

## **EXPERT OPINIE:**

# **IMPACT INDAVER 2023 PFAS LUCHT EMISSIES OP PFAS-CONCENTRATIES IN HET BLOED**

**06-02-2024**

**Marnix Vangheluwe, Hadewych Vanhooren en Nathalie Briels**

*Disclaimer*

*Deze opinie geeft de standpunten weer van de experts die werkzaam zijn bij ARCHE Consulting. Dit advies is tot stand gekomen op een onafhankelijke en wetenschappelijk onderbouwde manier en geven niet noodzakelijkerwijs de standpunten weer van Indaver.*

## 1. INLEIDING

---

In eerdere expert opinies van ARCHE Consulting werd een risicobeoordeling uitgevoerd van de historische PFAS-emissies afkomstig van de INDAVER-verbrandingsinstallatie over een tijdshorizon van 30 jaar (ARCHE, 2023a) en de huidige 2023 emissies gemodelleerd over een tijdshorizon van 100 jaar (ARCHE, 2023b). Op basis van de resultaten van deze beide expert opinies kon besloten worden dat er geen risico wordt voorspeld voor de mens door chronische blootstelling via inhalatie van de beschouwde PFAS-emissies. Er werden ook geen risico's voorspeld via aanrijking van het bodemcompartiment (bodem en grondwater) wat de bijdrage van INDAVER betreft.

In de huidige expert opinie wordt bekeken hoe de PFAS-emissies via de lucht zich vertalen in een mogelijke verhoogde PFAS-belasting in het bloed van de omwonenden van INDAVER. Het is belangrijk te vermelden dat de bloedconcentraties berekend in deze studie dus enkel de blootstelling via inhalatie weergeven. Afhankelijk van de persoonlijke levenswijze van de bevolking, zal boven op de inhalatie nog rekening moeten gehouden worden met mogelijke bijkomende blootstellingsroutes zoals orale blootstelling via voeding en/of grond-/drinkwater. Algemeen wordt in Vlaanderen een allocatiefactor van 20 % gebruikt om het aandeel van lucht aan de totale belasting in te schatten. De opname van PFAS-verbindingen via voeding/drinkwater en andere bronnen wordt op 80 % procent ingeschat.

Met de nog steeds beperkte wetenschappelijke kennis, de onzekerheid over het werkingsmechanisme, de kinetische verschillen tussen knaagdier/mens met onder andere verschillende halfwaardetijden, verschillen in alfa- en beta-fase eliminatie, klaring via urine, etc. is het een wetenschappelijk zeer uitdagende oefening om een externe dosis naar interne bloedconcentraties te vertalen. Op basis van de nog vele onzekerheden die er zijn rond de effectenbeoordeling (dierenstudies, humane epidemiologische studies, toxico-kinetiek, mode of action), is het ook op heden nog niet mogelijk om robuuste conclusies te trekken en een degelijke wetenschappelijk onderbouwde betrouwbare richtwaarde voor PFAS-verbindingen in het bloed te bepalen. Toch wordt een gezondheidsbeoordeling verricht op basis van de huidige richtwaarden opgesteld door EFSA en de Duitse Humane Biomonitoring Commissie.

## 2. ALGEMENE BENADERING

---

### 2.1. VERTALING VAN LUCHTCONCENTRATIES NAAR BLOED

---

#### 2.1.1. EÉN-COMPARTIMENT FARMACOKINETISCH MODEL MET KLARING VAN DE EERSTE ORDE

---

Voor het berekenen van de relatie tussen de blootstelling en het gehalte aan de PFAS-verbindingen in het bloed is gebruik gemaakt van een één-compartiment farmaco-kinetisch model met klaring van de eerste orde, als een functie van de inname, de eliminatiesnelheid en het distributievolume. Er werd uitgegaan van een steady-state blootstellingsconditie en een constante dosis van de geschatte dagelijkse inname van PFAS. De bloedconcentraties werden gemodelleerd met behulp van de volgende vergelijking:

$$C_{ss} = (D * F_{p.o.}) / (k * V_d)$$

waarbij:

*C<sub>ss</sub>* = bloedconcentratie van individuele PFAS-verbinding bij steady-state (ng/ml)

*D* = geschatte totale dagelijkse externe blootstelling aan de individuele PFAS-verbinding (ng/kg bw/d)

*F<sub>p.o.</sub>* = geabsorbeerde fractie

*k* = eliminatie constante, eliminatiesnelheid van de eerste orde van de individuele PFAS-verbinding ( $\ln 2$  gedeeld door de eliminatiehalfwaardetijd in dagen) ( $d^{-1}$ )

*V<sub>d</sub>* = distributie volume van de individuele PFAS-verbinding (L/kg bw)

Dit model is in overeenstemming met het model dat ATSDR heeft gebruikt voor PFOA (ATSDR, 2021) om een gezondheidkundige referentiewaarde af te leiden. Het is ook gebruikt door Zeilmaker (2016) en Poothong et al. (2020) bij de risicoschatting van PFOA en andere PFAS.

#### 2.1.2. GEBRUIKTE DEFAULT WAARDEN (ECHA RICHTLIJNEN, 2012)

---

Voor de modellering worden volgende default waarden uit de ECHA-richtlijnen gebruikt:

- Volwassene: 70 kg lichaamsgewicht, 5 L bloed, inademen 20 m<sup>3</sup> lucht/dag
- Kind (6-11 jaar): 30 kg lichaamsgewicht, 2.6 L bloed, inademen 13 m<sup>3</sup> lucht/dag

### 2.1.3. GEBRUIKTE INHALATOIRE ABSORPTIEWAARDEN EN SERUM HALFWAARDETIJDEN

---

Toxico-kinetische data van de meer bestudeerde PFAS-verbindingen zijn beschikbaar uit zowel humane data en orale proefdierenstudies. Korte en lange keten PFAS-verbindingen worden zowel via orale, inhalatoire, en in mindere mate via dermale blootstelling geabsorbeerd. Kwalitatieve schattingen van de fractionele absorptie van oraal toegediende PFAS-verbindingen in proefdieren variëren van >50% voor PFHxS tot >95% voor PFOA, PFBA, PFNA, PFDA, PFUnA en PFDoDA. Er zijn geen schattingen voor dermale en inhalatoire blootstelling beschikbaar. Er is wel bewijs (studies uitgevoerd met knaagdieren) voor absorptie van geïnhaleerde PFAS zoals PFOA. De absorptie zou vergelijkbaar zijn met de orale absorptie (ATSDR, 2021). Er is dus geen correctie nodig voor de absorptie-efficiëntie oraal/inhalatie. Voor de translatie naar bloedwaarden van de hier besproken PFAS (allemaal C4 en langere keten), kan voor de inhalatoire absorptie een waarde gelijk aan 100% worden aangenomen (zoals ook algemeen wordt aangenomen voor orale absorptie).

Wat de distributie, het metabolisme en de eliminatie na blootstelling door inademing betreft zijn er zowel verschillen als gelijkenissen in de toxico-kinetiek tussen de lange en de korte keten-PFAS. De lange en korte keten PFAS-verbindingen, die zowel oraal als door inademing worden opgenomen, zijn metabolisch inert (Danish Ministry of the Environment, 2015). Dit wil zeggen dat door de sterkte van de koolstof-fluoride bindingen en de chemische stabiliteit, PFAS niet beïnvloed worden door de metabolische capaciteit van het lichaam (EFSA, 2020). Er is wel een verschil in eliminatie uit het menselijke lichaam. PFCA's met een korte keten hebben een lagere bindingsaffiniteit voor humaan serumalbumine en worden voornamelijk in de urine uitgescheiden, terwijl PFAS met een lange keten een hogere bindingsaffiniteit hebben en naast de urine ook in de gal en feces kunnen worden uitgescheiden (EFSA, 2020). Het is geweten dat in de mens de halfwaardetijden van de korte-keten PFAS (zoals PFBA, PFBS) gelegen zijn in een bereik van enkele dagen tot ongeveer een maand. Daarentegen, zijn de halfwaardetijden van de lange-keten verbindingen eerder enkele jaren. Tot slot, studies suggereren dat de route van absorptie geen substantieel effect heeft op de eliminatiesnelheid van geabsorbeerde PFAS (ATSDR 2021).

De besproken en aangenomen inhalatoire absorptiewaarden en halfwaardetijden van de geselecteerde PFAS-verbindingen gebruikt in de huidige expert opinie voor de vertaling naar bloedconcentraties zijn weergegeven in Tabel 1.

