

Samenvatting

Op 12 mei 2000 heeft een forse brand bij het afvalverwerkingsbedrijf ATF "De Pijp" te Drachten geleid tot een verspreiding van afvalstoffen in de omgeving. Direct na de brand is onderzoek uitgevoerd om een indicatie te krijgen van de verspreiding van de verontreiniging en de mogelijke risico's voor de volksgezondheid en milieu. Hoewel de resultaten van dit onderzoek niet erg verontrustend waren, bleven bewoners van het beïnvloede gebied zitten met vragen over de mogelijke schadelijke effecten van de brand. Door de provincie Fryslân en Wetterskip Fryslân is daarom besloten om, aanvullend op het reeds uitgevoerde onderzoek, op een aantal locaties de kwaliteit van de land- en waterbodem en vissen te onderzoeken. Het onderzoek is begeleid door een commissie. De resultaten van het land- en waterbodemonderzoek zijn inmiddels door Tauw bv gerapporteerd en het rapport is vastgesteld door de begeleidingscommissie. Doordat de analyseresultaten van het visonderzoek niet op tijd beschikbaar waren, is door de commissie besloten om deze afzonderlijk te rapporteren. In het onderhavige rapport zijn deze resultaten vermeld.

De doelstelling van het visonderzoek is als volgt geformuleerd:

Het meten van concentraties verontreinigende stoffen in een aantal vissoorten, afkomstig uit oppervlaktewater in het door de brand beïnvloede gebied, om zodoende een indicatie te krijgen van de risico's die mensen lopen als ze deze vis consumeren.

Bij de invulling van het onderzoek is van het volgende uitgegaan. Voor de brand is in het betreffende gebied niet eerder de kwaliteit van vissen onderzocht. Het is dus niet mogelijk om een vergelijking te maken van de kwaliteit van de vis voor en na de brand, op basis waarvan een uitspraak zou kunnen worden gedaan over een eventuele toename van risico's voor mensen bij het consumeren van vis uit het gebied. Niettemin vonden betrokken partijen het zinvol om richting vissers en bewoners meer duidelijkheid te verschaffen over de kwaliteit van de vis. Verder is besloten om op twee locaties vissen te gaan vangen, namelijk een locatie relatief dicht bij het ATF-terrein (de zandwinput van Jansma, waar regelmatig wordt gevestigd) en een locatie op iets grotere afstand (de Smalle Eesterzanding). Tevens is afgesproken om een tweetal soorten te onderzoeken: een soort die het voedsel vooral uit de waterbodem betreft en een soort die met name foerageert in de waterfase. Als representant voor de waterbodem is gekozen voor de paling en voor het water de snoekbaars. Doordat geen snoekbaars kon worden gevangen, maar wel snoek, zeelt en brasem is de snoek gebruikt als vertegenwoordiger van de waterfase. Ook zeelt en brasem zijn aanvullend onderzocht.

De gevangen vissen zijn op een uitgebreid scala aan verontreinigende stoffen onderzocht, namelijk zware metalen, polychloorbifenylen (PCB's), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) en organochloorbestrijdingsmiddelen (OCB's). De gemeten concentraties zijn vervolgens getoetst aan de consumptienormen voor vissen in de Warenwetregeling of aan normen (humane MTR-waarden) die in de Circulaire streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering zijn vermeld.

Het onderzoek heeft geleid tot de volgende conclusies:

1. De risico's die mensen lopen bij het consumeren van vis uit het door de brand beïnvloede gebied is bepaald door te toetsen aan beschikbare normen voor het consumeren van vis met als conclusie dan in alle gevallen voldaan wordt aan de norm.
2. Vergeleken met eerder visonderzoek, dat is uitgevoerd op andere locaties in Fryslân, blijkt dat de kwaliteit van vis uit het door de brand beïnvloede gebied in het algemeen iets slechter is dan die van vis afkomstig van schone locaties, maar aanmerkelijk beter is dan die van vis uit ernstig verontreinigde gebieden.

Met inachtneming dat elke risicobeoordeling zijn beperkingen heeft - niet alles kan worden gemeten en er moeten altijd schattingen worden gemaakt - is de algemene conclusie dat de uitkomsten van het visonderzoek geen aanleiding zijn om het consumeren van vis uit het door de brand beïnvloede gebied te ontraden.

