

Hoofdlijnenrapport

Impact van probleemstoffen (incl. PFAS) op natuur in de Westerschelde

Auteur(s): M. van den Heuvel-Greve, E. de Froe, M. Kotterman, C. Kwadijk, E. Foekema

Wageningen University &
Research rapport: C084/24

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Hoofdlijnenrapport

Impact van probleemstoffen (incl. PFAS) op natuur in de Westerschelde

Auteur(s) M. van den Heuvel-Greve, E. de Froe, M. Kotterman, C. Kwadijk, E. Foekema

Wageningen Marine Research
Yerseke, december 2024

Wageningen Marine Research rapport C084/24

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

M. van den Heuvel-Greve, E. de Froe, M. Kotterman, C. Kwadijk, E. Foekema*, 2024. Hoofdlijnenrapport; Impact van probleemstoffen (incl. PFAS) op natuur in de Westerschelde.* Wageningen, Wageningen Marine Research, Wageningen Marine Research rapport C084/24. 29 blz.; 2 tab.; 12 ref.

Keywords: Westerschelde, PFAS, probleemstoffen, voedselweb, normen, effecten

Opdrachtgever Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
T.a.v.: [redacted]
Lange Kleiweg 34
2288 GK Rijswijk

Dit rapport is gratis te downloaden van https://doi.org/10.18174/680465
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Foto omslag: Studio Retouched

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research, hierbij vertegenwoordigd door
Drs.ir. M.T. van Manen, directeur bedrijfsvoering

KvK nr. 09098104,
WMR BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A_4_3_1 V35 (2024)

Inhoud

Samenvatting **4**

1 Inleiding **6**

1.1 Doel van deze studie 8

2 Aanpak **9**

2.1 Selectie van biota 9

2.2 Verzamelen van onderzoeksmateriaal 10

2.3 Spreiding in ruimte 11

2.4 Spreiding in de tijd 13

2.5 Selectie van probleemstoffen 13

2.6 Toetsing aan normen en effectgrenzen 13

2.7 Reguliere monitoring 15

3 Resultaten **16**

3.1 Aanwezigheid van probleemstoffen in biota 16

3.2 Accumulerende stoffen 17

3.3 Trends in de tijd 17

3.4 Spreiding in ruimte 18

3.5 Toetsing aan normen 18

3.6 Vergelijking met effectgrenzen uit de wetenschappelijke literatuur 19

3.7 Natura2000 doelen Westerschelde 21

4 Conclusies en aanbevelingen **23**

4.1 Conclusies 23

4.2 Aanbevelingen 25

5 Kwaliteitsborging **26**

Literatuur **27**

Verantwoording **28**

Samenvatting

De Westerschelde en het Kanaal van Gent naar Terneuzen behoren tot de meest vervuilde brak-zoute wateren van Nederland. Regelmatig verschijnen er berichten in het nieuws over vervuiling van dit gebied met chemische probleemstoffen. Recent was dit het geval voor poly- en perfluoralkylstoffen, beter bekend onder de afkorting 'PFAS'. In 2021 werd door de Universiteit Utrecht een rapport gepubliceerd, in opdracht van Rijkswaterstaat (RWS), waaruit naar voren kwam dat de Westerschelde sterk vervuild is met PFAS. Tegelijkertijd was er aandacht voor de PFAS vervuiling rondom de Oosterweelverbinding bij Antwerpen, ontstaan door aanwezigheid van het bedrijf 3M. Dit heeft onder meer geleid tot zorgen omtrent de natuur in de Westerschelde. Daarom heeft RWS in 2023 opdracht gegeven aan Wageningen Marine Research (WMR) voor een grootschalig onderzoek naar de aanwezigheid en mogelijke impact van PFAS op natuur in de Westerschelde. De Westerschelde is een onderdeel van Natura 2000-gebied 'Westerschelde & Saeftinghe' en maakt deel uit van het beheerplan Deltawateren.

Om inzicht te krijgen in effecten van PFAS op de natuur is het onderzoek gericht op een aantal representatieve vertegenwoordigers van het voedselweb van de Westerschelde. Visdieven, gewone zeehonden en bruinvissen zijn hiervoor geselecteerd als toppredatoren van het systeem, omdat dit belangrijke doelsoorten zijn voor Natura 2000-doelstellingen in de Westerschelde. Op basis van hun dieet is het voedselweb daaronder geconstrueerd, bestaande uit enkele vissoorten, een schelpdier, wadpier, garnaal en krab. Van het in werkelijkheid veel complexere voedselweb kon zo een sterk vereenvoudigde versie als basis worden gebruikt voor het onderzoek. Omdat dit een unieke set aan onderzoeksmateriaal is en meerdere probleemstoffen een rol kunnen spelen in het voedselweb, zijn ook andere, voor de Westerschelde relevante, probleemstoffen meegenomen in het onderzoek.

Aangetroffen probleemstoffen
Chemische stoffen die een probleem kunnen vormen voor de natuur zijn vaak slecht afbreekbaar (persistent), waardoor ze lang in het systeem aanwezig blijven. Daarnaast kunnen deze stoffen ophopen in biota (accumuleren), waardoor hoge concentraties kunnen ontstaan, vooral in toppredatoren. Hierdoor is de kans groter dat ze effectgrenzen overschrijden, waardoor ze invloed kunnen krijgen op het functioneren van het dier, bijvoorbeeld het immuunsysteem of de voortplanting. Op basis van het onderzochte voedselweb van de Westerschelde kwam naar voren dat PFAS, PCB's, PBDE's, *b*-HEPO en kwik in de Westerschelde persistente en accumulerende stoffen zijn.

Tevens is de aanwezigheid van microplastics geanalyseerd in bot, een bodemvis, uit de Westerschelde. In de onderzochte vissen zijn geen microplastics aangetroffen in het maagdarmkanaal.

Trends in de tijd
Vergelijking van de resultaten van de huidige studie met een vergelijkbaar onderzoek in de periode 2006-2008 laat zien dat concentraties van een viertal PFAS componenten in Westerschelde biota in 2023 lager liggen dan in 2006-2008. Dit duidt erop dat concentraties zijn afgenomen van in ieder geval een deel van de PFAS componenten. Aangezien PFAS een verzamelnaam is voor meer dan 4000 verschillende PFAS componenten, kan er op basis van deze resultaten geen uitspraak gedaan worden over alle PFAS. Ook voor PBDE's en TBT liggen de concentraties in biota momenteel lager. Alleen voor PCB's zijn ze ongeveer gelijk gebleven in vergelijking met 2006-2008.

Sinds 1992 laat RWS reguliere metingen van probleemstoffen in biota uitvoeren voor trend- en toestand-bepaling van de waterkwaliteit. Deze biotamonitoring vindt onder andere plaats in schelpdieren (mossel/oester) en/of bot. Dit wordt in de Westerschelde gedaan voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) en OSPAR. In de OSPAR monitoring worden dalende trends waargenomen voor PFOS, PBDE's, TBT, HCB, en PAK's. Verder blijkt dat in schelpdieren PCB's ook afnemen, maar niet in de bot. Kwik laat als enige een stijgende trend zien in biota, zowel in de Westerschelde als in andere Nederlandse kustgebieden.

Vergelijking tussen locaties
Ondanks de afgenomen concentraties liggen PFAS concentraties in Westerschelde biota hoger dan die in de westelijke Waddenzee. Dit geldt ook voor PCB's, PBDE's, b-HEPO, organotin (TBT), cadmium, en in mindere mate PAK's, koper en seleen. Aangetroffen kwik en arseen concentraties in biota uit de Westerschelde zijn ongeveer gelijk aan of wat lager dan die uit de Waddenzee. In het Kanaal Gent-Terneuzen zijn twee garnalenmonsters verzameld, waarin enkele van de probleemstoffen gemeten konden worden. Deze monsters bevatten hogere concentraties aan PFAS, PCB's, b-HEPO, HCB, PBDE en TBT dan garnalen uit de Westerschelde.

Hoe erg is dat?
Er is op verschillende manieren onderzocht of de huidige concentraties aan chemische stoffen in biota een probleem kunnen zijn voor de onderzochte biota. Eerst is gekeken naar geldende normen voor biota. Binnen de KRW is er een geldende biotanorm in vis voor enkele van de probleemstoffen. Deze norm wordt in de huidige studie overschreden voor PFOS, PBDE's en kwik in vis uit de Westerschelde. Dit komt overeen met de resultaten van de reguliere KRW-monitoring in de Westerschelde, die eens per drie jaar plaatsvindt. Dit betekent dat Nederland niet voldoet aan de milieudoelen voor deze stofgroepen en dat effecten op biota niet uitgesloten kunnen worden.

Vervolgens zijn de concentraties vergeleken met effectgrenzen uit de wetenschappelijke literatuur. Hieruit blijkt dat de biota concentraties van enkele stofgroepen (PFOS, PCB's en arseen) in de Westerschelde hoger liggen dan deze effectgrenzen, waardoor effecten kunnen optreden in diergroepen als vogels, zeezoogdieren en vissen. Hierbij moet worden opgemerkt dat arseenconcentraties in de Westerschelde ongeveer even hoog zijn als in de Waddenzee. Daarnaast zijn voor veel stofgroepen en dieren dergelijke effectgrenzen niet bekend, waardoor deze toetsing wellicht geen volledig beeld geeft.

Effecten van schadelijke stoffen zijn vaak moeilijk te zien in dieren in het wild. Dat komt omdat de stofgroepen vaak ingrijpen op een klein stukje van het functioneren van een dier, zoals het immuunsysteem, de hormoonhuishouding en/of de voortplanting. De gevolgen van een dergelijke verstoring zijn hierdoor niet direct zichtbaar, maar kunnen op termijn wel de veerkracht van de populatie verminderen, zeker als ook andere stressfactoren optreden. Daarnaast is de kennis over één stofgroep vaak al beperkt, terwijl in de natuur een cocktail van probleemstoffen aanwezig is. Deze stoffen kunnen elkaars effecten versterken of juist verminderen in een organisme. Daarom is het nodig om gericht vervolgonderzoek uit te voeren naar kleine veranderingen in dieren na blootstelling aan één of meerdere probleemstoffen tegelijkertijd, waardoor er beter bepaald kan worden of en in welke mate effecten optreden in de natuur.

De drie toppredatoren uit dit onderzoek (de visdief, de gewone zeehond en de bruinvis) bevatten dusdanige PFOS- en/of PCB concentraties, dat ze een negatieve invloed kunnen hebben op deze dieren en daarmee op de Natura2000 instandhoudingsdoelen voor deze soorten in de Westerschelde.