**Tabel 1. Gebruikte inhalatoire absorptiewaarden en serum halfwaardetijden (humaan)**

PFAS	CAS	Absorptie (%)	Halfwaardetijd serum (uren)	Referentie
PFBA	375-22-4	100	72	Chang et al. (2008) in US EPA (2022)
PFHxA	307-24-4	100	768	Russell et al. (2013) in EFSA (2020)
PFHpA	375-85-9	100	8760	Zhang et al. (2013) in EFSA (2020), Tabel 15
T-PFOA	335-67-1	100	20148	EFSA, 2020. PBPK modeling p151
PFNA	375-95-1	100	20148	EFSA, 2020. PBPK modeling p151
PFDA	335-76-2	100	62196	Zhang et al. (2013) in EFSA (2020), Tabel 15
PFUnDA	2058-94-8	100	64824	Zhang et al. (2013) in EFSA (2020), Tabel 15
PFDoDA	307-55-1	100	64824	Read-across van PFUnDA
PFTrDA*	72629-94-8	100	64824	Read-across van PFUnDA
PFBS	375-73-5	100	1050	Xu et al (2020) in US EPA (2021a)
T-PFHxS	355-46-4	100	110376	US EPA (2023)
T-PFOS	1763-23-1	100	47304	EFSA, 2020. PBPK modeling p151
HFPO-DA	13252-13-6	100	333	Clark, 2021 in US EPA, 2021b

Geen (betrouwbare) halfwaardetijden konden worden gevonden voor PFPeA, PFTeDA, PFHxDA, PFODA en ADONA.

#### 2.1.4. OVERZICHT GEZONDHEIDSKUNDIGE RICHTWAARDEN BLOED

Er werden gezondheidkundige richtwaarden afgeleid door de Duitse Humane Biomonitoring Commissie voor gehalten aan PFOA en PFOS in bloedplasma (HBM Commission, 2018, 2020) waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen HBM-I en HBM-II waarden (Tabel 2).

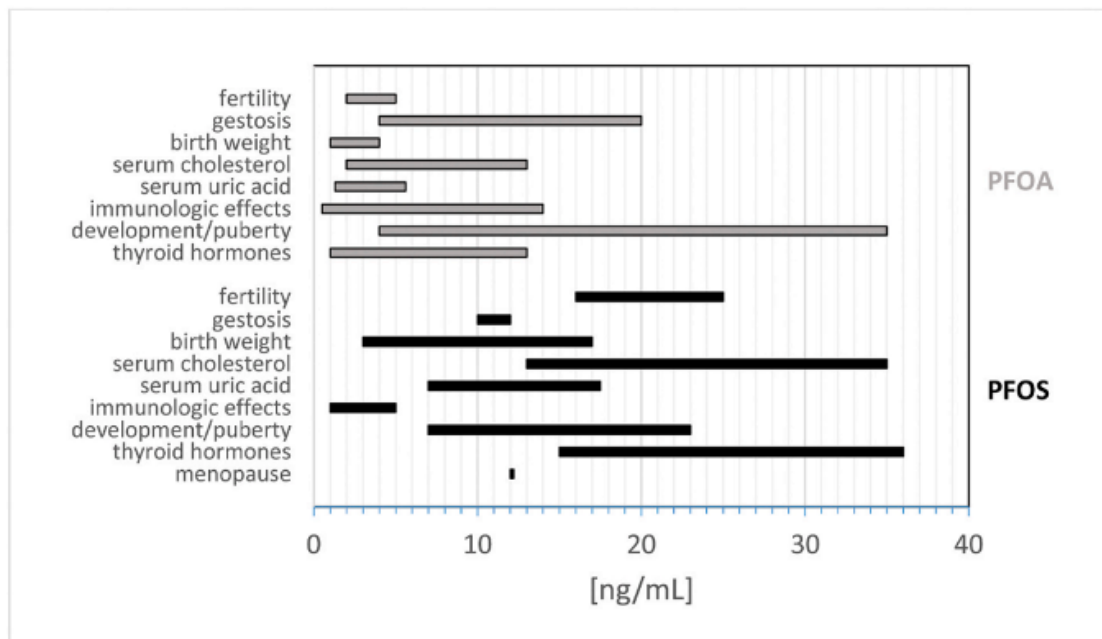
**Tabel 2. Overzicht richtwaarden PFOA en PFOS in bloedplasma.**

Bron	PFAS	Richtwaarde (µg/L)
ΣEFSA <sub>4</sub>	ΣPFOS, PFOA, PFNA, PFHxS	6.9
HBM I	PFOS	5
	PFOA	2
HBM II Vrouwen op vruchtbare leeftijd	PFOS	10
	PFOA	5
HBM II De rest van de bevolking	PFOS	20
	PFOA	10

De HBM-I waarden zijn die waarden waaronder geen negatieve gezondheidseffecten worden verwacht volgens de huidige wetenschappelijke kennis (HBM-I PFOS = 5 µg/L, PFOA = 2 µg/L bloedplasma). Bij de HBM-II waarden geldt een eerste signaal waarbij nadelig gevolgen niet uitgesloten zijn. Voor vruchtbare vrouwen is deze HBM-II waarde voor PFOS = 10 µg/L, PFOA = 5 µg/L bloedplasma, voor de rest van de bevolking is dat voor PFOS = 20 µg/L, PFOA = 10 µg/L bloedplasma.

Deze waarden zijn geldig voor alle blootstellingsroutes. In deze studie wordt enkel inhalatie in ogenschouw genomen. Er wordt aangenomen dat blootstelling aan PFAS-verbindingen typisch voor 20 % bijdraagt. De overige 80 % wordt via de orale/dermale route ingevuld. Dat betekent dat bij de toetsing van de lucht emissie data (gemeten en gemodelleerd) dient afgetoetst te worden aan 20 % van de HBM-waarden. Dat betekent voor de EFSA4 richtwaarde dus 20% van  $6.9 \mu\text{g/L} = 1.38 \mu\text{g/L}$  of  $1380 \text{ ng/L}$ .

EFSA (2020) heeft een TWI =  $4.4 \text{ ng/kg bw/week}$  berekend voor de som van PFOS, PFOA, PFHxS en PFNA op basis van  $6.9 \mu\text{g/L}$  serum bij volwassenen (associatie met antilichamen vaccin kinderen). Beide richtwaarden (HBM en EFSA) zijn afgeleid uit epidemiologische studies gedaan voor PFOS, PFOA, PFHxS, PFNA. De basisliteratuur waarop de toetsingswaarden van de Duitse HBM-commissie zijn afgeleid bestaat uit twee wetenschappelijke reviews, nl. Hölzer et al. (2021) en Schümann et al. (2021). De gezondheidskundige eindpunten meegenomen voor de afleiding van de HBM-1 toetsingswaarden staan opgesomd in Figuur 1.



Figuur 1. Gezondheidskundige eindpunten meegenomen voor de afleiding van de HBM-1 toetsingswaarden. Figuur uit Hölzer et al. (2021).

Voor het afleiden van de HBM-2 waarde werden de volgende gezondheidskundige eindpunten weerhouden:

- Verminderd geboortegewicht en ontwikkelingseffecten;
- Verminderde vruchtbaarheid
- Verminderde productie van antilichamen,
- Verhoogde cholesterol concentraties
- Type II diabetes

## 2.2. GEMETEN LUCHTCONCENTRATIES (VITO)

---

VITO heeft in 2022 en 2023 luchtmetingen uitgevoerd in de omgeving van INDAVER, met name op de meetstations in Hooge Maey, Aertssen, Pito en Sportveld. Om na te gaan wat de bijdrage is van de PFAS emissies door de verbrandingsoven van INDAVER ten opzichte van de achtergrondwaarden en andere contaminatiebronnen in de omgeving van Stabroek, werden de luchtmetingen uitgevoerd door VITO in 2023 vertaald naar bloedconcentraties, zoals beschreven in 2.1. Deze bloedconcentraties gebaseerd op gemeten waarden (i.e. INDAVER + andere bronnen) worden vervolgens vergeleken met de bloedconcentraties gebaseerd op de gemodelleerde concentraties van de huidige lucht emissies door INDAVER om zo de bijdrage van INDAVER alleen te kunnen beoordelen.

VITO (2023) rapporteerde  $\Sigma$ PFAS,  $\Sigma$ EFSA en de vijf voornaamste PFAS gemeten in lucht, i.e. PFBA, PFOA, PFOS, PFBSA en HFPO-DA (Tabel 3). Daarnaast werd ook het percentage gerapporteerd van gemeten PFAS behorend tot één van de zeven categorieën:

- PFCA (perfluorcarboxylzuren)
- PFSA (perfluorsulfonzuren)
- FTS (fluorotelomeersulfonzuren)
- PFOSA (perfluorosulfonamides) – verwijst naar de groep van SA's, niet enkel C8
- PFOSAA (perfluorosulfonamidozijnzuren) – verwijst naar de groep van SAA's, niet enkel C8
- (di)PAP (fluorotelomeerfosfaatdiesters)
- Anderen (e.g. HFPO-DA)

Voor de gemeten PFCAs en PFSA's werd verder ook nog de proportie van korte ketens (C4-C7) en lange ketens ( $\geq$ C8) gerapporteerd.

Voor de vertaling van lucht- naar bloed concentraties door het farmacokinetische model beschreven in 2.1, zijn inhalatoire absorptiewaarden en serum halfwaardetijden nodig voor de verschillende stoffen. Deze data zijn beschikbaar voor 4 van de 5 gerapporteerde stoffen, nl. PFBA, PFOA, PFOS en HFPO-DA. Gemeten luchtconcentraties van deze vier stoffen werden dus rechtstreeks, zoals gerapporteerd, in het model gebruikt.