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding.....	7
1.2 Doelstelling.....	7
1.3 Aanpak.....	7
1.4 Leeswijzer.....	7
2 Onderzochte vissoorten en verontreinigende stoffen	9
2.1 Verontreinigingsbronnen en aanvoerroutes.....	9
2.2 Beschrijving van gemeten stoffen.....	9
2.2.1 Polychloorbifenylen (PCB's).....	9
2.2.2 Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK).....	11
2.2.3 Organochloorbestrijdingsmiddelen (OCB's).....	12
2.2.4 Metalen.....	13
2.3 Beschrijving onderzochte vissoorten.....	15
3 Materiaal en methoden	17
3.1 Beschrijving locaties.....	17
3.2 Het vangen en voorbereiden van vis.....	17
3.3 De analyses.....	17
3.4 Risicobeoordeling.....	18
3.4.1 De consumptienormen van de Warenwetregeling.....	18
3.4.2 Normen Circulaire streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering.....	18
4 Resultaten en discussie	21
4.1 Gemeten concentraties.....	21
4.2 Risicobeoordeling.....	25
5 Conclusie	27

6 Literatuur.....29

- Bijlage 1: Overzichtskaarten Smalle Eesterzanding en de zandwinput van Jansma**
Bijlage 2: Toetsing resultaten aan de consumptienormen uit de Warenwetregeling
Bijlage 3: Humane risico's

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Op 12 mei 2000 is een forse brand uitgebroken bij het afvalverwerkingsbedrijf ATF "De Pijp" te Drachten, waardoor afvalstoffen in de omgeving zijn verspreid. Direct na de brand is onderzoek uitgevoerd om een indicatie te krijgen van de verspreiding van de verontreiniging en de mogelijke risico's voor de volksgezondheid en milieu. Hoewel de resultaten van dit onderzoek niet erg verontrustend waren, bleven bewoners van het beïnvloede gebied zitten met vragen over de mogelijke schadelijke effecten van de brand. Door de provincie Fryslân en Wetterskip Fryslân is daarom besloten om, aanvullend op het reeds uitgevoerde onderzoek, op een aantal locaties de kwaliteit van de (water)bodem en vissen te onderzoeken. Het onderzoek is begeleid door een commissie. De resultaten van het (water)bodemonderzoek zijn door Tauw bv gepresenteerd in het rapport "(Water)bodemonderzoek rond het ATF-terrein te Drachten" [Hoven en Theelen, 2001]. Doordat de analyseresultaten van het visonderzoek niet op tijd beschikbaar waren, is door de begeleidingscommissie besloten om deze afzonderlijk te rapporteren.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van het visonderzoek is als volgt geformuleerd:

Het meten van concentraties verontreinigende stoffen in een aantal vissoorten, afkomstig uit oppervlaktewater in het door de brand beïnvloede gebied, om zodoende een indicatie te krijgen van de risico's die mensen lopen als ze deze vis consumeren.

1.3 Aanpak

Gelet op de verontreiniging die voor de brand reeds in het water en de waterbodem aanwezig was, tezamen met het feit dat voor de brand in het betreffende gebied niet eerder de kwaliteit van vissen is gemeten, was van tevoren reeds duidelijk dat met het onderzoek geen relatie zou kunnen worden gelegd tussen de gemeten concentraties in de vissen en de hoeveelheid verontreinigende stoffen die bij de brand zijn vrijgekomen. Met andere woorden, het onderzoek zou slechts een indicatie kunnen geven van de risico's die mensen lopen als ze vis uit het beïnvloede gebied consumeren. Niettemin vonden betrokken partijen het zinvol om richting vissers en bewoners meer duidelijkheid te verschaffen over de kwaliteit van vis uit het betreffende gebied.

Besloten is op twee locaties vissen te gaan vangen, namelijk een locatie relatief dicht bij het ATF-terrein (de zandwinput van Jansma waar regelmatig wordt gevestigd) en een locatie verder af (de Smalle Eesterzanding). Verder is besloten om een tweetal soorten te onderzoeken: een soort die het voedsel

vooral uit de waterbodem betreft en een soort die met name foerageert in de waterfase. Als representant voor de waterbodem is gekozen voor de paling en voor het water de snoekbaars. Doordat geen snoekbaars kon worden gevangen, maar wel snoek, zeelt en brasem is de snoek gebruikt als vertegenwoordiger van de waterfase. Ook zeelt en brasem zijn aanvullend onderzocht.

De gevangen vissen zijn op een uitgebreid scala aan verontreinigende stoffen onderzocht. Naast zware metalen zijn polychloorbifenylen (PCB's), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) en organochloorbestrijdingsmiddelen (OCB's) onderzocht. De gemeten concentraties van deze stoffen zijn vervolgens getoetst aan de consumptienormen voor vis die opgenomen zijn in de Warenwetregeling. Voor de stoffen waar geen consumptienormen in de Warenwetregeling beschikbaar waren is getoetst aan normen (humane MTR-waarden) die vermeld zijn in de Circulaire streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering.

