



Biotanorm voor PFAS in vis volgens de methodiek van de Kaderrichtlijn water

Doorvertaling van de EFSA-TWI over PFAS en duiding
van gemeten PFAS concentraties in vis uit Nederlands
oppervlaktewater

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

T 030 274 91 11
F 030 274 29 71
info@rivm.nl

Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Projectnummer	RIVM M/270071/01/AB
Auteur(s)	Els Smit
Status	DEFINITIEF

Samenvatting

De Europese Autoriteit voor Voedselveiligheid (EFSA) heeft een gezondheidskundige grenswaarde gepubliceerd voor vier perfluoralkylstoffen (PFAS). Deze bedraagt 4,4 ng/kg lichaamsgewicht per week. Met de rekenmethode van de Kaderrichtlijn Water levert dit een risicogrens in vis van 77 ng/kg vis (0,077 ng/g). Aan de hand van recente meetgegevens in vis is een eerste inschatting gemaakt of aan die waarde kan worden voldaan. Hierbij is gebruik gemaakt van de zogenoemde relatieve potentie factoren (RPF's) voor PFAS. Deze aanpak maakt gebruik van kennis over de relatieve toxiciteit van verschillende PFAS ten opzichte van PFOA. Hierdoor is het mogelijk om rekening te houden met de aanname dat ook andere PFAS dan de EFSA-4 bijdragen aan de toxiciteit en met de verwachting dat de mate van giftigheid verschilt tussen PFAS. Afhankelijk van de vissoort en het aantal PFAS waarnaar gekeken wordt, is de gemiddelde concentratie in vis 40 tot 1200 keer hoger dan de berekende risicogrens in vis. Of dit consequenties heeft voor de volksgezondheid, is op basis van het voorliggende onderzoek moeilijk te duiden. Het RIVM doet de aanbeveling om de innameschatting van PFAS via voedsel te actualiseren, zodat duidelijk wordt in welke mate voedsel bijdraagt aan de inname van PFAS. De rol van vis als bron van PFAS-inname is daarbij een belangrijk aandachtspunt, waarbij rekening moet worden gehouden met de herkomst van vis. Voor het uitwerken van een effectief handelingsperspectief, is ook inzicht nodig in de blootstelling vanuit andere bronnen, zoals drinkwater, consumentenproducten en lucht.

Inhoud

1	Inleiding	3
1.1	Aanleiding en doel van dit advies	3
1.2	Gezondheidskundige grenswaarden en waterkwaliteitsnormen ...	3
1.3	Huidige waterkwaliteitsnormen voor PFAS in Nederland	4
2	Vertaling EFSA-TWI naar een concentratie in biota	5
2.1	Korte achtergrond van de EFSA-TWI	5
2.2	Toepassing op verschillende PFAS	5
2.3	Afleiding MKN-biota	7
3	Vergelijking met meetgegevens in vis	8
3.1	Herkomst meetgegevens	8
3.2	Aantoonbaarheid van PFAS in vismonsters	8
3.3	Overzicht gemeten gehalten	9
3.4	Bijdrage van verschillende PFAS aan de som	11
3.5	Vergelijking gemeten gehalten met berekende MKN-biota	13
4	Discussie	15
4.1	Keuze van standaard visconsumptie en allocatiefactor	15
4.2	Aandeel van PFOS en andere PFAS	15
4.3	Betekenis overschrijding MKN-biota	16
5	Conclusies en aanbevelingen	18
	Literatuur	20
	Bijlage 1. Afkortingen PFAS	22
	Bijlage 2. Relative Potency Factors voor PFAS	23
	Bijlage 3. Meetgegevens PFAS in vis en schaaldiermonsters	24

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel van dit advies

In september 2020 heeft de Europese Autoriteit voor Voedselveiligheid (EFSA; *European Food Safety Authority*) een opinie gepubliceerd over de risico's van perfluoralkyl-stoffen (PFAS) in voedsel (EFSA, 2020). In deze opinie presenteert EFSA een gezondheidkundige grenswaarde voor de som van vier PFAS, in de vorm van een Toelaatbare Wekelijkse Inname (TWI) voor PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS¹. In dit advies zijn deze vier PFAS verder aangeduid als de 'EFSA-4'. Na evaluatie heeft het RIVM besloten om de EFSA-TWI te gebruiken als basis voor gezondheidkundige beoordelingen van PFAS (RIVM, 2020a,b).

Gezondheidkundige grenswaarden worden in diverse stoffen- en beleidskaders gebruikt als basis voor risicogrenzen en normen. Dat geldt ook voor oppervlaktewater. In Nederland zijn waterkwaliteitsnormen vastgesteld voor twee van de EFSA-4, namelijk PFOS en PFOA. Deze normen zijn gebaseerd op gezondheidkundige grenswaarden die met de huidige EFSA-opinie worden herzien.

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft het RIVM opdracht gegeven om uit te werken hoe de EFSA-TWI kan worden vertaald naar waterkwaliteitsnormen voor PFAS. Dit gebeurt in een aantal opeenvolgende notities. In deze eerste notitie geeft het RIVM advies over een risicogrens in vis op basis van de EFSA-TWI. In deze notitie wordt ook een eerste vergelijking gemaakt van deze risicogrens met recente meetgegevens in vis om een inschatting te geven of daaraan kan worden voldaan. Hiernaast zal RIVM adviseren over de vertaling van de EFSA-TWI naar drinkwaterrichtwaarden (RIVM, 2021b). In latere adviezen zal het RIVM ingaan op de mogelijkheden om de risicogrens in biota te vertalen naar concentraties in oppervlaktewater.

In deze notitie worden de termen 'biotanorm' en 'MKN-biota' gebruikt. Er is voor gekozen om zoveel mogelijk aan te sluiten bij de terminologie van de Kaderrichtlijn Water. De hier afgeleide MKN-biota is echter een advieswaarde en heeft geen formele status. In Nederland is het ministerie van IenW verantwoordelijk voor het vaststellen van waterkwaliteitsnormen.

1.2 Gezondheidkundige grenswaarden en waterkwaliteitsnormen

De waterkwaliteitsnormen volgens de methodiek van de Kaderrichtlijn Water (KRW) houden rekening met drie blootstellingsroutes: directe ecotoxiciteit voor dieren en planten die in het water leven, doorvergiftiging van visetende vogels en zoogdieren, en blootstelling van mensen via het eten van vis of visproducten, schaal- of schelpdieren. Gemakshalve scharen we die in dit advies allemaal onder de noemer 'vis'. De laagste waarde bepaalt de hoogte van de norm. De

¹ zie Bijlage 1 voor de volledige namen en formules

route humane visconsumptie is de kritische route voor de PFAS waarvoor tot nu toe waterkwaliteitsnormen zijn vastgesteld in Nederland (zie 1.3). De berekening voor humane visconsumptie levert de concentratie in vis die bij levenslange dagelijkse inname niet tot gezondheidseffecten leidt. Deze veilige concentratie in vis wordt aangeduid als 'MKN-biota'.

De KRW geeft ook de mogelijkheid om een biotanorm om te rekenen naar een bijbehorende concentratie in water. Dit wordt gedaan met behulp van gegevens over de opname (bioaccumulatie) van de desbetreffende stof door vissen uit het water. Deze opname wordt uitgedrukt in een bioaccumulatiefactor (BAF). Het resultaat van deze berekening is de concentratie in water die veilig is als mensen daar levenslang vis uit zouden eten (EC, 2018). De afleiding van BAF's voor PFAS vraagt om een evaluatie van een groot aantal literatuurstudies. Het huidige advies gaat daarom alleen in op de MKN-biota, de vertaling naar concentraties in water volgt in later stadium.

1.3 Huidige waterkwaliteitsnormen voor PFAS in Nederland

Er gelden in Nederland waterkwaliteitsnormen voor drie PFAS: PFOS, PFOA en de GenX-stoffen (HFPO-DA).

Voor PFOS gelden de Europese biota- en waternorm uit het *Besluit kwaliteitseisen en monitoring water* (BKMW). De huidige biotanorm voor PFOS is 9,1 µg/kg vis (natgewicht). De bijbehorende waterkwaliteitsnorm, uitgedrukt als concentratie in water, is 0,65 ng/L voor zoet water en 0,13 ng/L voor zout water. Deze waarden zijn gebaseerd op een gezondheidkundige grenswaarde van EFSA uit 2008, die EFSA nu heeft vervangen door de nieuwe TWI.

De huidige waterkwaliteitsnorm voor PFOA is beleidsmatig vastgesteld als 48 ng/L en geldt voor zoet en zout water. De onderliggende biotanorm is 1,5 µg/kg vis (Verbruggen et al., 2017). Deze is gebaseerd op de gezondheidkundige grenswaarde van het RIVM uit 2016 (Zeilmaker & Janssen, 2016).

Voor de GenX-stoffen heeft de minister een toetswaarde van 118 ng/L geadviseerd voor de beoordeling van waterkwaliteit. Deze waarde is berekend met behulp van een acceptabele concentratie in vis van 2,6 µg/kg vis (RIVM, 2018), die is gebaseerd op een gezondheidkundige grenswaarde van het RIVM uit 2016 (Janssen, 2016). De GenX-stoffen zijn geen onderdeel van de EFSA-4.

2 Vertaling EFSA-TWI naar een concentratie in biota

2.1 Korte achtergrond van de EFSA-TWI

Voor de som van 4 PFAS heeft EFSA een Toelaatbare Wekelijkse Inname (TWI) afgeleid van 4,4 ng/kg lichaamsgewicht per week op basis van een kritische inname van 0,63 ng/kg lichaamsgewicht per dag (EFSA, 2020). EFSA's uitgangspunt (*point of departure*, PoD) is een bloedserumspiegel voor de som van de EFSA-4 van 17,5 ng/mL bloedserum in kinderen die blootgesteld zijn via borstvoeding gedurende 1 jaar. Boven deze concentratie in bloedserum kunnen (nadelige) effecten op de immuniteit van de kinderen niet worden uitgesloten. Deze concentratie in het bloedserum is vertaald naar de hoeveelheid die volwassenen langdurig dagelijks via voedsel mogen binnenkrijgen, zonder dat het bloedserum van borstgevoede kinderen de kritische waarde voor immuneeffecten bereikt. Die vertaling is gedaan met behulp van gegevens die de opname en verdeling van deze 4 PFAS in het lichaam van moeder en kind beschrijven. Met deze gegevens is de overdracht berekend van PFAS vanuit voedsel naar het bloedserum van de moeder en van daaruit via de moedermelk naar het lichaam en bloedserum van het kind.

