



## Vurdering af eventuelle sundhedsmæssige konsekvenser ved eksponering til PFOS i det øverste skimmelag på havoverfladen under badning

Boisen, Anne Mette Zenner; Vinggaard, Anne Marie

*Publication date:*  
2022

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Boisen, A. M. Z., & Vinggaard, A. M., (2022). *Vurdering af eventuelle sundhedsmæssige konsekvenser ved eksponering til PFOS i det øverste skimmelag på havoverfladen under badning*, No. 22/1014327, 13 p., Oct 17, 2022.

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Vurdering af eventuelle sundhedsmæssige konsekvenser ved eksponering til PFOS i det øverste skimmelag på havoverfladen under badning

## Forespørgsel

Miljøstyrelsen (MST) har d. 4. juli 2022 bedt DTU Fødevareinstituttet om at vurdere eventuelle sundhedsmæssige konsekvenser ved eksponering til PFOS i det øverste skimmelag på havoverfladen under badning jf. koncentrationer, der fremgår af pkt. 2.1 i Niras' rapport fra 13. juni 2022. Opgaven bedes løst under MSTs trækingsret.

MST bemærker at der ikke findes gode data for dermal absorption af PFOS og at dette sammenholdt med mangel på solide eksponeringsdata, gør det udfordrende at udføre en kvantitativ risikovurdering. DTU Fødevareinstituttet må derfor meget gerne også beskrive, antagelser, forudsætninger og usikkerheder i vurderingen samt komme med forslag til eventuelt opfølgende arbejde, der vil kunne forbedre den sundhedsmæssige vurdering. Herunder f.eks. om det vil give mening at foreslå gennemførelse af studie for dermal absorption af PFOS og andre PFAS i regi af PARC.

## Konklusion

DTU Fødevareinstituttet har beregnet dermal og oral absorption i et realistisk worst case scenarie med et barn, som bader 60 gange per år med en varighed på 2 timer per begivenhed. Et scenarie, som er sikkert for et barn, vil også være sikkert for en voksen. Badning i havvand med den laveste koncentration på 4,6 ng/L PFOS i skimmelaget medfører en total eksponering på 0,01 ng/kg legemsvægt/dag, hvilket er cirka 1,5% af TDI (0,63 ng/kg legemsvægt/dag) for summen af PFOS, PFOA, PFNA og PFHxS. Badning ved denne koncentration vil isoleret set udgøre en ubetydelig sundhedsmæssig risiko. Badning i havvand med den højeste koncentration PFOS i skimmelaget (960 ng/L) resulterer i en total absorption på 2,17 ng/kg legemsvægt/dag, hvilket overskrider TDI'en. Badning i havvand ved den højeste koncentration vurderes derfor at udgøre en sundhedsmæssig risiko.

DTU Fødevarerinstitutionen vurderer at der pga. den relativt begrænsede viden om dermalt optag af PFAS og især den mulige dermale eksponering fra en lang række forbrugerartikler er god grund til at fokusere på at foretage yderligere studier af dermal absorption specielt i human hud.

### Usikkerhedsvurdering

Denne vurdering har ikke taget højde for badning i havskum eller i indsøer. Estimering af hyppighed, varighed af badture samt utilsigtet oralt optag er forbundet med usikkerhed. DTU Fødevarerinstitutionen har antaget, at koncentrationen i skimmelaget er den koncentration som er gældende rundt om hele kroppen på den badende, hvilket højst sandsynligt er en overestimering af koncentrationen.

Datagrundlaget for vurdering af dermal absorption af PFAS er usikkert da der er foretaget meget få undersøgelser af dette og graden af dermal absorption er afhængig af en lang række faktorer. Det vides ikke, hvordan naturlige overfladeaktive stoffer i skimmelaget potentielt kan påvirke den dermale absorption.

DTU Fødevarerinstitutionen har ikke kunnet finde eksperimentelle data for dermal absorption af PFOS. Den dermale absorption af PFOS estimeret *in silico* er behæftet med usikkerheder fordi PFAS som stofgruppe sandsynligvis ikke er velrepræsenteret i modellerne. Det er dog sandsynligt at dermal absorption for PFOS er lavere end for PFOA. Som en worst case er dermal absorption for PFOS beregnet ud fra den eksperimentelle  $K_p$  for PFOA.