1.4 Leeswijzer

Voordat op het onderzoek wordt ingegaan wordt in hoofdstuk 2 een overzicht gegeven van verontreinigingsbronnen en routes waar langs verontreinigende stoffen in het oppervlaktewater terechtkomen, een beschrijving van de gemeten stoffen en het gedrag van deze stoffen in een aquatisch ecosysteem alsmede een beschrijving van de onderzochte vissoorten. De wijze waarop het onderzoek is uitgevoerd staat in hoofdstuk 3, waarna in hoofdstuk 4 de resultaten zijn beschreven. Tot slot zijn in hoofdstuk 5 de conclusies nog een keer op een rij gezet.

2 Onderzochte vissoorten en verontreinigende stoffen

Alvorens op de resultaten van het onderzoek wordt ingegaan, wordt in dit hoofdstuk een overzicht gegeven van verontreinigingsbronnen en de routes waarlangs de verontreiniging in het oppervlaktewater terechtkomt. Tevens wordt ingegaan op de aard van de stoffen die in de onderzochte vissoorten zijn gemeten en, voor zover bekend, hoe deze stoffen zich gedragen in het aquatische milieu. Tot slot wordt een korte beschrijving gegeven van de onderzochte vissoorten.

1.5 Verontreinigingsbronnen en aanvoerroutes

De verontreinigende stoffen die in het oppervlaktewater aanwezig zijn of hierin terechtkomen, zijn afkomstig van verschillende bronnen. Bij verontreinigingsbronnen wordt vaak een tweedeling gemaakt in puntbronnen en diffuse bronnen. Voor deze twee categorieën kan vervolgens weer een onderverdeling worden gemaakt.

Voorbeelden van puntbronnen zijn:

- industriële lozingen;
- riooloverstorten;
- effluënten van RWZI's.

Voorbeelden van diffuse bronnen zijn:

- uitloging antifouling op schepen;
- depositie vanuit atmosfeer;
- uitloging van oeverbeschermingsmaterialen;
- nalevering vanuit de waterbodem.

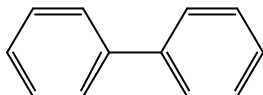
De routes waarlangs verontreinigende stoffen in het water terechtkomen kan zeer verschillend zijn. Bij depositie vanuit de lucht kan sprake zijn van natte of droge depositie. In het eerste geval komt de verontreiniging via neerslag in het water. In het tweede geval komen deeltjes of gasmoleculen die in de lucht zweven in contact met het water en door diffusie en menging komen ze vervolgens in het oppervlaktewater. Een andere route is bijvoorbeeld waarbij stoffen door uitloging van antifouling op schepen en oeverbeschermingsmaterialen in het water oplossen. Deze stoffen kunnen zich vervolgens binden aan zwevende deeltjes die op de bodem bezinken, maar ook opname in organismen is mogelijk. In het algemeen zijn verontreinigingen, zoals zware metalen en PAK, voor een groot deel gebonden aan zwevend stof. Deze deeltjes kunnen op de bodem worden afgezet, waardoor de waterbodem steeds meer vervuild raakt. Het is ook mogelijk dat door opwerveling van bodemslib de verontreiniging opnieuw in de waterfase belandt. Verontreinigende stoffen kunnen ook uit het oppervlaktewater worden afgevoerd naar bijvoorbeeld het grondwater.

1.6 Beschrijving van gemeten stoffen

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de stoffen die in de onderzochte vissoorten zijn gemeten.

2.1.1 Polychloorbifenylen (PCB's)

De algemene structuurformule van polychloorbifenylen, kortweg PCB's genoemd, is weergegeven in figuur 2.1.



Figuur 2.1 Algemene structuurformule van PCB.

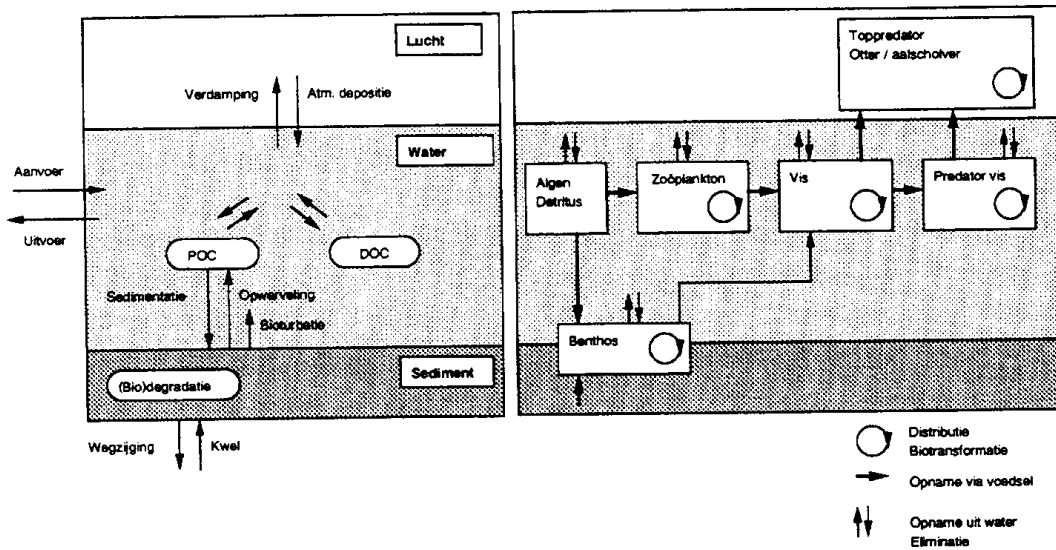
Het aantal chlooratomen en de plaats waar ze gebonden zijn aan de C-atomen is bepalend voor het type PCB. Deze verschillende PCB's worden congenere genoemd en tot nu toe zijn er 209 te onderscheiden. PCB's hebben een lage verdampingssnelheid en een slechte oplosbaarheid in water. Bovendien zijn ze vlamwerend en hebben isolerende eigenschappen. PCB's zijn persistent, dit betekent dat ze moeilijk afbreekbaar zijn.

