, PFOA,
meetcampagne |
| 5 <i>Samenvatting:</i>
Zie pagina 6 | |
| 6 <i>Aantal bladzijden:</i> 81 | 7 <i>Aantal tabellen en figuren:</i> 39 /19 |
| 8 <i>Datum publicatie:</i> juli 2018 | 9 <i>Prijs*:</i> / |
| 10 <i>Begeleidingsgroep en/of auteur:</i>
Nele Bal, Griet van Gestel, Filip Collet (OVAM)
Tessa Pancras (Arcadis – auteur)
Hans Slenders (Arcadis – auteur),
Martijn V.Houten (Witteveen+Bos–auteur),
Jonas Rabaey (Witteveen+Bos/Mava–auteur),
Roeland V.Muylder (Witteveen+Bos–auteur) | 11 <i>Contactpersonen:</i>
Nele Bal
Griet Van Gestel |
| 12 <i>Andere titels over dit onderwerp:</i> /
xxxx | |

U hebt het recht deze brochure te downloaden, te printen en digitaal te verspreiden. U hebt niet het recht deze aan te passen of voor commerciële doeleinden te gebruiken.

De meeste OVAM-publicaties kunt u raadplegen en/of downloaden op de OVAM-website:
<http://www.ovam.be>

* Prijswijzigingen voorbehouden.

INHOUD

1	PFAS – toelichting typen en productie.....	10
1.1	Typen PFAS	11
1.1.1	Geperfluoreerde verbindingen	13
1.1.2	Gepolyfluoreerde verbindingen	13
1.2	Productie van PFAS	15
2	Toepassing PFAS.....	16
2.1	Productielocaties PFAS	16
2.2	Productie polymeren	17
2.3	Toepassing in brandblusschuim	17
2.4	Toepassing bij galvanisatie	19
2.5	Toepassing voor water- en vuilafstotend maken	20
2.6	Andere toepassingen	21
2.7	Overzicht verdachte locaties met risico op verontreiniging in bodem, grondwater en waterbodem	22
3	Gedrag van PFAS in het milieu	24
3.1	Fysisch-chemische eigenschappen	24
3.2	Verspreiding, transport en afbraak	25
3.2.1	Verspreiding via grondwater	25
3.2.2	Verspreiding via lucht	26
3.2.3	Verspreiding door (verontreinigd) slib, grondverzet of baggeren	27
3.2.4	Afbraak in het milieu	27
4	Toxiciteit en toetsingswaarden	29
4.1	Toelaatbare dagelijkse inname (TDI)	30
4.2	Toetsingswaarden grond en grondwater	32
4.2.1	Overzicht toetsingswaarden grond en grondwater voor PFOS en PFOA (Nederland)	32
4.2.2	Toetsingswaarden overige PFAS (Nederland)	35
4.2.3	Toetsingswaarden PFOS en PFOA (Vlaanderen)	35
4.2.4	Toetsingswaarden andere landen	35
5	Inleiding.....	36
6	Inventarisatie risicolocaties en selectie meetlocaties	37
6.1	Algemene aanpak	37
6.2	Selectiemethodiek van risicolocaties	37
7	Meetcampagne: bemonstering grond en grondwater	38
7.1	Inleiding	38
7.2	Overzicht meetlocaties	38
7.3	Protocol monsternamen	39
7.4	Veldwerkstrategie en staalnamen	40
7.4.1	Site 1	40
7.4.2	Site 2	40

7.4.3	Site 3	41
7.4.4	Site 4	42
7.4.5	Site 5	42
7.4.6	Site 6	43
7.4.7	Site 7	44
7.4.8	Site 8	45
7.4.9	Site 9	45
7.4.10	Site 10	46
7.4.11	Site 11	46
7.4.12	Site 12	47
7.4.13	Site 13	47
7.4.14	Site 14	48
7.4.15	Site 15	48
7.4.16	Site 16	48
7.4.17	Site 17	49
7.4.18	Site 18	49
7.5	Laboratoriumonderzoek	50
8	Resultaten en interpretatie.....	52
8.1	Data meetcampagne	52
8.1.1	Resultaten vaste deel van de aarde en waterbodem	52
8.1.2	Resultaten grondwater	53
8.2	Grafische weergave	53
8.2.1	Vaste deel van de aarde en waterbodem	53
8.2.1	Grondwater	62
8.3	Interpretatie resultaten	66
8.3.1	Vaste deel van de aarde	66
8.3.2	Grondwater	66
9	Bijlage 1: lijst van tabellen	69
10	Bijlage 2: lijst van figuren	71
11	Bijlage 3: overige bijlagen	72
11.1	Overzicht PFAS	72
11.2	Fysische en chemische eigenschappen PFAS	74
11.3	Toetsingswaarden wereldwijd	75
11.4	Analyseresultaten	77
11.5	Bibliografie	78

LIJST MET AFKORTINGEN

AA-EQS	Jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm voor langdurige blootstelling (=JG-MKN)
AFFF	Aqueous film forming foam
AR-AFFF	Alcohol resistente film vormende schuimen
AR-FFFP	Alcohol resistente film vormende fluor proteïne schuimen
ECF	Electrochemische fluorering
EFSA	European food safety authority
ER	Ernstig risico. Concentratie waarbij voor 50% van de organismen een negatief effect door de directe blootstelling niet is uit te sluiten
EU	Europese Unie
FEP	Geperfluoreerd ethyleen-propyleenhars
FFFP	Film vormende fluor proteïne schuimen
FP	Fluor proteïne schuimen
FTOH	Fluortelomeeralcohol
FTS	Fluortelomeersulfonzuur
FOSA	Gefluoreerde sulfonamide
FOSE	Gefluoreerde sulfonamido ethanol
FTAC	Fluortelomeeracrylaat
HFA	Hexafluoraceton
JG-MKN	Jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm voor langdurige blootstelling (=AA-EQS)
MAC-EQS	Maximaal aanvaardbare concentratie voor kortdurende blootstelling, milieukwaliteitsnorm (=MAC-MKN)
MAC-MKN	Maximaal aanvaardbare concentratie voor kortdurende blootstelling, milieukwaliteitsnorm (=MAC-EQS)
MSDS	Material safety data sheet
MTR	Maximaal toelaatbaar risiconiveau. Concentratie waar beneden geen negatief effect is te verwachten. Chronische blootstelling
PAP	Perfluorfosforzuren
PFAA's	Perfluoralkylzuren
PFAS	Poly- en perfluoralkyl verbindingen
PFC	Perfluor componenten
PFCA's	Perfluorcarbonszuren
PFDA	Perfluordecaanzuur
PFHpA	Perfluorheptaanzuur
PFHxA	Perfluorhexaanzuur
PFHxS	Perfluorhexaansulfonzuur
PFNA	Perfluornonaanzuur
PFOA	Perfluoroctaanzuur
PFOS	Perfluoroctaansulfonzuur
PFPeA	Perfluorpentaanzuur
PFSA's	Perfluorsulfonzuren
PTFE	Polytetrafluoretheen
POSF	Perfluoroctaansulfonfluoride
RIVM	Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu
TDI	Toelaatbare dagelijkse inname
TM	Telomerisatie
US-EPA	United States environmental protection agency
VR	Verwaarloosbaar risico

SAMENVATTING

Vlaanderen heeft al decennia lang ervaring met de aanpak van bodem- en grondwaterverontreiniging. De ontwikkelde aanpak via het bodemsaneringsbeleid, is de afgelopen jaren zeer succesvol gebleken. Het gaat daarbij vooral om zware metalen en de meest voorkomende organische verontreinigingen die samenhangen met activiteiten uit het verleden. Steeds meer wordt duidelijk dat er allerlei nieuwe verontreinigingen (ook wel Emerging Contaminants genoemd) in het milieu aanwezig zijn. Van meerdere van deze stoffen zijn de omvang en risico's in bodem, grondwater en waterbodem onvoldoende bekend.

De OVAM heeft vanuit deze optiek een verkennend onderzoek laten uitvoeren naar de aanwezigheid van PFAS in bodem, grondwater en waterbodem t.h.v. risicolocaties in Vlaanderen.

Een eerste deel van de studie omvat een literatuurstudie omtrent typen PFAS en de productie evenals gedrag en toxiciteit ervan. De PFAS familie omdat 42 subfamilies en enkele duizenden stoffen. Dit rapport focust op de belangrijkste families en subfamilies, meer bepaald de geperfluoreerde verbindingen en subfamilies geperfluoreerde sulfonzuren en carbonzuren; de gepolyfluoreerde verbindingen en subfamilies fluortelomeren en precursors; en de fluorpolymerren. PFAS worden in diverse producten en productieprocessen gebruikt. Onder andere bij verchroming, bij de productie van inkt, vernissen, wassen, brandblusschuim, schoonmaakmiddelen, coatings, smeermiddelen, water- en olie-afstotende middelen voor leer, papier en textiel. Van 1966 tot 1990 groeide de productie en het gebruik vanwege hun unieke chemische stabiliteit en hun water- en vuilafstotende eigenschappen.

De toxiciteitsdata van PFAS worden gedomineerd door PFOS en PFOA vanwege het wijdverbreide voorkomen van deze componenten in het milieu. Van de overige PFAS is veel minder informatie beschikbaar.

In voorliggende studie werd de selectie en prioritering van relevante risicolocaties voornamelijk uitgevoerd op basis van de aard van de risicoactiviteiten aangezien deze bepalend zijn voor de aanwezigheid van PFAS in bodem en grondwater. De studie is te beperkt in omvang om een heel uitgebreide screening te doen. Vanuit deze optiek werd de nadruk gelegd op de activiteiten met een redelijke kans op aanwezigheid van PFAS, bijvoorbeeld producenten van PFAS, producenten van brandblusschuim, brandweeroefenplaatsen en brandincidenten.

In kader van deze studie zijn op 24 geselecteerde sites in Vlaanderen in totaal 35 boringen uitgevoerd en 40 grondstalen en 1 waterbodemonster geselecteerd voor analyses op PFAS. Op de geselecteerde risicolocaties werd voor 66% van de meetpunten een concentraties PFASsom (som van alle door het labo gemeten PFAS componenten in een staal) gemeten in het vaste deel van de aarde hoger dan 10 x rapportagegrens ($>10 \mu\text{g}/\text{kg ds}$). Voor 24% van de meetpunten is de PFAS-concentratie hoger dan 1000 x rapportagegrens ($>1.000 \mu\text{g}/\text{kg ds}$).

In kader van deze studie zijn eveneens 47 peilbuizen bemonsterd en 47 grondwaterstalen en 1 effluentstaal geanalyseerd op PFAS.

Er wordt vastgesteld dat op de geselecteerde risicolocaties op 71% van de meetpunten een concentraties PFASsom werd gemeten in het grondwater hoger dan 100 x rapportagegrens (0,5 µg/l). 42% van de meetpunten werd PFAS hoger dan 1000 x rapportagegrens (> 5 µg/l) gemeten.

Op basis van de beschikbare dataset en de literatuurstudie kunnen volgende vaststellingen gedaan worden:

- Op basis van de resultaten van de steekproef komen PFAS in verhoogde concentraties voor in grond en grondwater. Behalve PFOS en PFOA komen ook andere PFAS, zoals 6:2-FTS in meerdere van de geanalyseerde stalen voor. 6:2-FTS is een precursor die kan afbreken tot persistente perfluorverbindingen.
- Verhoogde gehalten worden in voorliggende studie voornamelijk gemeten in grond en grondwater bij brandweer oefenplaatsen. In het kader van deze studie werden echter niet alle type risico-activiteiten bemonsterd. Een aantal locaties vertonen geen verhoogde PFAS in grond of grondwater. Dit kan echter ook het gevolg zijn van een te beperkte meetcampagne per locatie.
- Niet voor alle veelvoorkomende PFAS zijn toetsingswaarden voor bodem, grondwater en waterbodem beschikbaar. Weliswaar werkt het RIVM aan TDIs voor ca. 10 verbindingen, deze zijn echter nog niet beschikbaar, en zullen alleen toepasbaar zijn voor humane risico's. Ze worden niet vergezeld van toetsingswaarden voor ecologische risico's of voor risico's als gevolg van uitloging van grond naar grondwater.
- Het toetsingskader van PFAS is nog steeds in evolutie, algemeen worden in functie van de tijd strengere toetsingswaarden vooropgesteld. We verwachten bijvoorbeeld dat op termijn de TDI voor PFOS zal dalen.
- Er zijn nog geen data beschikbaar van een mogelijke achtergrondwaarden met PFAS in Vlaanderen.

INLEIDING

Vlaanderen heeft al decennia lang ervaring met de aanpak van bodem- en grondwaterverontreiniging. De ontwikkelde aanpak via het bodemsaneringsbeleid, is de afgelopen jaren zeer succesvol gebleken. Het gaat daarbij vooral om zware metalen en de meest voorkomende organische verontreinigingen die samen hingen met activiteiten in het verleden. Steeds meer wordt duidelijk dat er allerlei nieuwe verontreinigingen (ook wel Emerging Contaminants genoemd) in het milieu aanwezig zijn. Van meerdere van deze stoffen zijn het voorkomen en risico's in bodem, grondwater en waterbodem onvoldoende bekend.

De OVAM wenst vanuit deze optiek een verkennend onderzoek uit te voeren naar de aanwezigheid van PFAS t.h.v. risicolocaties in Vlaanderen.

De PFAS verbindingen kennen heel veel toepassingen in de industrie en in huishoudens. De verwachte verspreiding is dan ook groot. Door de complexe en uiteenlopende eigenschappen en de lage toetsingscriteria is daarnaast een juiste bemonstering en analyse zonder versturende invloeden gecompliceerd. Het vergt grondige praktijkkennis om onderzoeken (veldwerk, chemische analyses, onderzoeksstrategie, etc.) op een juiste manier uit te voeren, mede omdat de toetsingswaarden voor PFAS-stoffen veelal in factor 1000 lager liggen dan we in ons (bodem)werkveld gewend zijn.

Momenteel wordt in Nederland via het Expertisecentrum PFAS (opgezet door Witteveen+Bos, TTE en Arcadis) uitvoering gegeven aan een uitgebreid meetprogramma om helderheid te krijgen omtrent het al dan niet aanwezig zijn van zorgwekkende situaties. Vanuit deze expertise en inzichten wordt voorliggende studie aangevat.

Het doel van deze opdracht is het uitvoeren van een steekproefsgewijze meetcampagne ter hoogte van risicolocaties om de aanwezigheid van PFAS (o.a. PFOS en PFOA) in grondwater, bodem en waterbodem in Vlaanderen te kunnen inschatten.

DEEL A – Technisch kennisdocument

Het kennisdocument is opgesteld in het kader van het Nederlandse project “Handelingskader PFAS” wat, in opdracht van Gemeente Dordrecht en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, wordt uitgevoerd door Witteveen+Bos, Arcadis en TTE.

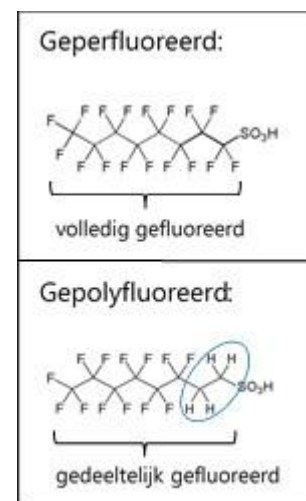
Dit Technisch Kennisdocument is een (uitgebreide) samenvatting van het Kennisdocument voor Nederland en verder toegespitst op de Vlaamse situatie.

1 PFAS – TOELICHTING TYPEN EN PRODUCTIE

De groep poly- en geperfluoreerde alkyl verbindingen (PFAS) omvat een grote groep van meer dan 6000 individuele stoffen. PFAS hebben als overeenkomst dat ze een compleet (per-) of gedeeltelijk (poly-) geperfluoreerde koolstofketen bevatten, met een variërende lengte, normaal gesproken 2 tot 16 koolstofatomen. De bekendste PFAS zijn PFOS (perfluorooctaansulfonzuur) en PFOA (perfluorooctaanzuur).

In Buck et al. (2011) worden PFAS gedefinieerd als stoffen die de eenheid C_nF_{2n+1} - bevatten. Meer specifiek betekent dit:

- Geperfluoreerde alkyl verbindingen: alifatische stoffen waarvan alle H-atomen die gebonden zijn aan C-atomen in de koolstofketen, zijn vervangen door F-atomen, behalve de H-atomen waarvan de vervanging de aard van de functionele groepen zou veranderen (bijvoorbeeld een hydroxylgroep -OH).
- Gepolyfluoreerde alkyl verbindingen: alifatische stoffen waarvan H-atomen die gebonden zijn aan tenminste één C-atoom (maar niet allemaal) zijn vervangen door F-atomen, zodat ze minimaal de perfluoreerde eenheid C_nF_{2n+1} - bevatten. Ook hier zijn de H-atomen waarvan de vervanging de aard van de functionele groepen zou veranderen nog aanwezig.



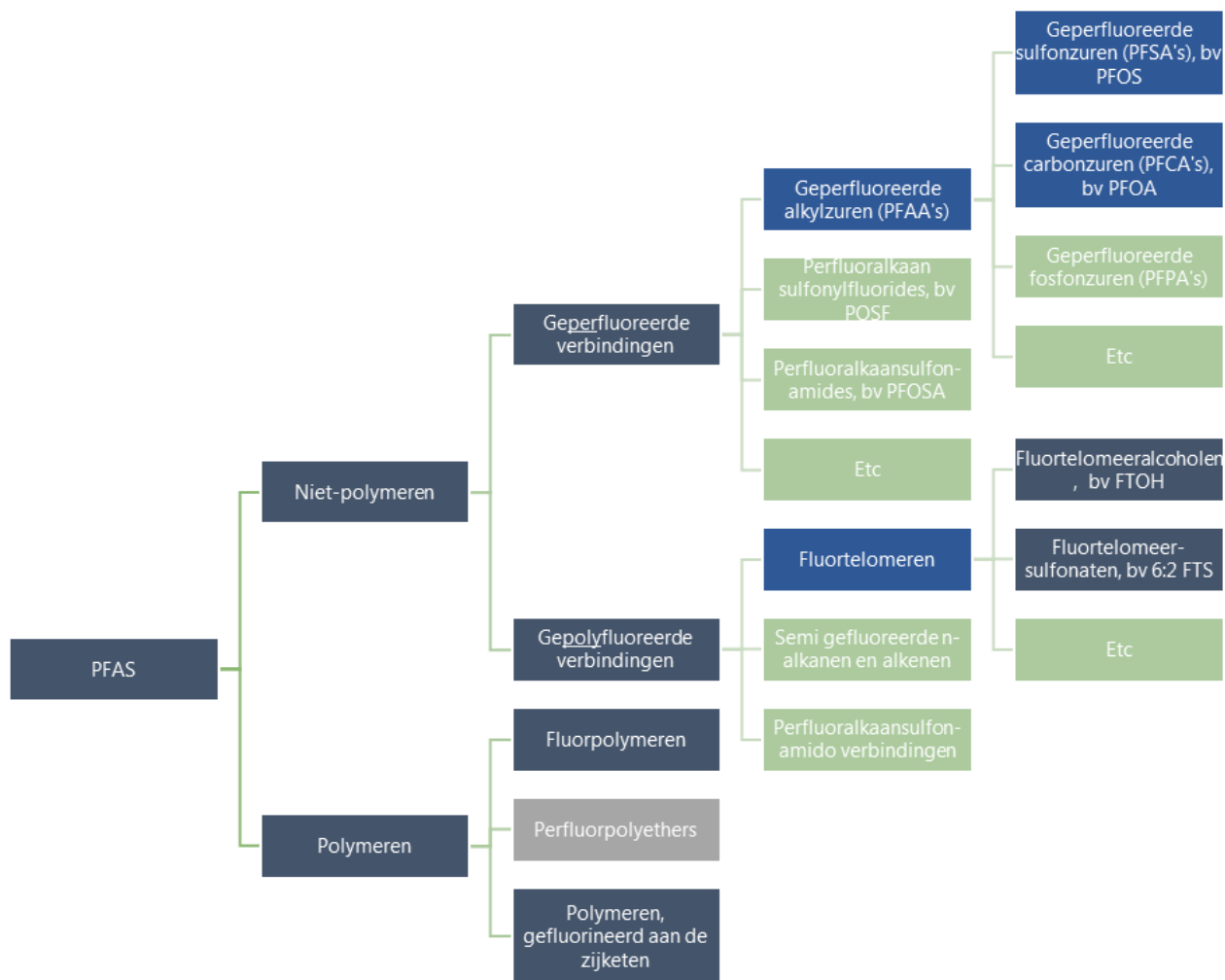
In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de verschillende typen PFAS, de productie en de toepassingen.

1.1 TYPEN PFAS

De PFAS familie omdat 42 subfamilies en enkele duizenden stoffen (Buck et al., 2011). Dit rapport focust op de belangrijkste families en subfamilies:

- Geperfluoreerde verbindingen
 - Geperfluoreerde sulfonzuren
 - Geperfluoreerde carbonzuren
- Gepolyfluoreerde verbindingen
 - Fluortelomeren
 - Precursors
- Fluorpolymeren

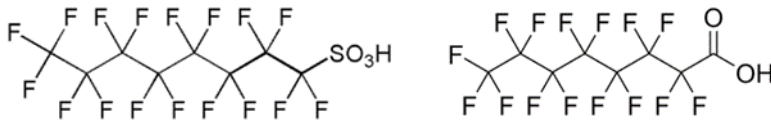
In Figuur 1 is een meer uitgebreid overzicht weergegeven van (een deel van) de verschillende typen PFAS, waarin tevens andere typen PFAS worden genoemd. De nadruk in dit rapport ligt echter op de verbindingen zoals hierboven weergegeven of in blauw in Figuur 1. De overige stofgroepen worden besproken op een minder gedetailleerd niveau omdat over deze stoffen minder informatie beschikbaar is, of omdat deze stoffen minder zijn toegepast en minder voorkomen. In 11.1 tenslotte, wordt een totaaloverzicht gegeven van verschillende PFAS met de bijbehorende afkortingen en structuurformules van de separate PFAS verbindingen.



Figuur 1: Overzicht van klassen van PFAS-verbindingen

1.1.1 Geperfluoreerde verbindingen

PFOS (perfluorooctaansulfonzuur) en PFOA (perfluorooctaanzuur) zijn de twee meest bekende PFAS. Beide stoffen vallen onder de groep van de geperfluoreerde alkylzuren (perfluoralkylzuren; PFAA's). De groep met geperfluoreerde alkylzuren kan weer worden onderverdeeld in de verschillende alkylzuren, zoals bijvoorbeeld de sulfonzuren (waar PFOS onder valt), de carbozuren (waar PFOA onder valt), maar ook andere geperfluoreerde alkylzuren zoals geperfluoreerde fosfonzuren vallen hieronder. De PFAA's bestaan gewoonlijk uit een volledig gefluoreerde koolstofketen variërend in lengte, in het algemeen van C2 tot C16. De functionele groep varieert, en is een sulfonzuurgroep bij de geperfluoreerde sulfonzuren (PFSA's), en een carboxylgroep bij de geperfluoreerde carbozuren (PFCA's). Daarnaast bestaan er geperfluoreerde alkylzuren met andere functionele groepen (zoals onder andere de fosfonzuren).



Figuur 2: Chemische structuur van PFOS (links) en PFOA (rechts)

Bij de productie van PFAS ontstaan vaak mengsels van stoffen, waaronder een mengsel van lineaire en vertakte isomeren. Daarnaast ontstaan ook kortere en langere PFAS als bijproducten.

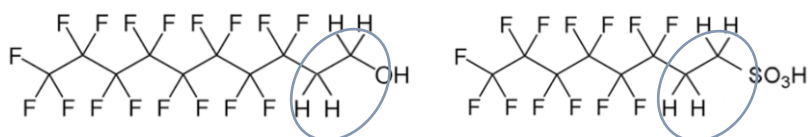
1.1.2 Gepolyfluoreerde verbindingen

Gepolyfluoreerde verbindingen zijn verbindingen waarvan de koolstofketen niet volledig gefluoreerd is, maar slechts gedeeltelijk. Gepolyfluoreerde verbindingen worden veelal ingezet als vervangers voor PFOS en PFOA.

Fluortelomeren Onder de gepolyfluoreerde verbindingen vallen de fluortelomeren, deze bevatten een ethylgroep (CH₂CH₂) tussen de volledig gefluoreerde koolstofketen en de functionele groep. Ze hebben de naam fluortelomeren gekregen vanwege het productieproces fluortelomerisatie, 1.2).

Fluortelomeren worden geproduceerd met grote variëteit aan functionele groepen, zoals alcoholen, sulfonamides, sulfonamidoethylacrylaten en methylacrylaten en sulfonamido-azijnzuren. Het grootste deel van de fluortelomeren wordt gebruikt in productieprocessen, zoals bijvoorbeeld als bouwstenen voor polymeren, oppervlakte-actieve stoffen en polymeren met gefluoreerde zijketens. Vele van deze producten zijn zogenaamde precursors (zie verderop) en worden in het milieu worden omgezet in PFSA's en PFCA's, welke niet verder afgebroken worden (Lindstrom et al., 2011).

In Figuur 3 zijn twee voorbeelden gegeven, met links 8:2 fluortelomeeralcohol (FTOH) en rechts 6:2 fluortelomeer sulfonaat (6:2 FTS). 8:2 FTOH bestaat uit 8 volledig gefluoreerde koolstofatomen, een ethylgroep en een alcoholgroep en is een voorbeeld van een PFCA-precursor: een verbinding die in het milieu kan worden omgezet in o.a. PFOA (Parsons et al., 2008). 6:2 FTS bestaat uit 6 volledig gefluoreerde koolstofatomen, een ethylgroep en een sulfonaatgroep, en tevens een voorbeeld van een PFCA-precursor.



Figuur 3: Voorbeelden Telomeren, met 8:2 FTOH (links) en 6:2 FTS (rechts)

6:2 FTS wordt voor verschillende doeleinden als vervanger van PFOS gebruikt, onder andere in klasse B brandblusschuim en als oppervlakte-actieve stof bij industriële toepassingen. 8:2 FTOH is veel gebruikt voor het waterafstotend maken van textiel.

1.1.2.1 PFAS precursors

PFAS precursors zijn stoffen die in het milieu af kunnen breken naar PFSA's en PFCA's zoals PFOS en PFOA. Het gaat om een zeer grote groep van veelal onbekende en niet of moeilijk te analyseren verbindingen. Ook de telomeren, zoals hierboven omschreven, vallen hieronder. Precursors zijn significante bronnen van PFAS naar het milieu. De wereldwijde productie van polyfluorchemicaliën, waarvan de meeste precursors zijn) is vele malen groter is dan die van PFOS en PFOA gezamenlijk (Liu et al., 2013). Bij commercieel gangbare analysemethoden voor PFAS worden voornamelijk PFCA's en PFSA's gemeten, en enkele precursors. Onderzoek van stedelijk (regen)afvoerwater waarin precursoren aanwezig waren in de San Francisco Bay heeft aangetoond dat PFSA's en PFCA's minder dan 25% van het totale PFAS-gehalte uitmaken (Houtz 2012). Inzicht in de aanwezigheid van precursors is daarom belangrijk.

Fluorpolymeren

Gefluoreerde polymeren kunnen al dan niet onder de PFAS vallen, afhankelijk van of ze wel of niet perfluoralkylgroepen bevatten. Het fluoropolymeer polytetrafluoroethyleen (Teflon, PTFE), behoort wel tot de PFAS en wordt gebruikt als antiaanbaklaag in pannen. Het is zo goed als inert bij normale temperaturen, en breekt af bij temperaturen boven de 260 °C. Teflon harsen bevatten kleine concentraties (orde van grootte ppm, parts per million) hexafluoraceton (HFA). PFOA was een essentiële hulpstof bij het samenstellen van deze polymeren. Sinds 2012 is PFOA in het PTFE productieproces van Du Pont / Chemours vervangen door een andere PFAS; GenX. Onderdeel van het productieproces van antiaanbaklagen is een sinterproces bij hoge temperatuur, waarbij in theorie resterend PFOA zou moeten verdampen (Herzke et al., 2007).

