



# PFAS in zeewater en zeeschuim RAPPORT

Studie uitgevoerd in opdracht van: Agentschap Zorg en  
Gezondheid

Referentie: 2022/SCT/R/2837

Januari 2023



Vision on technology  
for a better world

[vito.be](https://vito.be)

# PFAS in zeewater en zeeschuim

## Rapport

### **VITO**

Boeretang 200

2400 MOL

Belgium

BTW No: BE0244.195.916

[vito@vito.be](mailto:vito@vito.be) – [www.vito.be](http://www.vito.be)

IBAN BE34 3751 1173 5490 BBRUBEBB

### **Project Manager VITO**

Stefan Voorspoels

014 335 021 / [stefan.voorspoels@vito.be](mailto:stefan.voorspoels@vito.be)

### **Experten VITO**

Katleen De Brouwere

014 335 146 / [katleen.debrouwere@vito.be](mailto:katleen.debrouwere@vito.be)

Johan Gemoets

014 335 777 / [johan.gemoets@vito.be](mailto:johan.gemoets@vito.be)

Griet Jacobs

014 335 039 / [griet.jacobs@vito.be](mailto:griet.jacobs@vito.be)



Vision on technology  
for a better world

**vito.be**

## AUTEURS

Katleen De Brouwere, VITO  
Johan Gemoets, VITO  
Griet Jacobs, VITO  
Stefan Voorspoels, VITO

# VERSPREIDINGSLIJST

Bart Bautmans, AZG  
Barbara Legiest, AZG

# RAPPORT HISTORIEK

Versie	Datum	Aanpassingen
v1	31/01/2023	Eerste gepubliceerde versie
v2	10/02/2023	In Tabel 6 werd een zetfout gecorrigeerd. De juiste eenheden zijn $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ds.

## SAMENVATTING

Deze studie werd uitgevoerd in opdracht van AZG aangaande analyse en risico-evaluatie van per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS) in zeeschuim en zeewater. Op 2 willekeurige locaties aan de Belgische kust (Knokke en De Haan) werd in 2021 en 2022 zeeschuim en zeewater bemonsterd en geanalyseerd op voorkomen PFAS. Er werden uiteenlopende en zeer hoge concentraties PFAS in de zeeschuim stalen gevonden (variërend van 8,7 µg/L tot 2400 µg/L voor de som van alle gedetecteerde PFAS-verbindingen). PFOS en PFOA waren de dominante componenten in de zeeschuim stalen. De som van de 4 EFSA componenten (PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS) vormden 90 % van de totale PFAS-concentraties in de meest verontreinigde zeeschuimstalen.

In de zeewaterstalen werden nagenoeg geen PFAS aangetroffen (concentraties van de meeste PFAS-verbindingen lagen beneden de kwantificatielimit; uitgezonderd PFBA in het zeewaterstaal van De Haan).

Data van simultane analyses van strandzand (n = 4) en duinzand (n = 1) worden ter illustratie opgenomen in dit rapport.

De impact van de zeeschuim verontreiniging op de PFAS-blootstelling bij recreatie aan zee werd berekend aan de hand van een methode beschreven in de literatuur. Deze methode is eerder 'pionierswerk' gezien het gebrek aan een gestandaardiseerde manier om blootstelling aan chemische stoffen in zeeschuim te berekenen.

Deze berekeningen tonen aan dat jaargemiddelde blootstelling aan PFAS ten gevolge van contact met verontreinigd zeeschuim zeer variabel is: gaande van zeer lage blootstelling (0,01 ng/kg lichaamsgewicht per dag voor de som van lineaire vormen PFOS PFOA, PFNA en PFHxS, tot blootstellingsniveaus (ver) boven de gezondheidskundige toetsingswaarde van 0,63 ng/kg/dag voor orale, chronische blootstelling aan de deze 4 EFSA PFAS verbindingen.

De grootste bijdrage is te wijten aan de ingestie van schuimdeeltjes. Blootstelling via de huid speelt minder een rol, maar is niet verwaarloosbaar.

De grote variabiliteit in voorspelde blootstellingsniveaus zijn toe te schrijven aan de combinatie van volgende factoren:

- Er is een zeer grote variatie in PFAS niveaus in zeeschuim afkomstig van dezelfde locatie, op 5 verschillende tijdstippen
- Er zijn heel wat onzekerheden m.b.t. blootstellingsfactoren zoals het aantal keer dat men in contact komt met zeeschuim, duur van het contact, hoeveelheid zeeschuim dat men inslikt, oppervlakte van de huid dat bedekt wordt door zeeschuim, en de intensiteit van het contact tussen de huid en het schuim. Om hiermee om te gaan werden een aantal scenario's voor blootstellingfactoren uitgewerkt voor recreatie aan zee (kinderen en volwassenen). Er werd een standaard scenario ontwikkeld op basis van gemiddelde waarden of aannames. Het reasonable worst case scenario 'RWC' is gebaseerd op hoge waarden uit distributies van blootstellingsfactoren (bvb. op 95<sup>ste</sup> percentieel waarden of zeer conservatieve aannames).

Overschrijdingen van jaargemiddelde blootstellingsniveaus boven de gezondheidskundige toetsingswaarde 0,63 ng/kg/dag zijn er voornamelijk voor de RWC-scenario's. In RWC-scenario's wordt uitgegaan van een frequentie van 25 dagen/jaar contact met zeeschuim, en ingestie van 86 – 170 cm<sup>3</sup> schuim/dag, of 3-5 slokken/dag). Bij het standaard scenario (frequentie van 7-8 dagen/jaar contact met zeeschuim, en ingestie van 18 – 76 cm<sup>3</sup> schuim,

equivalent met 1-3 slokken/dag) ligt de blootstelling voor alle stalen beneden de gezondheidkundige toetsingswaarde van 0,63 ng/kg/dag, met uitzondering voor de blootstelling aan niveaus van het staal met de hoogste PFAS-concentratie (staalname oktober 2022), waarbij we voor kinderen (1-10 jaar) ook een overschrijding ten opzichte van de EFSA toetsingswaarde zien. Dit scenario gaat uit van de aanname dat de concentratie gemeten in oktober 2022 representatief is voor alle zwembeurten (waarschijnlijk is dit een overschatting). Indien we met de PFAS gemiddelde schuimconcentraties (gemiddelde van 5 staalname momenten) rekenen, dan is de overschrijding van blootstelling voor het standaard scenario er voor de twee jongste groepen kinderen (1-6 jaar). Voor het standaard scenario voor deze groep van kinderen zijn de gehanteerde blootstellingsfactoren (tot 3 slokken schuimingestie/dag, 8 zwemdagen/jaar) vrij onzeker.

Gezien de grote variabiliteit in de berekende blootstellingen, en het zeer beperkt aantal stalen waarop deze gebaseerd zijn, kunnen de blootstellingsberekeningen niet als representatief voor een bepaalde kustgemeente aanzien worden. De resultaten dienen als oriënterend geïnterpreteerd worden.

Bovenstaande overschrijdingen van de gezondheidkundige toetsingswaarden voor PFAS (EFSA TWI) ten gevolge van contact met PFAS houdend zeeschuim geven aanleiding tot advies om contact met zeeschuim bij recreatie aan de kust te beperken. Dit advies moet in de eerste plaats gericht zijn op het beperken van ingestie van zeeschuim. Bijkomend is advies om huidcontact met PFAS houdend zeeschuim aangeraden (+ advies om zeeschuim af te spoelen na recreatie).

Advies voor beperking van blootstelling aan schuim (zoetwater) werd reeds uitgevaardigd voor de PFAS schuim contaminatie van de Rogue River in Michigan (Michigan Dept of Health and Human Service, 2018)

PFAS-blootstelling door contact met zeewater is zeer laag. Voor contact met zeewater (zwemmen) is er geen advies om blootstelling te beperken nodig. PFAS blootstelling door contact met zand is vermoedelijk zeer laag. Hierdoor is advies om contact met zand te vermijden niet aan de orde.

Als we deze zeewater- en schuimgerelateerde blootstelling (jaargemiddelde waardes) in perspectief plaatsen van PFAS-blootstelling via andere routes (voeding, productgebruik) zien we ook een uiteenlopende patroon: voor mensen die volgens het standaard scenario in contact komen met zeeschuim (en uiteraard voor mensen die contact met zeeschuim vermijden) is de bijdrage van de zeeschuim-gerelateerde blootstelling meestal laag tot zeer laag in vergelijking met dagdagelijkse blootstelling via andere routes zoals voeding, drinkwater en productgebruik. Echter, voor de hoogste scenario's uit de berekeningen (RWC-scenario, en zeeschuimstalen met de hoogste concentratie) is de zeeschuim gerelateerde blootstelling wel degelijk significant in vergelijking met blootstelling via voeding.

De scenario's die onderzocht zijn in deze studie zijn gericht op recreatie bij de algemene bevolking (kinderen en volwassenen). De resultaten van het RWC-scenario kunnen als oriënterend gebruikt worden voor watersporters (surfers) die mogelijks een hogere blootstelling hebben door frequenter, langduriger contact en hogere kans op water- en schuimingestie door de aard van de sport. Voor het RWC stellen we overschrijdingen vast van gezondheidkundige toetsingswaarden. Echter, deze resultaten zijn voor watersporters ook eerder als een eerste inschatting te beschouwen. Om PFAS-blootstelling voor watersporters beter in kaart te brengen is het aangeraden om specifieke blootstellingsscenario's voor deze groep uit te werken, al dan niet in combinatie met bijkomende metingen. Een mogelijke piste hierbij is om PFAS in serum van watersporters te meten. Humane biomonitoring

vertegenwoordigt immers een reflectie van de werkelijke blootstelling, en omzeilt de onzekerheden en aannames die inherent zijn aan de blootstellingschattingen aan hand van modellen.

Om de beperkingen van deze studie m.b.t. representativiteit van de PFAS-gehaltenes in zeeschuim weg te werken, is het aangewezen om een uitgebreidere campagne van PFAS-metingen in zeeschuim op verschillende locaties aan te kust uit te voeren, onder verschillende meteorologische omstandigheden (vnl. wind). Dit zal mogelijk toelaten om patronen te vinden in de PFAS-gehaltenes in zeeschuim i.f.v. de weeromstandigheden en locatie. Op die manier zou een beter beeld kunnen bekomen worden van PFAS-concentraties op dagen met gunstige omstandigheden voor recreatie aan zee (dus op dagen waar contact met zeeschuim meer waarschijnlijk is dan op andere dagen). Eveneens zou een uitgebreidere meetcampagne bijdragen om mogelijke bronnen en verspreidingspatronen van PFAS in zeeschuim in kaart te brengen.

Evenwel dient vanuit beleidsperspectief de inspanningen en kosten voor dergelijke metingen (uitgebreidere meetcampagnes i.v.m. PFAS in zeeschuim, en humane biomonitoring bij intensieve watersporters) afgewogen te worden ten opzichte van inspanningen voor blootstellingsreductie van andere belangrijke PFAS-bronnen (voeding, drinkwater, productgebruik), of in het algemeen ten opzichte van andere preventieve gezondheidsbeleid opties.



# INHOUDSTAFEL

Auteurs .....	1
Verspreidingslijst.....	2
Samenvatting.....	4
Inhoudstafel .....	7
1 Inleiding.....	8
2 Staalname en chemische analyses .....	9
2.1 Stalen verzameld in deze studie (staalname juli en oktober 2022) .....	9
2.1.1 Monstername.....	9
2.1.2 Metingen.....	10
2.1.3 Resultaten .....	10
2.2 Eerdere staalnames en analyses PFAS in zeeschuim en zand (VITO onderzoek 2021 en 2022) .....	5
3 Risico evaluatie .....	10
3.1 Inleiding .....	10
3.2 Blootstellingsberekeningen .....	10
3.2.1 Conceptueel .....	10
3.2.2 Scenario's en relevante populatie .....	12
3.2.3 Blootstellingsfactoren en model parameters .....	13
3.2.4 Blootstellingsfactoren.....	13
3.2.5 Permeabiliteit van de huid.....	17
3.3 Gezondheidskundig toetsingskader .....	18
3.4 Resultaten en interpretatie .....	18
3.5 Limitaties en aanbevelingen.....	24
4 Besluit .....	27
5 Referenties.....	29

# 1 INLEIDING

In het kader van de voorbereiding van een Europees onderzoeksproject heeft VITO in 2021 enkele verkennende metingen uitgevoerd van PFAS-niveaus in zeeschuim aan de Belgische kust. De resultaten van deze analyses waren te beperkt om een uitspraak te kunnen doen over de blootstelling die men kan oplopen bij contact aan zeeschuim tijdens recreatie aan de kust. Daarom werd in 2022 op vraag van het Agentschap Zorg en Gezondheid een nieuwe steekproef opgezet. Monsters van zeewater en zeeschuim werden gecollecteerd in Knokke en De Haan in juli en oktober 2022 en geanalyseerd voor PFAS.