2.2 Toepassing op verschillende PFAS

2.2.1 *Meer milieurelevante PFAS dan EFSA-4*

EFSA heeft gekozen voor een gezondheidkundige grenswaarde voor de som van PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS. Deze PFAS zijn als som beoordeeld omdat EFSA ervan uitgaat dat deze vier PFAS hetzelfde kritische effect veroorzaken en omdat dit de voornaamste PFAS zijn die in bloed van mensen zijn aangetroffen. De EFSA-4 zijn niet per definitie ook de meest relevante PFAS voor andere blootstellingsroutes, milieucompartimenten en beleidskaders. Met de huidige analysemethoden worden in bodem, grondwater, drinkwater, oppervlaktewater, vis en ander voedsel zo'n 10 tot 20 verschillende PFAS aangetoond (Gebink et al., 2017; Wintersen et al., 2020; Zafeiraki et al., 2019). Omdat verschillende PFAS naar verwachting een vergelijkbaar werkingsmechanisme hebben, is het uitgangspunt dat ook die andere PFAS in meerdere of mindere mate bijdragen aan de toxiciteit van het totale mengsel. Daarom is er in de praktijk behoefte aan mogelijkheden om een bredere groep PFAS te beoordelen dan enkel de EFSA-4. Andersom kunnen in bepaalde situaties juist individuele risicogrenzen of normen nodig zijn, bijvoorbeeld als de EFSA-4 niet allemaal voorkomen of gemeten zijn.

2.2.2 *Relatieve potentie ten opzichte van PFOA*

Het RIVM heeft een methode ontwikkeld om de EFSA-TWI te vertalen naar risicogrenzen, waarbij ook een aantal andere PFAS kunnen worden meegenomen dan alleen de EFSA-4 (RIVM, 2021a). De aanpak is vergelijkbaar met de werkwijze voor dioxines en maakt gebruik van kennis over de relatieve toxiciteit van verschillende PFAS ten opzichte van PFOA. Deze zogenoemde 'Relative Potency Factors' zijn beschikbaar voor 23 PFAS (Bil et al., 2021; Zeilmaker et al., 2018). Voor deze PFAS kan de concentratie in een monster worden omgerekend in equivalente

hoeveelheden PFOA (PFOA-equivalenten, PEQ). De som van de PEQ (Σ PEQ) kan worden vergeleken met een norm of risicogrens, uitgedrukt op basis van PFOA. Als gezondheidskundige risicogrens voor de Σ PEQ wordt de EFSA-TWI gebruikt. Hier is voor gekozen, omdat de effecten in de onderliggende kritische studie met PFOA zijn geassocieerd en niet met de andere drie PFAS. Concreet betekent dit dat we de EFSA-TWI (en de daaruit afgeleide dagelijkse inname) geldig verklaren voor de situatie dat mensen enkel en alleen aan PFOA zouden worden blootgesteld. Als er (daarnaast) een of meer andere PFAS aanwezig zijn, hangt het af van de RPF's of de totale toxiciteit van het mengsel groter of kleiner wordt dan van dezelfde concentratie van PFOA alleen. In het hypothetische voorbeeld hieronder wordt de werking van de RPF-methode gedemonstreerd, de RPF's staan samengevat in Bijlage 2.

Voorbeeld RPF-methode

Er zijn drie monsters met PFAS. De hypothetische risicogrens van PFOA in deze willekeurige matrix is 1 ng/g.

In monster A zitten de stoffen PFBS, PFHxS, PFBA en PFHxA in gelijke concentraties van 1 ng/g. De RPF's variëren van 0,001 tot 0,6, de stoffen zijn dus 1000 tot 1,7 keer minder potent dan PFOA. De Σ PEQ is 0,661. De totale PFAS-concentratie is 4 ng/g, maar monster A levert minder risico dan een monster met enkel 1 ng PFOA/g.

In een tweede monster B zitten PFUnDA, PFDoDA, PFOS en PFNA in gelijke concentraties van 0,25 ng/g. Met RPF's van 2 tot 10, zijn deze stoffen 2 tot 10 keer potenter dan PFOA. Deze vier PFAS leveren een groter risico dan monster A, ondanks dat de totale PFAS-concentratie lager is.

In een derde monster C zitten dezelfde stoffen als in monster B en de totale concentratie is 2 keer zo hoog. Maar omdat de verhoudingen van de vier stoffen anders zijn, levert dit mengsel toch minder risico dan monster B.

Monster	Stof	Concentratie [ng/g]	RPF	PEQ [ng/g]
A	PFBS	1	0,001	0,001
	PFHxS	1	0,6	0,6
	PFBA	1	0,05	0,05
	PFHxA	1	0,01	0,01
	$\Sigma = 4$			Σ PEQ = 0,661
B	PFUnDA	0,25	4	1
	PFDoDA	0,25	3	0,75
	PFOS	0,25	2	0,5
	PFNA	0,25	10	2,5
	$\Sigma = 1$			Σ PEQ = 4,75
C	PFUnDA	0,001	4	0,004
	PFDoDA	0,001	3	0,003
	PFOS	1,997	2	3,994
	PFNA	0,001	10	0,01
	$\Sigma = 2$			Σ PEQ = 4,01

2.3 Afleiding MKN-biota

Voor het berekenen van een milieukwaliteitsnorm in biota (MKN-biota) gebruikt de KRW-methodiek waar mogelijk het Europese wettelijke maximaalgehalte (ML) uit EC Verordening 1881/2006. Als er, zoals voor PFAS, geen ML is vastgesteld, wordt de gezondheidkundige grenswaarde gebruikt, uitgedrukt als toelaatbare dagelijkse inname (TDI) of omgerekend vanuit een andere gezondheidkundige grenswaarde naar een dagelijkse inname. Deze waarde wordt omgerekend naar een concentratie in vis, schaal- of schelpdieren (hier aangeduid als 'vis'). Daarbij gaat men uit van een dagelijkse visconsumptie van 0,115 kg (versgewicht) en een lichaamsgewicht van 70 kg. Analoog aan de benadering van de WHO voor drinkwater, mag de inname via vis voor maximaal 20% bijdragen aan de totale inname (EC, 2018).

$$\text{MKN-biota (als concentratie in vis)} = \frac{\frac{\text{TWI}}{7} \times 0,2 \times 70}{0,115}$$

Met de EFSA-TWI van 4,4 ng/kg lichaamsgewicht per dag, wordt de MKN-biota berekend als 77 ng/kg vis (versgewicht). Dit komt overeen met 0,077 ng/g vis. Zoals uitgelegd in paragraaf 2.2 is deze waarde van toepassing op de som van de PFAS in een monster, uitgedrukt als PFOA-equivalenten (Σ PEQ).

Hierbij wordt aangetekend dat er naar aanleiding van de EFSA-opinie op Europees niveau discussies zijn gestart om wettelijke maatregelen voor PFAS in voedsel te overwegen. Gegeven de ervaringen met andere contaminanten, is de verwachting dat het tot enkele jaren kan duren voordat een ML voor PFAS op Europees niveau is vastgesteld (RIVM, 2020c). Bij een eventuele implementatie van een ML als MKN-biota, moet ook rekening worden gehouden met de route doorvergiftiging van vogels en zoogdieren via het eten van vis. Bij het toepassen van een ML, moet namelijk worden bekeken of die voldoende beschermend is voor doorvergiftiging (EC, 2018). Verder wordt opgemerkt dat er op Europees niveau wordt gewerkt aan een dossier voor PFAS in het kader van de herziening van de Richtlijn prioritaire stoffen onder de KRW. Of, en zo ja, hoe deze Europese trajecten de keuze voor een MKN-biota beïnvloeden, is een beleidsmatige overweging.

3 Vergelijking met meetgegevens in vis

3.1 Herkomst meetgegevens

Meetgegevens van PFAS in wildgevangen vis zijn opgevraagd uit de ChemKap-database van het Kwaliteitsprogramma Agrarische Producten (KAP). Deze database bevat meetgegevens van contaminanten in voedsel, gemeten binnen de monitoringsprogramma's van het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit (LNV). Er zijn meetgegevens van PFAS in paling, dit betreft 22 mengmonsters van dieren die in 2019 zijn gevangen op diverse locaties in Nederland (Leenders et al., 2020a). De database bevat ook meetgegevens van PFAS in vijf monsters van Chinese wolhandkrab uit 2019 (Leenders et al., 2020b). Verder zijn PFAS-metingen beschikbaar voor 19 vis- en schaaldiermonsters uit de Noordzee en Atlantische Oceaan uit 2019. De metingen uit de ChemKap-database betreffen 16 PFAS (15 voor Chinese wolhandkrab), waaronder de EFSA-4. Voor paling vermeldt de rapportage van Leenders et al. (2020a) ook meetgegevens voor HFPO-DA (GenX), maar die stof is in geen van de monsters aangetoond.

Als tweede bron is gebruik gemaakt van gegevens van het biotamonitoringsprogramma van Rijkswaterstaat (Kotterman et al., 2020; Sneekes & Kotterman, 2020). Dit programma is onder andere ingericht met het oog op de meetverplichtingen vanuit de KRW en andere internationale verdragen. Er zijn gegevens van metingen in blankvoorn uit 2017-2019 (twee tot vier monsters per jaar) en voor bot uit 2018 (vijf monsters). Deze monsters zijn geanalyseerd op dezelfde set van 16 PFAS.