In textiel gecoat met PTFE (jassen, tafelkleden etc.) worden voornamelijk fluortelomeer alcoholen en fluortelomeer carbonzuren in relatief grote hoeveelheden aangetroffen (tot 11 mg/m² fluortelomeer alcoholen en 0,4 mg/m² PFCA, Berger en Herzke 2006). Daarnaast bestaan er ook polymeren met gefluoreerde zijketens. Deze worden vooral in de textielindustrie gebruikt. Bij afbraak van de polymeren komen de gefluoreerde zijketens vrij en kunnen PFAA's gevormd worden. Deze polymeren kunnen dus ook precursors zijn.

1.2 PRODUCTIE VAN PFAS

In het verleden zijn er twee processen gebruikt voor de productie van PFAS: elektrochemische fluorering (ECF) en telomerisatie (TM).

De PFAS productie vóór 2001 werd voornamelijk gedomineerd door het elektrochemische fluoreringsproces van 3M, waarbij als belangrijkste product 30-45% perfluorooctaan sulfonfluoride (POSF) werd gevormd, met daarnaast een verzameling van andere PFCA's en PFSA's. Dit proces is ook op de 3M locatie in Zwijndrecht toegepast. Sinds 2001, is de productie van PFAS door elektrochemische fluorering sterk verminderd vanwege zorgen rondom de milieu-effecten van PFOS en werd telomerisatie de voornaamste manier van PFAS-productie. Hierbij worden geen PFOS of precursors van PFOS gevormd.

De twee syntheseroutes resulteren in een verschillende graad van zuiverheid van het product. In het algemeen ontstaan bij het ECF-proces even- en oneven, vertakte en lineaire geperfluoreerde koolstofketens. Bij TM ontstaan alleen even lineaire ketens. Vandaag de dag is telomerisatie het meest gebruikte productieproces (Buck et al., 2011).

2 TOEPASSING PFAS

PFAS worden in diverse producten en productieprocessen gebruikt. Onder andere bij verchroming, bij de productie van inkt, vernissen, wassen, brandblusschuim, schoonmaakmiddelen, coatings, smeermiddelen, water- en olie-afstotende middelen voor leer, papier en textiel (Paul et al., 2009). Van 1966 tot 1990 groeide de productie en het gebruik vanwege hun unieke chemische stabiliteit en hun water- en vuilafstotende eigenschappen. De jaarlijkse productiehoeveelheid vermeerderde aanzienlijk van 500 ton per jaar in de jaren 70 tot bijna 5000 ton per jaar in 2000 (Carloni 2009).

In 2000 begon de belangrijkste wereldwijde producent van PFOS, 3M, met het uitfasen van de productie van PFOS. Als gevolg van dit initiatief daalde de wereldwijde productie aanzienlijk tussen 2000 en 2003.

Gedurende deze periode steeg de productie in China, maar niet tot hetzelfde wereldwijde productieniveau als voor het jaar 2000 (Paul et al., 2009; Carloni, 2009). De uitfasering van PFOA begon in 2005, door middel van het PFOA Stewardship program. Onder leiding van de US-EPA namen de 8 grootste producenten van PFOA hieraan deel. Deze partijen (Arkema, Asahi, BASF, Clariant, Daikin, 3M/Dyneon, Du Pont en Solvay Solexis) hadden in 2015 het gebruik van PFOA volgens planning uitgefaseerd.

In mei 2009 werd PFOS toegevoegd aan Annex B van het verdrag van Stockholm. Sinds die tijd is het gebruik van PFOS en gerelateerde stoffen beperkt in landen die het verdrag hebben ondertekend, hoewel het nog steeds wordt gebruikt voor toepassingen waarbij PFOS niet kan worden vervangen door andere chemicaliën. Per 13 juni 2017 zijn PFOA en de zouten daarvan toegevoegd aan de lijst van zeer zorgwekkende stoffen binnen REACH en aan Annex XVII van EC 1907/2016, alsmede elke aanverwante stof die C7H15- als een van de structurele elementen heeft. Deze stoffen mogen vanaf 4 juli 2020 niet in de handel gebracht worden als stof zelf. Het mag daarnaast niet meer gebruikt worden als bestanddeel van een andere stof, voorwerp of mengsel in een concentratie gelijk aan of groter dan 25 ppb (25 µg/kg) als PFOA zelf of 1000 ppb (1 mg/kg) als aanverwante stof.

PFNA (17 december 2016), PFDA (12 januari 2017) en PFHxS (juni 2017) zijn tevens op de kandidaatlijst REACH gezet (<https://echa.europa.eu/candidate-list-table>). Ook de kortketenige PFAS worden nader geëvalueerd.

2.1 PRODUCTIELOCATIES PFAS

De meest bekende productielocaties van PFAS grondstoffen in Europa zijn de 3M locatie in Zwijndrecht (België) en de locatie van Miteni in Trissino (Italië). Op beide locaties werden PFAS door electrochemische fluorering (ECF proces) vervaardigd.

Electrochemische fluorering was economisch zeer interessant vanwege de lage energiekosten en het relatief goedkope uitgangproduct. Bij het proces werden wel vele bij- en afvalproducten gevormd.

De omgeving rond de PFAS productielocaties is verontreinigd met PFAS vanwege jarenlange (vergunde) lozingen van afvalstoffen in het milieu. In het gebied rond Trissino (Italië) heeft dit geleid tot een verontreinigd gebied van meer dan 200 km² (WHO, 2016). In het Antwerpse havengebied is het gebied rondom de productielocatie van 3M verontreinigd. Zo worden tot op heden verhoogde concentraties PFOS aangetroffen in vogels en zoogdieren in het natuurgebied Blokkersdijk (Lopez Antia et al., 2017; Groffen et al., 2017; D'Hollander, 2014). De omvang van het in Vlaanderen beïnvloede gebied is niet vastgesteld.

2.2 PRODUCTIE POLYMEREN

PFOA is tot circa 2012 gebruikt tijdens het productieproces van fluorpolymeren zoals polytetrafluoretheen (PTFE, Teflon). Bij Chemours (vml. Du Pont) in Dordrecht, Nederland, is PFOA gebruikt voor de productie van Teflon, FEP (geperfluoreerd ethyleen-propyleen-hars) en Viton (een bepaald type rubber). PFOA werd ook gebruikt in het productieproces van perfluoralkoxy polymeren (PFA polymeren).

Vanaf 2013 is PFOA in Dordrecht volledig vervangen door het GenX proces. Het GenX proces is gebaseerd op de geperfluoreerde verbindingen FRD-902/903 (ammonium of waterstof)-2,3,3,3-tetrafluoro-2(heptafluoropropoxy)propanoaat) en het omzettingsproduct E1 (heptafluoropropyl-1,2,2,2-tetrafluorethyl ether) (Beekman et al., 2016). In Mechelen en Zwijndrecht zijn tevens productielocaties gelegen, waar PTFE wordt geproduceerd.

Studies hebben uitgewezen dat indien PFOA als hulpstof wordt gebruikt bij de productie van polymeren, het eindproduct een relatief hoog gehalte PFOA kan bevatten. Het gehalte kan significant variëren, van 0,001-0,005 procent in droog materiaal tot 0,1-0,5% in gedispergeerd materiaal. Dit betekent ook dat door import van PTFE uit landen waar PFOA nog steeds als hulpstof wordt gebruikt, significante hoeveelheden PFOA worden geïmporteerd (inschatting van 3-16 ton PFOA per jaar in de EU) (Kemi 7/15).

In 2006 is de US-EPA samen met 8 PFAS producerende bedrijven gestart met het PFOA Stewardship program. Dit had tot doel om het gebruik en de emissie van PFOA voor 2010 te reduceren met 95%, en vervolgens toe te werken naar complete uitfasering per 2015. Alle acht deelnemende bedrijven (Arkema, Asahi, BASF, Clariant, Daikin, 3M/Dyneon, Du Pont en Solvay Solexis) hebben hieraan voldaan.

2.3 TOEPASSING IN BRANDBLUSSCHUIM

Toepassing van brandblusschuim is een bron van PFAS naar het milieu omdat bij brandblusschuim de PFAS direct in het milieu terecht komen. Het schuimvormend middel wordt tijdens het blussen aan het bluswater toegevoegd.

PFAS worden in brandblusmiddelen gebruikt vanwege hun vermogen tot het zeer snel produceren van een afsluitende filmlaag (AFFF: aqueous film forming foam). De fluorcomponenten zijn chemisch en thermisch zeer stabiel, zelfs onder extreem hoge temperaturen en bij extreme omstandigheden blijven de verbindingen intact en blijft het schuim werken (bijvoorbeeld bij zeer agressieve zure of basische brandstoffen en chemicaliën). Door de unieke eigenschap dat ze zowel hydrofiele (water) als hydrofobe (vet, olie, brandstoffen) verbindingen afstoten is bij het gebruik van AFFF daarom weinig risico dat de brandstof opgenomen wordt in het schuim.

Op PFAS gebaseerde klasse B brandblusschuimen (zie kader) worden daarom sinds de jaren 70 gebruikt voor het blussen van brand op vliegvelden, raffinaderijen, bulkopslag chemicaliën en andere locaties waar gewerkt wordt met grote volumes van brandbare vloeibare koolwaterstoffen. Ook wordt AFFF gebruikt bij brandblustrainingen op deze locaties en kan het vrijkomen bij het testen en het gebruik van automatische blusinstallaties in gebouwen.

Schuimvormende middelen bestaan uit een grote range aan stoffen, welke samen zorgen voor de effectieve verspreiding van het schuim over de vloeistof, de houdbaarheid tijdens opslag en tijdens brand. Het schuimvormende middel bevat onder andere verschillende surfactants (bv. fluorchemicaliën, proteïnen, koolwaterstoffen, siliconen), stabilisatoren, oplosmiddelen en speciale ingrediënten voor anti-corrosie en biociden.

Afhankelijk van de specificaties van het schuimvormende middel vindt een bijmenging in verschillende concentraties plaats. Bij een schuimvormend middel met bijvoorbeeld de aanduiding 3% (bijmengpercentage) vindt een bijmenging plaats van 3 delen schuimvormend middel en 97 delen water. Ook worden wel dubbele bijmengpercentages aangegeven (bijvoorbeeld 3x6). In dat geval vindt er een verschillend bijmengpercentage plaatst voor apolaire en polaire stoffen branden.

Typen brandblusschuim

Er zijn vele typen brandblusschuim. Klasse B schuimen worden gebruikt voor het blussen van brandbare vloeistoffen.

Tegenwoordig worden hiervoor fluortelomeerhoudende schuimen en fluorvrije schuimen gebruikt. Daarnaast bestaan er ook proteïne schuimen, fluor proteïne schuimen (FP), film vormende proteïne schuimen (FFFP), alcohol-resistente film vormende fluor proteïne schuimen (AR-FFFP), aqueous film forming foam (AFFF), alcohol resistente AFFF (AR-AFFF), schuimen op basis van synthetische zeep en klasse A

Fluorhoudende schuimvormende middelen bevatten in de orde grootte van 5% aan PFAS. De hoeveelheid schuimvormend middel die in wordt gezet is afhankelijk van de grootte en het type brand. Dit kan gaan om tientallen tot duizenden liters schuimvormend middel. Bij de inzet van schuimvormende middelen door de (bedrijfs)brandweer kunnen hierdoor bij grote branden tientallen kilo's PFAS vrijkomen.

PFOS en de daarvan afgeleide verbindingen werden tot 2001 gebruikt in brandblusschuimen. Daarna is de productie van PFOS vanwege milieuoverwegingen uitgefaseerd. Sinds 2001 worden brandblusschuimen geproduceerd met behulp van fluor-oppervlakreactieve stoffen gebaseerd op fluortelomeren, zoals 6:2 FTS en 8:2 FTS (fluortelomeersulfonaten) (Seow, 2013). Deze fluortelomeersulfonaten vallen onder de zogenaamde precursors en kunnen afbreken tot PFAA's.

Door de lange levensduur van schuimconcentraten, is het aannemelijk dat PFOS-houdend schuim ook na 2001 nog is gebruikt: het gebruik van schuimen die PFOS als primair component bevatten (>0,001 wt%) is pas 10 jaar later definitief verboden (27 juni 2011) (Stockholm Conventie). In landen die het Verdrag van Stockholm niet naleven (o.a. China) wordt PFOS nog steeds gebruikt en geproduceerd.

PFOA is in mindere mate in AFFF toegepast, maar is wel vaak in AFFF aanwezig, meestal als bijproduct van de productie van de PFAS die in AFFF gebruikt worden.

In AFFF is een breed spectrum aan fluorhoudende precursors aanwezig. De samenstelling van de AFFF varieert per producent, en is vaak bedrijfsgeheim. De informatie die op een MSDS (material safety data sheet) van het brandblusschuim gegeven wordt is vaak niet afdoende om te kunnen bepalen welke PFAS in de desbetreffende AFFF aanwezig zijn (toegepaste stoffen zijn bedrijfsgeheim of concentraties te laag om weer te moeten geven op het MSDS). De termen PFOS-vrij en PFOA-vrij geven veelal aan dat er wel andere PFAS in het brandblusschuim aanwezig zijn. Wanneer de term PFAS-vrij gebruikt wordt (of vrij van PFC), kan verwacht worden dat er ook geen andere PFAS in het schuim aanwezig zijn.

PFAS terminologie brandblusschuim

In het geval van brandblusschuim wordt door de brandblusindustrie gesproken over C6 of C8 technologie. Hiermee worden gefluoreerde stoffen bedoeld met respectievelijk een C6 of C8 volledig gefluoreerde keten, zoals bijvoorbeeld 6:2 FTS en 8:2 FTS.

Dit wijkt af van de manier waarop in de scheikunde deze moleculen worden beschreven. Deze stoffen hebben namelijk respectievelijk 8 en 10 koolstofatomen (C's) en zijn dus C8 en C10 verbindingen (6:2 FTS; 6+2 en 8:2 FTS;

Backe et al. (2013) hebben een nieuwe methode ontwikkeld om een omvangrijke reeks van PFAS in grondwater en brandblusschuim te kwantificeren. De auteurs concludeerden dat de profielen van PFAS in grondwater verschillen van de PFAS profielen die gevonden zijn in AFFF samenstellingen. Dit duidt er op dat PFAS worden omgezet in het milieu.

AFFF bevat doorgaans meerdere typen PFAS verbindingen, inmiddels zijn 240 individuele PFAS in AFFF gedetecteerd (Barzen-Hanson et al., 2017).

2.4 TOEPASSING BIJ GALVANISATIE

Bij galvanisatie is PFOS vooral gebruikt bij het verchromen. Het werd (en wordt nog steeds) toegepast om de blootstelling van medewerkers aan chroom-VI te reduceren. Tijdens het verchromen wordt een elektrische stroom door een bad met chroomzuur geleid. Hierbij ontstaan zuurstof en waterstofgasbellen die aan de oppervlakte uit elkaar barsten. PFOS wordt gebruikt om de oppervlaktespanning van het bad met chroomzuur te verlagen, waardoor de grootte van de belLEN vermindert en minder belLEN op het grensvlak barsten, waardoor minder kankerverwekkend chroom-VI in de lucht vrijkomt (Brumm Poulsen et al., 2011).



Figuur 4: Verchromingsbad (met oranje schuim) met spoelbaden (EPA, 2009)

Na het verchromingsbad wordt het verchromde metaal in meerdere spoelbaden met water afgespoeld. Deze spoelbaden raken zo verontreinigd met PFOS.

Als alternatief voor PFOS wordt momenteel voornamelijk 6:2 FTS gebruikt. Deze stof is vergelijkbaar met PFOS, echter de twee koolstofatomen naast het sulfaatatoom zijn niet gefluoreerd. 6:2 is een precursor van PFHxA.

De zoektocht naar alternatieven is gaande, maar blijkt niet eenvoudig. De functionaliteit van alternatieven voor PFOS is beduidend minder, en verhoogd vrijkomen van chroom-VI tijdens het proces is ongewenst. PFOS wordt daarom nog steeds toegepast in de verchromingsindustrie, in gesloten systemen om het vrijkomen van PFOS te minimaliseren (UNEP-POPS, 2014).

2.5 TOEPASSING VOOR WATER- EN VUILAFSTOTEND MAKEN

PFAS worden gebruikt bij het water- en vuilafstotend maken van o.a. kleding, schoenen, tenten, paraplu's, tapijten en meubels. De hoeveelheid PFAS in deze materialen varieert van 2-3 procent van het vezelgewicht tot 15 % in synthetische tapijten (KEMI Swedish Chemicals Agency, 2015). Vaak worden polymeren van PFAS toegepast. Deze polymeren kunnen residuen van PFAS vanuit het productieproces bevatten of ze kunnen worden afgebroken tot fluortelomeren, zoals FTOH's, maar ook tot geperfluoreerde carbonzuren zoals PFOA en PFHxA.

Er worden hoofdzakelijk twee soorten (polymeren van) PFAS toegepast voor het water- en vuil afstotend maken:

- Voor het waterdicht maken van (buitensport)kleding en tenten wordt polytetrafluorethyleen (PTFE/Teflon) gebruikt. PTFE is een **fluorpolymeer** met een hoog molecuulgewicht en wordt daarom gebruikt bij de fabricage van poreuze stoffen zoals Gore-Tex[®]. Een dunne laag PTFE wordt aan het materiaal toegevoegd om het materiaal te versterken en ademend te maken. De dunne laag PTFE heeft 1,4 miljard poriën per cm². De poriën zijn kleiner dan regen regendruppels maar groter dan waterdamp moleculen, waardoor de stof waterdicht is, en toch kan ademen.
- Polymeren met **gefluoreerde zijketens**, zoals bijvoorbeeld fluortelomeeracrylaatpolymeren. De methode wordt bijvoorbeeld gebruikt in textiel, tapijten en leer vanwege de water- en vuilafstotende eigenschappen. Bij afbraak van het polymeer komen de gefluoreerde zijketens vrij.

Er is een aantal op PFAS gebaseerde coatings voor textielproducten in Nederland in de handel voor gebruik door consumenten. De producten bestaan gewoonlijk uit een mengsel van onder andere PFAS en oplosmiddelen. De impregneringsmiddelen worden met een spuitbus als een dunne laag aangebracht op de stof, waarbij een dunne polymeerstructuur van zowel polyfluorgealkyleerde als niet-gefluoreerde zijketens op het oppervlak wordt gevormd. Deze zijketens zorgen voor de vuil- en waterafstotendheid. In deze impregneringsmiddelen worden vooral FTOH aangetroffen, wat uiteindelijk weer af kan breken naar PFCA's. Mediane concentraties kunnen oplopen tot 146 mg/kg voor 8:2 FTOH (precursor van PFOA), met een maximum van 719 mg/kg (Kotthoff et al 2015).

2.6 ANDERE TOEPASSINGEN

PFAS worden gebruikt bij het productieproces van zeer veel verschillende materialen. Hieronder wordt een korte opsomming gegeven van andere producten waarin PFAS aanwezig kunnen zijn.

Papierindustrie

PFAS worden gebruikt bij de productie van vet- en waterafstotend papier dat bijvoorbeeld gebruikt wordt voor het verpakken van voedsel. Tijdens de productie worden voornamelijk polyfluoralkyl fosforzuren (PAPs en diPAPs) gebruikt. Ook andere PFAS zijn in de papierindustrie gebruikt. Een onderzoek in Amerika toonde aan dat in 90% van de geteste voedselverpakking FTOH aanwezig was, het mediane gehalte FTOH was 0,4 mg/kg. (Liu et al. 2013). Onderzoek van Kotthoff (2015) gaf dat er veel PFCA's aanwezig waren in papier van vóór 2010 (muffin bakvormen, PFNA+PFDA=1 mg/kg), maar dat er veel lagere waarden zijn gemeten in de monsters van 2015 (14 en 18 µg/kg voor respectievelijk PFOA en PFPeA). In bakpapier en papier om brood in te pakken zijn in 2015 verwaarloosbare concentraties PFAA's aangetroffen.

Cosmetica

In de cosmetica-industrie wordt PFAS gebruikt om diverse redenen. Het kan in zonnebrandcreme en bodylotion zitten om de crème waterafstotend te maken. PFAS worden in cosmetica ook gebruikt als antiklontermiddel, oplosmiddel, emulgatoren, antistatica, stabilisatoren emulgatoren, antistatica, stabilisatoren, oppervlakteactieve stoffen, filmvormers, viscositeitsregelaars en oplosmiddelen.

Er worden vooral polyfluoralkyl fosforzuren (PAPs/diPAPs) gebruikt. Maar uit een analyse van diverse cosmetica producten blijkt dat er ook PFCA's (o.a. PFOA, PFHxA en PFHpA) in cosmetica kunnen zitten (Fujii et al. 2013).

Huishoudelijke artikelen

PFAS kunnen aanwezig zijn in hydraulische vloeistoffen, insecticiden, schoonmaakmiddelen, smeermiddelen, verf en lak en in was/wax voor vloeren, auto's, vliegtuigen en snowboards. Ook anti-aanbak pannen kunnen PFAS bevatten (Teflon).

Overige

PFAS worden gebruikt als surfactants bij boringen voor de olie-industrie.

Vervangers

Na het uitfasen van PFOS en PFOA zijn door de producenten alternatieven ontwikkeld, de meest bekende zijn GenX (Du Pont/Chemours), Adona (3M) en EEA (vnl in China). Dit zijn veelal verbindingen die ook volledig of gedeeltelijk gefluoreerd zijn, maar net een andere structuur hebben. GenX en Adona en EEA zijn perfluorethers, en hebben één of meerdere ether (-O-) groepen in de molecuulstructuur. Daarnaast bestaan er nog vele andere gefluoreerde alternatieven.

De gefluoreerde alternatieven staan momenteel tevens in de belangstelling. De verbindingen zijn minder bioaccumulatief, maar zeker wel persistent vanwege de volledig gefluoreerde keten. Een voorlopige (zeer conservatieve) inschatting van de toxiciteit van GenX op basis van toegestane dagelijkse inname is slechts twee keer zo hoog ingeschat voor GenX dan voor PFOA (TDI = 21 ng/kg lg/dag voor GenX versus 12,5 voor PFOA) (Smit, 2017).

2.7 OVERZICHT VERDACHTE LOCATIES MET RISICO OP VERONTREINIGING IN BODEM, GRONDWATER EN WATERBODEM

PFAS zijn geproduceerd en verwerkt op diverse locaties. Het risico op verspreiding in het milieu is afhankelijk van de gebruikte hoeveelheden en onder welke condities de verbindingen zijn gehanteerd of verwerkt. Vooral bij brandblusactiviteiten ontbrak het veelal aan bodembeschermende voorzieningen.

Behalve locaties waar PFAS zijn geproduceerd of toegepast, zijn aan deze lijst stortplaatsen en waterzuiveringsinstallaties toegevoegd. Stortplaatsen kunnen een bron van PFAS zijn vanwege het uiteenvallen van PFAS-houdende materialen zoals tapijten, meubels, kleding, impregneermiddelen etc. In waterzuiveringsinstallaties komen de afvalstromen samen van de verwerkende industrieën, of de restanten van blusactiviteiten.

Type locatie	Subcategorie	Activiteit	Kans op vrijkomen PFAS in milieu (grond, grondwater, waterbodembodem, lucht)
PFAS producerende industrie	Producenten	Productie PFOS/PFOA, telomeren	groot
Verwerkende industrie	Productie Teflon	PFOA gebruikt tijdens productie	groot
	Galvanische industrie	Mist surpressant (vernevelen, chroombaden), vooral in chroomverwerkende industrie (maar ook andere metalen)	groot
	Textiel industrie	Behandelen textiel, leer, waterafstotend maken, vernevelen Bijvoorbeeld tapijten, meubelstoffering, outdoor kleding, schoenen	beperkt
	Halfgeleider industrie	Gebruik van PFAS in printplaatproductie (verdachte producten/chemicaliën: fotozuur, antireflectiecoating, fotolak en ontwikkelvloeistof).	Beperkt
	Foto industrie	In de foto industrie werden ook producten als oplosmiddel, pigmenten, ontwikkelvloeistof gebruikt.	Beperkt
	Papier- en Verpakkingsindustrie	PFAS werd/wordt toegevoegd aan de samenstelling van het papier om het water en vetafstotend te maken (zoals ook bij levensmiddelenverpakkingen, bakpapier etc.)	Beperkt
	Lak- en Verfindustrie	Productie van lak en verf met gebruik van PFAS	Beperkt
	Hydraulische vloeistoffen	PFAS als toevoeging aan hydraulische vloeistoffen gebruikt bij het vullen en navullen van de vloeistof minstens sinds 1970. Voornaamste gebruik bij vliegtuigbouw en onderhoud.	Beperkt
	Fabricage van cosmetica en reinigingsmiddelen	Voornamelijk gebruikt om de oppervlaktenspanning te verlagen of de levensduur van voornamelijk cosmetische producten te verlengen	Beperkt
Inzet Brandblusschuim (AFFF) (1970-2011/heden)	Brandblussen	Calamiteit	Groot
	Brandweer oefenplaatsen	Regelmatig, langdurig gebruik van oa PFAS houdend schuim	Groot
	Brandweervoorzieningen (industrie)	Tijdens calamiteiten en/of testen. Chemische industrie, open overslaglocaties, autoindustrie, kunststofindustrie, afval- en schrootverwerkingsbedrijven, chemicaliëngroothandel	Groot
	Militaire oefenplaatsen en vliegvelden	Tijdens calamiteiten en/of brandweeroefeningen	Groot
	Vliegvelden (burgerluchtvaart)	Tijdens calamiteiten en/of brandweeroefeningen	Groot
Stortplaatsen		Afbraak materiaal in stort (bv. behandeld textiel, papier), uitloging uit stort	Beperkt
Waterzuiveringsinstallaties		Vnl. waterzuivering van industrie	Beperkt
Afvalverbrandingsinstallaties		PFAS worden afgebroken maar vermoedelijk niet volledig-niet uit te sluiten als potentiële bron	Beperkt

Tabel 1: Overzicht verdachte risicolocaties

Legende:

- Beperkt → beperkt, waarschijnlijk, aanwezig
- Groot → zeker, groot

3 GEDRAG VAN PFAS IN HET MILIEU

PFAS zijn wijdverspreid aanwezig in het milieu door hun hoge oplosbaarheid, lage/matige sorptie aan bodem en sediment en resistentie tegen biologische en chemische afbraak. Alhoewel er vele studies zijn gepubliceerd over PFSA's en PFCA's in het milieu, zijn er veel minder data beschikbaar over precursors, aangezien niet altijd standaard geanalyseerd worden en het belang van de precursors pas de laatste jaren meer bekend wordt.

PFSA's en PFCA's zijn biologisch niet afbreekbaar. Ze zijn daarnaast veelal eindproducten van de biologische omzetting van precursors. Deze stoffen (inclusief PFOS en PFOA) zijn derhalve zogenaamde dead-end daughter products, ofwel de eindproducten van natuurlijke afbraak.

3.1 FYSISCH-CHEMISCHE EIGENSCHAPPEN

De fysisch-chemische eigenschappen voor een aantal PFAS, afkomstig uit wetenschappelijke literatuur, zijn samengevat in bijlage 11.2. Hoewel PFOS en PFOA uitgebreid zijn onderzocht in vergelijking met andere PFAS, zijn de beschikbare data nog steeds relatief schaars en is het gedrag ook nog steeds niet volledig begrepen. Fysische en chemische eigenschappen zijn bijvoorbeeld weergegeven voor de neutrale vorm van de stoffen, maar in water dissociëren de meeste PFAS in een anion en een kation (Wang et al., 2011). De anionen hebben een sterke neiging tot de waterfase, waardoor de stoffen minder vluchtig zijn dan op basis van hun fysische en chemische eigenschappen wordt berekend (Prevedouros et al., 2006).