De productie van PCB's vindt plaats door bij temperaturen tot 150°C chloorgas te leiden door bifenyl, met ijzer of ijzerchloride (FeCl_3) als katalysator. De chloreringsgraad hangt af van de reactietijd. Deze ligt tussen de 12 en 36 uur. Op deze manier ontstaat een mengsel van 50 tot 100 PCB-congeneren. PCB's zijn met name tussen 1950 en het midden van de 70er jaren op grote schaal gebruikt in tal van toepassingen. Tegen het eind van de jaren 60 werd duidelijk dat PCB's grote negatieve effecten hadden op aquatische (top)predatoren. In de meeste westerse landen is de productie en het gebruik sinds het begin van de jaren 80 gestaakt of verboden, maar doordat PCB's erg langzaam worden afgebroken worden ze nog steeds in het aquatisch milieu aangetroffen. Blootstelling aan PCB's is ongewenst omdat ze carcinogeen zijn, ze veroorzaken tumoren en verminderen de weerstand.

Gedrag in aquatisch milieu

Het gedrag van PCB's in het aquatisch milieu is complex van aard. In figuur 2.2 is een aantal relevante fysisch-chemische en biologische processen weergegeven. De lager gechlorideerde PCB-congeneren zijn relatief vluchtig en verdampen snel naar de atmosfeer. In de atmosfeer worden ze echter niet afgebroken, zodat ze na verloop van tijd weer kunnen neerslaan op het aardoppervlak en zodoende dus ook weer in het water terecht kunnen komen. Door het transport via de atmosfeer vindt verspreiding over het gehele aardoppervlak plaats.

De PCB's in de waterfase hechten zich vooral aan de organische fractie van zwevend materiaal (POC) en opgelost organisch materiaal, zoals humuszuren (DOC). De hoeveelheid in het water aanwezige algen en planten, maar ook sedimentatie en het opwerpen van bodemslib kunnen om die reden van grote invloed zijn op de PCB-concentratie in het water. Alhoewel een beperkte afbraak van sommige PCB's in zuurstofloos bodemslib is aangetoond in het Ketelmeer [Beurskens en Winkels, 1991] wordt in het algemeen aangenomen, dat de afbraak van PCB in de waterbodem zeer traag verloopt. Dit betekent dat, ondanks het verbod op het gebruik van PCB's, nog steeds aantoonbare hoeveelheden PCB's in het water, de waterbodem en organismen worden gemeten.



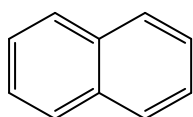
Figuur 2.2: Overzicht van fysisch-chemische en biologische processen van PCB's in aquatische systemen [Van Hattum, 1992].

Aquatische organismen kunnen PCB's opnemen langs verschillende wegen. Naast directe opname van vrij opgeloste PCB's uit de waterfase (via kieuwen of celwand) kan bij de carnivoren, dit zijn dieren die andere dieren gebruiken als voedselbron, ook opname via het voedsel optreden. Dieren die op en in de waterbodem leven, zoals paling, kunnen vooral PCB's uit de waterbodem opnemen. De verhouding tussen de PCB-concentratie in het water en die in aquatische organismen wordt de bioconcentratiefactor genoemd (BCF). Eenmaal uit het water opgenomen worden PCB's vooral opgeslagen in vet. Dit houdt in dat vissoorten met een hoog vetgehalte, zoals paling, in het algemeen hogere PCB-concentraties bevatten. Dit proces, het geconcentreerd opslaan in organisme, wordt accumulatie genoemd. Doordat sommige vissoorten andere vissen eten kan via de voedselketen ook accumulatie optreden. Het gevolg hiervan is dat soorten die hoog in de voedselketen staan, zoals snoek en snoekbaars maar ook otter en aalscholver, meestal ook hogere concentraties bevatten [Oliver en Niimi, 1988]. Dit proces wordt biomagnificatie genoemd.