3.2 Aantoonbaarheid van PFAS in vismonsters

3.2.1 Gevoeligheid meetmethoden

In de opdrachtoomschrijving heeft het ministerie van IenW gevraagd om na te gaan of de huidige analysemethoden gevoelig genoeg zijn om stoffen op het niveau van de biotanorm te meten. De concentratie in vis die betrouwbaar kan worden bepaald wordt aangeduid als de *limit of quantification* (LOQ). Deze is aangegeven met een <-teken. Voor PFOA, PFNA en PFHxS zijn de individuele LOQ's in paling, Chinese wolhandkrab en zeevis hoger dan de hier berekende MKN-biota van 0,077 ng/g vis. Dit betekent dat individuele PFAS niet op dat niveau kunnen worden gemeten. In bot uit het meetprogramma van Rijkswaterstaat kunnen PFNA en PFHxS doorgaans wel op dat niveau worden gemeten, maar PFOA niet. De LOQ voor PFOS in zeevis is voldoende laag (0,03 ng/g). De LOQ van PFOS in paling, blankvoorn en bot is niet vermeld, omdat PFOS altijd is aangetroffen.

Als we rekening houden met de RPF, zijn de LOQ's meestal niet laag genoeg om individuele PFAS op het niveau van de MKN-biota te meten. PFNA heeft een RPF van 10, wat betekent dat de MKN-biota van 0,077 ng PEQ/g vis al wordt bereikt bij 0,0077 ng PFNA/g vis (7,7 pg/g).

Afhankelijk van het type monster is de LOQ van PFNA 0,03-0,2 ng/g vis en dat is ordegrroottes hoger. Omdat PFAS altijd in combinatie voorkomen en de biotanorm dan wordt vergeleken met de som PEQ, is een vergelijking met de LOQ voor individuele PFAS niet zinvol. Algemeen kan worden gesteld dat LOQ's in de pg/g zouden moeten liggen.

3.2.2

Omgaan met metingen <LOQ

In navolging van Zafeiraki et al. (2019) zijn in dit advies metingen onder de LOQ meegenomen als 0-waarden bij het berekenen van de gemiddelden en de som-concentratie. Dit zogenoemde 'lowerbound' principe zal een onderschatting van de metingen leveren. Een stof kan immers wel aanwezig zijn, maar in lagere concentraties dan wat met de gebruikte methode kan worden gemeten. Als alternatief wordt vaak gerekend met de LOQ ('upperbound') of de helft van de LOQ ('mediumbound'). De LOQ verschilt tussen stoffen en typen monsters en tussen laboratoria en kan in de loop van de tijd veranderen. Op deze manier kunnen verschillen in de analytische methode van invloed zijn op de berekening van somconcentraties en gemiddelden. Als we alleen kijken naar de EFSA-4, maakt het niet veel uit of en hoe metingen onder de LOQ worden meegenomen, omdat de concentraties van PFOS relatief hoog zijn en de LOQ's van de andere drie vrij laag. Voor de RWS-monsters van blankvoorn en bot geldt dit ook voor de andere PFAS (zie paragraaf 3.3). In paling en Chinese wolhandkrab zijn de LOQ's van PFBA, PFPA, PFTrDA en PFTeDA met 2-15 ng/g echter relatief hoog, in de wolhandkrab is PFDA ook moeilijk te meten (LOQ 5 ng/g). Voor deze monsters zouden (verschillen in) gevoeligheid van de meetmethodes relatief veel invloed hebben op de som-berekeningen. Dat maakt de uitkomsten voor de totale som van alle PFAS erg onzeker en daarom is voor dit advies gekozen voor de 'lowerbound' methode. Opgemerkt wordt dat voor andere compartimenten andere keuzes mogelijk zijn, afhankelijk van desbetreffende dataset.

3.3

Overzicht gemeten gehalten

In de onderstaande paragrafen zijn de resultaten van de PFAS-metingen samengevat voor de diverse datasets. De gemeten concentraties van de individuele stoffen staan in Bijlage 2. De concentraties zijn gegeven voor de som van de EFSA-4 en het totaal van de 15-17 gemeten PFAS², zowel gebaseerd op gemeten ng/g als uitgedrukt in PFOA-equivalenten (PEQ). Zoals hierboven aangegeven, zijn concentraties <LOQ gelijkgesteld aan 0 ng/g.

3.3.1

Paling

De dataset voor paling betreft 22 mengmonsters van paling die in 2019 is gevangen op 21 verschillende locaties in Nederland (één locatie is dubbel bemonsterd). Onderstaande tabel vat de resultaten van de metingen samen. Details zijn te vinden in Bijlage 3, Tabel B3.1.

² Van de 16 PFAS is PFBS niet geanalyseerd in de Chinese wolhandkrab, in paling is GenX als extra PFAS geanalyseerd (maar niet aangetoond).

Tabel 1. Samenvatting van PFAS-metingen in mengmonsters van paling, gevangen in 2019 op verschillende locaties in Nederland. Gehalten van de EFSA-4 en totaal PFAS zijn vermeld zoals gemeten en als PFOA-equivalenten (PEQ). Gegevens uit ChemKap (Leenders et al., 2020a). Details in Bijlage 3.

PFAS [ng/g]	Minimum	Maximum	Gemiddelde
ΣEFSA-4	4,0	25	14
ΣEFSA-4 [PEQ]	7,0	53	30
ΣPFAS-totaal	4,0	42	22
ΣPFAS-totaal [PEQ]	7,0	140	67

3.3.2 Chinese wolhandkrab

De dataset voor Chinese wolhandkrab betreft mengmonsters van vlees uit het lijf van krabben op vijf locaties in Nederland. De meetresultaten staan in onderstaande tabel samengevat. Voor details, zie Bijlage 3, Tabel B3.2.

Tabel 2. Samenvatting van PFAS-metingen in mengmonsters van Chinese wolhandkrab, gevangen in 2019 op verschillende locaties in Nederland. Gehalten van de EFSA-4 en totaal PFAS zijn vermeld zoals gemeten en als PFOA-equivalenten (PEQ). Gegevens uit ChemKap (Leenders et al., 2020b). Details in Bijlage 3.

PFAS [ng/g]	Minimum	Maximum	Gemiddelde
ΣEFSA-4	5,8	21	9,9
ΣEFSA-4 [PEQ]	12	46	22
ΣPFAS-totaal	6,8	25	12
ΣPFAS-totaal [PEQ]	15	60	31

3.3.3 Vis- en schaaldiermonsters uit de Noordzee en Atlantische Oceaan

De dataset voor de vis- en schaaldiermonsters betreft 19 monsters van vissen, krab en garnalen (al dan niet gekookt) gevangen op verschillende locaties in de Noordzee en in de Atlantische Oceaan ten westen van Ierland. De gemeten concentraties staan in Tabel 3 samengevat, details zijn te vinden in Bijlage 3, Tabel B3.3.

Tabel 3. Gemeten gehalte PFAS in vis- en schaaldiermonsters gevangen in 2019 op verschillende locaties in de Noordzee en Atlantische Oceaan. Gehalten van de EFSA-4 en totaal PFAS zijn vermeld zoals gemeten en als PFOA-equivalenten (PEQ). Gegevens uit ChemKap. Details in Bijlage 3.

PFAS [ng/g]	Minimum	Maximum	Gemiddelde
ΣEFSA-4	0	3,8	1,1
ΣEFSA-4 [PEQ]	0	11	3,0
ΣPFAS-totaal	0	3,8	1,2
ΣPFAS-totaal [PEQ]	0	16	4,1

3.3.4 Blankvoorn en bot

De dataset voor blankvoorn en bot bestaat uit verschillende aantallen monsters over de jaren 2017 – 2019, gevangen in verschillende KRW-waterlichamen met zoet, brak als zout water. Voor deze rapportage zijn de gegevens gebruikt uit de jaren met de meeste monsters: 2019 voor blankvoorn en 2018 voor bot. De meetgegevens zijn samengevat in Tabel 3 en 4. Details zijn te vinden in Bijlage 3, Tabel B3.4 en B3.5.

Tabel 4. Gemeten gehalte PFAS in blankvoorn, gevangen in 2019 op verschillende locaties in Nederland. Gehalten van de EFSA-4 en totaal PFAS zijn vermeld zoals gemeten en als PFOA-equivalenten (PEQ). Gegevens uit Sneekes & Kotterman (2020). Details in Bijlage 3.