Fluor-koolstofbindingen worden zelden aangetroffen in natuurlijk voorkomende organische stoffen. De koolstof-fluorbinding is één van de sterkste bindingen in de organische chemie. PFAS bestaan meestal uit een hydrofobe staart (gepolyfluoreerde of geperfluoreerde koolstofketen) en een hydrofiele kop (functionele groep bestaande uit bijvoorbeeld, sulfonaat of carboxylaat en/of de zouten daarvan). Door deze amfifiele (zowel hydrofoob als hydrofiel) eigenschappen van PFAS zijn ze ideaal voor gebruik als oppervlakte-actieve stoffen. In tegenstelling echter tot conventionele oppervlakte-actieve stoffen heeft de staart van de PFAS ook lipofobe (vetmijdende) eigenschappen waardoor PFAS coatings niet alleen bestendig zijn tegen water, maar ook tegen olie, vet, andere niet-polaire stoffen en vuildeeltjes. PFAS oppervlakte-actieve stoffen hebben de mogelijkheid om enerzijds te groeperen bij grensvlakken en anderzijds micellen te vormen. Daardoor kunnen PFAS in het milieu accumuleren in de grensvlakken tussen grondwater (hydrofiel) en bodemlucht (hydrofoob). De fysische en chemische eigenschappen zijn van belang voor het gedrag van PFAS in het milieu. Dit wordt hieronder nader toegelicht bij het bespreken van de transportroutes.

3.2 VERSPREIDING, TRANSPORT EN AFBRAAK

Door hun persistente eigenschappen kunnen PFAS zich ver verspreiden in het milieu. Ze zijn resistent tegen hydrolyse, fotolyse, biologische afbraak en metabolisme. PFAS komen niet van nature voor, toch worden PFAS zelfs in ijsberen op de noordpool aangetroffen. De verspreidingsroutes worden reeds meerdere jaren bestudeerd, waarbij twee verspreidingsroutes worden aangenomen. De eerste route is via transport van precursors door de lucht, gevolgd door oxidatieve omzetting van deze precursors in PFAA's, welke vervolgens via depositie neerslaan. Daarnaast kan transport van PFAS via grondwater, oppervlaktewater en zeewater plaatsvinden. (Rigét et al., 2013).

Meer in detail kunnen PFAS zich vanaf lozing/vrijkomen via de volgende verspreidings- en afbraakroutes verspreiden in het milieu:

- Uitloging van grond naar grondwater, en vervolgens verspreiding via grondwater.
- Verspreiding via de lucht (en depositie in bodem of oppervlaktewater).
- Verspreiding door (verontreinigd) slib, grondverzet of baggeren.
- Afbraak van precursors naar PFAA's in het milieu.

3.2.1 Verspreiding via grondwater

Door de relatief goede oplosbaarheid en de lage adsorptie van PFAS aan de bodem, kunnen PFAS zich in het milieu makkelijk via grondwater verspreiden. Doordat er daarnaast geen afbraak plaatsvindt van PFAA's en de toetsingswaarden laag zijn, kunnen PFAS-verontreinigingen zeer grote pluimen vormen, tot meerdere kilometers lang (Weber et al., 2017).

Binnen de gebruikelijke pH range in grond, grondwater en oppervlaktewater (pH 5-9) zijn PFSA's en PFCA's aanwezig als anionen. Sorptie aan bodem en sediment is beperkt vanwege de, over het algemeen, negatieve lading van de bodem. Retardatie tijdens grondwatertransport is groter naarmate de geperfluoreerde koolstofketen langer is en/of de hoeveelheid organische stof in de bodem hoger. PFSA's hebben een sterkere binding aan organische stof dan PFCA's met evenveel koolstofatomen (Higgins en Luthy, 2006).

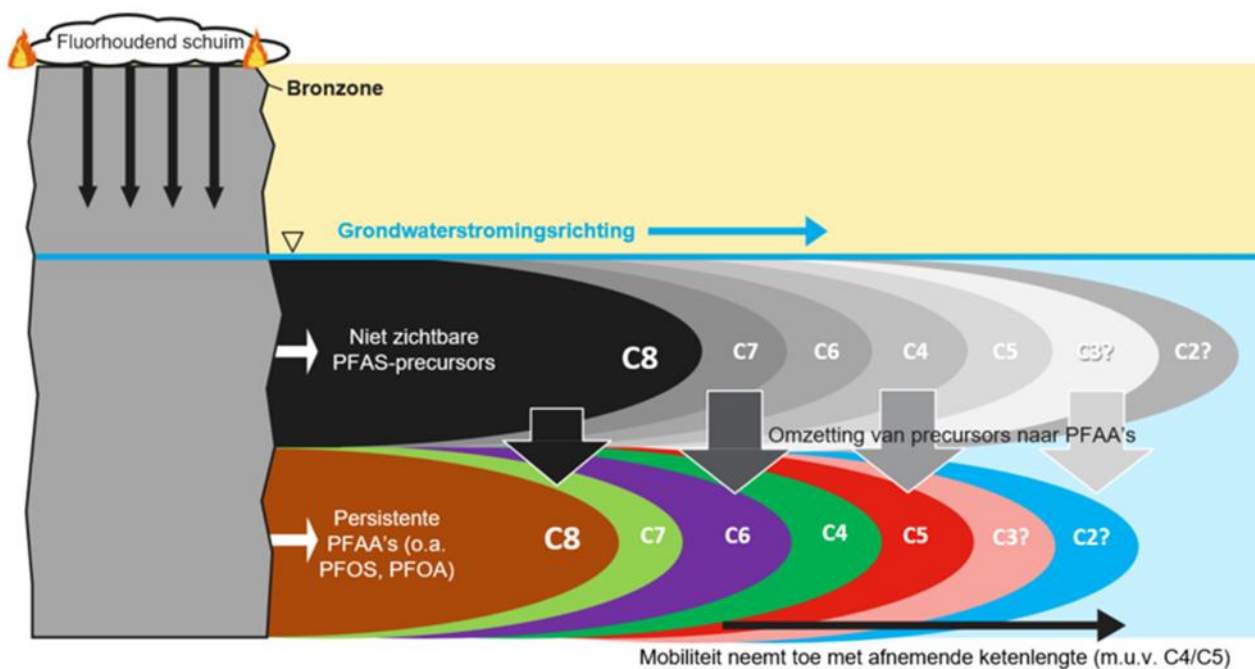
Uit literatuur en uit ervaring in projecten is gebleken dat de zwaardere verbindingen en de PFSA's zich sterker aan de grond binden en dat de PFAA's en de lichtere verbindingen meer in de waterfase aanwezig zijn. PFOA is een meer mobiele verbinding dan PFOS. De invloed van eventuele andere verontreinigingen op de mobiliteit van PFAS verschilt, afhankelijk van de PFAS-ketenlengte, PFAS-concentraties en de eigenschappen van de andere verontreinigingen. Over het algemeen hebben de kortere PFAS een hogere mobiliteit dan de langere PFAS. Dit is weergegeven in figuur 5.

Octanol-water verdelingcoëfficiënt

Voor de meeste verontreinigingen kan de $\log K_{ow}$ (partiticoëfficiënt octanol/water) gebruikt worden om de adsorptie van verontreinigingen aan de bodem te voorspellen. Een hoge $\log K_{ow}$ geeft aan dat de stof liever in octanol (hydrofoob) zit dan in water, wat aangeeft dat de stof sterk aan de bodem adsorbeert. Voor PFAS is dit echter niet het geval. PFAS hebben een zeer lage $\log K_{ow}$, die in veel gevallen zelfs niet te meten is door de water én vetafstotende eigenschappen. PFAS zullen zich bij de $\log K_{ow}$ -bepaling accumuleren op het grensvlak water-octanol in plaats van in de vloeistoffen. De $\log K_{ow}$ vormt voor PFAS dus geen goede indicator voor adsorptie aan de bodem.

De precursors vertonen verschillend gedrag in het milieu. Omdat de precursors anionisch, kationisch of zwitterionisch (zowel kationisch als anionisch), of neutraal (niet geladen) kunnen zijn, verschilt de binding aan de bodem. De kationische en zwitterionische precursors binden over het algemeen sterker aan de bodem, deze componenten worden dichterbij de bronzone van de verontreiniging aangetroffen. Precursors kunnen ook via het grondwater verspreiden. Wanneer, op grotere afstand van de bron, de redoxcondities veranderen naar aeroob, kunnen deze PFAS precursors omgezet worden in PFAA's (zie figuur 4).

PFAS gedragen zich als zeep en kunnen accumuleren op het grensvlak water-lucht. Ook kunnen ze micellen vormen, en al samenklonteren bij concentraties ruim onder de kritische micelconcentratie (Vierke et al., 2013).



Figuur 5: Conceptueel model PFAS verspreiding

3.2.2 Verspreiding via lucht

Vanwege de lage evenwichtsconstante tussen lucht en water (Henryconstante) verspreiden PFAA's zich niet of nauwelijks via de lucht. PFAS kunnen wel door de lucht getransporteerd worden wanneer het via een productieproces in de lucht wordt uitgestoten. PFOA coaguleert bijvoorbeeld en vormt dan aerosolen (kleine deeltjes) (Zeilmaker et al., 2016). In de omgeving van zowel Dordrecht (NL) als Zwijndrecht (B) zijn verhoogde concentraties in de grond gemeten (tientallen $\mu\text{g}/\text{kg}$), waarschijnlijk daar terecht gekomen via atmosferische depositie (PFAS expertisecentrum, 2016; d'Hollander et al., 2011).

Voor precursors kan verspreiding via de lucht wel relevant zijn. Precursors met een hoge vluchtigheid zoals FTOH's, gefluoreerde sulfonamides (FOSAs) en sulfonamido ethanolen (FOSEs) kunnen via de lucht verspreiden. In de lucht zijn ze onderhevig aan atmosferische oxidatie, waarbij PFAAs worden gevormd, welke vervolgens via atmosferische depositie neerslaan op de grond en het water (Rigét et al., 2013).

3.2.3 Verspreiding door (verontreinigd) slib, grondverzet of baggeren

Verspreiding van PFAS in het milieu kan ongemerkt ook fysiek hebben plaatsgevonden. Omdat PFAS zeer wijdverspreid zijn en nog worden toegepast, zijn er meerdere routes bekend via welke PFAS onbedoeld zijn verspreid. Voorbeelden hiervan zijn het verspreiden van verontreiniging tijdens baggeren, maar ook het verplaatsen van grond zonder dat bekend is dat deze verontreinigd is. Ook het gebruik van brandblusschuim kan gezien worden als een voorbeeld van fysieke verspreiding.

Eén van de grootste PFAS-verontreinigingsgevallen in Duitsland is het toepassen van verontreinigd slib van de papierindustrie als bodemverbeteraar op landbouwpercelen. Het papierslib is gedurende meerdere jaren op landbouwpercelen toegepast totdat in 2006 ontdekt werd dat deze landbouwarealen de bron waren van de verhoogde PFAS concentraties in de omliggende rivieren (Kröfges et al., 2007). Het gebruik van slib van waterzuiveringen in Decatur, Alabama (nabij PTFE fabriek) heeft geleid tot PFAS concentraties in de grond tot enkele milligrammen per kg (Washington et al., 2010).

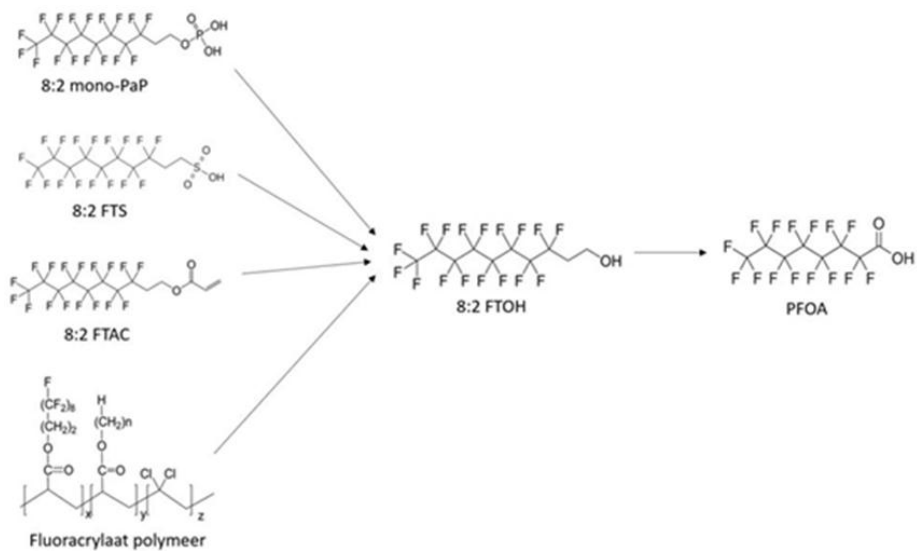
3.2.4 Afbraak in het milieu

Zoals eerder genoemd is biologische en chemische afbraak in het milieu alleen relevant voor de PFAS-precursors. De niet-gefluoreerde delen van de precursors kunnen afgebroken worden waarna de geperfluoreerde PFSA's en PFCA's overblijven. PFSA's en PFCA's zijn niet bioafbreekbaar. De biologische afbraak van precursors gebeurt voornamelijk onder aerobe omstandigheden. In een enkele studie is ook afbraak van precursors onder anaerobe omstandigheden aangetoond (Zhang et al., 2013). De afbraak verloopt dan wel veel langzamer dan onder aerobe omstandigheden, en niet volledig tot PFAA's. Tijdens de anaerobe afbraak worden andere gepolyfluoreerde tussenproducten gevormd.

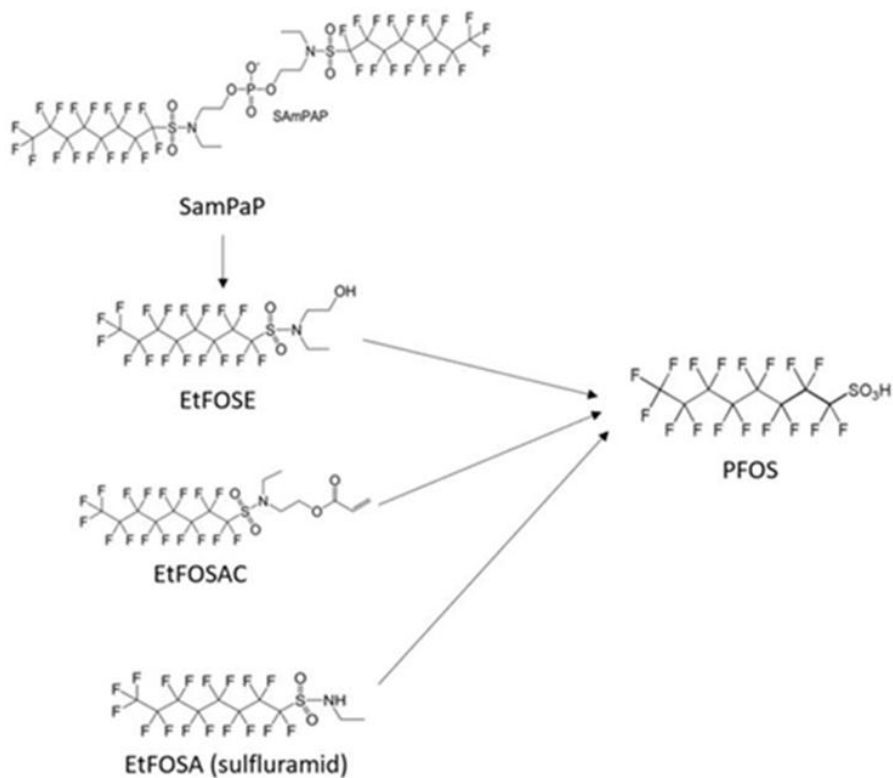
De meeste precursors breken af tot PFCA's zoals PFOA. Stoffen met een geperfluoreerde koolstofketen van 8 koolstofatomen breken via verschillende tussenproducten af tot PFOA, zoals bijvoorbeeld 8:2 monoPaP, 8:2 FTS, 8:2 FTAC, 8:2 FTOH (zie Figuur 6).

Precursors die tot PFSA's zoals PFOS af kunnen breken zijn bijvoorbeeld EtFOSE en EtFOSA (Figuur 6).

Niet alleen PFOS en PFOA worden gevormd tijdens de afbraak van precursors. Veelal ontstaat een mengsel van verschillende PFAA's. Bijvoorbeeld bij de afbraak van 8:2 FTOH worden PFHxA, PFHpA en PFOA gevormd (Wang et al., 2009).



Figuur 6: Voorbeeld van afbraakroutes van fluortelomeren tot PFOA (Liu et al., 2013)



Figuur 7: Voorbeeld van afbraakroutes van precursors tot PFOS (Liu et al., 2013)

4 TOXICITEIT EN TOETSINGSWAARDEN

De toxiciteitsdata van PFAS worden gedomineerd door PFOS en PFOA vanwege het wijdverbreide voorkomen van deze componenten in het milieu. Van de overige PFAS is veel minder informatie beschikbaar. Een uitgebreid overzicht van toxiciteitsdata is gegeven in het Concawe rapport (Pancras et al., 2016) en in de RIVM rapporten over PFOS en PFOA (Moermond, 2010; Bodar, 2011; Zeilmaker, 2016; Verbruggen, 2017). Blootstelling aan PFAS vindt voornamelijk plaats via drinkwater of voedsel (Noorlander et al., 2010). Voor kinderen kan daarnaast huishoudelijk stof en inname van verontreinigde grond een belangrijke bron van inname zijn.

PFAS worden in het lichaam niet omgezet en binden zich niet zozeer aan vetten, zoals andere verontreinigingen, maar aan eiwitten. De excretie van PFAS (vnl PFOS, PFOA en PFHxS) uit het lichaam is zeer langzaam, en kan jaren duren. De halfwaardetijden van PFOS, PFOA en PFHxS zijn respectievelijk circa 3-4 jaar, 2-3 jaar en 5-7 jaar (Olsen et al., 2007; Li et al., 2017). Kleinere PFAS kunnen in enkele dagen uit het lichaam verwijderd zijn. Dit is ook terug te zien in de bioaccumulatie van de PFAS. De langketenige PFAS (PFHxS en groter, en PFOA en groter) bioaccumuleren, de kortketenige niet of nauwelijks.

Chronische blootstelling aan PFOS resulteert bij proefdieren in effecten op de lever, longen, hormoonwaarden, voortplanting en op de ontwikkeling. Chronische blootstelling aan PFOA resulteert tevens in effecten op de lever en heeft effect op de vorming van antistoffen bij vaccinatie.

Of PFOS en PFOA kankerverwekkend zijn is niet met zekerheid vastgesteld. PFOS en PFOA worden door meerdere instanties (ATSDR, US-EPA en IARC) aangeduid als zijnde mogelijk of waarschijnlijk carcinogeen (maar nog niet als bewezen carcinogeen). In Nederland zijn PFOS en PFOA opgenomen op de lijst van stoffen die negatief effect hebben op de voortplanting (SWZ, december 2016). Studies naar aanleiding van grote verontreinigingsgevallen hebben verder uitgewezen dat er sterke links zijn tussen blootstelling aan PFAS en verschillende soorten kanker (o.a. nier-, zaadbal-, prostaat-, eierstok- en borstkanker) (Vieira et al., 2013; Mastrantonio et al., 2017)

PFOS en PFOA zijn niet zozeer acuut toxisch voor de mens (ATSDR, 2015). Bij hoge doseringen in dierstudies vinden effecten op de lever en het maagdarmkanaal plaats. Hierbij is PFOS meer toxisch dan PFOA (CRC-Care, 2017).

4.1 TOELAATBARE DAGELIJKSE INNAME (TDI)

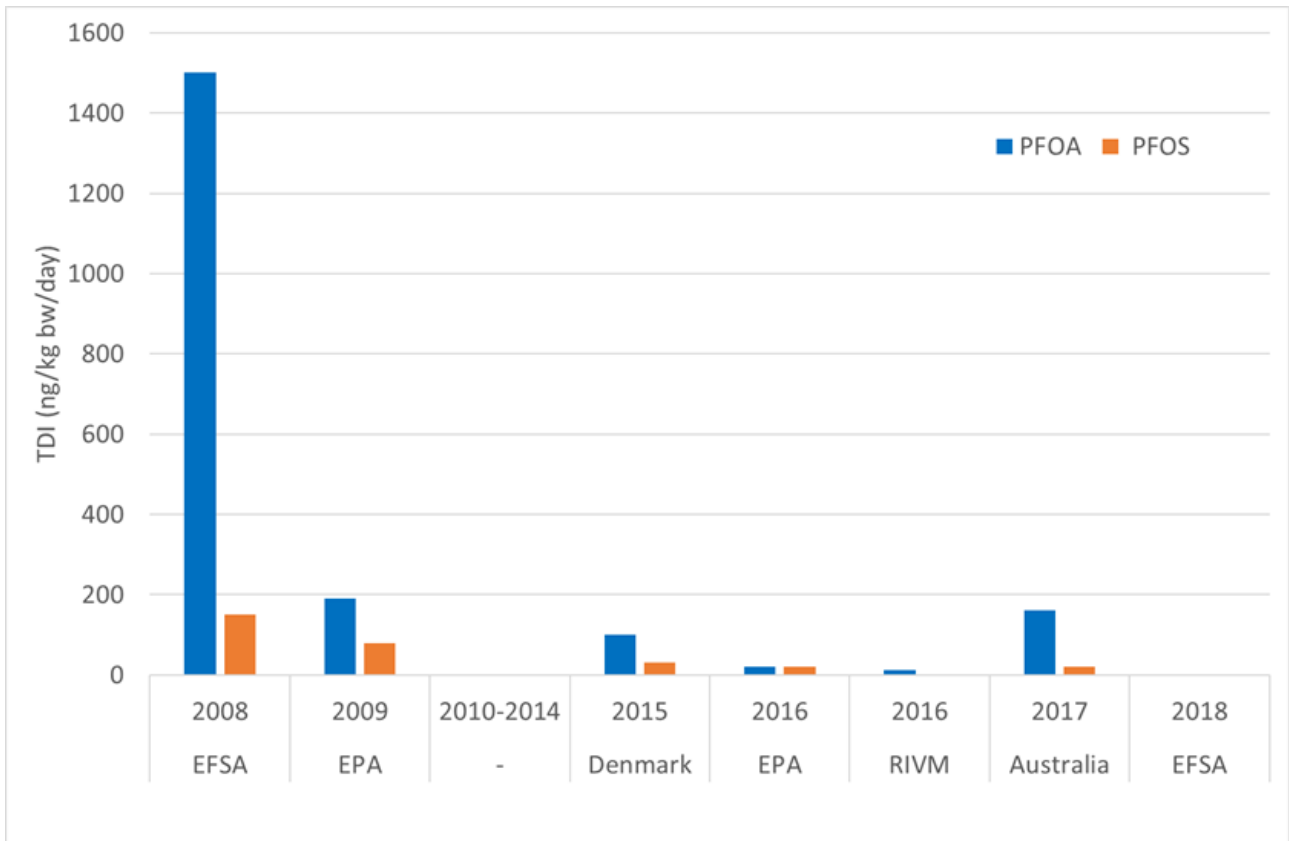
Op basis van toxiciteitsonderzoeken wordt een toelaatbare dagelijkse inname afgeleid (TDI).

De TDI vormt het uitgangspunt voor de regelgeving die in de verschillende landen is afgeleid. In 2008 zijn door de EFSA TDI's afgeleid voor PFOS en PFOA, welke tot recentelijk als basis zijn gebruikt voor het afleiden van toetsingswaarden (EFSA, 2008). De TDI's zijn bepaald op basis van het doorrekenen van de resultaten van dierproeven naar veilige innames voor de mens

De laatste jaren is er een neerwaartse trend zichtbaar in de TDI's die zijn afgeleid (figuur 8). De grootste verandering is dat de zeer lange halfwaardetijden zijn doorberekend in de TDI's. In Tabel 2 zijn de TDI's weergegeven die voor PFOS en PFOA zijn afgeleid door verschillende instanties. Momenteel worden de TDI's voor PFOS en PFOA door de EFSA opnieuw geëvalueerd (gepland voorjaar 2018). De verwachting is dat deze minimaal tot dezelfde ordegrrootte zullen dalen als de recent afgeleide TDI's.

Bron:	TDI PFOS (ng/kg lg/dag)	TDI PFOA (ng/kg lg/dag)
EFSA, 2008	150	1500
EPA, 2009	80	190
Denemarken, 2015	30	100
EPA, 2016 (reference dose / RfD)	20	20
RIVM, 2016	-	12,5
Australië, 2017	20	160
EFSA, 2018	?	?

Tabel 2: Toelaatbare dagelijkse inname waarden (TDI) afgeleid door verschillende instanties



Figuur 8: Ontwikkelingen TDI's in de tijd

Voor GenX is in 2017 door het RIVM een voorlopige (zeer conservatieve, op basis van een worst-case scenario) TDI afgeleid van 21 ng/kg lg/dag (Smit, 2017).

De TDI kan vrij eenvoudig worden doorgerekend naar een drinkwatertoetsingswaarde. Hierbij wordt uitgegaan van een inname van 2 liter water per dag voor een persoon van 70 kg. De route via drinkwater mag maximaal 20% van de TDI vertegenwoordigen. De TDI van PFOA van 2016 resulteert zo in een drinkwatertoetsingswaarde van 87,5 ng/l ($12,5 \times 70 \text{ kg} \times 20\% / 2 \text{ liter per dag}$), en van GenX in een waarde van 150 ng/l.

De drinkwatertoetsingswaarde voor PFOS die is afgeleid in Moermond et al., 2010 is gebaseerd op de TDI van 150 ng/kg lg/dag die is afgeleid door de EFSA in 2008. Hierbij mocht drinkwater maximaal 10% van de TDI vertegenwoordigen (sinds 2011 wordt met 20% (WHO richtlijn) gerekend). Dit resulteerde in een drinkwatertoetsingswaarde van 530 ng/l (in de praktijk wordt getoetst op een waarde van 100 ng/l). De verwachting is dat de TDI van PFOS voor Nederland nog wordt herzien. Indien de TDI verlaagd wordt, in lijn met de afleiding van de TDI's voor de andere landen, zal de drinkwatertoetsingswaarde naar beneden bijgesteld worden.

4.2 TOETSINGSWAARDEN GROND EN GRONDWATER

Belangrijk om in de gaten te houden is de verandering in de TDI sinds 2011 (zie voorgaande paragraaf). De toetsingswaarden van PFOS zijn gebaseerd op een TDI van 150 ng/kg lg/dag van de EFSA uit 2008. De toetsingswaarden van PFOA zijn gebaseerd op de TDI van 12,5 ng/kg lg/dag van het RIVM uit 2016. Op dit moment worden de TDI's van PFOS en PFOA door het EFSA opnieuw bestudeerd. Aanpassingen van TDI's zullen dus ongetwijfeld nog effect hebben op reeds afgeleide toetsingswaarden.

4.2.1 Overzicht toetsingswaarden grond en grondwater voor PFOS en PFOA (Nederland)

Door het RIVM zijn in 2011 onder- en bovengrenzen voor PFOS afgeleid (Bodar et al., 2011) en voor PFOA in 2017 (Lijzen et al., 2017). De onder- en bovengrenzen in grond, bagger, grondwater en oppervlaktewater zijn afgeleid conform methoden die aansluiten bij de Europese kader. Hiermee sluit het aan op REACH en de Kaderrichtlijn Water (Bodar et al., 2011).