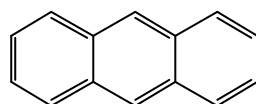
Uit langjarige verwateringsexperimenten van het RIVO, waarin paling uit vervuilde gebieden uitgezet werd op schone locaties, is gebleken dat de afbraak en het uitscheiden van met name de hogere PCB's in een organisme nagenoeg verwaarloosbaar was. De waargenomen verlaging van gehalten met de leeftijd werd toegeschreven aan groeiverdunning [Van der Valk, 1989]. Deze lage afbraak en uitscheiding maken dat bij de meeste vissoorten de gehalten toenemen met de leeftijd. Het bovenstaande betekent dat PCB's nog jarenlang hun negatieve invloed kunnen uitoefenen in het aquatische milieu.

2.1.2 Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK)

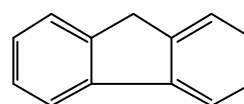
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen, kortweg PAK, zijn stoffen die bestaan uit twee of meer aromatische ringen. Het aantal verschillende PAK is enorm groot. De laagste en meest vluchtige PAK is naftaleen en bestaat uit twee ringen. PAK kunnen naast koolstof- en waterstofatomen ook zwavel-, zuurstof- of stikstofatomen bevatten. In figuur 2.3 staan de structuurformules van een drietal PAK.



Naftaleen



Anthraceen



Fluoreen

Figuur 2.3 Structuurformules van een aantal PAK.

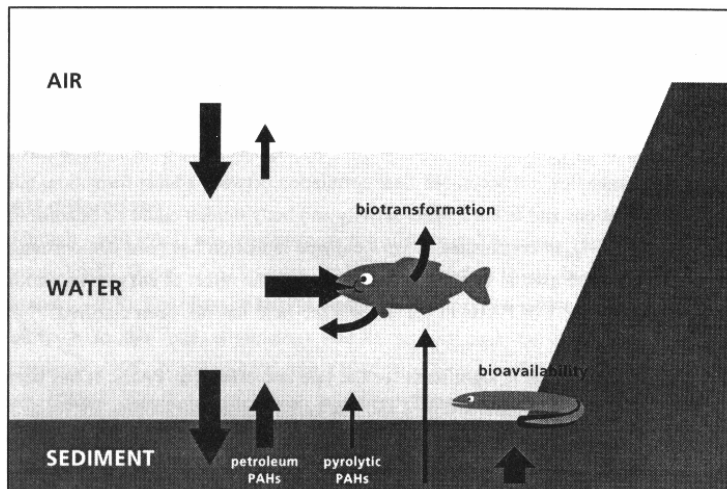
PAK komen algemeen in het milieu voor. Ze ontstaan voornamelijk bij de verbranding van organisch materiaal, bijv. in vuilverbrandingsinstallatie. Maar PAK bevinden zich ook in uitlaatgassen van motoren. PAK zijn toxische (vaak zelfs kankerverwekkende) verbindingen met een persistentie die varieert van enkele dagen tot jaren. Uit praktisch en financieel oogpunt is het onmogelijk alle PAK in het milieu te meten. Daarom wordt vaak een groep PAK gebruikt die als representatief voor alle PAK kan worden beschouwd. Het ministerie van VROM hanteert een pakket van 10 PAK, namelijk naftaleen, fenantreen, anthraceen, fluorantheen, benzo(a)anthraceen, chryseen, benzo(k)fluorantheen, benzo(a)pyreen, benzo(g,h,i,)peryleen en indeno(1,2,3-c,d)pyreen.

Bij de mens kunnen PAK bij te hoge concentraties onder meer tot de volgende effecten leiden:

- kanker;
- algemene erfelijke afwijkingen;
- ernstige vorm van aderverkalking.

Gedrag in het aquatisch systeem

In figuur 2.4 staat een schematisch overzicht van aan- en afvoer routes in het aquatisch milieu.



Figuur 2.4 Aan- en afvoer routes van PAK (=PAH, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) in het aquatisch milieu [Bron: Maagd, 1996].

