Weet wat je eet!

Onderzoek naar pcb's, dioxines, PFAS en metalen in uitheemse Amerikaanse rivierkreeften uit Nederlandse wateren

Ivo Roessink, Laura Buijse, Marie-Claire Boerwinkel, Nina Jansen, Fabrice Ottburg

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Weet wat je eet!

Onderzoek naar pcb's, dioxines, PFAS en metalen in uitheemse Amerikaanse rivierkreeften uit Nederlandse wateren

Ivo Roessink, Laura Buijse, Marie-Claire Boerwinkel, Nina Jansen, Fabrice Ottburg

Dit onderzoek is gesubsidieerd door de Europese Unie, het Europees Fonds voor Maritieme Zaken en Visserij, in het kader van het samenwerkingsproject tussen wetenschap en visserij Kennisplatform Rivierkreeft II.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, november 2023

Gereviewd door:
Steven Droge, team ERA, senior onderzoeker WENR

Akkoord voor publicatie:
Sara Ahrari, teamleider van team Environmental Risk Assessment

Rapport 3295
ISSN 1566-7197

WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH

Europese Unie, Europees Fonds voor Maritieme Zaken en Visserij

Roessink, I.R., L. Buijse, M.-C. Boerwinkel, N. Jansen, F.G.W.A. Ottburg, 2023. *Weet wat je eet!; Onderzoek naar pcb's, dioxines, PFAS en metalen in uitheemse Amerikaanse rivierkreeften uit Nederlandse wateren.* Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3295. 46 blz.; 26 fig.; 4 tab.; 21 ref.

Dit rapport betreft een verkenning naar de gehaltes aan verontreinigingen in rivierkreeften uit verschillende locaties in Nederland. Er zijn monsters van de rode Amerikaanse rivierkreeft *(Procambarus clarkii*), gestreepte Amerikaanse rivierkreeft (*Procambarus acutus*), gevlekte Amerikaanse rivierkreeft (*Faxonius limosus*), geknobbelde Amerikaanse rivierkreeft (*Faxonius virilis*) en de Californische rivierkreeft (*Pacifastacus leniusculus*) verzameld en geanalyseerd op zware metalen, dioxines, pcb's en PFAS. Om gevonden waardes te duiden, werden deze – waar mogelijk – vergeleken met de van toepassing zijnde maximumgehaltes en tolereerbare wekelijkse inname.

This report concerns an exploration of the levels of contaminants in crayfish from various locations in the Netherlands. Samples of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*), White river crayfish (*Procambarus acutus*), spiny cheecked crayfish (*Faxonius limosus*), viril crayfish (*Faxonius virilis*) and the Californian crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) were collected and analysed for heavy metals, dioxins, PCBs and PFAS. To interpret the obtained values, they were compared, where possible, with the applicable maximum levels and the tolerable weekly intake.

Trefwoorden: rivierkreeft, verontreinigingen, consumptie, zware metalen, dioxines, pcb's, PFAS, *Procambarus clarkii*, *Procambarus acutus*, *Faxonius limosus*, *Faxonius virilis*, *Pacifastacus leniusculus*

Dit rapport is gratis te downloaden van https://doi.org/10.18174/640842 of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

🅭 2023 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem.
In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.
Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3295 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Blauwgekleurde rode Amerikaanse rivierkreeften. Een variant die niet veel aangetroffen wordt. Foto: Fabrice Ottburg©.

Inhoud

Verantwoording **5**

Samenvatting **7**

1 Aanleiding **9**

2 Bemonsterde locaties **10**

2.1 Veldwerk en waar komen de kreeften vandaan? 10
2.2 Opwerking materiaal en analyse van verontreinigingen 17
2.2.1 Analyse Dioxines en pcb's 17
2.2.2 Analyse PFAS 18
2.2.3 Analyse zware metalen 18
2.2.4 Duiding van de gevonden waardes 19

3 Resultaten en discussie **20**

3.1 Pcb's en dioxines 20
3.2 PFAS 25
3.3 Metalen 31

4 Conclusie, discussie en aanbevelingen **36**

4.1 Algemeen 36
4.2 Consumptie 37
4.2.1 Mogelijkheid tot vermarkting 37
4.2.2 Dioxines en pcb's 37
4.2.3 PFAS 37
4.2.4 Metalen 37
4.3 Aanbeveling 38

5 Dankwoord **39**

Literatuur **40**

Bijlage 1 Resultaten analyse dioxine, dioxine-achtige pcb's en niet-dioxine-achtige pcb's **42**

Bijlage 2 Resultaten analyse PFAS **43**

Bijlage 3 Resultaten analyse zware metalen **45**

Verantwoording

Rapport: 3295
Projectnummer: 5200045850

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Senior onderzoeker

naam: Steven Droge

datum: 30 oktober 2023

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Sara Ahrari

datum: 10 november 2023

Samenvatting

Sinds 2010 vallen uitheemse rivierkreeften onder de Visserijwet en mag er, onder bepaalde voorwaarden, op deze dieren gevist worden. Daar rivierkreeften zich, net als paling en wolhandkrab, doorgaans dicht bij de waterbodem ophouden, kan dit continue contact met de waterbodem ervoor zorgen dat eventuele verontreinigingen die zich daarin bevinden ook in de dieren terechtkomen. Omdat rivierkreeften relatief lang leven, geeft dit veel tijd om dergelijke stoffen in hun weefsel te accumuleren. De hiermee opgebouwde concentraties kunnen een mogelijk gezondheidsrisico met zich meebrengen bij consumptie van deze dieren. Of rivierkreeften daadwerkelijk een mogelijk gezondheidsrisico vormen, is tot op heden nog onduidelijk. Het voor u liggende onderzoek is een verkenning van de gehaltes van verschillende type verontreinigingen die in rivierkreeften voor kunnen komen. Hierbij is gekeken naar het voorkomen van zware metalen, dioxines, pcb's (polychloorbifenylen) en PFAS (Per- en polyfluoralkylstoffen) in rivierkreeften van 22 locaties verspreid over Nederland. Hierbij moet opgemerkt worden dat hier ook locaties zijn geselecteerd waar momenteel geen rivierkreeftvisserij plaatsvindt. Om de gevonden concentraties te duiden, worden deze vergeleken met de productnormen die zijn vastgesteld door de Europese Unie (EU) en de gezondheidskundige normen van de Europese Voedsel Autoriteit (EFSA). Hierbij is het goed om te weten dat de EU maximale grenswaardes stelt waaronder producten vermarkt mogen worden en dat EFSA aangeeft hoeveel van een product met een bepaalde verontreiniging nog wekelijks geconsumeerd kan worden.

De resultaten van de metaalanalyses van de rivierkreeftmonsters laten zien dat alle geanalyseerde metalen aantoonbaar zijn in zowel de kop als de staart van de rivierkreeften. Daar al deze metalen als natuurlijke achtergrond in waterbodems voorkomen, is het niet verwonderlijk dat ze ook opgenomen worden in de daar voorkomende biota. Omdat kwik (Hg) niet gemeten kon worden in dit project, worden alleen de grenswaardes van cadmium (Cd) en lood (Pb) gebruikt. Hieruit blijkt dat voor alle monsters het maximumgehalte voor cadmium (Cd) niet overschreden wordt en dat alleen voor lood (Pb) in het staartmonster uit locatie 8 een enigszins hogere waarde gevonden wordt. Aangezien voor een normoverschrijding de gevonden waarde plus de ondergrens van de variatie in de meting boven de grenswaarde moeten liggen, gaat het hier niet om een daadwerkelijke overschrijding.

De gehaltes aan dioxines, dioxine-achtige pcb's en gesommeerde niet-dioxine-achtige pcb's zijn doorgaans het hoogst in het kopvlees van de rivierkreeften. Dit komt omdat deze stoffen vooral opgeslagen worden in de vetrijke weefsels en organen die in het geval van rivierkreeften vooral in de kop aanwezig zijn. Voor dioxines, dioxine-achtige pcb's en gesommeerde pcb's liggen alle gevonden gehaltes uit het staartvlees onder de maximumgehaltes. Die normen gelden alleen voor spiervlees en dus niet voor het bruine vlees in de kop. Opvallend is dat voor met name dioxine-achtige pcb's de gevonden gehaltes in het kopvlees van de rivierkreeften van de monsters 1, 2, 8, 12, 13A, 13B en 18 veel hoger uitvallen dan op de andere locaties. Hierbij moet worden opgemerkt dat alleen op locaties 8, 12 en 13 op het moment van dit onderzoek rivierkreeften voor consumptie werden gevangen. Verder betreffen locaties 1 en 2 gebieden die gesloten zijn voor vangst van wolhandkrab en aal.

In alle monsters worden de 'bekende' PFAS-componenten PFOS en PFOA gevonden. Hoewel de PFAS-componenten ook in het witte vlees afkomstig van de staart worden aangetroffen, wordt de meerderheid voornamelijk in het bruine vlees afkomstig van de kop gevonden. Met uitzondering van het monster van locatie 6 (op basis van het PFOA-gehalte) vallen alle monsters staartvlees onder de maximumgehaltes.

De resultaten van de verschillende analyses laten zien dat de gevonden gehaltes aan onderzochte metalen, dioxines, pcb's en PFAS van het 'witte' staartvlees vrijwel altijd onder de maximumgehaltes liggen. De uitzondering hierop betreffen de monsters van locatie 6. Wat betreft de tolereerbare wekelijkse inname (TWI) wordt deze gestuurd door de aanwezige PFAS is het staartvlees. Een persoon van 75 kg kan een wekelijkse portie staartjes van respectievelijk 196 tot 645 gram consumeren, afhankelijk van de locatie waar de rivierkreeften vandaan kwamen.

Daar de gehaltes in het kopvlees doorgaans veel hoger zijn dan in het witte staartvlees en dit ook in recepten gebruikt wordt, verdient het sterke aanbeveling om ook tot een norm voor het bruine kopvlees te komen.

1 Aanleiding

Sinds 2010 vallen uitheemse rivierkreeften onder de Visserijwet en mag er, onder bepaalde voorwaarden, op deze dieren gevist worden (Ostendorf en Vos, 2010; Vos et al., 2010). Beroepsvissers konden op deze manier gericht op de dieren vissen en deze aan de afslag of direct aan restaurants en particulieren aanbieden voor consumptie. In 2014 werden veel van de in Europa voorkomende uitheemse rivierkreeften opgenomen in de Europese Exoten Verordening, die de lidstaten verplicht stelt om populaties van overlast bezorgende invasieve exoten te bestrijden en te verwijderen en, als dit niet mogelijk is, om hun verdere verspreiding te voorkomen (Europese Commissie, 2014). In Nederland is bevissing van uitheemse rivierkreeftpopulaties als bestrijdingsmethode gekozen, wat indirect een verdere promotie van de consumptie van rivierkreeften tot gevolg heeft gehad.

Net als paling en wolhandkrab, leeft de rivierkreeft doorgaans dicht bij de waterbodem. Echter, dit is niet de enige parallel tussen deze soorten. Door het continue contact met de waterbodem en de verontreinigingen die zich daarin bevinden, kunnen die verontreinigingen ook in de dieren terechtkomen. Omdat deze dieren relatief lang leven, geeft dit veel tijd om dergelijke stoffen in hun weefsel op te hopen. Door de opname van verontreinigingen zoals dioxines, zijn paling en wolhandkrab uit met name de grote rivieren in Nederland ongeschikt verklaard voor menselijke consumptie (Van Leeuwen et al., 2013). Een eerder onderzoek naar rivierkreeften wees uit dat de gehaltes aan dioxines in deze dieren geen reden tot zorg bij menselijke consumptie gaven (Van Leeuwen et al., 2014). Dit betreffende onderzoek omvatte echter maar een klein aantal locaties, die buiten de grote riviergebieden vielen. Daar de consumptie van rivierkreeften steeds meer als mogelijkheid wordt genoemd om de ongewenste populaties van deze dieren terug te dringen, is de vraag welke stoffen in welke hoeveelheden in rivierkreeften voorkomen alleen maar relevanter geworden. De vraag die daarmee al heel lang boven de markt zweeft, is of het veilig is om uitheemse Amerikaanse rivierkreeften uit Nederlandse wateren te consumeren.

Om die vraag te kunnen beantwoorden, zijn – in navolging van het eerdere kleinschalige onderzoek – op 22 locaties in Nederland kreeften verzameld, wat geresulteerd heeft in monsters van vijf verschillende soorten, waarvan sommige uit hetzelfde water afkomstig zijn. Deze monsters zijn onderzocht op mogelijke verontreinigingen met pcb's (polychloorbifenylen), dioxines, PFAS (Per- en polyfluoralkylstoffen) en metalen. Om de gevonden concentraties te duiden, zijn deze vergeleken met de maximumgehaltes in de EU (EU, 2023). Deze gelden alleen voor het staartvlees van kreeften. Voor de koppen gelden deze maximumgehaltes niet. Voor de koppen kan een vergelijking gemaakt worden van de blootstelling met de gezondheidskundige waardes vastgesteld door de Europese Autoriteit voor Voedselveiligheid (EFSA). Kortom: 'Weet wat je eet!'.

Figuur 1 *Een bord vol met gekookte rode Amerikaanse rivierkreeften en één Chinese wolhandkrab. Foto: Fabrice Ottburg©.*

2 Bemonsterde locaties

2.1 Veldwerk en waar komen de kreeften vandaan?

Op 22 locaties in Nederland zijn in 2020 en 2021 van rode Amerikaanse rivierkreeften, gevlekte Amerikaanse rivierkreeften, geknobbelde Amerikaanse rivierkreeften, gestreepte Amerikaanse rivierkreeften en Californische rivierkreeften dieren verzameld voor analyses (Tabel 1). De locaties worden in Figuur 4 tot en met Figuur 10 weergegeven op een topografische kaart. De nummering en bijgaande afkorting bij het betreffende nummer correspondeert met de 'Lab ID' en kolom 'Afk' zoals die is weergegeven in Tabel 1.

Alle verzamelde kreeften zijn onder toezicht van de auteurs en in samenwerking met de betreffende beroepsvisser direct op locatie verzameld uit de betreffende fuik of watergang, met uitzondering van locatie 18 (Vlaardingen Westdijk) en 19 (Delft Vrederustpad), die zijn aangeleverd door medewerkers van Hoogheemraadschap van Delfland. Voor locatie 21 en 22 geldt dat dit geen dieren zijn uit Nederlandse wateren. Hier gaat het om Chinese rode Amerikaanse rivierkreeften die zijn gekocht bij respectievelijk een Albert Heijn- en Jumbo-filiaal.

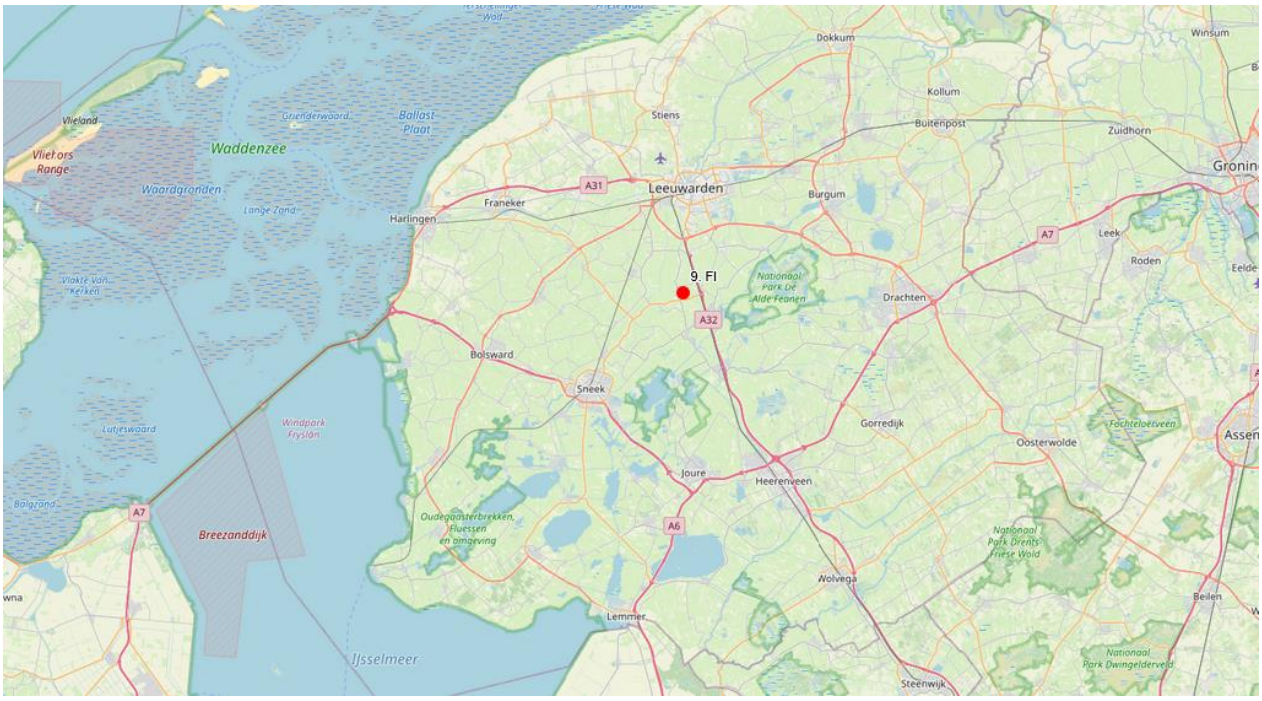
Figuur 2 *In de Vreugderijkerwaard en Cortenoever zijn gevlekte Amerikaanse rivierkreeften gevangen met behulp van een zeeg. Foto's: Fabrice Ottburg©.*

Figuur 3 *Rode Amerikaanse rivierkreeften die op locatie worden verzameld samen met kreeftenvisser Pieter Jan de Keyser. Foto's: Fabrice Ottburg©.*

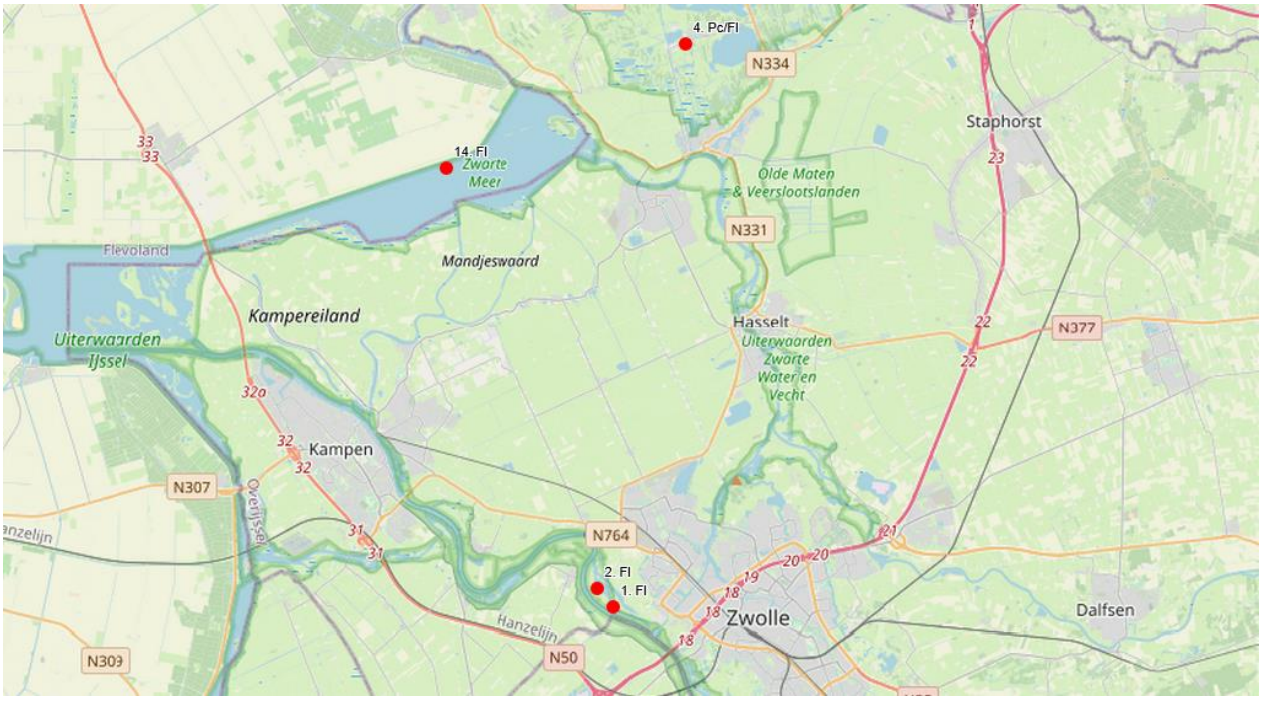
Tabel 1 *Overzicht van locaties en kreeftsoorten die op 22 locaties zijn verzameld.*