Dit rapport beschrijft de resultaten van de PFAS analyses op zeeschuim en de inschatting van de blootstelling die te verwachten is wanneer men in contact komt met zeeschuim tijdens recreatie aan de kust (zie hoofdstuk 3). De data van de eerder verkregen verkennende metingen werd ook gebruikt voor de risico-evaluatie.

## 2 STAALNAME EN CHEMISCHE ANALYSES

### 2.1 Stalen verzameld in deze studie (staalname juli en oktober 2022)

#### 2.1.1 Monstername

Monstername is sterk afhankelijk van meteorologische condities. Zeeschuim op het strand ontstaat vooral bij golfslag die wordt veroorzaakt door wind die uit zee komt. Bij de monstername in juli was er niet veel zeeschuim aanwezig omwille van de zwakke wind met weinig golfslag, wat monstername bemoeilijkte. In juli kon zeeschuim alleen worden bemonsterd in De Haan (ca een halve liter schuim). In oktober werd zeeschuim bemonsterd in Knokke toen de condities van wind en golfslag gunstiger waren (ca 5 liter schuim).

Bemonstering van schuim werd niet op een gestandaardiseerde manier uitgevoerd. Het volume of massa van het monster was daardoor niet gekend bij monstername. De monsters bevatten naast een grote hoeveelheid schuim ook kleine hoeveelheden zand en zeewater (of schuim dat werd neergeslagen tijdens of na staalname). Na neerslaan van het schuim (natuurlijk proces dat optreedt na enkele uren of dagen, afhankelijk van het schuim) varieerde de monsterhoeveelheid ongeveer tussen 15 en 170 mL vloeistof. Voor betrouwbare analyse is 1 mL vloeistof aangewezen. De oorspronkelijke opzet van de metingen was het bekomen van richtinggevende resultaten, waarvoor deze monsters geschikt werden bevonden.

Zeeschuim werd van het strand opgeschept met een plastic zak (type ziploc, PE diepvrieszak van 6 liter, voor bewaren van voedingswaren). Een gelijkaardige zak werd als monster geregistreerd voor analyse om eventuele contaminatie door het materiaal van de zak en tijdens bemonstering, transport en bewaring uit te sluiten.

Zeewater werd bemonsterd met plastic PP flessen door onderdompeling net voorbij de brandingslijn op een diepte van ca 50 cm onder het wateroppervlak. Voor elke locatie is er een staal zeewater genomen bij laag water (eb) en bij hoog water (vloed). Voor de analyse is er voor elke locatie een mengstaal gemaakt van beide waterstalen. Tabel 1 geeft een overzicht van de monsters die werden genomen.

Tabel 1. Overzicht van de monsters

Sample	Date	Request	KlantCode	Description
220705 -0006	05/07/22	008762	KNZW 2+3 4/7/22	Seawater (bottle)
220705-0007	05/07/22	008762	DHZW 1+2 4/7/22	Seawater (bottle)
220705-0008	05/07/22	008762	seafoam bag De Haan	Seafoam (bag)
220705-0009	05/07/22	008762	empty bag	Empty bag
221006-0034	06/10/22	009113	seafoam KNZS 02/10/2022 (bag)	seafoam (bag)
221006-0035	06/10/22	009113	empty bag	empty bag

### 2.1.2 Metingen

De monsters werden getransfereerd naar een 500 mL polypropyleen recipiënt en gecentrifugeerd. Vervolgens werden de monsters gefiltreerd om zand en andere vaste partikels af te zonderen. Na homogenisatie werd 1 mL van het vloeibare monsters gebruikt voor analyse. Na toevoegen van massa-gemerkte PFAS interne standaarden (MIE-OR-PFC-C13-052) werden de monsters via vaste fase geëxtraheerd. Na elutie en concentratie werd het solvent aangepast aan de startgradiënt en verliep de verdere analyse via UPLC-MS/MS conform WAC/IV/A/025. Meer details over de metingen, de validatie en kwaliteitscontrole zijn verkrijgbaar op verzoek.

### 2.1.3 Resultaten

In de watermonsters werden onder de meetcondities nagenoeg geen PFAS aangetroffen (uitgezonderd PFBA in monster van De Haan). In de monsters van zeeschuim waren in beide locaties heel wat PFAS meetbaar bij een erg uiteenlopende concentratie. In de plastic zakken voor monsternamen konden geen PFAS worden teruggevonden, wat bevestigt dat de PFAS-contaminatie in het zeeschuim niet werd veroorzaakt door eventuele contaminatie van het recipiënt waarin het zeeschuim werd verzameld. Een overzicht van de totaal-gehalten is weergegeven in (Tabel 2).

Tabel 2. Overzicht resultaten totale PFAS-gehaltenes

Vito-ID		220705-0006	220705-0007	221006-0034	220705-0008	220705-0009	221006-0035
Locatie		Knokke	De Haan	Knokke	De Haan	De Haan	Knokke
Monster type		Water	Water	Schuim	Schuim	Blanko	Blanko
Totaal lineaire PFAS	µg/L	<0,01	0,25	1500	40	<0,01	<0,01
Totaal PFAS	µg/L	<0,01	0,25	2400	51	<0,01	<0,01
Totaal lineaire EFSA PFAS	µg/L	<0,01	<0,01	1400	36	<0,01	<0,01
Totaal EFSA PFAS	µg/L	<0,01	<0,01	2200	47	<0,01	<0,01

Meer details over de individuele PFAS-concentraties staan in Tabel 3. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de absolute concentraties met de nodige voorzorg dienen te worden geïnterpreteerd. Tijdens de bemonstering wordt namelijk ook zeewater mee opgenomen (dit is onvermijdelijk) waardoor het effectieve schuimstaal wordt verdund. Na transport is van het schuim niets meer terug te vinden. Dat is tijdens transport omgevormd tot een waterfractie. Het resultaat wordt steeds uitgedrukt t.o.v. de massa (volume i.g.v. water) van het totale monster dat werd geanalyseerd. De resultaten kunnen als dusdanig als minimum worden geïnterpreteerd per volume-eenheid vloeistof. Op dit moment is het echter niet mogelijk de resultaten uit te drukken in volume-eenheden schuim, dus zoals het op het strand wordt aangetroffen.

Tabel 3. Overzicht resultaten individuele PFAS-gehalten

Vito-ID		220705-0006	220705-0007	220705-0008	220705-0009	221006-0034	221006-0035
Locatie		Knokke	De Haan	De Haan	De Haan	Knokke	Knokke
Monster		Water	Water	Schuim	Blanko	Schuim	Blanko
PFPPrA*	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	0,24	<0,004
PFBA	µg/L	<0,01	0,25	0,14	<0,01	2,5	0,0033
PFPeA	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	0,2	<0,001
PFHxA	µg/L	<0,01	<0,01	0,11	<0,01	1	<0,001
PFHpA	µg/L	<0,01	<0,01	0,074	<0,01	NA	NA
L-PFOA	µg/L	<0,01	<0,01	1,6	<0,01	640	<0,007
T-PFOA	µg/L	<0,01	<0,01	1,7	<0,01	690	<0,007
PFNA	µg/L	<0,01	<0,01	2,8	<0,01	100	<0,003
PFDA	µg/L	<0,01	<0,01	3,1	<0,01	40	<0,001
PFUnDA	µg/L	<0,01	<0,01	0,29	<0,01	3,4	<0,001
PFDODA	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	0,22	<0,001
PFTTrDA	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	<0,05	<0,001
PFTeDA	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	-	-
PFPeDA*	µg/L	<0,02	<0,02	<0,6	<0,01	-	-
PFHxDA	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	-	-
PFODA	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	NA	NA
PFPPrS*	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	<0,05	<0,001
PFBS	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	0,061	<0,001

Vito-ID		220705-0006	220705-0007	220705-0008	220705-0009	221006-0034	221006-0035
Locatie		Knokke	De Haan	De Haan	De Haan	Knokke	Knokke
Monster		Water	Water	Schuim	Blanko	Schuim	Blanko
PFPeS	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	0,22	<0,001
L-PFHxS	µg/L	<0,01	<0,01	0,11	<0,01	110	<0,002
T-PFHxS	µg/L	<0,01	<0,01	0,12	<0,01	120	<0,002
PFHpS	µg/L	<0,01	<0,01	0,17	<0,01	36	<0,001
L-PFOS	µg/L	<0,01	<0,01	31	<0,01	520	0,011
T-PFOS	µg/L	<0,01	<0,01	42	<0,01	1300	<0,04
PFNS	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	<0,05	<0,001
PFDS	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	<0,05	<0,001
PFSUnDS*	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	<0,05	<0,001
PFSDoDS	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	<0,05	<0,001
PFSTrDS*	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	<0,05	<0,001
4:2FTS	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	<0,05	<0,001
6:2FTS	µg/L	Failed QC	<0,01	Failed QC	<0,01	18	<0,06
8:2FTS	µg/L	<0,01	<0,01	NA	<0,01	0,49	<0,001
10:2FTS	µg/L	<0,01	<0,01	0,055	<0,01	<0,05	<0,001
PFBSA*	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	<0,05	<0,001
MePFBSA*	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	-	-
MePFBSAA*	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	0,25	<0,001
PFHxSA*	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	3,7	<0,001
L-PFOSA	µg/L	<0,01	<0,01	Failed QC	<0,01	25	<0,002
T-PFOSA	µg/L	<0,01	<0,01	Failed QC	<0,01	50	<0,002
L-MePFOSA	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	-	-
T-MePFOSA	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	-	-
L-EtPFOSA	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	-	-
T-EtPFOSA	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	-	-

Vito-ID		220705-0006	220705-0007	220705-0008	220705-0009	221006-0034	221006-0035
Locatie		Knokke	De Haan	De Haan	De Haan	Knokke	Knokke
Monster		Water	Water	Schuim	Blanko	Schuim	Blanko
PFOSAA	µg/L	NA	NA	NA	NA	4,6	<0,001
L-MePFOSAA	µg/L	<0,01	<0,01	0,15	<0,01	1,9	<0,001
T-MePFOSAA	µg/L	<0,01	<0,01	0,26	<0,01	7	<0,001
L-EtPFOSAA	µg/L	<0,01	<0,01	0,16	<0,01	4,7	<0,001
T-EtPFOSAA	µg/L	<0,01	<0,01	0,28	<0,01	11	<0,001
PFDSA*	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	<0,05	<0,001
6:2PAP	µg/L	NA	NA	NA	NA	NA	NA
8:2PAP	µg/L	NA	NA	NA	NA	NA	NA
6:2diPAP	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	-	-
6:2/8:2diPAP	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	-	-
8:2diPAP	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	<0,05	<0,001
HFPO-DA	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	0,24	<0,002
ADONA	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	<7	<0,001
PFECHS	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	4,1	<0,001
9CI-PF3ONS	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	<0,05	<0,001
11CI-PF3OU <sub>n</sub> DS	µg/L	<0,01	<0,01	<0,04	<0,01	<0,05	<0,001