Monitoring in de Westerschelde
De huidige monitoring van chemische stoffen in de Westerschelde bestaat uit reguliere metingen in water, bot en schelpdieren. Zo kunnen chemische stoffen in verschillende compartimenten van de Westerschelde worden gevolgd. Het huidige onderzoek toont aan dat het belangrijk is om niet alleen trends in chemische stoffen in de tijd te meten, maar ook het milieuchemische gedrag van stoffen in het voedselweb te begrijpen. Het onderzoek bevestigt tevens dat het meten van PFAS in bot een goede manier is om de situatie in de Westerschelde te beoordelen, omdat deze vissoort de hoogste PFAS-concentraties bevat ten opzichte van de andere onderzochte vissoorten. Voor een betere vergelijking met monitoringsresultaten van bovenstroomse partijen binnen de Internationale Schelde Commissie wordt verder aanbevolen om garnalen op te nemen in het monitoringsprogramma.

Samenvattend
Op basis van deze impactstudie blijkt dat PFAS momenteel de belangrijkste probleemstof is voor het ecosysteem van de Westerschelde. Concentraties van enkele van de PFAS (m.n. PFOS) nemen weliswaar meetbaar af in biota, maar de nu aantroffen concentraties in biota zijn nog verhoogd t.o.v. de Waddenzee, en liggen boven gestelde normen en gerapporteerde effectgrenzen.

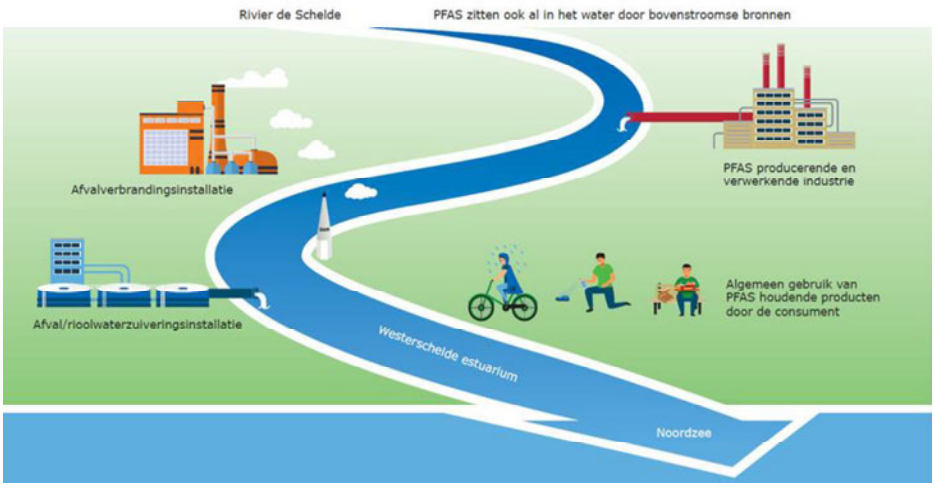
1 Inleiding

De Westerschelde is een estuarium in het zuidwesten van Nederland, waarin het water van de rivier de Schelde en andere zijrivieren uit Frankrijk en België wordt afgevoerd naar de Noordzee (figuur 1.1). Ook het Kanaal van Gent naar Terneuzen komt uit op de Westerschelde. Het estuarium vormt een overgang van zoet rivierwater naar zout Noordzeewater. De planten en dieren die hier leven, zijn goed aangepast aan wisselingen in zoutgehalte, sterke stroming en slecht zicht.



Figuur 1.1 *Het stroomgebied van de Schelde, dat uitmondt in de Westerschelde in het zuidwesten van Nederland. Rechts: de Westerschelde bij het Nauw van Bath.*

Langs de oever van de Westerschelde en stroomopwaarts (zowel langs de Schelde als het Kanaal Gent-Terneuzen) vinden veel activiteiten plaats, zoals verschillende soorten (chemische) industrie, afvalverwerkingsinstallaties, en afval- en rioolwaterzuiveringsinstallaties. Verder is de Westerschelde van groot belang voor schepen, die van de Noordzee naar de havens van Vlissingen, Antwerpen en Gent varen. Door deze activiteiten komen er chemische stoffen van allerlei aard in de Westerschelde terecht. Bronnen hiervoor zijn (in)directe lozingen in water, atmosferische depositie (vanuit de lucht) en afspoeling van het land bij gebruik van deze stoffen (figuur 1.2).



Figuur 1.2 *PFAS als voorbeeld van bronnen van vervuilende stoffen in de Westerschelde. PFAS zijn sinds de jaren '50 geproduceerd voor diverse toepassingen. Door hun brede gebruik komen PFAS op verschillende manieren in het milieu, bijvoorbeeld via industrie-afvalwater, verbrandingsinstallaties, rioolwaterzuiveringsinstallaties en het gebruik van PFAS-houdende materialen door consumenten.*

De Westerschelde en het Kanaal van Gent naar Terneuzen behoren hierdoor tot de meest vervuilde rijkswateren van NL. Het blijkt een zogenaamde 'hotspot' voor sommige chemische stoffen met normoverschrijdingen van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW). Regelmatig verschijnen er berichten in het nieuws over vervuiling van het estuarium met probleemstoffen. In 2005 betrof dit bijvoorbeeld dioxines en meer recent ging het vooral over poly- en perfluoralkylstoffen, beter bekend onder de afkorting 'PFAS'. Al deze berichtgeving leidt al jaren tot zorgen over gezondheid en natuur bij inwoners van Zeeland en daarbuiten (zie figuur 1.3).

In 2021 werd in opdracht van Rijkswaterstaat (RWS) een rapport gepubliceerd, waarin werd aangetoond dat de Westerschelde sterk vervuild is met PFAS (Jonker, 2021). Dit rapport werd vrijwel gelijktijdig gepubliceerd met de groeiende aandacht voor PFAS-vervuiling rond de Oosterweelverbinding bij Antwerpen, die was veroorzaakt door het bedrijf 3M. Berichtgeving hierover leidde tot bezorgdheid over de natuur in de Westerschelde en over de gezondheid van aanwonenden. In 2022 adviseerde het RIVM, op basis van nieuwe gegevens van Wageningen University & Research over visserijproducten uit de Westerschelde, om vis en schaaldieren uit de Westerschelde niet of slechts in beperkte mate te eten vanwege te hoge PFAS-gehaltes.



Beeld Amos wijst op vervuiling van Westerschelde

HANSWEERT – Amos staat met de rug naar de alles behalve schone Westerschelde en kijkt vertoornd uit over het slibdepot in Hansweert. Een nieuwe waarschuwing aan de milieuvervuilers. Het beeld is gemaakt door de Bressiaanse pastoor Omer Gielliet in opdracht van de rooms-katholieke parochie en de hervormde gemeente in Hansweert. Amos, een afgestorven boom met in de wig een boos, maar ook enigszins wanhopig gezicht, maakt deel uit van de beeldenketen 'Red de Schelde'.

Er staan onder meer beelden (lees: waarschuwingstekens) bij Meerdonk, Doel en Breskens. Amos, een profeet die de onrechtvaardigen aanklaagde, bevindt zich op de buitendijk van het Hansweertse slibdepot, waar verontreinigde specie uit de Oosterscheldehavens ligt opgeslagen. De gemeente Reimerswaal en Rijkswaterstaat hebben het beeld geplaatst.

Onder grote belangstelling droegen de opdrachtgevers 'Amos' vrijdag over aan de gemeente. Wethouder J. W. P. Cornelissen hoopte dat het beeld ieder tot nadenken stemt. „Het is een teken dat het leven niet alleen gaat om het verkrijgen van welvaart. Belangrijker is hoe we omgaan met datgene wat we hebben ontvangen."

Volgens algemeen coördinator A. van Himme van de actiegroep Red de Schelde staat de uitdrukking op het gezicht van Amos symbool voor de vervuiling van de rivier. „De Schelde blijft vuil en giftig en dat zal zo blijven zolang de overheid produktie en lozingen van zwaar verontreinigende stoffen toelaat."

Amos wijst daarbij op het naderend onheil. Voor de voorzitter van het Comité Leefbaarheid Hansweert, J. Boon, is dat het milieuhygiënische feilen van het slibdepot, waarop Amos zijn kwade blik richt. Boon, recent voor de Raad van State in verzet tegen de specieopslag, noemde het een schandaal dat zwaar vervuilde grond „in een put in Hansweert wordt gedumpt." Gielliet voegde eraan toe: „Ik word er misselijk van."

Figuur 1.3 *Krantenartikel uit de PZC van 20 juli 1991 over de plaatsing van het beeld 'Amos' langs de Westerschelde in Hansweert, dat aandacht vraagt voor de problematiek van vervuiling van de Westerschelde.*

1.1 Doel van deze studie

Begin 2023 is, in opdracht van RWS, een groot PFAS onderzoek in de Westerschelde gestart door Wageningen Marine Research (WMR). Het onderzoek is gericht op het bepalen van PFAS in verschillende soorten organismen (biota) en het identificeren van mogelijke effecten van PFAS op de natuur in het licht van internationaal vastgestelde ecologische doelstellingen voor de Westerschelde. Hiervoor zijn PFAS gehaltes bepaald in verschillende soorten organismen, door het hele voedselweb van de Westerschelde heen. Om inzicht te krijgen in de geografische verspreiding van de PFAS zijn er daarnaast monsters verzameld op verschillende locaties in de Westerschelde, in het Kanaal van Gent naar Terneuzen, en, ter vergelijking, in de Waddenzee.

Een dergelijk grootschalig biota-onderzoek is uniek en tevens kunnen meerdere probleemstoffen een rol spelen in het voedselweb. Daarom is besloten de analyse uit te breiden met andere, voor de Westerschelde relevante, probleemstoffen. Dit betrof stoffen die in de reguliere monitoring voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) de normen in water overschrijden, en daarnaast mogelijk andere opkomende stoffen, die nog niet gereguleerd worden (tabel 2.1).

In dit rapport worden de belangrijkste resultaten van het onderzoek gepresenteerd, gericht op meerdere probleemstoffen, waaronder PFAS:

1. de aanwezigheid en eventuele doorvergiftigingsroutes van probleemstoffen in het voedselweb van de Westerschelde en het Kanaal Gent-Terneuzen;
2. gradiënten van probleemstoffen in zowel ruimte (binnen de Westerschelde en in vergelijking tot de Waddenzee) als tijd;
3. eventuele overschrijdingen van KRW normen voor probleemstoffen (in biota);
4. mogelijke biologische/ecologische consequenties van probleemstoffen op basis van effectgegevens uit de literatuur;

Met deze resultaten wordt aangegeven in hoeverre de huidige monitoringsprogramma's in biota in de Westerschelde volstaan voor het inzichtelijk maken van de toestand met betrekking tot probleemstoffen. Daarnaast worden aanbevelingen gedaan met betrekking tot vervolgonderzoek van probleemstoffen in de Westerschelde.