Lab ID	x-coördinaat	y-coördinaat	Nederlandse soortnaam	Wetenschappelijke naam	Afk.	Locatie	Voor consumptie bevist
1	198505	502910	Gevlekte Amerikaanse rivierkreeft	*Faxonius limosus*	*Fl*	Zwolle, Vreugderijkerwaard	Nee
2	197995	503459	Gevlekte Amerikaanse rivierkreeft	*Faxonius limosus*	*Fl*	Zutphen, Cortenoever	Nee
3	91513	456167	Rode Amerikaanse rivierkreeft	*Procambarus clarkii*	*Pc*	Polder Leidschendam	Ja
4	200595	520351	Rode Am. rivierkreeft/Gevlekte Am. rivierkreeft	*Procambarus clarkii/ Faxonius limosus*	*Pc/Fl*	Wieden, Beltschutssloot	Ja
5	122763	431416	Gestreepte Amerikaanse rivierkreeft	*Procambarus acutus*	*Pa*	Alblasserwaard	Ja
6	116960	428074	Gestreepte Amerikaanse rivierkreeft	*Procambarus acutus*	*Pa*	Polder 't Broek	Ja
7	109224	452958	Rode Amerikaanse rivierkreeft	*Procambarus clarkii*	*Pc*	Reeuwijkse polder	Ja
8	99666	465842	Rode Amerikaanse rivierkreeft	*Procambarus clarkii*	*Pc*	Leiden	Ja
9	181785	569741	Gevlekte Amerikaanse rivierkreeft	*Faxonius limosus*	*Fl*	Friesland, Reduzum	Ja
10	108943	435059	Rode Amerikaanse rivierkreeft	*Procambarus clarkii*	*Pc*	Lekkerkerk	Ja
11	113621	448120	Rode Amerikaanse rivierkreeft	*Procambarus clarkii*	*Pc*	Reeuwijk, polder Stein	Ja
12	266607	475872	Californische rivierkreeft	*Pacifastacus leniusculus*	*Pl*	Twente, De Dinkel	Nee
13	124094	470017	Rode Am. rivierkreeft/Geknobbelde Am. rivierkreeft	*Procambarus clarkii/ Faxonius virilis*	*Pc/Fv*	Vinkeveense Plassen	Ja
14	193219	516452	Gevlekte Amerikaanse rivierkreeft	*Faxonius limosus*	*Fl*	Zwarte Meer	Nee
15	135511	477870	Rode Amerikaanse rivierkreeft	*Procambarus clarkii*	*Pc*	Naardermeer	Nee
16	128494	396066	Californische rivierkreeft	*Pacifastacus leniusculus*	*Pl*	Tilburg, Oude Leij	Nee
17	85709	449125	Rode Amerikaanse rivierkreeft	*Procambarus clarkii*	*Pc*	Delfland: Delftse Hout Nootdorpse plassen	Nee
18	81027	437355	Rode Amerikaanse rivierkreeft	*Procambarus clarkii*	*Pc*	Delfland: Vlaardingen Westdijk	Ja
19	86430	447700	Rode Amerikaanse rivierkreeft	*Procambarus clarkii*	*Pc*	Delfland: Delft Vrederustpad	Ja
20	79720	450143	Rode Amerikaanse rivierkreeft	*Procambarus clarkii*	*Pc*	Delfland: Den Haag Havannapad	Ja
21	117117	494978	Rode Amerikaanse rivierkreeft	*Procambarus clarkii*	*Pc*	AH hoofdkantoor, Zaanstad	Ja
22	165816	402717	Rode Amerikaanse rivierkreeft	*Procambarus clarkii*	*Pc*	JUMBO hoofdkantoor, Veghel	Ja

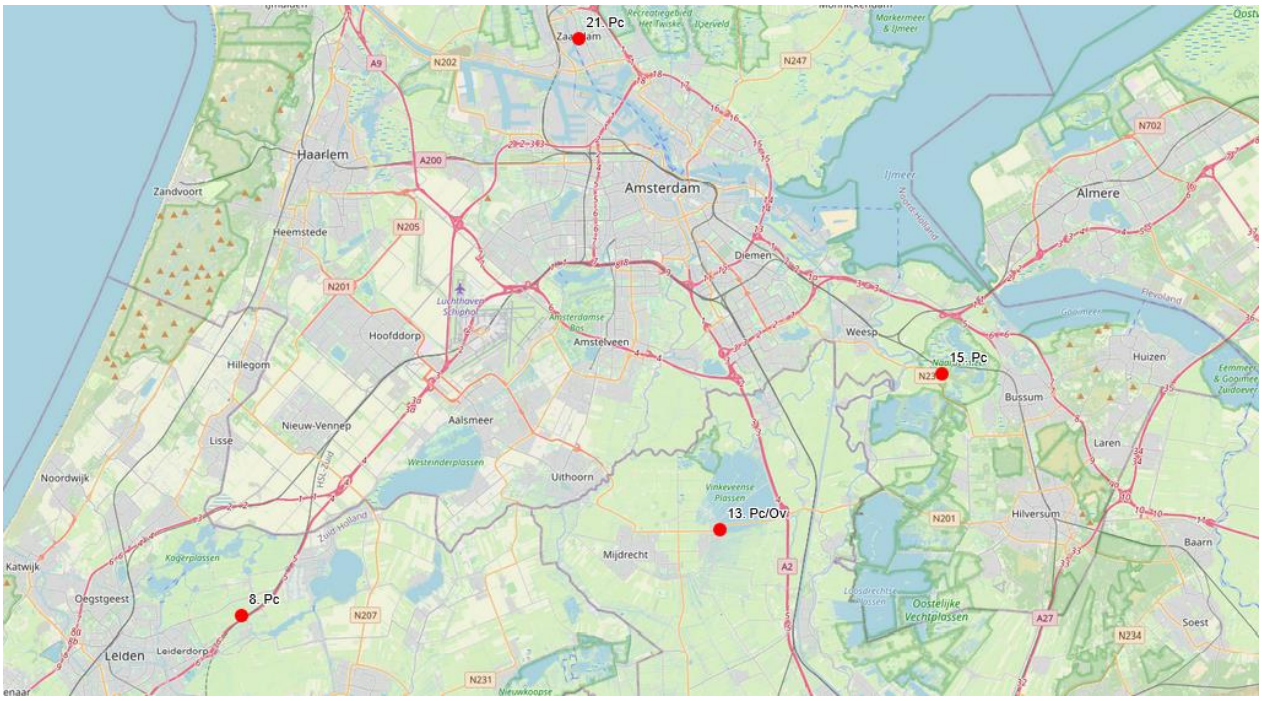
Figuur 4 *Overzicht van de 22 locaties waar rivierkreeften zijn verzameld.*



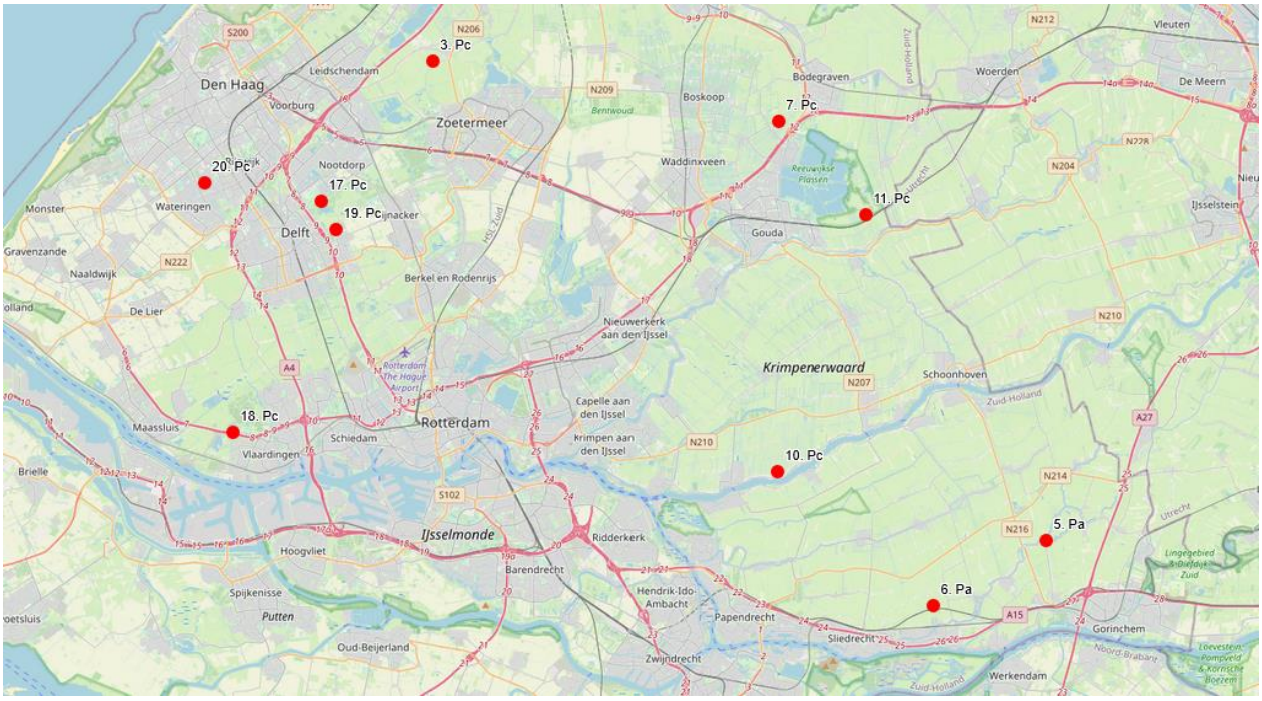
Figuur 5 *Detailkaart met locatie 9.*



Figuur 6 *Detailkaart met locaties 1, 2, 4 en 14.*

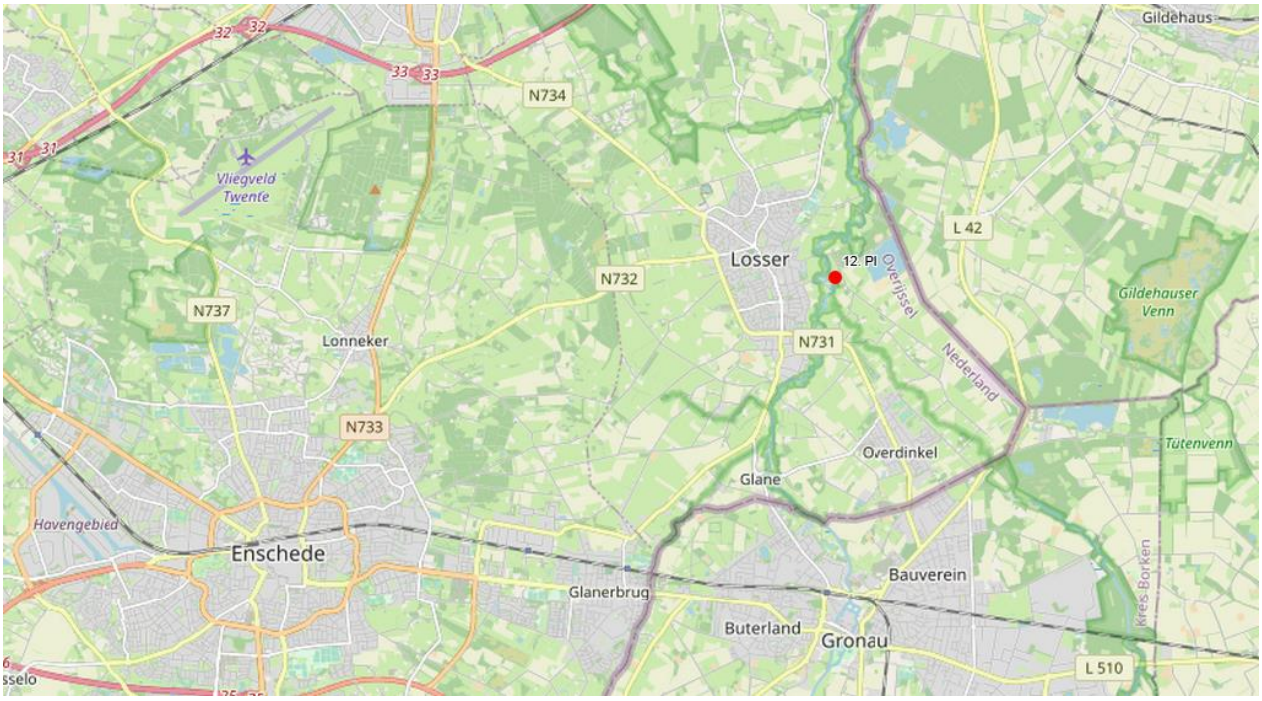


Figuur 7 *Detailkaart met locaties 8, 13, 15 en 21.*



Figuur 8 *Detailkaart met locaties 3, 5, 6, 7, 10, 11, 17, 18, 19 en 20.*

Figuur 9 *Detailkaart met locaties 16 en 22.*



Figuur 10 *Detailkaart met locatie 12.*

Figuur 11 *Californische rivierkreeft-mannetje op het droge. In Europa is dit een wijdverspreide invasieve soort. In Nederland komt de soort tot op heden alleen voor in de Twentse Dinkel en de Oude Leij in Tilburg en enkele nabijgelegen wateren. Foto: Fabrice Ottburg©.*

2.2 Opwerking materiaal en analyse van verontreinigingen

De individuele kreeften werden gewogen en hun geslacht en hun totale lengte werden bepaald (Tabel 2). Hierna werden kop (carapax) en staart (abdomen) gescheiden en ontleed om zo het beschikbare vlees te verzamelen. Het vlees uit de appendages (klauwen) is niet onderzocht, omdat dit een zeer kleine hoeveelheid betreft ten opzichte van de rest van het lichaam. Bij het verzamelen van het monstermateriaal is gebruikgemaakt van materialen die geen additionele verontreiniging konden opleveren in de analyses. Dit was vooral van belang voor de PFAS-analyses, waarbij standaard snijplanken en kunststof keukengerei doorgaans behandeld zijn met teflon en andere PFAS-houdende materialen en dus voor grote verontreiniging van de monsters kunnen zorgen.

Tabel 2 *Detailgegevens van de rivierkreeften van de verschillende locaties. De monsters van locatie 21 en 22 betroffen verpakte kreeftenstaartjes uit de supermarkt, waardoor enkele gegevens niet voorradig waren. FL=Faxonius limosus (gevlekte Amerikaanse rivierkreeft), FV=Faxonius virilis (geknobbelde Amerikaanse rivierkreeft), PC=Procambarus clarkii (rode Amerikaanse rivierkreeft), PA=Procambarus acutus (gestreepte Amerikaanse rivierkreeft) PL=Pacifastacus leniusculus (Californische rivierkreeft).*

Lab ID	Soort	Aantal[1]	Gem. totale lengte (cm)	Vers gewicht per kreeft (g)	Vers gewicht kop (g)[2]	Vers gewicht staart (g)[2]
1	FL	6 (2/4)	7.9 (6.8-8.8)	11.5 (6.4-16.3)	12.5	11.0
2	FL	15 (7/8)	9.4 (8.3-11.8)	26.4 (14.8-50.4)	49.2	46.6
3	PC	10 (2/8)	11.0 (9.5-12.3)	30.3 (18.2-41.5)	51.5	47.2
4A	PC	11 (4/7)	11.3 (9.8-13.2)	38.7 (24.6-61.6)	59.0	45.6
4B	FL	15 (10/5)	8.4 (7.2-9.6)	14.9 (8.3-22.3)	31.0	31.8
5	PA	24 (17/7)	10.0 (8.5-11.5)	32.2 (16.9-44.9)	128.6	98.4
6	PA	14 (9/5)	9.8 (8.5-11.0)	29.8 (14.7-45.7)	70.7	48.4
7	PC	17 (10/7)	10.5 (9.0-12.5)	27.1 (17.38-42.3)	77.9	71.9
8	PC	13 (6/7)	11.8 (10.2-14.0)	41.5 (26.3-74.7)	93.5	74.2
9	FL	11 (11/0)	8.9 (7.7-10.5)	21.0 (12.3-37.1)	26.9	24.6
10	PC	17 (5/12)	11.2 (8.8-13.0)	40.5 (17.5-67.7)	113.6	87.5
11	PC	15 (8/7)	9.9 (8.3-12.0)	27.0 (13.6-51.0)	62.6	51.6
12	PL	26 (13/13)	10.2 (8.0-13.0)	34.8 (15.9-112.3)	152.1	110.6
13A	PC	16 (8/8)	11.2 (10.0-12.3)	33.5 (18.8-50.6)	89.4	78.1
13B	FV	17 (10/7)	10.1 (8.8-11.1)	30.8 (17.9-47.0)	80.1	61.8
14	FL	19 (11/8)	8.5 (7.3-10.6)	18.3 (8.6-34.7)	40.7	43.9
15	PC	22 (10/12)	8.6 (7.2-10.5)	16.0 (7.2-35.6)	67.8	58.9
16	PL	15 (7/8)	9.1 (7.8-10.4)	22.7 (14.9-33.4)	47.2	46.1
17	PC	10 (7/3)	9.4 (8.2-11.2)	22.0 (11.8-39.2)	33.3	30.7
18	PC	14 (5/9)	9.9 (8.3-11.7)	23.9 (12.6-36.2)	50.0	48.8
19	PC	16 (7/9)	9.9 (8.1-12.3)	23.4 (9.5-45.0)	68.1	57.0
20	PC	16 (7/9)	11.2 (9.8-13.0)	34.5 (21.2-57.2)	82.3	81.3
21	PC	-	-	-	-	100
22	PC	-	-	-	-	100