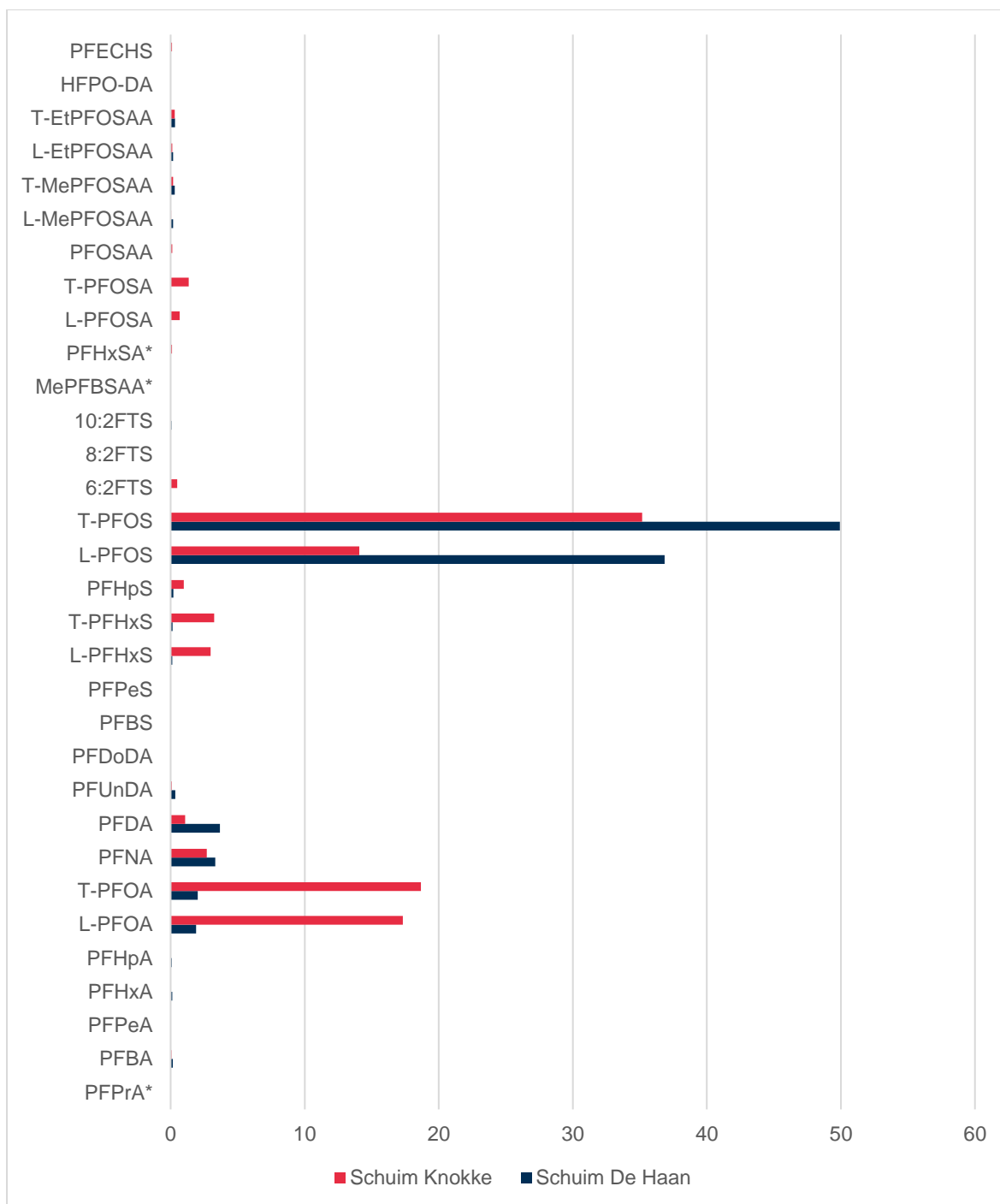
\* Indicatief resultaat, grotere meetonzekerheid

NA : not analysed; de gebruikte methodes werden steeds verbeterd waardoor het aantal gemeten verbindingen werd uitgebreid

QC failed: Door de aard van het monster is het mogelijk dat de analyse suboptimaal verloopt; de gebruikte kwaliteitscontrole brengen dit aan het licht; indien de kwaliteit van de data niet kan worden geborgd wordt de data niet gerapporteerd.

Wanneer we de PFAS-profielen van beide schuimmonsters bekijken (Figuur 1) dan zien we een grote overeenkomst maar geen algemene overeenstemming in PFAS-signatuur. In het monster van De Haan zien we globaal veel lagere gehalten aan PFAS in vergelijking met het monster van Knokke. Alhoewel daardoor een 1-op-1 vergelijking niet mogelijk is, is het opmerkelijk dat de ratio PFOS/PFOA aanzienlijk verschilt in de 2 monsters.





Figuur 1. Relatieve PFAS-profielen van gedetecteerde PFAS (% t.o.v. totaal PFAS-gehalte)

## 2.2 Eerdere staalnames en analyses PFAS in zeeschuim en zand (VITO onderzoek 2021 en 2022)

VITO heeft op eigen initiatief al eerder stalen genomen van zeeschuim en van bodem (zand) langs het strand te Knokke. Dit gebeurde naar aanleiding van een hypothese van onder meer een Spaanse onderzoeksgroep dat kustgebieden verhoogde gehalten PFAS kunnen hebben als gevolg van de vorming van “sea spray” (Casas et al., 2020). Dit zijn kleine druppeltjes zeewater die als aerosol voorkomen in de lucht en die gevormd worden door de golfslag. De locatie voor deze meetcampagne was lukraak gekozen.

De zeeschuim stalen zijn genomen op drie tijdstippen, namelijk in mei en in juli 2021 en in mei 2022.

### Meetcampagnes in mei en juli 2021

De zeeschuim stalen zijn genomen met witte plastic PP emmers met deksel van 5 en 3 liter waarvan al was aangetoond dat ze vrij zijn van PFAS. Monster 1 was ongeveer 7 liter schuim en monster 2 was ongeveer 3 liter schuim. Foto's van het strand met schuim bij deze staalnames worden getoond in bijlage 1. De resultaten van de analyses van de schuimstalen van deze twee meetcampagnes (mei 2021 en juli 2021) zijn samengevat in Tabel 4. Voor de eenvoud zijn de verbindingen die niet werden aangetroffen in concentraties boven de bepalingsgrens werden niet opgenomen in de tabel.

Tabel 4: Overzicht resultaten individuele PFAS gehalten in schuimstalen van twee meetcampagnes in 2021

Vito-ID		210505-0048a*	210505-0048b*	20210702a003
Locatie		Knokke	Knokke	Knokke
Monster		schuim	schuim	schuim
Totaal PFAS	µg/L	25	15	8,7
Totaal EFSA PFAS	µg/L	16	11	5,5
PFBA	µg/L	0,11	0,19	0,13
PFHxA	µg/L	0,06	0,07	0,10
PFHpA	µg/L	0,19	0,52	0,17
PFOA	µg/L	10	7,5	2,6
PFNA	µg/L	1,9	0,24	0,74
PFDA	µg/L	0,56	0,46	0,30
PFUnDA	µg/L	0,14	0,13	<0,1
PFHxS	µg/L	0,49	0,06	0,43
PFHpS	µg/L	0,03	<0,02	0,17
PFOS	µg/L	4,0	2,7	1,8
6:2FTS	µg/L	6,8	2,0	2,5

PFOSA	µg/L	0,26	1,0	<0,1
T-MePFOSAA	µg/L	0,12	0,11	<0,1
T-EtPFOSAA	µg/L	0,36	0,39	0,11

Nota: data voor alle componenten betreft zijn voor de lineaire isomeren

\*analyses 210505-0048a en 210505-0048b zijn duplo analyses van één monster (monster 1). Voor de blootstelling- en risico-analyse werd het gemiddelde van deze 2 resultaten gebruikt, vermits we het als één staal beschouwen.

## Meetcampagne in mei 2022

In mei 2022 heeft VITO een derde meetcampagne uitgevoerd in Knokke. Toen is er zeeschuim bemonsterd op twee opeenvolgende dagen op dezelfde locatie. Dit gebeurde met een plastic PE Ziploc zak (6 L) waarbij schuim werd verzameld over een lengtetraject tussen de surfclub en de zeilclub te Knokke Zoute.

Bij deze campagne zijn er ook drie mengstalen genomen van het strandzand en één mengstaal aan de voet van de duinen langs het strand.

De drie mengstalen van bodem van het strand zijn genomen langsheen drie evenwijdige lijnen ter hoogte van de hoogwaterlijn (zand-KNKH), de laagwaterlijn (zand-KNHL) en een lijn tussen de twee voorgaande (zand-KNHM). Een plastic pot met rood schroefdeksel van 2 liter werd volledig gevuld met zandstalen genomen op diepte 0-20 cm op 5 punten per lengtetraject. Vermits de bodemstalen langs de laag-en hoogwaterlijnen werden genomen, is het aannemelijk dat de bodemstalen frequent in contact kwamen met het zeeschuim.

Het mengstaal van het duinzand is genomen via 5 punten langsheen een lengtetraject aan de voet van de duinen ten oosten van de surfclub op dieptes van ca 0 tot 20 cm (zand-KNKD). De locaties voor de staalname van bodem worden getoond in bijlage 2.

De resultaten van de analyses voor PFAS in de 2 stalen zeeschuim zijn samengevat in Tabel 5. Enkel de resultaten voor PFAS met een gehalte groter dan de rapporteringsgrens worden getoond.

Tabel 5: Overzicht resultaten individuele PFAS gehalten in 2 schuimstalen (mei 2022)

Vito-ID		220504-0024	220504-0025
Locatie		Knokke	Knokke
Monster		schuim	schuim
Totaal lineaire PFAS	µg/L	27	67
Totaal PFAS	µg/L	73	129
Totaal lineaire EFSA PFAS	µg/L	25	61
Totaal EFSA PFAS	µg/L	70	120
PFHxA	µg/L	<0,01	0,11
PFHpA	µg/L	0,06	0,55

Vito-ID		220504-0024	220504-0025
Locatie		Knokke	Knokke
Monster		schuim	schuim
L-PFOA	µg/L	2,0	13
T-PFOA	µg/L	2,2	14
PFNA	µg/L	1,2	2,8
PFDA	µg/L	0,84	2,1
PFUnDA	µg/L	0,12	0,33
PFDODA	µg/L	0,01	0,03
PFPeS	µg/L	<0,01	0,02
L-PFHxS	µg/L	0,51	2,9
T-PFHxS	µg/L	0,56	3,3
PFHpS	µg/L	0,31	0,82
L-PFOS	µg/L	21	42
T-PFOS	µg/L	66	100
6:2FTS	µg/L	0,15	0,41
8:2FTS	µg/L	0,02	0,03
PFBSA	µg/L	0,01	0,03
MePFBSA	µg/L	0,03	0,04
MePFBSAA	µg/L	<0,01	0,24
PFHxSA	µg/L	0,21	0,46
L-PFOSA	µg/L	0,16	0,36
T-PFOSA	µg/L	0,38	0,81
L-MePFOSAA	µg/L	0,07	0,22
T-MePFOSAA	µg/L	0,23	0,62
L-EtPFOSAA	µg/L	0,26	0,9
T-EtPFOSAA	µg/L	0,61	1,8
PFECHS	µg/L	0,04	0,12

De gehalten PFAS in zeeschuim waren deze campagne een grootte-orde groter dan bij de twee eerdere meetcampagnes (2021). Er is ook een andere verdeling van PFAS (nu meer

PFOS dan PFOA). Deze campagne gebeurde bij een kalmere zee met minder zeeschuim op het strand. Een foto wordt getoond in bijlage 2.

In Tabel 6 vatten we de resultaten samen van analyses van PFAS in mengstalen van bodem van het strand en van de duinen. Enkel de resultaten voor PFAS met een gehalte groter dan de rapporteringsgrens worden getoond.

Tabel 6: Overzicht resultaten individuele PFAS gehalten in bodemstalen (mei 2021)

Vito-ID		220519-0001	220519-0002	220519-0003	220519-0004	220224-0004
Locatie		Knokke-strand	Knokke-strand	Knokke-strand	Knokke-strand	Knokke-Zwin
Monster		zand-KNKH	zand-KNKL	zand-KNKM	zand-KNKD	zand
Totaal lineaire PFAS	µg/Kg ds	0,41	0,29	<0,05	3,9	3,0
Totaal PFAS	µg/Kg ds	1,0	0,65	0,06	9,8	4,6
Totaal lineaire EFSA PFAS	µg/Kg ds	0,62	0,36	0,06	5,9	1,6
Totaal EFSA PFAS	µg/Kg ds	0,41	0,29	<0,05	3,7	1,1
L-PFOA	µg/Kg ds	<0,05	0,10	<0,05	0,31	0,26
T-PFOA	µg/Kg ds	<0,05	0,12	<0,05	0,32	0,26
PFNA	µg/Kg ds	<0,05	<0,05	<0,05	0,20	<0,22
PFDA	µg/Kg ds	<0,05	<0,05	<0,05	0,15	<0,22
L-PFOS	µg/Kg ds	0,41	0,19	<0,05	3,2	0,85
T-PFOS	µg/Kg ds	0,62	0,24	0,06	5,4	1,3
MePFBSA	µg/Kg ds	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,33
L-EtPFOSAA	µg/Kg ds	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	<0,22
T-EtPFOSAA	µg/Kg ds	<0,05	<0,05	<0,05	0,16	<0,22

De zandstalen die zijn genomen op het strand vertonen zeer lage gehalten PFAS die ver onder de toetsingswaarden bodem liggen voor natuurgebied en recreatiegebied. Dat is niet onverwacht omdat zand een heel gering adsorptievermogen heeft voor organische verontreinigingen die snel worden weggespoeld met de getijdewerking.