De toetsingswaarden voor grond en grondwater zijn door het RIVM afgeleid op basis van toelaatbare risiconiveaus, hierbij zijn drie niveaus van belang:

- Ernstig Risiconiveau (ER): een concentratie waarbij ernstige effecten zijn te verwachten voor ecosystemen of de mens.
- **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.

In Tabel 3 is een overzicht gegeven van de belangrijkste toetsingswaarden voor PFOS en PFOA. Hiervoor zijn verschillende toetsingswaarden afgeleid door het RIVM als onderbouwing gebruikt. De waarden in de tabel zijn gebaseerd op de standaard bodem zoals gedefinieerd in Nederland (10% organische stof, 25% lutum).

De toetsingswaarden hangen af van de blootstellingsroute aan de verontreiniging en/of deze gebaseerd zijn op humaantoxicologische of ecotoxicologische criteria. Opvallend is dat de generieke bovengrens voor PFOS (interventiewaardeniveau) hoger is dan de afgeleide waarden op basis van blootstellingsroutes (zie bijvoorbeeld waarde industrie t.o.v. bovengrens). Voor de meest gangbare verontreinigingen is vaak het tegenovergestelde het geval. Om te bepalen welke toetsingswaarde toegepast kan worden, is vooral van belang in welke mate grond- en grondwater in contact staan met het oppervlaktewater en of doorvergiftiging van belang is (bijvoorbeeld in/nabij natuurgebieden). Ook is het ecologisch beschermingsniveau van belang (Wintersen et al., 2016). Daarnaast moet opgemerkt worden dat de afgeleide risicogrenswaarden voor PFOS rekening houden met een locatiespecifieke (voor Schiphol) verdunningsfactor van grond- en grondwater naar oppervlaktewater.

	PFOS	PFOA
GROND		
Bovengrens (interventiewaardeniveau)	6600 µg/kg d.s. ¹ Laagste van MTR _{humanaan-bodem} (6600 µg/kg) en ER _{eco} (16000 µg/kg).	670 µg/kg d.s. Humane risicogrens volgens standaardscenario 'wonen met tuin'
Ondergrens (streefwaardenniveau)	0,1 µg/kg d.s. Rapportagegrens	0,1 µg/kg Rapportagegrens
Wonen met tuin	11 µg/kg d.s. Laagste van MTR _{wonen, tuin} (6600 µg/kg), Ecologische risico's grond <u>zonder</u> doorvergiftiging (400 µg/kg).	674 µg/kg d.s.
Wonen met moestuin	Niet bepaald	390 µg/kg d.s.
Ander groen, bebouwing, infrastructuur en industrie	8 µg/kg ² d.s. Laagste van MTR _{industrie} (16000 µg/kg), Ecologische risico's grond <u>met</u> doorvergiftiging (8 µg/kg), Uitloging van grond en drinkwater (11 µg/kg).	1900 µg/kg d.s.
BAGGER/SEDIMENT		
Bovengrens	16000 µg/kg d.s. ³ ER _{eco}	50000 µg/kg d.s. ER _{eco}
Ondergrens	0,1 µg/kg ⁴ Rapportagegrens	0,1 µg/kg Rapportagegrens
GRONDWATER		
Bovengrens (interventiewaardeniveau)	4,7 µg/l Direct gebruik grondwater als drinkwater. Laagste van de waarden MTR _{humanaan, grondwater} (310 µg/l), MTR _{dw} (4,7 µg/l) en ER _{eco, grondwater} (930 µg/l)	0,39 µg/l Direct gebruik grondwater als drinkwater. Laagste van de waarden MTR _{humanaan, grondwater} (98 µg/l), MTR _{dw} (0,39 µg/l) en ER _{eco, grondwater} (7000 µg/l)
Ondergrens (streefwaardenniveau)	0,23 x 10 ⁻³ µg/l VR _{eco} = 1/100 MTR _{eco}	Niet bepaald
Humane risicogrens 'wonen met tuin' (Csoil)	310 µg/l	98 µg/l
Humane risicogrens 'wonen met moestuin' (Csoil)	Niet bepaald	56 µg/l
OPPERVLAKTEWATER		
Bovengrens jaargemiddelde AA-EQS/JG-MKE	0,65 x 10 ⁻³ µg/l Laagste van de waarden MTR _{eco, water} (0,023 µg/l), MTR _{sp, water} (0,0026 µg/l) en MTR _{hh food, water} (0,00065 µg/l)	0,048 µg/l
Bovengrens maximaal (piek)MAC-EQS/MAC-MKE	36 µg/l ⁵	2800 µg/l
DRINKWATER		
Drinkwatertoetsingswaarde	0,53 µg/l	0,0875 µg/l

Tabel 3: Overzicht toetsingswaarden PFOS en PFOA afgeleid door RIVM (samengesteld uit data uit/ Moermond et al., 2010; Wintersen et al., 2016; Lijzen et al., 2017)

Legende:

- *Schuinedrukte* waarden zijn niet genoemd in de RIVM-rapporten, maar afgeleid op vergelijkbare wijze.
- **Grijs gekleurde vakjes** zijn locatiespecifieke waarden.

¹ Deze waarde is niet beschermend voor het grondwater wanneer het criterium van grondwater als drinkwater wordt gehanteerd. Een veilige bovengrens is in dat geval 100 µg/kg (Lijzen et al., 2011).

² Het RIVM heeft geconcludeerd dat de gegevens waarop deze waarde bepaald is mogelijk niet volledig zijn. Een nieuwe inventarisatie van de beschikbare gegevens is noodzakelijk om te bepalen of deze waarde van 8 µg/kg juist is. Bij deze berekening is er van uit gegaan dat de gebieden met deze functie groot genoeg zijn om als leefgebied voor vogels en zoogdieren te dienen, waardoor doorvergiftiging naar hogere organismen een rol kan spelen. Bij 'wonen met tuin' wordt hier niet van uitgegaan (Wintersen et al., 2016).

³ Effecten van stapeling in de voedselketen zijn niet meegenomen. De ER_{bodem} -wordt voor PFOS niet als een maatgevende risicogrens gezien omdat aanzienlijke effecten worden verwacht.

⁴ De ondergrenzen in bodem en sediment voor PFOS zijn vastgesteld op de rapportagegrens (0,1 µg/kg) omdat geen achtergrondwaarde bekend is (Wintersen et al., 2016). Het vaststellen van achtergrondwaarden voor PFOS in Nederland in relatief onbelaste gebieden geeft meer inzicht in de ondergrens voor PFOS. Omdat voor PFOA tevens geen achtergrondwaarden bekend zijn, is ook voor PFOA uitgegaan voor een ondergrens ten hoogste van de rapportagegrens van 0,1 µg/kg. In een landsdekkend onderzoek van Kwadijk et al., 2010 werden gehalten in sediment gevonden van 0,5-8,7 µg/kg (Wintersen et al., 2016).

⁵ De waarde van dit getal is beperkt, aangezien het alleen gebaseerd is op acute toxiciteit en niet chronische blootstelling. Daarnaast is doorvergiftiging naar vleeseters en mensen niet meegerekend.

4.2.2 Toetsingswaarden overige PFAS (Nederland)

Voor andere PFAS zijn nog geen toetsingswaarden bekend. Een nadere evaluatie door het RIVM van een methode om andere PFAA's tevens te kunnen toetsen, wordt begin 2018 verwacht.

4.2.3 Toetsingswaarden PFOS en PFOA (Vlaanderen)

De methodiek die in Vlaanderen dient te worden toegepast, verschilt van de Nederlandse. Deze methodiek is beschreven in Deel 1 van de Basisinformatie voor risico-evaluaties (werkwijze voor het opstellen van bodemsaneringsnormen en toetsingswaarden, richtwaarden en streefwaarden, OVAM 2016). In Vlaanderen wordt bv. bij de benadering met TDI ook de achtergrondblootstelling via voeding en lucht meegenomen. Verder is ook de standaardbodem in Vlaanderen anders gedefinieerd dan in Nederland.

Aangezien de TDI's nog sterk evolueren, werd in het kader van voorliggende studie geen toetsingswaarde o.b.v. Vlaamse methodiek afgeleid. Op dit moment worden de TDI's van PFOS en PFOA door het EFSA opnieuw bestudeerd.

De waarden voor PFOS voor oppervlaktewater zijn op Europees niveau vastgesteld in de Water Framework Directive. Deze waarden zijn opgenomen in Vlarem II (bijlage 2.3.1 'Basiskwaliteitsnormen voor oppervlaktewater' d.d. 11/12/2015). De waarden zijn afgeleid door het RIVM (Moermond et al., 2010).

Parameter	Eenheid	Rivieren en meren		Overgangswater		Biotanorm (mg/kg nat gewicht)	Indelings-criterium
		MKN (JG-MKN)	MKN maximum (MAC-MKN)	MKN (JG MKN)	MKN maximum (MAC-MKN)		
PFOS	µg/l	0,00065	36	0,00013	7,2	9,1	Rapportage-grens (0,1)

Tabel 4: Overzicht milieukwaliteitsnormen PFOS Vlarem II (oppervlaktewater)

4.2.4 Toetsingswaarden andere landen

De toegepaste toetsingswaarden voor PFAS zijn nog volop in ontwikkeling. Voor PFOS en PFOA zijn de toetsingswaarden in verschillende landen in de afgelopen paar jaar aangepast. In Europa worden de maximaal toelaatbare doseringen momenteel door het EFSA herzien, waardoor naar verwachting de toetsingswaarden vervolgens weer bijgesteld zullen worden. Daarnaast zijn voor enkele landen reeds toetsingswaarden voor overige PFAS opgenomen. In bijlage 11.3 is een overzicht van de laatste stand van zaken van de toetsingswaarden weergegeven. Deze waarden zijn veelal opgenomen in richtlijnen (niet in wetgeving).

DEEL B - Meetcampagne

5 INLEIDING

Het plan van aanpak voor de meetcampagne omvat volgende fasen:

- Inventarisatie risicolocaties en selectie meetlocaties.
- Meetcampagne met bemonstering en analyse van grondwater, bodem en waterbodem.
- Rapportage van de resultaten.

6 INVENTARISATIE RISICOLOCATIES EN SELECTIE MEETLOCATIES

6.1 ALGEMENE AANPAK

De selectie en prioritering van relevante risicolocaties is voornamelijk gebeurd op basis van de aard van de risicoactiviteiten aangezien deze bepalend zijn voor de aanwezigheid van PFAS in de bodem, grondwater en waterbodem. De studie is te beperkt in omvang om een heel uitgebreide screening te doen. Vanuit die optiek is het belangrijk om sterk te focussen op de activiteiten met een redelijke kans op aanwezigheid van PFAS, dit zijn bijvoorbeeld producenten van PFAS, producenten van brandblusschuim, brandweer oefenplaatsen en brandincidenten (zie ook literatuurstudie Deel A punt 2).

6.2 SELECTIEMETHODIEK VAN RISICOLOCATIES

Om tot een selectie van meetlocaties te komen, werd de informatie uit de overzichtstabel met verdachte locaties (Tabel 1) als uitgangspunt gebruikt en werden deze activiteiten gecombineerd met gegevens bekomen van volgende bronnen:

- Informatie uit de OVAM databank (selectie relevante percelen o.b.v. Vlarebo-rubrieken):
 - Een gerichte selectie was niet mogelijk aangezien de PFAS-verdachte activiteiten niet éénduidig aan Vlarebo-rubrieken gekoppeld kunnen worden. Daarom werd een selectie uitgevoerd op basis van gidsparameters (vb. gebruik chroom bij galvanisatie). Vervolgens werd per dossier nagekeken of deze in aanmerking kwam voor deze studie, meer bepaald o.b.v. relevante verhoogde concentraties aan gidsparameters.
- Informatie uit de OVAM databank (selectie relevante percelen o.b.v. reeds gekende verontreinigingen):
 - In de OVAM databank zijn reeds twee sites gekend met een PFAS-verontreiniging.
- Overkoepelende organisaties waarbinnen een aantal verdachte activiteiten gegroepeerd zitten:
 - Deze organisaties omvatten de Brandweer Vereniging Vlaanderen, industrieën met een eigen bedrijfsbrandweer (<http://www.hulpdienstvoertuigen-database.be/bedrijfsbrandweer.htm>), de burgerluchthavens en de militaire oefenplaatsen en vliegvelden.
 - Op basis van deze lijsten werd een aantal relevante locaties geselecteerd (zie hoofdstuk 3).
- Tracering o.b.v. meetcampagnes Vlaamse Milieumaatschappij:
 - De Vlaamse Milieumaatschappij heeft analyseresultaten beschikbaar van PFOS-concentraties in biota (meetcampagne september-oktober 2015) en waterbodemstalen (meetcampagne maart-mei 2016) in Vlaanderen. Deze gegevens werden opgevraagd bij de VMM in kader van dit onderzoek. Op basis van de ligging van de meetpunten met verhoogde concentraties werd vervolgens via Geoloket van de OVAM en OVAM-databank nagegaan of er stroomopwaarts van deze meetpunten activiteiten zijn van productiesites en sites met frequente toepassing van PFAS-producten. Dit heeft 6 sites opgeleverd, die vervolgens als risico-locatie zijn geselecteerd.

7 MEETCAMPAGNE: BEMONSTERING GROND EN GRONDWATER

7.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt de werkwijze van de uitgevoerde veld- en analysecampagne in kader van de meetcampagne besproken.

7.2 OVERZICHT MEETLOCATIES

Op basis van de selectie die werd uitgevoerd voor bedrijven met een potentiële PFAS problematiek werd een aantal van de geselecteerde bedrijven gecontacteerd voor het verkrijgen van beschikbare PFAS-data of toelating voor het uitvoeren van een beperkte monsternamen van bodem en grondwater ter hoogte van risicolocaties.

In tabel 5 wordt een overzicht weergegeven van de type risicolocaties waarvan data werden ontvangen of toegang werd verkregen voor uitvoering veldmetingen in kader van deze studie. Om confidentialiteitsredenen worden in tabel 5 de risicolocaties/ analyseresultaten niet gekoppeld aan specifieke bedrijven.

Type locatie	Subcategorie	Activiteit	Aantal sites
PFAS verwerkende industrie	Galvanische industrie	Gebruik PFAS als nevelonderdrukker	1
	Lak- en verfindustrie	Productie van lak en verf met gebruik van PFAS	1
	Textielindustrie	Behandelen textiel met PFAS componenten	2
	Papierindustrie	Behandeling (vet en waterafstotend maken) papier en karton	1
Inzet brandblusschuimen (AFFF)	Brandblussen	Calamiteit	2
	Brandweer oefenplaats	Regelmatig gebruik blusschuimen	3
	Brandweervoorzieningen (industrie)	Calamiteiten en testen blusschuimen	5
	Militaire oefenplaatsen en vliegvelden	Calamiteiten en testen blusschuimen	3
	Vliegvelden burgerluchtvaart	Gebruik en testen blusschuimen	3
Stortplaatsen		Afbraakmateriaal + stortmateriaal zelf (tapijten, textiel, papier, etc) in stort	2
Waterzuiveringsinstallatie		waterzuivering van industrie	1

Tabel 5: Overzicht risicolocaties opgenomen in deze studie

Enkele sites opgenomen in de meetcampagne vallen onder meerdere subcategorieën indien bijvoorbeeld zowel blusactiviteiten als een calamiteit heeft plaatsgevonden. In dit geval werden beide risicolocaties onderzocht.

Daarnaast zijn er bij de OVAM, op basis van de OVAM database, enkele gekende PFAS-verontreinigingen. Deze dossiers werden niet mee opgenomen in verdere evaluatie. Op deze sites betreft het eveneens een PFAS verontreiniging ter hoogte van een voormalige brandweer oefenplaats.

7.3 PROTOCOL MONSTERNAME

Nauwkeurige en zorgvuldige monstername is cruciaal bij onderzoek naar PFAS-verbindingen in het milieu. Omdat PFAS-verbindingen zeer veel toepassingen hebben gekend en op zeer lage concentraties dienen bepaald te worden, is de kans op contaminatie door staalnamemateriaal reëel. Het gebruik van monsternormaal (handschoenen, boormateriaal, pompen, recipiënten) met teflon-bestanddelen dienen absoluut te worden vermeden. Ook glazen recipiënten zijn niet geschikt omdat PFAS-verbindingen aan glas adsorberen, daarom werden volledig plastic recipiënten (polypropyleen) gebruikt. In bijlage kan de checklist worden teruggevonden die werd gebruikt op het terrein om PFAS houdende materialen of adsorberende stoffen te vermijden.

De meetcampagne per locatie werd uitgevoerd conform de geldende CMA-procedures voor monstername van bodem, grondwater en waterbodem (CMA/1/A.2) aangevuld met het PFAS-protocol voor monstername van PFAS-componenten (nog geen CMA beschikbaar). De monsternames werden uitgevoerd door het veldwerkteam in eigen beheer van Witteveen+Bos/Mava in de periode augustus - oktober 2017.



Figuur 9: Schematische weergave van aandachtspunten bij het vermijden van kruiscontaminatie (bron: Expertisecentrum PFAS).

7.4 VELDWERKSTRATEGIE EN STAALNAME

In onderstaande tabellen wordt een overzicht gegeven van de risicolocaties met de stalen die genomen werden per site.

7.4.1 Site 1

Deze site betreft een industriële site met een eigen brandweer oefenplaats. Op de site is een oude oefenplaats aanwezig waarop nu infrastructuur van de fabriek gevestigd is. Tevens is er een nieuwe oefenplaats aanwezig op een ander deel van de site. De meeste stalen werden genomen ter hoogte van het maaiveld. Er werd 1 staal genomen van het vaste deel van de aarde ter hoogte van de heersende grondwaterstand.

De grondwaterstalen met een gelijknamig boornummer dan de grondstalen betreffen stalen die genomen werden op dezelfde staalname locatie. Het boorpunt 8010 en peilbuis MWB119 liggen in de directe omgeving van elkaar.

Type	Risicolocatie	Boornummer	Staaldiepte in m-mv	Opmerkingen
Industrie	Brandweer oefenplaats	7004	0,30-0,60	nieuwe oefenplaats (geen verharding)
Industrie	Brandweer oefenplaats	7005	0,40-0,60	nieuwe oefenplaats (geen verharding)
Industrie	Brandweer oefenplaats	8010	0,20-0,60	oude oefenplaats (vermoedelijk verharding)
Industrie	Brandweer oefenplaats	8010	1,6-2,0	oude oefenplaats (vermoedelijk verharding)

Tabel 6: Overzicht site 1 - grond: risicolocaties en boringen

Type	risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling	GW m-mv	Opmerkingen
Industrie	Brandweer oefenplaats	MWB119 (bestaand)	2,28-3,28	1,79	peilbuis ter hoogte van oude oefenplaats
Industrie	Brandweer oefenplaats	MWB120 (bestaand)	1,94-2,94	1,82	peilbuis ter hoogte van oude oefenplaats
Industrie	Brandweer oefenplaats	P7004 (nieuw)	1,9-2,6	1,6	nieuwe oefenzone
Industrie	Brandweer oefenplaats	P7005 (nieuw)	1,9-2,5	1,41	nieuwe oefenzone

Tabel 7: Overzicht site 1 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.2 Site 2

Deze site betreft een industriële site met een eigen brandweer oefenplaats. De site werd de voorbije 10 jaar niet meer gebruikt voor het uitvoeren van oefeningen. De huidige oefeningen worden uitgevoerd bij een externe firma.

Type	Risicolocatie	Boornummer	Staaldiepte in m-mv	Opmerkingen
Industrie	Brandweer oefenplaats	7014	(0,0-0,50)	staal naast verharding
Industrie	Brandweer oefenplaats	7015	(0,0-0,50)	staal naast verharding

Tabel 8: Overzicht site 2 - Grond: risicolocaties en boringen

Type	Risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling m-mv	GW (m-mv)	Opmerkingen
Industrie	Brandweer oefenplaats	P7014 (nieuw)	1,8-2,8	1,24	Oefenplaats reeds meer dan 12 jaar niet meer gebruikt
Industrie	Brandweer oefenplaats	P7015 (nieuw)	1,8-2,8	1,39	Oefenplaats reeds meer dan 12 jaar niet meer gebruikt

Tabel 9: Overzicht site 2 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.3 Site 3

Deze site betreft een oefenplaats op onverharde zone van een regionale brandweerkazerne. De boorpunten werden verspreid aangebracht langsheen de volledige site

Type	risicolocatie	Boornummer	Staaldiepte in m-mv	Opmerkingen
Brandweer oefenplaats (Regionaal)	Brandweer oefenplaats	7011	(0,0-0,30)	geen verharding
Brandweer oefenplaats (Regionaal)	Brandweer oefenplaats	7012	(0,0-0,3)	geen verharding
Brandweer oefenplaats (Regionaal)	Brandweer oefenplaats	7013	(0,0-0,50)	geen verharding

Tabel 10: Overzicht site 3 - grond: risicolocaties en boringen

Type	risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling m-mv	GW (m-mv)	Opmerkingen
Brandweer oefenplaats (Regionaal)	Brandweer oefenplaats	P7011 (nieuw)	2,5-3,5	2,44	geen verharding
Brandweer oefenplaats (Regionaal)	Brandweer oefenplaats	P7012 (nieuw)	2,45-3,45	2,2	geen verharding
Brandweer oefenplaats (Regionaal)	Brandweer oefenplaats	P7013 (nieuw)	2,2-3,2	2,45	geen verharding

Tabel 11: Overzicht site 3 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.4 Site 4

Deze site betreft een luchthaven voor burgerluchtvaart met verschillende risicolocaties.

- Ter hoogte van de brandweer oefenplaats werd er op de verkeerde locatie geboord omwille van verkeerde aanwijzingen. Deze stalen/analyses zijn dus niet representatief en worden niet meegenomen in verdere bespreking. Uit de analyses bleken dan ook geen PFAS aanwezig in deze stalen.
- Voor het slibstaal werd er uit het waterbufferbekken van de luchthaven slib verzameld met een recipiënt vanaf de oever. Het betreft een bufferbekken met folie, hierdoor was de hoeveelheid slib zeer beperkt.
- De incidentenzones betreffen 2 verschillende incidentenzones, namelijk een crashzone van een vliegtuig en een brand ter hoogte van een loods.

Het grondwater bevindt zich op grotere diepte op deze locatie. Er werd enkel een bestaande peilbuis bemonsterd ter hoogte van de crashsite.

Type	risicolocatie	Boornummer	Staaldiepte in m-mv	Opmerkingen
Burger luchtvaart	Brand incident	8012	0,10-0,60	geen verharding
Burger luchtvaart	Brand incident	8013	0,00-0,40	geen verharding
Burger luchtvaart	Brand incident	8014	0,00-0,50	geen verharding
Burger luchtvaart	Brand incident	8014	0,80-1,20	geen verharding
Burger luchtvaart	Brandweer oefenplaats	8015	0,0-0,3	verkeerde locatie
Burger luchtvaart	Brandweer oefenplaats	8015	1,5-2,0	verkeerde locatie
Burger luchtvaart	Brandweer oefenplaats	8016	0,0-0,	verkeerde locatie
Burger luchtvaart	Brandweer oefenplaats	8017	0,0-0,5	verkeerde locatie
Burger luchtvaart	waterbekken	Lozingspunt	slib	Slibstaal uit vijver met folie
Burgerluchtvaart	Brand incident	7016	0,40-0,90	betonverharding
Burgerluchtvaart	Brand incident	8018	0,5-1,0	betonverharding

Tabel 12: Overzicht site 4 - Grond: risicolocaties en boringen

Type	risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling m-mv	GW (m-mv)	Opmerkingen
Burgerluchtvaart	Brandincident	P7009 (bestaand)	onbekend	10,82	PB vermoedelijk stroomopwaarts t.o.v. de zone van het incident

Tabel 13: Overzicht site 4 - Grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.5 Site 5

Deze site betreft een provinciale oefenplaats van de brandweer en hulpdiensten. Op de site is een zeer grote brandplaat aanwezig, waarop de oefeningen worden uitgevoerd. Rondom de brandplaat is een wateropvang aanwezig om het water richting de zuivering te sturen. Er werden grondstalen genomen ter hoogte van het maaiveld en 1 ter hoogte van de grondwaterstand. Grondwaterstalen werden genomen ter hoogte van de brandplaats en het opvangbekken voor de run-off van de brandplaats.

Type	risicolocatie	Boornummer	Staaldiepte m-mv	Opmerkingen
Brandweer oefenplaats (Provinciaal)	Brandweer oefenplaats	7007	0,0-0,50	staal naast verharding
Brandweer oefenplaats (Provinciaal)	Brandweer oefenplaats	7008	0,0-0,50	staal naast verharding (met afwatering naar zuivering)
Brandweer oefenplaats (Provinciaal)	Brandweer oefenplaats	7008	3,50-4,00	staal naast verharding (met afwatering naar zuivering)

Tabel 14: Overzicht site 5 - Grond: risicolocaties en boringen

Type	risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling m-mv	GW m-mv	Opmerkingen
Brandweer oefenplaats (Provinciaal)	Brandweer oefenplaats	P1012 (bestaand)	2,5-4,5	3,72	oefeningen op brandplaat met afvoer bluswater
Brandweer oefenplaats (provinciaal)	Brandweer oefenplaats	P7007 (nieuw)	4,0-5,0	3,74	oefeningen op brandplaat met afvoer bluswater
Brandweer oefenplaats (provinciaal)	Brandweer oefenplaats	P7008 (nieuw)	3,9-4,9	3,76	oefeningen op brandplaat met afvoer bluswater

Tabel 15: Overzicht site 5 - Grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.6 Site 6

Deze site betreft een industriële site met een eigen brandweer oefenplaats. De zone is verhard met een betonverharding. Momenteel wordt de site nog gebruikt voor het uitvoeren van brandblus oefeningen.

Type	risicolocatie	Boornummer	Staaldiepte in m-mv	Opmerkingen
Industrie	Brandweer oefenplaats	7002	1,6-2,0	staal naast verharding
Industrie	Brandweer oefenplaats	7003	0,0-0,3	staal naast verharding
Industrie	Brandweer oefenplaats	8009	0,0-0,3	staal naast verharding

Tabel 16: Overzicht site 6 - Grond: risicolocaties en boringen

Type	risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling m-mv	GW (m-mv)	Opmerkingen
Industrie	Brandweer oefenplaats	P7002 (nieuw)	2,0-3,0	1,67	verharding
Industrie	Brandweer oefenplaats	P7003 (nieuw)	1,9-2,9	1,28	verharding

Tabel 17: Overzicht site 6 - Grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.7 Site 7

Deze site betreft een brandweer oefenplaats voor militaire doeleinden. De site is professioneel uitgerust voor het uitvoeren van brandoefeningen. Het bluswater wordt opgevangen en naar een waterzuivering geleid. De grondstalen werden genomen aan het maaiveld, 1 ter hoogte van het grondwater, en één ter hoogte van het lozingspunt van de waterzuivering. De boringen zijn niet in de directe omgeving van de peilbuizen uitgevoerd.

Door de aanwezigheid van een verharding (doorlatend) in de beek waarop geloosd werd na de zuivering was het niet mogelijk een slibstaal te nemen. Om deze reden werd er een grondstaal ingezet onder het niveau van de waterloop, vlak naast de waterloop.