2 Aanpak

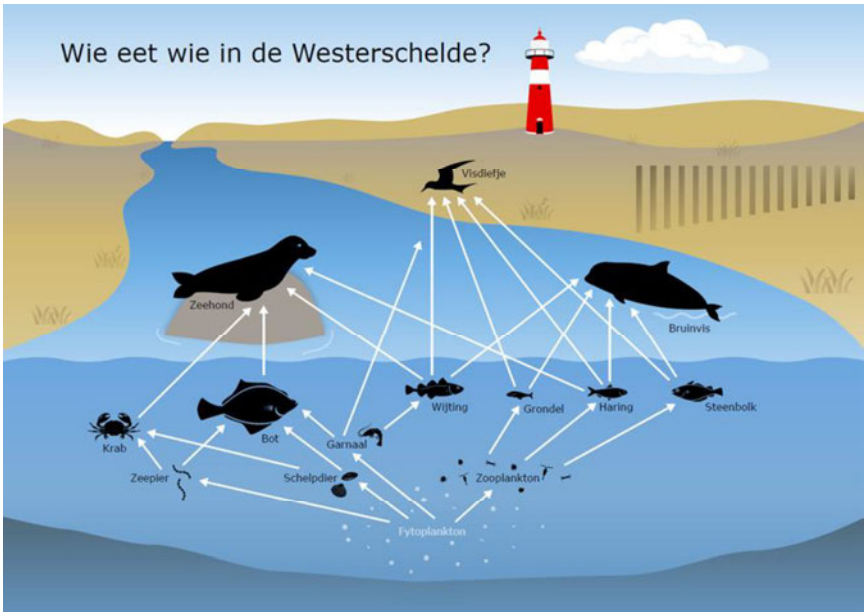
2.1 Selectie van biota

Voor het onderzoek is materiaal verzameld van drie voor de Westerschelde relevante toppredatoren, te weten de visdief (*Sterna hirundo*), de gewone zeehond (*Phoca vitulina*), en de bruinvis (*Phocoena phocoena*) (figuur 2.1). De gewone zeehond en bruinvis zijn habitatrichtlijnsoorten voor het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe. De visdief is hier als broedvogel een doelsoort.



Figuur 2.1 *De in deze studie onderzochte toppredatoren van de Westerschelde: links - visdief (M. van den Heuvel-Greve), midden - gewone zeehond ([redacted]), rechts - bruinvis ([redacted]).*

Vervolgens zijn verschillende prooisoorten van deze toppredatoren in kaart gebracht, en van deze soorten weer hun prooisoorten, om inzicht te krijgen in het onderliggende voedselweb (zie figuur 2.2).



Figuur 2.2 *Een schematische en sterk versimpelde weergave van het voedselweb in de Westerschelde op basis van voedselrelaties.*

De in de Westerschelde aanwezige voedselrelaties zijn getoetst aan de hand van stabiele isotopen, maagonderzoek van enkele aangespoelde bruinvissen en DNA-analyse van poep van enkele visdieven en gewone zeehonden uit de Westerschelde. In de paar onderzochte bruinvismagen zijn, naast spiering en zandspiering, inderdaad grondel en wijting aangetroffen. Op basis van DNA zijn in de uitwerpselen van visdieven drie vissoorten (haring, steenbolk en wijting) aangetroffen. In poep van gewone zeehonden zijn wijting en haring geïdentificeerd.

2.2 Verzamelen van onderzoeksmateriaal

Het verzamelen van al het benodigde onderzoeksmateriaal vond voornamelijk in 2023 plaats. Voor een overzicht van het proces van verzamelen en analyseren van het onderzoeksmateriaal voor deze studie, zie figuur 2.3.

Visdief eieren zijn verzameld uit de broedkolonie bij de radarpost in de haven van Terneuzen in het voorjaar van 2023. Voor de zeezoogdieren zijn lever-, spek- en spiermonsters onderzocht. Aangespoelde dode bruinvissen worden in Nederland direct onderzocht door de Universiteit Utrecht, waarbij het benodigde onderzoeksmateriaal standaard opgeslagen wordt. Voor zeehonden is er geen standaardonderzoek. Daarom zijn aangespoelde zeehonden over meerdere jaren in een vriezer opgeslagen, dankzij de hulp van Eerste Hulp bij Zeezoogdieren, en konden ze voor dit onderzoek worden onderzocht. Om voldoende materiaal te kunnen verzamelen voor het onderzoek, kwamen de zeezoogdiermonsters uit de perioden 2018-2023 (bruinvissen) en 2021-2023 (gewone zeehonden). Alle monsters van de genoemde toppredatoren zijn per individu geanalyseerd.

Garnalen, krabben en vissen zijn in het voor- en/of najaar 2023 verzameld uit de Westerschelde met behulp van een bodemnet vanaf het RWS schip de 'MPV Merwestroom'. Schelpdieren en wormen zijn handmatig verzameld op de platen in de Westerschelde. Al deze monsters bestonden uit meerdere individuen per soort om voldoende materiaal te hebben voor alle chemische analyses. Verder is onderzoeksmateriaal verzameld op het eiland Griend (visdiefeieren) en in de westelijke Waddenzee met behulp van het RWS schip de 'Stern'. Speciaal voor microplastic onderzoek zijn aanvullend meerdere botten (bodemvis) verzameld in de Westerschelde.

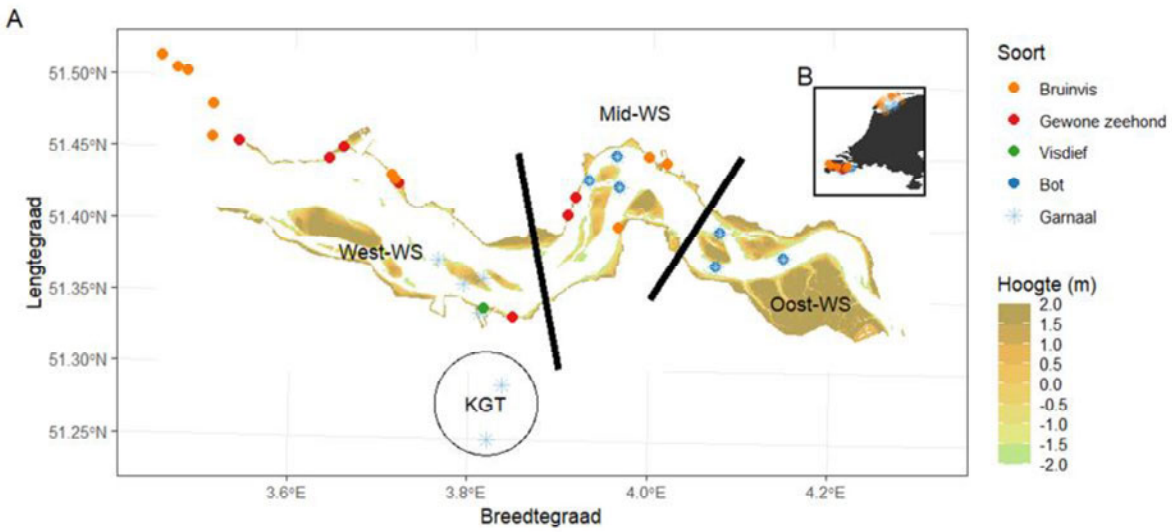


Figuur 2.3 *Het proces van verzamelen, verwerken en analyseren van onderzoeksmateriaal t.b.v. dit onderzoek.*

2.3 Spreiding in ruimte

In de Westerschelde zijn de garnalen, schelpdieren, wormen, krabben en de vissen op verschillende plekken verzameld (figuur 2.4). Deze plekken zijn gerelateerd aan het dieet van de verschillende toppredatoren. In de nabijheid van de visdiefkolonie van Terneuzen zijn tijdens het broedseizoen (in mei) garnalen en kleine vissen verzameld in het Kanaal Gent-Terneuzen en nabij de Middelplaat (de plaat in de Westerschelde ter hoogte van Terneuzen, Westerschelde-west). In de periode na de verharing van gewone zeehonden (najaar) zijn schelpdieren, wormen, krabben, garnalen en vissen verzameld op en rondom de platen waar zeehonden rusten, namelijk op de Platen van Ossenisse (omgeving Molenplaat, Westerschelde-midden) en de Platen van Valkenisse (Westerschelde-oost).

Om te bepalen of de Westerschelde meer vervuild is ten opzichte van andere Nederlandse kustsystemen is tevens de westelijke Waddenzee meegenomen in het onderzoek. De Waddenzee kent veel minder puntbronnen voor vervuilende stoffen (in ieder geval voor PFAS) en door de aanzienlijke afstand tot de Westerschelde (200 km) is de kans op overlap van foerageergebieden voor de meeste dieren minimaal. Omdat het budget niet toereikend was voor een volledige vergelijking tussen beide gebieden, is in de Waddenzee vooral een focus gelegd op garnaal en bot, in plaats van alle diersoorten die in de Westerschelde zijn verzameld.



Figuur 2.4 *Locaties waar het onderzoeksmateriaal is verzameld voor de drie toppredatoren in de Westerschelde, evenals de twee prooisoorten (garnaal en bot) die voor de meeste probleemstoffen onderzocht zijn. Voor de PFAS-analyses zijn ook andere prooisoorten meegenomen die verzameld zijn op dezelfde locaties als de garnaal en bot.*



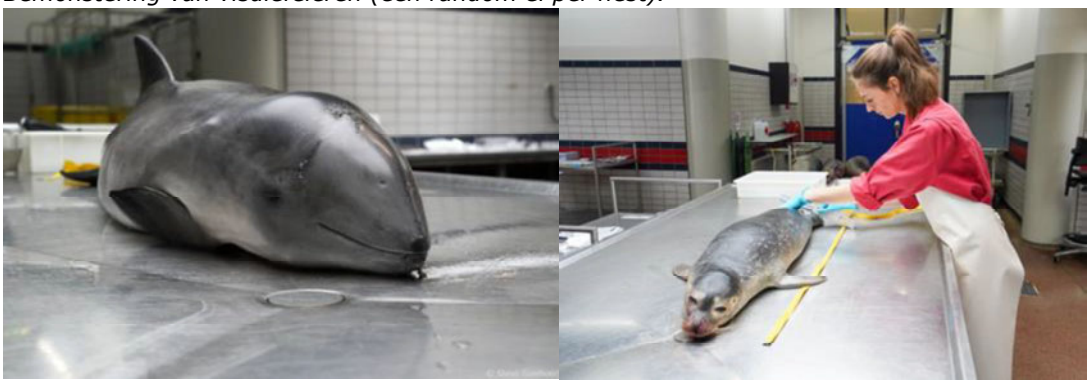
Bemonstering van schelpdieren en wadpieren vanaf de platen (links: ©Retouched).