Het bodemstaal langs de voet van de duinen heeft een gehalte PFOS (5,4 µg/kg) dat iets groter is dan de toetsingswaarde voor natuurgebied (3,8 µg/kg volgens het voorgestelde

normenkader van 09/11/2022), maar het is beduidend lager dan de toetsingswaarde voor recreatiegebied (110 µg/kg).

Als referentie is een meetresultaat getoond van een staal dat VITO genomen heeft in het schorregebied van het Zwin natuurgebied op 22/01/09 van 0-20 cm diepte. Dat had een laag gehalte PFOS (1,3 µg/kg) dat overeenstemt met de achtergrondwaarden in Vlaanderen.

## 3 RISICO EVALUATIE

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt getracht om een beeld te schetsen van wat de mogelijke impact is van de PFAS-concentraties in zeeschuim op de PFAS-blootstelling voor mensen die bij recreatie aan de kust in contact kunnen komen met PFAS houdend zeeschuim en zeewater.

Er zijn geen geldende normen noch wetenschappelijke advieswaarden beschreven in de literatuur vanaf welke PFAS-concentraties in zeeschuim er sprake is van een mogelijks risico voor de gezondheid bij contact met zeeschuim.

Evenmin is een algemeen aanvaard of standaard kader voor blootstellingsinschatting aan chemische stoffen in zeeschuim. Dit is in tegenstelling tot andere milieumedia (lucht, water, bodem) waarvoor er algemeen aanvaarde blootstellingsfactoren en berekeningswijzen voorhanden zijn, dewelke in het algemeen gebaseerd zijn op kwaliteitsvolle data, in combinatie met expert-oordeel (bvb. US EPA exposure factors handbook, en blootstellingsfactoren in Vlaanderen gebruikt voor bodemverontreiniging, zie TGD S-Risk) (Cornelis et al., 2019; US EPA, 2011).

Evenwel zijn er recent in de wetenschappelijke en beleid adviserende literatuur een aantal studies verschenen m.b.t. blootstelling aan PFAS houdend rivier- of zeeschuim (Michigan Dept of Health and Human Service, 2018; Schwichtenberg et al., 2020).

De methodieken gebruikt in deze rapporten werden in grote lijnen toegepast om een blootstellingsanalyse te maken van het PFAS houdend zeeschuim (resultaten beschreven in hoofdstuk 2). Sommige blootstellingsfactoren werden evenwel aangepast aan de Vlaamse context, en geharmoniseerd met blootstellingsfactoren die standaard gehanteerd worden voor recreatiewater in Vlaanderen (Schets et al., 2011).

Met betrekking tot zeeschuim en zeewater zijn zowel contact via de huid (dermaal contact) en inslikken (oraal contact) van zeeschuim en zeewater relevante blootstellingsroutes, met bijhorende blootstellingsfactoren.

In onderstaande paragrafen wordt de methodiek voor de blootstellingsberekeningen, en de gehanteerde blootstellingsfactoren toegelicht.

### 3.2 Blootstellingsberekeningen

#### 3.2.1 Conceptueel

##### 3.2.1.1 Zeeschuim – ingestie

Blootstelling aan PFAS via ingestie wordt berekend door de concentratie van PFAS in zeeschuim te vermenigvuldigen met de inname hoeveelheid (hoeveel schuim dat men inslikt per zwemdag), en dit te normaliseren per kilogram lichaamsgewicht (cfr. methodes: Michigan Dept of Health and Human Service, 2018; Schwichtenberg et al., 2020):

$$Dosis (dag) \text{ schuim}_{oraal} = \frac{\text{concentratie}_{schuim} \times \text{ingestie}_{schuim}}{\text{lichaamsgewicht}}$$

Met:

*Dosis (dag) schuim<sub>oraal</sub>*: dosis per zwemdag per lichaamsgewicht (ng/kg/dag)  
*concentratie<sub>schuim</sub>*: concentratie PFAS in schuim (ng/ml)  
*ingestie<sub>schuim</sub>*: ingestie hoeveelheid schuim per zwemdag (ml/dag)  
*Lichaamsgewicht in kilogram (kg)*

Vermits m.b.t. PFAS voornamelijk de chronische (= jaargemiddelde) blootstelling relevant is voor de gezondheid, en men op jaarbasis niet dagelijks in contact komt met zeeschuim, wordt de dosis op dagen met blootstelling aan zeeschuim uitgemiddeld tot een jaargemiddelde blootstelling (= dagen met, en dagen zonder blootstelling aan zeeschuim):

$$Dosis (jaargem.) \text{ schuim}_{oraal} = Dosis (zwemdag) \text{ schuim}_{oraal} \times \text{frequentie zwemdag}$$

Met:

*frequentie zwemdag*: aantal dagen per jaar dat men in contact komt met zeeschuim (zwemdagen) (fractie)

### 3.2.1.2 Zeeschuim – dermaal

Blootstelling aan PFAS via huidcontact wordt berekend door de concentratie van PFAS in zeeschuim te vermenigvuldigen met de permeabiliteit van de huid voor PFAS. Vermits de permeabiliteit een tijdafhankelijke parameter is, speelt ook de duur van het huidcontact met schuim een rol voor de blootstelling:

$$Blootstelling (zwembeurt) \text{ schuim}_{dermaal} = K_p \times \text{concentratie}_{schuim} \times T_{zwembeurt}$$

Met:

*Blootstelling (zwembeurt) schuim dermaal* = geabsorbeerde dosis per zwembeurt in ng/cm<sup>2</sup>/zwembeurt  
*K<sub>p</sub>* = permeabiliteit in cm/uur  
*Concentratie schuim* concentratie PFAS in schuim (ng/ml)  
*T<sub>zwembeurt</sub>* = duur zwembeurt (in uur) (= duur dermaal contact met zeeschuim)

In een volgende stap wordt de dosis (per oppervlakte huid) herrekend naar een systemische dosis (ng/kg lg), door te vermenigvuldigen met de oppervlakte van de huid die in contact is met het schuim, en door te delen door het lichaamsgewicht (lg):

$$Dosis (zwembeurt) \text{ schuim}_{dermaal} = Blootstelling (zwembeurt) \text{ schuim}_{dermaal} \times \frac{S_{huid}}{\text{lichaamsgewicht}}$$

Met:

*Dosis (zwembeurt) schuim<sub>dermaal</sub>*: dosis per zwembeurt per lichaamsgewicht (ng/kg lg)  
*S<sub>huid</sub>*: huidoppervlakte de lichaamsdelen die in contact komen met schuim (cm<sup>2</sup>)

Omgerekend naar jaargemiddelde blootstelling (in ng/kg per dag):

$$Dosis (jaargem.) \text{ schuim}_{dermaal} = Dosis (zwembeurt) \text{ schuim}_{dermaal} \times \text{frequentie zwembeurt}$$



*frequentie zwembeurt : aantal dagen per jaar met zwemmen in zee (= frequentie dat men contact komt met zeeschuim)*

### **3.2.1.3 Zeewater – ingestie**

Analoog aan berekeningswijze voor ingestie zeeschuim (zie 3.2.1.1) met dat verschilpunt dat de concentraties van zeewater en de innamehoeveelheden van zeewater i.p.v. zeeschuim gehanteerd worden.

Voor PFAS-verbindingen die niet gedetecteerd werden in zeewater werd de medium bound approach gebruikt voor de blootstellingsberekeningen (medium bound approach: concentratie wordt gelijkgesteld aan de helft van de kwantificatielimiet).

### **3.2.1.4 Zeewater – dermaal**

Analoog aan berekeningswijze voor dermale blootstelling zeeschuim (zie 3.2.1.1) met dat verschilpunt dat de concentraties van zeewater i.p.v. zeeschuim gehanteerd worden, en de oppervlakte van lichaamsdelen die in contact komen met zeewater anders is dan voor zeeschuim.

Voor PFAS-verbindingen die niet gedetecteerd werden in zeewater werd de medium bound approach gebruikt voor de blootstellingsberekeningen (medium bound approach: concentratie wordt gelijkgesteld aan de helft van de kwantificatielimiet).

### **3.2.1.5 Geaggregeerde blootstelling**

Vermits verschillende blootstellingsbronnen (zeewater en zeeschuim) en routes (dermaal en oraal) simultaan voorkomen, en de relevante gezondheidkundige eindpunten van PFAS systemische effecten zijn, is het zinvol om de geaggregeerde dosis te berekenen. Vermits de blootstelling via de verschillende routes uitgedrukt zijn als jaargemiddelde systemische dosis (zelfde eenheden, zie 3.2.1.1 tot 3.2.1.4) is de geaggregeerde dosis eenvoudigweg de som van de verschillende blootstellingen beschreven in 3.2.1.1 tot 3.2.1.4.

## **3.2.2 Scenario's en relevante populatie**

Het beperkte aantal stalen zeeschuim op beide locaties, en de grote variabiliteit in PFAS-gehaltenes (ook binnen één locatie) laten het niet toe om een op basis van gemiddelde concentraties een representatief beeld te vormen van concentraties in zeeschuim.

Om deze redenen werd blootstelling berekend op basis van de individuele data van de verschillende stalen. Op die manier krijgen we een zicht op de spreiding in blootstelling (hoewel de werkelijke spreiding mogelijks veel hoger is dan op basis van spreiding van het beperkt aantal stalen).

In de scenario's waarbij de individuele zeeschuim resultaten (5 stalen uit Knokke en 1 staal uit De Haan) werden gebruikt, werd telkens de combinatie gemaakt met de analyses van het zeewater (voor stalen waar gepaarde zeeschuim en zeewater ontbraken, werden de resultaten van de zeeschuimanalyses gecombineerd met de zeewaterresultaten van de staalnames op een ander moment op deze locatie).

Gezien de grote variabiliteit in PFAS-gehalten in zeeschuim, en het laag aantal stalen kunnen de resultaten niet als representatief voor een bepaalde kustgemeente beschouwd worden (bvb. Knokke of De Haan), maar zijn ze eerder oriënterend te interpreteren.

Omwille van vrij grote verschillen in blootstellingsfactoren tussen kinderen en volwassenen (zie 3.2.3) werden blootstellingsberekeningen gedifferentieerd per leeftijdscategorie.

Voor een aantal blootstellingsfactoren is er een grote variabiliteit of onzekerheid. Om dit in beeld te brengen, werd per relevante parameter een 'standaard' of 'typische' waarde gebruikt (vergelijkbaar met een gemiddeld scenario), alsook een 'reasonable worst case (RWC) waarde. Deze laatste vertegenwoordigt een situatie met blootstelling aan de hoge kant in het spectrum van blootstelling (maar nog steeds realistisch voor hoog blootgestelde mensen). Voor de route 'dermaal contact' zeeschuim werd bijkomende een eerder 'extreem worst case' (EWC) scenario uitgewerkt, om de onzekerheid m.b.t. ratio schuim/water voor huidcontact te simuleren. We achten het minder waarschijnlijk dat dit scenario daadwerkelijk voorkomt, maar het werd uitgerekend om dit scenario ook aan bod kwam in de methode van Michigan Dept of Health and Human Service (2018).

### 3.2.3 Blootstellingsfactoren en model parameters

Een overzicht van waardes voor blootstellingsfactoren wordt gegeven in Tabel 7. De bronnen en keuzes voor de waardes worden onder de tabel toegelicht.