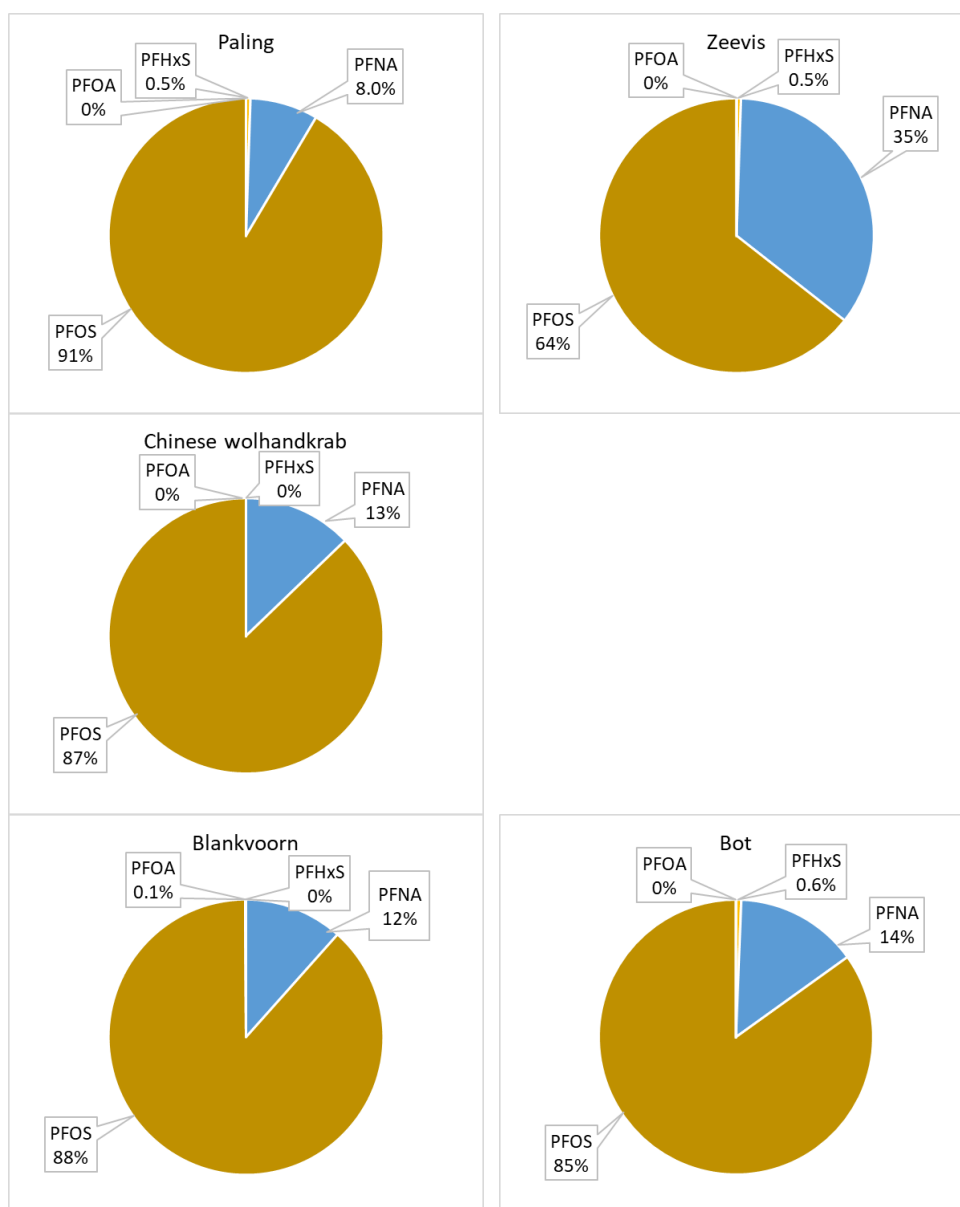
PFAS [ng/g]	Minimum	Maximum	Gemiddelde
ΣEFSA-4	2,8	53	22
ΣEFSA-4 [PEQ]	6,4	117	47
ΣPFAS totaal	5,9	65	28
ΣPFAS totaal [PEQ]	28	205	93

Tabel 5. Gemeten gehalte PFAS in bot, gevangen in 2018 op verschillende locaties in Nederland. Gehalten van de EFSA-4 en totaal PFAS zijn vermeld zoals gemeten en als PFOA-equivalenten (PEQ). Gegevens uit Sneekes & Kotterman (2020). Details in Bijlage 3.

PFAS [ng/g]	Minimum	Maximum	Gemiddelde
ΣEFSA-4	7,2	55	25
ΣEFSA-4 [PEQ]	21	115	55
ΣPFAS totaal	12	61	32
ΣPFAS totaal [PEQ]	45	145	88

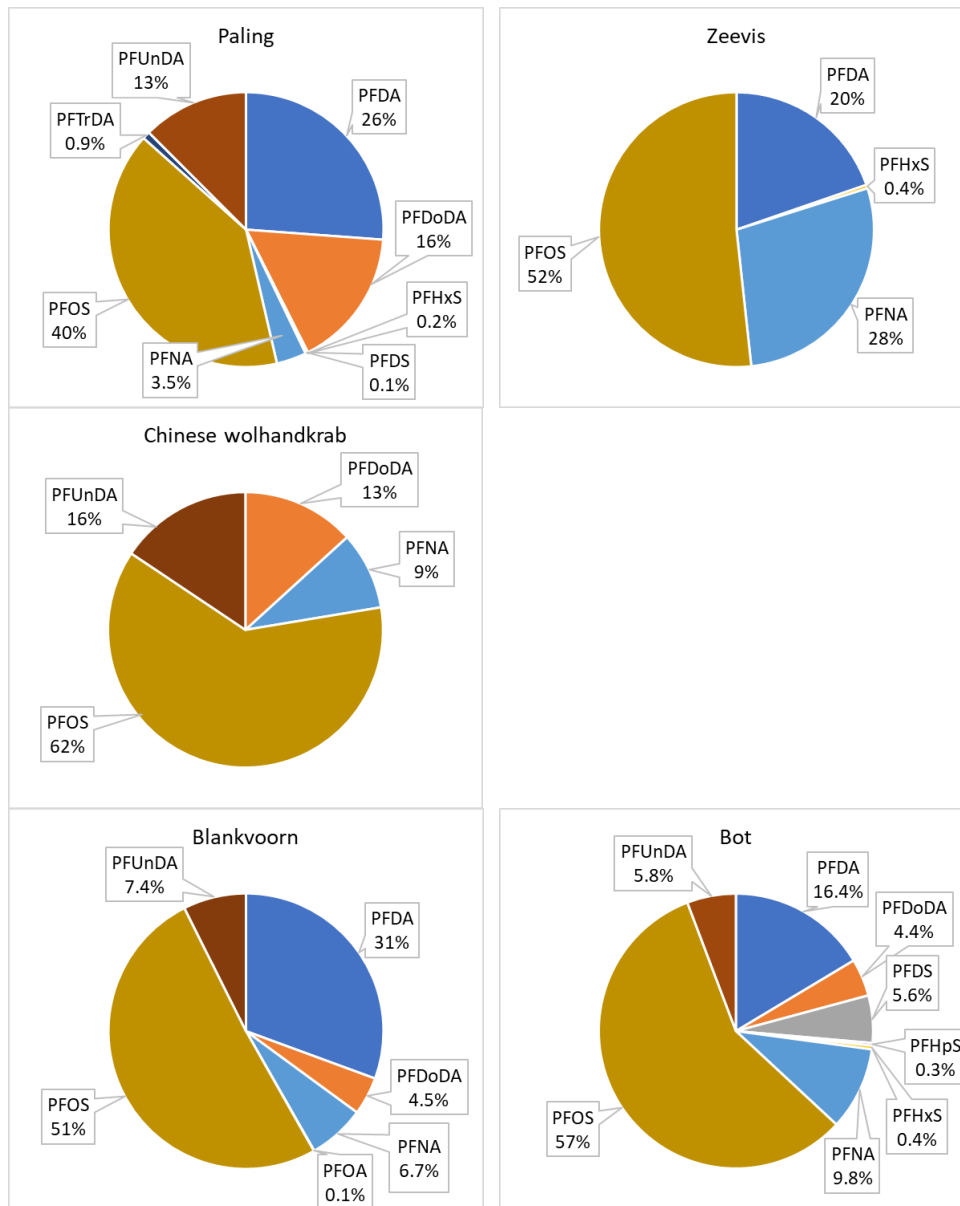
3.4 Bijdrage van verschillende PFAS aan de som

Figuur 1 laat voor de verschillende monstertypen zien hoeveel PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS bijdragen aan de ΣPEQ van de EFSA-4. PFOA is in geen van de monsters aangetoond, met uitzondering van één van de blankvoornmonsters. Het gehalte PFOS in individuele palingmonsters is 59-100% van de ΣPEQ voor de EFSA-4 (gemiddeld 91%). De andere drie EFSA-PFAS (PFOA, PFNA en PFHxS) zijn niet of in relatief lage concentraties aangetoond. De andere vissoorten geven een vergelijkbaar beeld, alleen in zeevis is het aandeel PFOS met 64% lager vanwege de grotere hoeveelheid PFNA.



Figuur 1. Gemiddelde bijdrage van aangetroffen PFAS aan de Σ PEQ van de EFSA-4 in paling, Chinese wolhandkrab, zeevis, blankvoorn en bot. PFOA is alleen aangetoond in één van de vier blankvoornmonsters.

Figuur 2 laat de verdeling van alle aangetoonde PFAS zien ten opzichte van de totale Σ PEQ. Ook hier levert PFOS het grootste aandeel in de Σ PEQ, maar ook andere PFAS dan de EFSA-4 leveren een substantiële bijdrage aan de totale Σ PEQ, met name PFDA, PFUnDA en PFDoDA. Dit komt doordat ze in enkele ng/g worden gemeten en een relatief hoge RPF hebben. Hierbij moet wel worden bedacht dat metingen onder de LOQ niet zijn meegenomen in de berekeningen. Hierdoor zijn de gehalten van PFBA, PFPA, PFTrDA en PFTeDA in paling en Chinese wolhandkrab onderschat, in laatstgenoemde soort geldt dit ook voor PFDA.