### Baggrund

Miljøstyrelsen har i foråret og sommeren 2022 foretaget målinger for PFAS i havvand langs de danske kyster (Niras rapport 2022). Undersøgelserne har vist at koncentrationen i det allerøverste vandlag (skimmelaget) typisk er langt højere end længere nede i vandsøjlen. Da badende og svømmere i høj grad vil komme i kontakt med skimmelaget ønsker Miljøstyrelsen DTU Fødevarerinstitutionens vurdering af om de fundne niveauer af PFOS i skimmelaget udgør en sundhedsmæssig risiko. Perfluorooctansulfonsyre (PFOS) og Perfluorooctansyre (PFOA) tilhører gruppen af per- og polyfluoroforbindinger (perfluoroalkylated substances, PFAS). Sundhedseffekter af PFAS omfatter effekter på immunsystemet, lavere fødselsvægt, leverskader og effekter på fertiliteten og/eller det ufødte barn, samt mistanke om, at fluorstofferne kan være hormonforstyrrende eller inducere kræft. EFSA har i 2020 risikovurderet og vurderet det tolerable ugentlige indtag (TWI) for summen af 4 PFAS (PFOS, PFOA, PFNA og PFHxS) til 4,4 ng/kg legemsvægt pr. uge svarende til

0,63 ng/kg legemsvægt/dag (TDI). Den kritiske effekt, som værdien er baseret på, er effekter på immunsystemet hos 1-årige børn (nedsat vaccinationsrespons).

### Indhold af PFOS og PFOA i havvand på danske lokaliteter

Havet er et reservoir for PFAS og en vigtig kilde til PFAS forurening i Danmark, specielt i kystnære områder. PFAS er først for nyligt blevet undersøgt mht. fordeling fra havvand til overflademikrolag og videre til havspray aerosoler (Casa et al 2020). Skimmelaget, som er det naturlige overflademikrolag, er et tyndt lag på 1-1000  $\mu\text{m}$  bestående af organisk materiale med også naturlige overfladeaktive stoffer, og her vil PFOS og andre PFAS-forbindelser opkoncentreres. Graden afhænger af karakteren af dette overflademikrolag, som kan variere en del. PFOS (perfluorooxotansulfonat) og PFOA (perfluorooxotancarboxylat) er ved havets pH på ionform, og har en negativ ladet syregruppe som er vandopløselig samt en ligekædet perfluoreret del, der ikke er vandopløselig (hydrofob). PFOS og PFOA vil opføre sig som typiske overfladeaktive stoffer og binde sig på havoverfladen og på overflader af partikulært og levende materiale i havet. En stor del af stofferne vil findes på overfladen af havet med den hydrofile del ned mod havvandet og den hydrofobe del i havoverfladen. PFOS og PFOA vil opblandes med de naturlige overfladeaktive stoffer i overflademikrolaget, og vil med dem kunne danne miceller, emulger og opkoncentreres i havskum (Casa et al 2020).

Den 10. maj 2022 foretog Niras prøver af skimmelaget på 8 lokaliteter på vestkysten fra Thyborøn Nordstrand i nord til Bøvling Klit (nord for Thorsminde). For summen af de 4 PFAS (PFOS, PFOA, PFNA og PFHxS) indeholdt skimmeprøverne 9,0-1000 ng/L, primært PFOS (4,6-960 ng/L) og i mindre omfang PFOA. De tilsvarende værdier fra 10. maj for havvand målt dybere nede i vandsøjlen (dykprøver) var på 0,79-6,9 ng/L for summen af de 4 fluorstoffer (PFOS 0,37-3 ng/L).

I juli måned fik MST foretaget yderligere undersøgelser af PFAS niveauer i havvand og indsøer på forskellige lokaliteter. Generelt lå værdierne af PFAS ude i havet under de værdier som blev målt i maj måned. Målinger af dykprøver fra en enkelt lokalitet var dog på ~13 ng/L. I prøver fra indsøer, som er småsøer, der kan opstå på stranden, og som kan forsvinde igen, var de målte niveauer af PFAS i nogle tilfælde langt højere end niveauerne målt ude i havet. I dette notat har DTU Fødevareinstituttet beregnet eksponeringsscenarioer baseret på niveauer af PFAS i skimmelaget målt ude i havet, men ikke i indsøer. Der er ikke beregnet et eksponeringsscenario for havskum.