### 3.2.4 Blootstellingsfactoren

Tabel 7: blootstellingsfactoren gebruikt voor berekeningen blootstelling zeeschuim (deel 1)

Scenario/parameter/groep	Standaard		RWC		EWC	
	waarde	Bron	waarde	bron	waarde	bron
<b>Zwemfrequentie (# dagen per jaar)</b>						
kind 1-2 jaar	8	Methodiek recreatiewater AZG (toepassing Willebroek) (Agentschap Zorg en Gezondheid, 2021)	25	Methodiek recreatiewater AZG (toepassing Willebroek) (Agentschap Zorg en Gezondheid, 2021)	n.v.t.	
kind 3-6 jaar	8		25		n.v.t.	
kind 10 jaar	8		25		n.v.t.	
volwassenen (man)	7		25		n.v.t.	
volwassenen (vrouw)	7		23		n.v.t.	
<b>Duur zwembeurt (per zwemdag) in uur</b>						
kind 1-2 jaar	1,32	Methodiek recreatiewater AZG (toepassing Willebroek) (Agentschap Zorg en Gezondheid, 2021)	4,5	Methodiek recreatiewater AZG (toepassing Willebroek) (Agentschap Zorg en Gezondheid, 2021)	n.v.t.	
kind 3-6 jaar	1,32		4,5		n.v.t.	
kind 10 jaar	1,32		4,5		n.v.t.	
volwassenen (man)	0,9		3,33		n.v.t.	
volwassenen (vrouw)	0,9		3,67		n.v.t.	
<b>Ingeslikte hoeveelheid zeewater per zwemdag (ml)</b>						

Scenario/parameter/groep	Standaard		RWC		EWC	
	waarde	Bron	waarde	bron	waarde	bron
kind 1-2 jaar	49	US EPA (2011)	120	US EPA (2011)		
kind 3-6 jaar	37	Methodiek recreatiewater AZG (toepassing Willebroek) (Agentschap Zorg en Gezondheid, 2021)	170	Methodiek recreatiewater AZG (toepassing Willebroek) (Agentschap Zorg en Gezondheid, 2021)		
kind 10 jaar	37		170			
volwassenen (man)	27		140			
volwassenen (vrouw)	18		86			
<b>Ingeslikte hoeveelheid zeeschuim per zwemdag (ml) (uitgedrukt als volume na 'neerslaan' van het schuim tot waterige restfractie) (zie tekst)</b>						
kind 1-2 jaar	4,00	Michigan Dept of Health and Human Service, (2018)	6,32	US EPA (2011) + conversie schuim/water uit Schwichtenberg et al., (2020)		
kind 3-6 jaar	1,95	Methodiek recreatiewater AZG (toepassing Willebroek) (Agentschap Zorg en Gezondheid, 2021) + conversie schuim/water uit Schwichtenberg et al. (2020)	8,95	Methodiek recreatiewater AZG (toepassing Willebroek) (Agentschap Zorg en Gezondheid, 2021) + conversie schuim/water uit Schwichtenberg et al. (2020)		
kind 10 jaar	1,95		8,95			
volwassenen (man)	1,42		7,37			
volwassenen (vrouw)	0,95		4,53			
<b>Lichaamsdelen in contact met zeeschuim (voor alle groepen)</b>	Handen of voeten	Expert oordeel	25 % van het lichaam	Expert oordeel	Volledig lichaam behalve hoofd	Michigan Dept of Health and Human Service, (2018)
<b>Lichaamsdelen in contact met zeewater (voor alle groepen)</b>	Volledig lichaam behalve hoofd		Volledig lichaam behalve hoofd		Volledig lichaam behalve hoofd	Michigan Dept of Health and Human Service, (2018)

RWC: reasonable worst case scenario. EWC: extreme worst case scenario

Voor een aantal andere parameterwaardes wordt geen onderscheid gemaakt tussen 'standaard', 'RWC' of 'EWC' scenario (omdat de impact van variabiliteit van deze parameters vrij klein is, en/of omdat de waardes algemeen aanvaard en goed onderbouwd zijn. Het betreft parameters weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8: blootstellingsfactoren gebruikt voor berekeningen blootstelling zeeschuim (deel 2)

Lichaamsgewicht	waarde					Referentie
kind 1-2 jaar	10,2 kg					Michigan Dept of Health and Human Service(2018)
kind 3-6 jaar	17,7 kg					TGD S-Risk (Cornelis, 2019)
kind 10 jaar	33 kg					
volwassenen (man)	80,1 kg					
volwassenen (vrouw)	66,4 kg					
Huidoppervlakte (totaal)	Totaal (in cm <sup>2</sup> )	% handen	%voeten	% benen	% hoofd	
kind 1-2 jaar	4450*	6	6	23	17	Michigan Dept of Health and Human Service, (2018) *(opp uitgezonderd hoofd)
kind 3-6 jaar	7370	6	6	23	8	TGD S-Risk (Cornelis, 2019) ** in TGD S-Risk wordt geen differentiatie gemaakt in huidoppervlakte tussen mannen en vrouwen
kind 10 jaar	9940	5	6	26	6	
volwassenen (man)	18460**	5	5	29	6	
volwassenen (vrouw)	18460**	5	7	32	6	

Voor **zwemfrequentie en duur van een zwembeurt** in recreatiewater baseert het Agentschap Zorg en Gezondheid zich op de Nederlandse studie van Schets et al. (2011) die onderzoek heeft gedaan naar frequentie en duur van zwemmen bij 8000 mensen, en hierbij bevragingen heeft gedaan naar zwemmen in open zoetwater en open zeewater.

De respondenten werden ook bevraagd m.b.t. het **volume water dat ze inslikken** per zwembeurt (4 klassen: A. geen water of enkele druppels ingeslikt, B. een of twee slokken, C, 3 tot 5 slokken, of D. 6 tot 8 slokken), hetgeen omgerekend werd naar volume ingeslikt door 25 ml/slok voor een kinderen en vrouwen en 33 ml/slok voor een mannen. Volumes per slok werd gemeten op 119 personen die deelnamen aan een test waarin het volume van hun slokken werd gemeten.

Op basis van de spreiding van de respondenten (zwemmers) werden gemiddelde en 95 % confidentie intervallen berekend voor duur, frequentie van zwemmen en hoeveelheid ingeslikt water (antwoorden van niet-zwemmers werden buiten beschouwing gelaten voor de gemiddeldes en distributies). De gemiddelde waarde werd gebruikt voor het 'typisch scenario' en het 95 % confidentie interval uit Schets et al. (2011) werd gebruikt voor het RWC-scenario (zie Tabel 7).

Bemerk dat gemiddelde zwemfrequentie, duur en hoeveelheid ingeslikt water van een zwembeurt in open zoetwater en open zeewater nauwelijks verschilt (zoetwater licht hogere duur en frequentie), en we daarom generieke waarden (zoetwater + zeewater) hebben gehanteerd bij de berekeningen (zie methode recreatiewater AZG (toepassing Willebroek) (Agentschap Zorg en Gezondheid, 2021).

Het RIVM hanteert in hun blootstellingsberekeningen voor PFAS in recreatieplas Berkendonk in Helmond ook de cijfers van Schets et al (2011) (RIVM, 2021).

De ingestiegetallen en duur van zwembeurten in de analyse van Michigan Dept of Health and Human Service, 2018 and Schwichtenberg et al. (2020) zijn gebaseerd op het US EPA exposure factor handbook (US EPA, 2011). De getallen zijn vrij gelijkaardig als deze van Schets et al. (2011). Voor deze berekeningen verkiezen we de Nederlandse blootstellingfactoren boven de Amerikaanse blootstellingfactor, gezien zowel de omgeving

(klimaat voor zwemmen) als de bevolking in Vlaanderen grotere overeenkomsten heeft met Nederland dan met Amerika.

Voor parameters waarvoor Agentschap Zorg en Gezondheid geen wateringestie-getallen heeft (bvb. hoeveelheid ingeslikt water voor kinderen 1-2 jaar) werden wel de Amerikaanse data uit het US EPA Exposure factors handbook gebruikt. Merk op dat deze cijfers onzeker zijn voor deze groep van 1 - 2-jarigen (namelijk US EPA heeft ook geen specifieke ingestiegetallen voor de leeftijdsgroep 1 - 2 jaar, maar hanteert ze wel voor alle kinderen). Een andere benadering zou geweest zijn volgens de redenering van Schwichtenberg et al. (2020) te werken, die omwille van gebrek aan leeftijsspecifieke ingestie getallen voor 1 - 2 jarigen de ingestiegetallen voor kinderen 6 -11 jaar als benadering te gebruiken voor de jongere leeftijdsgroep (1 - 2 jaar) (dit zou voor het standaard scenario resulteren in licht lagere blootstelling dan huidige berekeningen die we gemaakt hebben). Kortom, de ingestiegetallen voor water (en dus ook voor schuim, zie verder) voor kleine kinderen zijn onzeker, en de keuze van de exacte getallen die gehanteerd zijn in onze berekeningen kunnen bediscussieerd worden. Echter, impact van de keuze van exacte waardes voor de ingestiegetallen (water en schuim) op de blootstellingsberekeningen is kleiner dan de impact van de variabiliteit m.b.t. de PFAS-concentraties in zeeschuim.

De **ingestiegetallen voor zeeschuim** zijn gebaseerd op de studie van Schwichtenberg et al. (2020) en Michigan Dept of Health and Human Service (2018). Wegens gebrek aan experimenteel vastgesteld of gemeten ingestiegetallen voor schuim, hanteert Schwichtenberg et al. (2020) een ratio van 19/1 (schuim/waterige restfractie). Dit is volume ratio schuim/waterige restfractie die waargenomen werd tijdens verzamelen van de stalen in hun campagne (een volume van 19 cm<sup>3</sup> schuim 'krimpt' tot een waterige restvloeistof van 1 ml; het is op deze waterige restvloeistof dat de analyses gebeuren en uitgedrukt zijn per volume van deze vloeistof).

Schwichtenberg et al. (2020) gebruiken als benadering de volgende redenering: bij inslikken van schuim slikt men hetzelfde volume schuim in als water (cm<sup>3</sup>) (cfr. ingestiegetallen zeewater in Tabel 7), maar omdat in het schuim grotendeels lucht zit, resulteert het schuimvolume in een veel kleinere hoeveelheid van ingenomen waterige fractie. Vermits de concentraties in het schuim uitgedrukt zijn in per volume waterige fractie (zowel door Schwichtenberg et al. (2020) als voor analyses gerapporteerd in hoofdstuk 2.1.3), worden de ingestiegetallen voor water gedeeld door de ratio 19/1. Zo komt wordt een wateringestie van 37 ml/dag (kind 3 - 6 jaar) gebruikt als benadering voor schuimingestie (volume schuim: 37 cm<sup>3</sup>), hetgeen resulteert in inname van 1,95 ml/dag van waterige fractie ('neergeslagen schuim'). Het is in deze fractie dat de PFAS-concentraties 'schuim' gemeten en uitgedrukt zijn. Michigan Dept of Health and Human Service, 2018 gebruikt dezelfde aanpak maar hanteert een ratio 31/1 schuim/waterige restfractie (ratio waargenomen op hun stalen). In onze berekeningen hanteren we de waarde 19/1 (meest conservatieve benadering m.b.t. blootstelling).

Voor dermale blootstellingschattingen moet er rekening gehouden worden met de huidoppervlakte die in contact komt het zeewater en schuim tijdens het zwemmen. Voor zwemmen wordt hiervoor de oppervlakte het ganse lichaam (behalve hoofd) gebruikt. Voor contact met zeeschuim werd deze aanname ook gemaakt door Dept of Health and Human Service, 2018, maar ons lijkt deze aanname te conservatief te zijn. We achten het minder waarschijnlijk dat tijdens recreatie aan de kust grote delen van het lichaam tijdens de ganse zwem- of recreatiebeurt met zeeschuim bedekt zijn. Voor het 'typisch scenario' gaan we ervan uit dat handen of voeten in contact komen met zeeschuim (denk maar aan wandelen langs de kust, of kinderen die met hun handen in schuim spelen). Voor het 'RWC' scenario hanteren we de aanname dat ongeveer ¼ van het lichaam in contact komt met het zeeschuim (dit komt ongeveer overeen met oppervlakte van de benen – cfr. een scenario waarin men in de

branding neerzit). Als 'extreme worst case' scenario hebben we ook een scenario doorgerekend waarbij heel het lichaam (uitgezonderd hoofd) in contact komt met het schuim, en in het 'extreem worst case' scenario voor dermaal contact laten we die factor 19/1 achterwege (en nemen we aan dat het contact tussen zeeschuim en de huid even intens is als tussen zeewater en de huid).

Voor de blootstellingsfactoren 'lichaamsgewicht' en 'huidoppervlakte' hanteren we de waardes die gebruikt zijn in een ander Vlaamse blootstellingsmodel (zie TGD of technical guidance document van het model S-Risk (Cornelis, 2019)). Voor de groep 1 - 2 jarigen hanteren we de cijfers uit Michigan Dept of Health and Human Service (2018) vermits TGD S-risk geen specifieke waardes vermeldt voor de groep 1 - 2 jarigen.

### 3.2.5 Permeabiliteit van de huid

$K_p$  PFOA (permeabiliteit) = 0,00009 cm/uur (uit Franko et al., (2012) en Michigan Dept of Health and Human Service, 2018).

Volgens Franko et al., (2012) is de permeabiliteitswaarde (huid, PFOA) van 0,0009 cm/uur de meeste geschikte waarde voor 'real world' blootstelling. Deze is gebaseerd op experimentele studies op muizen, waarin er een significante dosis-response relatie gevonden werd tussen  $PFOA_{urine}$  en  $PFOA_{dosis}$  toegediend op de huid van de muizen. In vitro studies tonen aan dat PFOA penetreert doorheen de huid van muizen en mensen (Franko et al., 2012).