1 Totaalaantal individuen (aantal man/aantal vrouw).

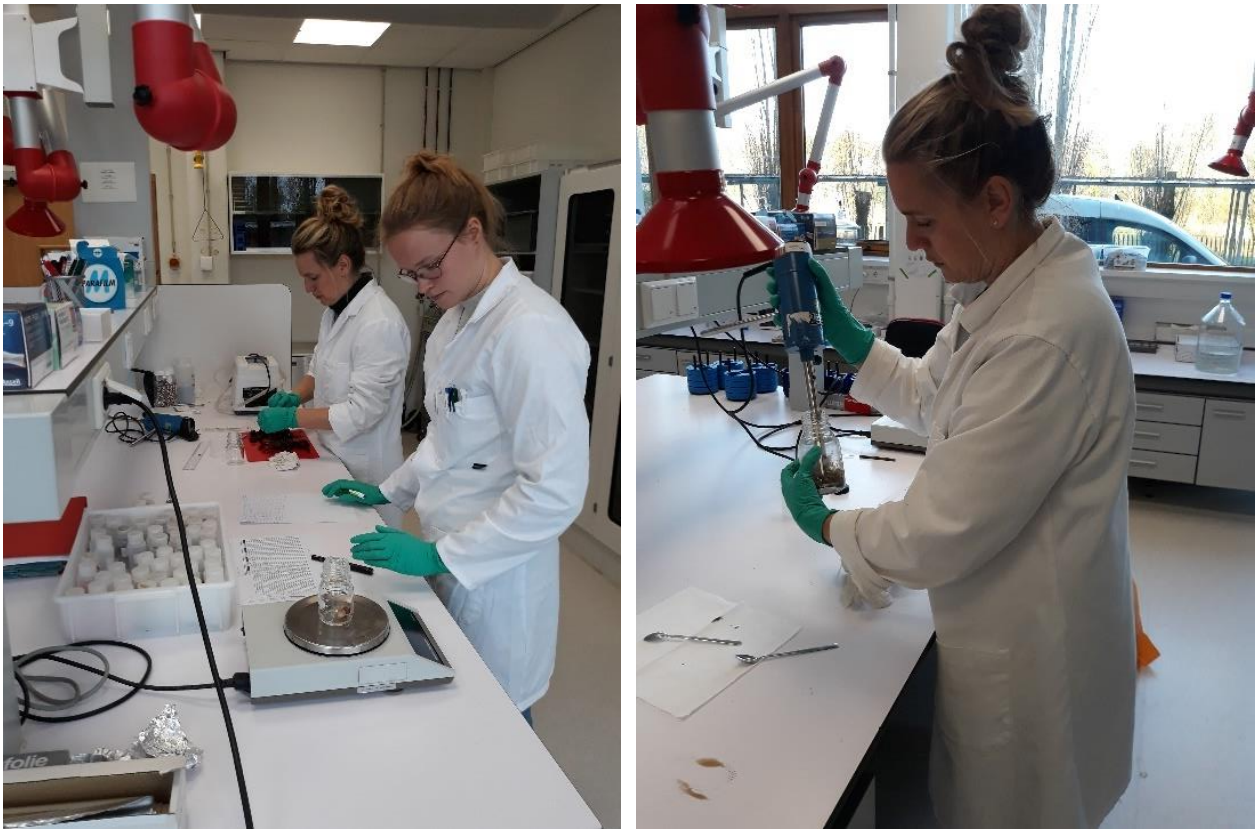
2 Totale hoeveelheid materiaal beschikbaar voor de verschillende analyses.

Per locatie zijn van zowel de kop als de staart homogene mengmonsters gemaakt door het materiaal te malen met een Ultra-TURRAX-mixer (Figuur 12). Het mengmonster werd daarna opgesplitst in deelmonsters voor de afzonderlijke analyses.

2.2.1 Analyse Dioxines en pcb's

De verse deelmonsters voor dioxine- en pcb-analyse werden ingevroren naar het externe laboratorium TLR International te Ridderkerk getransporteerd. Hier werden de monsters ontdooid en verder bewerkt en geanalyseerd volgens de NEN-EN 16215 en EC771/2017-voorschriften (zie Bijlage 1). De zogenaamde TEQ-waardes zijn berekend, gebruikmakend van de WHO Toxische Equivalentie Factoren (TEF; EU, 2023).

Hierbij wordt een optelsom gemaakt van de verschillende individuele stoffen die gevonden zijn waar een weegfactor aan toegekend is. Dit laatste wordt gebruikt omdat de ene stof giftiger kan zijn dan de andere stof en daarmee dus meer of minder belangrijk gevonden moet worden in de uiteindelijke sommatie.



Figuur 12 *Impressie van de opwerking van de gevangen rivierkreeften. Links: het opdelen in kop- en staartmonsters. Rechts: het mengen van het materiaal met de Ultra-TURRAX.*

2.2.2 Analyse PFAS

Uit alle gemalen en gehomogeniseerde monsters werd na het ontdooien een deelmonster van ongeveer 2,5 g (vers gewicht) in bewerking genomen. Dit deelmonster werd in polypropyleen centrifugebuisjes van 15 ml overgebracht, waarna er 100 µl interne standaard 13C9-PFNA werd toegevoegd. Het gebruik van een interne standaard corrigeert voor mogelijk verlies of andere zogenaamde matrixeffecten in de analyse, zodat er geen lagere of hogere gehaltes gemeten worden dan er daadwerkelijk aanwezig zijn. De daadwerkelijke extractie van PFAS is uitgevoerd door het monster voor 30 minuten te schudden met 9 ml MeOH, gevolgd door een sonificatie van 10 tot 15 minuten. Daarna werd het geheel afgedraaid in een centrifuge (1000 rot./min.). Hierna werd deze procedure nog twee keer herhaald, zodat het monster uitputtend geëxtraheerd werd. De verzamelde bovenstaande vloeistof werd ingedampt tot een eindvolume van 1 ml, waarna een zogenaamde 'opschoon'-stap werd uitgevoerd door het extract over een SPE-kolom te leiden, wat verontreinigingen verwijderde die mogelijk konden storen in de PFAS-analyse. De daadwerkelijke analyse vond plaats op de LC-MS/MS (Agilent 1260 Infinity 6460) en om tot de daadwerkelijke concentraties in de monsters te komen, werden de gevonden gehaltes gecorrigeerd aan de hand van de respons van de interne standaard en het geanalyseerde volume.

2.2.3 Analyse zware metalen

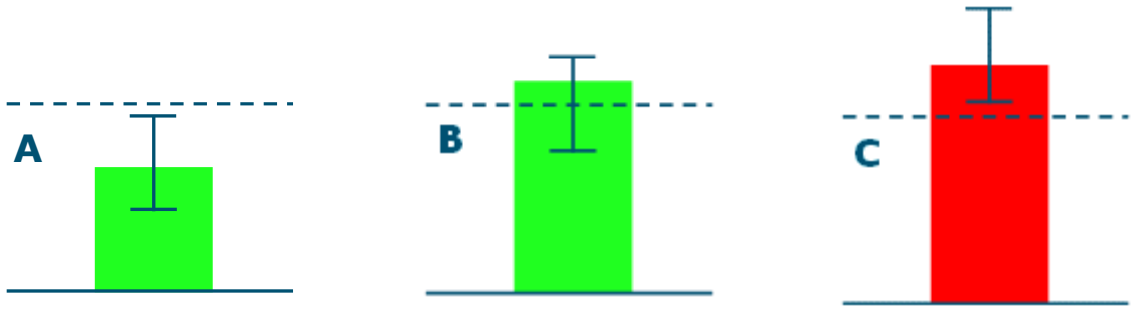
Het deelmonster voor de metaalanalyse werd eerst gevriesdroogd, waarna deze nog een keer colloïd gemalen werden. Hierna werd een bekende hoeveelheid droog materiaal in analyse genomen. Door toevoeging van salpeterzuur en zoutzuur aan het monster werd de organische stof volledig afgebroken. Verdere ontsluiting vond plaats m.b.v. de magnetron, waarbij de metalen in oplossing werden gebracht.

Nitreuze dampen werden verwijderd door toevoeging van waterstofperoxide. Hierna werden de elementen arseen (As), cadmium (Cd), chroom (Cr), nikkel (Ni), lood (Pb), aluminium (Al), koper (Cu), ijzer (Fe), mangaan (Mn) en zink (Zn) gemeten met behulp van ICP-OES of ICP-MS.

2.2.4 Duiding van de gevonden waardes

Als verontreinigingen in het milieu voorkomen, kunnen deze in veel gevallen ook in biota opgenomen worden. Dit kan bij consumptie van deze biota mogelijk gevolgen hebben voor de humane gezondheid en daarom worden er normen vastgesteld waar de gehaltes van verontreinigingen onder moeten blijven. Daar de ene verontreiniging de andere niet is, zijn deze normen doorgaans heel specifiek per stof of stofgroep afgeleid. Productnormen worden op Europees niveau vastgesteld door de Europese Unie (EU) in samenwerking met de lidstaten, terwijl gezondheidskundige normen door de Europese Autoriteit voor voedselveiligheid (EFSA) worden vastgesteld. Hierbij is het overigens mogelijk dat een nationale regelgever (in Nederland het RIVM) om moverende redenen een lagere norm vaststelt dan een internationale norm; andersom is daarentegen niet mogelijk. De EU stelt een norm betreffende maximumgehaltes aan bepaalde verontreinigingen in levensmiddelen. Dit betreft een normering die bepaalt of een product op de markt gebracht mag worden. EFSA en RIVM buigen zich over de maximale hoeveelheid die je van een contaminant mag binnenkrijgen om geen gezondheidsrisico's op te lopen. Dit wordt doorgaans gerapporteerd als een waarde voor 'acceptabele dagelijkse inname' (ADI) of 'tolereerbare dagelijkse of wekelijkse inname' (TDI/TWI).

Hierbij is het goed om te weten dat een overschrijding van een norm (zoals vastgelegd in verordening 2023/915; EU, 2023) pas zeker is als zowel de meetwaarde als de ondergrens van de meetonzekerheid boven de grenswaarde ligt (Figuur 13).



Figuur 13 *Voorbeelden van duidingen van meetwaardes. A) meetwaarde ligt onder norm: geen overschrijding. B) meetwaarde ligt net boven de norm, maar ondergrens van de variatie in de meting ligt onder de norm; geen overschrijding. C) meetwaarde ligt boven de norm en de ondergrens van de variatie in de meting ligt boven de norm; wel normoverschrijding.*

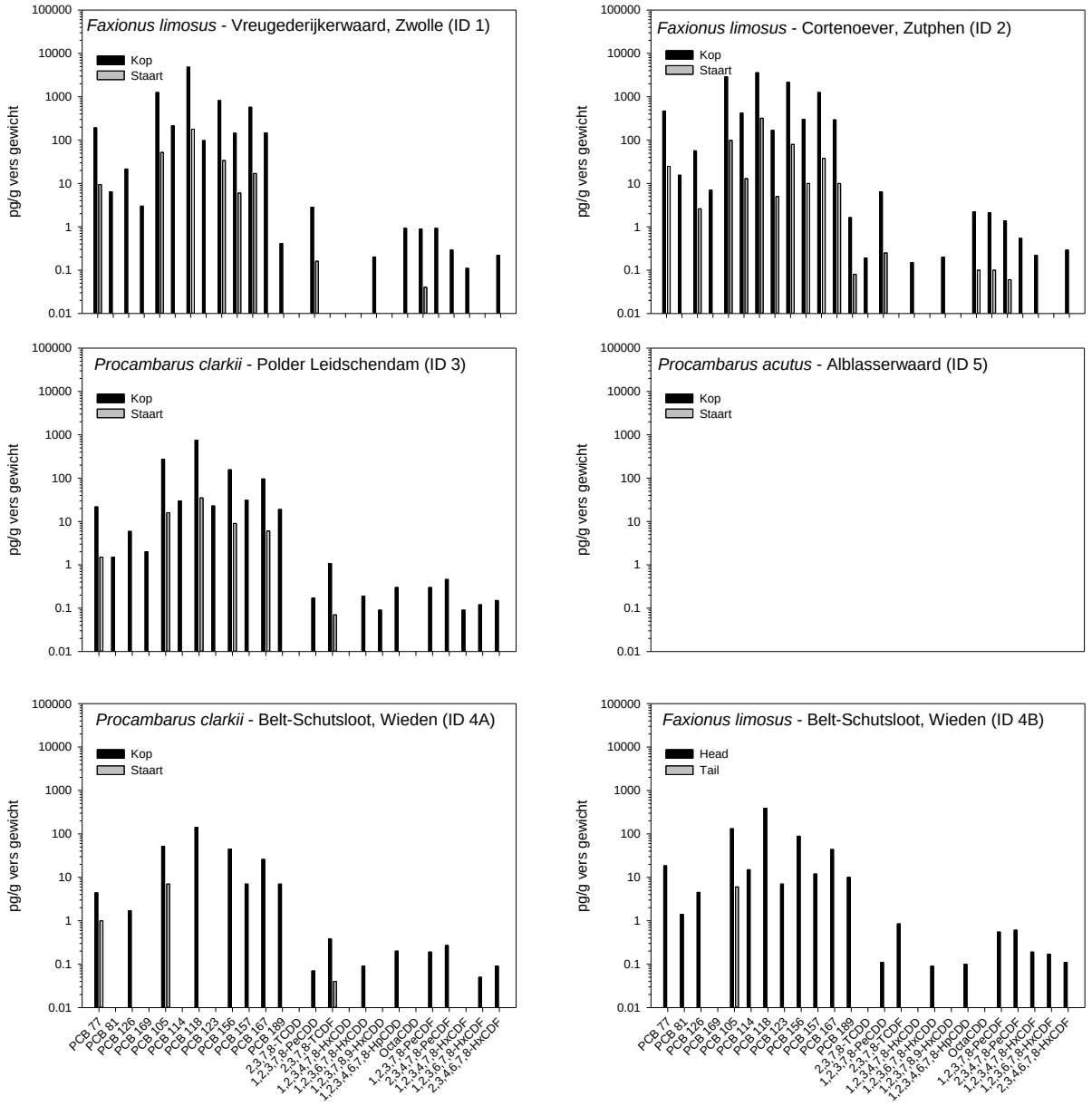
De in rivierkreeften gevonden gehaltes van de verschillende verontreinigingen zullen met de geldende EU-grenswaardes en TWI-waardes worden vergeleken. De eerste waarde geeft alleen informatie of dit product verhandeld mag worden. De tweede waarde indiceert hoeveel men ervan kan consumeren voordat de veilige grens wordt overschreden.

Hierbij moet verder opgemerkt worden dat in dit project maar op één moment monsters genomen zijn. Een mogelijke overschrijding van een normwaarde moet derhalve ook vooral als een eerste indicatie gezien worden die opvolging verdient.

3 Resultaten en discussie

3.1 Pcb's en dioxines

Een volledig overzicht van de metingen van dioxines, de dioxine-achtige pcb's en de niet-dioxine-achtige pcb's (ndl-PCB's) is weergegeven in Bijlage 2. Om een overzichtelijk totaalbeeld te verkrijgen, zijn de resultaten voor dioxines (PCDD/F's), dioxine-achtige pcb's en ndl-pcb's uitgedrukt in gemeten concentraties (Figuur 14, Figuur 15, Figuur 16 en Figuur 17) en daarna samengevat als zogenaamde Toxiciteits Equivalenten (TEQ-waardes), uitgedrukt op basis van vers gewicht (Figuur 18).



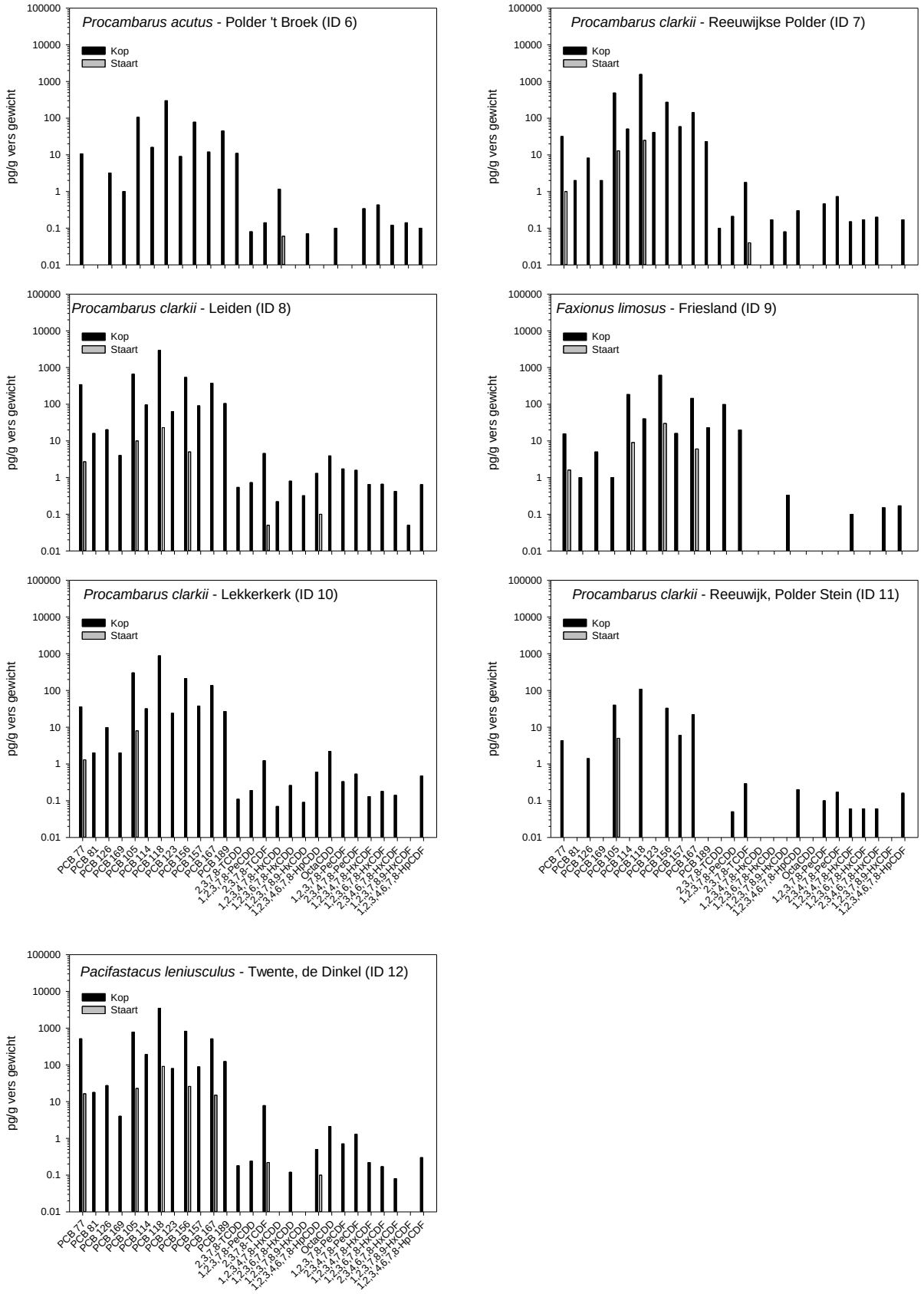
Figuur 14 *Dioxines (PCDD/F's) en dioxine-achtige pcb's in de geanalyseerde rivierkreeften van locatie 1 t/m 5. Het monster ID 5 is helaas verloren gegaan in deze specifieke analyse en hiervan zijn geen resultaten beschikbaar. Gehaltes op basis van productgewicht, niet op basis van vetgewicht.*

De analyses laten zien dat er een generieke trend in de gevonden verontreinigingen aanwezig is, waarbij de hoeveelheid opgenomen pcb's (77 t/m 189) hoger is dan de dioxines (Figuur 14, Figuur 15, Figuur 16 en Figuur 17). De gevonden patronen zijn echter niet volledig identiek en verschillen per locatie. Dit kan ongetwijfeld een gevolg zijn van het al dan niet voorkomen van een specifieke verontreiniging op een locatie. Als een bepaalde stof niet aanwezig is op een bepaalde plek, kan deze logischerwijs ook niet worden opgenomen door de daar voorkomende rivierkreeften. Omdat dit project zich op de mogelijkheid tot vermarkting van de rivierkreeften richt, zijn er verder geen monsters van het water en de waterbodem genomen. Hierdoor kan de directe verbinding tussen de gemeten verontreiniging in de rivierkreeft en eventuele verontreinigingen in hun directe omgeving niet rechtstreeks gelegd worden.