Bemonstering van garnalen, krabben en vis vanaf de MPV Merwestroom.



Bemonstering van visdiefeieren (één random ei per nest).



Bemonstering van weefsel van dood aangespoelde zeehonden en bruinvissen (links ©[redacted], rechts ©Universiteit Utrecht).

2.4 Spreiding in de tijd

In de periode 2005-2010 heeft een vergelijkbaar onderzoek naar probleemstoffen in biota en hun impact plaatsgevonden in de Westerschelde, destijds naar aanleiding van een mogelijk dioxine probleem in dit estuarium (Van den Heuvel-Greve & Zabel, 2010). De resultaten van het huidige onderzoek konden voor PFAS, PCB's, PBDE's en TBT hier direct mee vergeleken worden. Dioxines zijn in het huidige onderzoek niet meegenomen, omdat er vanuit de monitoringsresultaten geen aanleiding voor was.

2.5 Selectie van probleemstoffen

Uitgangspunt was het onderzoek naar de aanwezigheid en mogelijk effecten van PFAS op de natuur in de Westerschelde. Daarnaast zijn aanvullend probleemstoffen meegenomen in het onderzoek, die geselecteerd zijn op basis van overschrijdingen van normen van de KRW in biota en/of water in de Westerschelde en het Kanaal Gent-Terneuzen (Tabel 2.1). PFAS zijn in alle verzamelde monsters gemeten. De aanvullende probleemstoffen alleen in garnalen, bot, zeehonden, bruinvissen en eieren van de visdief. De garnaal is voor monitoring van probleemstoffen in mariene biota nieuw, maar blijkt een sleutelsoort voor het vergelijken van biota concentraties in het zoete water van de delegaties van de Internationale Scheldecommissie. De bot (platvis) is direct gekoppeld aan de huidige biotamonitoring in de Westerschelde voor zowel de KRW als ook andere gremia, zoals OSPAR.

Ook is bekeken of opkomende stoffen, zoals microplastics, medicijnresten en bestrijdingsmiddelen konden worden meegenomen. Voor microplastics is in dit onderzoek een verkenning uitgevoerd naar de aanwezigheid van microplastics in het maag-darmkanaal van de bot. Voor enkele bestrijdingsmiddelen, zoals dichloorvos en neonicotinoïden, en medicijnresten bleken de analysetechnieken op dit moment niet goed genoeg uitontwikkeld te zijn voor biota of teveel kennis ontbrak nog over de aanwezigheid en effectconcentraties van deze stoffen in mariene organismen. Daarom is er eerst diepergaand literatuuronderzoek nodig naar deze stoffen in het mariene milieu. Voor de huidige impactstudie zijn ze daarom niet meegenomen.

De chemische analyses zijn voor het merendeel van de onderzochte probleemstoffen (incl. kwik) uitgevoerd in het chemisch laboratorium van WMR in IJmuiden. Alleen de analyses van de overige metalen zijn uitgevoerd door chemisch laboratorium Triskelion in Utrecht.

2.6 Toetsing aan normen en effectgrenzen

Om een eerste idee te krijgen in hoeverre de huidige concentraties aan chemische stoffen in biota een probleem kunnen vormen voor deze organismen is er getoetst aan geldende biotanormen van de Europese KRW.

Om de risico's van probleemstoffen verder te kunnen inschatten zijn de resultaten vergeleken met andere bestaande normen en effectgrenzen. Hiervoor zijn twee literatuurstudies uitgevoerd: één gericht op PFAS (Foekema & van den Heuvel-Greve, 2023) en één gericht op de overige probleemstoffen (Foekema e.a., 2024).

Meer details m.b.t. de aanpak en verkregen resultaten zijn te vinden in een wetenschappelijk artikel dat specifiek over de PFAS data gaat (Van den Heuvel-Greve e.a., *ingediend*) en een rapport gericht op de data voor de overige probleemstoffen (Foekema & De Froe, 2024).

Tabel 2.1 *Probleemstoffen die zijn geselecteerd voor analyse in biota in het Westerschelde impactanalyse onderzoek 2023. WS = Westerschelde, KGT = Kanaal Gent-Terneuzen.*

Stofgroep	Stoffen	Karakteristieken en toepassing	Reden van selectie
Per- en polygefluoreerde verbindingen (PFAS)	o.a. perfluoroctaansulfonzuur (PFOS), perfluoroctaanzuur (PFOA), perfluorhexaansulfonzuur (PFHxS), Perfluorbutaansulfonzuur (PFBS)	Stabiele industriële stoffen met veelvuldige toepassingen in producten vanwege water- en vetafstotende eigenschappen. Toepassing o.a. in brandblusschuim, waterafstotende producten, antiaanbak pannen, etc.	**PFOS:** overschrijding norm oppervlaktewater en biota in WS en KGT **PFAS:** Overschrijding als normloze aandachtsstof in WS en KGT
Industriële chloorhoudende stoffen	Polychloor Bifenylen (PCB's), hexachloorbutadieen (HCBD)	**PCB's:** in technische en elektronische apparatuur o.a. vanwege hittebestendigheid **HCBD:** vlamvertrager	*Meeliftend op de PBDE-analyse*
Organochloor-pesticiden (OCP's)	heptachloor en heptachloor-epoxiden (o.a. b-HEPO), hexachloorbenzeen (HCB)	**Heptachloor/HEPO:** insecticide, HEPO is afbraakproduct **HCB:** fungicide, bijproduct van andere chemicaliën	**Heptachloor/HEPO:** overschrijding norm oppervlaktewater in WS **HCB:** *meeliftend op analyse van andere pesticiden*
Gebromeerde vlamvertragers	Polybroom Difenylethers (PBDE's)	**PBDE's:** vlamvertragers	**Som-PBDE's:** overschrijding norm biota in WS en KGT
Organotin-verbindingen	Tributyltin (TBT) en andere organotin-houdende verbindingen	Toepassing in aangroeiwerende verf voor schepen en aquacultuur, biocide in koelsystemen, fungicide	**TBT:** overschrijding norm oppervlaktewater in WS en KGT
Metalen	Kwik, Arseen, Cadmium, Kobalt, Koper, Seleen, Thallium, Uranium, Zilver, Zink	Metalen komen van nature voor en hebben tevens specifieke toepassingen, waarvan enkele hieronder worden toegelicht: **Kwik:** komt vrij bij verbranding van vaste stoffen **Arseen:** toegepast in o.a. (niet-) landbouw bestrijdingsmiddelen **Cadmium:** toegepast in o.a. batterijen, elektronica en kunstmest **Kobalt:** toegepast in o.a. elektronica, batterijen en pigmenten **Koper:** toegepast in o.a. waterleiding en veevoer **Seleen:** komt o.a. vrij bij verbranding van steenkool **Thallium:** toegepast in elektronica en medische doeleinden **Uranium:** toegepast in nucleaire energieproductie en militaire doeleinden **Vanadium:** verbranding van fossiele brandstoffen en productie van staal **Zilver:** toegepast in sieraden, kunst, elektronica, medicijnen, fotografie etc. **Zink:** toegepast in dakgoten, daken en als nanodeeltjes in huishoudelijke en cosmetische producten (o.a. zonnebrand)	 **Kwik:** overschrijding norm oppervlaktewater en biota in WS **Arseen:** overschrijding norm oppervlaktewater in WS en KGT **Cadmium:** Westerschelde relevante stof **Kobalt:** overschrijding norm oppervlaktewater in WS en KGT **Koper:** overschrijding norm oppervlaktewater in KGT **Seleen:** overschrijding norm oppervlaktewater in KGT **Thallium:** overschrijding norm oppervlaktewater in KGT **Uranium:** overschrijding norm oppervlaktewater in KGT **Vanadium:** vooroever-verdediging met staalslakken **Zilver:** overschrijding norm oppervlaktewater in WS **Zink:** overschrijding norm oppervlaktewater in WS en KGT
Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK's)	Benzo(a)pyreen, Benzo(b)fluorantheen Benzo(ghi)peryleen, Benzo(k)fluorantheen, Benzo(a)anthraceen, Fluorantheen, Chryseen	Natuurlijke bestanddelen van steenkool en aardolie, die vrijkomen bij verbranding	PAK's: overschrijding norm oppervlaktewater in WS en voor benzo(b)fluorantheen en benzo(a)antraceen ook in KGT Benzo(a)antraceen: overschrijding norm biota in WS en KGT
Microplastics	Niet gedefinieerd	Productie en gebruik van plastic, gebruik van microplastic in allerlei toepassingen	Aanvulling op verzoek van RWS

2.7 Reguliere monitoring

Sinds 1992 laat RWS reguliere metingen van probleemstoffen in biota uitvoeren voor trend- en toestand-bepaling van de waterkwaliteit. Deze biotamonitoring vindt onder andere plaats in schelpdieren (mossel/oester) en/of bot en wordt in de Westerschelde, ter hoogte van Hansweert, gedaan voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) en OSPAR. Voor de KRW worden eens per drie jaar de concentraties van o.a. PFAS, PBDE's, HCB, HCBD, heptachloor en kwik gemeten in hele bot. Voor OSPAR worden elk jaar o.a. PFAS, PBC's, PBDE's, HCB, HCBD, heptachloor, koper, zink en cadmium gemeten in de lever van de bot, en kwik in spier van de bot.

3 Resultaten

3.1 Aanwezigheid van probleemstoffen in biota

De meeste probleemstoffen die in de biota zijn geanalyseerd, zijn aangetroffen in concentraties boven de detectielimiet. Dit was alleen niet het geval voor HCBD, *a*-HEPO en heptachloor en voor de metalen thallium en uranium. Voor deze stoffen lagen alle concentraties beneden de detectielimiet.