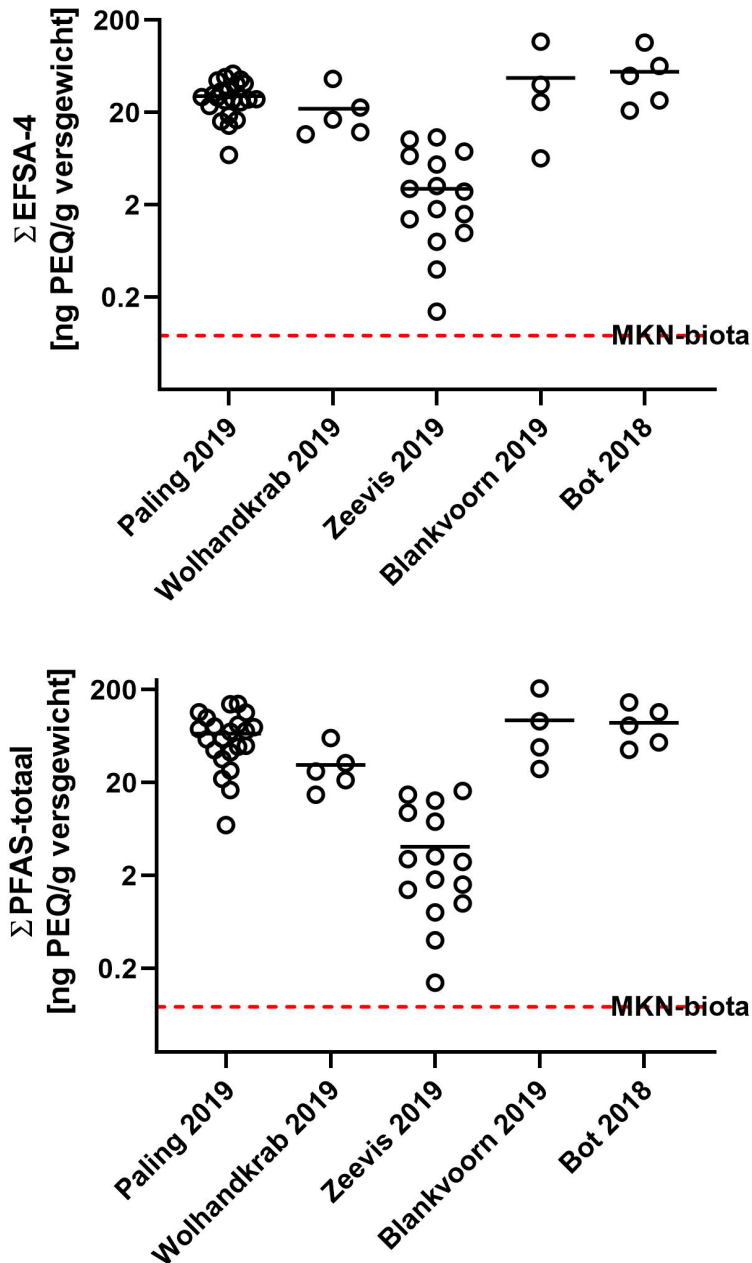


Figuur 2. Gemiddelde bijdrage van aangetroffen PFAS aan de Σ PEQ van aangetoonde PFAS in paling, Chinese wolhandkrab, zeevis, blankvoorn en bot. Niet aangetroffen PFAS zijn niet meegenomen in de berekeningen.

3.5 Vergelijking gemeten gehalten met berekende MKN-biota

In Figuur 1 staan de metingen van de Σ EFSA-4 (boven) en Σ PFAS-totaal (onder) in vis en schaaldieren weergegeven samen met de in paragraaf 2.3 berekende MKN-biota van 77 ng PEQ/kg vis (0,077 ng PEQ/g vis). Met uitzondering van vier zeevismonsters waarin de EFSA-4 niet werden aangetoond, zitten alle metingen van zowel de Σ EFSA-4 als de Σ PFAS-totaal boven de MKN-biota die volgt uit de EFSA-TWI. De concentraties van PFAS in zeevis zijn lager dan in zoet- en brakwatervis. De gemiddelde gemeten waarde van de Σ EFSA-4 in de zeevismonsters is ongeveer 40 keer hoger dan de berekende MKN-biota, voor paling is dat bijna 400 keer, voor wolhandkrab 285 keer en voor blankvoorn en

bot ruim 600 en ruim 700 keer. Voor de Σ PFAS-totaal zijn de overschrijdingsfactoren respectievelijk 50 (zeevis), 800 (paling), 400 (wolhandkrab) en 1000 (blankvoorn en bot).



Figuur 3. Overzicht van meetgegevens van de Σ EFSA-4 (boven) en Σ PFAS-totaal (onder) in vis en schaaldieren, uitgedrukt als PFOA-equivalenten (PEQ). De individuele monsters zijn weergegeven, zwarte lijnen zijn de gemiddelde concentraties, de rode stippellijn is de berekende MKN-biota van 77 ng/kg vis (0,077 ng PEQ/g vis). Er zijn vier zeevismonsters waarin geen enkele PFAS is aangetoond, deze zijn niet in de figuur opgenomen maar tellen wel mee in het gemiddelde.

4 Discussie

4.1 Keuze van standaard visconsumptie en allocatiefactor

De hoogte van de MKN-biota is niet alleen afhankelijk van de TDI, maar ook van de andere aannames in de berekening, zoals de hoeveelheid vis die dagelijks wordt gegeten en de mate waarin vis 'mag' bijdragen aan de totale inname (allocatiefactor).

De standaard visconsumptie volgens de KRW-methodiek is 115 g per dag. Dit komt goed overeen met de gemiddelde consumptie van Nederlandse visliefhebbers. Volgens de voedselconsumptiepeiling (VCP 2012-2016) is deze namelijk 117 gram per dag voor alle soorten vis en visproducten, en 111 gram per dag specifiek voor zoetwatervis (Van Rossum et al., 2020). Gerekend over de hele Nederlandse bevolking, is de gemiddelde visconsumptie lager dan de KRW aanneemt, namelijk 17 gram per dag voor alle vis en 2,4 gram per dag voor zoetwatervis.

De standaard allocatiefactor van 20% houdt rekening met het feit dat mensen chemische stoffen ook via andere bronnen dan vis binnenkrijgen. Volgens de KRW-methodiek kan de allocatiefactor voor visconsumptie worden verhoogd tot maximaal 60%, als gegevens over voedselinname daar aanleiding voor geven. Als minimum wordt de 20% aangehouden. Een lagere waarde leidt tot de tegenstrijdige situatie dat de MKN-biota strenger wordt, terwijl tegelijkertijd het effect van zo'n strengere norm beperkt is vanwege de relatief kleine bijdrage aan de totale inname. Voor de Σ EFSA-4 zijn vis en visproducten een grote bron, maar eieren, vlees en fruit en producten die daarvan zijn gemaakt leveren ook een belangrijke bijdrage aan de blootstelling, evenals drinkwater (EFSA, 2020). Daarnaast moet rekening worden gehouden met blootstelling via andere routes, zoals lucht. Daarom is er geen aanleiding om de allocatiefactor van 20% te verruimen.

4.2 Aandeel van PFOS en andere PFAS

In alle monsters levert PFOS de grootste bijdrage aan de concentratie van de EFSA-4. Het gehalte PFOS in individuele palingmonsters is 59-100% van de Σ PEQ voor de EFSA-4 (gemiddeld 91%). De andere drie EFSA-PFAS (PFOA, PFNA en PFHxS) zijn niet of in relatief lage concentraties aangetoond. De andere vissoorten geven een vergelijkbaar beeld, alleen in zeevis is het aandeel met 64% lager vanwege de grotere hoeveelheid PFNA (zie paragraaf 3.4, Figuur 1). De overschrijding van de MKN-biota door de Σ EFSA-4 is dan ook vrijwel volledig toe te schrijven aan PFOS. Uit de toetsing van biotamonsters door Sneekes & Kotterman (2020) blijkt dat de meeste monsters al niet voldeden aan de veel hogere huidige wettelijke KRW-biotanorm voor PFOS van 9,1 μ g/kg vis (9,1 ng/g vis). Deze KRW-norm is ruim 100 keer hoger dan de hier berekende MKN-biota op basis van de nieuwe EFSA-TWI en houdt geen rekening met de potentie van PFOS.

PFOA en kortketenige PFAS worden niet of nauwelijks aangetroffen in wildgevangen vis. Er worden echter wel langketenige PFAS aangetoond die niet onder de EFSA-4 vallen (zie paragraaf 3.4, figuur 2). In paling zijn dat vooral PFDODA, PFUnDA en PFDA en in een enkel geval PFTrDA en PFDS (Leenders et al., 2020a). PFDODA en PFUnDA zijn ook gevonden in Chinese wolhandkrab (Leenders et al., 2020b) en in blankvoorn en bot is een vergelijkbaar patroon zichtbaar (Sneekes & Kotterman, 2020). Hoewel PFOS ook hier het grootste aandeel heeft in het PFAS-mengsel (gemiddeld 40-62% van Σ PEQ), leveren andere PFAS dan de EFSA-4 een substantiële bijdrage aan de Σ PEQ. Dit laat zien dat het belangrijk is om deze PFAS ook mee te nemen in een beoordeling. Hierbij moet worden bedacht dat metingen onder de LOQ niet zijn meegenomen in de berekeningen. Dit leidt tot een onderschatting van de totale hoeveelheid PFAS en Σ PEQ, want niet-aangetoonde PFAS kunnen wel aanwezig zijn. Dit speelt vooral bij paling en Chinese wolhandkrab, omdat de LOQ's daar hoger zijn dan in zeevis, blankvoorn en bot. Zo lijkt PFDA niet aanwezig in Chinese wolhandkrab, maar de aantoonbaarheidsgrens is met 5 ng/g veel hoger dan in de andere vissoorten. Voor een goed beeld is het belangrijk om de analysemethoden verder te verbeteren, zodat zoveel mogelijk PFAS op een zo laag mogelijk niveau kunnen worden aangetoond.

4.3 Betekenis overschrijding MKN-biota

Uit het voorgaande blijkt dat gemeten concentraties van de EFSA-4 in vis de berekende MKN-biota van 77 ng PEQ/kg vis ruimschoots overschrijden. Vanzelfsprekend is de overschrijding nog hoger als ook rekening wordt gehouden met de PFAS waarvoor een RPF beschikbaar is. De berekeningswijze van de MKN-biota volgt uit het beschermdoel van de KRW, namelijk dat de kwaliteit van het oppervlaktewater toelaat dat mensen er levenslang dagelijks vis uit eten zonder dat er gezondheidseffecten optreden. Hoewel in deze notitie geen officiële toetsing volgens de regels van de KRW is uitgevoerd, geven de gemeten concentraties in paling, blankvoorn en bot aan dat land- en kustwateren niet aan dit doel voldoen. Voor zeewater geldt hetzelfde, al is de overschrijding van de berekende MKN-biota in zeevis en schaaldieren kleiner dan in de andere monsters.

Omdat de KRW-methodiek rekent met een standaard visconsumptie en allocatiefactor, is het lastig om de mate van overschrijding te interpreteren. Met de gemiddelde concentraties van de Σ EFSA-4 van 3,0 ng PEQ/g vis in zeevis als uitgangspunt, geeft een indicatieve berekening aan dat een inname van 17 gram zeevis per dag (de gemiddelde dagelijkse visconsumptie van de gehele bevolking) uitkomt op 5,1 ng/kg lichaamsgewicht per week (bij een lichaamsgewicht van 70 kg). Dit is hoger dan de TWI. Als naast de EFSA-4 ook nog rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van de andere PFAS die in vis zijn aangetoond en waarvoor een RPF beschikbaar is, wordt de EFSA-TWI verder overschreden.