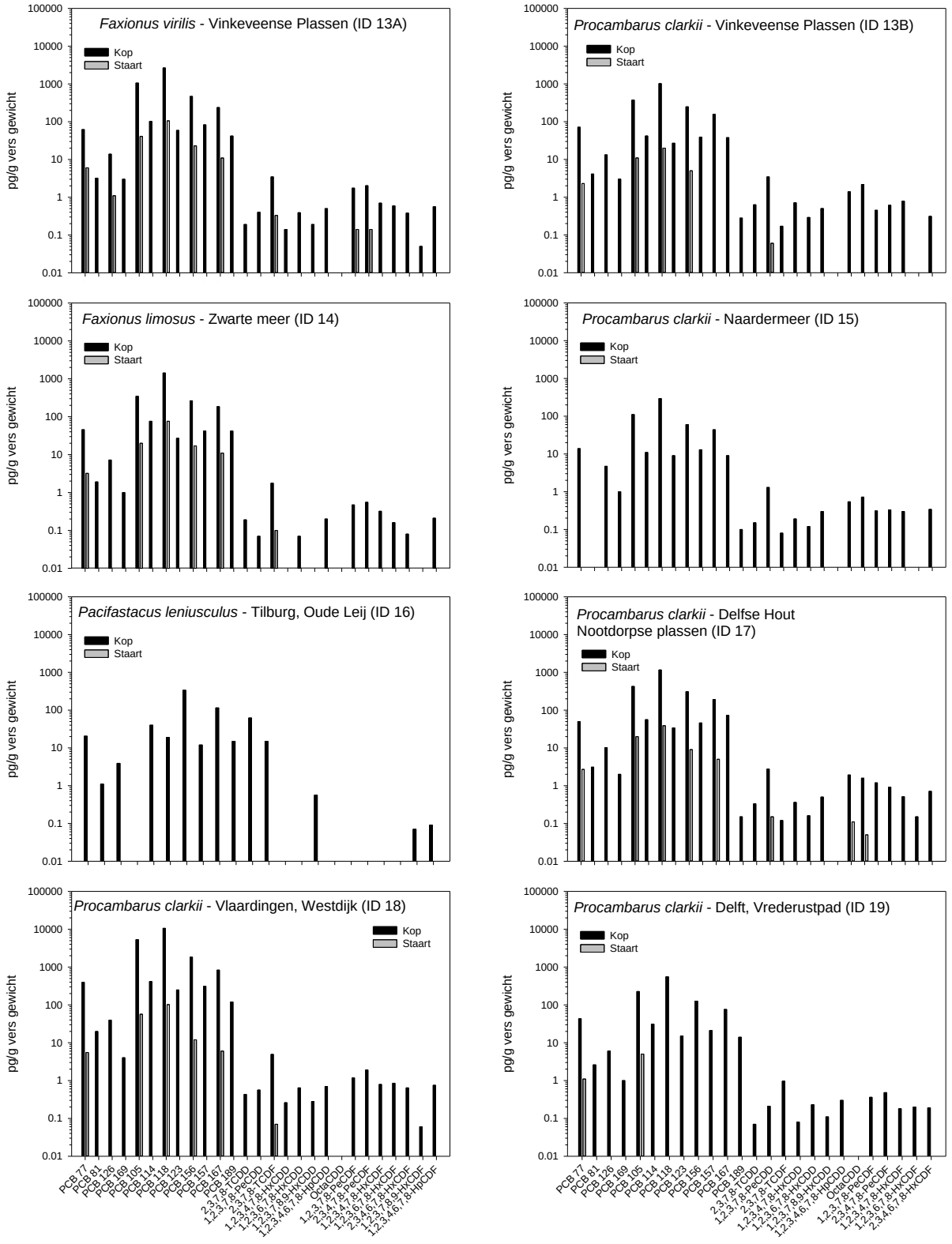
Desalniettemin zijn er ook verschillen te zien tussen de diverse soorten rivierkreeften. Op locatie 4 en 13 zijn bijvoorbeeld twee verschillende soorten gevangen die niet hetzelfde patroon aan verontreinigingen laten zien. Op locatie 4 werd zowel de gevlekte Amerikaanse (*Faxonius limosus*) als de rode Amerikaanse (*Procambarus clarkii*) rivierkreeft gevangen (Figuur 14). Echter in de monsters van de gevlekte Amerikaanse rivierkreeft lijken meer verschillende verontreinigen en ietwat hogere gehaltes voor te komen dan in de monsters van de rode Amerikaanse rivierkreeft. Ook in de resultaten van locatie 13, waar zowel de geknobbelde Amerikaanse (*Faxonius virilis*) als de rode Amerikaanse (*Procambarus clarkii*) rivierkreeft is gevangen, zien we dat er ietwat hogere gehaltes aan verontreinigen in de geknobbelde Amerikaanse rivierkreeft aanwezig zijn (Figuur 16). Dergelijke verschillen tussen rivierkreeften uit hetzelfde gebied duiden zeer waarschijnlijk op een verschil in gedrag/ecologie van de soorten. Hoewel het gebied waar de rivierkreeften vandaan komen wel hetzelfde is, betekent dit niet dat hier de verontreinigingen evenredig over het gehele gebied verdeeld zijn (Ciborowski en Corkum, 1988; Dias-Ferreira et al., 2016). Veel van de dioxines en pcb's binden aan organisch materiaal, wat kan betekenen dat op plekken waar veel ophoping van organisch materiaal plaatsvindt (Zhao et al., 2011; Cappelletti et al., 2014), de daar voorkomende rivierkreeften dus navenant meer van de verontreiniging kunnen opnemen. Als rode Amerikaanse rivierkreeften zich in dit gebied meer in de ondiepe delen of in de oevers ophouden waar minder organisch materiaal ophoopt, zullen ze daardoor minder verontreinigingen opnemen. Als dan bijvoorbeeld de gevlekte Amerikaanse rivierkreeften zich meer in de diepere delen van het gebied ophouden waar het organisch materiaal uiteindelijk wel ophoopt, zullen zij hier meer van kunnen opnemen. Daar verschillen in verontreiniging zich al op een zeer kleine ruimtelijke schaal kunnen voordoen (Zgłobicki et al., 2017), kan een dergelijk verschil in ecologie/gedrag van de betreffende soorten inderdaad verantwoordelijk zijn voor de waargenomen verschillen in opgenomen verontreinigingen. Hierbij moet worden opgemerkt dat gedrag van dieren van eenzelfde soort per locatie ook kan verschillen. Het gebruik van de aanwezige habitat van een soort kan zeker verschillend zijn tussen locaties waar de soort in isolatie voorkomt en locaties waar de soort moet concurreren met een andere rivierkreeft.

Een ander verschil wordt ook gevonden tussen de opname van verontreinigingen in kop- en staartvlees. Er worden meer verontreinigingen gevonden in de kop van de rivierkreeft dan in de staart. Dit is niet verwonderlijk, omdat dioxines en pcb's met name in weefsel met een hoog vetgehalte worden opgeslagen (Bachour et al., 1998; Szlinder-Richert et al., 2009). Het bruine vlees in de kop van de rivierkreeft bestaat grotendeels uit orgaanvlees, dat doorgaans meer vet bevat dan het witte vlees uit de staart, dat grotendeels uit spierweefsel bestaat (Leeuwen et al., 2014).

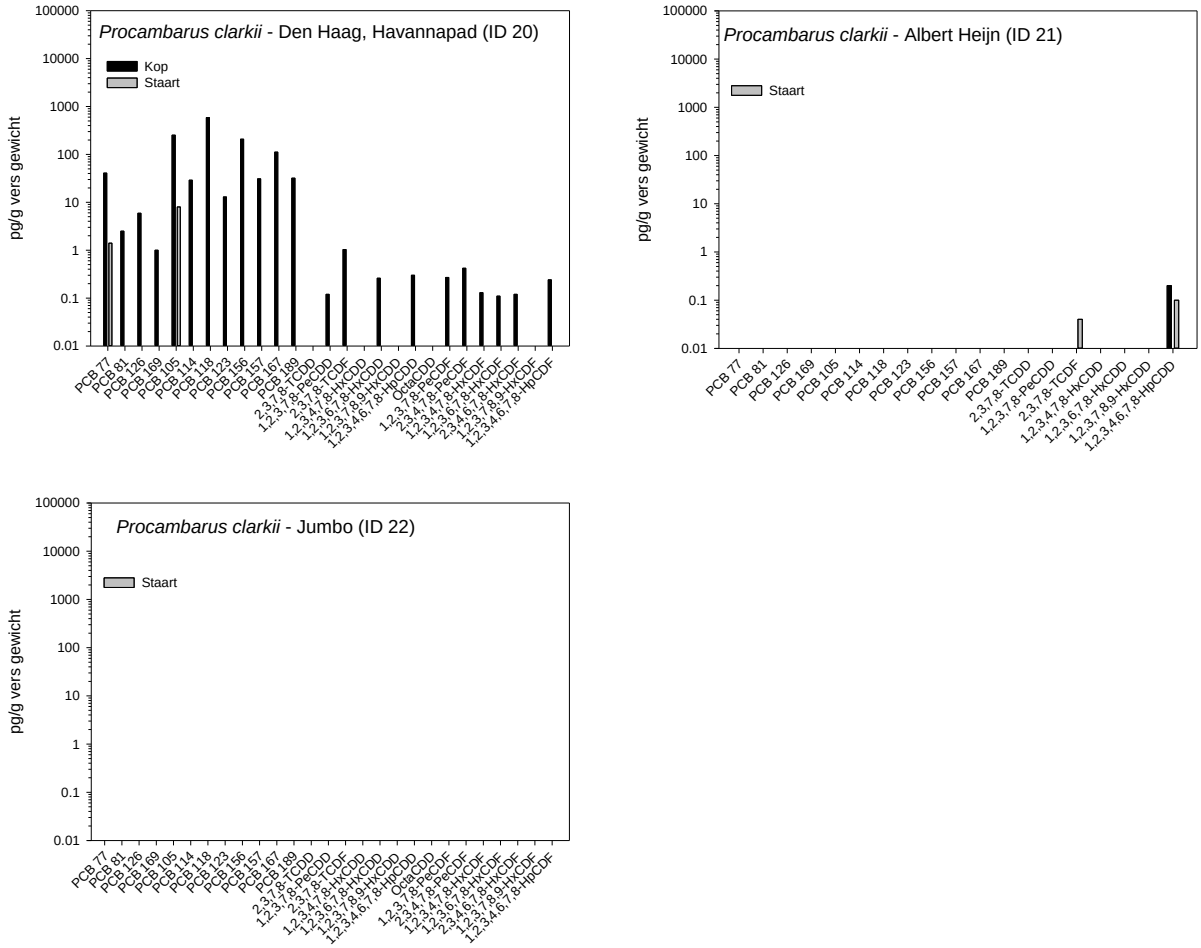
Omdat een dergelijke opname doorgaans voornamelijk bepaald wordt door de stofkarakteristieken van de betreffende verontreiniging, worden in eerste instantie vergelijkbare patronen per verontreiniging verwacht. Hiermee bedoelen we dat wanneer een stof zoals PCB105 wordt opgenomen in kreeft A, dit ook het geval zal zijn voor kreeft B. Dit natuurlijk mits de stof ook voorkomt in het leefgebied van kreeft B. Echter we zien in Figuur 15 dat PCB105 ook gevonden wordt in het kopvlees van kreeften in locatie 9, maar niet in het staartvlees. Op basis van de eerder waargenomen verdeling van deze pcb tussen kop- en staartvlees was dit wel verwacht. Mogelijk dat een groter verschil in vetgehalte van het kopvlees van de gevlekte rivierkreeften uit dit gebied hier de oorzaak van is.



Figuur 15 *Dioxines (PCDD/F's) en dioxine-achtige pcb's in de geanalyseerde rivierkreeften van locaties 6 t/m 12. Gehaltes op basis van productgewicht, niet op basis van vetgewicht.*

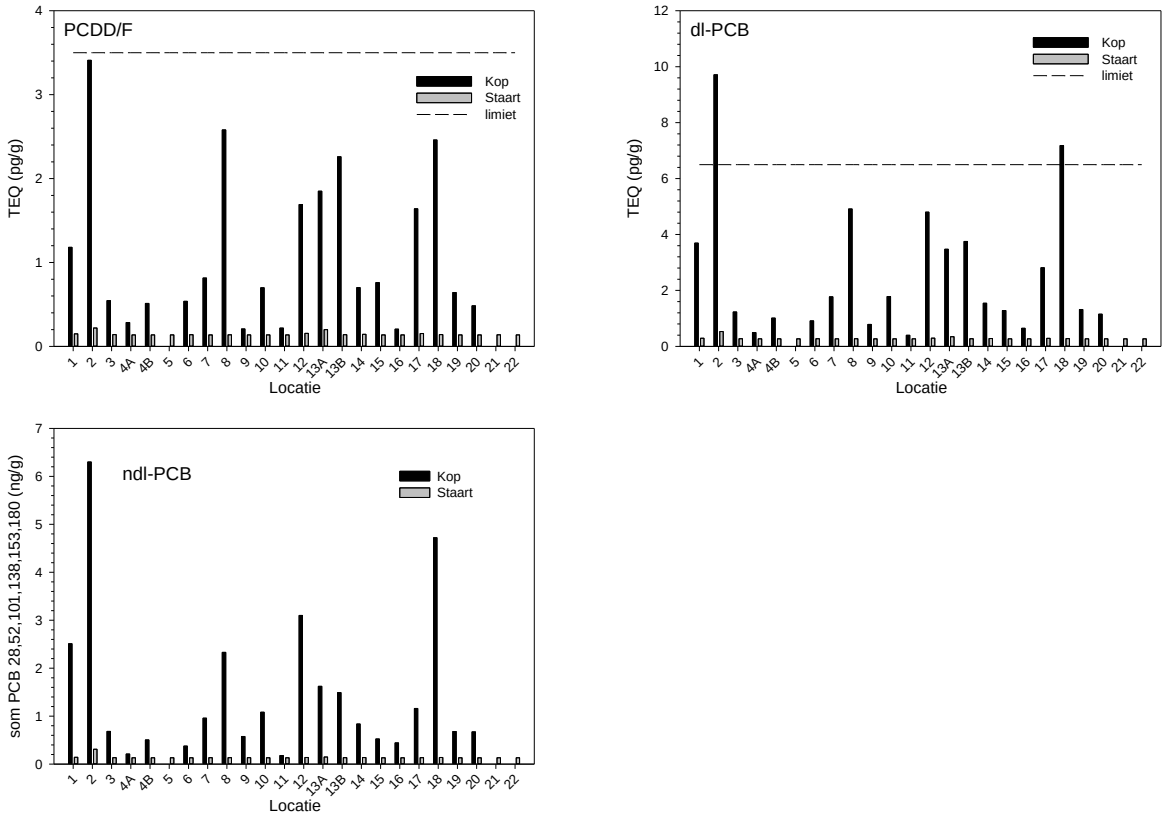


Figuur 16 *Dioxines (PCDD/F's) en dioxine-achtige pcb's in de geanalyseerde rivierkreeften van locaties 14 t/m 19. Gehaltes op basis van productgewicht, niet op basis van vetgewicht.*



Figuur 17 *Dioxines (PCDD/F's) en dioxine-achtige pcb's in de geanalyseerde rivierkreeften van locaties 20 t/m 22. Gehaltes op basis van productgewicht, niet op basis van vetgewicht.*

De analyses van de in het veld gevangen rivierkreeften laten een reeks van opgenomen verontreinigingen zien (Figuur 14, Figuur 15, Figuur 16 en Figuur 17). De monsters van de rivierkreeften uit beide supermarkten (Figuur 17) bevatten vrijwel geen pcb's en dioxines. Hierbij moet opgemerkt worden dat dit geen volledig eerlijke vergelijking betreft, omdat de monsters uit het veld niet dezelfde voorbehandeling gehad hebben. Zo zijn de monsters uit de supermarkt kant-en-klaar voorverpakte kreeftenstaartjes die verschillende behandelingen hebben ondergaan waarbij deze stoffen mogelijk verwijderd zijn. Maar mogelijk heeft dit ook met de lokale kweekcondities te maken en zitten deze stoffen niet of nauwelijks in de bassins/vijvers en het gebruikte voer.



Figuur 18 *Dioxines (PCDD/F's) en dioxine-achtige pcb's uitgedrukt als TEQ-waarde of som van niet-dioxine-achtige pcb's in de geanalyseerde Amerikaanse rivierkreeften van de bemonsterde locaties (upperbound gehaltes). Gehaltes op basis van productgewicht, niet op basis van vetgewicht.*

Om een indicatie te geven van de consumptiegeschiktheid van de verzamelde rivierkreeften, zijn de gevonden waardes vergeleken met de normen voor dioxines en de som van dioxines en dioxine-achtige pcb's (de zogenaamde toegestane TEQ-waardes). Deze normen bedragen respectievelijk 3,5 en 6,5 pg/g vers gewicht (EU, 2023). Dit betreft de norm voor schaaldieren, waar rivierkreeften ook onder vallen, en dan specifiek het vlees van de aanhangsels en de staart (in het geval van kreeften).