Door de slechte oplosbaarheid van PAK in water is het grootste deel gebonden aan organische stof dat zich in de waterfase bevindt of in de waterbodem. Doordat de meeste PAK niet erg vluchtig zijn vindt vanuit het water weinig verdamping plaats, terwijl de aanvoer via depositie groot is. Bij PAK wordt vaak onderscheid gemaakt tussen zogenaamd pyrolytic en petroleum PAK. PAK gevormd door pyrolyse (pyrolytic PAK) zijn over het algemeen meer gebonden aan organische deeltjes dan PAK ontstaan uit fossiele brandstoffen (petroleum PAK). Bij het bepalen van het milieurisico moet daarom rekening worden gehouden met de oorsprong van de PAK, omdat de zogenaamde biologische beschikbaarheid van petroleum PAK groter is en daardoor toxischer. Creosoot is een industrieel 'pyrogeen' product dat zich meer gedraagt als een petroleum PAK dan als een pyrolytic PAK [Socha en Carpenter, 1987; Elder en Dresler, 1988]. Ondanks dat de opname van PAK gebonden aan sedimentdeeltjes veel minder efficiënt verloopt dan de opname uit water, is de opname uit sediment vaak toch belangrijker. Dit komt omdat de concentraties in het sediment meestal veel hoger zijn.

Vooral de organismen die in en vlak boven de waterbodem leven en/of bodemvoedsel verzamelen worden in hoge mate belast [Landrum et al., 1994; Meador et al., 1995].

Evenals voor PCB's geldt voor de meeste PAK dat ze een lipofiel karakter hebben. Dit houdt in dat ze goed in vet oplossen en daardoor in vet accumuleren. Ook kan accumulatie in de voedselketen optreden. Bovendien worden de PAK in de waterbodem slecht afgebroken door een gebrek aan zuurstof en licht. Veel waterbodems zijn de laatste eeuwen ernstig vervuild geraakt met PAK en door de slechte afbreekbaarheid kunnen ze, net als PCB's, de komende jaren nog een negatief effect hebben op het aquatische leven.

2.1.3 Organochloorbestrijdingsmiddelen (OCB's)

Organochloorbestrijdingsmiddelen, kortweg OCB's, behoren tot de gechloreerde koolwaterstoffen of organochloorverbindingen. De stoffen die kort besproken worden zijn:

- HCH-verbindingen: α -HCH, β -HCH, γ -HCH (lindaan);
- Drins: aldrin, dieldrin, endrin, isodrin, telodrin;
- DDD, DDE en DDT;
- Endosulfan.

α -HCH, β -HCH, γ -HCH (lindaan)

Lindaan is het γ -isomeer van de stof hexachloorcyclohexaan (HCH). Van de acht mogelijke isomeren worden er bij de productie slechts vier in een redelijke hoeveelheid gevormd. Alleen het γ -isomeer heeft een significante insecticide werking. Lindaan is een product dat voor 99% het γ -isomeer bevat. α -HCH en β -HCH zijn de chemisch verwante stoffen zonder insecticide werking.

Lindaan is een insecticide met een lange werkingsduur. Het wordt zeer verspreid toegepast: in de akkerbouw, de bloembollenteelt en de boomteelt. De belangrijkste toepassing van lindaan is, voor zover bekend, de bestrijding van ritnaalden binnen de maïsteelt en de bestrijding van ritnaalden en biete(aas)kever in de suikerbietenteelt.

Lindaan is slecht oplosbaar in water en matig vluchtig. Bij grondbesputting kan de concentratie in slootwater 6 $\mu\text{g/l}$ worden. Lindaan is in grond slecht afbreekbaar, met een halfwaardetijd van 4 jaar. Lindaan wordt in water slechts langzaam omgezet (tijdschaal enkele maanden) in het α -, β - en δ -isomeer. Deze omzettingen worden in het water ook vaak gemeten.

Drins

De 'drins' is een groep van chemisch verwante stoffen. Deze groep bestaat ondermeer uit aldrin, dieldrin, endrin, isodrin en telodrin. De 'drins' zijn in Nederland niet meer toegestaan als bestrijdingsmiddel. Zij zijn in het algemeen ook slecht afbreekbaar en worden, ondanks het verbod op gebruik, nog veelvuldig in het milieu in meetbare concentraties aangetroffen.

DDD, DDE en DDT

DDT is het meest toegepaste bestrijdingsmiddel uit deze eeuw. Het leek in alle opzichten een ideaal insectenbestrijdend middel. Het was zeer effectief, goedkoop te fabriceren en had een lange werkingsduur. Na verloop van tijd bleek het evenwel niet zo ideaal. Insecten bleken resistentie voor DDT te ontwikkelen, en daarnaast bleek dat schadelijke effecten in het milieu optraden. DDE en DDD zijn metabolieten, dit zijn afbraakproducten, van DDT. DDT is erg persistent in het milieu. Door het lipofiele karakter is het goed oplosbaar in vet en accumuleert het in dieren. Bewel DDT sinds 1973 verboden is, wordt de stof, en ook de metabolieten, nog steeds in het aquatisch milieu aangetroffen. In 1992 werd bij 44 % van het totaal aantal metingen DDT aangetroffen. Ook DDE wordt nog veelvuldig in oppervlaktewater aangetoond.