## Fysisk Kemiske parametre for PFOS og PFOA

De fysisk-kemiske egenskaber såsom molekylvægt, vandopløselighed og octanol-vand fordelingsforholdet har stor betydning for bl.a. den potentielle dermale absorption af PFAS. På grund af de overfladeaktive egenskaber danner PFOS tre lag i octanol/vand og log Kow kan derfor ikke måles (OECD 2002). Det er ligeledes vanskeligt at måle log Kow for PFOA, men målte værdier er oplyst i litteraturen (Ragnarsdóttir et al 2022). I den videnskabelige litteratur er forskellige pKa værdier oplyst for PFOS og PFOA. Fysisk kemiske parametre for PFOS og PFOA estimeret ved hjælp af EpiSuite programmet og offentliggjort i den danske (Q)SAR database (<https://qsar.food.dtu.dk/>) er vist i tabel 1. PFOS og PFOA er ved havets pH (pH >8) på ion-form og vil ikke kunne gå på dampform fra havet til atmosfæren. *In silico* beregningerne er foretaget på den neutrale form af stofferne. Dermal absorption estimeret vha. EPI DERM-WIN tyder på at PFOA optages 15 gange mere end PFOS over huden.

*In silico* estimeringerne for PFAS er behæftet med usikkerheder, fordi EPI-WIN-DERM programmet ikke er nyt, og PFAS stoffer med meget stor sikkerhed ikke er velrepræsenterede fordi der mangler viden om disse stoffer. Det er derudover uvist, i hvor høj grad måletekniske vanskeligheder pga. PFAS-stoffers fysisk-kemiske egenskaber kan have haft indflydelse på de estimeringer af fysisk-kemiske parametre og derved estimeringen af dermalt optag af PFOS og PFOA.

**Tabel 1:**

	CAS nummer	Class	Gns. Masse (Daltons)	Dermal absorption EPI DERMWIN (mg/cm <sup>2</sup> /begivenhed på 0,58 t)	Log Kow QSAR	Log Kow (Eksp.)	Log Dow ved pH 7. Park et al 2020, <sup>a)</sup>	Vandopløselighed (beregnet fra Kow) (mg/L)	pKa syre
PFOS	1763-23-1	Sulfonates (C8)	500,13	1,97 x 10 <sup>-06</sup>	4,49	NA	3,05	0,104	-5,7
PFOA	335-67-1	Carbox. Acid (C8)	414,07	2,95 x 10 <sup>-05</sup>	4,81	5,91	1,58	0,481	2,4

<sup>a</sup> Estimated data obtained using MarvinSketch 18.11.0 (ChemAxon Ltd., <http://www.chemaxon.com/>)

## Datagrundlag for vurdering af dermal eksponering

Optag gennem huden (dermal absorption) sker primært vha. af passiv diffusion gennem det yderste hydrofobe hudlag (stratum corneum) i overhuden (epidermis). En lang række faktorer har indflydelse på dermal absorption såsom de fysiske-kemiske egenskaber af stoffet som optages (herunder ioniseringstilstand), hudtype (herunder artsforskelle) og forhold i og på huden (temperatur, pH, hydrering), derudover spiller koncentration af stoffet (begrænset eller ubegrænset stofmængde), det påførte hudareal, varighed af eksponeringen, og hvilken *in vitro* model som vælges (herunder om den er statisk/dynamisk) også en rolle (EHC 23, WHO 2006). Der findes meget få studier vedr. dermal absorption af PFAS stoffer.