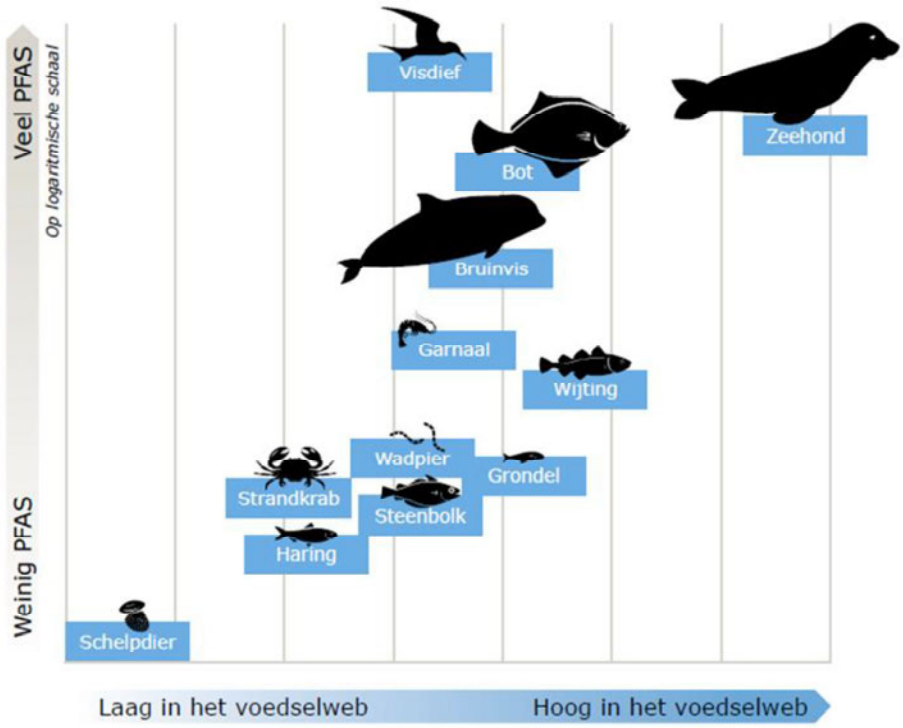
Gemiddelde concentraties van het totaal van alle gemeten PFAS (som PFAS) in de Westerschelde varieerde tussen 6 ng/g drooggewicht in schelpdieren en 4468 ng/g drooggewicht in de lever van gewone zeehonden uit de Westerschelde. Bij de vissen varieerde dit tussen 17 ng/g drooggewicht in haring uit de Westerschelde en 160 ng/g drooggewicht in grondel uit het Kanaal Gent-Terneuzen.

De bijdrage van perfluoroctaansulfonzuur (PFOS) aan het totaal-PFAS was altijd substantieel, variërend van 33% (in wadpier) tot 87% (in bruinvis en zeehond). In schelpdieren en wadpieren is procentueel ook een grote bijdrage gevonden van respectievelijk perfluorbutaansulfonzuur (PFBS) en perfluoroctaanzuur (PFOA).

Andere belangrijke (hoogst) aangetroffen probleemstoffen zijn onder andere:

- som PCB's: hoogste met 85496 en 28224 ng/g in spek van respectievelijk bruinvis en zeehond, 1429 ng/g in visdief ei, en 227 ng/g in hele bot;
- som PBDE's: hoogste met 336 ng/g in bruinvis spek, 45 ng/g in zeehond spek, en 16 ng/g in visdief ei
- kwik: hoogste met 2500 ng/g in bruinvis spier; 1720 ng/g in zeehond spier, 240 ng/g in visdiefei, en 120 ng/g in hele bot.

In de twee mengmonsters van bot uit de Westerschelde zijn geen microplastics aangetroffen.



Figuur 3.1 *Ophoping van PFAS in het Westerschelde voedselweb. Positionering van de iconen is gebaseerd op de gemiddelde waarden van de stabiele stikstof isotoop waarde (X-as), die een maat oplevert voor de positie binnen het voedselweb, en de som-PFAS concentraties op basis van ng/g drooggewicht (Y-as).*

3.2 Accumulerende stoffen

Sommige van de probleemstoffen kunnen ophopen in het voedselweb. Dit wordt accumulatie genoemd, omdat de concentraties in de predator steeds hoger zijn dan die in hun prooisoorten. Of een stof accumuleert hangt af van de chemische kenmerken van de stof, bijvoorbeeld hoe slecht deze afbreekt (persistentie), en waar het in het lichaam van het dier wordt opgeslagen. PCB's worden bijvoorbeeld goed in vet opgeslagen en kunnen daardoor makkelijk van prooisoort naar predator worden doorgegeven en weer in het lichaamsvet worden opgeslagen van de predator. Hogere concentraties betekenen dat effectniveaus van stoffen eerder bereikt kunnen worden. Daardoor kunnen dieren bovenin het voedselweb sneller last krijgen van accumulerende stoffen dan dieren lager in het voedselweb.

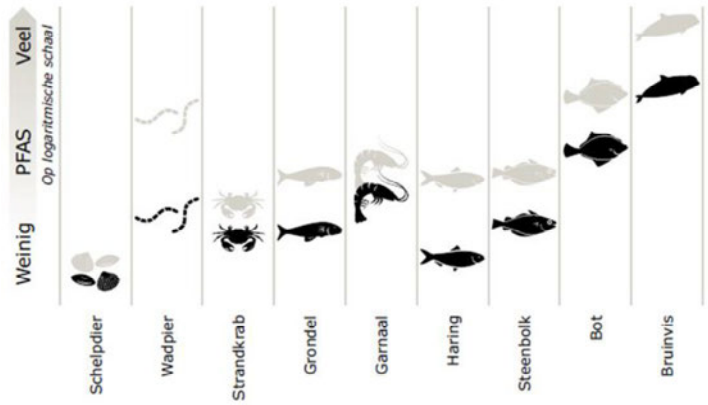
Uit het onderzoek blijkt dat van de onderzochte probleemstoffen met name PFAS (en dan m.n. PFOS, zie figuur 3.1), PCB's, PBDE's, b-HEPO en kwik ophopen in het Westerschelde voedselweb. Daarnaast accumuleren PAK's en organotin alleen in het onderste deel van het voedselweb, omdat ze door vis en de toppredatoren afgebroken en uitgescheiden kunnen worden.

3.3 Trends in de tijd

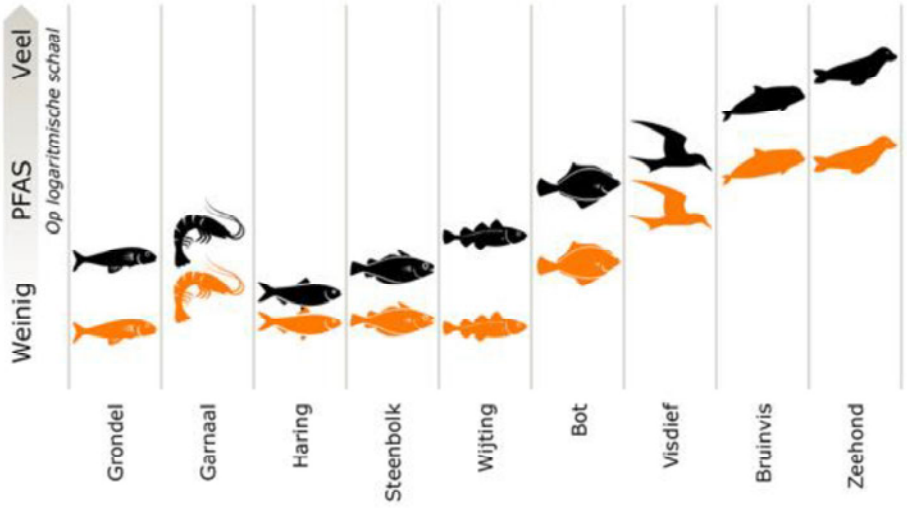
De waterkwaliteit in de Westerschelde is de afgelopen decennia verbeterd door verschillende beheers- en beleidsmaatregelen. Een goed voorbeeld hiervan is de vermindering van TBT in de Westerschelde, dankzij het internationale verbod op het gebruik van deze stof in verf voor schepen. De verf werd gebruikt om aangroei van mariene organismen op de scheepshuid tegen te gaan.

Ook in de huidige concentraties in biota zijn afnemende trends waar te nemen als er wordt vergeleken met data uit 2006-2008. Vier van de PFAS componenten zijn in beide onderzoeken in biota gemeten. De concentraties van deze vier PFAS-componenten zijn in 2023 lager dan in de periode 2005-2008 (figuur 3.2). Dit betekent dat de PFAS concentraties, in ieder geval van deze vier, in biota afgenomen zijn. Eenzelfde dalende trend voor verschillende PFAS componenten is waargenomen in water uit de Westerschelde (Jonker, 2024), alhoewel dat niet voor alle gemeten PFAS componenten gold.

Ook voor PBDE's en TBT, die vergeleken konden worden met de periode 2006-2008, zijn in 2023 lagere concentraties aangetroffen. De PCB concentraties in garnaal, bot en visdief zijn daarentegen niet afgenomen in 2023. Trendinformatie uit het OSPAR monitoringsprogramma laat dit voor PCB's ook niet zien in bot, maar wel in schelpdieren uit de Westerschelde. Verder laat de OSPAR biotamonitoring dalingen zien voor HCB, PBDE's, TBT en PAK's. Alleen voor kwik is een stijgende trend aanwezig, wat ook wordt waargenomen in de Eems-Dollard en het Friese Front (Dogruer e.a., 2023).



Figuur 3.2 *Vergelijking van Som-4PFAS (EFSA4) concentraties in biota uit de Westerschelde in 2023 (zwart), vergeleken met de periode 2006-2008 (grijs). Positionering van de iconen is gebaseerd op de gemiddelde waarden van de som-EFSA4-PFAS concentraties op basis van ng/g drooggewicht (Y-as).*



Figuur 3.3 *Ruimtelijke spreiding van PFAS in biota uit de Westerschelde (zwart) en de Waddenzee (oranje). Positionering van de iconen is gebaseerd op de gemiddelde waarden van de som-EFSA4-PFAS concentraties op basis van ng/g drooggewicht (Y-as).s*

3.4 Spreiding in ruimte

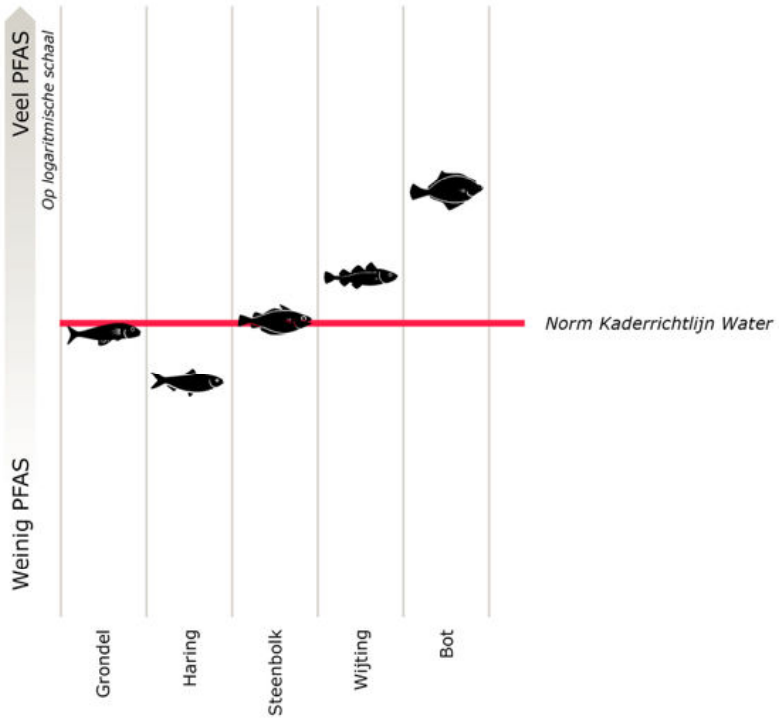
Meerdere probleemstoffen in biota uit de Westerschelde komen stroomopwaarts (inclusief het Kanaal Gent-Terneuzen) in hogere concentraties voor dan dichter bij de monding in zee. Bijvoorbeeld in de twee garnalenmonsters uit het Kanaal Gent-Terneuzen zijn hogere concentraties aan PFAS, PCB's, *b*-HEPO, HCB, PBDE en TBT aangetroffen dan in de garnalen uit de Westerschelde.