Als C4-precursor, degradeert PFBSA naar PFBA en PFBS. Omdat de verhouding waarin deze stof afbreekt naar PFBA en PFBS ongekend is, werd een worst-case verondersteld waarbij 100% PFBSA degradeert naar PFBS. PFBS heeft nl. een langere halfwaardetijd in serum dan PFBA. De gemeten luchtconcentraties van PFBSA werden dus in het model gevoegd als PFBS.

Het overige percentage dat gerapporteerd werd in de verschillende categorieën, dat niet kon worden toegeschreven aan één van de vijf voornaamste PFAS gemeten in lucht (Tabel 4), werd op basis van een worst-case voor PFCAs voor 100% toegeschreven aan PFOA en voor PFOSA (sulfonamides, exclusief PFBSA) voor 100% aan PFOS.

Concentraties die niet rechtstreeks konden worden toegeschreven aan één van de 5 PFAS en die minder dan 1% van de  $\Sigma$ PFAS uitmaakten werden niet meegenomen in deze berekening.

Tabel 3: Concentraties van de vijf voornaamste PFAS gemeten in lucht zoals gerapporteerd in VITO (2023), in  $\text{pg}/\text{m}^3$ .

	PFBA	PFOA	PFOS	PFBSA	HFPO-DA
Hooge Maey	59	8	6	6	12
Aertssen	27	9	4	7	1
Pito	34	9	4	3	2
Sportveld	22	3	3	1	1

Tabel 4: Residuele PFAS concentraties ( $\text{pg}/\text{m}^3$ ) niet toe te wijzen aan de vijf voornaamste gemeten PFAS. DiPAPs werden niet gekwantificeerd.

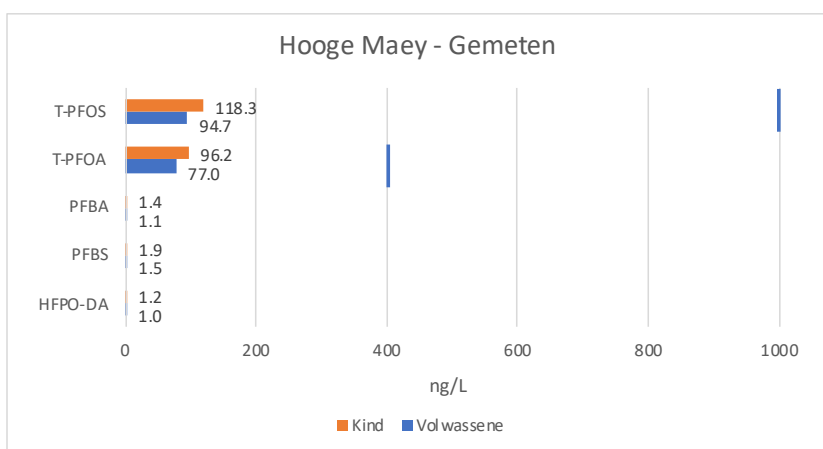
	PFCA	PFSA	FTS	PFOSA (niet enkel C8)	PFOSAA (niet enkel C8)	Anderen
Hooge Maey	7.9 (8%)	$\leq 1\%$	0	2.3 (2%)	0	0
Aertssen	4.0 (7%)	0	$\leq 1\%$	4.6 (8%)	$\leq 1\%$	0
Pito	3.5 (6%)	0	0	$\leq 1\%$	0	0
Sportveld	3.8 (11%)	$\leq 1\%$	0	1.8 (5%)	0	0



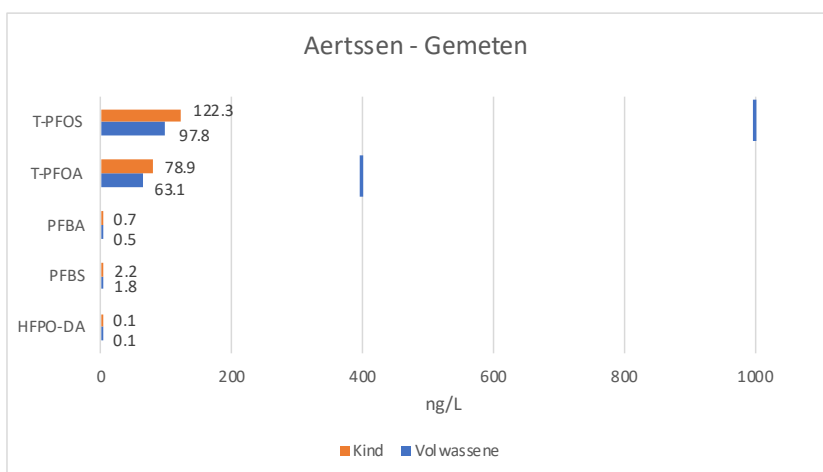
### 3. RESULTATEN

#### 3.1. VERTALING GEMETEN LUCHT CONCENTRATIES (VITO, 2023) NAAR PFAS-BLOEDWAARDEN

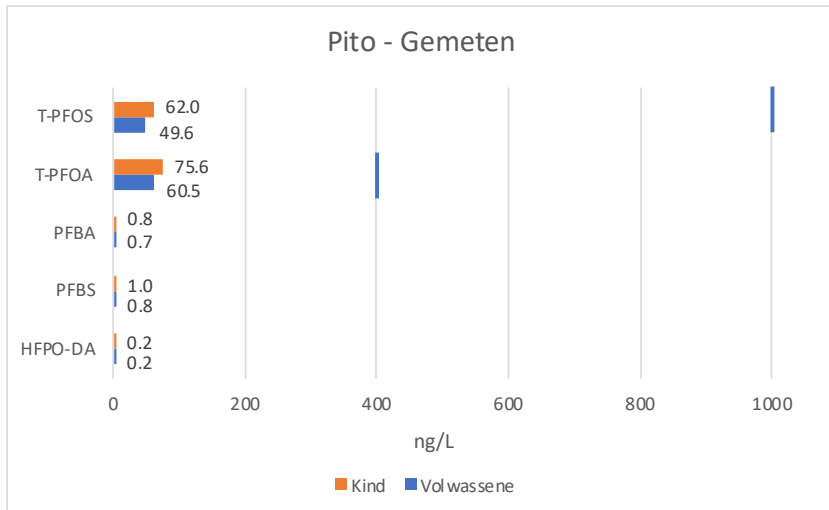
De verwachte PFAS concentraties in het bloed van kinderen en volwassenen op basis van de totale luchtconcentraties (alle bronnen) in de omgeving worden weergegeven in Figuren 2 t.e.m. 5 voor de vier verschillende meetlocaties. PFOS concentraties in bloed schommelen tussen 62 en 122 ng/L in kinderen en tussen 50 en 98 ng/L in volwassenen. PFOA concentraties schommelen tussen 41 en 96 ng/L in kinderen en tussen 33 en 80 ng/L in volwassenen.



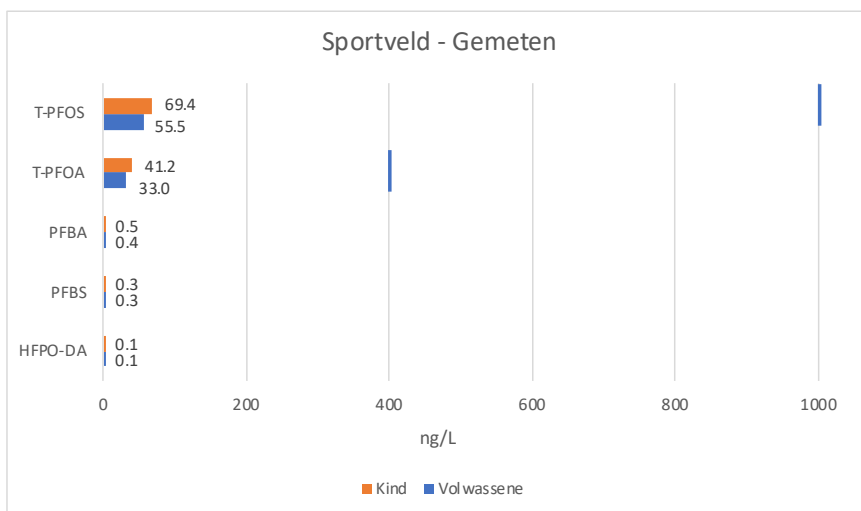
**Figuur 2: PFAS-concentraties (ng/L) in het bloed van kinderen (oranje) en volwassenen (blauw) in Hooge Maey, op basis van de gemeten luchtconcentraties in de omgeving (VITO, 2023). Deze concentraties houden rekening, met alle PFAS-bronnen in de omgeving. Ter referentie wordt 20% van de HBM I voor PFOS (1000 ng/L) en PFOA (400 ng/L) weergegeven met de verticale blauwe lijnen, i.e. de potentiële bijdrage van blootstelling enkel via de lucht.**



**Figuur 3: PFAS-concentraties (ng/L) in het bloed van kinderen (oranje) en volwassenen (blauw) in Aertssen, op basis van de gemeten luchtconcentraties in de omgeving (VITO, 2023). Deze concentraties houden rekening, met alle PFAS-bronnen in de omgeving. Ter referentie wordt 20% van de HBM I voor PFOS (1000 ng/L) en PFOA (400 ng/L) weergegeven met de verticale blauwe lijnen, i.e. de potentiële bijdrage van blootstelling via de lucht.**