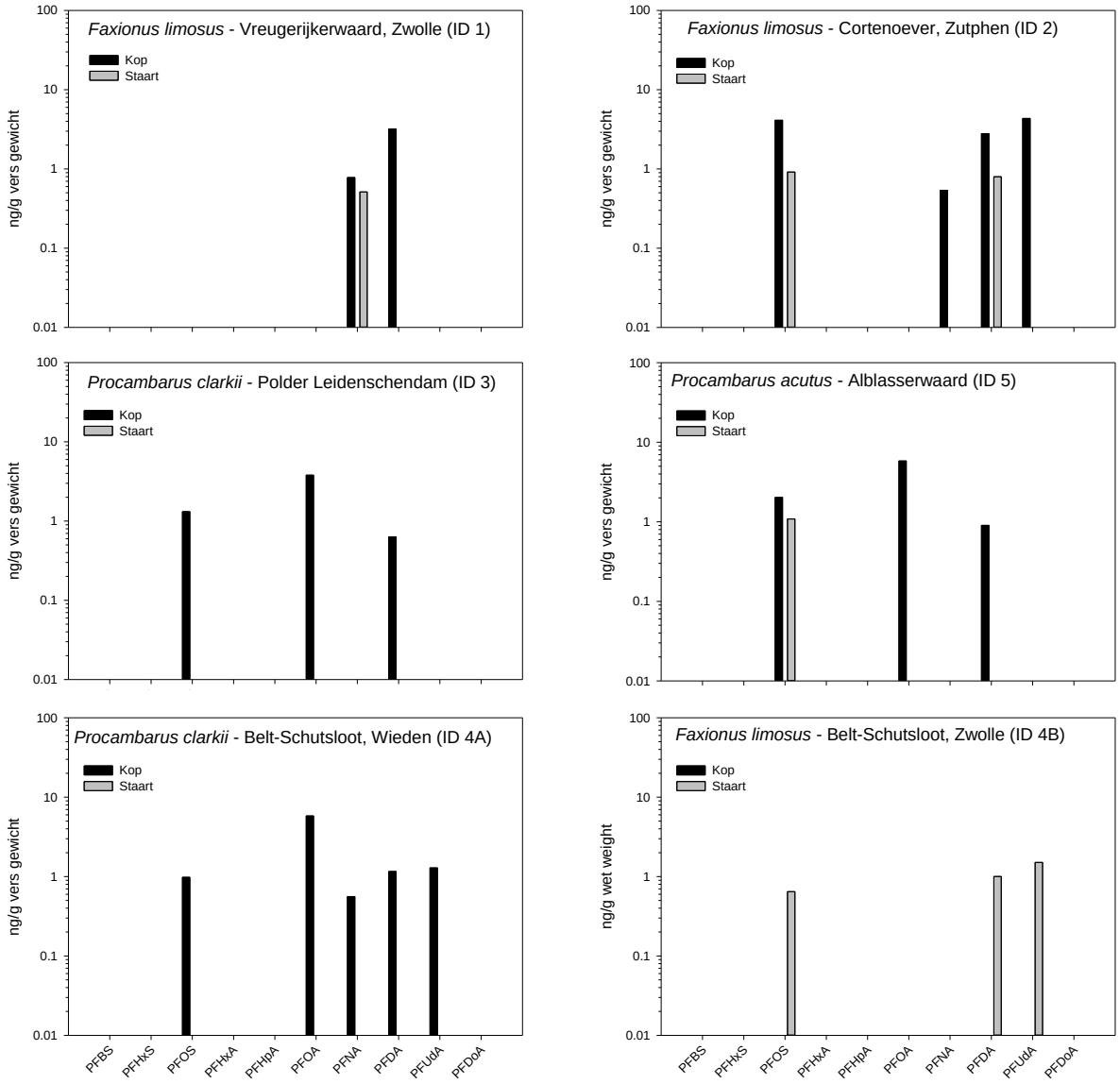
Uit de analyseresultaten blijkt dat alle gehaltes aan dioxines onder de toegestane norm liggen (Figuur 18A). Voor de som van dioxine-achtige pcb's liggen alle gevonden waardes van het staartvlees (spier) onder de consumptienorm van 6.5 pg/g vers gewicht. De waardes van het bruine kopvlees daarentegen liggen doorgaans veel hoger (Figuur 18B), maar voor het kopvlees is geen norm beschikbaar.

Voor de som van PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153 en PCB180 zijn de hoogste waardes gemeten in het 'bruine' kopvlees van de rivierkreeften afkomstig van locatie 1, 2, 8, 12 en 18 (Figuur 18C). Voor deze sommatie van ndl-pcb's is geen norm bekend voor zowel het witte als het bruine kopvlees (EU, 2023).

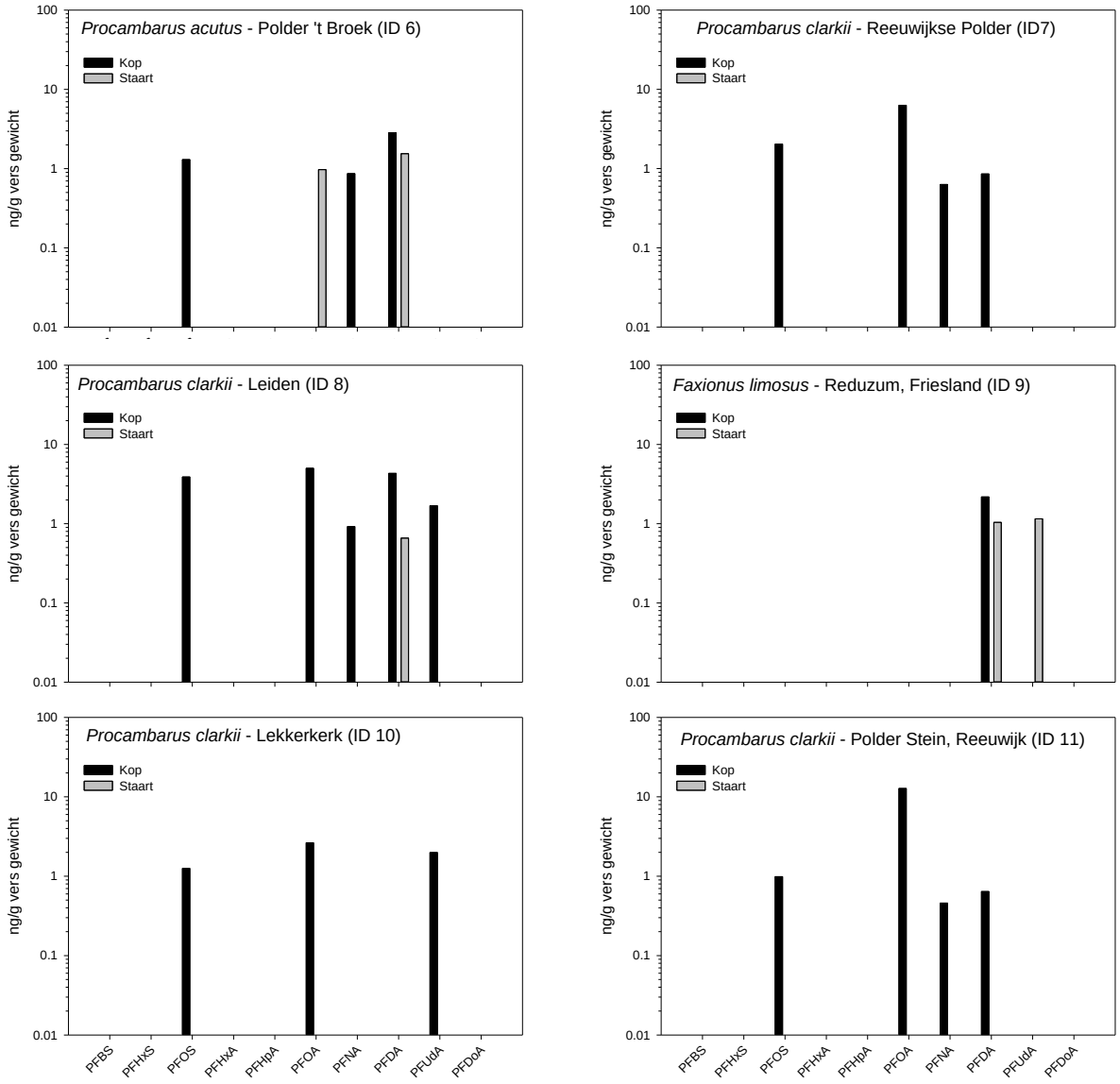
3.2 PFAS

PFAS betreft een groep van stoffen met gefluoreerde verbindingen die uitermate stabiel zijn in het milieu. Hoewel er heel veel verschillende PFAS structuren bestaan, zijn binnen dit onderzoek alleen de sulfonaten Perfluorbutaansulfonaat (PFBS; C4), Perfluorhexaansulfonaat (PFHxS; C6), Perfluorooctaansulfonaat (PFOS; C8) en de carbonaatzuren Perfluorhexaanzuur (PFHxA; C6), Perfluorheptaanzuur (PFHpA; C7), Perfluoroctaanzuur (PFOA; C8), Perfluornonaanzuur (PFNA; C9), Perfluorodecaanzuur (PFDA; C10), Perfluordecanoidezuur (PFUnDA; C11) en Perfluordodecaanzuur (PFDoDA; C12) gerapporteerd. In de analyse is ook Perfluorbutaanzuur (PFBA; C4) meegenomen (zie Bijlage 3), maar deze stof geeft makkelijk

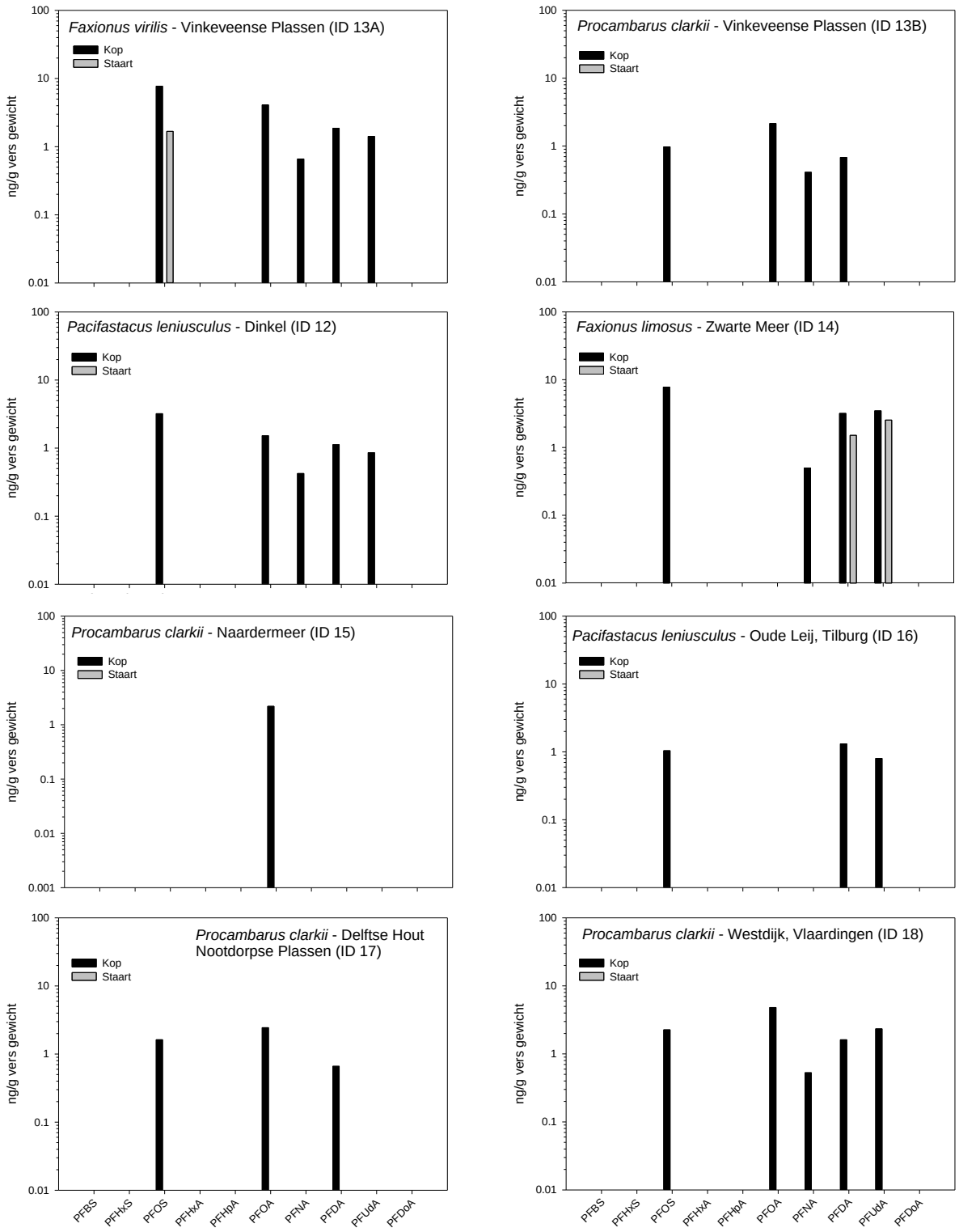
vals-positieve waardes in de analyse en bij gebrek aan een specifieke interne standaard in de analyse waren de resultaten van deze specifieke stof helaas niet betrouwbaar. Hierdoor zijn ze uit de verdere bespreking van de resultaten weggelaten.



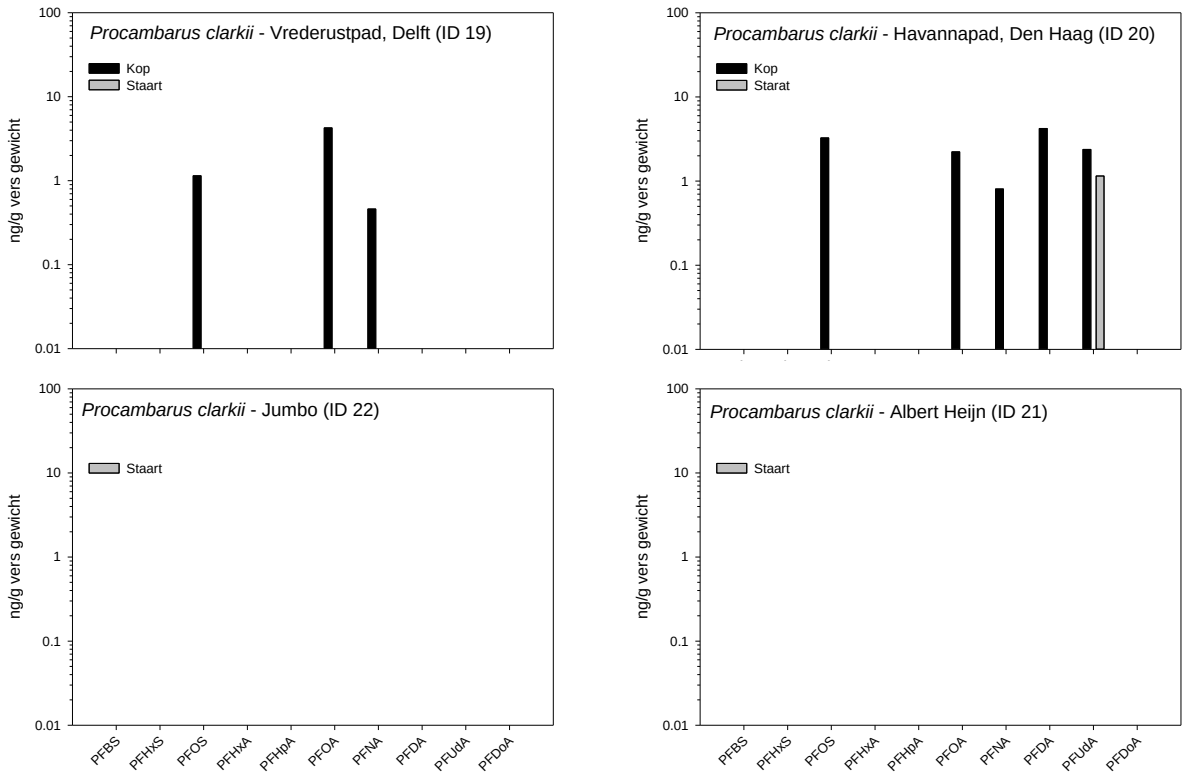
Figuur 19 *Concentraties aan PFAS in de geanalyseerde rivierkreeften van locaties 1 t/m 5. De PFAS zijn per groep (sulfonaat of carbonaatzuur) gerangschikt op hun ketenlengtes met de kortste ketens links en de langste ketens rechts in de grafiek. Indien er geen waardes getoond worden, betekent dat gehaltes lager waren dan de meetgrens (<LOQ). Let op: Bij monster 4B was de analyse van het kopweefsel niet mogelijk, omdat de hoeveelheid basismateriaal niet voldoende was voor een succesvolle analyse.*



Figuur 20 *Concentraties aan PFAS in de geanalyseerde rivierkreeften van locaties 6 t/m 11. De PFAS zijn per groep (sulfonaat of carbonaatzuur) gerangschikt op hun ketenlengtes met de kortste ketens links en de langste ketens rechts in de grafiek. Indien er geen waardes getoond worden, betekent dat gehaltes lager waren dan de meetgrens (<LOQ).*



Figuur 21 *Concentraties aan PFAS in de geanalyseerde rivierkreeften van locaties 12 t/m 18. De PFAS zijn per groep (sulfonaat of carbonaatzuur) gerangschikt op hun ketenlengtes met de kortste ketens links en de langste ketens rechts in de grafiek. Indien er geen waardes getoond worden, betekent dat gehaltes lager waren dan de meetgrens (<LOQ).*



Figuur 22 *Concentraties aan PFAS in de geanalyseerde rivierkreeften van locaties 19 t/m 22. De PFAS zijn per groep (sulfonaat of carbonaatzuur) gerangschikt op hun ketenlengtes met de kortste ketens links en de langste ketens rechts in de grafiek. Indien er geen waardes getoond worden, betekent dat gehaltes lager waren dan de meetgrens (<LOQ).*

De analyse van de monsters van de verschillende locaties laat zien dat, net zoals de andere verontreinigingen, PFAS veelal in het bruine vlees uit de kop teruggevonden worden en veel minder in het spierweefsel uit de staart (Figuur 19, Figuur 20, Figuur 21 en Figuur 22). Van bijvoorbeeld PFOS en PFOA is bekend dat ze niet in vetweefsel ophopen, maar wel in celmembranen en vooral aan eiwitten binden en daarmee juist in bloed en de lever (in rivierkreeften bekent als het hemolymf en de hepatopancreas) teruggevonden worden (Dassuncao et al., 2019; Droge, 2019; Heuvel-Greve et al., 2022). Bij kreeften zitten het meeste van het hemolymf en de hepatopancreas in het kopstuk, wat het verschil tussen kop en staart in de gevonden niveaus verklaart (Bijlage 2).

Ook bij de resultaten van de PFAS-analyses zien we dat er verschillen tussen de opgenomen gehaltes van verontreinigingen tussen rivierkreeften uit hetzelfde gebied gevonden worden. Net zoals bij de gevonden verschillen in pcb- en dioxinegehaltes (zie paragraaf 3.1) kan dit ook te maken hebben met de ruimtelijke verdeling van de verontreinigingen en de (micro)habitat die de verschillende rivierkreeften in dit gebied gebruiken. Ook tussen de verdeling van individuele PFAS tussen kop- en staartweefsel zit soms verschil. Hierbij moet worden opgemerkt dat in het geval van locatie 4B de analyse van het kopmonster niet succesvol was, waardoor dit het beeld van de verdeling tussen kop- en staartweefsel vertroebelt. Echter in de monsters van locatie 6 en 9 (Figuur 20) worden wel PFAS in de staart aangetroffen, terwijl deze zelfde stoffen niet in de kop zijn gevonden. Mogelijk zitten de waardes net onder de LOQ-waarde, maar de precieze toedracht hiervan is niet bekend.

Net als bij de pcb's en dioxines bevatten de monsters van de rivierkreeften uit beide supermarkten (Figuur 22) vrijwel geen PFAS boven de kwantificeringsgrens. Ook hier geldt dat dit geen volledig eerlijke vergelijking met de veldmonsters betreft, omdat de monsters uit het veld niet dezelfde voorbehandeling gehad hebben. Gehaltes kunnen wijzigen als gevolg van het bereiden van het voedsel, maar mogelijk worden deze kweekdieren ook met relatief schoon voer in een omgeving gehouden waar deze verontreinigingen niet aanwezig zijn.

De Europese Unie heeft in 2023 een nieuwe verordening uitgegeven waarin, naast o.a. metalen en dioxines, ook de maximumgehaltes van vier PFAS-verbindingen en hun som in schaaldieren en tweekleppige weekdieren zijn aangepast (EU, 2023). Het betreft hier wederom maximumgehaltes voor het 'witte' vlees van de aanhangsels en buik (in het geval van rivierkreeft de staart). Deze maximumgehaltes betreffen voor PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS en hun som respectievelijk 3,0; 0,7; 1,0; 1,5 en 5,0 µg/kg (= ng/g).