Veel van de bronnen voor deze stoffen liggen grotendeels stroomopwaarts. Rondom Antwerpen ligt een gebied met diverse chemische industrieën. Dit geldt ook voor het gebied langs het Kanaal Gent-Terneuzen. Deze dragen via verschillende puntbronnen mogelijk bij aan de slechte waterkwaliteit (Krystek & van Duijnhoven, 2022). Ook zijn er allerlei andere bronnen, zoals de afvalverwerkingsinstallaties en afval- en rioolwaterzuiveringsinstallaties, die afwateren op de Westerschelde. Daarnaast breken veel van deze probleemstoffen slecht af in het milieu. Dit komt onder andere doordat ze zich binden aan deeltjes in water en bodem, wat de afbraak vertraagt. Persistente stoffen blijven daardoor jaren tot tientallen jaren in het milieu aanwezig, en kunnen al die tijd door biota worden opgenomen en doorgegeven in het voedselweb.

In de Waddenzee liggen concentraties van meerdere probleemstoffen in biota lager dan in de Westerschelde. Dit is het geval voor PFAS (figuur 3.3), PCB's, PBDE's, *b*-HEPO, organotin (TBT), cadmium, en in mindere mate voor PAK's, koper en seleen. Concentraties van kwik en arseen in biota uit de Westerschelde zijn vergelijkbaar met of zelfs wat lager dan in de Waddenzee.

3.5 Toetsing aan normen

Toetsing van de huidige concentraties aan chemische stoffen in biota aan de geldende Europese biotanormen van de KRW laat, net als in de reguliere biotamonitoring, overschrijdingen zien voor PFOS (figuur 3.4), PBDE's en kwik. Nederland voldoet voor deze prioritaire stoffen dus nog niet aan de afgesproken milieudoelen binnen de KRW. Tevens impliceert het dat effecten van deze stoffen op het ecosysteem kunnen optreden.



Figuur 3.4 *Toetsing van gemiddelde PFOS concentraties in verschillende vissoorten uit de Westerschelde aan de Kaderrichtlijn Water biotanorm voor vis. Positionering van de iconen is gebaseerd op de gemiddelde waarden van de PFOS concentraties op basis van ng/g natgewicht, omgerekend naar een 'standaard vis' met 26% droge stof (Y-as). De KRW norm is 9,1 µg PFOS/kg vis (natgewicht, 26% drooggewicht).*

3.6 Vergelijking met effectgrenzen uit de wetenschappelijke literatuur

Naast de normtoetsing zijn de biota concentraties vergeleken met gerapporteerde effectgrenzen uit de wetenschappelijke literatuur. Dit geeft verder inzicht of er impact op de natuur te verwachten is. De reeds bekende effectgrenzen zijn op een rij gezet in twee literatuuronderzoeken; één gericht op PFAS (Foekema & van den Heuvel-Greve, 2023) en een tweede voor de overige probleemstoffen van de impactstudie (Foekema e.a., 2024).

Effectgrenzen zijn de kritische concentraties in biota, waarbij negatieve effecten in het dier zijn vastgesteld in experimenteel onderzoek. Een voorbeeld is dat bij een specifieke kritische PFOS-concentratie in een bepaalde schelpdiersoort schade aan het immuunsysteem is gemeten. Zulke kritische effectgrenzen verschillen zowel per stofgroep als per diersoort. Uit het literatuuronderzoek blijkt dat kritische effectgrenzen, gerapporteerd als biota concentraties, voor de probleemstoffen uit dit onderzoek nog weinig zijn onderzocht voor estuariene en mariene organismen. Dit geldt zeker wanneer het gaat om langdurige (chronische) blootstelling aan stoffen, die lang in het milieu blijven en ophopen in het weefsel van de dieren.

Wanneer de resultaten worden vergeleken met de gerapporteerde effectgrenzen, blijkt het dat deze voor enkele stofgroepen worden overschreden of worden benaderd (figuur 3.5). De huidige PFOS concentraties in schelpdieren, vogels, zeehonden en bruinvissen uit de Westerschelde benaderen en/of overschrijden gerapporteerde effectgrenzen voor PFOS. Effecten die kunnen optreden zijn onder andere een verstoring van het immuunsysteem en de hormoonhuishouding. Omdat er nog weinig bekend is over de gevoeligheid van mariene organismen voor PFOS, biedt deze vergelijking slechts een eerste aanwijzing. Aanvullend onderzoek

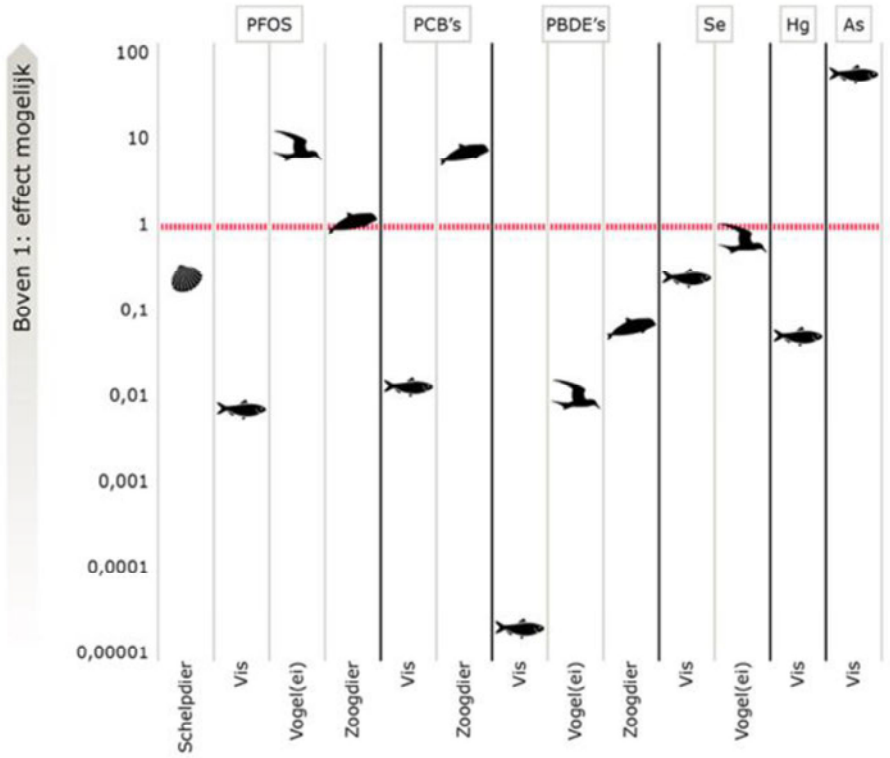
is nodig om de effecten van PFOS en andere PFAS verder te bepalen bij dieren die voorkomen in zee en estuaria.
PCB's kunnen onder andere het immuunsysteem, de hormoonhuishouding en de voortplanting verstoren. De PCB-concentraties in bruinvissen en zeehonden uit de Westerschelde zijn hoger dan niveaus waarbij het immuunsysteem en de vitamine-A huishouding kunnen worden beïnvloed.

De effectgrenzen voor PBDE's worden niet overschreden in Westerschelde biota. In enkele bruinvis- en zeehondmonsters zijn echter concentraties gevonden, die slechts vier keer lager waren dan de kritische waarde voor schildklierverstoring. Daarnaast kunnen PBDE's, net als PCB's, het immuunsysteem en vitamine-A huishouding aantasten. Eventuele gecombineerde effecten van PCB's en PBDE's zijn nog moeilijker in te schatten, maar kunnen niet worden uitgesloten. De hoogst gemeten PBDE concentraties in visdiefeieren zijn ruim 30 maal lager dan de waarde waarbij effecten op de voortplanting zijn vastgesteld. In bot liggen de concentraties circa 10.000 onder de gerapporteerde effectgrens.

De concentraties van het metaal seleen in de monsters van bot en visdief-eieren uit de Westerschelde liggen net onder de waarden, waarbij negatieve effecten op de voortplanting zijn waargenomen.

De in botten aangetroffen arseengehalten liggen boven de laagste concentratie, waarbij effecten op het immuunsysteem zijn vastgesteld bij meervallen. Het is daarom niet uit te sluiten dat het immuunsysteem van de botten in de Westerschelde niet optimaal functioneert. Arseen komt in vergelijkbare concentraties in de Waddenzee voor en is waarschijnlijk een resultante van pyrietoxidatie.

Voor kwik is slechts één kritische weefselconcentratie gevonden. Deze is voor vis en ligt in de range van 1000-7000 ng/g ww. De aangetroffen concentraties in vis uit de Westerschelde liggen hier ongeveer een factor vier tot acht onder.



Figuur 3.5 *Vergelijking van de stofconcentraties in verschillende diergroepen uit de Westerschelde met de kritische effectgrenzen uit de wetenschappelijke literatuur. Dit is weergegeven als de ratio tussen de gemeten concentraties in biota uit de Westerschelde en de laagste gerapporteerde concentraties in weefsel, waarbij effecten zijn beschreven voor deze diergroep. Positionering van de iconen is gebaseerd op de mediaan concentraties van de desbetreffende stoffen (Y-as). Bij concentraties boven de rode stippellijn kunnen effecten verwacht worden. Niet voor alle stofgroepen en diergroepen waren effectgrenzen bekend en de combinatie effecten van meerdere stoffen samen zijn evenmin onbekend.*

Meerdere stoffen in Westerschelde biota overschrijden de gerapporteerde effectgrenzen. Dit betekent dat het niet uitgesloten kan worden dat er effecten in biota optreden, als gevolg van blootstelling aan probleemstoffen. Tegelijkertijd kan het optreden van effecten op basis van de huidige informatie niet worden bewezen. Dit komt omdat de geteste diersoorten in de literatuur niet precies dezelfde diersoorten zijn als in de Westerschelde, en omdat diersoorten verschillen in hun gevoeligheden voor stoffen. Daarnaast wijken de omgevingsomstandigheden in de testen sterk af van die in de Westerschelde.