**Figuur 4: PFAS-concentraties (ng/L) in het bloed van kinderen (oranje) en volwassenen (blauw) in Pito, op basis van de gemeten luchtconcentraties in de omgeving (VITO, 2023). Deze concentraties houden rekening, met alle PFAS-bronnen in de omgeving. Ter referentie wordt 20% van de HBM I voor PFOS (1000 ng/L) en PFOA (400 ng/L) weergegeven met de verticale blauwe lijnen, i.e. de potentiële bijdrage van blootstelling via de lucht.**



**Figuur 5: PFAS-concentraties (ng/L) in het bloed van kinderen (oranje) en volwassenen (blauw) in Sportveld, op basis van de gemeten luchtconcentraties in de omgeving (VITO, 2023). Deze concentraties houden rekening, met alle PFAS-bronnen in de omgeving. Ter referentie wordt 20% van de HBM I voor PFOS (1000 ng/L) en PFOA (400 ng/L) weergegeven met de verticale blauwe lijnen, i.e. de potentiële bijdrage van blootstelling via de lucht.**

Zoals geconcludeerd in het rapport van VITO (2023), lagen de luchtconcentraties onder de  $\Sigma$ EFSA<sub>4</sub> gezondheidsrichtwaarde voor chronische blootstelling via de lucht (0.4 – 2.2 ng/m<sup>3</sup>). De daarop gebaseerde bloedconcentraties berekend in deze studie liggen ook ruim onder de strengste HBM normen voor PFOS (5 µg/L) en PFOA (2 µg/L). Ook wanneer slechts 20% van de HBM I normen toegewezen wordt aan blootstelling via de lucht, zullen de normen voor PFOS (1 µg/L) en PFOA (0.4 µg/L) niet worden overschreden. Op basis van de huidige HBM I normen worden er dus geen effecten voorspeld op de gezondheid van kinderen en volwassenen na inhalatie van de omgevingslucht (incl. alle PFAS-bronnen) als gemeten in het VITO rapport (2023).

### 3.2. VERTALING GEMODELLEERDE LUCHT CONCENTRATIES (EMISSIES INDAVER) NAAR PFAS-BLOEDWAARDEN

In de expert opinie over de PFAS-emissies van INDAVER voor het referentie jaar 2023 werden luchtconcentraties gemodelleerd voor vier locaties (Hooge Maey, Aertssen, Pito en Sportveld) (ARCHE, 2023b). Deze concentraties worden weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5: Gemodelleerde luchtconcentraties (pg/m<sup>3</sup>) op vier meetplaatsen, toe te wijzen aan verbrandingsprocessen van INDAVER.

PFAS	CAS	Concentratie (pg/m <sup>3</sup> )			
		Hooge Maey	Aertssen	Pito	Sportveld
PFBA	375-22-4	0.12	0.36	0.2	0.1
PFPeA	2706-90-3	0.0078	0.024	0.015	0.008
PFHxA	307-24-4	0.0061	0.019	0.011	0.006
PFHpA	375-85-9	0.0062	0.019	0.012	0.006
T-PFOA	335-67-1	0.017	0.053	0.032	0.02
PFNA	375-95-1	0.019	0.059	0.036	0.02
PFDA	335-76-2	0.019	0.059	0.036	0.02
PFUnDA	2058-94-8	0.026	0.081	0.05	0.03
PFDoDA	307-55-1	0.026	0.082	0.05	0.03
PFTTrDA*	72629-94-8	0.029	0.093	0.06	0.03
PFTeDA	376-06-7	0.029	0.095	0.06	0.03
PFHxDA	67905-19-5	0.0044	0.015	0.0088	0.0048
PFODA*	16517-11-6	0.0012	0.0041	0.0025	0.00136
PFBS	375-73-5	0.0052	0.017	0.010	0.005
T-PFHxS	355-46-4	0.00040	0.0012	0.0007	0.0004
T-PFOS	1763-23-1	0.031	0.102	0.06	0.03
HFPO-DA	13252-13-6	0.0079	0.026	0.015	0.0084
ADONA	919005-14-4	0.0012	0.0037	0.002	0.001
<b>ΣPFAS</b>		<b>0.36</b>	<b>1.12</b>	<b>0.70</b>	<b>0.39</b>

Deze luchtconcentraties werden gebruikt voor de berekening van conservatieve “steady state” bloedconcentraties in kinderen en volwassenen op de genoemde vier meetlocaties. Dit zijn de PFAS-concentraties die verwacht worden in het bloed na inhalatie van de PFAS-luchtemissies door verbrandingsprocessen bij INDAVER. De berekende bloedconcentraties zijn weergegeven in Tabellen 6 t.e.m. 9.

Tabel 6: Resultaten berekening conservatieve “steady state” PFAS-bloedconcentraties (ng/L) voor de Hooge Maey.

PFAS	CAS	Blootstelling g lucht	Absorptie	Systemisch		Halfwaardetijd (t1/2)		K H6 constan te	Accumulatie na 1 dag (F <sub>acc</sub> )	Factor voor steady state concentratie	PFAS-bloed concentratie (volwassene)	PFAS-bloed concentratie (kind)
				Volwassene	Kind	Steady state	Steady state					
		(ng/m <sup>3</sup> )	%	(ng/kg bw/d)	(ng/kg bw/d)	h	d	d <sup>-1</sup>	/	/	ng/L	ng/L
PFTrDA*	72629-94-8	0.00003	100	0.000008	0.00001	64824	2701	0.00026	1.00	3897	0.45	0.57
PFUnDA	2058-94-8	0.00003	100	0.000007	0.00001	64824	2701	0.00026	1.00	3897	0.41	0.51
PFDoDA	307-55-1	0.00003	100	0.000007	0.00001	64824	2701	0.00026	1.00	3897	0.41	0.51
T-PFOS	1763-23-1	0.00003	100	0.000009	0.00001	47304	1971	0.00035	1.00	2844	0.35	0.44
PFDA	335-76-2	0.00002	100	0.000005	0.000008	62196	2592	0.00027	1.00	3739	0.28	0.36
PFNA	375-95-1	0.00002	100	0.000005	0.000008	20148	840	0.00083	1.00	1212	0.092	0.12
T-PFOA	335-67-1	0.00002	100	0.000005	0.000007	20148	840	0.00083	1.00	1212	0.082	0.10
PFHpA	375-85-9	0.000006	100	0.000002	0.000003	8760	365	0.0019	1.00	527	0.013	0.016
T-PFHxS	355-46-4	0.0000004	100	0.0000001	0.0000002	110376	4599	0.00015	1.00	6635	0.011	0.013
PFBA	375-22-4	0.0001	100	0.00003	0.00005	72	3	0.23	0.79	5	0.0023	0.0029
PFBS	375-73-5	0.000005	100	0.000001	0.000002	1050	44	0.016	0.98	64	0.0013	0.0017
PFHxA	307-24-4	0.000006	100	0.000002	0.000003	768	32	0.022	0.98	47	0.0011	0.0014
HFPO-DA	13252-13-6	0.000008	100	0.000002	0.000003	333	14	0.050	0.95	21	0.00065	0.00081
ΣEFSA <sub>4</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.54	0.67
ΣPFAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	2.6

Tabel 7: Resultaten berekening conservatieve “steady state” PFAS-bloedconcentraties (ng/L) voor Aertssen.

PFAS	CAS	Blootstelling lucht	Ab- sorptie	Systemisch		Halfwaardetijd (t1/2)		K H6 constante	Accumulatie na 1 dag (F <sub>acc</sub> )	Factor voor steady state concentratie	PFAS-bloed concentratie (volwassene)	PFAS-bloed concentratie (kind)
				Volwassene	Kind	Steady state	Steady state					
		(ng/m <sup>3</sup> )	%	(ng/kg bw/d)	(ng/kg bw/d)	h	d	d <sup>-1</sup>	/	/	ng/L	ng/L
PFTrDA*	72629-94-8	0.00009	100	0.00003	0.00004	64824	2701	0.0003	1.00	3897	1.4	1.8
PFDoDA	307-55-1	0.00008	100	0.00002	0.00004	64824	2701	0.0003	1.00	3897	1.3	1.6
PFUnDA	2058-94-8	0.00008	100	0.00002	0.00004	64824	2701	0.0003	1.00	3897	1.3	1.6
T-PFOS	1763-23-1	0.0001	100	0.00003	0.00004	47304	1971	0.0004	1.00	2844	1.2	1.5
PFDA	335-76-2	0.00006	100	0.00002	0.00003	62196	2592	0.0003	1.00	3739	0.88	1.1
PFNA	375-95-1	0.00006	100	0.00002	0.00003	20148	840	0.0008	1.00	1212	0.29	0.36
T-PFOA	335-67-1	0.00005	100	0.00002	0.00002	20148	840	0.0008	1.00	1212	0.26	0.32
PFHpA	375-85-9	0.00002	100	0.000005	0.000008	8760	365	0.002	1.00	527	0.040	0.050
T-PFHxS	355-46-4	0.000001	100	0.0000003	0.000001	110376	4599	0.0002	1.00	6635	0.032	0.040
PFBA	375-22-4	0.0004	100	0.0001	0.0002	72	3	0.2	0.79	5	0.007	0.009
PFBS	375-73-5	0.00002	100	0.000005	0.000007	1050	44	0.02	0.98	64	0.0043	0.005
PFHxA	307-24-4	0.00002	100	0.000005	0.000008	768	32	0.02	0.98	47	0.0035	0.0044
HFPO-DA	13252-13-6	0.00003	100	0.000007	0.00001	333	14	0.05	0.95	21	0.0021	0.0027
ΣEFSA <sub>4</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.7	2.2
ΣPFAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.7	8.3

Tabel 8: Resultaten berekening conservatieve “steady state” totaal bloedconcentraties (ng/L) voor Pito.