Tabel 3 *Gehaltes PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS en hun som in de geanalyseerde rivierkreeften uitgedrukt in ng per g vers gewicht. Grijs gearceerde getallen zijn hoger dan de norm van de individuele PFAS of hun som, waarbij opgemerkt wordt dat de ML's alleen gelden voor het vlees uit de staart.*

	PFOS (ng/g)		PFOA (ng/g)		PFNA (ng/g)		PFHxS (ng/g)		Som (ng/g)	
ID	**Kop**	**Staart**	**Kop**	**Staart**	**Kop**	**Staart**	**Kop**	**Staart**	**Kop**	**Staart**
1	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,779	0,511	<LOQ	<LOQ	0,779	0,511
2	4,120	0,916	<LOQ	<LOQ	0,536	<LOQ	<LOQ	<LOQ	4,656	0,916
3	1,316	<LOQ	3,799	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	5,115	<LOQ
4A	0,981	<LOQ	5,811	<LOQ	0,561	<LOQ	<LOQ	<LOQ	7,353	<LOQ
4B	-	0,646	-	<LOQ	-	<LOQ	-	<LOQ	-	0,646
5	2,025	1,086	5,828	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	7,853	1,086
6	1,302	<LOQ	<LOQ	0,972	0,866	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2,168	0,972
7	2,040	<LOQ	6,296	<LOQ	0,630	<LOQ	<LOQ	<LOQ	8,966	<LOQ
8	3,893	<LOQ	5,006	<LOQ	0,921	<LOQ	<LOQ	<LOQ	9,820	<LOQ
9	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
10	1,256	<LOQ	2,637	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	3,892	<LOQ
11	0,987	<LOQ	12,769	<LOQ	0,458	<LOQ	<LOQ	<LOQ	14,214	<LOQ
12	3,212	<LOQ	1,525	<LOQ	0,424	<LOQ	<LOQ	<LOQ	5,161	<LOQ
13A	7,738	1,681	4,106	<LOQ	0,661	<LOQ	<LOQ	<LOQ	12,505	1,681
13B	0,975	<LOQ	2,154	<LOQ	0,410	<LOQ	<LOQ	<LOQ	3,539	<LOQ
14	7,794	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,498	<LOQ	<LOQ	<LOQ	8,292	<LOQ
15	<LOQ	<LOQ	2,192	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2,192	<LOQ
16	1,043	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,043	<LOQ
17	1,623	<LOQ	2,442	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	4,066	<LOQ
18	2,261	<LOQ	4,823	<LOQ	0,529	<LOQ	<LOQ	<LOQ	7,614	<LOQ
19	1,144	<LOQ	4,256	<LOQ	0,459	<LOQ	<LOQ	<LOQ	5,859	<LOQ
20	3,260	<LOQ	2,228	<LOQ	0,807	<LOQ	<LOQ	<LOQ	6,296	<LOQ
21	-	<LOQ	-	<LOQ	-	<LOQ	-	<LOQ	-	<LOQ
22	-	<LOQ	-	<LOQ	-	<LOQ	-	<LOQ	-	<LOQ

- = niet genoeg monster voorradig voor analyse.

Alleen voor staartvlees van rivierkreeften afkomstig van locatie 6 wordt een overschrijding van de limietwaarde op basis van het gehalte van PFOA waargenomen (Tabel 3). Het is echter maar de vraag of dit daadwerkelijk een overschrijding van de norm betreft als de meetonzekerheid in acht genomen wordt. Het staartvlees van de rivierkreeften van de overige locaties valt allemaal onder de gestelde maximumgehaltes en mag daarmee op de markt gebracht worden (EU, 2023). De gevonden waardes in het bruine kopvlees zijn doorgaans veel hoger (Tabel 3). Echter hier zijn geen maximumgehaltes voor gesteld (EU, 2023).

De Europese Voedsel Autoriteit (EFSA) heeft een Tolereerbare Wekelijkse Inname voor de som van deze vier PFAS bepaald op 4,4 ng/kg lichaamsgewicht (EFSA, 2020). Een persoon van 75 kg kan dan wekelijks maximaal 75*4,4=330 ng innemen. Er voor het gemak even van uitgaande dat een dergelijke persoon op geen enkele andere manier blootgesteld wordt aan PFAS in zijn of haar dieet, zou dit in het geval van locatie 13A (waar we de hoogste somwaarde hebben gevonden welke nog toegestaan is voor staartvlees) neerkomen op 330/1,681=196 gram vers gewicht aan rivierkreeftstaartjes. Deze hoeveelheid varieert in principe tussen 196 en 645 gram, afhankelijk van de locatie waar de kreeftjes vandaan komen (zie Bijlage 2).

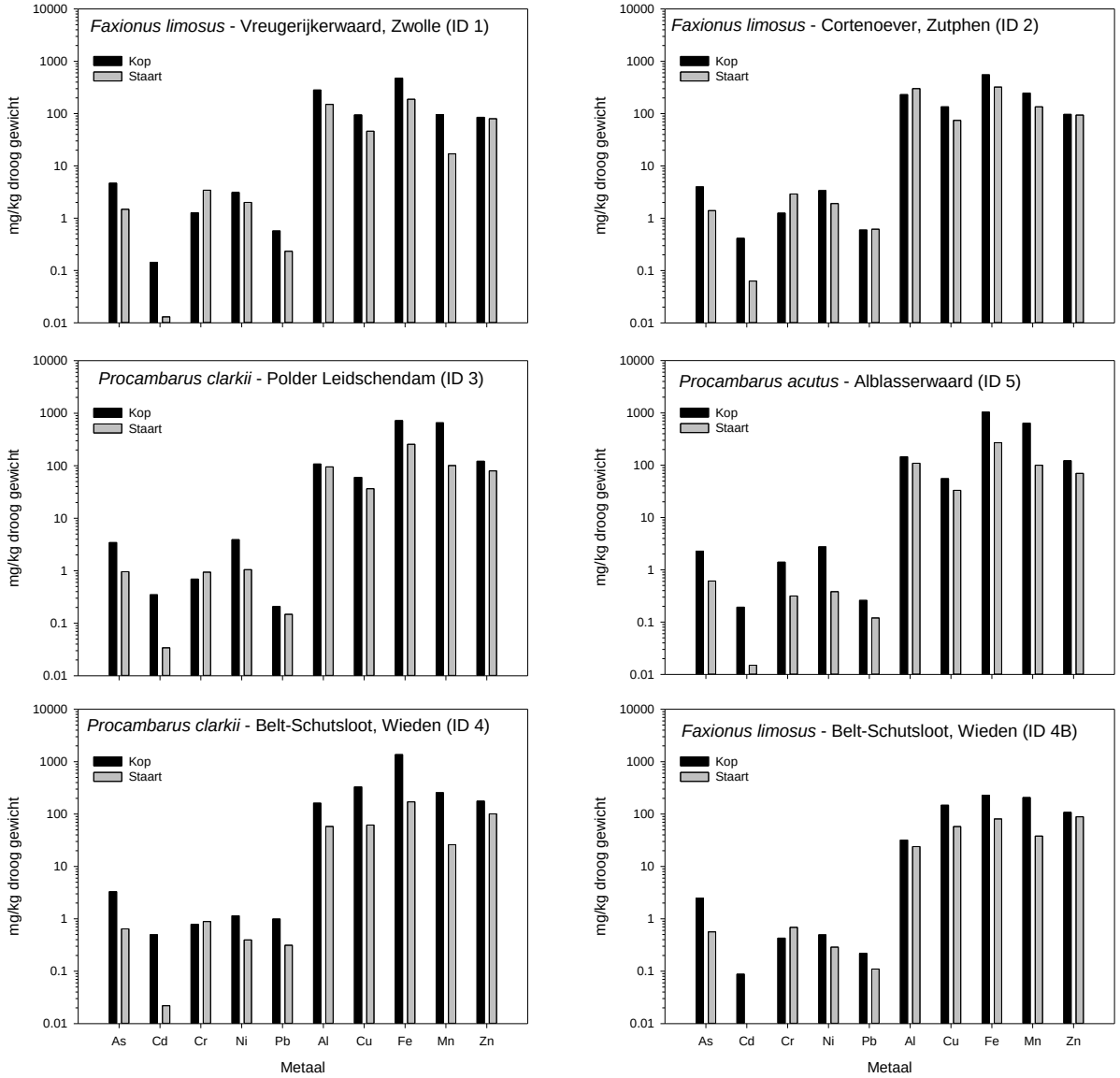
Op basis van de TWI van 4,4 ng/gram lichaamsgewicht (EFSA, 2020) zou een persoon met een gewicht van 75 kg bij het hoogst gevonden gehalte van 14,2 ng/g (locatie 11) wekelijks maar respectievelijk 23 gram

kopvlees mogen consumeren. Indien er in deze rivierkreeften 4 gram vers vlees in een kop zit (zie Tabel 2), zou dit op ongeveer 5 tot 6 kreeftenkoppen per persoon neerkomen.

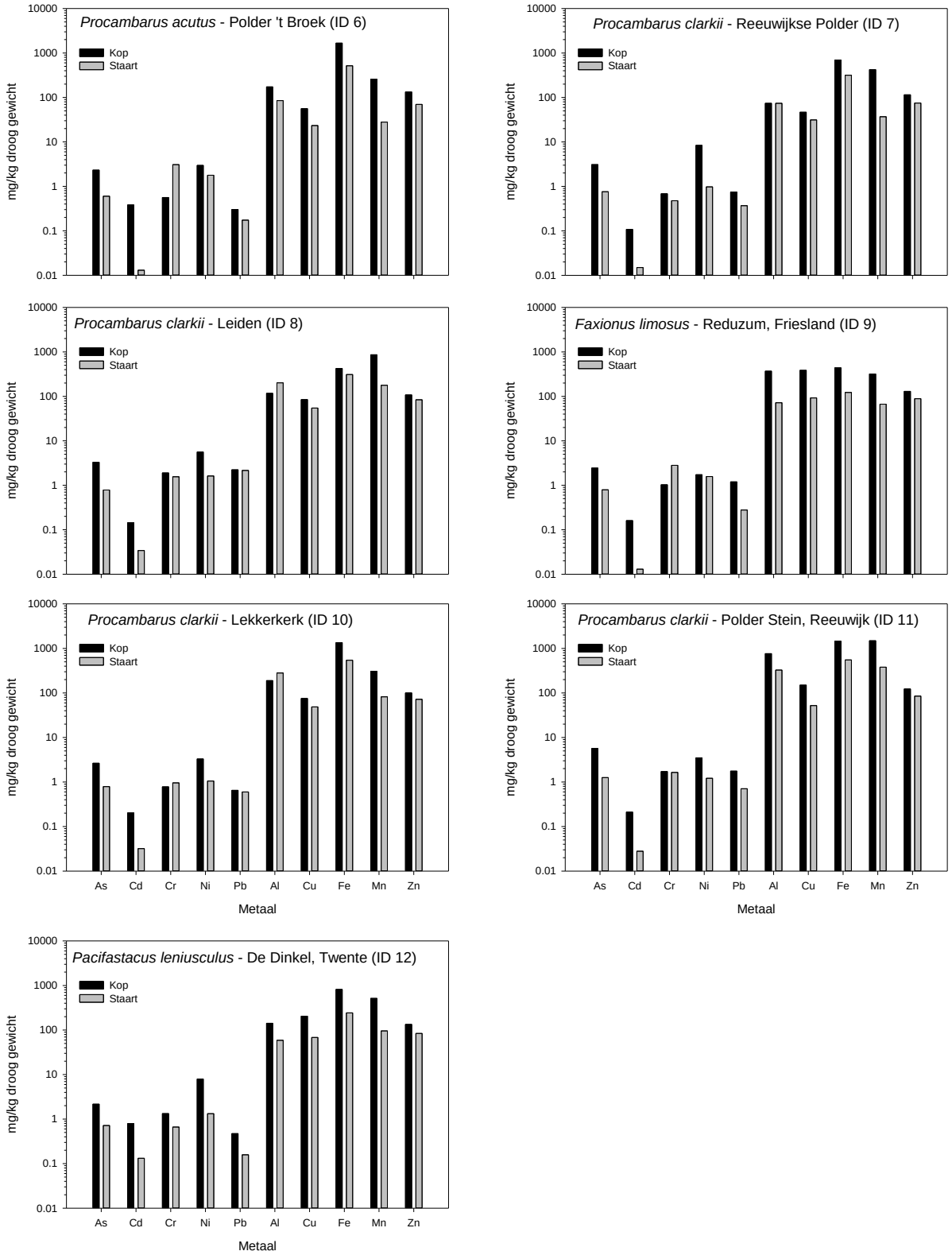
3.3 Metalen

De gevonden gehaltes van arseen (As), cadmium (Cd), chroom (Cr), nikkel (ni) en lood (Pb) zijn in alle gevallen lager dan de gevonden gehaltes van aluminium (Al), koper (Cu), ijzer (Fe), mangaan (Mn) en zink (Zn; zie Figuur 23, Figuur 24, Figuur 25 en Figuur 26). Dit heeft te maken met het voorkomen van deze metalen in het milieu, waarbij de metalen uit de eerste groep normaliter in lagere concentraties voorkomen dan de metalen uit de tweede groep en daardoor ook in lagere concentraties in biota worden opgeslagen.

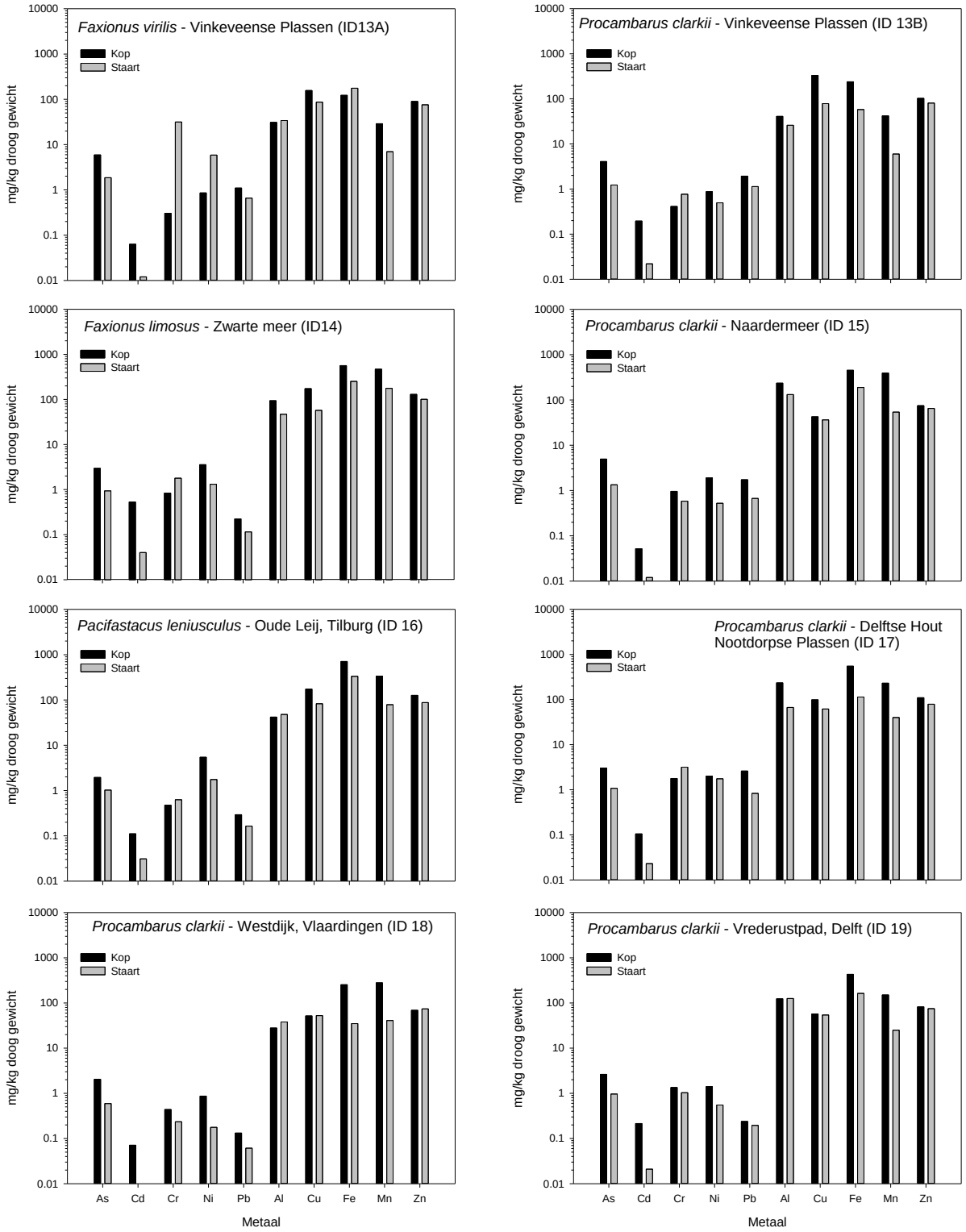
Per metaal liggen de gehaltes in het kop- en staartvlees van de geanalyseerde rivierkreeften redelijk in dezelfde ordegrootte, hoewel er normaliter ietwat meer in de kop gevonden wordt dan in de staart (zie Figuur 23, Figuur 24, Figuur 25 en Figuur 26). De metalen cadmium en chroom vormen hierop een uitzondering. Chroom wordt in een aantal gevallen in ietwat hogere concentraties in de staart aangetroffen, terwijl het metaal cadmium in de kop hogere concentraties bereikt dan in het staartvlees (zie Figuur 23, Figuur 24, Figuur 25 en Figuur 26).