De hierboven gemaakte indicatieve berekening komt overeen met de conclusie van EFSA dat vis een relatief grote bron is van PFAS-inname (EFSA, 2020). Of de overschrijding van de MKN-biota in hier gebruikte biotamonsters consequenties heeft voor de volksgezondheid, is moeilijk te duiden en valt buiten de reikwijdte van deze notitie. Voor een duiding is onder andere van belang of de hier besproken vissoorten en daarin gemeten PFAS-gehalten representatief zijn voor wat mensen daadwerkelijk eten. In dat verband is het van belang te melden dat de VCP geen onderscheid maakt tussen wildgevangen vis en kweekvis. Uit eerder onderzoek van Zafeiraki et al. (2019) blijkt dat de concentraties PFAS in kweekvis over het algemeen veel lager zijn dan in wildgevangen vis. Verder is het in sommige gebieden al verboden om te vissen op zoetwaterpaling en Chinese wolhandkrab vanwege een te hoog dioxinegehalte. In blankvoorn en bot zijn echter vergelijkbare PFAS-gehalten gemeten. Blankvoorn is geen consumptievis, maar recent Belgisch onderzoek laat zien dat eetbare zoetwatervis (baars) vergelijkbare PFAS-gehalten bevat (Teunen et al., 2021). Het verdient aanbeveling om de PFAS-inname via vis te bekijken in de context van het totale voedselpakket. Een eerste aanzet hiervoor wordt gegeven in de RIVM-notitie over de bijdrage van drinkwater en voedsel aan de blootstelling van de EFSA-4 in Nederland (RIVM, 2021b). Een actualisatie van de innameschatting van PFAS via voedsel wordt aanbevolen. Dit zal een beter zicht geven op de relatieve bijdrage van voedsel als bron van PFAS-inname en op de ontwikkelingen over de afgelopen 10 jaar en de mogelijk af- of toename van specifieke PFAS. Omdat vis uit land- en kustwateren relatief veel PFAS bevat, is het van belang om bij onderzoek naar de inname van PFAS extra aandacht te geven aan de herkomst van vis. Verder is het nodig om de blootstelling vanuit andere blootstellingsbronnen, zoals drinkwater, consumentenproducten en lucht mee te nemen. Dit zal bijdragen aan het uitwerken van een effectief handelingsperspectief.

5 Conclusies en aanbevelingen

Het RIVM heeft besloten om de gezondheidkundige waarde van EFSA voor de som van PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS te gebruiken. Deze bedraagt 4,4 ng/kg lichaamsgewicht per week. Met de methode van de Kaderrichtlijn Water wordt hieruit een milieukwaliteitsnorm (MKN-biota) berekend van 77 ng/kg vis (0,077 ng/g). Om rekening te houden met de verwachting dat PFAS verschillen in potentie en de aanname dat ook andere PFAS dan de EFSA-4 bijdragen aan de toxiciteit, gebruikt het RIVM de EFSA-waarde in combinatie met de zogenoemde relatieve potentie factoren (RPF's) voor PFAS. Hiermee worden de concentraties van de individuele PFAS uitgedrukt als PFOA-equivalenten (PEQ) en de som van de PEQ (Σ PEQ) wordt vergeleken met de berekende MKN-biota.

Om een inschatting te geven of aan de hier berekende MKN-biota kan worden voldaan, is een eerste vergelijking gemaakt met recente meetgegevens in vis. Uitgedrukt als Σ PEQ, zijn gemiddelde concentraties van de Σ EFSA-4 in paling, Chinese wolhandkrab, blankvoorn en bot uit Nederlandse wateren 285 tot ruim 700 keer hoger dan de in dit advies berekende MKN-biota. De gemiddelde concentratie in zeevis uit de Noordzee en Atlantische Oceaan is weliswaar lager, maar nog altijd 40 keer hoger dan de berekende MKN-biota. Naast de EFSA-4, zijn er nog andere PFAS aangetoond in de biotamonsters. De gemiddelde concentratie van het totale PFAS-mengsel is 50 tot 1200 keer hoger dan de MKN-biota.

De overschrijding van de MKN-biota is voor het grootste deel toe te schrijven aan PFOS. PFOA is in een enkel monster aangetroffen, PFHxS en PFNA komen in meer monsters voor, net als PFDODA, PFUnDA en PFDA, maar altijd in veel lagere concentraties dan PFOS. Hierbij wordt aangetekend dat de berekende concentraties waarschijnlijk een onderschatting zijn van de totale hoeveelheid, omdat metingen onder de aantoonbaarheidsgrens niet zijn meegenomen. Voor een goed beeld is het belangrijk om de analysemethoden verder te verbeteren, zodat zoveel mogelijk PFAS op een zo laag mogelijk niveau (pg/g) kunnen worden aangetoond.

De hier gepresenteerde berekeningen kennen onzekerheden. De aantoonbaarheid van PFAS is al diverse keren genoemd. Het RIVM heeft eerder gewezen op de onzekerheden in de EFSA-TWI zelf (RIVM, 2020b). Daarnaast zijn er onzekerheden in de toepassing van de RPF's (RIVM, 2021a). Het is moeilijk om aan te geven of de hier berekende overschrijdingsfactoren zijn onder- of overschat door deze combinatie van onzekerheden. Feit is wel dat in veel monsters de PFOS-concentraties alleen al hoger zijn dan de nu geldende wettelijke KRW-biotanorm voor PFOS. Het is logisch dat de lagere gezondheidkundige grenswaarde en het meenemen van andere PFAS dit beeld ongunstiger maken.

Ondanks de onzekerheden, zijn de meetgegevens een indicatie dat de berekende MKN-biota wordt overschreden. Dit betekent dat de waterkwaliteit van land- en kustwateren niet voldoet aan de doelen van de KRW voor de bescherming van de mens. Of dit daadwerkelijk consequenties heeft voor de volksgezondheid, is moeilijk te duiden en valt buiten de reikwijdte van deze notitie.

Een actualisatie van de innameschatting van PFAS via voedsel wordt aanbevolen, zodat er een beter beeld ontstaat van de relatieve bijdrage van voedsel aan de PFAS-inname, op de ontwikkelingen over de afgelopen 10 jaar en de mogelijke af- of toename van specifieke PFAS. Vanwege de relatief hoge PFAS-gehalten in vis, is inname van PFAS via deze bron daarbij een belangrijk aandachtspunt. Hierbij is ook de herkomst van vis belangrijk. Inzicht in de blootstelling vanuit andere bronnen, zoals drinkwater, consumentenproducten en lucht is daarbij nodig voor het uitwerken van een effectief handelingsperspectief.

Literatuur

- Bil W, Zeilmaker M, Fragki S, Lijzen J, Verbruggen E, Bokkers B. 2021. Risk assessment of per- and polyfluoroalkyl substance mixtures: a relative potency factor approach. *Environ Toxicol Chem* 40 (3): 859–870.
- EC. 2018. Technical guidance for deriving environmental quality standards. Guidance Document No. 27. Updated version 2018. Document endorsed by EU Water Directors at their meeting in Sofia on 11-12 June 2018. Brussel: Europese Commissie.
- EFSA. 2020. Opinion on the risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal* 18 (9): 6223.
- Gebbink WA, Van Asseldonk L, Van Leeuwen SPJ. 2017. Presence of Emerging Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in River and Drinking Water near a Fluorochemical Production Plant in the Netherlands. *Environ Sci Technol* 51 (19): 11057-11065.
- Janssen P. 2016. Derivation of a lifetime drinking-water guideline for 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy)propanoic acid (FRD-902). Advies van 17 november 2016 aan Ministerie van IenM. Project nummer M/300007/16/PF.
- Kotterman MJJ, De Hart MR, Sneekes AC. 2020. Biotamonitoring Rijkswateren t/m 2019. Deel II: Toegepaste methoden. IJmuiden, Nederland: Wageningen Marine Research. Rapport nr. C103/20.
- Leenders LL, Gerssen A, Nijrolder AWJM, Hoogenboom LAP, Kotterman MJJ, Van Leeuwen SPJ. 2020a. Contaminanten in rode aal uit Nederlandse binnenwateren. Resultaten van 2019. Wageningen, Nederland: Wageningen Food Safety Research. Rapport nr. 2020.010.
- Leenders LL, Gerssen A, Nijrolder AWJM, Hoogenboom LAP, Kotterman MJJ, Van Leeuwen SPJ. 2020b. Contaminanten in Chinese wolhandkrab. Resultaten van 2019. Wageningen, Nederland: Wageningen Food Safety Research. Rapport nr. 2020.011.
- RIVM. 2018. Memo advies voor beoordeling GenX in oppervlaktewater. Bijlage bij Kamerbrief over advieswaarde GenX in oppervlaktewater. IENW/BSK-2018/100600.
- RIVM. 2020a. Conclusie RIVM gebruik EFSA-TWI PFAS. RIVM-notitie 15 december 2020. <https://www.rivm.nl/documenten/notitie-conclusie-rivm-gebruik-efsa-twi-pfas>.
- RIVM. 2020b. Definitieve EFSA-opinie PFAS – wetenschappelijke overwegingen voor RIVM besluitvorming over EFSA-TWI. RIVM-notitie 15 december 2020. <https://www.rivm.nl/documenten/notitie-status-van-efsa-opinie-en-rol-van-gezondheidskundige-grenswaarde-in>.
- RIVM. 2020c. Status van een EFSA-opinie en de rol van een gezondheidskundige grenswaarde in verschillende beleidskaders. RIVM-notitie 15 december 2020. <https://www.rivm.nl/documenten/notitie-status-van-efsa-opinie-en-rol-van-gezondheidskundige-grenswaarde-in>.
- RIVM. 2021a. Notitie implementatie van de EFSA som-TWI PFAS. RIVM-notitie 7 april 2021. <https://www.rivm.nl/documenten/notitie-implementatie-van-efsa-som-twi-pfas>.