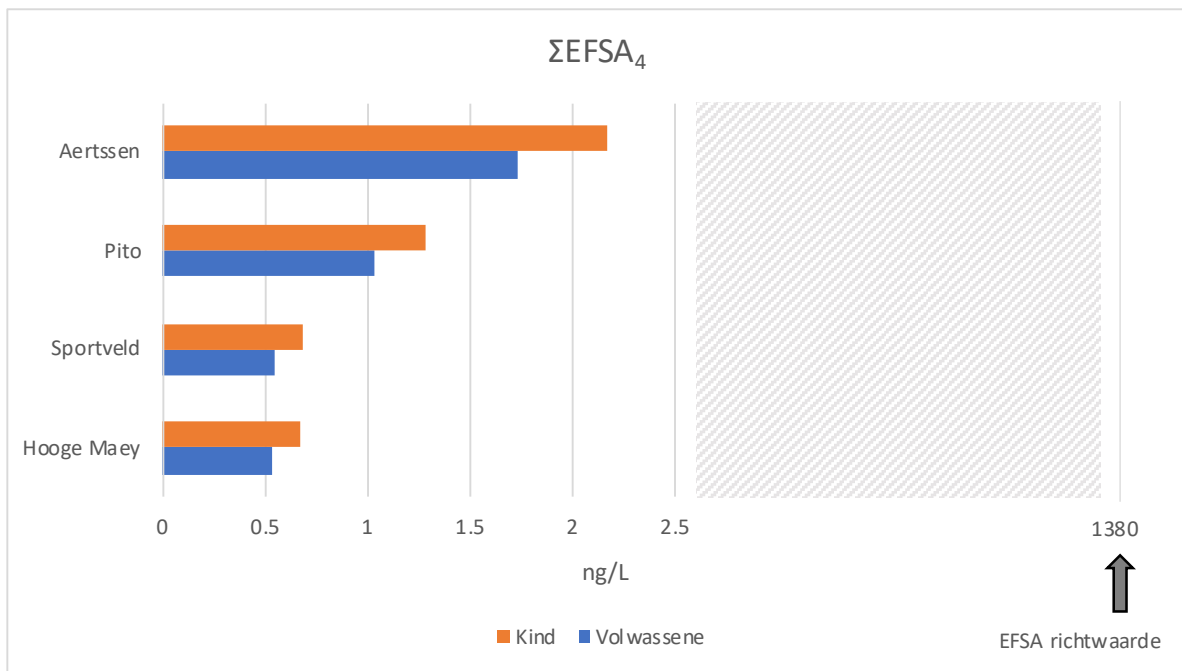
PFAS	CAS	Blootstelling lucht	Ab- sorptie	Systemisch		Halfwaardetijd (t1/2)		K H6 constante	Accumulatie na 1 dag (F <sub>acc</sub> )	Factor voor steady state concentratie	PFAS-bloed concentratie (volwassene)	PFAS-bloed concentratie (kind)
				Volwassene	Kind	Steady state	Steady state					
		(ng/m <sup>3</sup> )	%	(ng/kg bw/d)	(ng/kg bw/d)	h	d	d <sup>-1</sup>	/	/	ng/L	ng/L
PFTrDA*	72629-94-8	0.00006	100.00	0.00002	0.00003	64824	2701	0.00026	1.00	3897	0.94	1.17
PFUnDA	2058-94-8	0.00005	100.00	0.00001	0.00002	64824	2701	0.00026	1.00	3897	0.78	0.97
PFDoDA	307-55-1	0.00005	100.00	0.00001	0.00002	64824	2701	0.00026	1.00	3897	0.78	0.97
T-PFOS	1763-23-1	0.00006	100.00	0.00002	0.00003	47304	1971	0.00035	1.00	2844	0.68	0.85
PFDA	335-76-2	0.00004	100.00	0.00001	0.00002	62196	2592	0.00027	1.00	3739	0.54	0.67
PFNA	375-95-1	0.00004	100.00	0.00001	0.00002	20148	840	0.00083	1.00	1212	0.17	0.22
T-PFOA	335-67-1	0.00003	100.00	0.000009	0.00001	20148	840	0.00083	1.00	1212	0.16	0.19
PFHpA	375-85-9	0.00001	100.00	0.000003	0.000005	8760	365	0.0019	1.00	527	0.025	0.032
T-PFHxS	355-46-4	0.000001	100.00	0.0000002	0.0000003	110376	4599	0.00015	1.00	6635	0.019	0.023
PFBA	375-22-4	0.0002	100.00	0.00006	0.00009	72	3	0.23	0.79	5	0.0039	0.0048
PFBS	375-73-5	0.00001	100.00	0.000003	0.000004	1050	44	0.016	0.98	64	0.0025	0.0032
PFHxA	307-24-4	0.00001	100.00	0.000003	0.000005	768	32	0.022	0.98	47	0.0021	0.0026
HFPO-DA	13252-13-6	0.00002	100.00	0.000004	0.000007	333	14	0.050	0.95	21	0.0012	0.0015
ΣEFSA <sub>4</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	1.3
ΣPFAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.1	5.1

Tabel 9: Resultaten berekening conservatieve “steady state” totaal PFAS-bloedconcentraties (ng/L) voor Sportveld.

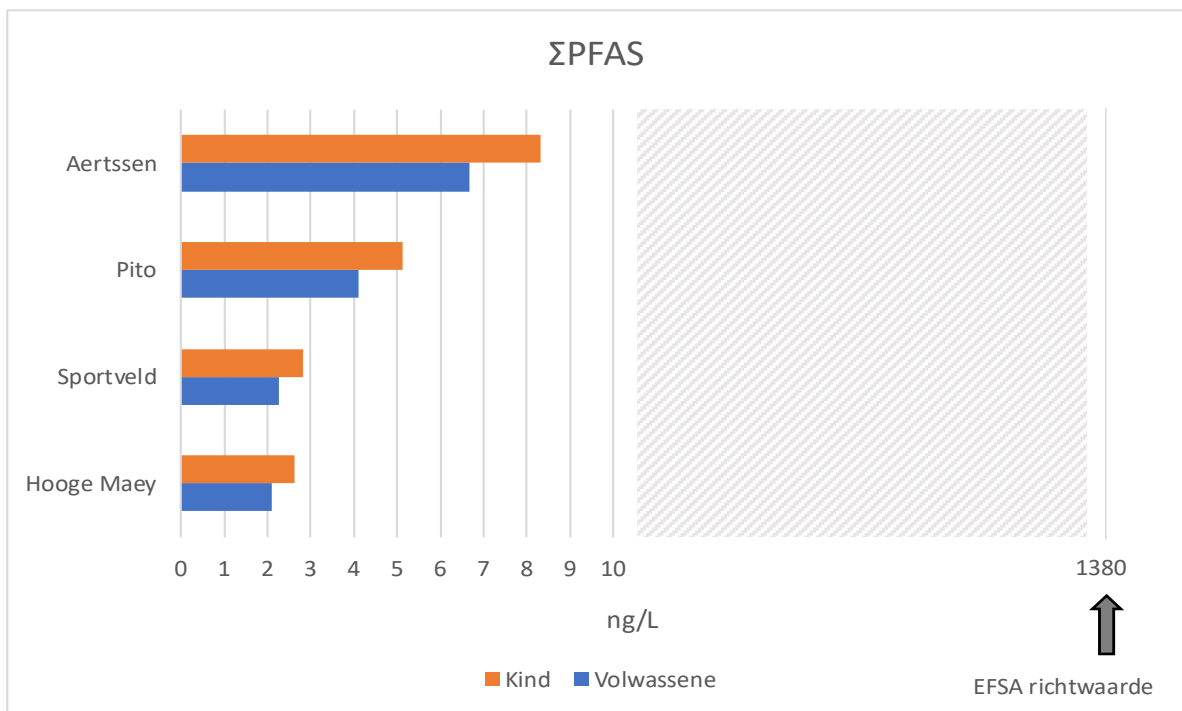
PFAS	CAS	Blootstelling lucht	Ab- sorptie	Systemisch		Halfwaardetijd (t1/2)		K H6 constan te	Accumulatie na 1 dag (F <sub>acc</sub> )	Factor voor steady state concentratie	PFAS-bloed concentratie (volwassene)	PFAS-bloed concentratie (kind)
				Volwassene	Kind	Steady state	Steady state					
		(ng/m <sup>3</sup> )	%	(ng/kg bw/d)	(ng/kg bw/d)	h	d	d <sup>-1</sup>	/	/	ng/L	ng/L
PFTrDA*	72629-94-8	0.00003	100	0.000009	0.00001	64824	2701	0.0003	1.00	3897	0.47	0.58
PFDoDA	307-55-1	0.00003	100	0.000009	0.00001	64824	2701	0.0003	1.00	3897	0.47	0.58
PFUnDA	2058-94-8	0.00003	100	0.000009	0.00001	64824	2701	0.0003	1.00	3897	0.47	0.58
T-PFOS	1763-23-1	0.00003	100	0.000009	0.00001	47304	1971	0.0004	1.00	2844	0.34	0.43
PFDA	335-76-2	0.00002	100	0.000006	0.000009	62196	2592	0.0003	1.00	3739	0.30	0.37
T-PFOA	335-67-1	0.00002	100	0.000006	0.000009	20148	840	0.0008	1.00	1212	0.10	0.12
PFNA	375-95-1	0.00002	100	0.000006	0.000009	20148	840	0.0008	1.00	1212	0.10	0.12
PFHpA	375-85-9	0.000006	100	0.000002	0.000003	8760	365	0.002	1.00	527	0.013	0.016
T-PFHxS	355-46-4	0.0000004	100	0.0000001	0.0000002	110376	4599	0.0002	1.00	6635	0.011	0.013
PFBA	375-22-4	0.0001	100	0.00003	0.00004	72	3	0.2	0.79	5	0.0019	0.0024
PFBS	375-73-5	0.000005	100	0.000001	0.000002	1050	44	0.02	0.98	64	0.0013	0.0016
PFHxA	307-24-4	0.000006	100	0.000002	0.000003	768	32	0.02	0.98	47	0.0011	0.0014
HFPO-DA	13252-13-6	0.000008	100	0.000002	0.000004	333	14	0.05	0.95	21	0.00069	0.00086
ΣEFSA <sub>4</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.55	0.68
ΣPFAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3	1.7