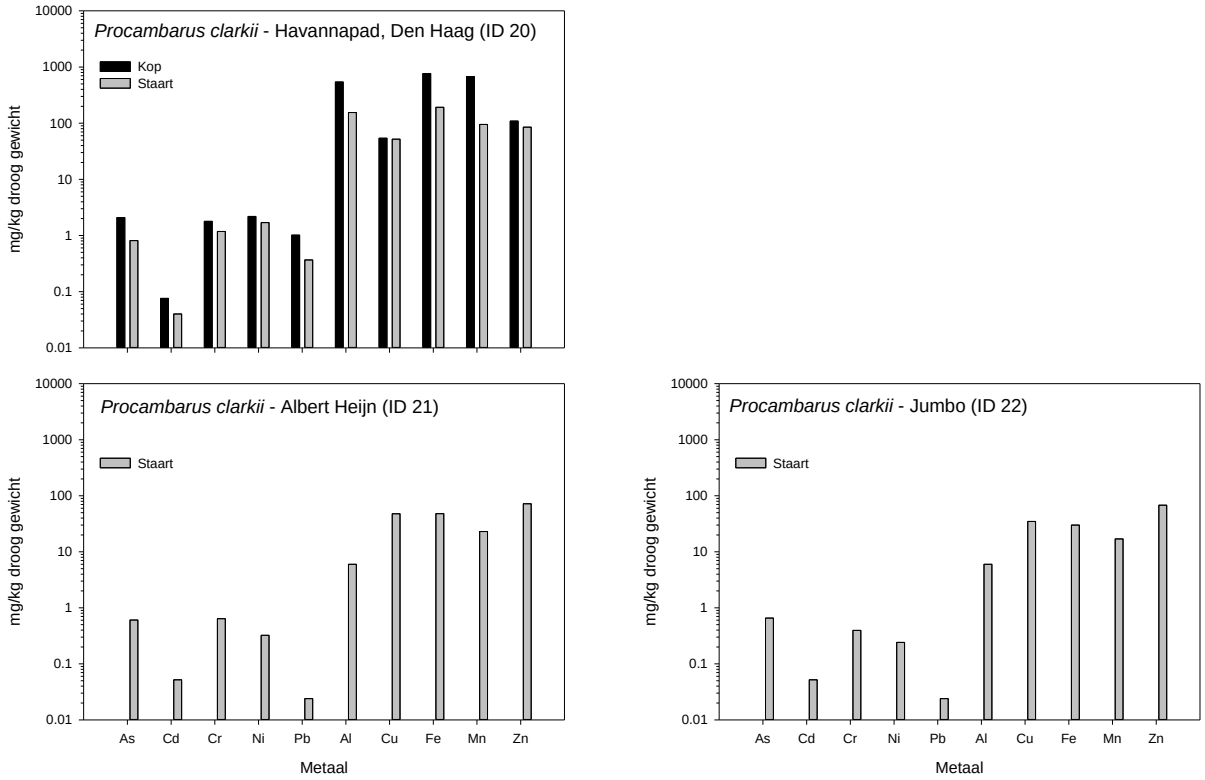
Figuur 23 *Concentraties van zware metalen in de geanalyseerde rivierkreeften van locaties 1 t/m 5.*



Figuur 24 *Concentraties van zware metalen in de geanalyseerde rivierkreeften van locaties 6 t/m 12.*



Figuur 25 *Concentraties van zware metalen in de geanalyseerde rivierkreeften van locaties 13 t/m 19.*



Figuur 26 *Concentraties van zware metalen in de geanalyseerde rivierkreeften van locaties 20 t/m 22.*

In tegenstelling tot de eerdere analyses voor pcb's, dioxines en PFAS, worden in het staartvlees van de rivierkreeften uit de supermarkt wel degelijk verontreinigingen van metalen aangetroffen (Figuur 26). Interessant genoeg laten deze kreeftenstaartjes van geïmporteerde rivierkreeften vergelijkbare patronen zien als welke aangetroffen worden in de in het Nederlandse veld verzamelde rivierkreeften.

Er zijn maar voor drie metalen maximumgehaltes afgeleid, te weten cadmium (Cd), kwik (Hg) en lood (Pb). In dit project was het niet mogelijk om kwik te meten en hier kunnen derhalve geen uitspraken over gedaan worden. De grenswaarde voor cadmium en lood betreft 0,5 mg/kg vers gewicht (EU, 2023). Hierbij moet worden opgemerkt dat dit alleen het vlees van appendages (scharen) en buik (witte vlees) betreft en niet het weefsel uit het kopstuk (EU, 2023), waarvoor geen norm is afgeleid. Omdat de concentraties in dit project in mg/kg drooggewicht bepaald zijn, moeten de waardes van cadmium en lood omgerekend worden. Daar de nat/drooggewicht-ratio voor *Procambarus* een factor 4 betreft (Powell en Watts, 2010), nemen we dit als maat voor alle rivierkreeften. Als gevolg kunnen de gevonden waardes door deze ratio gedeeld worden om zo op de hoeveelheid per vers gewicht te komen (Tabel 4).

Tabel 4 *Gehaltes cadmium en lood in de geanalyseerde rivierkreeften, uitgedrukt in droog en vers gewicht. Grijs gearceerde getallen zijn hoger dan de norm van 0.5 mg/kg vers gewicht.*

	Cadmium				Lood			
	Droog gewicht		Vers gewicht		Droog gewicht		Vers gewicht	
Monster ID	Kop (mg/kg)	Staart (mg/kg)	Kop (mg/kg)	Staart (mg/kg)	Kop (mg/kg)	Staart (mg/kg)	Kop (mg/kg)	Staart (mg/kg)
1	0,14	0,01	0,04	0,00	0,57	0,23	0,14	0,06
2	0,41	0,06	0,10	0,02	0,60	0,62	0,15	0,15
3	0,35	0,03	0,09	0,01	0,21	0,15	0,05	0,04
4A	0,50	0,02	0,12	0,01	0,99	0,31	0,25	0,08
4B	0,09	0,01	0,02	0,00	0,22	0,11	0,05	0,03
5	0,19	0,02	0,05	0,00	0,26	0,12	0,07	0,03
6	0,38	0,01	0,10	0,00	0,30	0,17	0,08	0,04
7	0,11	0,02	0,03	0,00	0,75	0,37	0,19	0,09
8	0,14	0,03	0,04	0,01	2,23	2,16	0,56	0,54
9	0,16	0,01	0,04	0,00	1,20	0,28	0,30	0,07
10	0,20	0,03	0,05	0,01	0,65	0,60	0,16	0,15
11	0,21	0,03	0,05	0,01	1,76	0,71	0,44	0,18
12	0,79	0,13	0,20	0,03	0,47	0,16	0,12	0,04
13A	0,06	0,01	0,02	0,00	1,10	0,66	0,27	0,16
13B	0,20	0,02	0,05	0,01	1,93	1,14	0,48	0,28
14	0,53	0,04	0,13	0,01	0,22	0,12	0,06	0,03
15	0,05	0,01	0,01	0,00	1,73	0,67	0,43	0,17
16	0,11	0,03	0,03	0,01	0,29	0,16	0,07	0,04
17	0,11	0,02	0,03	0,01	2,60	0,83	0,65	0,21
18	0,07	0,01	0,02	0,00	0,13	0,06	0,03	0,02
19	0,21	0,02	0,05	0,01	0,24	0,20	0,06	0,05
20	0,08	0,04	0,02	0,01	1,02	0,37	0,25	0,09
21	0,06	0,05	0,02	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01
22	0,06	0,05	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01

De aantoonbaarheidsgrens voor cadmium en lood was respectievelijk 0.06 mg/kg en 0.3 mg/kg (Bijlage 3). Uit de bovenstaande resultaten blijkt dat alleen voor lood in de monsters uit Leiden (ID 8) en de Nootdorpse plassen in Delftse Hout (ID 17) hogere waardes gevonden worden dan de maximumgehaltes. Echter deze overschrijding is dusdanig gering dat, gekeken naar de ondergrens van de variatie in de meting, de monsters uit Leiden (ID 8) geen normoverschrijding tot gevolg hebben. In alle andere monsters liggen voor beide metalen de gevonden concentraties in de staart altijd onder de norm uitgedrukt in vers gewicht.

4 Conclusie, discussie en aanbevelingen

4.1 Algemeen

In alle bemonsterde locaties werden genoeg kreeften gevangen om de analyses mogelijk te maken. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat er ten minste op acht van de locaties (ID1, 2, 11, 12, 14, 15, 16 en 17) ten tijde van de bemonsteringen geen rivierkreeften voor consumptie gevangen werden. Deze locaties zijn aan het project toegevoegd, omdat er andere soorten rivierkreeften voorkwamen, vanwege hun historie (bekende verontreiniging) of dat het niet-geïsoleerde wateren betroffen. Het was daarmee interessant om te zien welke verontreinigingen in welke niveaus dan in de gevangen rivierkreeften teruggevonden werden.

De rivierkreeften werden onderzocht op het voorkomen van (zware) metalen, dioxines, pcb's en PFAS. De gevonden waardes werden vergeleken met de geldende consumptienormen (maximumgehaltes). Deze normen worden doorgaans niet voor alle individuele verontreinigingen afgeleid, maar alleen voor degene waarvan momenteel bekend is dat ze negatieve effecten op de gezondheid kunnen hebben. De normen voor kreeftachtigen (waar de rivierkreeften onder vallen) of vis- en visserijproducten betroffen altijd normen voor het zogenaamde 'witte' spiervlees uit de staart en appendages, oftewel aanhangsels (scharen). Er wordt hierbij aangenomen dat er geen consumptie plaatsvindt van het 'bruine' orgaanvlees uit de kop. Echter de verschillende recepten van o.a. 'bisque', oftewel kreeftensoep, bewijzen het tegendeel. Door het ontbreken van productnormen konden helaas geen uitspraken over het wel of niet vermarkten van het bruine vlees gedaan worden.

De gehaltes aan dioxines, dioxine-achtige pcb's en niet-dioxine-achtige pcb's zijn doorgaans het hoogst in het kopvlees van de rivierkreeften. Dit komt omdat deze stoffen vooral opgeslagen worden in de vetrijke weefsels en organen die, in het geval van rivierkreeften, vooral in de kop aanwezig zijn. Voor dioxines en de som van dioxine-achtige pcb's liggen alle gevonden gehaltes onder de maximumgehaltes. Voor de niet-dioxine-achtige pcb's liggen de gevonden gehaltes in het kopvlees van de rivierkreeften van de monsters 1, 2, 8, 12 en 18 opvallend veel hoger dan bij de andere locaties. Maar omdat voor deze stoffen geen grenswaardes zijn vastgesteld, kan dit niet verder beoordeeld worden.

In veel van de monsters worden de 'bekende' PFAS-componenten PFOS en PFOA gevonden. Maar er zijn zeker verschillen in PFAS-verontreiniging tussen de monsters van de verschillende locaties en soorten rivierkreeften. De PFAS-componenten worden veel in het bruine vlees afkomstig van de kop gevonden. Terwijl dit in mindere mate voor het witte vlees, afkomstig van de staart, het geval is.
De Europese Unie heeft in 2023 een nieuwe verordening uitgegeven met o.a. maximumgehaltes van vier PFAS-verbindingen (PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS) en hun som in schaaldieren en tweekleppige weekdieren (EU, 2023). Hoewel voor staartvlees van rivierkreeften afkomstig uit locatie 6 een hogere waarde dan de limiet van PFOA wordt waargenomen, is dit op basis van de bijbehorende meetonzekerheid waarschijnlijk geen daadwerkelijke overschrijding van de norm. Het staartvlees van de rivierkreeften van de overige locaties valt allemaal binnen de gestelde grenswaardes en mag daarmee op de markt gebracht worden. De gevonden waardes in het bruine kopvlees zijn doorgaans veel hoger, maar hier zijn geen grenswaardes voor gesteld.

De resultaten van de metaalanalyses van de rivierkreeftmonsters laten zien dat alle geanalyseerde metalen voorkomen in zowel de kop als de staart van de rivierkreeften. Daar al deze metalen als natuurlijke achtergrond in waterbodems voorkomen, is het niet verwonderlijk dat ze ook opgenomen worden in de daar voorkomende biota. Daar kwik (Hg) niet gemeten kon worden in dit project, worden alleen de consumptienormen van cadmium (Cd) en lood (Pb) getoetst. Hieruit blijkt dat geen enkel monster de norm voor cadmium (Cd) overschrijdt en dat alleen voor lood (Pb) in de monsters uit Leiden (ID 8) een hogere waarde gevonden wordt. Daar er hierbij ook rekening gehouden moet worden met de ondergrens van de variatie in de meting, is het bij deze locatie erg onwaarschijnlijk dat er sprake is van een overschrijding van het maximumgehalte.

4.2 Consumptie

4.2.1 Mogelijkheid tot vermarkting

De resultaten van de verschillende analyses laten zien dat de gevonden gehaltes aan onderzochte metalen, dioxines, pcb's en PFAS van het 'witte' staartvlees vrijwel altijd onder de maximumgehaltes liggen en verhandeld mogen worden. Hoewel het gehalte van PFOA in staartvlees van rivierkreeften uit Polder 't Broek (locatie 6) hoger ligt dan de maximumwaarde, is dit waarschijnlijk geen daadwerkelijke overschrijding wanneer men rekening houdt met de meetonzekerheid. Omdat er geen grenswaardes zijn vastgesteld voor het bruine kopvlees, kunnen deze verhandeld worden, tenzij consumptie niet veilig is. Het gebrek aan een dergelijke norm is onwenselijk, omdat dit deel van de rivierkreeften wel degelijk geconsumeerd wordt in soep en zogenaamde bisques. Het verdient aanbeveling om tot een risicobeoordeling voor het bruine kopvlees te komen.

Waar de EU maximumgehaltes vaststelt die reguleren of producten op de markt mogen komen (EU, 2023), zegt de tolereerbare wekelijkse innames (TWI; afgeleid door EFSA) iets over het mogelijke gezondheidsrisico van een blootstelling. De resultaten van de analyses worden vergeleken met deze TWI-waardes en voor het gemak gaan we er in deze vergelijking even van uit dat een persoon deze verontreinigingen alleen via het eten van rivierkreeft binnenkrijgt. In de praktijk zal dit zeker niet het geval zijn en geeft dit hooguit een eerste globale indruk. Een officieel voedingsadvies zal nog een verdere verfijning nodig hebben, uitgevoerd door de daarvoor bevoegde instanties.

4.2.2 Dioxines en pcb's

De TWI voor dioxines en dioxine-achtige pcb's is op een waarde van 2 pg TEQ/kg lichaamsgewicht vastgesteld (EFSA, 2018). Een persoon van 75 kg kan dan wekelijks maximaal 75*2=150 pg TEQ innemen. Dit voorbeeld gaat uit van het feit dat een dergelijke persoon op geen enkele andere manier blootgesteld wordt aan dioxines en dioxine-achtige pcb's in zijn of haar dieet. In het geval van locatie 13A (waar we de hoogste TEQ-waarde hebben gevonden voor staartvlees) zou dit neerkomen op 150/0,346=433 gram vers gewicht aan rivierkreeftstaartjes. Hierbij moet opgemerkt worden dat we locatie 1 en 2 buiten deze vergelijking hebben gehouden, omdat dit zogenaamde 'gesloten gebieden' betreft waardoor ze afvallen voor consumptiedoeleinden.

Omdat er geen grenswaardes voor het bruine kopvlees zijn vastgesteld, zijn de aangetroffen gehaltes geen directe belemmering voor vermarkting. Op basis van de TWI van 2 pg TEQ/kg lichaamsgewicht (EFSA, 2018) zouden personen met een gewicht van 75 kg wekelijks 60 gram kopvlees afkomstig van locatie 18 (waar we buiten de gesloten gebieden de hoogste TEQ-waarde hebben gevonden voor kopvlees) mogen consumeren.

4.2.3 PFAS

De tolereerbare wekelijkse inname voor de som van de vier PFAS (PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS) is bepaald op 4,4 ng/kg lichaamsgewicht (EFSA, 2020). Een persoon van 75 kg kan dan wekelijks maximaal 75*4,4=330 ng innemen. Dit voorbeeld gaat uit van het feit dat een dergelijke persoon op geen enkele andere manier blootgesteld wordt aan PFAS in zijn of haar dieet. In het geval van locatie 13A (waar we de hoogste somwaarde hebben gevonden voor staartvlees) zou dit betekenen dat 330/1,681=196 gram vers gewicht aan rivierkreeftstaartjes wekelijks geconsumeerd kan worden.

Echter op basis van de TWI van 4,4 ng/kg lichaamsgewicht (EFSA, 2020) zouden personen met een gewicht van 75 kg wekelijks maar 23 gram kopvlees van locatie 11 (waar we de hoogste somwaarde hebben gevonden voor kopvlees) mogen consumeren. In deze rivierkreeften zit ongeveer 4 gram vers vlees in een kop, wat neerkomt op een maaltijd van ongeveer 5 tot 6 kreeftenkoppen per persoon.

4.2.4 Metalen

De tolereerbare wekelijkse inname voor de metalen cadmium (Cd) en lood (Pb) zijn bepaald op respectievelijk 2,5 and 25 µg/kg lichaamsgewicht (EFSA, 2009; 2010). Hierbij moet wel opgemerkt worden

dat de TWI voor lood door EFSA als niet meer beschermend wordt geclassificeerd, terwijl dit door de World Health Organization (WHO) nog wel steeds als de norm gebruikt wordt. EFSA heeft daarentegen een norm (BMDL01) voor volwassen afgeleid van 0,63 ug/kg lichaamsgewicht/dag (EFSA, 2010). Een persoon van 75 kg kan dan 0,63*75=47,3 µg/dag consumeren, wat voor locatie ID 8 neerkomt op 87,6 gram rivierkreeftstaartjes per dag.

Een persoon van 75 kg kan dan wekelijks maximaal 75*2,5=187,5 µg aan cadmium innemen. Dit voorbeeld gaat uit van het feit dat een dergelijke persoon op geen enkele andere manier blootgesteld wordt aan cadmium in zijn of haar dieet. In het geval van locatie 12 (waar weliswaar niet op rivierkreeft gevist wordt, maar de hoogste waarde gevonden is voor staartvlees) zou dit betekenen dat 187,5/0,03=5681 gram vers gewicht aan rivierkreeftstaartjes wekelijks geconsumeerd kan worden.

Voor het kopvlees zou dit betekenen dat op basis van de gevonden gehaltes aan cadmium een persoon van 75 kg wekelijks 947 gram kopvlees van locatie 12 (waar weliswaar niet gevist wordt, maar waar de hoogste waarde zijn gevonden voor cadmium) mogen consumeren. Op deze locatie zit er ongeveer 6 gram vlees in een kop, wat zou betekenen dat dit neerkomt op de consumptie van 158 kreeftenkoppen op weekbasis. Op basis van de gevonden gehaltes aan lood op locatie 8 (waar wel op rivierkreeft gevist wordt) komt dit neer op een inname van een hoeveelheid van 87,6 gram kopvlees per dag. Op deze locatie zit er ongeveer 7 gram vers vlees in een kop, wat zou betekenen dat dit overeenkomt met een dagelijkse inname van 12 kreeftenkoppen.

4.3 Aanbeveling

Er zijn geen grenswaardes beschikbaar voor gehaltes in het ‘bruine’ kopvlees. Dit is onwenselijk omdat, naast staarten, dit deel van de rivierkreeften wel geconsumeerd wordt in soep en bisques. Het verdient sterke aanbeveling om deze consumptie beter in beeld te krijgen en tot een risicobeoordeling voor het bruine kopvlees te komen.

In dit onderzoek hebben we ook locaties bemonsterd waar momenteel geen visserij op rivierkreeften plaatsvindt. Omdat er op veel plekken verontreinigingen in de rivierkreeften gevonden worden en verontreinigingen zoals PFAS zich ruimtelijk anders verdeeld hebben dan bijvoorbeeld dioxines en pcb’s, verdient het aanbeveling om wanneer er van een bepaalde locatie kreeften verhandeld worden, deze op de gehaltes aan verontreinigingen te laten controleren.

Indien de rivierkreeften, inclusief de kop, gebruikt worden voor andere doeleinden, zoals wellicht de productie van diervoeders, verdient het aanbeveling om aandacht te geven aan potentiële doorgifte van deze stoffen aan (landbouw)huisdieren.

Verder moet worden opgemerkt dat de resultaten beschreven in dit rapport maar een momentopname betreffen, daar er maar op één tijdstip monsters genomen zijn. Hoewel men normaliter bij voorkeur meerdere monsters in de tijd beschikbaar heeft om beleid vorm te geven, is het gezien de persistente aard van de verontreinigingen, de lange levensduur van rivierkreeften en het feit dat de dieren redelijk locatiegebonden zijn zeer aannemelijk dat een tweede bemonstering op deze locaties vergelijkbare resultaten zal geven.

5 Dankwoord

De volgende beroepsvissers/kreeftenvissers willen wij bedanken voor het vangen en aanleveren van rivierkreeften ten behoeve van het voorliggende uitgevoerde onderzoek: Ale de Jager, Stefan Lok, Frans Komen, Matthijs Makop, Kees Zonneveld Piek, Hans van der Laan, Pieter Jan de Keyser, Bert Klinkhamer, Jan en Ramona de Waard en Ruud Tas.