Type	risicolocatie	Boornummer	Staaldiepte in m-mv	Opmerkingen
Brandweer oefenplaats (militair)	Brandweer oefenplaats	8000	0,00-0,30	staal naast verharding
Brandweer oefenplaats (militair)	Brandweer oefenplaats	8001	0,00-0,30	staal naast verharding
Brandweer oefenplaats (militair)	Brandweer oefenplaats	8001	1,10-1,60	staal naast verharding
Brandweer oefenplaats (militair)	Brandweer oefenplaats	8002	0,00-0,30	staal naast verharding
Brandweer oefenplaats (militair)	Brandweer oefenplaats	8003	1,70-2,00	staal ter hoogte van lozingspunt WZI

Tabel 18: Overzicht site 7 - Grond: risicolocaties en boringen

Type	risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling m-mv	GW (m-mv)	Opmerkingen
militair	Brandweer oefenplaats	P16 (bestaand)	1,2-2,2	1,69	verharding t.h.v. oefenzones
militair	Brandweer oefenplaats	P18 (bestaand)	1,0-2,0	1,6	verharding t.h.v. oefenzones
militair	Brandweer oefenplaats	P40 (bestaand)	1,0-2,0	1,81	verharding t.h.v. oefenzones
militair	Brandweer oefenplaats	P42 (bestaand)	1,0-2,0	1,63	verharding t.h.v. oefenzones

Tabel 19: Overzicht site 7 - Grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.8 Site 8

Deze site betreft een voormalig slibbekken van een textiel behandelend bedrijf voor slib afkomstig van de waterzuivering. De boring werd uitgevoerd naast het slibbekken, boren in het slibbekken was niet mogelijk.

Type	risicolocatie	Boornummer	Staaldiepte in m-mv	Opmerkingen
Textiel Industrie	textielindustrie	7001	(1,50-2,00)	voormalig slibbekken fabriek

Tabel 20: Overzicht site 8 - Grond: risicolocaties en boringen

Type	risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling m-mv	GW (m-mv)	Opmerkingen
Textiel industrie	textielbehandeling	P2003 (bestaand)	0,8-2,8	1,1	Peilbuis naast slibbekken
Textiel industrie	textielbehandeling	P4001 (bestaand)	1,36-1,86	1,01	Peilbuis naast slibbekken
Textiel industrie	Textielbehandeling	P7001 (nieuw)	2,2-3,2	2,61	Peilbuis naast slibbekken

Tabel 21: Overzicht site 8 - Grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.9 Site 9

Deze site betreft een militaire luchthaven waar een brandput aanwezig was waar mogelijks ook kleine blusoefeningen plaats hebben gehad. Er was geen verharding aanwezig. Er werd een staal ter hoogte van het grondwater ingezet en twee ter hoogte van het maaiveld.

Type	risicolocatie	Boornummer	Staaldiepte in m-mv	Opmerkingen
Militaire luchtvaart	Brandweer oefenplaats	8006	(0,00-0,50)	geen verharding
Militaire luchtvaart	Brandweer oefenplaats	8006	(1,0-1,50)	geen verharding
Militaire luchtvaart	Brandweer oefenplaats	8007	(0,00-0,50)	geen verharding

Tabel 22: Overzicht site 9 - Grond: risicolocaties en boringen

Type	risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling m-mv	GW (m-mv)	Opmerkingen
Militaire luchtvaart	Brandweer oefenplaats	P207 (bestaand)	?	0,97	brandput zonder verharding
Militaire luchtvaart	Brandweer oefenplaats	P503 (bestaand)	2,2-3,2	2,39	brandput zonder verharding

Tabel 23: Overzicht site 9 - Grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.10 Site 10

Deze site betreft een site voor burgerluchtvaart met een eigen brandweer oefenplaats. De brandweer oefenplaats is verhard.

Type	risicolocatie	Boornummer	Staaldiepte in m-mv	Opmerkingen
Burger luchtvaart	Brandweer oefenplaats	7006	(0,0-0,40)	staal naast verharding
Burger luchtvaart	Brandweer oefenplaats	8011	(0,0-0,15)	staal naast verharding

Tabel 24: Overzicht site 10 - Grond: risicolocaties en boringen

Type	risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling m-mv	GW (m-mv)	Opmerkingen
Burger luchtvaart	Brandweer oefenplaats	P1037 (bestaand)	2,3-3,3	2,56	verharding t.h.v. oefenzone
Burger luchtvaart	Brandweer oefenplaats	P7006 (bestaand)	3,0-4,0	2,6	verharding t.h.v. oefenzone

Tabel 25: Overzicht site 10 - Grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.11 Site 11

Dit betreft een site voor burgerluchtvaart met een eigen brandweer oefenplaats. De brandweer oefenplaats is verhard met een betonverharding. Tevens is er een zone die werd opgevuld met stortmateriaal (niet gerelateerd aan de luchtvaart). De zone werd opgevuld in het verleden om deze zone droog te leggen.

Type	risicolocatie	Boornummer	Staaldiepte in m-mv	Opmerkingen
Burger luchtvaart	Brandweer oefenplaats	7000	0,10-0,60	staal naast verharding
Burger luchtvaart	Brandweer oefenplaats	8004	0,00-0,30	staal naast verharding
Burger luchtvaart	Brandweer oefenplaats	8004	1,3-1,8	staal naast verharding
Burger luchtvaart	Stortplaats	8005	1,5-2,0	ondiepe zone opgevuld met stortmateriaal (staal niet in stortmateriaal)

Tabel 26: Overzicht site 11 - Grond: risicolocaties en boringen

Type	risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling m-mv	GW (m-mv)	Opmerkingen
Burger luchtvaart	Brandweer oefenplaats	P72 (bestaand)	?	1,38	vermoedelijk eerder stroomafwaarts
Burger luchtvaart	Brandweer oefenplaats	P7000 (nieuw)	2,0-3,0	0,55	vermoedelijk eerder stroomopwaarts

Tabel 27: Overzicht site 11 - Grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.12 Site 12

Deze site betreft een voormalig industriële stortplaats van de textielindustrie. De bemonsterde peilbuizen betreffen bestaande monitoringpeilbuizen van de saneringswerkzaamheden die hebben plaats gehad op deze site. Er konden geen grondstalen genomen worden op de stortplaats gezien deze voorzien is van een bovenafdichting.

Type	risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling	GW (m-mv)	Opmerkingen
Stortplaats industrieel	Textielindustrie	MON OB 4 (bestaand)	Onbekend	3,15	monitoringspb rond stort
Stortplaats industrieel	Textielindustrie	MPB3 (bestaand)	?	4,53	monitoringspb rond stort
Stortplaats industrieel	Textielindustrie	MPB7 (bestaand)	?	3,05	monitoringspb rond stort
Stortplaats industrieel	Textielindustrie	MPB9 (bestaand)	?	9,83	monitoringspb rond stort
Stortplaats industrieel	Textielindustrie	PL20 (bestaand)	?	10,45	monitoringspb rond stort

Tabel 28: Overzicht site 12 - Grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.13 Site 13

Deze site betreft een industriële locatie gebruikt door een galvanisch bedrijf. Er konden geen grondstalen genomen worden op deze site op vraag van de eigenaar van het terrein.

Type	risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling m-mv	GW (m-mv)	Opmerkingen
Galvanische industrie	Galvanische industrie	P17001 (bestaand)	?	4,12	
Galvanische industrie	Galvanische industrie	P17002 (bestaand)	?	4,16	meest stroomafwaarts
Galvanische industrie	Galvanische industrie	P308 (bestaand)	2,1-4,1	3,84	
Galvanische industrie	Galvanische industrie	PA8 (bestaand)	3,0-5,0	4,06	meest stroomopwaarts

Tabel 29: Overzicht site 13 - Grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.14 Site 14

Deze site betreft een provinciale brandweer oefenplaats. Door het uitvoeren van een brandoefening was het niet mogelijk kort bij de brandplaat staalnames uit te voeren op het moment van veldwerk. Er werd een bestaande peilbuis bemonsterd op de site. Deze bevond zich echter wel enige afstand van de brandplaat verwijderd en vermoedelijk ook niet in rechte lijn stroomafwaarts van de brandplaat.

Type	risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling m-mv	GW m-mv	Opmerkingen
Brandweer oefenplaats (provinciaal)	Brandweer oefenplaats	P7010 (bestaand)	5,5	4	PB ligt ca. 50 m van oefenplaats, mogelijk stroomafwaarts maar niet in rechte lijn van brandplaat

Tabel 30: Overzicht site 14 - Grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.15 Site 15

Dit betreft een RWZI installatie voor huishoudelijk afvalwater. Het uitstromende gezuiverde water uit de RWZI werd bemonsterd. Ter hoogte van het lozingspunt van het gezuiverde water bevond zich geen slib waardoor het nemen van een slibstaal niet mogelijk was.

Type	Risicolocatie	Naam staal	Opmerkingen
Rioolwaterzuivering huishoudelijk	rioolwaterzuivering	Lozingspunt RWZI	water rechtstreeks uit zuivering

Tabel 31: Overzicht site 15 - Grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.16 Site 16

Dit betreft een voormalige stortplaats voor vermoedelijk hoofdzakelijk huishoudelijk stortmateriaal. Bovenop de stortplaats is tevens een containerpark en een RWZI installatie gevestigd. Het nemen van grondstalen was niet mogelijk op deze site. Er werden enkel bestaande peilbuizen rondom het stort bemonsterd.

Type	risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling	GW (m-mv)	Opmerkingen
Stortplaats huishoudelijk	Stortplaats	P100 (bestaand)	9,3-11,3	6,15	monitoringspb rond stort
Stortplaats huishoudelijk	Stortplaats	P101 (bestaand)	9,5-11,5	6,7	monitoringspb rond stort
Stortplaats huishoudelijk	Stortplaats	P201 (bestaand)	6,0-8,0	6,76	monitoringspb rond stort

Tabel 32: Overzicht site 16 - Grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.17 Site 17

Deze site betreft een bedrijf actief in de coatingindustrie (o.a. teflon coatings). Gezien het grote aantal peilbuizen op deze site had het bedrijf liever niet dat er bijkomende boringen werden uitgevoerd voor het nemen van grondstalen, enkel bestaande peilbuizen werden bemonsterd.

Type	risicolocatie	Peilbuis	Filterstelling m-mv	GW (m-mv)	Opmerkingen
coatingindustrie	coatingindustrie	P101 bis (bestaand)	0,97-2,97	zaklaag teer	Gezien aanwezigheid van teer zijn interferenties met PFAS analyse niet uit te sluiten
coatingindustrie	coatingindustrie	P105 (bestaand)	1,59-3,59	1,38	
coatingindustrie	coatingindustrie	P303 (bestaand)	0,94-2,94	1,58	

Tabel 33: Overzicht site 17 - Grondwater: risicolocaties en peilbuizen

7.4.18 Site 18

Deze site betreft een chemisch bedrijf met blusvoorzieningen met blusschuimen en brandweer oefenplaatsen. Er werden meetdata voor PFAS van het vaste deel van de aarde ter beschikking gesteld in kader van deze studie.

De stalen werden genomen op diverse plaatsen op de site met een verschillend risico op verhoogde PFAS concentraties. Er werden zowel stalen ter hoogte van het maaiveld (stalen met vermelding 1) en stalen ter hoogte van het grondwaterniveau ca. 1 m-mv (stalen met vermelding 2) genomen.

De stalen werden bekomen middels een handmatige boring. De stalen werden geanalyseerd door het laboratorium Eurofins in Hamburg volgens de analysemethode GLS OC 400, LC-MS/MS.

Type	Staalnummer	Opmerkingen
Brandweer oefenplaats	H900-1.1	t.h.v. maaiveld
Brandweer oefenplaats	H900-1.2	t.h.v. grondwater
Brandweer oefenplaats	E100-1.1	t.h.v. maaiveld
Brandweer oefenplaats	E100-1.2	t.h.v. grondwater
Brandweer oefenplaats	F50-1.1	t.h.v. maaiveld
Brandweer oefenplaats	F50-1.2	t.h.v. grondwater
Brandweer oefenplaats	E1	t.h.v. maaiveld
Brandweer oefenplaats	D1	t.h.v. maaiveld
Brandweer oefenplaats	E1500-1.1	t.h.v. maaiveld
Brandweer oefenplaats	E1500-2.1	t.h.v. maaiveld
Brandweer oefenplaats	E1500-3.1	t.h.v. maaiveld
Brandweer oefenplaats	E1400-1.1	t.h.v. maaiveld
Brandweer oefenplaats	E1400-1.2	t.h.v. grondwater
Brandweer oefenplaats	E1400-2.1	t.h.v. maaiveld
Brandweer oefenplaats	E1400-2.2	t.h.v. grondwater
Brandweer oefenplaats	D1200-1.1	t.h.v. maaiveld
Brandweer oefenplaats	D1200-1.2	t.h.v. grondwater
Industriële site	J800-1.1	t.h.v. maaiveld
Industriële site	J800-1.2	t.h.v. grondwater
Industriële site	G1200-1.1	t.h.v. maaiveld
Industriële site	G1200-1.2	t.h.v. grondwater

Tabel 34: Overzicht site 18 - Grond: risicolocaties en boringen

7.5 LABORATORIUMONDERZOEK

De analyses op PFAS op bodem, waterbodem en grondwater werden uitgevoerd volgens CMA-methode CMA/3/D voor analyse van perfluorverbindingen. De analyses werden door het erkend laboratorium SGS Belgium, Polderdijkweg 16, 2030 Antwerpen (afdeling IAC - Institute of Applied Chromatography).

Toegepaste analysetechniek voor grondmonsters betreft hoge druk vloeistof chromatografie met electrospray ionisatie tandem massa spectroscopie (LC-ESI-MS-MS). Toegepaste analysetechniek voor grondwaterstalen betreft de LC-MS-MS techniek na een vaste fase extractie.

In Tabel 35 worden de PFAS componenten en rapportagegrenzen samengevat die routinematig via een target type techniek werden geanalyseerd.

Parameter	Rapportagegrens vaste matrix	Rapportagegrens grondwater
Geperfluoreerde carbonzuren		
Perfluorbutanoic acid (PFBA)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluorpentanoic acid (PFPA)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluorhexanoic acid (PFHxA)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluorheptanoic acid (PFHpA)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluoroctanoic acid (PFOA)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluornonanoic acid (PFNA)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluordecanoic acid (PFDA)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluorundecanoic acid (PFUnDA)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluordodecanoic acid (PFDoDA)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluortridecanoic acid (PFTrDA)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluortetradecanoic acid (PFTeDA)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluorhexadecanoic acid (PFHxDA)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluoroctadecanoic acid (PFODA)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluoralkaansulfonamides		
Perfluoroctanoic sulfonamide (PFOSA)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Geperfluoreerde sulfonzuren		
Perfluorbutanoic sulphonate (PFBS)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluorhexanoic sulphonate (PFHxS)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluoroctanoic sulphonate (PFOS)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Perfluordecane sulphonate (PFDS)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
Fuortelomeer sulfonaten		
6:2 Fluorotelomere sulfonate (6:2 FTS)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
8:2 Fluorotelomere sulfonate (8:2 FTS)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l
10:2 Fluorotelomere sulfonate (10:2 FTS)	0,5 - 1 µg/kg ds	0,005 - 1,0 µg/l

De gerapporteerde rapportagegrens in deze studie werd bepaald op basis van de gemeten concentratie in het analysemonster.

Tabel 35: Overzicht analyseparameters en rapportagegrenzen

8 RESULTATEN EN INTERPRETATIE

8.1 DATA MEETCAMPAGNE

8.1.1 Resultaten vaste deel van de aarde en waterbodem

In kader van deze studie zijn op 18 geselecteerde sites in totaal 35 boringen uitgevoerd en 40 grondstalen en 1 waterbodemonmonster geselecteerd voor analyses op PFAS. De volledige dataset van alle meetresultaten is bijgevoegd in Bijlage 3: overige bijlagen. In Tabel 38 zijn de beschikbare data van de PFAS metingen voor het vaste deel van de aarde en waterbodem samengevat.

In de tabel met meetresultaten in bijlage 11.3 werden volgende grenswaarden gebruikt voor een indicatieve toetsing van de resultaten:

	PFOS	PFOA	6:2 FTS
> streefwaarde	0,5	0,5	
> RGW ecologie	8	7	
> RGW uitloging GW	100	2,7	
> RGW Humaan III	6600	674	
> RGW Humaan V	16000	1900	

Tabel 36: Overzicht gebruikte toetsingswaarden - grond

	PFOS	PFOA	6:2 FTS
streefwaarde	0,001	0,001	0,001
indelingscriterium	0,1	-	
risicogrenswaarde drinkwater	0,53	0,39	0,4
ernstig verontreinigd	4,7	0,39	

Tabel 37: Overzicht gebruikte toetsingswaarden – grondwater

	aantal % van totaal aantal	
aantal meetpunten met som PFAS ⁶ in grond boven rapportagegrens (1µg/kg ds)	32	78
aantal meetpunten met som PFAS in grond boven 10x rapportagegrens (10 µg/kg ds)	27	66
aantal meetpunten met som PFAS in grond boven 100x rapportagegrens (100 µg/kg ds)	15	37
aantal meetpunten met som PFAS in grond boven 1000x rapportagegrens (1.000 µg/kg ds)	10	24

Tabel 38: Overzicht meetdata PFAS in grond en waterbodem

⁶ Somparameter van alle geanalyseerde PFAS-componenten (zie Tabel 5: Overzicht risicolocaties opgenomen in deze studie)

Er wordt vastgesteld dat op de geselecteerde risicolocaties op 66% van de meetpunten een concentraties PFAS_{som} is gemeten in het vaste deel van de aarde hoger dan 10 x rapportagegrens (>10 µg/kg ds). 24% van de meetpunten is PFAS hoger dan 1000 x rapportagegrens gemeten (>1.000 µg/kg ds).

8.1.2 Resultaten grondwater

	aantal	% van totaal aantal
aantal meetpunten met som PFAS in grondwater boven rapportagegrens (0,005 µg/l)	44	92
aantal meetpunten met som PFAS in grondwater hoger dan 10x rapportagegrens (0,05 µg/l)	41	85
aantal meetpunten met som PFAS in grondwater hoger dan 100x rapportagegrens (0,5 µg/l)	34	71
aantal meetpunten met som PFAS in grondwater hoger dan 1000x rapportagegrens (5 µg/l)	20	42

Tabel 39: Overzicht meetdata PFAS in grondwater

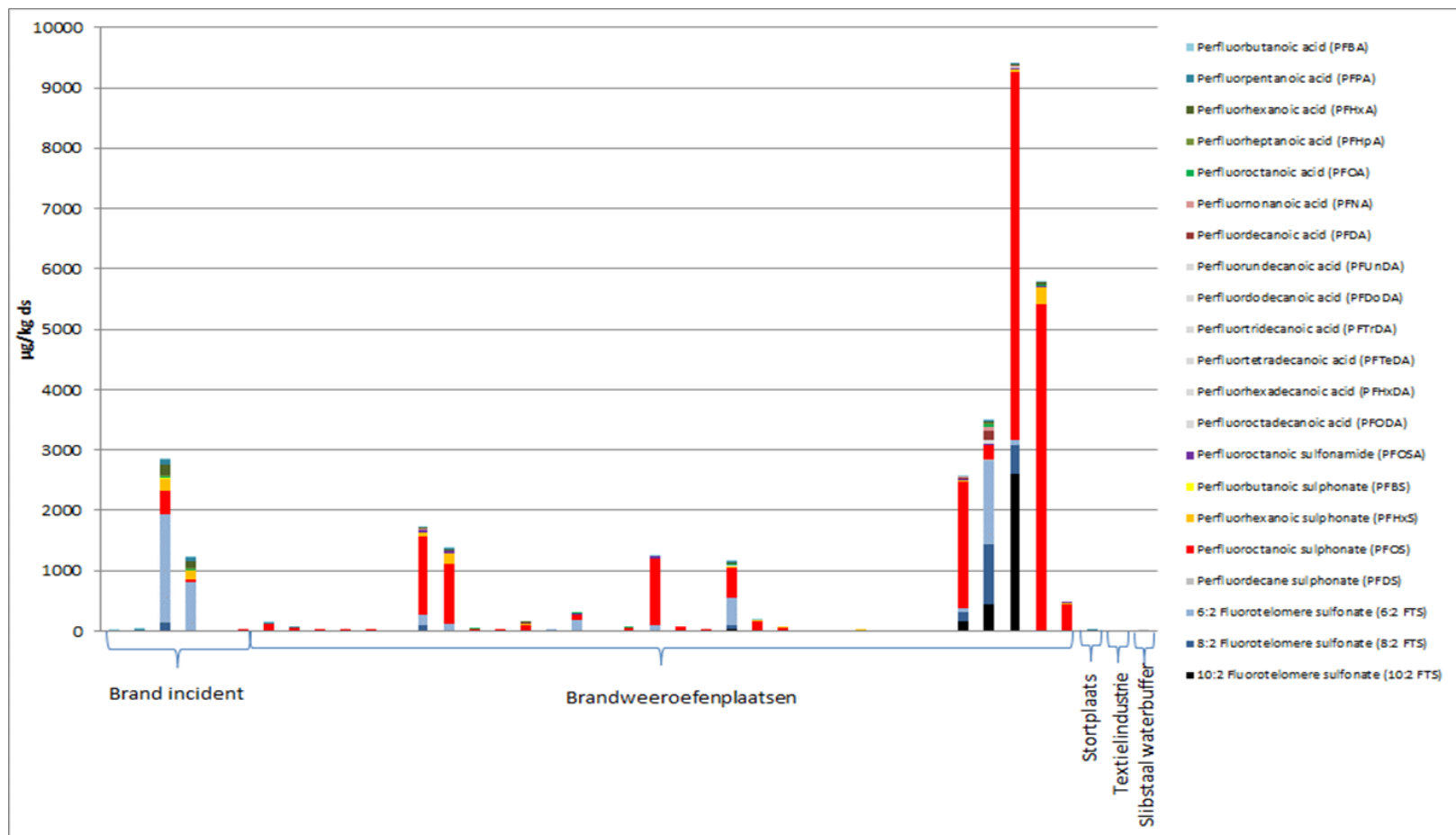
Er wordt vastgesteld dat op de geselecteerde risicolocaties op 71% van de meetpunten een concentraties PFAS_{som} werd gemeten in het grondwater hoger dan 100 x rapportagegrens (0,5 µg/l). 42% van de meetpunten werd PFAS hoger dan 1000 x rapportagegrens (> 5 µg/l) gemeten.

8.2 GRAFISCHE WEERGAVE

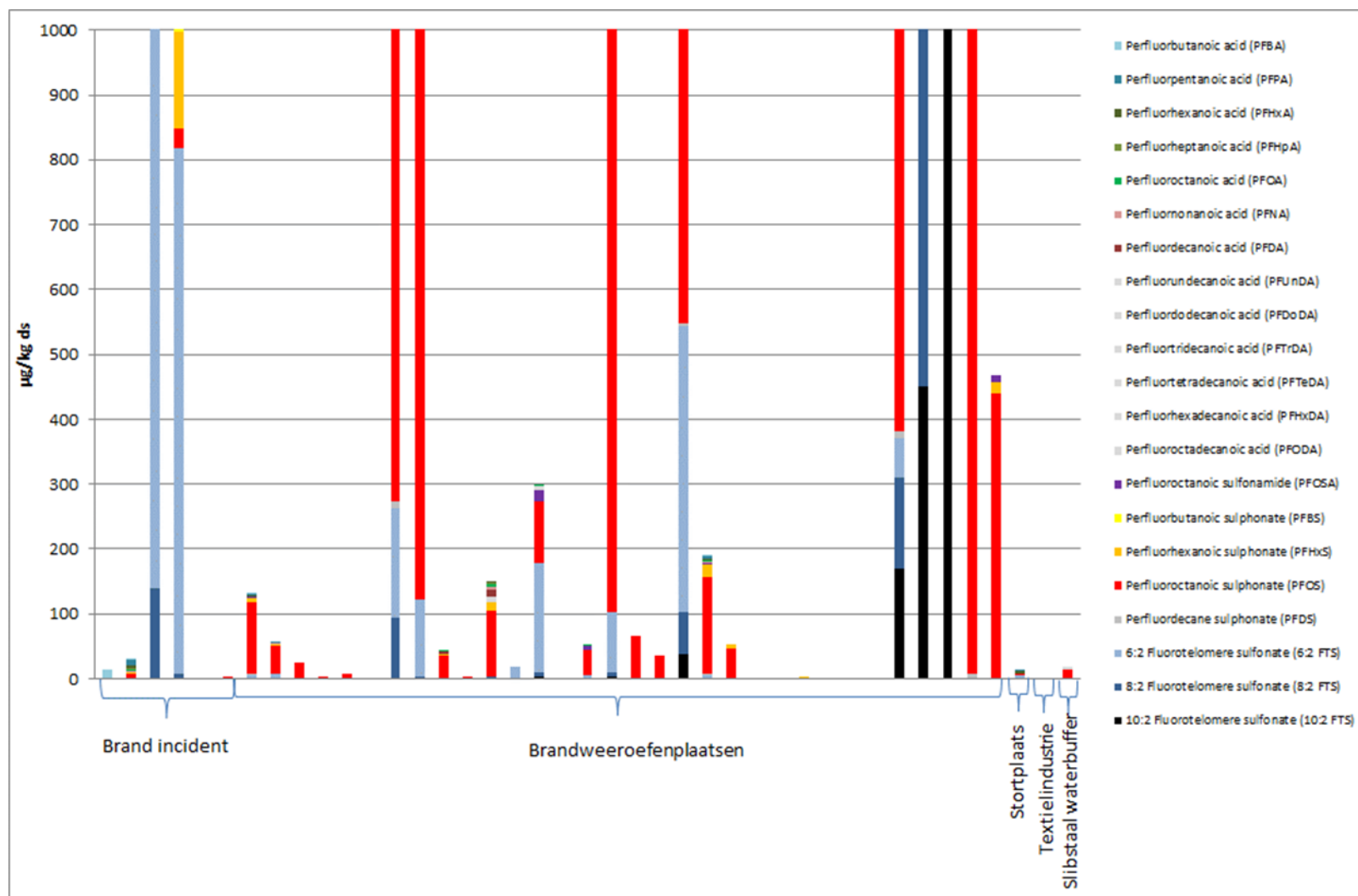
8.2.1 Vaste deel van de aarde en waterbodem

In figuren 10-17 worden de meetresultaten voor het vaste deel van de aarde en waterbodem per risicolocatie in een histogram grafisch weergegeven (resultaten in µg/kg ds). Gezien de grote variabiliteit in totaalconcentraties is in navolgende figuren de y-as in functie van de leesbaarheid teruggebracht naar maximaal 1.000 µg/kg ds en 100 µg/kg ds, waarbij de maximale waarden buiten het bereik van de grafiek vallen.