Voor andere PFAS-verbindingen dan PFOA zijn er geen experimentele waardes voor permeabiliteit door de huid beschikbaar. Men zou een in silico methode kunnen toepassen op basis van  $K_{ow}$ , maar deze parameter is voor veel PFAS-verbindingen ook ongekend en er blijkt een slechte match te zijn tussen de voorspelde  $K_p$  en experimenteel gemeten  $K_p$  waarden. Om deze redenen wordt voor andere PFAS-verbindingen ook de experimentele waarde voor PFOA gebruikt voor andere PFAS-verbindingen. Michigan Dept of Health and Human Service (2018) haalt hiervoor de volgende redenering aan:

- 1)  $K_p$ -schattingen werden uitgevoerd voor de meest voorkomende PFAS-analyten (PFOA, PFOS, PFHpA, PFBS, PFBA) met behulp van geschatte  $K_{ow}$ -waarden en molecuulgewichten. Deze methode levert voor PFOA de hoogste  $K_p$  waarde (d.w.z. dermale permeabiliteit), maar die schatting leverde een voor PFOA een hogere  $K_p$ -waarde op dan experimentele  $K_p$  waarde in de literatuur vermeld voor PFOA.
- 2) De fysisch-chemische eigenschappen van PFOA zorgen ervoor dat het waarschijnlijker is dat PFOA de huidbarrière passeert in vergelijking met andere PFAS componenten in hun analyse (dit zijn PFOA, PFOS, PFHpA, PFBS, PFBA). Bijgevoeld, beschouwt Michigan Dept of Health and Human Service (2018) de  $K_p$  waarde van PFOA als een conservatieve benadering voor de andere PFAS componenten. Vermits in de zeeschuim stalen in onze analyses min of meer dezelfde dominante PFAS voorkomen, hanteren we in deze risico-analyse ook dezelfde redenering en maken we gebruik van de  $K_p$  waarde van PFOA voor PFOS, PFHxS en PFNA.

### 3.3 Gezondheidskundig toetsingskader

Vermits er geen gedifferentieerd toetsingskader bestaat voor dermale blootstelling aan PFAS, en de toetsingskaders voor orale blootstelling (cfr. EFSA) hun oorsprong vinden in serum concentraties, die een reflectie zijn van de geaggregeerde dosis (= som orale en dermale blootstelling), vergelijken we de dosissen met de Tolerable Weekly Intake (TWI) van EFSA (2020) voor de som van 4 PFAS verbindingen (PFNA, PFOS, PFOA en PFHxS).

Voor de keuze van de EFSA TWI verwijzen we naar het tijdelijk handelingskader dat opgesteld is binnen de Vlaamse experts werkgroep in 2022 onder leiding van de Vlaamse opdrachthouder PFAS.

In het tijdelijk handelingskader werd geen specifiek handelingskader voor PFAS in zeeschuim ontwikkeld, maar werd wel een consistente aanpak gehanteerd met als doel dat over de verschillende milieucompartimenten heen met dezelfde bril gekeken wordt. Hierbij werd een 'risicoladder' ontwikkeld. De EFSA TWI vormt de basis of ondergrens van de risico ladder; de chronische RfD van EPA (20 ng/kg/dag) (US-EPA, 2016) vormt de bovengrens van de risico-ladder. Blootstelling onder het EFSA 2020 betekent dat louter rekening houdend met gezondheid, de situatie 'aanvaardbaar' is zonder bijkomende maatregelen. In een risicoladder zijn de maatregelen dwingender naarmate het risico toeneemt.

Voor meer info en details over de keuzes die gemaakt zijn in het tijdelijk handelingskader verwijzen we naar tweede tussentijdse rapport van de opdrachthouder (april 2022) 'Van kennis naar actie - Deel 2: expertenverslag' (Vrancken, 2022).

Voor andere componenten gedetecteerd in het zeeschuim wordt geen risico-analyse uitgevoerd. De 4 EFSA verbindingen vormen samen 90 % van de totale PFAS-concentratie aanwezig in zeeschuim.

Gezien er momenteel geen consensus is of dan wel enkel de blootstelling aan lineaire dan wel de blootstelling aan lineaire + vertakte vormen van PFAS dienen getoetst te worden aan de EFSA-4 werd in de analyse voor beide vormen de berekeningen gedaan. In het rapport worden enkel de resultaten van de lineaire PFAS-verbindingen gegeven, omdat de resultaten zeer gelijklopend zijn en de conclusies dezelfde zijn.

### 3.4 Resultaten en interpretatie

Berekende blootstelling op basis van metingen PFAS in stalen zeeschuim en zeewater zijn weergegeven in onderstaande tabellen.

Merk op dat in Tabel 9 - Tabel 12 de vergelijking van de blootstelling ten opzichte van de gezondheidskundige toetsingswaarde (kleurcodes groen/geel/rood) is beperkt tot vergelijking van de jaargemiddelde blootstelling met de TWI (gezondheidskundige toetsingswaarde). De daggemiddelde blootstelling (dit is de blootstelling op de dagen van het contact met zeeschuim of zeewater) is ter info bijgevoegd aan de tabellen, maar deze mogen niet vergeleken worden met de TWI. De TWI is immers een toetsingswaarde voor chronische blootstelling (jaargemiddelde blootstelling is hierbij een goede benadering voor chronische blootstelling). De TWI (Tolerable Weekly Intake) is weliswaar uitgedrukt als wekelijkse dosis. Dit is logisch voor blootstelling via voeding, vermits blootstelling via voeding dagelijks gebeurt (en wekelijkse dosis een goed gemiddelde vormt). Voor blootstelling aan PFAS via zeeschuim en zeewater is echter de frequentie veel lager, en dient daarom de blootstelling op dagen van



blootstelling uitgemiddeld te worden tot een jaargemiddelde blootstelling, om zodoende een correcte vergelijking met de toetsingswaarde voor chronisch blootstelling te maken.

**Tabel 9: Berekende blootstelling aan de som van PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS (lineaire vormen) door ingestie van zeeschuim (eenheden: ng/kg/dag). Groen = jaargemiddelde blootstelling < EFSA TWI (0,63 ng/kg/dag); geel: EFSA TWI < jaargemiddelde blootstelling < US EPA RfD PFOS (20 ng/kg/dag); rood: jaargemiddelde blootstelling > US EPA RfD PFOS (20 ng/kg/dag)**

locatie	staal	type dosis	scenario	kind 1-2 jaar	kind 3-6 jaar	kind 10 jaar	volwassenen (man)	volwassenen (vrouw)	
<b>Knokke</b>	<b>6 stalen:</b>								
	zeeschuim (staal mei 2021)	dosis op dag van zwemmen	standaard	5,25	1,47	0,79	0,24	0,19	
			RWC	8,3	6,8	3,63	1,23	0,91	
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,12	0,03	0,02	0,00	0,00	
			RWC	0,6	0,5	0,25	0,08	0,06	
		zeeschuim (staal juli 2021)	dosis op dag van zwemmen	standaard	2,15	0,60	0,32	0,10	0,08
				RWC	3,4	2,8	1,49	0,51	0,37
	jaargemiddelde dosis		standaard	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	
			RWC	0,2	0,2	0,10	0,03	0,02	
	zeeschuim (staal 1 mei 2022)		dosis op dag van zwemmen	standaard	9,69	2,72	1,46	0,44	0,35
				RWC	15,30	12,49	6,70	2,27	1,68
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,21	0,06	0,03	0,01	0,01	
			RWC	1,05	0,86	0,46	0,16	0,11	
		zeeschuim (staal 2 mei 2022)	dosis op dag van zwemmen	standaard	23,80	6,68	3,58	1,08	0,87
				RWC	37,59	30,68	16,46	5,58	4,14
	jaargemiddelde dosis		standaard	0,52	0,15	0,08	0,02	0,02	
			RWC	2,57	2,10	1,13	0,38	0,26	
	zeeschuim (okt 2022)		dosis op dag van zwemmen	standaard	573	161	86	26	21
RWC				904	738	396	134	100	
jaargemiddelde dosis		standaard	13	4	2	0,50	0,40		
		RWC	62	51	27	9,20	6,27		
gemiddeld (van 6 stalen)		dosis op dag van zwemmen	standaard	123	34	18	6	4	
			RWC	194	158	85	29	21	
	jaargemiddelde dosis	standaard	2,7	0,8	0,40	0,11	0,09		
		RWC	13,3	10,8	5,81	1,97	1,34		
	<b>De Haan</b>	<b>1 staal:</b>							
		zeeschuim (staal juli 2022)	dosis op dag van zwemmen	standaard	13,9	3,9	2,1	0,63	0,51
RWC				22,0	18,0	9,6	3,27	2,42	
jaargemiddelde dosis			standaard	0,31	0,09	0,05	0,01	0,01	
			RWC	1,5	1,2	0,66	0,22	0,15	



Tabel 10: Berekende blootstelling aan de som van PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS (lineaire vormen) **door dermaal contact met zeeschuim** (eenheden: ng/kg/dag). Groen = jaargemiddelde blootstelling < EFSA TWI (0,63 ng/kg/dag); geel: EFSA TWI < jaargemiddelde blootstelling < US EPA RfD PFOS (20 ng/kg/dag); rood: jaargemiddelde blootstelling > US EPA RfD PFOS (20 ng/kg/dag)

Knokke	6 stalen:							
	zeeschuim (staal mei 2021)	dosis op dag van zwemmen	standaard	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001
			RWC	0,039	0,030	0,022	0,012	0,016
			EWC	2,367	2,078	1,535	0,867	1,150
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,0001	0,00004	0,00003	0,00001	0,00002
			RWC	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001
			EWC	0,162	0,142	0,105	0,059	0,072
	zeeschuim (staal juli 2021)	dosis op dag van zwemmen	standaard	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
			RWC	0,016	0,012	0,009	0,005	0,007
			EWC	0,971	0,853	0,629	0,356	0,472
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,0000	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001
			RWC	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
			EWC	0,067	0,058	0,043	0,024	0,030
	zeeschuim (staal 1 mei 2022)	dosis op dag van zwemmen	standaard	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001
			RWC	0,072	0,055	0,040	0,022	0,030
			EWC	4,366	3,834	2,831	1,599	2,122
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,0001	0,00007	0,00005	0,00002	0,00003
			RWC	0,005	0,004	0,003	0,002	0,002
			EWC	0,299	0,263	0,194	0,110	0,134
	zeeschuim (staal 2 mei 2022)	dosis op dag van zwemmen	standaard	0,012	0,008	0,005	0,003	0,004
			RWC	0,178	0,135	0,097	0,055	0,073
			EWC	10,725	9,417	6,953	3,928	5,212
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,0003	0,00017	0,00012	0,00006	0,00007
			RWC	0,012	0,009	0,007	0,004	0,005
			EWC	0,735	0,645	0,476	0,269	0,328
	zeeschuim (okt 2022)	dosis op dag van zwemmen	standaard	0,285	0,186	0,129	0,072	0,087
			RWC	4,272	3,240	2,344	1,328	1,762
			EWC	257,969	226,511	167,242	94,482	125,374
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,0062	0,00407	0,00283	0,00138	0,00166
			RWC	0,293	0,222	0,161	0,091	0,111
			EWC	17,669	15,514	11,455	6,471	7,900
	gemiddeld (van 6 stalen)	dosis op dag van zwemmen	standaard	0,068	0,045	0,032	0,018	0,022
			RWC	1,381	1,104	0,805	0,456	0,605
			EWC	54,806	48,123	35,531	20,073	26,636
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,0019	0,00127	0,00089	0,00046	0,00056
			RWC	0,095	0,076	0,055	0,031	0,038
			EWC	3,754	3,296	2,434	1,375	1,678
<b>De Haan</b>	<b>1 staal:</b>							
	zeeschuim (staal juli 2022)	dosis op dag van zwemmen	standaard	0,007	0,005	0,003	0,002	0,002
			RWC	0,104	0,079	0,057	0,032	0,043
			EWC	6,274	5,509	4,068	2,298	3,049
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,0002	0,00010	0,00007	0,00003	0,00004
			RWC	0,007	0,005	0,004	0,002	0,003
			EWC	0,430	0,377	0,279	0,157	0,192