- RIVM. 2021b. Analyse bijdrage drinkwater en voedsel aan blootstelling EFSA-4 PFAS in Nederland en advies drinkwaterrichtwaarde. RIVM-notitie (in voorbereiding).
- Sneekes AC, Kotterman MJJ. 2020. Biotamonitoring Rijkswateren t/m 2019. Deel I: Toetsing en trends. IJmuiden, Nederland: Wageningen Marine Research. Rapport nr. C104/20.
- Teunen L, Bervoets L, Belpaire C, De Jonge M, Groffen T. 2021. PFAS accumulation in indigenous and translocated aquatic organisms from Belgium, with translation to human and ecological health risk. *Environ Sci Eur* 33 (39).
- Van Rossum CTM, Buurma-Rethans JM, Dinnissen CS, Beukers MH, Brants HAM, Dekkers ALM, MC O. 2020. The diet of the Dutch. Results of the Dutch National Food Consumption Survey 2012-2016. Bilthoven, Nederland: RIVM. Rapport nr. 2020-0083.
- Verbruggen EMJ, Wassenaar PNH, Smit CE. 2017. Water quality standards for PFOA : A proposal in accordance with the methodology of the Water Framework Directive. Bilthoven, Nederland: RIVM. Rapport nr. 2017-0044.
- Wintersen A, Spijker J, Van Breemen P, Van Wijnen H. 2020. Achtergrondwaarden perfluoralkylstoffen (PFAS) in de Nederlandse landbodem. Bilthoven, Nederland: RIVM. Rapport nr. 2020-0100.
- Zafeiraki E, Gebbink WA, van Leeuwen SPJ, Dassenakis E, Megalofonou P. 2019. Occurrence and tissue distribution of perfluoroalkyl substances (PFASs) in sharks and rays from the eastern Mediterranean Sea. *Environmental Pollution* 252: 379-387.
- Zeilmaker MJ, Fragki S, Verbruggen EMJ, Bokkers BGH, Lijzen JPA. 2018. Mixture exposure to PFAS: A Relative Potency Factor approach. Bilthoven, Nederland: RIVM. Rapport nr. RIVM 2018-0070.
- Zeilmaker MJ, Janssen P. 2016. Afleiding richtwaarde voor PFOA in drinkwater voor levenslange blootstelling. Bilthoven, Nederland: RIVM.

Bijlage 1. Afkortingen PFAS

Afkorting	Nederlandse naam	Engelse Naam	CAS nummer	Molecuul formule	Gemeten
Perfluoralkaan sulfonzuren					
PFBS	Perfluorbutaansulfonzuur	Perfluorobutane sulfonic acid	375-73-5	C ₄ F ₉ SO ₃ H	√ ^a
PFPeS	Perfluorpentaansulfonzuur	Perfluoropentane sulfonic acid	375-92-8	C ₅ F ₁₁ SO ₃ H	
PFHxS	Perfluorhexaansulfonzuur	Perfluorohexane sulfonic acid	355-46-4	C ₆ F ₁₃ SO ₃ H	√
PFHpS	Perfluorheptaansulfonzuur	Perfluoroheptane sulfonic acid	355-46-4	C ₇ F ₁₅ SO ₃ H	√
PFOS	Perfluoroctaansulfonzuur	Perfluorooctane sulfonic acid	375-39-8	C ₈ F ₁₇ SO ₃ H	√
PFDS	Perfluordodecaansulfonzuur	Perfluorododecane sulfonic acid	335-77-3	C ₁₀ F ₂₁ SO ₃ H	√
Perfluoralkaan carboxylzuren					
PFBA	Perfluorbutaanzuur	Perfluorobutanoic acid	357-22-44	C ₃ F ₇ COOH	√
PFPeA	Perfluorpentaanzuur	Perfluoropentanoic acid	2706-90-3	C ₄ F ₉ COOH	√
PFHxA	Perfluorhexaanzuur	Perfluorohexanoic acid	307-24-4	C ₅ F ₁₁ COOH	√
PFHpA	Perfluorheptaanzuur	Perfluoroheptanoic acid	375-85-9	C ₆ F ₁₃ COOH	√
PFOA	Perfluoroctaanzuur	Perfluorooctanoic acid	335-67-1	C ₇ F ₁₅ COOH	√
PFNA	Perfluornonaanzuur	Perfluorononanoic acid	375-95-1	C ₈ F ₁₇ COOH	√
PFDA [#]	Perfluordecaanzuur	Perfluorodecanoic acid	335-76-2	C ₉ F ₁₉ COOH	√
PFUnDA	Perfluorundecaanzuur	Perfluoroundecanoic acid	2508-94-8	C ₁₀ F ₂₁ COOH	√
PFDoDA [#]	Perfluordodecaanzuur	Perfluorododecanoic acid	307-55-1	C ₁₁ F ₂₃ COOH	√
PFTTrDA	Perfluortridecaanzuur	Perfluorotridecanoic acid	72629-94-8	C ₁₂ F ₂₅ COOH	√
PFTeDA	Perfluortetradecaanzuur	Perfluorotetradecanoic acid	376-06-7	C ₁₃ F ₂₇ COOH	√
PFHxDA	Perfluorhexadecaanzuur	Perfluorohexadecanoic acid	67905-19-5	C ₁₅ F ₃₁ COOH	
PFODA	Perfluoroctadecaanzuur	Perfluorooctadecanoic acid	16517-11-6	C ₁₇ F ₃₅ COOH	
Overige					
HFPO-DA	GenX	Tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propanoic acid	13252-13-6	C ₆ HF ₁₁ O ₃	√ ^b
6:2 FTS	Fluortelomeer sulfonzuur	Fluorotelomer sulfonic acid	27619-97-2	C ₈ H ₅ F ₁₃ SO ₃	
8:2 FTS	Fluortelomeer sulfonzuur	Fluorotelomer sulfonic acid	39108-34-4	C ₁₀ H ₅ F ₁₇ SO ₃	

#: In Sneekes & Kotterman (2020) aangeduid als PFDcA en PFDoA

a: Niet gemeten in Chinese wolhandkrab

b: Alleen gemeten in paling

Bijlage 2. Relative Potency Factors voor PFAS

Tabel B2.1 Relative Potency Factors (RPF) voor PFAS volgens Bil et al. (2021) en Zeilmaker et al. (2018). In geval van een range is de hoogste waarde gekozen. De EFSA-4 zijn in rood aangegeven.

Stof	RPF	Opmerking
PFBA	0,05	
PFBS	0,001	
PFDA	10	$4 \leq RPF \leq 10$
PFDoDA	3	
PFDS	2	
PFHpA	1	$0,01 \leq RPF \leq 1$
PFHpS	2	$0,6 \leq RPF \leq 2$
PFHxA	0,01	
PFHxS	0,60	
PFNA	10	
PFOA	1	
PFOS	2	
PFPeA	0,05	$0,01 \leq RPF \leq 0,05$
PFTeDA	0,3	
PFTTrDA	3	$0,3 \leq RPF \leq 3$
PFUnDA	4	
HFPO-DA	0,06	

Bijlage 3. Meetgegevens PFAS in vis en schaaldiermonsters

Tabel B3.1. Gemeten gehalte PFAS in mengmonsters van paling, gevangen in 2019 op verschillende locaties in Nederland. Gehalten van individuele PFAS zijn vermeld zoals gemeten en als PFOA-equivalenten (PEQ) na vermenigvuldiging met de Relative Potency Factor (RPF). De EFSA-4 zijn in rood vermeld. Het aantal monsters waarin de stoffen zijn aangetoond staat in de kolom \geq LOQ. Gegevens uit ChemKap (Leenders et al., 2020a).

Stof	Gemeten gehalte [ng/g]				RPF	PEQ [ng PEQ/g]		
	Minimum	Maximum	Gemiddelde	\geq LOQ		Minimum	Maximum	Gemiddelde
PFBA	<9,0	<9,0	0	0/22	0,05	0	0	0
PFBS	<1,0	<1,0	0	0/22	0,001	0	0	0
PFDA	<0,80	4,4	1,8	4/22	10	0	44	18
PFDoDA	<2,0	13	3,7	4/22	3	0	39	11
PFDS	<0,40	0,52	0,02	2/22	2	0	1,0	0,047
PFHpA	<0,20	<0,20	0	0/22	1	0	0	0
PFHpS	<0,080	<0,080	0	0/22	2	0	0	0
PFHxA	<1,0	<1,0	0	0/22	0,01	0	0	0
PFHxS	<0,30	0,67	0,25	13/22	0,60	0	0,40	0,15
PFNA	<0,20	0,76	0,24	15/22	10	0	7,6	2,4
PFOA	<0,20	<0,20	0	0/22	1	0	0	0
PFOS	3,3	24	13	22/22	2	6,6	47	27
PFPeA	<5,0	<5,0	0	0/22	0,05	0	0	0
PFTeDA	<6,0	<6,0	0	0/22	0,3	0	0	0
PFTrDA	<4,0	4,3	0,20	1/22	3	0	13	0,59
PFUnDA	<2,0	7,9	2,1	11/22	4	0	32	8,4
HFPO-DA (GenX)	<0,30	<0,30	0	0/22	0,06	0	0	0
Σ EFSA-4*	4,0	25	14			7,0	53	30
Σ PFAS-totaal*	4,0	42	22			7,0	140	67

*: De Σ EFSA-4 en Σ PFAS zijn berekend voor elk vismonster en daarvan is het minimum, maximum en gemiddelde berekend. Deze waarden zijn niet altijd gelijk aan de opgetelde gehalten in de kolom erboven, omdat de minimum en maximum gehalten van de diverse PFAS niet altijd in hetzelfde vismonster zijn aangetroffen.