Fasano et al 2005 undersøgte hudabsorption af ammonium perfluorooctanoate (APFO), som er PFOA's ammoniumsalt. Dermal absorption blev undersøgt i både rotter og mennesker i *in vitro* modeller. Den dermale absorption i rotter var langt højere end i mennesker, hvilket er typisk for langt de fleste stoffer (EHC 235, WHO). I den humane del af studiet blev der benyttet en statisk *in vitro* diffusionscellemodel med humane epidermale membraner og 0,9% saltvand i modtagerkammeret. Det blev verificeret at prøvernes barrierefunktion var intakt vha. elektrisk impedans. Der blev tilført en dosis på 100 µL 20% APFO, hvilket blev vurderet til at være en ubegrænset mængde og derved ikke en begrænsende faktor for hudoptagelsen; 0,048±0,01% af dosis var trængt igennem epidermis efter 48 timer. Hudpermeabilitet (kp) blev udregnet til  $9,49 \pm 2,86 \times 10^{-7}$  cm/timen. Ifølge OECD Guidance notes for dermal absorption fra 2011 kan statiske forhold og et modtagerkammer, som udelukkende indeholder saltvand virke begrænsende på optagshastigheden, da det ikke i tilstrækkelig grad svarer til fysiologiske forhold. Dette har muligvis været tilfældet i studiet af Fasano et al 2005.

Franko et al 2012 testede absorptionen af PFOA. Både komplette hudprøver med alle hudlag og separerede prøver kun bestående af epidermis blev benyttet i forsøget. Hud-/epidermis-prøver fra 3 kvindelige individer blev benyttet med flere gentagelser pr. prøve. Prøvernes barrierefunktion blev udelukkende undersøgt vha. visuel inspektion med mikroskop. Der blev benyttet et flow-through diffusionskammer til forsøget. Væsken i modtagerkammeret havde en temperatur på 37 grader og bestod af en HBSS buffer (pH 7,4). Forsøgsopstillingen i Franko et al. bestod af to dele:

Del 1: Forsøg med begrænset dosis: En 50 µl prøve bestående af 0,5 mg radioaktivt mærket <sup>14</sup>C-PFOA i acetone (1%) blev tilført ydersiden af hhv. hud/epidermis prøver hvorefter acetonen fik lov til at fordampe.

For at bestemme hudabsorption blev der udtaget prøver fra modtagerkammeret hver 2. time. For epidermisprøverne blev omkring 5% af dosis genfundet i modtagerkammeret efter 2-3 timer, mens det tilsvarende resultat i prøverne bestående af

komplet hud var tæt på nul. DTU Fødevareinstituttet formoder at PFOA som er trængt igennem stratum cornea i epidermis vil trænge videre ned igennem hudlagene over tid og blive systemisk tilgængeligt på et senere tidspunkt. Efter 24 timer blev ~24 % af dosis genfundet i modtagerkammeret for både hud- og epidermisprøverne. Omkring 46% af dosis blev efter 24 timer genfundet inde i hudprøverne og omkring 23% inde i epidermisprøverne.

#### Del 2: Forsøg med ubegrænset dosis:

For at undersøge betydningen af ioniseringstilstand blev 3 doser af 500 µL testet på epidermisprøver: 3000 µg/ml radioaktivt mærket <sup>14</sup>C-PFOA i vand (pH 2,25); 3000 µg/ml <sup>14</sup>C-PFOA i citratbuffer (pH 5,5); og 14 µg/ml <sup>14</sup>C-PFOA i citratbuffer (pH 5,5). For at bibeholde ubegrænsede doser var donorkammeret overdækket og nye doser blev tilført løbende. Resultatet viste en mere end 1000-fold højere absorptionsrate for den ikke-ioniserede form af PFOA. Ved pH 5,5, som er hudens pH værdi, er PFOA og PFOS fuldt dissocierede. Denne del af forsøget blev udført på epidermisprøver, men ikke på komplet hud.

DTU Fødevareinstituttet vurderer, at Franko et al 2012 studiet er veludført, det er dog en alvorlig mangel ved forsøget, at barrierefunktionen ikke er undersøgt med en anbefalet metode (ENV/JM/MONO(2011)). En svækkelse af barrierefunktionen vil overestimere den dermale absorption. Kp værdier målt i forsøget er sammenlignelige med de estimerede værdier fra NIOSH, hvilket taler for at barrierefunktionen har været intakt i forsøgsopsætningen.