De effecten van de huidige probleemstoffen zijn vaak onopvallend, zoals een verslechterd immuunsysteem of verminderde voortplanting, en worden pas op de langere termijn zichtbaar. Het feit dat de kennis over de effecten van één stofgroep vaak al beperkt is, maakt het vervolgens extra lastig om de gevolgen van een mengsel van probleemstoffen te voorspellen, omdat ze elkaars werking ook nog eens kunnen beïnvloeden.

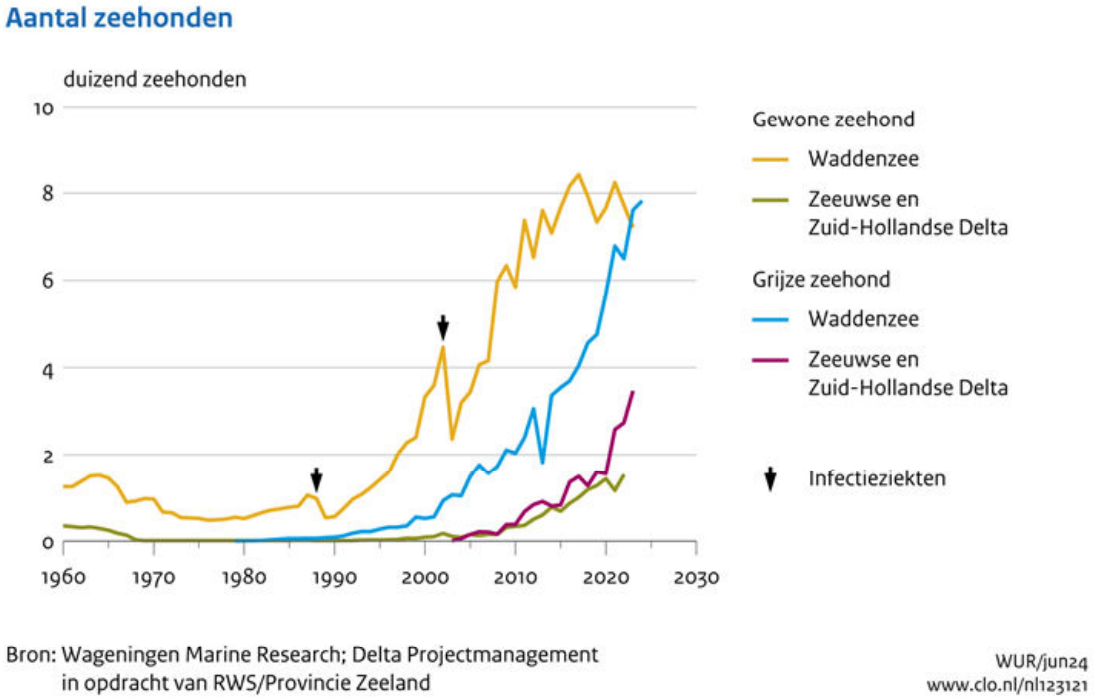
Om de effecten daadwerkelijk te kunnen aantonen, is daarom een gerichte studie nodig op basis van de belangrijkste bevindingen van deze impactstudie in de Westerschelde. Dit kan gedaan worden door gericht op zoek te gaan naar subtiele veranderingen in biota, bijvoorbeeld bepaalde gezondheidsparameters in het bloed van dieren. Eerste verkenningen naar metingen van gezondheidsparameters in aangespoelde dode bruinvissen, in combinatie met analyses van probleemstoffen, zijn bemoedigend en geven aanleiding om dit verder uit te gaan zoeken.

3.7 Natura2000 doelen Westerschelde

De drie toppredatoren uit deze studie zijn allemaal doelsoorten voor het Natura2000 gebied 'Westerschelde & Saeftinghe', en hebben de volgende instandhoudingsdoelen (www.natura2000.nl):

- De visdief is een broedvogelsoort met een regiodoel van 6500 broedparen. Daarnaast is er voor deze soort een doel voor behoud van omvang en kwaliteit van het leefgebied. De relatieve bijdrage van de Deltawateren aan de landelijke populatie is 6-15%.
- De bruinvis is een habitatrichtlijn soort en heeft als doelen behoud van de populatie, omvang en kwaliteit van het leefgebied. De relatieve bijdrage van de Deltawateren aan de landelijke populatie is <2%.
- De gewone zeehond is tevens een habitatrichtlijnsoort met als doelen een uitbreiding van de populatie, behoud van de omvang het leefgebied en verbetering van de kwaliteit van het leefgebied. De relatieve bijdrage van de Deltawateren aan de landelijke populatie is <2%.

Voor de doelsoorten moet de kwaliteit van het leefgebied worden behouden dan wel verbeteren. In het geval van de gewone zeehond is er tevens een uitbreidingsdoel gesteld voor de populatie. De aantallen gewone zeehonden in het Deltagebied zijn sinds het begin van de eeuw aan het stijgen (figuur 3.6). Echter, het aantal geboren pups is relatief laag en de sterfte is hoog (Dedert e.a., 2015; Brasseur, 2018). Dit betekent dat de groei voornamelijk een gevolg is van instroom van dieren uit andere gebieden, zoals de Waddenzee. Het gebrek aan autonome groei van de populatie kan komen door verstoring door de mens en draagkracht van het gebied, maar ook vervuiling kan hier een rol in spelen. Probleemstoffen, zoals PFOS, kunnen de kwaliteit van het leefgebied beïnvloeden. De gemeten gehalten geven voor individuele stoffen geen aanleiding om te denken dat probleemstoffen nu directe negatieve invloeden hebben op het voortplantingssucces van de zeehonden, zoals in de jaren '80 van de vorige eeuw het geval was voor zeehonden na blootstelling aan hoge PCB's concentraties (Reijnders, 1986). Wel is het mogelijk dat een eventuele aantasting van het immuunsysteem de algehele weerstand verlaagt, waardoor dieren uiteindelijk slechter met ongunstige omstandigheden om kunnen gaan (zoals een virus uitbraak of verminderde voedselbeschikbaarheid). Zo wordt een lager voortplantingssucces bij de bruinvis gerelateerd aan te mager dieet (IJsseldijk e.a., 2021).



Figuur 3.6 *Aantallen getelde zeehonden langs de Nederlandse kust, in de periode 1960-2022.*

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

De impact analyse geeft een overzicht van hoe de probleemstoffen zich gedragen in de Westerschelde natuur en zich verhouden tot geldende normen en gerapporteerde effectgrenzen (tabel 4.1).

Gedrag en accumulatie
Meerdere probleemstoffen hopen op in het Westerschelde voedselweb. Dit betreft PFAS, PCB's, PBDE's, *b*-HEPO en kwik. PAK's en TBT hopen alleen op in het onderste deel van het voedselweb, tot het niveau van de vis.

Trends in ruimte en tijd
Meerdere probleemstoffen zijn in hogere concentraties in de Westerschelde biota aangetroffen dan in dezelfde dieren in de westelijke Waddenzee. Dit betreft PFAS, PCB's, PBDE's, *b*-HEPO, TBT, cadmium, zilver en in mindere mate PAK's, koper en seleen. Daarnaast zijn voor meerdere stoffen in het Westerschelde-estuarium hogere concentraties gemeten stroomopwaarts en/of in het Kanaal Gent-Terneuzen.

Concentraties aan PFAS in Westerschelde biota zijn afgenomen sinds de vorige brede meting in 2006-2008. Dit geldt ook voor PBDE's en TBT, maar niet voor PCB's waar de concentraties in biota ongeveer gelijk zijn gebleven. PCB's zijn in Europa al sinds 1985 verboden, waardoor een sterke daling in biota concentraties al veel eerder heeft plaatsgevonden. De huidige concentraties zijn waarschijnlijk vooral het gevolg van de persistentie van de stof in het milieu. TBT en PBDE's zijn meer recent verboden, respectievelijk sinds 2003 en 2004, en het effect hiervan lijkt nog zichtbaar in de dalende trends.

Daarnaast laten trends uit de OSPAR monitoring in biota zien dat de concentraties in biota uit de Westerschelde dalen voor HCB, PBDE's, TBT en PAK's. Ook PCB's nemen af in schelpdieren, maar niet in bot. Kwikconcentraties laten een stijgende trend zien, niet alleen in de Westerschelde maar ook in andere kustgebieden.

Impactanalyse
De concentraties van probleemstoffen die verhoogd worden aangetroffen in biota uit de Westerschelde zijn, net als in de KRW monitoring, hoger dan de KRW-biota norm voor PFAS (PFOS) en PBDE's. Ook kwik overschrijdt de KRW-norm, maar deze komt in dezelfde hoeveelheden voor in de Waddenzee, waardoor dit een breder Nederlands probleem is.

Als deze probleemstoffen worden vergeleken met effectgrenzen uit de literatuur, liggen de biota concentraties van PFAS (PFOS) en PCB's hier boven, terwijl die van PBDE's en seleen er net onder liggen. Ook arseen en kwik concentraties, liggen respectievelijk boven en net onder de gerapporteerde effectgrenzen voor deze stoffen, maar deze stoffen komen in dezelfde hoeveelheden voor in de Westerschelde als in de Waddenzee.

Tabel 4.1 *Samenvatting van de resultaten m.b.t. gedrag en impactanalyse van de Westerschelde-specifieke probleemstoffen.*

Stofgroep	Aangetroffen boven detectiegrens in biota uit de Westerschelde	Ophopend in voedsel-web	Vergelijking met KRW biota norm	Vergelijking met effectgrenzen weten-schappelijke literatuur	Vergelijking met westelijke Waddenzee	Vergelijking met 2006-2008 data	OSPAR trend moni-toring in biota
PFAS							
PCB's							*
PBDE's							*
HCB							
HCBD			**				
Heptachloor							
b-HEPO							
PAK's							
TBT							
kwik							
arseen							
cadmium							
koper							
seleen							
thallium							
uranium							
Vanadium							
zilver							
zink							
microplastic							

**afname alleen in schelpdieren, niet in vis. ** niet toetsbaar: norm ligt onder de detectielimiet in biota.*

Kleurcode	Geldend voor meeste kolommen	Voor kolom vergelijking met 2006-2008 data	Voor kolom OSPAR trends
	Volledig erboven	Significant hoger in 2023	Sterk toenemend
	Gedeeltelijk erboven	Iets hoger (niet significant)	Deels toenemend
	Ongeveer gelijk	Gelijk	Ongeveer gelijk
	Net eronder	Iets lager (niet significant)	Deels afnemend
	Volledig eronder	Significant lager in 2023	Sterk afnemend
	Niet van toepassing	Geen vergelijking mogelijk	Niet van toepassing

Samenvattend

Als naar het totaal gekeken wordt blijkt dat PFAS momenteel de belangrijkste probleemstof groep voor het ecosysteem van de Westerschelde is. Deze groep van stoffen hoopt op in het voedselweb en overschrijdt zowel de biotanormen van de KRW als gerapporteerde effectgrenzen. De PFAS-concentraties in Westerschelde-biota zijn significant hoger dan in de Waddenzee. Er zijn de afgelopen jaren (internationaal) maatregelen genomen om de uitstoot van PFAS te verminderen. Zo is PFOS als eerste van alle PFAS in 2009 verboden binnen het Verdrag van Stockholm. Dit verdrag heeft als doel mens en milieu te beschermen door het beperken van productie en gebruik van persistente organische verontreinigende stoffen (POP's). Sinds 2020 zijn ook twee andere PFAS componenten hierin opgenomen (PFOA in 2020 en PFHxS in 2023). Concentraties van enkele van de PFAS (m.n. PFOS) zijn afgenomen in de Westerschelde. Desondanks liggen de aantroffen concentraties in biota nog boven normen en effectgrenzen.