Endosulfan

Van endosulfan zijn twee isomeren mogelijk, namelijk α - en β -endosulfan. Endosulfan is zeer persistent en wordt zowel als acaricide (mijtendodende stof) als een meer algemeen insecticide toegepast. Sinds 1 januari 1990 is het gebruik van endosulfan in Nederland verboden, maar is voor die tijd veelvuldig toegepast, onder andere bij de bestrijding van ziekten en plagen in de aardappelteelt.

2.1.4 Metalen

De onderzochte metalen zijn arseen, chroom, koper, nikkel, zink, cadmium, lood en kwik. Hieronder is kort aangegeven waar deze metalen voorkomen en/of gebruikt worden. Al deze metalen hebben gemeen dat ze zich voor een belangrijk deel aan zwevende deeltjes hechten en uiteindelijk vooral in de waterbodem terecht komen. Veel waterbodems in Nederland zijn vervuild met één of meerdere van deze metalen. Deze metalen kunnen worden opgenomen door organismen die in de waterbodem hun voedsel vinden. Op deze manier kunnen metalen ook hogerop in de voedselketen terechtkomen.

Arseen

Arseen staat vooral bekend om zijn complexe gedrag in het aquatische milieu. De giftigheid wordt namelijk vooral bepaald door de vorm waarin het arseen voorkomt. Arseen zelf, arseenzwavelverbindingen en het in vis- en schaaldieren voorkomende arseno-betaine zijn niet of nauwelijks giftig. Het zijn met name de anorganische verbindingen die toxisch zijn. Organisch gebonden arseen speelt mogelijk een rol in het metabolisme van mens en dier. In veel landen is de verontreiniging met arseen teruggedrongen. Hoewel het gebruik van arseenbevattende landbouwbestrijdingsmiddelen verminderd, of zelfs verboden is, bevat de bodem nog steeds veel arseen. Bij verbranding van kolen, hout en olie komt ook arseen vrij. Ook vanuit afvalhopen waarop in het verleden bestrijdingsmiddelen zijn gedumpt, lekken arseen verbindingen. Schoonmaken, teneinde een betere plantengroei te bewerkstelligen, wordt een probleem.

Cadmium

Cadmium wordt beschouwd als een voor de mens niet essentieel element. Door bedrijfskundig onderzoek in cadmiumverwerkende bedrijven en door de Itai-itai epidemie in Japan (chronische cadmiumvergiftiging door bevoeien van rijstvelden met verontreinigd rivierwater) zijn een aantal effecten van cadmium op de gezondheid van de mens bekend geworden, zoals nier- en longbeschadigingen.

Chroom

In het menselijk lichaam vervult chroom een ondergeschikte maar onmisbare functie. Er bestaan geen gegevens over eventuele schadelijkheid van 3-waardig chroom. 6-waardige chroomverbindingen zijn daarentegen wel toxisch. Uit onderzoek is gebleken dat werknemers uit de chromaatindustrie een verhoogd risico op longkanker hebben. Chroomlozingen in het milieu (door bijvoorbeeld leerlooierijen) veroorzaken geen speciale problemen hoewel de directe omgeving wel hinder van lozing van chromaten ondervindt. Microbiologische reiniging wordt echter wel gehinderd door opgelost chroom en chroom(III)-verbindingen.

Koper

Koper is aan de ene kant onmisbaar voor de mens en aan de andere kant zeer schadelijk als men met grote hoeveelheden in aanraking komt. Het element koper is al bijna tienduizend jaar bekend. Koper maakt communicatie mogelijk, dient de kunst, is een belangrijk materiaal voor precisie-instrumenten, speelt een rol als betaalmiddel, wordt gebruikt in anticonceptivum en er worden waterleidingen van gemaakt. Kopersulfaat wordt tevens gebruikt als groeibevorderend middel voor varkens, waardoor koperhoudende mest door de varkens wordt geproduceerd. Deze mest wordt over de landbouwgronden verspreid en door afspoeling. Maar ook via het grondwater, kan dit koper vervolgens in het oppervlaktewater terechtkomen. Een belangrijke verontreinigingsbron van koper is tevens de uitloging van koperen waterleidingen.

Kwik

Bij inname van verbindingen van het zeer giftige metaal, kan het Minamata Syndroom optreden. Het tast het centrale zenuwstelsel aan en kan blindheid veroorzaken. Zeer giftig zijn de metaaldampen. Het metaal blijft lang in het lichaam aanwezig. Kwik is reeds uit de oudheid bekend, men zou er volgens alchemisten goud uit kunnen maken! In de Middeleeuwen werd kwik als geneesmiddel en desinfectiemiddel gebruikt. Kwik is bestanddeel van batterijen, accu's thermometers, lampen en vulmiddel in de tandheelkunde. Het wordt ook gebruikt voor goud- en zilverwinning, als desinfectiemiddel en als explosie-initiator. Door menselijk toedoen komt er jaarlijks ca. 5.000 ton kwik in het milieu terecht, evenzoveel kwik komt door natuurlijke oorzaken (verwerking van gesteenten, vulkanische erupties) in het milieu.