**Tabel 2: Resultater fra Franko et al 2012**

PFOA doser	pH	Kp (cm/t) målt Median	Kp (cm/t) målt 25% percentil	Kp (cm/t) målt 75% percentil	Kp (estimeret) <sup>1</sup> (cm/t)
3000 µg/ml - PFOA i vand n=8	2,25	5,5*10 <sup>-2</sup>	5,2*10 <sup>-2</sup>	5,7*10 <sup>-2</sup>	1,3*10 <sup>-2</sup>
3000 µg/ml - PFOA i buffer n=10	5,50	4,4*10 <sup>-5</sup>	1,2*10 <sup>-5</sup>	6,0*10 <sup>-5</sup>	8,8*10 <sup>-5</sup>
14 µg/ml - PFOA i vand n=8	5,01	5,8*10 <sup>-5</sup>	1,1*10 <sup>-5</sup>	1,5*10 <sup>-3</sup>	8,8*10 <sup>-5</sup>

<sup>1</sup> NIOSH Skin Permeability Calculator (<https://www.cdc.gov/niosh/topics/skin/skinpermcalf.html>)

## **Eksponeringsscenarier for badende ved danske kyster**

Ved badning findes 3 potentielle eksponeringsveje.

- Utilsigtet oralt indtag af PFAS via vandet
- Optag af PFAS fra vandet gennem huden (dermal eksponering)
- Inhalation af PFAS aerosoler fra havoverfladen

DTU Fødevarerinstitutionen vurderer at eksponering via inhalation vil have begrænset betydning i dette scenarie fordi PFOS, som tidligere nævnt, ikke vil gå på dampform fra havvand, men PFOS og PFOA kan bindes til havskum. Dette scenarie omhandler ikke havskum der nok i højere grad vil være tilgængelig for inhalation. Der er derfor kun foretaget beregninger for dermal og oral eksponering.

Som et realistisk worst case scenarie er vi gået ud fra at der bades 60 gange per år med en varighed på 2 timer per begivenhed. Eksponeringsscenariet er udregnet for et barn på 3-6 år fordi børn formodes at opholde sig længe i vandet. Da børn har en større relativ overflade og drikker mere pr. kg legemsvægt fordi de er mindre end voksne, vil et eksponeringsscenarie, som er sikkert for et barn også være sikkert for en voksen.

### **Dermal eksponering:**

Antagelser: Vi er gået ud fra at koncentrationen i skimmelaget er den koncentration som er gældende rundt om hele kroppen på den badende. Dette er højst sandsynligt en overestimering af koncentrationen, idet skimmelaget kun er 1-1000  $\mu\text{m}$  tykt og koncentrationen længere nede i vandsøjlen er lavere. Det er dog sandsynligt at stofferne i skimmelaget vil klæbe til huden.

Vi har benyttet den eksperimentelle værdi for  $K_p$  på  $6,0 \times 10^{-5}$  for PFOA (75% percentil) fra Franko et al til eksponeringsscenariet for summen af de 4 PFAS. Der findes ingen eksperimentelle data for  $K_p$  for PFOS og vi har derfor benyttet samme  $K_p$  for PFOA for eksponeringsscenariet for PFOS. Som det ses af værdierne estimeret fra EPI-DERM-WIN er den dermale absorption for PFOS højst sandsynligt overestimeret.

### **Oral eksponering:**

Estimering af utilsigtet oralt indtag af vand under badning:



WHO Guidelines on recreational water quality (2021) benytter et worst case scenarie på 250 ml utilsigtet oralt indtag af badevand pr. badetur. for børn. Vi har benyttet det samme i beregningen som et worst case scenarie. I beregningen antager vi desuden, at alle 250 ml har samme koncentration som i skimmelaget. Dette er uden tvivl en stor overestimering, men det er uvist hvilken fortyndingsfaktor, som ville være repræsentativ

**Absorberet PFAS dosis efter badetur for et barn på 3-6 år i dansk havvand sammenlignet med TDI for summen af 4 PFAS (PFOS, PFOA, PFNA og PFHxS)**

**Laveste koncentrationer i skimmelag:**

PFAS	Dermal abs. (ng/kg l.v./dag)	Oral abs. (ng/kg l.v./dag)	Total abs. (ng/kg l.v./dag)	TDI sum 4 PFAS (ng/kg l.v./dag)
Sum 4 PFAS Konc. 9 ng/L	$4,41 \cdot 10^{-4}$	0,02	0,02	0,63
PFOS Konc. 4,6 ng/L	$2,26 \cdot 10^{-4}$	0,01	0,01	0,63