Tabel 11: Berekende blootstelling aan de som van PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS (lineaire vormen) **door dermaal contact met zeewater en door ingestie van zeewater** (eenheden: ng/kg/dag). Groen = jaargemiddelde blootstelling < EFSA TWI (0,63 ng/kg/dag); geel: EFSA TWI < jaargemiddelde blootstelling < US EPA RfD PFOS (20 ng/kg/dag); rood: jaargemiddelde blootstelling > US EPA RfD PFOS (20 ng/kg/dag)

locatie	staal		scenario	kind 1-2 jaar	kind 3-6 jaar	kind 10 jaar	volwassenen (man)	volwassenen (vrouw)	
<b>Knokke</b>	zeewater staal juli 2022								
	orale blootstelling zeewater	dosis op dag van zwemmen	standaard	0,096	0,042	0,022	0,007	0,005	
			RWC	0,235	0,192	0,103	0,035	0,026	
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,002	0,001	0,0005	0,0001	0,0001	
			RWC	0,016	0,013	0,007	0,002	0,002	
	dermale blootstelling zeewater	dosis op dag van zwemmen	standaard	1,034	0,908	0,670	0,349	0,422	
RWC			3,534	3,103	2,291	1,294	1,717		
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,023	0,020	0,015	0,007	0,008	
			RWC	0,242	0,213	0,157	0,089	0,108	
<b>De Haan</b>		zeewater staal juli 2022							
		orale blootstelling zeewater	dosis op dag van zwemmen	standaard	0,096	0,042	0,022	0,007	0,005
	RWC			0,235	0,192	0,103	0,035	0,026	
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	
			RWC	0,016	0,013	0,007	0,002	0,002	
	dermale blootstelling zeewater	dosis op dag van zwemmen	standaard	1,034	0,908	0,670	0,349	0,422	
RWC			3,534	3,103	2,291	1,294	1,717		
	jaargemiddelde dosis	standaard	0,023	0,020	0,015	0,007	0,008		
		RWC	0,242	0,213	0,157	0,089	0,108		

Tabel 12: Berekende blootstelling aan de som van PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS (lineaire vormen) **door geaggregeerde blootstelling (som orale en dermale blootstelling aan zeeschuim en zeewater (eenheden: ng/kg/dag)).** Groen = jaargemiddelde blootstelling < EFSA TWI (0,63 ng/kg/dag); geel: EFSA TWI < jaargemiddelde blootstelling < US EPA RfD PFOS (20 ng/kg/dag); rood: jaargemiddelde blootstelling > US EPA RfD PFOS (20 ng/kg/dag)

locatie	staal		scenario	kind 1-2 jaar	kind 3-6 jaar	kind 10 jaar	volwassenen (man)	volwassenen (vrouw)
<b>Knokke</b>	<b>6 stalen:</b>							
	zeeschuim (staal mei 2021)	dosis op dag van zwemmen	standaard	6,39	2,43	1,48	0,59	0,62
			RWC	12,1	10,1	6,0	2,6	2,67
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,14	0,05	0,03	0,01	0,01
			RWC	0,8	0,7	0,4	0,2	0,17
	zeeschuim (staal juli 2021)	dosis op dag van zwemmen	standaard	3,29	1,55	1,02	0,45	0,51
			RWC	7,2	6,1	3,9	1,8	2,12
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,07	0,03	0,02	0,01	0,01
			RWC	0,5	0,4	0,3	0,1	0,13
	zeeschuim (staal 1 mei 2022)	dosis op dag van zwemmen	standaard	10,83	3,67	2,15	0,80	0,78
			RWC	19,1	15,8	9,1	3,6	3,46
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,24	0,08	0,05	0,02	0,01
			RWC	1,3	1,1	0,6	0,2	0,22
	zeeschuim (staal 2 mei 2022)	dosis op dag van zwemmen	standaard	24,95	7,64	4,28	1,44	1,30
			RWC	41,5	34,1	18,9	7,0	5,95
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,55	0,17	0,09	0,03	0,02
			RWC	2,8	2,3	1,3	0,5	0,38
	zeeschuim (okt 2022)	dosis op dag van zwemmen	standaard	574	162	87	26	21
RWC			912	745	401	137	103	
	jaargemiddelde dosis	standaard	12,6	3,5	1,9	0,50	0,41	
		RWC	62	51	27	9,4	6,5	
gemiddeld (van 6 stalen)	dosis op dag van zwemmen	standaard	124	35	19	6	5	
		RWC	198	162	88	30	23	
	jaargemiddelde dosis	standaard	2,7	0,78	0,42	0,11	0,09	
		RWC	14	11	6,0	2,1	1,5	
<b>De Haan</b>	<b>1 staal:</b>							
	zeeschuim (staal juli 2022)	dosis op dag van zwemmen	standaard	15	5	3	1	1
			RWC	26	21	12	5	4
		jaargemiddelde dosis	standaard	0,33	0,11	0,06	0,02	0,02
RWC			1,8	1,5	0,8	0,3	0,27	

Blootstelling aan PFAS ten gevolge van contact met verontreinigd zeeschuim is zeer variabel: voor enkele zeeschuim stalen (laagste PFAS-concentraties) is de voorspelde jaargemiddelde blootstelling vrij laag voor een standaard scenario van frequentie en type contact, en beneden de TWI van EFSA (2020) voor alle leeftijdsgroepen. Echter voor enkele andere stalen bereiken we blootstellingsniveaus tot (ver) boven de gezondheidkundige toetsingswaarde van 0,63 ng/kg/dag voor orale blootstelling aan de 4 EFSA PFAS verbindingen (overschrijdingen voornamelijk voor RWC-scenario's, maar voor het meest verontreinigd staal ook voor het standaard scenario). Voor het RWC-scenario op het staal uit Knokke (staalname okt 2022) voorspellen we jaargemiddelde blootstelling boven de gezondheidkundige grenswaarde van 20 ng/kg/dag (EPA, 2016) voor kinderen.

De hoogste blootstellingsniveaus worden voorspeld voor kleine kinderen (1-2 jaar), gezien hun relatief hogere blootstellingsfactoren (vnl. ingestie) ten opzichte van hun lichaamsgewicht bij andere leeftijdsgroepen. Toch zien we ook voor andere leeftijdsgroepen (kinderen en volwassenen) overschrijdingen van de EFSA TWI.

De grootste bijdrage is te wijten aan de ingestie van schuimdeeltjes (zie Tabel 9 in vergelijking met Tabel 12). Blootstelling aan schuim via de huid speelt minder een rol, maar is niet verwaarloosbaar (zie Tabel 10 in vergelijking met Tabel 12). Enkel bij simulatie van een 'extreem worst-case-scenario' voor huidcontact (dit is: we nemen aan dat de ratio schuim/water: 1 is, en dat gans het lichaam uitgezonderd hoofd gedurende de zwembeurt telkens voortdurend bedekt is met zeeschuim) is de blootstelling van dezelfde grootte-orde als orale blootstelling (bij een standaard scenario voor orale blootstelling). De grotere bijdrage van orale versus dermale blootstelling werd ook bevestigd in de blootstellingsanalyse van PFAS in schuim in de Rogue River in Michigan (Michigan Dept of Health and Human Service, 2018). Schwichtenberg et al., (2020) hebben in hun analyse blootstelling via de huid niet berekend (ze hebben zich beperkt tot orale blootstelling).

PFAS-blootstelling door ingestie en dermaal contact met zeewater is veel lager dan voor zeeschuim (zie Tabel 11 in vergelijking met Tabel 12). Dit is uiteraard te wijten aan het feit dat in zeewater er geen PFOS, PFOA, PFHxS en PFNA gedetecteerd werd (*merk op: blootstelling is niet nul, vermits gerekend is volgende de medium bound approach waarbij concentraties < kwantificatielimiet gelijkgesteld werden aan de helft van de bepalingsgrens*).

Als we deze zeewater -en schuim-gerelateerde blootstelling (jaargemiddelde waardes) in perspectief plaatsen van PFAS-blootstelling via andere routes (voeding, drinkwater, productgebruik) zien we ook een uiteenlopende patroon: voor mensen die volgens het standaard scenario in contact komen met zeeschuim (en uiteraard voor mensen die contact met zeeschuim vermijden) is de bijdrage van de zeeschuim-gerelateerde blootstelling meestal laag tot zeer laag in vergelijking dagelijkse blootstelling via andere routes zoals voeding. Echter, voor de hoogste blootstellingsscenario's uit de berekeningen (RWC-scenario, en zeeschuimstalen met de hoogste concentratie) is de schuim gerelateerde blootstelling wel degelijk significant in vergelijking met blootstelling via voeding.

Ter vergelijking van cijfers uit Tabel 12: som 4 PFAS verbindingen via voeding bedraagt voor peuters : gemiddeld – P95 respectievelijk 2,94 en 7,55 ng/kg/dag; voor volwassenen: gemiddeld – P95 respectievelijk 0,84 en 2,29 ng/kg/dag (zie cijfers voor lower bound waardes uit tabel 13 in (EFSA, 2020).

In Tabel 9 - Tabel 12 werd blootstelling voor alle leeftijdsgroepen getoetst aan de EFSA TWI en US EPA RfD. Merk echter op dat de TWI van EFSA (2022) niet bedoeld is om toe te passen op kinderen (uitleg: zie rapport normenkader bodem (Touchant et al., 2022). Bijgevolg mogen uit de vergelijking van blootstelling voor kinderen met de EFSA TWI er geen harde conclusies

m.b.t. risico's voor kinderen getrokken worden. Om volgende reden is het echter wel aangeraden om blootstelling door deze bron te beperken (zowel voor de algemene bevolking als kwetsbare groepen):

- Kinderen (en volwassenen) kunnen een significante blootstelling oplopen door ingestie van zeeschuim,
- Men is reeds via andere bronnen (voeding) blootgesteld aan PFAS
- Ook voor volwassenen zien we voor sommige scenario's/stalen een overschrijding van de EFSA TWI (TWI is van toepassing op deze groep)

### 3.5 Limitaties en aanbevelingen

Bovenstaande blootstellingsberekeningen dienen gezien te worden als een **schatting** van de blootstelling, die onderhevig zijn aan onzekerheden en aannames gemaakt in de modellen, modelparameters en blootstellingsfactoren. In geval van onzekerheden wordt vaak een keuze gemaakt voor een conservatieve waarde. Dit heeft als voordeel om voldoende beschermend te zijn, maar anderzijds leidt dit mogelijks tot overschatting van de werkelijke blootstelling.

Bijvoorbeeld: de ingestiegetallen voor zeeschuim zijn gebaseerd op ingestie van zeewater bij zwemmen. Het is de vraag of ingestie van zeeschuim daadwerkelijk even hoog ligt als van zeewater. *Men kan zich inbeelden dat mensen veel minder vaak of kleinere hoeveelheden zeeschuim inslikken dan zeewater. Echter, data hiervoor ontbreken en bijgevolg werden in overeenstemming met de literatuur aannames gemaakt dat volumes ingeslikt zeeschuim even groot zijn als volumes ingeslikt zeewater.*

Het meten van de werkelijke blootstelling aan PFAS door middel analyse van serum van mensen die vaak in contact komen met zeeschuim is hierbij een piste. Humane biomonitoring vertegenwoordigt immers een reflectie van de werkelijke blootstelling, en omzeilt de onzekerheden en aannames die inherent zijn aan de blootstellingschattingen aan hand van bovenstaande modellen.

Dit is mogelijks een piste om de blootstelling voor potentieel hoog blootgestelde groepen (intensieve zee-sporters) in kaart te brengen. Evenwel dient vanuit beleidsperspectief de inspanningen en kosten voor dergelijke campagne afgewogen te worden ten opzichte van inspanningen voor blootstellingsreductie van andere belangrijke PFAS-bronnen (die minder eenvoudig te vermijden zijn, zoals drinkwater), of in het algemeen ten opzichte van andere preventieve gezondheidsbeleid opties.

Een aantal andere belangrijke limitatie zijn:

- De blootstellingberekeningen zijn telkens slechts gebaseerd op 1 zeewater en 1 zeeschuimstaal per locatie. De resultaten van dit éne staal werd geëxtrapoleerd naar concentraties op alle zwem-momenten in een kalenderjaar (8 of 25 keer/jaar, afhankelijk van scenario), dewelke gebruikt zijn om een jaargemiddelde blootstelling te berekenen. Dit betekent dus dat we ervan uitgaan dat een persoon bij zijn/haar verschillende zwembeurten aan zee op een jaar tijd steeds met schuim van hetzelfde contaminatieniveau in contact komt. Dit is uiteraard hypothetisch. Voor het staal met de hoogste concentratie is dit waarschijnlijk een overschatting van de werkelijke jaargemiddelde concentratie. Evenwel kunnen we niet uitsluiten dat er op andere momenten contact kan zijn met zeeschuim met een PFAS gehalte nog hoger dan de hoogst gemeten concentratie.  
Als zeer ruwe benadering om het effect van de sterk variabele samenstelling op de jaargemiddelde blootstelling te benaderen, werd ook de de jaargemiddelde

concentratie voor de gemiddelde concentraties (stalen Knokke) berekend. Dit kan echter niet als een representatief jaargemiddeld, noch als een resrepresentatief gemiddelde tijdens een zwemseizoen aanzien worden.