Bert Knol van Waterschap Vechtstromen en Michiel Cornelis en zijn collega's van Waterschap Brabantse Delta willen wij bedanken voor het mogelijk maken om Californische rivierkreeften uit respectievelijk De Dinkel en Oude Leij te verzamelen.

Ernst Raaphorst en Wilco de Bruijne van Hoogheemraadschap van Delfland bedanken wij voor het aanleveren van rode Amerikaanse rivierkreeften uit Vlaardingen (Westdijk) en Delft (Vrederustpad).

Literatuur

Bachour, G., K. Failing, S. Georgii, I. Elmadfa and H. Brunn (1998). "Species and Organ Dependence of PCB Contamination in Fish, Foxes, Roe Deer, and Humans." Archives of Environmental Contamination and Toxicology 35(4): 666-673.

Cappelletti, N., C. N. Skorupka, M. C. Migoya, L. Tatone, M. Astoviza and J. C. Colombo (2014). "Behavior of Dioxin Like PCBs and PBDEs During Early Diagenesis of Organic Matter in Settling Material and Bottom Sediments from the Sewage Impacted Buenos Aires' Coastal Area, Argentina." Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 93(4): 388-392.

Ciborowski, J. J. H. and L. D. Corkum (1988). "Organic Contaminants in Adult Aquatic Insects of the St. Clair and Detroit Rivers, Ontario, Canada." Journal of Great Lakes Research 14(2): 148-156.

Dassuncao, C., H. Pickard, M. Pfohl, A. K. Tokranov, M. Li, B. Mikkelsen, A. Slitt and E. M. Sunderland (2019). "Phospholipid Levels Predict the Tissue Distribution of Poly- and Perfluoroalkyl Substances in a Marine Mammal." Environmental Science and Technology Letters 6(3): 119-125.

Dias-Ferreira, C., R. L. Pato, J. B. Varejão, A. O. Tavares and A. J. D. Ferreira (2016). "Heavy metal and PCB spatial distribution pattern in sediments within an urban catchment—contribution of historical pollution sources." Journal of Soils and Sediments 16(11): 2594-2605.

Droge, S. T. J. (2019). "Membrane-Water Partition Coefficients to Aid Risk Assessment of Perfluoroalkyl Anions and Alkyl Sulfates." Environmental Science and Technology 53(2): 760-770.

EFSA (2009). "Cadmium in food - Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain." EFSA Journal 7(3): 980.

EFSA (2010). "Scientific Opinion on Lead in Food." EFSA Journal 8(4): 1570.

EFSA (2018). "Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food." EFSA Journal 16(11): e05333.

EFSA (2020). "Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food." EFSA Journal 18(9): e06223.

EU (2023). Verordening (EU) 2023/915 van de commissie van 25 april 2023 betreffende maximumgehalten aan bepaalde verontreinigingen in levensmiddelen en tot intrekking van Verordening (EG) nr. 1881/2006 55.

Europese Commissie (2014). Verordening (EU) Nr. 1143/2014 van het Europees Parlement en de Raad betreffende de preventie en beheersing van de introductie en verspreiding van invasieve uitheemse soorten. Publicatieblad van de Europese Unie. L317: 335-355.

Heuvel-Greve, M. J. v. d., S. P. J. v. Leeuwen, J. Perdon, J. v. Zwol, C. F. Weyhenke, C. J. A. F. Kwadijk, M. J. J. Kotterman, M. J. v. d. Heuvel-Greve, S. P. J. v. Leeuwen, J. Perdon, J. v. Zwol, C. F. Weyhenke, C. J. A. F. Kwadijk and M. J. J. Kotterman (2022). PFAS in de Westerschelde: meting van PFAS in vis, garnaal, schelpdier, zeegroente, water en sediment in het najaar van 2021. Den Helder, Wageningen Marine Research.

Leeuwen, S. P. J. v., M. Kotterman, L. A. P. Hoogenboom and D. M. Soes (2014). Dioxines en PCB's in rivierkreeften uit Zuid-Holland en Utrecht. Wageningen, RIKILT Wageningen UR.

Ostendorf, J. and J. Vos (2010). "Rivierkreeften vallen per 1 juli onder de visserijwet, uitzetten is dan verboden." H2O 9: 5.

Powell, M. L. and S. A. Watts (2010). "Response to Long-term Nutrient Deprivation and Recovery in the Crayfishes Procambarus clarkii and Procambarus zonangulus (Crustacea, Decapoda): Component and Proximate Analyses." Journal of the World Aquaculture Society 41(1): 71-80.

Szlinder-Richert, J., I. Barska, J. Mazerski and Z. Usydus (2009). "PCBs in fish from the southern Baltic Sea: Levels, bioaccumulation features, and temporal trends during the period from 1997 to 2006." Marine Pollution Bulletin 58(1): 85-92.

Van Leeuwen, S. P. J., M. J. J. Kotterman, M. K. Van der Lee and L. A. P. Hoogenboom (2013). Dioxines en PCB's in Chinese wolhandkrab. Wageningen, RIKILT: 26.

Vos, J., R. Gylstra, B. Koese and L. Van Brederode (2010). "Is vissen op exotische rivierkreeften en de Chinese wolhandkrab toegestaan?" H2O 7: 20-21.

Zgłobicki, W., M. Telecka and S. Skupiński (2017). "Assessment of Microscale Variation of Heavy Metal Pollution of the Bystrzyca River Alluvia Downstream from Lublin." 2017 49(2).

Zhao, X., H. Zhang, J. Fan, D. Guan, H. Zhao, Y. Ni, Y. Li and J. Chen (2011). "Dioxin-like compounds in sediments from the Daliao River Estuary of Bohai Sea: Distribution and their influencing factors." Marine Pollution Bulletin 62(5): 918-925.

Bijlage 1 Resultaten analyse dioxine, dioxine-achtige pcb's en niet-dioxine-achtige pcb's

		PCDD/PCDF upper boundary		PCDD/F's Upper boundary		Som PCB Upper boundary		Som ndl-PCB's (ICES-6) Up.bound	
		kop	staart	kop	staart	kop	staart	kop	staart
Locatie	**Rivierkreeft**	**pg/g TEQ**	**pg/g TEQ**	**pg/g TEQ**	**pg/g TEQ**	**pg/g**	**pg/g**	**ng/g**	**ng/g**
1	*Faxonius limosus*	1.180	0.149	3.690	0.289	2.510	0.141	46.6	3.0
2	*Faxonius limosus*	3.410	0.219	9.710	0.529	6.300	0.310	50.8	3.5
3	*Procambarus clarkii*	0.545	0.140	1.230	0.273	0.682	0.133	4.8	3.0
4A	*Procambarus clarkii*	0.284	0.137	0.493	0.269	0.210	0.132	3.1	3.0
4B	*Faxonius limosus*	0.511	0.137	1.010	0.269	0.503	0.132	3.7	3.0
5	*Procambarus acutus*	-	0.137	-	0.269	-	0.132	-	3.0
6	*Procambarus acutus*	0.537	0.139	0.912	0.271	0.375	0.132	4.2	3.0
7	*Procambarus clarkii*	0.814	0.137	1.770	0.270	0.957	0.133	5.7	3.0
8	*Procambarus clarkii*	2.580	0.138	4.910	0.271	2.330	0.133	25.5	3.0
9	*Faxonius limosus*	0.208	0.137	0.784	0.270	0.575	0.133	6.9	3.0
10	*Procambarus clarkii*	0.698	0.137	1.780	0.269	1.080	0.132	6.5	3.0
11	*Procambarus clarkii*	0.218	0.137	0.395	0.269	0.178	0.132	3.0	3.0
12	*Pacifastacus leniusculus*	1.690	0.155	4.800	0.292	3.100	0.137	18.1	3.0
13A	*Faxonius virilis*	1.850	0.199	3.470	0.346	1.620	0.147	13.8	3.0
13B	*Procambarus clarkii*	2.260	0.139	3.750	0.271	1.490	0.133	7.7	3.0
14	*Faxonius limosus*	0.700	0.143	1.540	0.278	0.836	0.135	13.6	3.0
15	*Procambarus clarkii*	0.759	0.137	1.280	0.269	0.524	0.132	3.8	3.0
16	*Pacifastacus leniusculus*	0.205	0.137	0.646	0.269	0.441	0.132	4.1	3.0
17	*Procambarus clarkii*	1.640	0.153	2.810	0.287	1.160	0.134	11.0	3.0
18	*Procambarus clarkii*	2.460	0.140	7.180	0.277	4.720	0.137	54.5	3.0
19	*Procambarus clarkii*	0.642	0.137	1.320	0.269	0.679	0.132	5.3	3.0
20	*Procambarus clarkii*	0.483	0.137	1.150	0.269	0.672	0.132	6.3	3.0
21	*Procambarus clarkii*	-	0.138	-	0.270	-	0.132	-	3.0
22	*Procambarus clarkii*	-	0.137	-	0.269	-	0.132	-	3.0

- = niet genoeg materiaal aanwezig voor analyse.

Let op: Gehaltes zijn weergegeven op productbasis en niet op vetbasis.

Bijlage 2 Resultaten analyse PFAS

ID	Rivierkreeft	PFBA*		PFHxS		PFOA		PFOS		PFBS	
		kop	staart	kop	staart	kop	staart	kop	staart	kop	staart
		(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)
1	*Faxonius limosus*	<LOQ	9.117	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
2	*Faxonius limosus*	<LOQ	6.869	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	4.120	0.916	<LOQ	<LOQ
3	*Procambarus clarkii*	<LOQ	3.568	<LOQ	<LOQ	3.799	<LOQ	1.316	<LOQ	<LOQ	<LOQ
4A	*Procambarus clarkii*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	5.811	<LOQ	0.981	<LOQ	<LOQ	<LOQ
4B	*Faxonius limosus*	-	<LOQ	-	<LOQ	-	<LOQ	-	0.646	-	<LOQ
5	*Procambarus acutus*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	5.828	<LOQ	2.025	1.086	<LOQ	<LOQ
6	*Procambarus acutus*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.972	1.302	<LOQ	<LOQ	<LOQ
7	*Procambarus clarkii*	<LOQ	8.696	<LOQ	<LOQ	6.296	<LOQ	2.040	<LOQ	<LOQ	<LOQ
8	*Procambarus clarkii*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	5.006	<LOQ	3.893	<LOQ	<LOQ	<LOQ
9	*Faxonius limosus*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
10	*Procambarus clarkii*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2.637	<LOQ	1.256	<LOQ	<LOQ	<LOQ
11	*Procambarus clarkii*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	12.769	<LOQ	0.987	<LOQ	<LOQ	<LOQ
12	*Pacifastacus leniusculus*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1.525	<LOQ	3.212	<LOQ	<LOQ	<LOQ
13A	*Faxonius virilis*	<LOQ	20.780	<LOQ	<LOQ	4.106	<LOQ	7.738	1.681	<LOQ	<LOQ
13B	*Procambarus clarkii*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2.154	<LOQ	0.975	<LOQ	<LOQ	<LOQ
14	*Faxonius limosus*	<LOQ	7.752	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	7.794	<LOQ	<LOQ	<LOQ
15	*Procambarus clarkii*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2.192	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
16	*Pacifastacus leniusculus*	<LOQ	5.530	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1.043	<LOQ	<LOQ	<LOQ
17	*Procambarus clarkii*	2.658	13.523	<LOQ	<LOQ	2.442	<LOQ	1.623	<LOQ	<LOQ	<LOQ
18	*Procambarus clarkii*	<LOQ	2.736	<LOQ	<LOQ	4.823	<LOQ	2.261	<LOQ	<LOQ	<LOQ
19	*Procambarus clarkii*	29.845	<LOQ	<LOQ	<LOQ	4.256	<LOQ	1.144	<LOQ	<LOQ	<LOQ
20	*Procambarus clarkii*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2.228	<LOQ	3.260	<LOQ	<LOQ	<LOQ
21	*Procambarus clarkii*	3.649	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
22	*Procambarus clarkii*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
LOD in kreeft (ng/g nat)		0.50		0.15		0.25		0.17		0.325	
LOQ in kreeft (ng/g nat)		1.75		0.50		0.80		0.56		1.10	

* = analyse niet goed verlopen, deze resultaten zijn niet betrouwbaar en zijn verder niet in de rapportage meegenomen.

- = niet genoeg materiaal aanwezig voor analyse.

ID	Rivierkreeft	PFDA		PFUnDA		PFNA		PFDoDA		PFHxA		PFHpA	
		kop	staart	kop	staart	kop	staart	kop	staart	kop	staart	kop	staart
		(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)	(ng/g nat)
1	*Faxonius limosus*	3.187	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.779	0.511	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
2	*Faxonius limosus*	2.792	0.799	4.346	<LOQ	0.536	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
3	*Procambarus clarkii*	0.630	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
4A	*Procambarus clarkii*	1.162	<LOQ	1.289	<LOQ	0.561	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
4B	*Faxonius limosus*		1.003		1.508		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ
5	*Procambarus acutus*	0.903	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
6	*Procambarus acutus*	2.847	1.547	<LOQ	<LOQ	0.866	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
7	*Procambarus clarkii*	0.858	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.630	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
8	*Procambarus clarkii*	4.322	0.658	1.686	<LOQ	0.921	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
9	*Faxonius limosus*	2.182	1.043	<LOQ	1.153	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
10	*Procambarus clarkii*	<LOQ	<LOQ	1.991	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
11	*Procambarus clarkii*	0.642	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.458	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
12	*Pacifastacus leniusculus*	1.124	<LOQ	0.860	<LOQ	0.424	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
13A	*Faxonius virilis*	1.866	<LOQ	1.420	<LOQ	0.661	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
13B	*Procambarus clarkii*	0.681	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.410	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
14	*Faxonius limosus*	3.190	1.515	3.480	2.539	0.498	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
15	*Procambarus clarkii*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
16	*Pacifastacus leniusculus*	1.317	<LOQ	0.803	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
17	*Procambarus clarkii*	0.663	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
18	*Procambarus clarkii*	1.615	<LOQ	2.335	<LOQ	0.529	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
19	*Procambarus clarkii*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.459	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
20	*Procambarus clarkii*	4.219	<LOQ	2.382	1.152	0.807	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
21	*Procambarus clarkii*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
22	*Procambarus clarkii*	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	LOD in kreeft (ng/g nat)	0.17		0.25		0.10		0.16		0.23		0.30	
	LOQ in kreeft (ng/g nat)	0.6		0.80		0.35		0.50		0.75		1.00	

Bijlage 3 Resultaten analyse zware metalen

Rivierkreeft	Kop/ Staart	ID	As [µg/ kg]	Cd [µg/ kg]	Cr [µg/ kg]	Ni [µg/ kg]	Pb [µg/ kg]	Al [mg/ kg]	Cu [mg/ kg]	Fe [mg/ kg]	Mn [mg/ kg]	Zn [mg/ kg]
Aantoonbaarheids-grens			120	60	600	500	300	25	0.6	60	4	5
Faxionus limosus	Kop	1	4672	142	1266	3108	571	283	94.4	475	96	85
Faxionus limosus	Staart	1	1478	13	3421	2003	233	150	46.2	188	17	80
Faxionus limosus	Kop	2	3995	412	1250	3373	597	231	135	552	247	97
Faxionus limosus	Staart	2	1400	63	2903	1912	618	301	74.4	322	135	94
Procambarus clarkii	Kop	3	3438	349	692	3919	208	108	60.1	722	657	122
Procambarus clarkii	Staart	3	955	34	938	1047	148	95	36.6	256	101	80
Procambarus clarkii	Kop	4A	3296	497	785	1144	992	162	329	1366	256	177
Procambarus clarkii	Staart	4A	642	22	887	395	313	58	61.8	171	26	101
Faxionus limosus	Kop	4B	2488	88	428	494	219	32	148	228	207	108
Faxionus limosus	Staart	4B	564	5	686	288	110	24	57.9	81	38	89
Procambarus acutus	Kop	5	2272	193	1399	2749	260	145	55.3	1034	638	122
Procambarus acutus	Staart	5	610	15	315	382	120	109	33.1	270	100	70
Procambarus acutus	Kop	6	2318	381	562	2954	302	173	56.1	1667	258	133
Procambarus acutus	Staart	6	601	13	3076	1776	174	85	23.4	516	28	70
Procambarus clarkii	Kop	7	3096	108	681	8400	745	74	46.7	699	422	115
Procambarus clarkii	Staart	7	759	15	476	976	368	74	31.3	317	37	75
Procambarus clarkii	Kop	8	3286	144	1893	5616	2225	117	84.7	424	865	108
Procambarus clarkii	Staart	8	783	34	1558	1619	2158	202	54.8	311	178	84
Faxionus limosus	Kop	9	2437	161	1029	1729	1195	370	386	439	319	130
Faxionus limosus	Staart	9	793	13	2815	1572	278	72	92.4	123	67	89
Procambarus clarkii	Kop	10	2641	203	779	3287	651	190	75.2	1349	307	100
Procambarus clarkii	Staart	10	790	32	958	1053	598	282	48.7	545	82	72
Procambarus clarkii	Kop	11	5673	211	1718	3493	1755	763	150	1452	1488	123
Procambarus clarkii	Staart	11	1255	28	1641	1214	707	327	52.1	552	380	85
Pacifastacus leniusculus	Kop	12	2168	792	1328	7925	472	142	205	818	515	134
Pacifastacus leniusculus	Staart	12	717	132	663	1323	158	59	68.3	243	96	84
Faxionus virilis	Kop	13A	5933	63	305	856	1098	31	157	123	29	90
Faxionus virilis	Staart	13A	1857	12	31617	5874	657	34	86.9	176	7	76
Procambarus clarkii	Kop	13B	4086	195	411	874	1934	41	331	239	42	103
Procambarus clarkii	Staart	13B	1226	22	768	494	1136	26	78.8	58	6	81
Faxionus limosus	Kop	14	2961	529	835	3560	224	94	174	564	470	130
Faxionus limosus	Staart	14	936	40	1786	1314	115	47	57.3	252	177	101
Procambarus clarkii	Kop	15	4960	52	956	1907	1727	236	42.6	454	392	75
Procambarus clarkii	Staart	15	1336	12	582	523	667	132	36.4	189	54	65
Pacifastacus leniusculus	Kop	16	1949	111	474	5448	293	42	174	708	338	127
Pacifastacus leniusculus	Staart	16	1024	31	628	1747	164	48	82.9	333	79	88
Procambarus clarkii	Kop	17	3021	105	1777	2008	2599	235	98.8	550	231	110
Procambarus clarkii	Staart	17	1079	23	3170	1748	831	67	61.9	114	40	79
Procambarus clarkii	Kop	18	2044	71	438	868	132	28	51.7	254	280	69
Procambarus clarkii	Staart	18	594	5	235	177	61	38	52.6	35	41	74
Procambarus clarkii	Kop	19	2625	214	1343	1410	238	124	57.1	431	151	82
Procambarus clarkii	Staart	19	966	21	1030	551	195	126	54.3	163	25	75
Procambarus clarkii	Kop	20	2087	76	1783	2186	1015	543	54.0	764	676	109
Procambarus clarkii	Staart	20	810	40	1178	1698	366	155	51.9	192	95	85
Procambarus clarkii	Staart	21	606	52	639	323	24	6	47.8	48	23	72
Procambarus clarkii	Staart	22	656	52	395	241	24	6	34.9	30	17	68

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3295
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore the potential of nature to improve the quality of life

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3295
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.