De conservatieve “steady state” PFAS-concentraties (ng/L) in het bloed van kinderen en volwassenen ten gevolge van de verbrandingsprocessen bij INDAVER wordt weergegeven in Figuren 6 en 7.



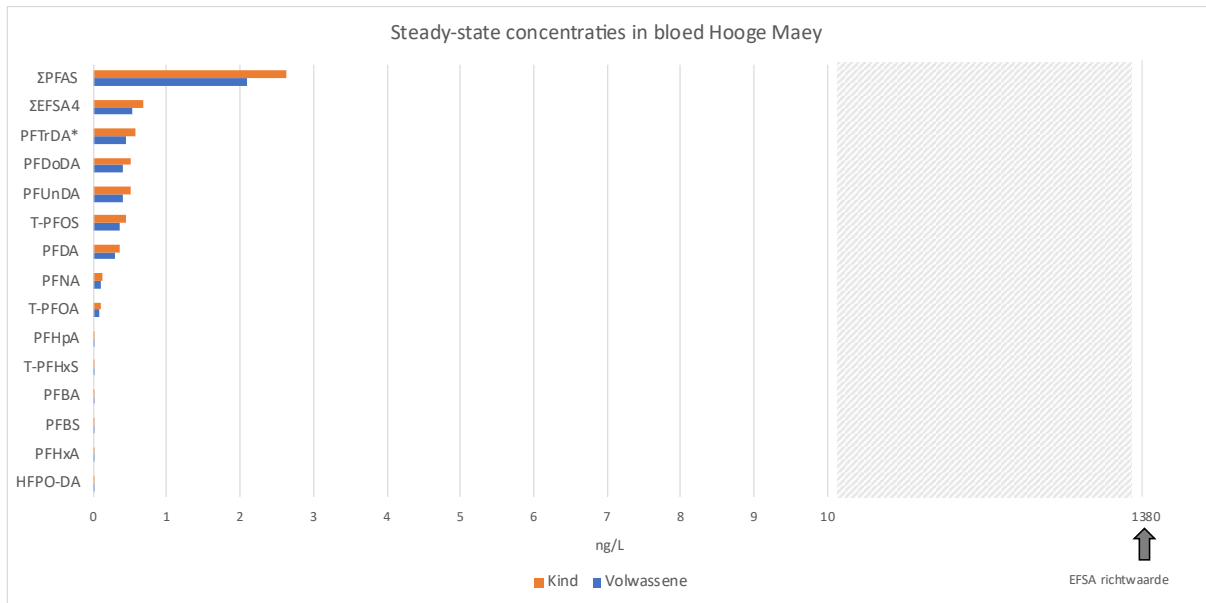


**Figuur 6:** Overzicht van de conservatieve “steady state”  $\Sigma$ EFSA<sub>4</sub> concentraties (ng/L) in het bloed van kinderen (oranje) en volwassenen (blauw) ten gevolge van de verbrandingsprocessen bij INDAVER op de vier verschillende meetlocaties. Ter referentie worden de gemodelleerde concentraties weergegeven langs 20% van de EFSA-richtwaarde (1.38  $\mu$ g/L of 1380 ng/L), i.e. de potentiële bijdrage van blootstelling via de lucht.  $\Sigma$ EFSA<sub>4</sub> omvat de concentraties van PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS.

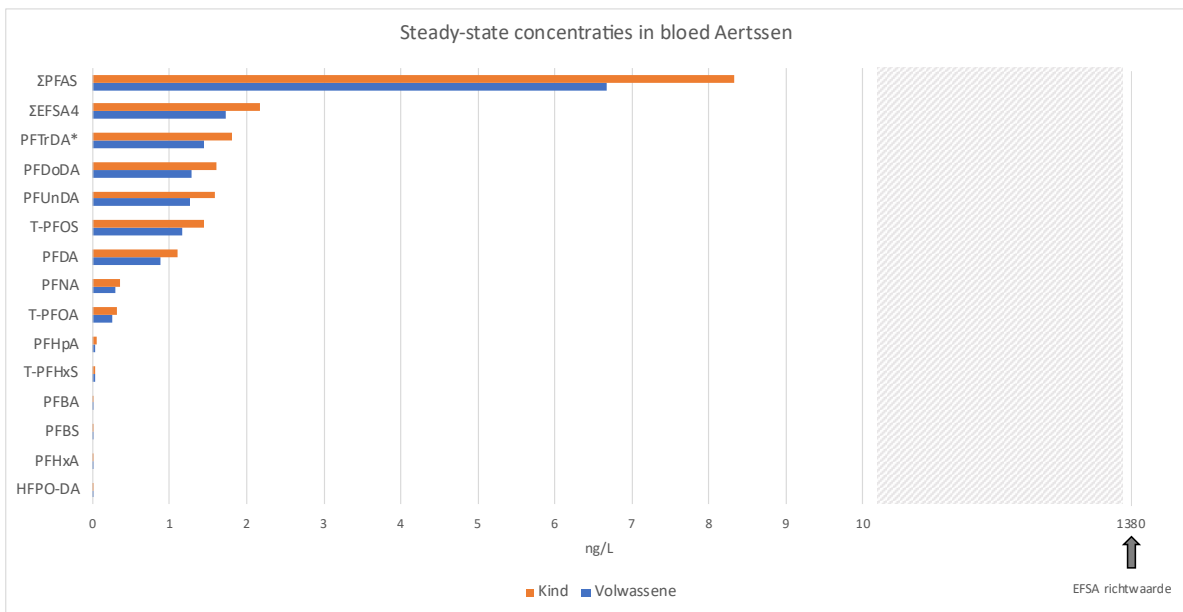


**Figuur 7:** Overzicht van de conservatieve “steady state” PFAS-concentraties (ng/L) in het bloed van kinderen (oranje) en volwassenen (blauw) ten gevolge van de verbrandingsprocessen bij INDAVER op de vier verschillende meetlocaties.  $\Sigma$ PFAS omvat de concentraties alle individuele gemodelleerde PFAS waarvoor halfwaardetijden beschikbaar waren, nl. PFBA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTrDA, PFBS, PFHxS, PFOS en HFPO-DA. Ter referentie worden de gemodelleerde concentraties weergegeven langs 20% van de EFSA-richtwaarde (1.38  $\mu$ g/L of 1380 ng/L), i.e. de potentiële bijdrage van blootstelling via de lucht.  $\Sigma$ EFSA<sub>4</sub> omvat de concentraties van PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS. **Bemerk dat som PFAS < EFSA<sub>4</sub> richtwaarde.**