Tabel B3.2. Gemeten gehalte PFAS in monsters van de Chinese wolhandkrab, gevangen in 2019 op verschillende locaties in Nederland. Gehalten van individuele PFAS zijn vermeld zoals gemeten en als PFOA-equivalenten (PEQ) na vermenigvuldiging met de Relative Potency Factor (RPF). De EFSA-4 zijn in rood vermeld. Het aantal monsters waarin de stoffen zijn aangetoond staat in de kolom \geq LOQ. Gegevens uit ChemKap (Leenders et al., 2020b).

Stof	Gemeten gehalte [ng/g]			\geq LOQ	RPF	PEQ [ng PEQ/g]		
	Minimum	Maximum	Gemiddelde			Minimum	Maximum	Gemiddelde
PFBA	<15	<15	0	0/5	0,05	0	0	0
PFBS	niet gemeten				0,001		0,001	
PFDA	<5,0	<5,0	0	0/5	10	0	0	0
PFDoDA	<2,0	2,6	1,4	3/5	3	0	7,9	4,1
PFDS	<0,50	<0,50	0	0/5	2	0	0	0
PFHpA	<0,10	<0,10	0	0/5	1	0	0	0
PFHpS	<0,10	<0,10	0	0/5	2	0	0	0
PFHxA	<2,0	<2,0	0	0/5	0,01	0	0	0
PFHxS	<0,20	<0,20	0	0/5	0,60	0	0	0
PFNA	<0,20	0,57	0,28	3/5	10	0	5,7	2,8
PFOA	<0,50	<0,50	0	0/5	1	0	0	0
PFOS	5,8	20	9,6	5/5	2	12	41	19
PFPeA	<5,0	<5,0	0	0/5	0,05	0	0	0
PFTeDA	<5,0	<5,0	0	0/5	0,3	0	0	0
PFTTrDA	<2,0	<2,0	0	0/5	3	0	0	0
PFUnDA	0,63	1,9	1,2	5/5	4	2,5	7,5	4,8
Σ EFSA-4*	5,8	21	9,9			12	46	22
Σ PFAS-totaal*	6,8	25	12			15	60	31

* De Σ EFSA-4 en Σ PFAS-totaal zijn berekend voor elk vismonster en daarvan is het minimum, maximum en gemiddelde berekend. Deze waarden zijn niet altijd gelijk aan de opgetelde gehalten in de kolom erboven, omdat de minimum en maximum gehalten van de diverse PFAS niet altijd in hetzelfde vismonster zijn aangetroffen.

Tabel B3.3. Gemeten gehalte PFAS in vis- en schaaldiermonsters gevangen in 2019 op verschillende locaties in de Noordzee en Atlantische Oceaan. Gehalten van individuele PFAS zijn vermeld zoals gemeten en als PFOA-equivalenten (PEQ) na vermenigvuldiging met de Relative Potency Factor (RPF). De EFSA-4 zijn in rood vermeld. Het aantal monsters waarin de stoffen zijn aangetoond staat in de kolom \geq LOQ. Gegevens uit ChemKap.

Stof	Gemeten gehalte [ng/g]				RPF	PEQ [ng PEQ/g]		
	Minimum	Maximum	Gemiddelde	\geq LOQ		Minimum	Maximum	Gemiddelde
PFBA	<0,70	<0,70	0	0/19	0,05	0	0	0
PFBS	<0,30	<0,30	0	0/19	0,001	0	0	0
PFDA	<0,20	0,60	0,11	4/19	10	0	6,0	1,1
PFDoDA	<0,20	<0,20	0	0/19	3	0	0	0
PFDS	<0,030	<0,030	0	0/19	2	0	0	0
PFHpA	<0,40	<0,40	0	0/19	1	0	0	0
PFHpS	<0,20	<0,20	0	0/19	2	0	0	0
PFHxA	<0,20	<0,20	0	0/19	0,01	0	0	0
PFHxS	<0,20	0,50	0,03	1/19	0,60	0	0,30	0,016
PFNA	<0,20	0,80	0,11	4/19	10	0	8,0	1,1
PFOA	<0,40	<0,40	0	0/19	1	0	0	0
PFOS	<0,030	3,8	0,97	14/19	2	0	7,6	1,9
PFPeA	<0,70	<0,70	0	0/19	0,05	0	0	0
PFTeDA	<0,40	<0,40	0	0/19	0,3	0	0	0
PFTTrDA	<0,40	<0,40	0	0/19	3	0	0	0
PFUnDA	<0,20	<0,20	0	0/19	4	0	0	0
ΣEFSA-4*	0	3,8	1,1			0	11	3,0
ΣPFAS-totaal*	0	3,8	1,2			0	16	4,1

*: De Σ EFSA-4 en Σ PFAS-totaal zijn berekend voor elk vismonster en daarvan is het minimum, maximum en gemiddelde berekend. Deze waarden zijn niet altijd gelijk aan de opgetelde gehalten in de kolom erboven, omdat de minimum en maximum gehalten van de diverse PFAS niet altijd in hetzelfde vismonster zijn aangetroffen.

Tabel B3.4. Gemeten gehalte PFAS in blankvoorn gevangen in 2019 op verschillende locaties in Nederland. Gehalten van individuele PFAS zijn vermeld zoals gemeten en als PFOA-equivalenten (PEQ) na vermenigvuldiging met de Relative Potency Factor (RPF). De EFSA-4 zijn in rood vermeld. Het aantal monsters waarin de stoffen zijn aangetoond staat in de kolom \geq LOQ. Gegevens uit Sneekes & Kotterman (2020).

Stof	Gemeten gehalte [ng/g]				RPF	PEQ [ng PEQ/g]		
	Minimum	Maximum	Gemiddelde	\geq LOQ		Minimum	Maximum	Gemiddelde
PFBA	<0,08	<0,1	0	0/4	0,05	0	0	0
PFBS	<0,08	<0,1	0	0/4	0,001	0	0	0
PFDA [#]	1,4	7,4	3,6	4/4	10	14	74	36
PFD _o DA ^{##}	0,6	1,6	1,2	4/4	3	1,8	4,8	3,7
PFDS	<0,08	<0,1	0	0/4	2	0	0	0
PFHpA	<0,08	<0,1	0	0/4	1	0	0	0
PFHpS	<0,08	<0,1	0	0/4	2	0	0	0
PFHxA	<0,08	<0,1	0	0/4	0,01	0	0	0
PFHxS	<0,08	<0,1	0	0/4	0,60	0	0	0
PFNA	0,1	1,3	0,55	4/4	10	0	13	5,5
PFOA	<0,09	0,1	0,048	2/4	1	0	0,10	0,048
PFOS	2,7	52	21	4/4	2	5,4	104	42
PFPeA	<0,08	<0,1	0	0/4	0,05	0	0	0
PFTeDA	<0,08	<0,1	0	0/4	0,3	0	0	0
PFT _r DA	<0,08	<0,1	0	0/4	3	0	0	0
PFUnDA	0,8	2,3	1,5	4/4	4	3,2	9,2	6,1
ΣEFSA-4*	2,8	53	22			6,4	117	47
ΣPFAS-totaal*	5,9	65	28			28	205	93

#: Aangeduid als PFD_cA in Sneekes & Kotterman (2020).

##: Aangeduid als PFD_oA.

*: De Σ EFSA-4 en Σ PFAS-totaal zijn berekend voor elk vismonster en daarvan is het minimum, maximum en gemiddelde berekend. Deze waarden zijn niet altijd gelijk aan de opgetelde gehalten in de kolom erboven, omdat de minimum en maximum gehalten van de diverse PFAS niet altijd in hetzelfde vismonster zijn aangetroffen.

Tabel B3.5. Gemeten gehalte PFAS in bot gevangen in 2018 op verschillende locaties in Nederland. Gehalten van individuele PFAS zijn vermeld zoals gemeten en als PFOA-equivalenten (PEQ) na vermenigvuldiging met de Relative Potency Factor (RPF). De EFSA-4 zijn in rood vermeld. Het aantal monsters waarin de stoffen zijn aangetoond staat in de kolom \geq LOQ. Gegevens uit Sneekes & Kotterman (2020).

Stof	Gemeten gehalte [ng/g]				RPF	PEQ [ng PEQ/g]		
	Minimum	Maximum	Gemiddelde	\geq LOQ		Minimum	Maximum	Gemiddelde
PFBA	<0,3	<0,4	0	0/5	0,05	0	0	0
PFBS	<0,2	<0,3	0	0/5	0,001	0	0	0
PFDA [#]	1,5	2,5	1,9	5/5	7 ^a	15	25	19
PFDoDA ^{##}	0,80	5,2	1,2	5/5	3	0	16	3,6
PFDS	1,8	3,1	2,3	5/5	2	3,6	6,2	4,6
PFHpA	<0,05	<0,07	0	0/5	0,51 ^b	0	0	0
PFHpS	<0,05	0,6	0,2	2/5	1,3 ^c	0	1,2	0,4
PFHxA	<0,05	<0,07	0	0/5	0,01	0	0	0
PFHxS	0,4	1,5	0,58	5/5	0,6	0	0,90	0,35
PFNA	<0,03	1,7	0,8	4/5	10	0	17	8,0
PFOA	<0,3	<0,4	0,0	0/5	1	0	0	0
PFOS	6,4	53	23,5	5/5	2	13	106	47
PFPeA	<0,4	<0,3	0	0/5	0,03 ^d	0	0	0
PFTeDA	<0,4	<0,3	0	0/5	0,3	0	0	0
PFTTrDA	<0,4	<0,3	0	0/5	1,65 ^e	0	0	0
PFUnDA	0,40	2,2	1,2	5/5	4	1,6	8,8	4,7
ΣEFSA-4*	7,2	55	25			21	115	55
ΣPFAS-totaal*	12	61	32			45	145	88

#: Aangeduid als PFDcA in Sneekes & Kotterman (2020).

##: Aangeduid als PFDoA.

*: De Σ EFSA-4 en Σ PFAS-totaal zijn berekend voor elk vismonster en daarvan is het minimum, maximum en gemiddelde berekend. Deze waarden zijn niet altijd gelijk aan de opgetelde gehalten in de kolom erboven, omdat de minimum en maximum gehalten van de diverse PFAS niet altijd in hetzelfde vismonster zijn aangetroffen.