**Højeste koncentrationer i skimmelag**

PFAS	Dermal abs. (ng/kg l.v./dag)	Oral abs. (ng/kg l.v./dag)	Total abs. (ng/kg l.v./dag)	TDI sum 4 PFAS (ng/kg l.v./dag)
Sum 4 PFAS Konc. 1000 ng/L	$4,90 \cdot 10^{-2}$	2,21	2,26	0,63
PFOS Konc. 960 ng/L	$4,71 \cdot 10^{-2}$	2,12	2,17	0,63

## Konklusion

I worst-case tilfældet, hvor et 3-6 årigt barn hyppigt (60 gange om året á to timer) bader i havvand der er forurennet med 960 ng/L PFOS vurderes det, at det dermale optag af PFOS vil optage ca. 7% af TDI'en for summen af de 4 PFAS og denne eksponering udgør således isoleret set en ubetydelig sundhedsmæssig risiko. Det dermale optag af summen af de 4 PFAS vil optage ca. 8% af TDI'en. Estimatet af størrelsen på den dermale absorption er stærkt afhængigt af den estimerede  $K_p$ , som er forbundet med en del usikkerhed. Den estimerede dermale absorption svarer til omkring 2% af den estimerede orale absorption (for både PFOS og summen af de 4 PFAS).

Det ses for begge udregninger, at den orale eksponering har langt højere betydning for det samlede optag. For den laveste PFOS koncentration svarer den totale absorption til 0,01 ng/kg legemsvægt/dag, hvilket er cirka 1,5 % af TDI'en og badning ved denne koncentration vil isoleret set udgøre en ubetydelig sundhedsmæssig risiko. Det samme gør sig gældende for udregningen med summen af de 4 PFAS.

Det skal dog nævnes, at det gennemsnitlige indtag af summen de 4 PFAS alene fra fødevarer allerede overstiger EFSA's fastsatte TDI på 0,63 ng/kg legemsvægt/dag for alle aldersgrupper i den generelle danske befolkning (EFSA 2020). For scenariet med den højeste koncentration på 960 ng/L PFOS ses, at den totale absorption er på 2,17 ng/kg/dag, hvilket overskrider TDI'en. Badning i havvand ved den højeste koncentration vurderes derfor at udgøre en sundhedsmæssig risiko.

## Antagelser, forudsætninger, begrænsninger og usikkerheder i vurderingen

Denne vurdering har ikke taget højde for badning i havskum eller i indsøer. Estimering af hyppighed, varighed af badeture samt utilsigtet oralt optag er forbundet med usikkerhed. DTU Fødevarerinstitutionen har antaget, at koncentrationen i skimmelaget er den koncentration som er gældende rundt om hele kroppen på den badende, hvilket højst sandsynligt er en overestimering af koncentrationen, skimmelaget vil dog højst sandsynligt klæbe til huden.

Datagrundlaget for vurdering af dermal absorption af PFAS er usikkert da der er foretaget meget få undersøgelser af dette. DTU Fødevarerinstitutionen har ikke kunnet finde eksperimentelle data for dermal absorption af PFOS og den dermale absorption af PFOS er estimeret vha.  $K_p$  for PFOA med deraf følgende usikkerheder.

Graden af dermal absorption er afhængig af en lang række faktorer. Det vides ikke, hvordan naturlige overfladeaktive stoffer i skimmelaget potentielt kan påvirke den dermale absorption.

## Vurdering af behov for yderligere dermale studier

Der findes kun relativt begrænset viden om dermalt optag af PFAS og meget få eksperimentelle studier. De to eksperimentelle studier, som DTU Fødevareinstituttet har fundet og vurderet, er begge udført med PFOA og der er mangler i udførelsen af begge studier.

DTU Fødevareinstituttet vurderer, at der især i lyset af den mulige eksponering fra en lang række forbrugerartikler er god grund til at fokusere på at foretage yderligere studier af dermal absorption specielt i human hud. Se evt. Ragnarsdóttir et al 2022 for yderligere detaljer.