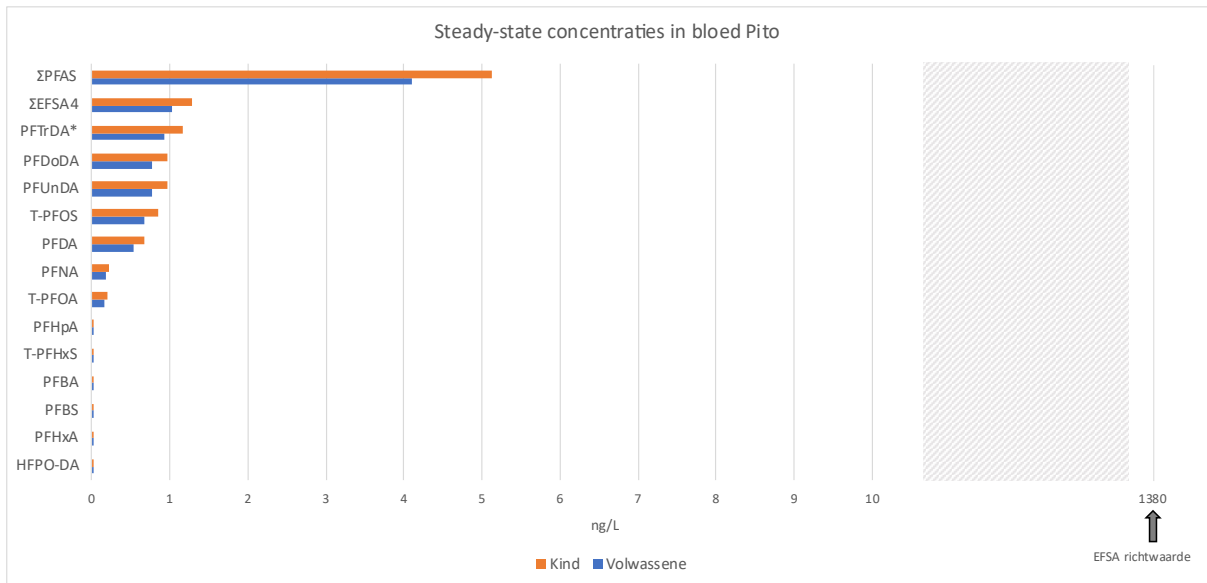
In de Figuren 8-11 worden de individuele PFAS-bijdragen per meetlocatie weergegeven.



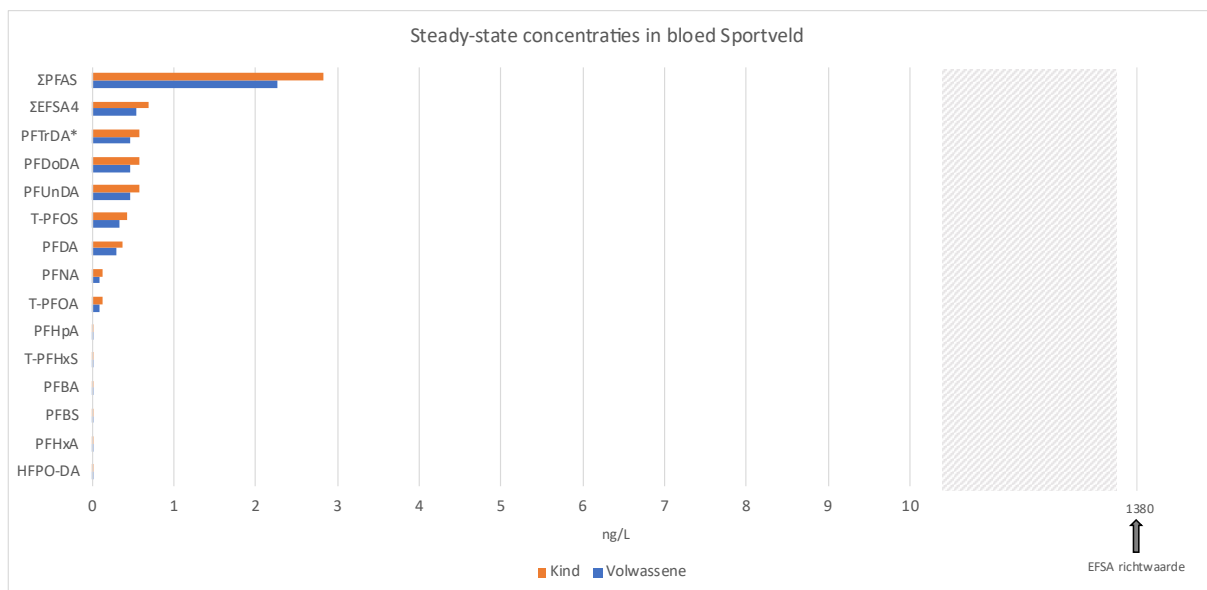
**Figuur 8:** De conservatieve “steady state” PFAS-concentraties (ng/L) in het bloed van kinderen (oranje) en volwassenen (blauw) ten gevolge van de verbrandingsprocessen bij INDAVER, gemeten in Hoge Maey. Ter referentie worden de gemiddelde concentraties weergegeven langs 20% van de EFSA-richtwaarde (1.38 µg/L of 1380 ng/L), i.e. de potentiële bijdrage van blootstelling via de lucht. ΣPFAS omvat de concentraties alle individuele PFAS in de figuur, ΣEFSA4 omvat de concentraties van PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS. \*indicatieve waarde, niet kwantitatief.



**Figuur 9:** De conservatieve “steady state” PFAS-concentraties (ng/L) in het bloed van kinderen (oranje) en volwassenen (blauw) ten gevolge van de verbrandingsprocessen bij INDAVER, gemeten in Aertssen. Ter referentie worden de gemiddelde concentraties weergegeven langs 20% van de EFSA-richtwaarde (1.38 µg/L of 1380 ng/L), i.e. de potentiële bijdrage van blootstelling via de lucht. ΣPFAS omvat de concentraties alle individuele PFAS in de figuur, ΣEFSA4 omvat de concentraties van PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS. \*indicatieve waarde, niet kwantitatief.



**Figuur 10:** De conservatieve “steady state” PFAS-concentraties (ng/L) in het bloed van kinderen (oranje) en volwassenen (blauw) ten gevolge van de verbrandingsprocessen bij INDAVER, gemeten in Pito. Ter referentie worden de gemodelleerde concentraties weergegeven langs 20% van de EFSA-richtwaarde (1.38 µg/L of 1380 ng/L), i.e. de potentiële bijdrage van blootstelling via de lucht. ΣPFAS omvat de concentraties alle individuele PFAS in de figuur, ΣEFSA4 omvat de concentraties van PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS. \*indicatieve waarde, niet kwantitatief.



**Figuur 11:** De conservatieve “steady state” PFAS-concentraties (ng/L) in het bloed van kinderen (oranje) en volwassenen (blauw) ten gevolge van de verbrandingsprocessen bij INDAVER, gemeten in Sportveld. Ter referentie worden de gemodelleerde concentraties weergegeven langs 20% van de EFSA-richtwaarde (1.38 µg/L of 1380 ng/L), i.e. de potentiële bijdrage van blootstelling via de lucht. ΣPFAS omvat de concentraties alle individuele PFAS in de figuur, ΣEFSA4 omvat de concentraties van PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS. \*indicatieve waarde, niet kwantitatief.

Op de verschillende meetlocaties worden ΣPFAS-concentraties in het bloed voorspeld van 2.6 tot 8.3 ng/L in kinderen en van 2.1 tot 6.6 ng/L in volwassenen. Voor ΣEFSA<sub>4</sub> is dit van 0.7 tot 2.2 ng/L in kinderen en van 0.5 tot 1.7 ng/L in volwassenen. Vergeleken met de EFSA-richtwaarde, zouden de humane bloedconcentraties dus ongeveer 800 – 13000 keer lager liggen dan de richtwaarde (Fig. 6 en 7). Bij het optellen van de 13 individuele gemodelleerde PFAS om de ΣPFAS te bekomen, zijn de

concentraties nog steeds lager dan de norm van de 4 EFSA PFAS ( $\Sigma$ EFSA<sub>4</sub>; Fig. 7). Ook de andere HBM gezondheidsrichtwaarden liggen nl. tussen 2 en 20 µg/L (Tabel 2), terwijl de voorspelde concentraties in het bloed in de grootteorde van ng/L liggen.

In bovenstaand geval wordt er verondersteld, om de EFSA-richtwaarde in het bloed te bereiken, dat blootstelling volledig te wijten is aan de opname via lucht. We kunnen echter veronderstellen dat in de meeste gevallen de voornaamste blootstelling aan PFAS gebeurt via de voeding (Poothong et al. 2020). Deze bijdrage (i.e. allocatiefactor) wordt typisch als 80% gerekend. De overige 20% gebeurt via andere blootstellingsroutes, zoals via lucht. Kortom, dit betekent dat van de EFSA-richtwaarde, 5.52 µg/L in het serum mag komen van de voeding en slechts 1.38 µg/L mag komen van lucht (en andere routes), zodat de totale blootstelling aan  $\Sigma$ EFSA<sub>4</sub> de richtwaarde van 6.9 µg/L niet overschrijdt. Rekening houdend met deze lagere richtwaarde van 1.38 µg/L, liggen de voorspelde bloedconcentraties echter nog steeds ongeveer 100 – 2500 keer lager.