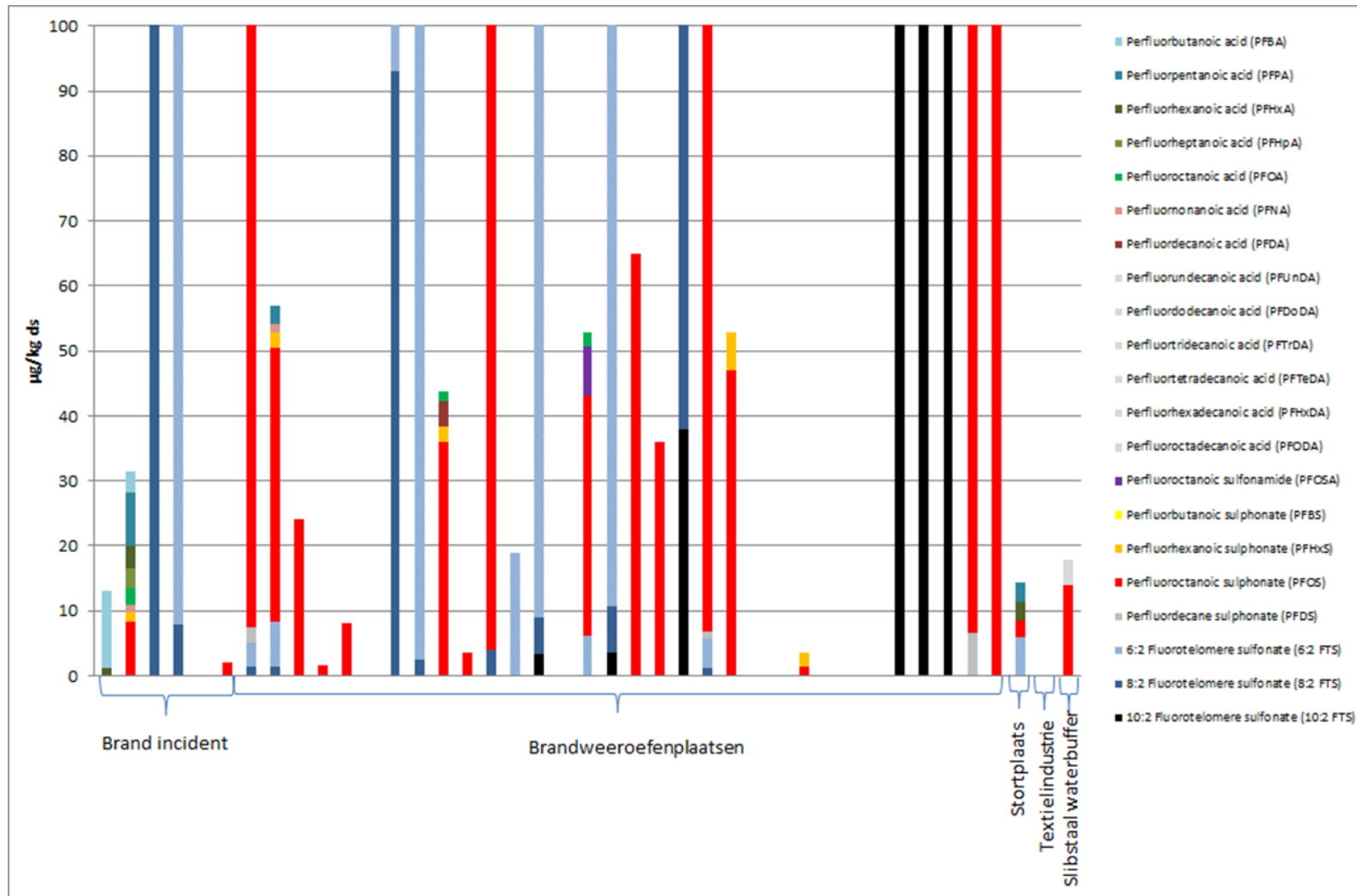
Naast een histogram met resultaten van alle grondstalen, wordt eveneens een histogram met resultaten van de maaiveldstalen en diepere stalen (zone grondwatertafel) weergegeven.



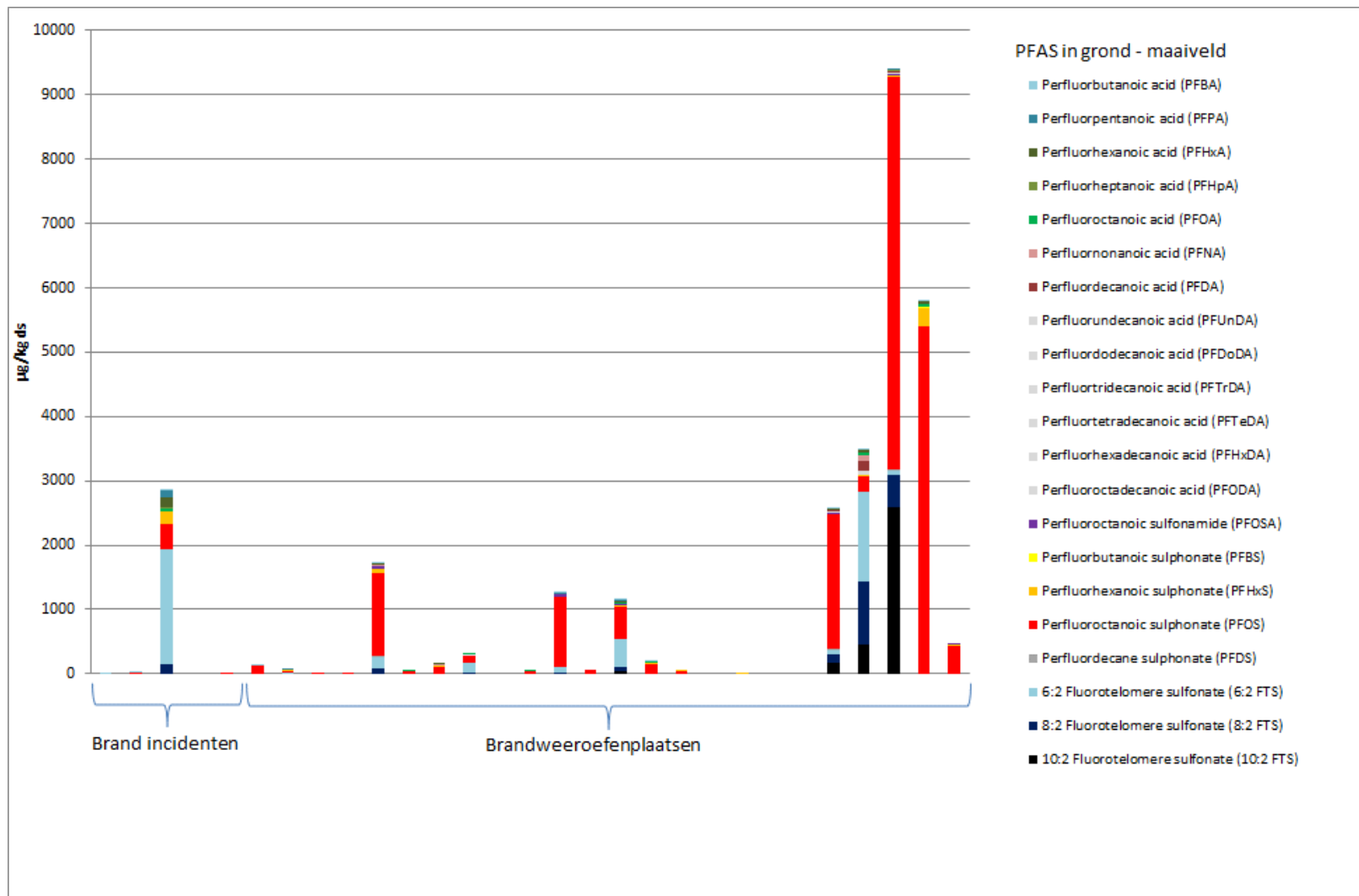
Figuur 10: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde en waterbodern - alle resultaten



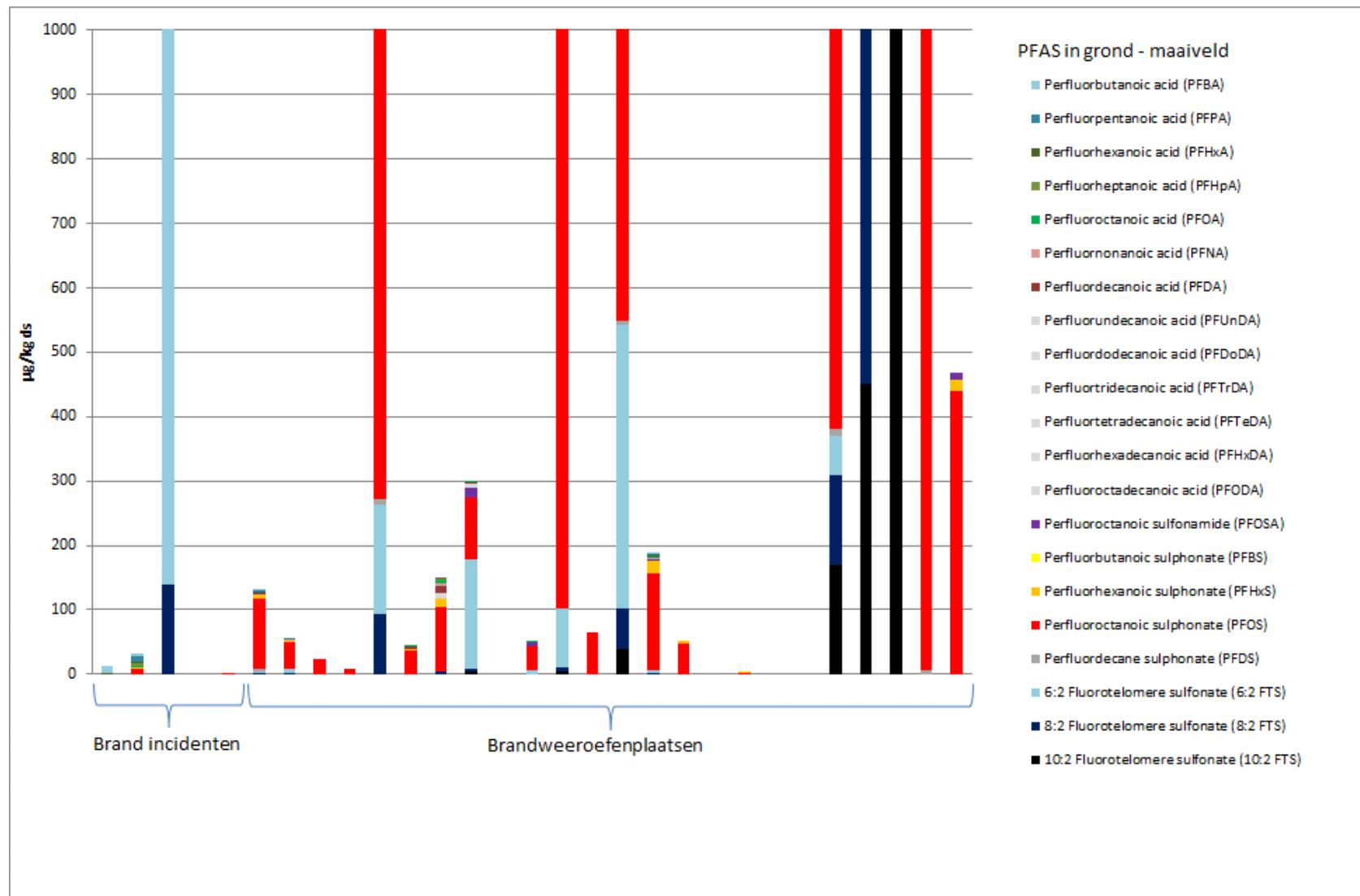
Figuur 11: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde en waterbodem - alle resultaten



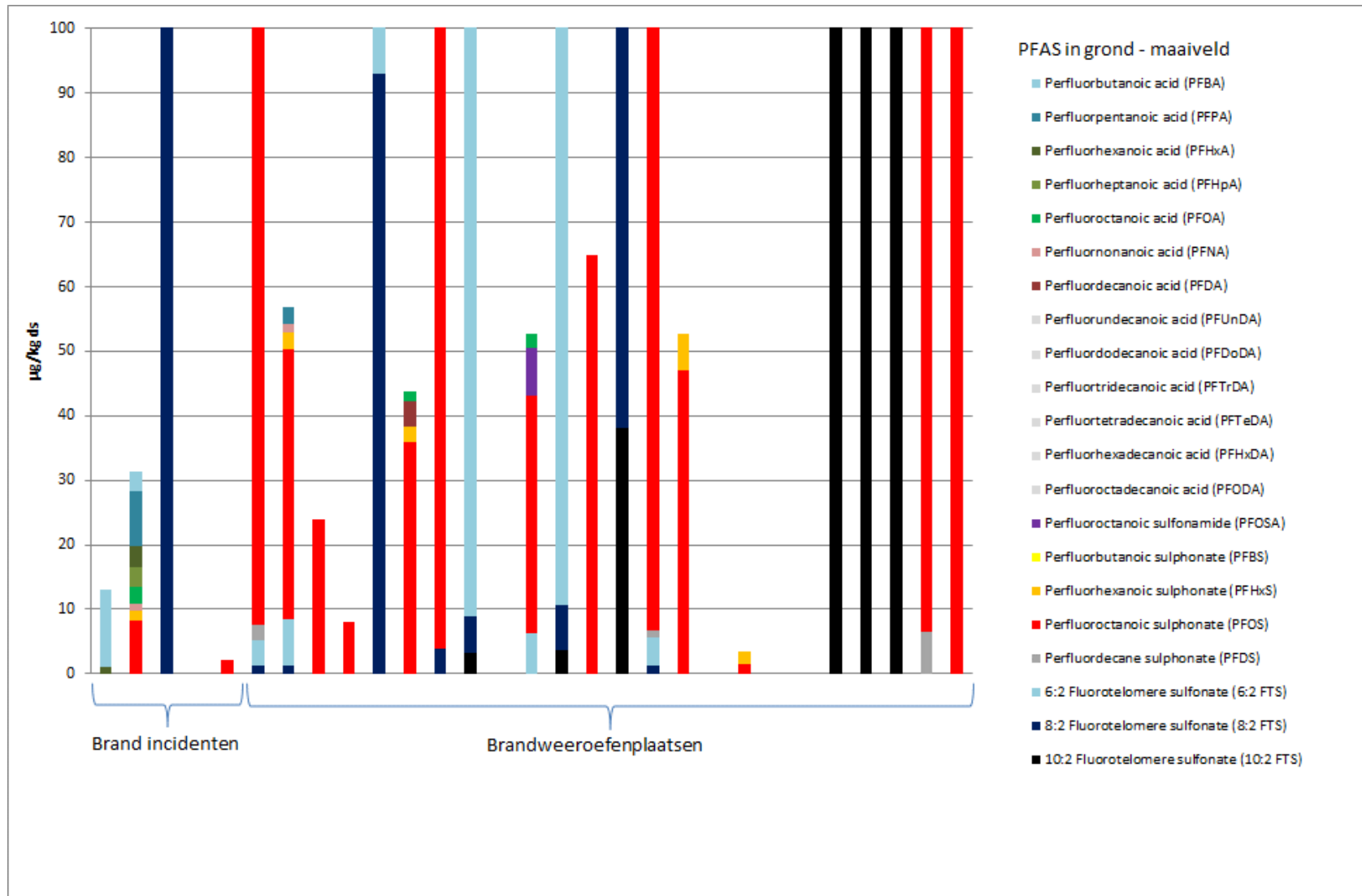
Figuur 12: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde en waterbodem - alle resultaten



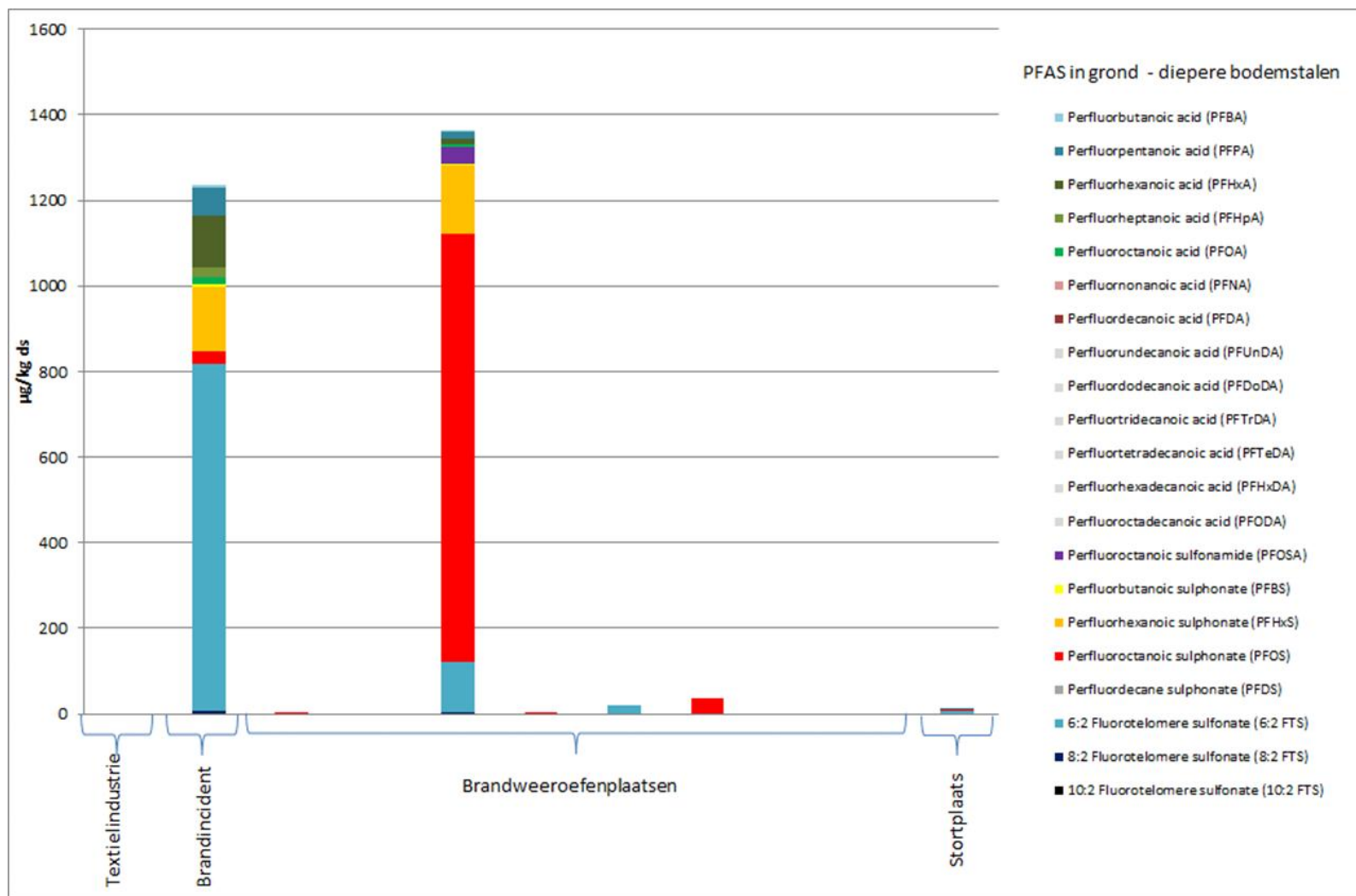
Figuur 13 Histogram PFAS in vaste deel van de aarde en waterbodem - alle resultaten



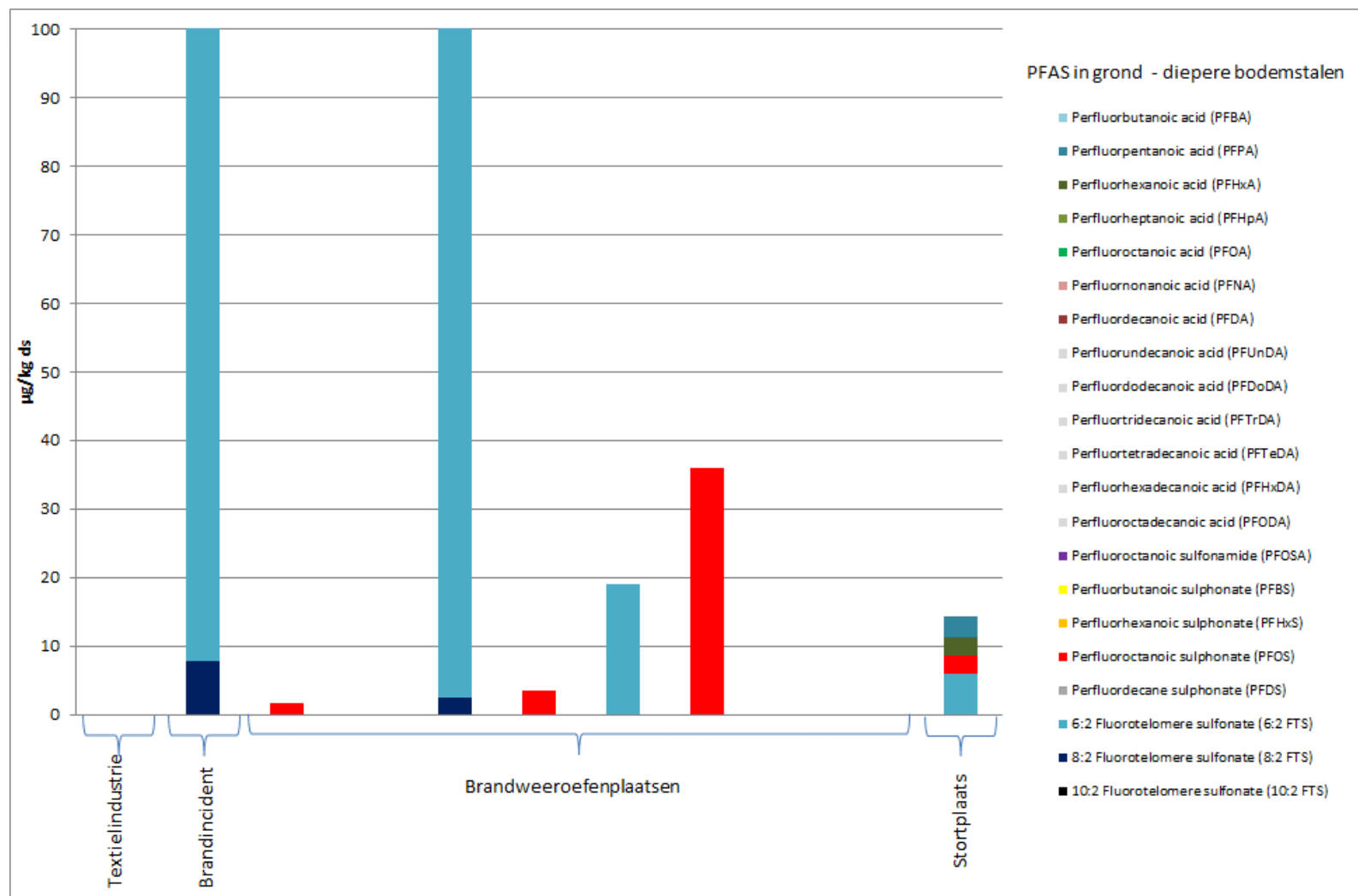
Figuur 14: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde – maaiveldstalen



Figuur 15: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde – maaiveldstalen



Figuur 16: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde - maaiveldstalen

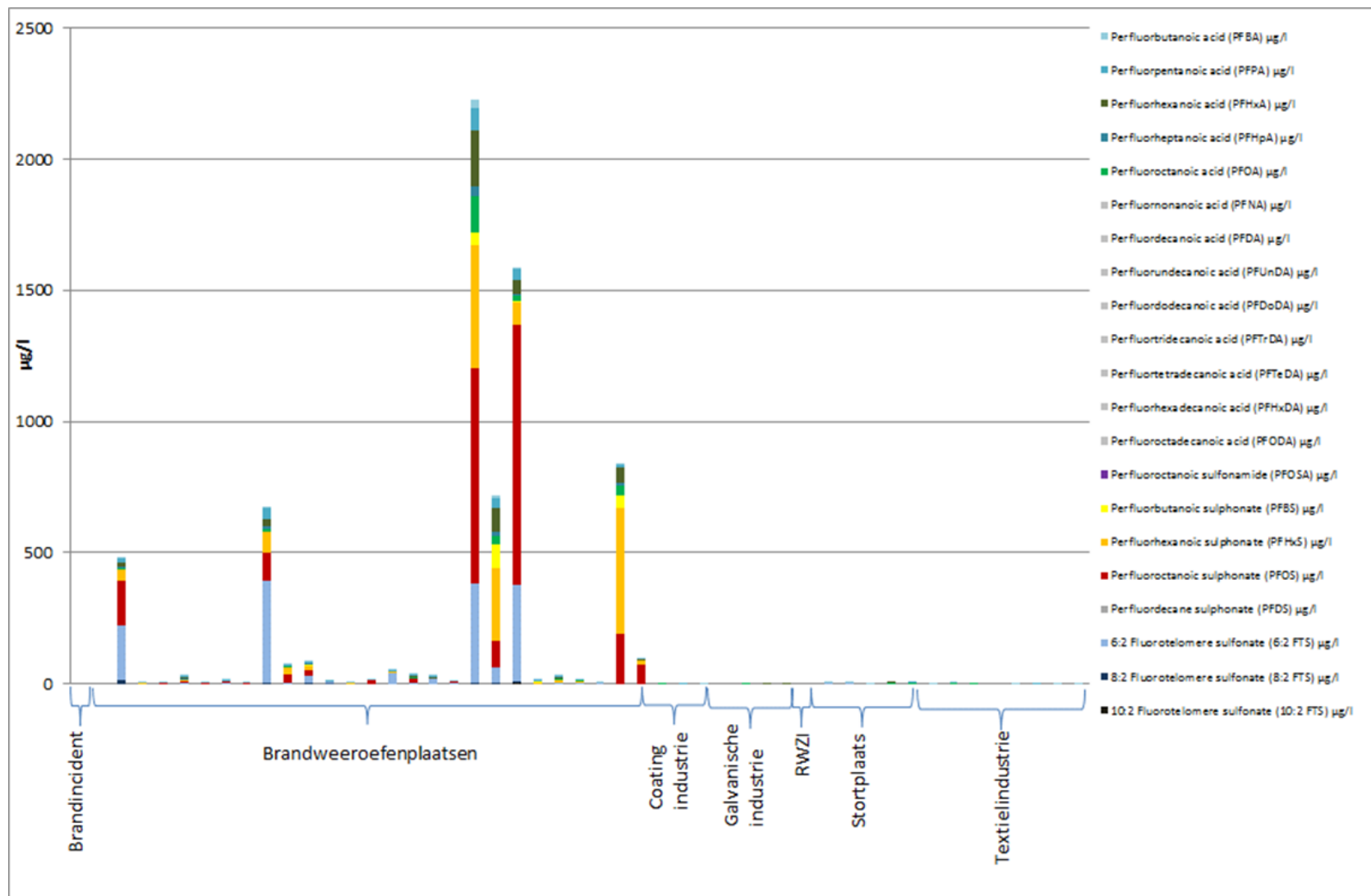


Figuur 17: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde - diepere bodemstalen

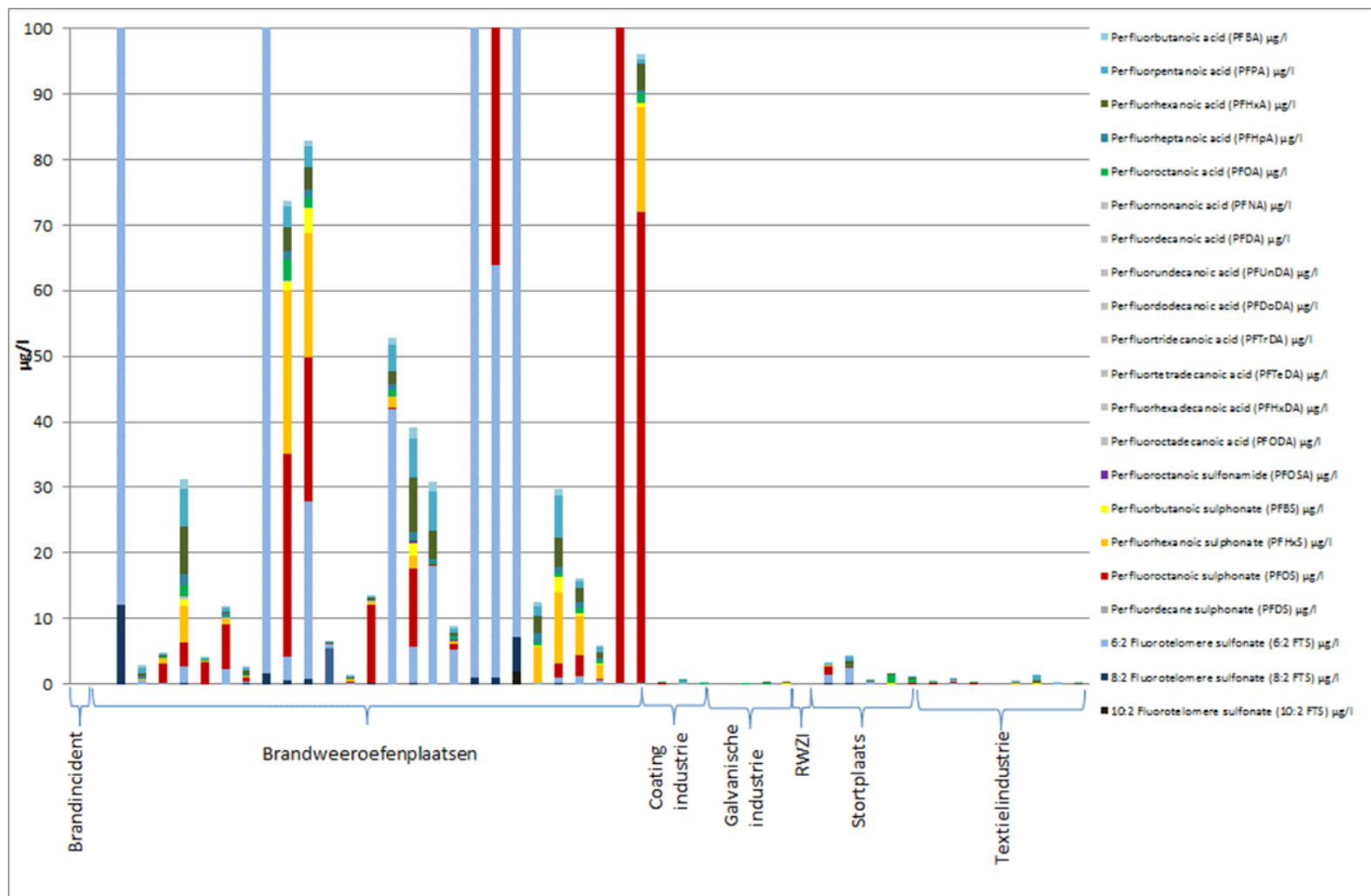
8.2.1 Grondwater

In figuren 18-20 worden de meetresultaten voor het grondwater per risicolocatie in een histogram grafisch weergegeven (resultaten in $\mu\text{g/l}$).