## Referencer

Casas et al (2020) Enrichment of perfluoroalkyl substances in the sea-surface microlayer and sea-spray aerosols in the Southern Ocean. *Environmental Pollution* 267, 115512. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.11551>

**EFSA (2020)** Panel on Contaminants in the Food Chain (EFSA CONTAM Panel), Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, Del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Leblanc JC, Nebbia CS, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Vleminckx C, Wallace H, Barregård L, Ceccatelli S, Cravedi JP, Halldorsson TI, Haug LS, Johansson N, Knutsen HK, Rose M, Roudot AC, Van Loveren H, Vollmer G, Mackay K, Riolo F, Schwerdtle T. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA J.* 2020 Sep 17;18(9):e06223. doi: 10.2903/j.efsa.2020.6223. PMID: 32994824; PMCID: PMC7507523.

Environmental Health Criteria (EHC) 235, Dermal Absorption, WHO 2006.

ENV/JM/MONO(2011)36 OECD GUIDANCE NOTES ON DERMAL ABSORPTION. Series on Testing and Assessment, No. 156.

Fasano et al (2005) Penetration of ammonium perfluorooctanoate through rat and human skin in vitro. *Drug Chem. Toxicol.* 28: 79–90.



Franko et al. (2012) Dermal Penetration Potential of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) in Human and Mouse Skin, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 75:1, 50-62.

OECD (2002) HAZARD ASSESSMENT OF PERFLUOROOCTANE SULFONATE (PFOS) AND ITS SALTS. ENV/JM/RD(2002)17/FINAL

Ragnarsdóttir et al (2022) Dermal uptake: An important pathway of human exposure to perfluoroalkyl substances? *Environ Pollut.* 2022 Aug 15;307:119478.

WHO Guidelines on recreational water quality. Volume 1: coastal and fresh waters. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

## Bilag 1:

Beregninger for worst case scenarie som følge af dermal absorption:

Den absorberede dosis per bade- begivenhed (DAevent) udregnes vha.

$$\text{formel 1: DAevent (mg/cm}^2\text{/event) = Kp * Cw * Tevent}$$

og den dermale dosis per dag beregnes vha.

**formel 2:**

$$\text{Dermal Absorberet dosis (ng/kg/dag) = (DAevent * EV * ED * EF * SA)/(BW * AT)}$$

**Parametre brugt ved udregning af den absorberede dosis per badebegivenhed:**

Kp	Hudpermeabilitet (cm/time)	6,0 x10 <sup>-5</sup> (beregnet for PFOA, Franko et al 2012).
Cw	Koncentration i overfladevandet (mg/cm <sup>3</sup> )	Laveste PFAS: 0,009 ng/cm <sup>3</sup> Højeste PFAS: 1 ng/cm <sup>3</sup>
Tevent	Timer med dermal kontakt med overfladevand per begivenhed	2
EV	Antal begivenheder per dag	1
ED	Eksponeringsvarighed (år)	1
EF	Eksponeringsfrekvens i dage/år	60
SA	Hudoverfladeareal (cm <sup>2</sup> )	Barn 3-6 årig
BW	Legemsvægt (kg)	Barn 3-6 årig

		18,6 kg
AT	Gennemsnitstid (dage)	60

Den absorberede dosis per begivenhed (mg/cm<sup>2</sup>/event) (= DAevent) blev for hhv. den laveste (= 9 ng/L) og den højeste (= 1000 ng/L) PFAS koncentration i skimmelaget beregnet til:

$$\text{DAevent (lav)} = 1,62 \cdot 10^{-6} \text{ mg/cm}^2/\text{event}$$

og

$$\text{DAevent (høj)} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ mg/cm}^2/\text{event}$$

Den dermale absorberede dosis (ng/kg/dag) blev tilsvarende for hhv. den laveste (= 9 ng/L) og den højeste (= 1000 ng/L) PFAS koncentration i skimmelaget beregnet til:

$$\text{DAD (lav)} = 6,62 \cdot 10^{-4} \text{ ng/kg/dag}$$

og

$$\text{DAD (høj)} = 7,35 \cdot 10^{-2} \text{ ng/kg/dag}$$