### 3.3. VERGELIJKING BIJDRAGE LUCHTEMISSIES INDAVER TEN OPZICHTE VAN OMGEVING

De procentuele bijdrage van de verbrandingsprocessen van INDAVER aan de PFAS bloedconcentraties in kinderen en volwassenen t.o.v. de hele omgeving (incl. andere bronnen) is beperkt en varieert over de verschillende meetlocaties heen tussen 0.1 en 2.5 % (Tabel 10). De bijdrage van INDAVER aan de bloedconcentratie bedroeg overal minder dan 1%, behalve voor PFBA (1.3 %), PFOS (1.2 %) en HFPO-DA (2.5%) in Aertssen en PFOS (1.4 %) in Pito. Uit de data blijkt dat 97 tot 99% van de PFAS-concentraties, verwacht in het bloed door inhalatie op deze vier locaties, afkomstig is van andere bronnen dan de verbrandingsprocessen van INDAVER.

Tabel 10: Bijdrage (%) van de bloedconcentraties te wijten aan verbrandingsprocessen van Indaver t.o.v. de bloedconcentraties op basis van de totaal gemeten luchtconcentraties (achtergrond, Indaver en andere bronnen).

	PFBA	PFOA	PFOS	PFBSA (als PFBS)	HFPO-DA
<b>Hooge Maey</b>	0.2	0.1	0.4	0.1	0.1
<b>Aertssen</b>	1.3	0.4	1.2	0.2	2.5
<b>Pito</b>	0.6	0.3	1.4	0.3	0.7
<b>Sportveld</b>	0.5	0.3	0.6	0.5	0.8

## 5. CONCLUSIES

---

De berekening van de PFAS-bloedconcentraties ten gevolge van de gemeten lucht emissies (alle PFAS-bronnen: INDAVER en omgeving) liggen voor alle vier de meetlocaties beduidend lager dan de HBM-I waarden (gecorrigeerd voor enkel de bijdrage via lucht), wat de waarden zijn waaronder geen negatieve gezondheidseffecten worden verwacht. De procentuele bijdrage van de verbrandingsprocessen van INDAVER aan de PFAS bloedconcentraties in kinderen en volwassenen t.o.v. de hele omgeving (incl. andere bronnen) is heel beperkt. Maar liefst 97 tot 99% van de PFAS-concentraties, verwacht in het bloed door inhalatie op deze vier locaties, is afkomstig van andere bronnen dan de verbrandingsprocessen van INDAVER. De bijdrage van INDAVER aan de totale gemeten luchtconcentraties enerzijds, en aan de daarmee gerelateerde bloedconcentraties anderzijds, is in het algemeen beperkt tot <1%, met een maximale bijdrage in het bloed van 2.5%. Op basis van de huidige richtwaarden opgesteld door EFSA en de Duitse Humane Biomonitoring Commissie worden er dus geen negatieve effecten op de gezondheid verwacht bij de huidige bijdrage van INDAVER via inhalatie.

## 6. REFERENTIES

---

ARCHE, 2023a. Expert opinie “Karakterisering van historische PFAS emissies in de lucht en risicobeoordeling voor Indaver, 16-12-2023”

ARCHE, 2023b. Expert opinie “Karakterisering van PFAS emissies in de lucht en risicobeoordeling Indaver referentie jaar 2023, 16-12-2023”

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2021. Toxicological profile for perfluoroalkyls. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, GA. <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp200.pdf>

Chang, S; Das, K; Ehresman, DJ; Ellefson, ME; Gorman, GS; Hart, JA; Noker, PE; Tan, Y; Lieder, PH; Lau, C; Olsen, GW; Butenhoff, JL, 2008. Comparative pharmacokinetics of perfluorobutyrate in rats, mice, monkeys, and humans and relevance to human exposure via drinking water. *Toxicological Sciences*, 104 (1): 40–53, <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfn057>

Clark, Dawn, The Chemours Company. 2021, March 17. Letter to EPA, Office of Pollution Prevention and Toxics regarding propanoic acid, 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(1,1,2,2,3,3,3-heptafluoropropoxy)-CAS RN 13252-13-6 (also known as HFPO-DA). [https://heronet.epa.gov/heronet/index.cfm/reference/details/reference\\_id/8631852](https://heronet.epa.gov/heronet/index.cfm/reference/details/reference_id/8631852)

Danish Ministry of the Environment, 2015. Short-chain polyfluoroalkyl substances (PFAS): A literature review of information on human health effects and environmental fate and effect aspects of short-chain PFAS. Environmental project No. 1707.

ECHA, 2012. Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R.8: Characterisation of dose [concentration]-response for human health. Version 2.1. 195 p. Helsinki, Finland.

EFSA (European Food Safety Authority), 2020. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, Schrenk, D., Bignami, M., Bodin, L., Chipman, J.K., del Mazo, J., Grasl-Kraupp, B., Hogstrand, C., Hoogenboom, L., Leblanc, J.-C., Nebbia, C.S., Nielsen, E., Ntzani, E., Petersen, A., Sand, S., Vleminckx, C., Wallace, H., Barregård, L., Ceccatelli, S., Cravedi, J.-P., Halldorsson, T.I., Haug, L.S., Johansson, N., Knutsen, H.K., Rose, M., Roudot, A.-C., Van Loveren, H., Vollmer, G., Mackay, K., Riolo, F. & Schwerdtle, T. (2020) Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal*, 18, e06223.

HBM Commission, 2018. HBM-I values for Perfluorooctanoic acid (PFOA) and Perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) in blood plasma - Statement of the German Human Biomonitoring Commission (HBM Commission). *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*. 61(4): 474-487. <https://doi.org/10.1007/s00103-018-2709-z>

HBM Commission, 2020. HBM-II values for perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane- sulfonic acid (PFOS) in blood plasma - Statement by the Human Biomonitoring Commission of the German Environment Agency. *Bundesgesundheitsbl*, 63: 356–360. <https://doi.org/10.1007/s00103-020-03101-2>

Hölzer J., Lilienthal H., Schümann M., 2021. Human Biomonitoring (HBM)-I values for perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) - Description, derivation and discussion. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* vol 121, 104862. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2021.104862>

Li F, Duan J, Tian S, Ji H, Zhu Y, Wei Z, Zhao D. 2020. Short-chain per- and polyfluoroalkyl substances in aquatic systems: Occurrence, impacts and treatment. *Chemical Engineering Journal* 380:122506. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122506>

Poothong S., Papadopoulou E., Padilla-Sanchez J.A., Thomsen C., 2020. Multiple pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs): From external exposure to human blood. *Environment International* 134: 10544. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105244>

Rice P, 2019. Human health risk assessment of perfluorinated chemicals. In: Kempisty DM, Xing Y, Racz L (eds), *Perfluoroalkyl Substances in the Environment*, pp. 123–170, Taylor and Francis, Boca Raton, FL.

Russell MH, Nilsson H and Buck RC, 2013. Elimination kinetics of perfluorohexanoic acid in humans and comparison with mouse, rat and monkey. *Chemosphere*, 93, 2419–2425. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.08.060>

Schümann M., Lilienthal H., Hölzer J., 2021. Human Biomonitoring (HBM)-II values for perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) - Description, derivation and discussion. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* vol 121, 104868. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2021.104868>

U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), 2021a. Human Health Toxicity Values for Perfluorobutane Sulfonic Acid (CASRN 375-73-5) and Related Compound Potassium Perfluorobutane Sulfonate (CASRN 29420-49-3), EPA Document Number: EPA/600/R-20/345F, April 2021, U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development Washington, DC 20460.

U.S. EPA, 2021b. Human Health Toxicity Values for Hexafluoropropylene Oxide (HFPO) Dimer Acid and Its Ammonium Salt (CASRN 13252-13-6 and CASRN 62037-80-3). Also Known as "GenX Chemicals." EPA/822/R-21/010. EPA, Office of Water, Health and Ecological Criteria Division, Washington, DC. <https://www.epa.gov/chemical-research/human-health-toxicity-assessments-genx-chemicals>

US EPA, 2022. IRIS Toxicological Review of Perfluorobutanoic Acid (PFBA, CASRN 375-22-4] and Related Salts. EPA Document Number: EPA/635/R-22/277Fc, December 2022, Integrated Risk Information System Center for Public Health and Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC, [www.epa.gov/iris](http://www.epa.gov/iris).

U.S. EPA, 2023 IRIS Toxicological Review of Perfluorohexanesulfonic Acid (PFHxS) and Related Salts (Public Comment and External Review Draft). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/635/R-23/056.

VITO, 2023 Study of PFAS in ambient air and depositions in the vicinity of Indaver and Stabroek 2023. 47 p.

Xu, Y; Fletcher, T; Pineda, D; Lindh, CH; Nilsson, C; Glynn, A; Vogts, C; Norström, K; Lilja, K; Jakobsson, K; Li, Y. (2020). Serum Half-Lives for Short- and Long-Chain Perfluoroalkyl Acids after Ceasing Exposure from Drinking Water Contaminated by Firefighting Foam. *Environ Health Perspect* 128: 77004. <http://dx.doi.org/10.1289/EHP6785>

Zeilmaker M.J. et al., 2016. Risicoschatting emissie PFOA voor omwonenden. RIVM Briefrapport 2016-0049.  
Zhang Y, Beeson S, Zhu L and Martin JW, 2013. Biomonitoring of perfluoroalkyl acids in human urine underestimates of biological half-life. *Environmental Science & Technology*, 47, 10619–10627. <https://doi.org/10.1021/es401905e>