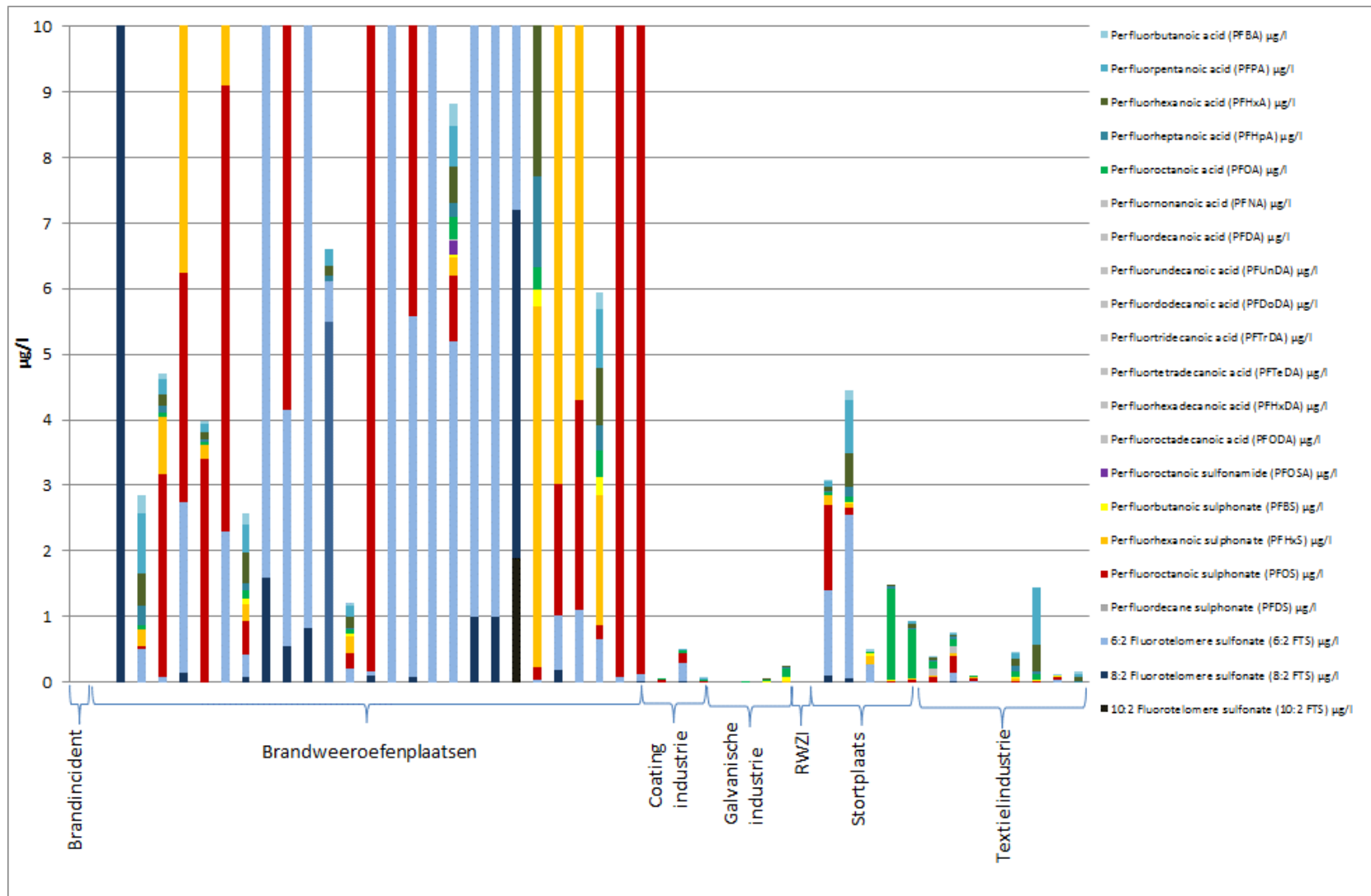
Gezien de grote variabiliteit in totaalconcentraties is in navolgende figuren de y-as in functie van de leesbaarheid teruggebracht naar maximaal 100 $\mu\text{g/l}$ en 10 $\mu\text{g/l}$, waarbij de maximale waarden buiten het bereik van de grafiek vallen.



Figuur 18: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde - diepere bodemstalen



Figuur 19: Histogram PFAS in grondwater (2)



Figuur 20: Histogram PFAS in grondwater (3)

8.3 INTERPRETATIE RESULTATEN

8.3.1 Vaste deel van de aarde

Uit de resultaten van de meetcampagne op risicolocaties wordt voor het vaste deel van de aarde en waterbodembodem vastgesteld dat:

- Op alle locaties met blusactiviteiten zijn PFAS aangetroffen. In verhouding tot de overige activiteiten zijn op de locaties met blusactiviteiten de hoogste concentraties PFAS aangetroffen: maximale concentratie is 9.392 µg/kg d.s.
- Op de locaties met andere activiteiten is één grond/slibmonstername per locatie uitgevoerd (stortplaats, textielindustrie, slibstaal waterbuffer). De aangetroffen concentraties zijn maximaal 14 µg/kg d.s.
- De parameter PFOS wordt relatief in de hoogste concentraties vastgesteld.
- Ter hoogte van locaties waar zich calamiteiten hebben voorgedaan (relatief recente brandincidenten) worden in verhouding meer precursors (FTS⁷-componenten) gemeten.
- Opvallend is dat ook langere PFAS precursors 8:2 en 10:2 FTS worden gemeten in verhoogde concentraties (hoger dan detectiegrens). Deze kunnen afbreken tot onder andere C8 en C10 verbindingen.
- Op basis van de resultaten van de meetcampagne bedroeg de hoogst gemeten PFOS concentratie in de grond 6.100 µg/kg ds. De risicogrenswaarde voor wonen met tuin 11 µg/kg ds (uitloging naar grondwater) wordt ruimschoots overschreden op deze sites.
- De hoogste concentraties PFAS worden vastgesteld ter hoogte van het maaiveld.

8.3.2 Grondwater

Uit de resultaten van de meetcampagne op risicolocaties wordt voor het grondwater vastgesteld dat:

- PFAS worden in het grondwater in de hoogste concentraties aangetroffen op sites met blusactiviteiten. Maximale concentratie bedraagt 2226,8 µg/l.
- Ook op risicolocaties met andere activiteiten (textielindustrie, coatingindustrie, stortplaatsen) worden verhoogde concentraties PFAS in het grondwater aangetroffen.
- De perfluorsulfonaten, waaronder PFOS, worden relatief het meest aangetroffen.
- In vergelijking met de resultaten voor het vaste deel van de aarde worden in het grondwater naar verhouding meer carbonzuren aangetroffen en meer kortere ketens. Dit komt overeen met de verwachting dat perfluorcarbonzuren meer mobiel zijn dan perfluorsulfonaten, en dat kortere ketens mobieler zijn dan langere ketens. Bijvoorbeeld het lange 10:2-FTS wordt in hoge concentraties in de grond aangetroffen op een locatie, maar niet of nauwelijks in het grondwater, terwijl het kortere 6:2-FTS duidelijk in beide compartimenten voorkomt.
- Er worden in het grondwater eveneens verhoogde concentraties FTS aangetroffen.

Er wordt op basis van de meetresultaten vastgesteld dat op de locatie waar zich een calamiteit heeft voorgedaan, geen PFAS in het grondwater werden vastgesteld (grondwaterstand ca. 7 m-mv). Aangezien dit slechts over 1 peilbuis gaat en een diepe grondwaterstand, kan deze stelling niet veralgemeend worden omwille van niet representatieve steekproef.

⁷ Fluortelomeersulfonaten (FTS) zijn toegepast als vervanger van PFOS in blusschuimen

DEEL C – Conclusies en aanbevelingen

Op basis van alle beschikbare data en de interpretatie ervan worden aanbevelingen gedaan voor verdere strategie en beleid. Daarbij moet men zich echter realiseren dat de voorliggende studie beperkt was qua omvang en dat de kennis en expertise op dit gebied nog sterk in ontwikkeling zijn.

Op basis van de beschikbare dataset en de literatuurstudie kunnen volgende vaststellingen gedaan worden:

- Het toetsingskader van PFAS is nog steeds in evolutie, algemeen worden in functie van de tijd strengere toetsingswaarden vooropgesteld. We verwachten bijvoorbeeld dat op termijn de TDI voor PFOS zal dalen.
- PFAS komen in verhoogde concentraties voor in grond en grondwater. Behalve PFOS en PFOA komen, ook andere PFAS zoals 6:2-FTS in meerdere van de geanalyseerde stalen voor. 6:2-FTS is een precursor, welke kan afbreken tot persistente perfluorverbindingen.
- Verhoogde gehalten in grond en grondwater worden in voorliggende studie voornamelijk gemeten bij brandweeroefenplaatsen. In het kader van deze studie werden echter niet alle type risico-activiteiten bemonsterd. Een aantal locaties vertonen geen verhoogde PFAS in grond of grondwater, dit kan echter ook het gevolg zijn van een te beperkte meetcampagne per locatie.
- Niet voor alle veelvoorkomende PFAS zijn risicogrenswaarden beschikbaar. Weliswaar werkt het RIVM aan TDIs voor ca. 10 verbindingen, deze zijn echter nog niet beschikbaar, en zullen alleen toepasbaar zijn voor humane risico's. Ze worden niet vergezeld van toetsingswaarden voor ecologische risico's of voor risico's als gevolg van uitloging van grond naar grondwater.
- Er zijn nog geen data beschikbaar van mogelijke achtergrondwaarden in grond met PFAS in Vlaanderen.

Hieruit resulteren volgende aanbevelingen voor verdere strategie en beleid:

- Het analyseren van een zo breed mogelijk pakket aan PFAS is aan te bevelen (screening op routinematig te bepalen PFAS) aangezien niet enkel PFOS en PFOA verhoogd voorkomen. Ook al zijn nog geen toetsingswaarden beschikbaar, veel andere perfluorverbindingen zijn persistent, bioaccumulatief en toxisch, en de vaak aangetroffen precursors kunnen afbreken tot perfluorverbindingen.
- Aanbevolen wordt om te inventariseren of andere precursors dan FTS aanwezig zijn op de risico-locaties. Een TOP-analyse (detectiegrens circa 2 ng/l) of AOF-analyses (detectiegrens circa 1 µg/l) kunnen hier meer inzicht in geven. Naast FTS kunnen vele andere stoffen toegepast zijn die in het milieu af kunnen breken tot de persistente perfluorsulfonzuren of -carbonzuren.
- Het bemonsteren van grond/grondwater/waterbodem ter hoogte van de geïnventariseerde risico-activiteiten (tabel 1 in hoofdstuk 2.7-deel 1) is aan te bevelen om het voorkomen van PFAS-verbindingen te controleren (in OBO) en als nodig verder af te perken (BBO). Het is echter niet mogelijk om deze activiteiten eenvoudig aan Vlarebo-rubrieken te koppelen waardoor het niet eenvoudig is om de impact/omvang in Vlaanderen te bepalen. Bijvoorbeeld: brandweeroefenplaatsen maken deel uit van chemische bedrijven maar zijn niet aan een Vlarebo-rubriek gekoppeld.

- De impact van diffuse verontreiniging dient verder geëvalueerd te worden voornamelijk in het kader van grondverzet. Op basis van ervaring en beschikbare data is diffuse impact van PFAS in havengebieden of in gebieden in de directe invloedssfeer van productiesites en sites met frequente toepassing van PFAS-producten, niet uit te sluiten. Hier kan het aan te bevelen zijn om in de ruimere omgeving van de locaties waar in het kader van voorliggende studie verhoogde PFAS zijn vastgesteld een uitgebreidere meetcampagne te doen, eventueel aangevuld met een aantal controlestalen in niet-verdachte omgeving.
- Uitbreiden van de meetcampagne naar het oppervlaktewater moet worden overwogen (meerdere PFAS). In het buitenland wordt een interactie vastgesteld in het gehele watersysteem.
- De impact op uitloging dient nog verder onderzocht te worden. Het gedrag van deze stoffen in de bodem is echter zeer complex.
- Het opstellen van Vlaamse toetsingswaarden voor grond, grondwater en waterbodem is aan te bevelen, zowel in het kader van bodemonderzoek als grondverzet. De TDI is momenteel in herziening.

DEEL D – Bijlagen

9 BIJLAGE 1: LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1. Overzicht verdachte risico-locaties

Tabel 2. Toelaatbare dagelijkse inname waarden (TDI) afgeleid door verschillende instanties

Tabel 3. Overzicht toetsingswaarden PFOS en PFOA afgeleid door RIVM (samengesteld uit data uit: Moermond et al., 2010; Wintersen et al., 2016; Lijzen et al., 2017)

Tabel 4. Overzicht milieukwaliteitsnormen PFOS Vlarem II (oppervlaktewater).

Tabel 5: Overzicht risicolocaties opgenomen in deze studie

Tabel 6: Overzicht site 1 grond: risicolocaties en boringen

Tabel 7: Overzicht site 1 grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 8: Overzicht site 2- grond: risicolocaties en boringen

Tabel 9: Overzicht site 2 grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 10: Overzicht site 3 - grond: risicolocaties en boringen

Tabel 11: Overzicht site 3 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 12: Overzicht site 4- grond: risicolocaties en boringen

Tabel 13: Overzicht site 4 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 14: Overzicht site 5- grond: risicolocaties en boringen

Tabel 15: Overzicht site 5 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 16: Overzicht site 6- grond: risicolocaties en boringen

Tabel 17: Overzicht site 6 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 18: Overzicht site 7- grond: risicolocaties en boringen

Tabel 19: Overzicht site 7 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 20: Overzicht site 8- grond: risicolocaties en boringen

Tabel 21: Overzicht site 8 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 22: Overzicht site 9- grond: risicolocaties en boringen

Tabel 23: Overzicht site 9 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 24: Overzicht site 10 - grond: risicolocaties en boringen

Tabel 25: Overzicht site 10 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 26: Overzicht site 11 - grond: risicolocaties en boringen

Tabel 27: Overzicht site 11 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 28: Overzicht site 12 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 29: Overzicht site 13 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 30: Overzicht site 14 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 31: Overzicht site 15 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 32: Overzicht site 16 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 33: Overzicht site 17 - grondwater: risicolocaties en peilbuizen

Tabel 34: Overzicht site 18- grond: risicolocaties en boringen

Tabel 35: Overzicht analyseparameters en rapportagegrenzen

Tabel 36: Overzicht gebruikte toetsingswaarden – grond

Tabel 37: Overzicht gebruikte toetsingswaarden – grondwater

Tabel 38: Overzicht meetdata PFAS in grond en waterbodem

Tabel 39: Overzicht meetdata PFAS in grondwater

10 BIJLAGE 2: LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Overzicht van klassen van PFAS-verbindingen

Figuur 2: Chemische structuur van PFOS (links) en PFOA (rechts)

Figuur 3: Voorbeelden telomeren, met 8:2 FTOH (links) en 6:2 FTS (rechts)

Figuur 4: Conceptueel model PFAS verspreiding.

Figuur 5: Voorbeeld van afbraakroutes van fluortelomeren tot PFOA (Liu et al., 2013)

Figuur 6: Voorbeeld van afbraakroutes van precursors tot PFOS (Liu et al., 2013)

Figuur 7: Ontwikkelingen TDI's in de tijd

Figuur 8: Schematische weergave van aandachtspunten bij het vermijden van kruiscontaminatie (bron: Expertisecentrum PFAS)

Figuur 9: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde en waterbodem - alle resultaten

Figuur 10: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde en waterbodem - alle resultaten

Figuur 11: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde en waterbodem - alle resultaten

Figuur 12: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde - maaiveldstalen

Figuur 13: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde - maaiveldstalen

Figuur 14: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde - maaiveldstalen

Figuur 15: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde - diepere bodemstalen

Figuur 16: Histogram PFAS in vaste deel van de aarde - diepere bodemstalen

Figuur 17: Histogram PFAS in grondwater (1)

Figuur 18: Histogram PFAS in grondwater (2)

Figuur 19: Histogram PFAS in grondwater (3)

11 BIJLAGE 3: OVERIGE BIJLAGEN

11.1 OVERZICHT PFAS

	Perfluoroalkyl zuren (PFAAs)						Fluorpolymeren
	PFCAs*	PFSAs*	PPFAs	PFPIAs	PFECAs	PFESAs	
Gepolyfluoreerde verbindingen (PFAS)	Perfluoroalkyl carboxylzuren (C _n F _{2n+1} -COOH)	Perfluoroalkyl sulfonzuren (C _n F _{2n+1} -SO ₃ H)	Perfluoroalkyl fosfonzuren (C _n F _{2n+1} -PO ₃ H ₂)	Perfluoroalkyl fosfinic zuren (C _n F _{2n+1} -PO ₂ H-C _m F _{2m+1})	Perfluoroether carboxylzuren (C _n F _{2n+1} -O-C _m F _{2m} -R-COOH)	Perhaloether sulfonzuren (X-C _n F _{2n} -O-C _m F _{2m} -SO ₃ H)	polytetrafluoretheen (PTFE) (CF ₂) _n polyvinyliden fluoride (PVDF) (CH ₂ CF ₂) _n gefluoreerd etheenpropreen (FEP) (C ₂ F ₂) _n -(CF(CF ₃)) _m perfluoroalkoxyl polymeer (PFA) (C ₂ F ₄) _n -(CF ₂ CF(O-CF ₃)) _m Perfluoropolyether (PFPEs) (CF(CF ₃)CF ₂ O) _n n=10-60
	PFBA (n=3, C=4) PFPeA (n=4, C=5) PFHxA (n=5, C=6) PFHpA (n=6, C=7) PFOA (n=7, C=8) PFNA (n=8, C=9) PFDA (n=9, C=10) PFUnA (n=10, C=11) PFDoA (n=11, C=12) PFTra (n=12, C=13) PFTeA (n=13, C=14)	PFBS (n=4) PFPeS (n=5) PFHxS (n=6) PFHpS (n=7) PFOS (n=8) PFNS (n=9) PFDS (n=10) PFUnS (n=11) PFDoS (n=12) PFTrS (n=13) PFTEs (n=14)	PFBPA (n=4) PFPePA (n=5) PFHxPA (n=6) PFHpPA (n=7) PFOPA (n=8) PFNPA (n=9) PFDPa (n=10) PFUnPA (n=11) PFDoPA (n=12) PFTrPA (n=13) PFTEPA (n=14)	C ₄ /C ₆ PFPIA (n,m=4) C ₆ /C ₈ PFPIA (n,m=6) C ₆ /C ₈ PFPIA (n,m=8) C ₆ /C ₈ PFPIA (n=6, m=8)	ADONA (CF ₃ -O-CF ₆ -O-CHFCF ₂ -COOH) n=1, m=3; R=(O-CHFCF ₂ -) GenX (C ₃ F ₇ -O-CF(CF ₃)-COOH) n=3, m=2 EEA (C ₂ F ₅ -O-C ₂ F ₄ -O-CF ₂ -COOH) n=2, m=2, R=O-CF ₂	F-53B (Cl-C ₆ F ₁₁ -O-C ₂ F ₄ -SO ₃ H) X=Cl n=6, m=2	
Poly- en gepolyfluoreerde verbindingen (PFAS)	PFAA precursors						En duizenden andere...
	FTOHs Fluortelomeer alkoholen (C _n F _{2n+1} -C ₂ H ₄ -OH)	FTSs Fluortelomeer sulfonzuren (C _n F _{2n+1} -C ₂ H ₄ -SO ₃ H)	mono-PaPs Polyfluoroalkyl fosforzuur mono-ester (C _n F _{2n+1} -C ₂ H ₄ -O-PO ₃ H ₂)	di-PaPs Polyfluoroalkyl fosforzuur diesters (C _n F _{2n+1} -C ₂ H ₄ -O-PO ₂ H-O-C ₂ H ₄ -C _m F _{2m+1})	PASF-gebaseerd verbindingen (C _n F _{2n+1} -SO ₂ -R) R=N(CH ₃)H MeFBSA (n=4) MeFOSA (n=8) R=N(C ₂ H ₅)H EtFBSA (n=4) EtFOSA (n=8) R=N(CH ₃)C ₂ H ₄ OH MeFBSE (n=4) MeFOSE (n=8) R=N(C ₂ H ₅)C ₂ H ₄ OH EtFBSE (n=4) EtFOSE (n=8) SAMPaP (C ₂ F ₅ -SO ₂ -N(C ₂ H ₅)C ₂ H ₄ -O) ₂ -PO ₃ H		
	4:2 FTOH (n=4) 6:2 FTOH (n=6) 8:2 FTOH (n=8) 10:2 FTOH (n=10) 12:2 FTOH (n=12)	4:2 FTS (n=4) 6:2 FTS (n=6) 8:2 FTS (n=8) 10:2 FTS (n=10) 12:2 FTS (n=12)	4:2 monoPaP (n=4) 6:2 monoPaP (n=6) 8:2 monoPaP (n=8) 10:2 monoPaP (n=10) 12:2 monoPaP (n=12)	4:2 diPaP (n,m=4) 6:2 diPaP (n,m=6) 8:2 diPaP (n,m=8) 10:2 diPaP (n,m=10) 4:2/6:2 diPaP (n=4, m=6) 6:2/8:2 diPaP (n=6, m=8) 8:2/10:2 diPaP (n=8, m=10) 10:2/12:2 diPaP (n=10, m=12)			

* Me = m ethaan/methyl, Et = ethaan/ethyl, Pro = propaan, B = butaan, Pe = pentaan, Hx = hexaan, Hp = heptaan, O = octaan, N = nonaan, D = decaan, Un = undecaan, Do = dodecaan, Tr = tridecaan, Te = tetradecaan
 Het waterstofatoom in de -COOH- en -SO₃H- groep kan ook een NH₂, K-, Li- etc. groep zijn. Bij dissociatie worden de carboxylzuren en sulfonzuren gevormd, welke door middel van analyse gemeten worden.