Een beter beeld krijgen van de variabiliteit van PFAS in zeeschuim (locatie, seizoen,...) zou een veel representatiever beeld van de blootstelling geven. Een representatiever beeld is nodig om een correctere inschatting te krijgen van de jaargemiddelde blootstelling (gezien chronische blootstelling van belang is voor risico-beoordeling PFAS). Hierbij dient dan ook best in kaart gebracht worden welk type schuim vaak voorkomt, en met welk type (en hoeveelheid schuim) men het vaakst in contact komt voorkomt. Immers, de vorm, hoeveelheid van het schuim varieerde fel tussen de campagnes (zie foto's in bijlage). Op basis van deze beperkte steekproef kunnen we geen conclusies trekken i.v.m. PFAS-concentraties in functie van hoeveelheid en type schuim.

- De scenario's die onderzocht zijn in deze studie zijn gericht op recreatie bij de algemene bevolking (kinderen en volwassenen). Specifieke groepen (intensieve watersporters) met mogelijks hogere blootstelling door frequenter en langduriger contact werden niet specifiek onderzocht in deze studie. De resultaten van het RWC scenario kunnen al eerste verkenning gebruikt worden voor deze groep (immers de ingestiegetallen voor zeeschuim van RWC scenario komen overeen met gemiddelde hoeveelheden water/schuimingestie die kenmerkend zijn voor surfers, namelijk 170 cm<sup>3</sup> per dag voor surfers (Stone et al., 2008). Voor surfers die vaker dan 25 dagen/jaar aan watersport aan zee doen, vormt het RWC scenario mogelijks een onderschatting van de blootstelling.
- De berekeningen zijn beperkt tot de som van PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS (de 4 EFSA componenten). De keuze om de blootstellingberekeningen te beperken tot deze 4 componenten is gegrond omwille van de dominantie in de PFAS-profielen en de TWI die van toepassing is voor deze som.
- De impact van zeeschuim op andere 'afgeleide' blootstellingroutes werd niet onderzocht. Hiermee bedoelen we: contact met media (lucht, zand,...) die door PFAS schuim verontreinigd kunnen zijn. Mogelijke 'afgeleide' blootstellingroutes, scenario's zijn:
  - o Opwaai en dispersie van zeeschuim naar omgevingslucht, en dus inademing van lucht. VITO heeft op enkele locaties aan de kust PFAS in opdracht van VMM PFAS in omgevingslucht gemeten. Resultaten zullen binnenkort beschikbaar zijn.
  - o Contaminatie van zand door zeeschuim. Op locaties waar het zeeschuim strandt (op de branding), is het niet ondenkbaar dat dit resulteert in verhoogde PFAS-concentraties in het zand. Mogelijke contaminatie van zand is uiteraard relevant voor blootstelling bij recreatie met zand aan de kust (bouwen zandkastelen,...), zeker bij kinderen (zowel dermaal als oraal contact). De metingen uitgevoerd door VITO op zandstalen aan de kustlijn en de duinen in

Knokke (zie Tabel 6) vertonen lage PFAS-concentratie. Deze stalen werden genomen langsheen drie evenwijdige lijnen ter hoogte van de hoogwaterlijn, de laagwaterlijn, en een lijn tussen de twee voorgaande (dus op plaatsen waar contact tussen zand en schuim plaats vindt).

Bijgevolg, achten we de blootstelling bij spelen met zand aan de kust laag in. Bijkomende gepaarde schuim/zand stalen kunnen aangewezen zijn om deze hypothese te bevestigen.

## 4 BESLUIT

In deze studie werd op 2 willekeurige locaties aan de Belgische kust (Knokke en De Haan) in 2021 en 2022 zeeschuim en zeewater bemonsterd en geanalyseerd. Er werden uiteenlopende en zeer hoge concentraties PFAS in de zeeschuim stalen gevonden. PFOS en PFOA waren de dominante componenten in de zeeschuim stalen. De som van de 4 EFSA componenten (PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS) vormden 90% van de totale PFAS-concentraties in de meest verontreinigde zeeschuimstalen.

In de zeewaterstalen werden nagenoeg geen PFAS aangetroffen (uitgezonderd PFBA in monster van De Haan).

De impact van de zeeschuim verontreiniging op de PFAS-blootstelling bij recreatie aan zee werd berekend aan de hand van een bestaande methode in de literatuur. De methode beschreven in literatuur om deze berekening te doen is eerder 'pionierswerk' gezien het gebrek aan een gestandaardiseerde manier op blootstelling aan chemische stoffen in zeeschuim te berekenen. Bijgevolg gaan de resultaten gepaard met een aantal onzekerheden.

Deze berekeningen tonen aan dat blootstelling aan PFAS ten gevolge van contact met verontreinigd zeeschuim zeer variabel is: gaande van zeer lage blootstelling, tot niveaus blootstellingsniveaus (ver) boven de gezondheidskundige grenswaarde van 0,63 ng/kg/dag voor orale blootstelling aan de 4 EFSA PFAS verbindingen. Dit is het geval voor stalen afkomstig uit beide locaties (Knokke en De Haan).

Gezien de grote variabiliteit in de berekende blootstellingen, en het zeer beperkt aantal stalen waarop deze gebaseerd zijn, kunnen de blootstellingsberekeningen niet als representatief voor een bepaalde kustgemeente aanzien worden. De resultaten dienen als oriënterend geïnterpreteerd worden.

De grote variabiliteit in voorspelde blootstellingsniveaus zijn toe te schrijven aan de combinatie van volgende factoren:

- Er is een zeer grote variatie in PFAS concentraties in zeeschuim. Vermits we zelfs binnen 5 stalen (1 locatie – 5 verschillende bemonsteringstijdstippen) zeer uiteenlopende concentraties vinden is het zeer moeilijk om een representatief beeld voor chronische blootstelling aan PFAS door contact met zeeschuim te vormen (*voetnoot: met betrekking tot risico's voor de gezondheid is het net de chronische blootstelling die relevant is*).
- Er zijn nogal wat onzekerheid m.b.t. blootstellingsfactoren (aantal keer dat men in contact komt met zeeschuim, duur van het contact, hoeveelheid zeeschuim dat men kan inslikken, oppervlakte van de huid dat bedekt kan zijn door zeeschuim, en intensiteit van het contact tussen de huid en het schuim (als een film op de huid zoals water, of omgeven door veel luchtballen). Om hiermee om te gaan werden een aantal scenario's voor blootstellingfactoren ('standaard scenario', worst case scenario) uitgerekend. Maar dan nog, is er op een dergelijk standaard scenario ook veel onzekerheid m.b.t. de waardes van de blootstellingsfactoren (die derhalve meestal conservatief ingeschat zijn bij gebrek aan kennis, en nodige aannames)

Men moet dus deze onzekerheden in rekening brengen bij interpretatie van de blootstelling ten opzichte van de gezondheidskundige toetsingswaarden voor PFAS.



De hoogste blootstellingsniveaus worden voorspeld voor kleine kinderen (1-2 jaar), gezien hun relatief hogere blootstellingsfactoren (vnl. ingestie) ten opzichte van hun lichaamsgewicht bij andere leeftijdsgroepen. Toch zien we ook voor andere leeftijdsgroepen (andere leeftijdsgroepen kinderen en volwassenen) overschrijdingen van de toetsingswaarden van EFSA (0,63 ng/kg/dag).

De grootste bijdrage is te wijten aan de ingestie van schuimdeeltjes. Blootstelling via de huid speelt minder een rol, maar is niet verwaarloosbaar.

Bovenstaande overschrijdingen van de gezondheidskundige toetsingswaarden voor PFAS (EFSA TWI) ten gevolge van contact met PFAS houdend zeeschuim geven aanleiding tot bezorgdheid en advies om contact met zeeschuim bij recreatie aan de kust te beperken. Dit advies moet in de eerste plaats gericht zijn op het beperken van ingestie van zeeschuim. Bijkomend is advies om huidcontact met PFAS houdend zeeschuim aangeraden (+ advies om zeeschuim af te spoelen na recreatie).

Advies voor beperking van blootstelling aan schuim (zoetwater) werd reeds uitgevaardigd voor de PFAS schuim contaminatie van de Rogue River in Michigan ((Michigan Dept of Health and Human Service, 2018)

PFAS-blootstelling door contact met zeewater is zeer laag. Voor contact met zeewater (zwemmen) is er geen advies om blootstelling te beperken nodig. PFAS blootstelling door contact met zand is vermoedelijk zeer laag. Hierdoor is advies om contact met zand te vermijden niet aan de orde.

## 5 REFERENTIES

- Agentschap Zorg en Gezondheid, 2021. Semi-kwantitatieve risico-inschatting PFAS: Watersportbaan Hazewinkel en zeil- en surfvijver De Bocht te Willebroek.
- Casas, G., Martínez-Varela, A., Roscales, J.L., Vila-Costa, M., Dachs, J., Jiménez, B., 2020. Enrichment of perfluoroalkyl substances in the sea-surface microlayer and sea-spray aerosols in the Southern Ocean. *Environ. Pollut.* 267, 115512. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.115512>
- Cornelis, C., 2019. S-Risk - Technical guidance document - Annex IV. S-Risk - Tech. Guid. Doc.
- Cornelis, C., Standaert, A., Willems, H., 2019. S-Risk - Technical guidance document. S-Risk - Tech. Guid. Doc.
- EFSA, 2020. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA J.* 18. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>
- Franko, J., Meade, B.J., Frasca, H.F., Barbero, M., Anderson, S.E., 2012. Dermal penetration potential of perfluorooctanoic acid (PFOA) in human and mouse skin. *J. Toxicol. Environ. Heal. - Part A Curr. Issues* 75, 50–62. <https://doi.org/10.1080/15287394.2011.615108>
- Michigan Dept of Health and Human Service, 2018. Technical Review Evaluating Recreational Exposure to Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Foam on the Rogue River, Rockford (Kent County), Michigan 29 p.
- RIVM, 2021. Risicoschatting PFAS in recreatieplas Berkendonk in Helmond. RIVM Briefrapport 2021-0073. L. Geraets.
- Schets, F.M., Schijven, J.F., de Roda Husman, A.M., 2011. Exposure assessment for swimmers in bathing waters and swimming pools. *Water Res.* 45, 2392–2400. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.01.025>
- Schwichtenberg, T., Bogdan, D., Carignan, C.C., Reardon, P., Rewerts, J., Wanzek, T., Field, J.A., 2020. PFAS and Dissolved Organic Carbon Enrichment in Surface Water Foams on a Northern U.S. Freshwater Lake. *Environ. Sci. Technol.* 54, 14455–14464. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05697>
- Stone, D.L., Harding, A.K., Hope, B.K., Slaughter-Mason, S., 2008. Exposure assessment and risk of gastrointestinal illness among surfers. *J. Toxicol. Environ. Heal. - Part A Curr. Issues* 71, 1603–1615. <https://doi.org/10.1080/15287390802414406>
- Touchant, K., Van Holderbeke, M., De Brouwere, K., Geerts, L., Joris, I., Torfs, R., Seuntjens, P., 2022. Bindend normenkader voor PFOS en PFOA. Finale versie dd 5 oktober 2022. Ref 2022/RMA/R/2774.
- US-EPA, 2016. Health Effects Support Document for Perfluorooctanoic Acid (PFOA). United States Environmental Protection Agency Office of Water. Report EPA 822-R-16-003. US-EPA, Washington, USA.
- US EPA, 2011. Exposure Factors Handbook 2011 Edition (Final Report) | Risk Assessment Portal | US EPA.
- Vrancken, K., 2022. Van kennis naar actie. Tweede tussentijds rapport van de opdrachthouder voor de aanpak van de PFAS problematiek aangesteld door de Vlaamse regering.

## BIJLAGE 1: FOTO'S VAN ZEESCHUIM OP HET STRAND VAN KNOKKE

Bemonstering in mei 2021



Bemonstering in juli 2021



## Bijlage 2: Foto's van derde meetcampagne in mei 2022

### Schuim op het strand te Knokke



### Locaties voor staalname van bodem van het strand en van de duinen



- ← Mengstalen bodem van bevoeid strand (5 N, 0-10 cm)
- ← Mengstaal bodem van voet duinen (5N, ca 5-15 cm)





## BIJLAGE 3: FOTO'S VAN DE MEETCAMPAGNES IN JULI EN OKTOBER 2022

Zeeschuim op het strand van De Haan (juli 2022)



Zeeschuim op het strand van Knokke (oktober 2022)