Andere stoffen, zoals PCB's en PBDE's, hopen ook op en komen in relatief hoge concentraties voor in de Westerschelde, met overschrijdingen van normen en /of effectgrenzen. Voor deze stofgroepen zijn al veel eerder beperkende maatregelen uitgevoerd. Daarnaast overschrijden kwik en arseen eveneens de normen en/of effectgrenzen. Deze stoffen komen in vergelijkbare hoeveelheden voor in zowel de Westerschelde als de Waddenzee, wat ze tot een breder Nederlands probleem maakt. Gezien de overschrijding van effectgrenzen in vis, wordt geadviseerd om te bepalen of een aanvullende biotanorm voor arseen wenselijk is.

Monitoring

Het huidige onderzoek laat zien dat, naast de trendbepalingen van chemische stoffen in de huidige monitoring, het belangrijk is om kennis te hebben over het gedrag van deze chemische stoffen in het voedselweb. Het onderzoek bevestigt dat het meten van PFAS in bot een goede graadmeter is voor de Westerschelde, omdat deze van alle onderzochte vissoorten de hoogste PFAS gehalte bevat. Voor een betere vergelijking met gegevens van bovenstroomse partijen binnen de Internationale Scheldecommissie wordt aanbevolen om garnalen toe te voegen aan het monitoringsprogramma.

4.2 Aanbevelingen

1. De monitoring van m.n. PFAS, PCB's, PBDE's, en kwik in biota (elke 3 jaar) continueren bij de locatie Hansweert in het kader van KRW en OSPAR. Bot is voor PFAS een goede worst-case indicator voor vis. Stoffen die alleen in het lagere deel van het voedselweb accumuleren (zoals PAK's en organotin) worden nu in schelpdieren gemeten. Deze stoffen kunnen wellicht beter ook in garnaal worden gemeten, omdat ze zo beter kunnen worden vergeleken met de zoet water data (in amphipoden) van ISC partners. Hansweert is een relevante meetlocatie in het midden van de Westerschelde.
2. Aanvullend onderzoek uitvoeren naar biotaconcentraties van zware metalen in organismen uit het Kanaal Gent-Terneuzen. Deze data ontbreken nu nog, omdat er in de huidige studie onvoldoende materiaal van de garnalen beschikbaar was uit het kanaal. Daardoor is het nu nog onduidelijk of eerder vastgestelde hoge concentraties in het water van sommige metalen, zoals thallium, ook te zien zijn in biota.
3. Een brede impactstudie, zoals deze, elke 5-10 jaar herhalen om effecten van beheer- en beleidsmaatregelen te volgen. Zo kan een vinger aan de pols worden gehouden met het oog op de belasting van de Westerschelde natuur met probleemstoffen. Daarnaast kleinere, meer gerichte onderzoeken uitvoeren voor urgente of specifieke vragen of zorgen.
4. Specifiek voor PFAS geldt dat er nog veel onbekend is. Daarom is aanvullend experimenteel onderzoek nodig, met name om:
    a. het milieuchemische gedrag van PFAS verder in kaart te brengen. Hoe gedragen de stoffen zich in water in een systeem als de Westerschelde? Dit is nodig om beter te kunnen begrijpen en voorspellen hoe de blootstelling van dieren aan PFAS is en wat de belangrijkste opnameroutes zijn.
    b. de effecten van PFAS op de estuariene/mariene natuur experimenteel vast te leggen. Dit is essentieel om eventuele schadelijke effecten van PFAS bij de huidige concentraties in biota beter in te kunnen schatten. Belangrijk hierbij is dat tijdens de effectstudies de concentraties in de biota zelf (kritische weefselconcentraties) worden bepaald, zodat er een betere vertaling kan worden gemaakt van biotamonitoring data naar ecologische risico's binnen het Westerschelde estuarium.
    c. verder inzicht te krijgen in hoe PFAS worden opgenomen en uitgescheiden in zeezoogdieren, en wat het belang van de Westerschelde is als leefgebied (voedselvoorziening) voor bruinvis en zeehond. Vervolgens kan via het meten van gezondheidsparameters in bloed, verder worden bepaald of er effecten optreden na blootstelling aan deze stoffen. Dit levert essentiële kennis om te kunnen bepalen of Natura 2000-doelstellingen, zoals voor de zeehond en bruinvis, beïnvloed kunnen worden door PFAS en eventuele andere probleemstoffen.
    d. naast PFOS ook andere voor de Westerschelde relevante PFAS mee te nemen in bovenstaand onderzoek, zoals PFOA en PFBS. Het is belangrijk om te realiseren dat ook PFAS componenten die niet in biota accumuleren, maar wel in de waterkolom aanwezig zijn, tot effecten kunnen leiden in biota.
5. Meer inzicht verkrijgen in hoe kleine, subtiele verstoringen van fysiologische processen, zoals aantasting van immuun- en hormoonsystemen, die ontstaan door blootstelling aan probleemstoffen, de veerkracht van organismen en populaties aantasten als ongunstige omstandigheden optreden. Dit kan gedaan worden door heel gericht gezondheidsparameters in een diersoort te bepalen en te onderzoeken of deze gekoppeld kunnen worden aan concentraties PFAS en/of andere probleemstoffen.

5 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV.

Het Chemisch en Benthos laboratorium beschikken over een EN-ISO/IEC 17025:2017 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie. Het Chemisch en Benthos laboratorium hebben hierdoor aangetoond in staat te zijn op technisch bekwame wijze valide resultaten te leveren en te werken volgens de ISO17025 norm. De scope (L097) met de geaccrediteerde analysemethoden is te vinden op de website van de Raad voor Accreditatie (www.rva.nl).

Op grond van deze accreditatie is het kwaliteitskenmerk Q toegekend aan de resultaten van die componenten die op de scope staan vermeld, mits aan alle kwaliteitseisen is voldaan. Het kwaliteitskenmerk Q staat vermeld in de tabellen met de oorspronkelijke onderzoeksresultaten.

De kwaliteit van de analysemethoden wordt op verschillende manieren gewaarborgd. De juistheid van de analysemethoden wordt regelmatig getoetst door deelname aan ringonderzoeken cq bekwaamheidsonderzoeken (3^e lijnscontrole).
Daarnaast worden bij iedere meetserie nog andere kwaliteitscontroles uitgevoerd waaronder 1^e lijns (controlemonsters) en 2^e lijns controles.

Indien gewenst kunnen gegevens met betrekking tot de prestatiekenmerken van de analysemethoden bij het laboratorium worden opgevraagd.

Indien sprake is van onbeheerste kwaliteit worden passende maatregelen genomen.

Literatuur

Brasseur, S. (2018). Stranding and Rehabilitation in Numbers: Population development and stranding data on the Dutch coasts 1990-2016; Analysis of new data from a public database. WMR rapport. C108/17. 36 pp.

Dedert, M., S. Brasseur en M.J. Van den Heuvel-Greve (2015). Zeehonden in het Deltagebied; populatieontwikkeling en geperfluoreerde verbindingen. IMARES rapport C178/14.

Dogruer, G., A.C. Sneekes, R. van Hal, S.C.V. Geelhoed, M.J.J. Kotterman (2023). Biotamonitoring Rijkswateren tot en met 2022. Deel I: Toetsing en trends. WMR rapport C057/23.

Foekema, E.F., E. de Froe (2024). Impactanalyse verontreinigingen natuurdoelen Westerschelde; metingen 'overige stoffen'. WMR rapport C083/24. DOI https://doi.org/10.18174/680463

Foekema, E.F., M.J. van den Heuvel-Greve (2023). Literature review to guide the PFAS field survey in the Westerschelde in 2023. WMR rapport C037/23.

Foekema, E.F., E. de Froe, M.J. van den Heuvel-Greve (2024). Impactanalyse verontreinigingen natuurdoelen Westerschelde - Literatuursurvey overige contaminanten. WMR rapport C082/24. DOI https://doi.org/10.18174/680460

IJsseldijk, L.L., S. Hessing, A. Mairo, M.T. Ten Doeschate, J. Treep, J. van den Broek, G.O. Keijl, U. Siebert, H. Heesterbeek, A. Gröne, M.F. Leopold, (2021). Nutritional status and prey energy density govern reproductive success in a small cetacean. Scientific reports, 11(1), 19201.

Jonker, M.T.O. (2021). Poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS) in de Rijkswateren; Concentraties in water en biota tussen 2008 en 2020. Rapport Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht.

Krystek, P., N. van Duijnhoven (2022). Een vergelijking van Nederlandse en Vlaamse meetdata voor KRW stoffen in het stroomgebied Schelde. Deltares rapport 11206825-003-ZWS-0004.

Reijnders, P.J. (1986). Reproductive failure in common seals feeding on fish from polluted coastal waters. Nature, 324(6096): 456-457.

van den Heuvel-Greve, M., A. Zabel (2010). Identification and trophic transfer of contaminants in estuarine food webs; state of the art report 2008-2010. Deltares rapport Z4635/1200235.002.

van den Heuvel-Greve, M.J., J. Schotanus, M.J.J. Kotterman, C.J.A.F. Kwadijk, S.M.J.M. Brasseur, M. Leopold, J. van Zwol, D. van den Ende, S.A. Cornelisse, E. de Froe, E.M. Foekema (*ingediend*). Exposure and magnification of PFAS in a temperate estuarine food web, including top predators. Ingediend bij Marine Pollution Bulletin (2024).

Verantwoording

Rapport: C084/24
Projectnummer: 4316100304 en 4313100209

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research.

Akkoord: [redacted]
Senior onderzoeker

Handtekening: [redacted]

Datum: 11 december 2024

Akkoord: dr.ir. T.P. Bult
Director

Handtekening: [redacted]

Datum: 11 december 2024

Wageningen Marine Research
T +31 (0)317 48 70 00
E marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Bezoekersadres:
- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden

Wageningen Marine Research levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.

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, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 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.