11.2 FYSISCH EN CHEMISCH EIGENSCHAPPEN PFAS

Name	Acronym	CAS Registry Number	Molecular Formula	Molecular Weight [g/mol]	Density* (20 - 25 °C) [g/ml]	Water Solubility* (20 - 25 °C) [g/L]	Melting Point* [°C]	Boiling Point* [°C]	Vapor Pressure* [Pa]	Henry-Coefficient [Pa·m ³ ·mol ⁻¹]	log Kow ^b [-]	log K _{oc} [L/kg]	Kd (pH 7)	Dissociation Constant (pKa)
Perfluoroalkyl Carboxylates / Perfluoroalkyl Carboxylic Acids														
PFCA's														
Perfluorobutanoic Acid	PFBA	375-22-4	F(CF ₂) ₃ COOH	214,04	1,65	Miscible	-17,5	121	1307	--	2,82	1,88	--	-0,2 to 0,7
Perfluoropentanoic Acid	PFPeA	2706-90-3	F(CF ₂) ₄ COOH	264,05	1,70	112,6	--	124,4	1057	--	3,43	1,37	--	-0,06
Perfluorohexanoic Acid	PFHxA	307-24-4	F(CF ₂) ₅ COOH	314,05	1,72	21,7	14	143	457	--	4,06	1,91	--	-0,13
Perfluoroheptanoic Acid	PFHpA	375-85-9	F(CF ₂) ₆ COOH	364,06	1,79	4,2	30	175	158	--	4,67	2,19	0,4 - 1,1	-0,15
Perfluorooctanoic Acid	PFOA	335-67-1	F(CF ₂) ₇ COOH	414,07	1,80	3,4 - 9,5	37 - 60	188 - 192	4 - 1300	0,04 - 0,09	5,30	1,31 - 2,35	0 - 3,4	-0,16 to 3,8
Perfluorononanoic Acid	PFNA	375-95-1	F(CF ₂) ₈ COOH	464,08	1,75	9,50	59 - 66	218	1,3	--	5,92	2,39	2,6 - 5,9	-0,17
Perfluorodecanoic Acid	PFDA	335-76-2	F(CF ₂) ₉ COOH	514,09	1,76	9,50	77 - 88	218	0,2	--	6,50	2,76	2,0 - 3,1	-0,17
Perfluoroundecanoic Acid	PFUoA	2058-94-8	F(CF ₂) ₁₀ COOH	564,09	1,76	0,004	83 - 101	160 - 230	0,1	--	7,15	3,30	12 - 103	-0,17
Perfluorododecanoic Acid	PFDoA	307-55-1	F(CF ₂) ₁₁ COOH	614,10	1,77	0,007	107 - 109	245	0,01	--	7,77	--	24 - 269	-0,17 to 0,8
Perfluorotridecanoic Acid	PFTrDA	72629-94-8	F(CF ₂) ₁₂ COOH	664,11	1,77	0,0002	--	--	0,3	--	8,25	--	--	--
Perfluorotetradecanoic Acid	PFTeDA	376-06-7	F(CF ₂) ₁₃ COOH	714,12	1,78	0,00003	--	276	0,1	--	8,90	--	--	--
Perfluoropentadecanoic Acid	PFPeDA	141074-63-7	F(CF ₂) ₁₄ COOH	764,12	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Pentadecafluorooctanoic Acid Ammonium Salt (Ammonium Pentadecafluorooctanoate)	APFO	3825-26-1	C8 H4 NF15 NO2	445,11	--	14,2	157 - 165	--	0,01	--	--	--	--	2,5
Perfluoroalkyl Sulfonates / Perfluoroalkyl Sulfonic Acids														
PFSAs														
Perfluorobutane Sulfonate	PFBS	375-73-5	F(CF ₂) ₃ SO ₃ H	300,10	1,81	46,2 - 56,6	76 - 84	211	631	--	3,90	1,00	--	-6,0 to -5,0
Perfluorohexane Sulfonate	PFHxS	432-50-8	F(CF ₂) ₅ SO ₃ H	400,11	--	2,3	--	--	58,9	--	5,17	1,78	0,6 - 3,2	-6,0 to -5,0
Perfluoroheptane Sulfonate	PFHpS	357-92-8	F(CF ₂) ₆ SO ₃ H	450,12	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Perfluorooctane Sulfonate	PFOS	1763-23-1	F(CF ₂) ₇ SO ₃ H	500,13	--	0,52 - 0,57	54	> 400	6,7	<2e-6 to 3e-4	6,43	2,5 - 3,1	0,1 - 97	-6,0 to -2,6
Perfluorodecane Sulfonate	PFDS	333-77-3	F(CF ₂) ₉ SO ₃ H	600,14	--	0,002	--	--	0,71	--	7,66	3,53	--	--
Perfluoroalkyl Phosphonic Acids														
PFPA's														
Perfluorobutyl Phosphonic Acid	PFBPA	52299-24-8	F(CF ₂) ₃ P(O)(OH) ₂	350,02	--	14259,1	--	--	0,18	--	2,19	--	--	--
Perfluorohexyl Phosphonic Acid	PFHxPA	40143-76-8	F(CF ₂) ₅ P(O)(OH) ₂	400,03	--	515,3	--	--	0,04	--	3,48	--	--	--
Perfluorooctyl Phosphonic Acid	PFOPA	40143-78-0	F(CF ₂) ₇ P(O)(OH) ₂	500,05	--	24,5	--	--	0,01	--	4,73	--	--	--
Perfluorodecyl Phosphonic Acid	PFDPA	52299-26-0	F(CF ₂) ₉ P(O)(OH) ₂	600,06	--	0,5	--	--	0,0002	--	5,98	--	--	--
Perfluoroalkane Sulfonamide and Derivatives														
Perfluorooctane Sulfonamide	PFOSA	754-91-6	F(CF ₂) ₇ SO ₂ NH ₂	499,14	--	--	154 - 155	--	--	--	--	2,5 - 2,62	35 - 56	--
Perfluorooctane Sulfonamidoethanol	FOSE	10116-92-4	F(CF ₂) ₇ SO ₂ NH(CH ₂) ₂ OH	543,19	--	0,0009	--	--	0,00	--	5,78	--	--	--
N-Methyl-Perfluorooctane Sulfonamide	N-MeFOSA	31506-32-8	F(CF ₂) ₇ SO ₂ NHCH ₃	513,17	--	0,0002	--	--	0,30	--	6,07	3,14	--	--
N-Ethyl-Perfluorooctane Sulfonamide	N-EtFOSA	4151-50-2	F(CF ₂) ₇ SO ₂ NHCH ₂ CH ₃	527,20	--	0,0001	--	--	0,12	--	6,71	3,23	--	--
N-Methyl-Perfluorooctane Sulfonamidoethanol	N-MeFOSE	24448-09-7	F(CF ₂) ₇ SO ₂ NH(CH ₂) ₂ CH ₃ OH	557,22	--	0,0003	--	--	0,0004	--	6,00	--	--	--
N-Ethyl-Perfluorooctane Sulfonamidoethanol	N-EtFOSE	1691-99-2	F(CF ₂) ₇ SO ₂ NH(CH ₂) ₂ CH ₂ CH ₃ OH	571,25	--	0,0001	55 - 60	--	0,002	--	6,52	--	--	--
Fluorotelomer sulfonic acids														
FTS's														
1H, 1H, 2H, 2H-Perfluorobutanesulfonic Acid	H4-PFBS (2,2 FTS)	149246-63-9	F(CF ₂) ₂ CH ₂ CH ₂ SO ₃ H	228,13	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1H, 1H, 2H, 2H-Perfluorohexanesulfonic Acid	H4-PFHxS (4,2 FTS)	757124-72-4	F(CF ₂) ₄ CH ₂ CH ₂ SO ₃ H	328,15	--	27,9	--	--	0,33	--	3,21	--	--	--
1H, 1H, 2H, 2H-Perfluorooctanesulfonic Acid	H4-PFOS (6,2 FTS)	27619-97-2	F(CF ₂) ₆ CH ₂ CH ₂ SO ₃ H	428,17	--	1,3	--	--	0,11	--	4,44	--	--	1,31
1H, 1H, 2H, 2H-Perfluorodecanesulfonic Acid	H4-PFDS (8,2 FTS)	39108-34-4	F(CF ₂) ₈ CH ₂ CH ₂ SO ₃ H	528,18	--	0,06	--	--	0,01	--	5,66	0,01	--	1,32
1H, 1H, 2H, 2H-Perfluoroundecanesulfonic Acid	H4-PFUoS (10,2 FTS)	120226-60-0	F(CF ₂) ₉ CH ₂ CH ₂ SO ₃ H	628,20	--	0,002	--	--	0,001	--	6,91	--	--	--
1H, 1H, 2H, 2H-Perfluorotetradecanesulfonic Acid	H4-PFTEs (12,2 FTS)	149246-64-0	F(CF ₂) ₁₂ CH ₂ CH ₂ SO ₃ H	728,21	--	0,0002	--	--	0,001	--	7,94	--	--	--
Fluorotelomer Alcohols														
FTOH's														
Perfluoromethylethanol 2,2	2,2 FTOH	54949-74-5	F(CF ₂) ₂ CH ₂ CH ₂ OH	164,08	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Perfluoroethylethanol 4,2	4,2 FTOH	2043-47-2	F(CF ₂) ₄ CH ₂ CH ₂ OH	264,09	--	0,98	--	--	214	--	3,30	0,93	--	--
Perfluorohexylethanol 6,2	6,2 FTOH	647-42-7	F(CF ₂) ₆ CH ₂ CH ₂ OH	364,11	--	0,02	-33	172	18,2	5726	4,54	2,43	--	--
Perfluorooctylethanol 8,2	8,2 FTOH	865-86-1	F(CF ₂) ₈ CH ₂ CH ₂ OH	464,12	--	0,0001	45	114	3,98	5039	5,58	3,84	--	--
Perfluorodecylethanol 10,2	10,2 FTOH	678-39-8	F(CF ₂) ₁₀ CH ₂ CH ₂ OH	564,14	--	0,00001	--	--	0,20	7776	6,63	6,20	--	--
Perfluorododecylethanol 12,2	12,2 FTOH	39239-77-5	F(CF ₂) ₁₂ CH ₂ CH ₂ OH	664,15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Polyfluorinated Alkyl Phosphates														
PAP's														
Monoester														
4,2 Fluorotelomerphosphatemonoester	4,2 monoPAP	150065-76-2	F(CF ₂) ₂ CH ₂ CH ₂ OP(O)(OH) ₂	344,07	--	11,9	--	--	0,000	--	1,99	--	--	--
6,2 Fluorotelomerphosphatemonoester	6,2 monoPAP	57678-01-0	F(CF ₂) ₄ CH ₂ CH ₂ OP(O)(OH) ₂	444,09	--	2,6	--	--	0,000	--	3,39	--	--	--
8,2 Fluorotelomerphosphatemonoester	8,2 monoPAP	57678-03-2	F(CF ₂) ₆ CH ₂ CH ₂ OP(O)(OH) ₂	544,10	--	0,16	--	--	0,000	--	4,67	--	--	--
10,2 Fluorotelomerphosphatemonoester	10,2 monoPAP	57678-05-4	F(CF ₂) ₈ CH ₂ CH ₂ OP(O)(OH) ₂	644,12	--	0,01	--	--	0,000	--	5,92	--	--	--
12,2 Fluorotelomerphosphatemonoester	12,2 monoPAP	57678-07-6	F(CF ₂) ₁₂ CH ₂ CH ₂ OP(O)(OH) ₂	744,13	--	0,0003	--	--	0,000	--	7,21	--	--	--
Diester														
4,2 Fluorotelomerphosphatediester	4,2 diPAP	135098-69-0	F(CF ₂) ₂ CH ₂ CH ₂ OP(O)(OH)OCH ₂ CH ₃	590,15	--	0,0004	--	--	0,000	--	6,16	--	--	--
6,2 Fluorotelomerphosphatediester	6,2 diPAP	57677-95-9	F(CF ₂) ₄ CH ₂ CH ₂ OP(O)(OH)OCH ₂ CH ₃	790,18	--	8,6-07	--	--	0,000	--	8,41	--	--	--
8,2 Fluorotelomerphosphatediester	8,2 diPAP	678-41-1	F(CF ₂) ₆ CH ₂ CH ₂ OP(O)(OH)OCH ₂ CH ₃	990,21	--	5,6-10	--	--	0,000	--	10,93	--	--	--
10,2 Fluorotelomerphosphatediester	10,2 diPAP	1895-26-7	F(CF ₂) ₈ CH ₂ CH ₂ OP(O)(OH)OCH ₂ CH ₃	1190,24	--	2,6-12	--	--	0,000	--	12,88	--	--	--
12,2 Fluorotelomerphosphatediester	12,2 diPAP	57677-99-3	F(CF ₂) ₁₂ CH ₂ CH ₂ OP(O)(OH)OCH ₂ CH ₃	1390,27	--	3,6-15	--	--	0,000	--	15,15	--	--	--
Polytetrafluoroethylene (Teflon)	PTFE	9002-84-0	(CF ₂) _n	--	--	--	327 °C (Decomposes at 260 °C)	--	--	--	--	--	--	--

Notes

Blank font indicates information from published literature sources.

Blue font indicates chemical formulas.

Red font indicates parameters estimated with published equations. Calculated parameters are based on the neutral form of the substances (and not the conjugate base, which predominates for some PFAS at neutral pH)

-- No data or not applicable.

^a CAS database at <http://www.chemicalbook.com>

^b Wang, et al., 2011.

Unless otherwise indicated, all parameter values obtained from literature sources listed separately.

11.3 TOETSINGSWAARDEN WERELDWIJD

Drinkwater, grondwater en grondcriteria wereldwijd. Waarden tussen haakjes zijn waarden die een richtwaarde weergeven gebaseerd op de som PFAS.

Drinking Water Criteria in ug/l in European Countries, Australia														
	PFOS	PFOA	PFOSA	PFBS	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFNA	PFDA	6:2 FTS	PFHpS	PFHxS	PFPeS
Denmark ¹	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	-	(0.1)	-
Germany ²	(0.1)	(0.1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
The Netherlands	0.53 ³	0.0875 ⁴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sweden ⁵	(0.09)	(0.09)	-	(0.09)	-	(0.09)	(0.09)	(0.09)	-	-	-	-	(0.09)	-
U.K. ⁶	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Italy ⁷	0.03	0.5	-	0.5	0.5	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)	-	-	(0.5)	-
Australia ⁸	(0.07)	0.56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(0.07)	-
Drinking Water Criteria in ug/l in North America														
	PFOS	PFOA	PFOSA	PFBS	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFNA	PFDA	6:2 FTS	PFHpS	PFHxS	PFPeS
Michigan ⁹	0.07	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Minnesota ¹⁰	0.027	0.035	-	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
New Jersey ¹¹	-	0.014	-	-	-	-	-	-	0.013	-	-	-	-	-
Vermont ¹²	(0.02)	(0.02)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
U.S. EPA ¹³	(0.07)	(0.07)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Canada ¹⁴	0.6	0.2	-	15	30	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-	-	0.6	-
Groundwater Criteria in ug/l in European Countries, U.S.														
	PFOS	PFOA	PFOSA	PFBS	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFNA	PFDA	6:2 FTS	PFHpS	PFHxS	PFPeS
Denmark ¹	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	-	(0.1)	-
State of Bavaria ¹⁵	0.23/(0.3)	(0.3)	-	3	7	3	1	0.3	0.3	0.3	-	-	(0.3)	-
State of Baden – Württemberg ¹⁶	0.23/(0.3)	0.3/(1)	-	3/(1)	7/(1)	3/(1)	1/(1)	0.3/(1)	0.3/(1)	0.3/(1)	0.3/(1)	0.3/(1)	0.3/(1)	1/(1)
The Netherlands ¹⁷	4.7	0.39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Michigan (surface water interface) ⁹	0.012	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
New Jersey ¹⁸	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-
New Hampshire ¹⁹	(0.07)	(0.07)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Texas, Residential ²⁰	0.56	0.29	0.29	34	71	0.093	0.093	0.56	0.29	0.37	-	-	0.093	-
Soil Criteria in mg/kg in European Countries, U.S.														
	PFOS	PFOA	PFOSA	PFBS	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFNA	PFDA	6:2 FTS	PFHpS	PFHxS	PFPeS
Denmark ¹	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	-	(0.4)	-
Norway ²¹	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Italy (residential, industrial) ²²	-	0.5/5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Michigan, Residential Drinking Water Protection ⁹	0.0014	0.059												
Texas, Residential ²⁰	1.5	0.6	0.058	73	150	5.1	5.1	1.5	0.76	0.96	-	-	4.8	-
U.S., Residential ²³	1.26	1.26		1,260										

Notes:

- 1 = Σ 12 PFASs = 0.100 $\mu\text{g/L}$ (aqueous) or 0.4 mg/kg (soil); includes PFBS, PFHxS, PFOS, PFOSA, 6:2 FTS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA; Provisional Values Issued by Danish Ministry of the Environment in 2015
- 2 = Σ PFOS and PFOA = 0.100 $\mu\text{g/L}$; Composite precautionary guidance value for long term exposure issued in 2006 by Umweltbundesamt (UBA) and the Drinking Water Commission (TWK) of the Federal Ministry of Health
- 3 Proposed by National Institute for Public Health and the Environment (RIVM Report) in 2010
- 4 Proposed by National Institute for Public Health and the Environment (RIVM Report) in 2017
- 5 = Σ 7 PFAS = 0.090 $\mu\text{g/L}$, includes PFBS, PFHxS, PFOS, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA; recommended in 2015 by DEP
- 6 = Tier 2 values published in 2009 by Drinking Water Inspectorate
- 7 = Σ 8 PFAS = 0.500 $\mu\text{g/L}$, includes PFHxS, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoA; Separate standards for PFBA, PFBS, PFOA, PFOS; Recommended values from Ministero della Salute and Istituto Superiore di Sanita (ISS) issued in 2014 and 2015
- 8 = Σ PFOS and PFHxS = 0.070 $\mu\text{g/L}$; Recommended values from Commonwealth Department of Health issued in 2017
- 9 = Michigan Department of Environmental Quality Proposed Values, Updated in 2017
- 10 = Minnesota Dept. of Health 2011 Chronic Health Risk Limits for PFBS, PFBA; PFOS and PFOA current values are 300 $\mu\text{g/L}$, values in table were proposed updates in 2017
- 11 = Maximum Contaminant Levels, currently proposed (PFNA in 2016, PFOA in 2017) and under review
- 12 = Health Advisory: Σ PFOS and PFOA = 0.020 $\mu\text{g/L}$; Issued in 2016
- 13 = Lifetime health advisory; Σ PFOS and PFOA = 0.070 $\mu\text{g/L}$; Established May 2016
- 14 = Health Canada Drinking Water Screening Values Issued in 2017
- 15 = Σ PFOS, PFOA, PFHxS = 0.3 $\mu\text{g/l}$ issued by Bavarian State Office for Environment in 2015
- 16 = Σ 12 PFAS < 1 $\mu\text{g/L}$, includes PFBS, PFHxS, PFOS, PFOSA, 6:2 FTS, PFB, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA; PFOS standard changes to 0.3 $\mu\text{g/L}$ if multiple PFASs present; Issued by State of Baden-Württemberg (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft) in 2015
- 17 = Level intervention value
- 18 = Interim Specific Ground Water Quality Criterion Proposed in 2014
- 19 = Ambient Groundwater Quality Standard: Σ PFOS and PFOA = 0.070 $\mu\text{g/L}$; Proposed in 2016
- 20 = Residential Protective Concentration Levels, protective of drinking water; Proposed in 2016
- 21 = Norway Pollution Control Agency
- 22 = Proposed by Istituto Superiore di Sanita, ISS in 2015
- 23 = Based on 2017 U.S. EPA RSL Calculator, default assumptions

11.4 ANALYSERESULTATEN

Deze bijlage omvat overzichten van de analyseresultaten in grond en grondwater.

11.5 BIBLIOGRAFIE

- ATSDR (2015). Draft toxicological profile for perfluoroalkyls. U.S. Department of Health and Human Services. August 2015.
- Australia (2017). Perfluorinated chemicals in food. Australia New Zealand Food Standards.
- Backe, W.J., Day T.C., Field, J.A. (2013). Zwitterionic, Cationic, and Anionic Fluorinated Chemicals in Aqueous Film Forming Foams Formulations and Groundwater from U.S. Military Bases by non-Aqueous Large-Volume Injection HPLC-MS/MS. *Environmental Science & Technology*, 47 (10) 5226-34
- Barzen-Hanson, K.A., S.C. Roberts, S. Choyke, K. Oetjen, A. McAlees, N. Ridell, R. McCrindle, P.L. Ferguson, C.P. Higgins, J.A. Field (2017). Discovery of 40 classes of per- and polyfluoroalkyl substances in historical aqueous film-forming foams (AFFFs) and AFFF-impacted groundwater. *Environmental Science and Technology*, 51:4, 2047-2057.
- Bodar, C., J. Lijzen, C. Moermond, W. Peijnenburg, E. Smit, E. Verbruggen, M. Janssen (2011).
- Advies risicogrenzen grond en grondwater voor PFOS. RIVM Briefrapport 60105002/2011.
- Brunn-Poulsen, P., L.K. Gram, A. A. Jensen., A. A. Rasmussen, C. Ravn, P. Møller, C.R. Jørgensen, K. Løkkegaard (2011). Substitution of PFOS for use in non-decorative hard chrome plating. Danish Ministry of the Environment, Environmental Project no. 1371.
- Buck R. C., Franklin, J., Berger, U., Conder, J. M., Cousins, I. T., de Voogt, P., Jensen, A., Kannan, K., Mabury, S. A., Leeuwen, S. P. (2011). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. *Integrated Environmental Assessment and Management* 7(4): 513-541
- Carloni, D. (2009). Perfluorooctane sulfonate (PFOS) production and use: past and current evidence. Prepared for Unido, China
- CRC-Care (2017). Assessment, management and remediation guidance for perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA). Part 2 – health screening levels. Technical report no. 38b. March 2017.
- Danish Environmental Protection Agency (2015). Perfluoroalkylated substances: PFOA, PFOS and PFOSA. Danish Ministry of the Environment, environmental project no. 1665, 2015.
- D'Hollander, W., P. de Voogt, L. Bervoets. (2011). Accumulation of perfluorinated chemicals in Belgian home-produced chicken eggs. *Organohalogen compounds* 73, 917-920.
- D'Hollander, W., L. de Bruyn, A. Hagenaars, P. de Voogt, L. Bervoets (2014). Characterisation of perfluorooctane sulfonate (PFOS) in a terrestrial ecosystem near a fluorochemical plant in Flanders, Belgium. *Environmental Science Pollution Research International*, 21(20): 11856-11866
- EFSA, 2008. Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts. Scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain. 21 february 2008. *The EFSA Journal* (2008) 653, 1-131.
- EPA (United States Environmental Protection Agency) (2009). Soil screening levels for perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctyl sulfonate (PFOS). Letter from the Superfund Division, November 20, 2009.
- EPA (United States Environmental Protection Agency) (2016a). Drinking water health advisory for perfluorooctane sulfonate (PFOS). May, 2016
- EPA (United States Environmental Protection Agency) (2016b). Drinking water health advisory for perfluorooctane sulfonate (PFOA). May, 2016

- Fujii Y, K.H. Harada, A. Koizumi (2013). Occurrence of perfluorinated carboxylic acids (PFCAs) in personal care products and compounding agents. *Chemosphere* 93: 538–544.
- Groffen, T. Lopez-Antia, A. W. D'Hollander, E. Prinsen, M. Eens, L. Bervoets (2017). Perfluoroalkylated acids in the eggs of great tits (*Parus major*) near a fluorochemical plant in Flanders, Belgium. *Environmental Pollution*, sept. 2017, 140-148.
- Herzke, D., M. Schlabach, E. Mariussen, H. Uggerud, E. Heimstad (2007). A literature survey on selected chemical compounds, TA 2238/2007 NILU (Norwegian Institute of Air Research)
- Higgins, C., R.G. Luthy (2006). Sorption of perfluorinated surfactants on sediments. *Environmental Science and Technology*, 40: 7251-7256
- KEMI Swedish Chemicals Agency (2015). Occurrence and use of highly fluorinated substances and alternatives). Report from a government assignment. Report 7/15, Stockholm, Sweden
- Kotthoff, M., J. Müller, H. Jürling, M. Schlummer, D. Fiedler (2015). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in consumer products. *Environmental Science Pollution Research* 22: 14546-14559.
- Kröfges P, Skutlarek D, Färber H, Baitinger C, Gödeke I, Weber R (2007). PFOS/PFOA contaminated megasites in Germany polluting the drinkingwater supply of millions of people. *Organohalogen Compounds* 69: 877–880
- Li, Y., D. Mucs, K. Scott, C. Lidh, P. Tallving, T. Fletcher, K. Jacobsson (2017). Technical report. Half-lives of PFOS, PFHxS and PFOA after end of exposure to contaminated drinking water. Unit of occupational and environmental medicine in Gothenburg. Report no 2:2017.
- Lijzen, J., Wassenaar, P., Smit, E., Postuma, C., Brand, E., Swartjes, F., Verbruggen, E., Versteegh, A. (2017), Risicogrenzen PFOA voor grond en grondwater. Voorstellen voor generiek en gebiedsspecifiek beleid, RIVM Briefrapport 2017-0092, 21-4-2017
- Lindstrom A.B., M.J. Strynar, E.L. Libelo (2011). Polyfluorinated compounds: past present and future, *Environ. Sci. Technol.* 45(19) 7954-7961
- Liu, J., S.M. Avendaño (2013). Microbial degradation of polyfluoroalkyl chemicals in the environment: a review. *Environment International*. 61: 98-114.
- Lopez-Antia, A. T. Dauwe, J. Meyer, K. Maes, L. Bervoets, M. Eens. (2017). High levels of PFOS in eggs of three bird species in the neighbourhood of a fluoro-chemical plant. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, May 2017, 165-171.
- Moermond, C.T.A., E.M.J. Verbruggen, C.E. Smit (2010). Environmental risk limits for PFOS. A proposal for water quality standards in accordance with the Water Framework Directive. RIVM report 601714013/2010.
- Prevedorous, K, I.T. Cousins, R.C. Buck, S.H. Korzeniowski (2006). Sources, fate and transport of perfluorocarboxylates. *Environmental Science and Technology*, 40:1, 32-44.
- Olson, G.W. J.M. Burris, D.J. Ehresman, J.W. Froehlich, A.M. Seacat, J.L. Butenhoff, L.R. Zobel (2007). Half-life of serum elimination of perfluorooctanesulfonate, perfluorohexanesulfonate, and perfluorooctanoate in retired fluorochemical production workers. *Environmental Health Perspectives*, September 2007, 115:9, 1298-1305.
- Pancras, T., G. Schrauwen, T. Held, K. Baker, I. Ross, H. Slenders (2016). Environmental fate and effects of poly and perfluoroalkyl substances (PFAS). *Concawe report* 8/16.
- Paul, A.G., K.C. Jones, A.J. Sweetman (2009). A first global production, emission and environmental inventory for perfluorooctane sulfonate. *Environmental Science and Technology*, 43: 386-392

- PFAS expertisecentrum, 2017. Luchtdepositie onderzoek PFOA en HFPO-DA (GenX) Dordrecht en omgeving. Onderzoek naar de invloed van luchtemissies op de kwaliteit van grond en grondwater. Mei 2017
- Rigét, F., R. Bossi, C. Sonne, K. Vorkamp, R. Dietz (2013). Trends of perfluorochemicals in Greenland ringed seals and polar bears: Indications of shifts to decreasing trends. *Chemosphere* 93: 1607-1614.
- Seow J. Department of Environment and Conservation Western Australia (2013). Fire Fighting Foams with Perfluorochemicals – Environmental Review. Final Version
- Smit, C.E. (2017). Onderzoek naar indicatieve waterkwaliteitsnormen voor stoffen in de GenX-technologie. RIVM briefrapport 2017-0045.
- UNEP-POPS (2014). PFOS in the Dutch metal plating industry.
https://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjFqcvcckbvUAhVnAsAKHY13A2AQFggiMAA&url=http%3A%2F%2Fchm.pops.int%2FTheConvention%2FPOPsReviewCommittee%2FMeetings%2FPOPRC11%2FPOPRC11Followup%2FPFOSInfoRequest%2Ftabid%2F4814%2Fctl%2FDownload%2Fmid%2F14628%2FDefault.aspx%3Fid%3D7%26ObjID%3D21904&usg=AFQjCNG9NwrNueNK_gP5YGcavSJ14sXXw
- Verbruggen, E.M.J., P.N.H. Wassenaar, C.E. Smit (2017). Water quality standards for PFOA. A proposal in accordance with the methodology of the Water Framework Directive. RIVM Letter report 2017-0044.
- Vieira, V.M., K. Hoffman, H.M. Shin, J.M. Weinberg, T.F. Webster, T. Fletcher (2013). Perfluorooctanoic acid exposure and cancer outcomes in a contaminated community: a geographic analysis. *Environmental health perspectives*, 121:3, 318-323.
- Vierke, L., U. Berger, I.T. Cousins (2013). Estimation of the acid dissociation constant of perfluoroalkyl carboxylic acids through an experimental investigation of their water-to-air transport. *Environmental Science and Technology*, 47: 11032-11039.
- Wang, N. B. Szostek, R. C. Buck, P.W. Folsom, L. M. Sulecki, J. T. Gannon (2009). 8-2 Fluorotelomer alcohol aerobic soil biodegradation: pathways, metabolites, and metabolite yield. *Chemosphere* 75: 1089-1096.
- Wang, Z., M. MacLeod, I.T. Cousins, M. Scheringer, K. Hungerbühler (2011). Using COSMOtherm to predict physicochemical properties of poly- and perfluorinated alkyl substances (PFASs). *Environmental chemistry*, 8, 389-398.
- Washington, J.W., H. Yoo, J.J. Ellington, T.M. Jenkins, E.L. Libelo (2010). Concentrations, distribution, and persistence of perfluoroalkylates in sludge-applied soils near Decatur, Alabama, USA. *Environmental Science and Technology*, 44:22, 8390-8396.
- Weber, A.K., L.B. Barber, D.R. LeBlanc, E.M. Sunderland, C.D. Vecitis (2017). Geochemical and hydrologic factors controlling subsurface transport of poly- and perfluoroalkyl substances, Cape Cod, Massachusetts. *Environmental Science and Technology*, 51:4269-4279.
- WHO – World Health Organisation (2016). Keeping our water clean: the case of water contamination in the Veneto Region, Italy. WHO, Copenhagen, Denmark.
- 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 Briefrapport 2016-0001.
- Zeilmaker, M.J., P. Janssen, A. Versteegh, A. Van Pul, W. De Vires, B. Bokkers, S. Wuijts, A. Oomen, J. Herremans (2016). Risicoschatting emissie PFOA voor omwonenden. Locatie: DuPont/Chemours, Dordrecht, Nederland. RIVM Briefrapport 2016-0049.

- Zhang, S. B. Szostek, P.K. McCausland, B.W. Wolstenholme, X. Lu, N. Wang, R. C. Buck (2013). 6:2 and 8:2 Fluorotelomer Alcohol Anaerobic Biotransformation in Digester Sludge from a WWTP under Methanogenic Conditions. *Environmental Science and Technology*, 47:9, 4227-4235.