Lood

Voor zover bekend heeft lood geen nuttige maar enkel schadelijke effecten bij mens en dier. Het bindt zich in het lichaam aan botten en hoopt zich op. Lood kan met name bij jonge kinderen

bloedarmoede, nierfunctie uitval en hersen- en zenuw beschadigingen veroorzaken. Lood is al heel lang in de samenleving bekend en wordt op velerlei manieren toegepast. Belangrijkste toepassing is in de fabricage van accu's en verder vindt toepassing van lood plaats in pigmenten, legering met tin voor solderen, dakbedekking, bescherming tegen radioactieve straling en als antiklop middel in benzine. Hoewel deze laatste slechts 7% van het totale gebruik uitmaakt en door het toepassen van loodvervangers heden ten dage niet meer tot verontreiniging leidt, heeft het wel tot de grootste belasting van het milieu geleid. Reden genoeg om verspreiding in het milieu moet worden tegengegaan. Lood komt ook voor in drinkwater omdat voorheen de waterleidingen uit lood bestonden.

Nikkel

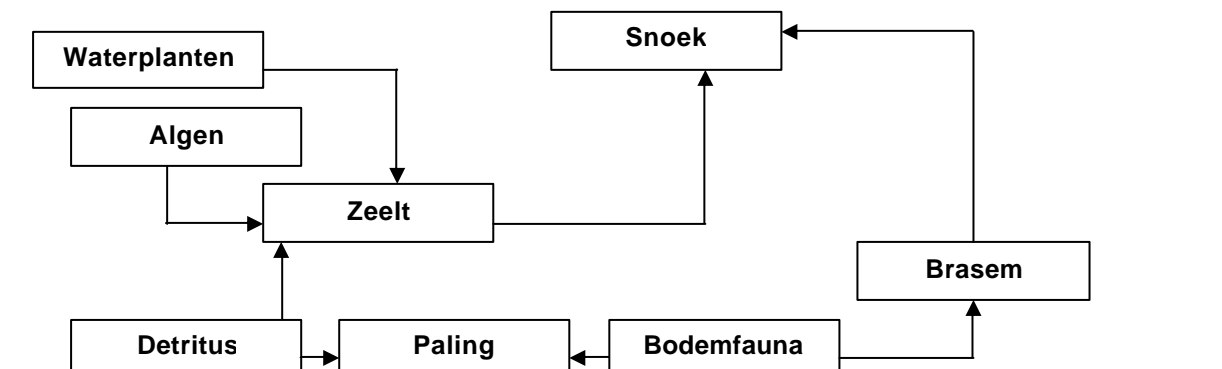
Biologisch is nikkel aanwezig in het enzym urease, activeert enkele andere enzymen en komt voor in erfelijk materiaal (DNA). Nikkel is voor de mens een essentieel element, de benodigde hoeveelheden zijn echter gering. Het menselijk lichaam bevat ongeveer 10 mg nikkel. Verontreiniging van voedingsmiddelen met nikkel levert geen grote gevaren op. Wel veroorzaakt nikkel eczeem. Men schat dat 5 tot 13 % van alle eczemen door nikkel wordt veroorzaakt. In geïndustrialiseerde landen is nikkel zelfs de voornaamste oorzaak van allergische contactdermatitis (ACD). De allergische reactie wordt daarbij verhevigd door opname van nikkel via het maag-darmkanaal. Nikkel heeft door de eeuwen heen een rol gespeeld bij de vervaardiging van wapens. Tot het einde van de Eerste Wereldoorlog werd nikkel vrijwel uitsluitend voor militaire doeleinden gebruikt. Van groot belang is de toepassing in roestvrij staal, meestal samen met chroom. Daarnaast wordt nikkel gebruikt in batterijen en accu's, als katalysator van hydrogeneringsprocessen (bv. de harding van oliën en vetten) en in munten.

Zink

Ook zink vervult tal van essentiële functies in het lichaam, zodat het in ons voedsel aanwezig moet zijn. Thans zijn meer dan tweehonderd zinkbevattende enzymen bekend. Een volwassen mens draagt 1,5 tot 3 gram zink met zich mee. De toxiciteit van zink en zinkverbindingen is verhoudingsgewijs gering. Langdurige opname is echter schadelijk vanwege verstoring van het functioneren van andere metalen, met name koper. In het lichaam bestaat een duidelijke competitie tussen zink en koper om bepaalde bindingsplaatsen. Een ander effect van langdurige opname van zink is de verstoring van bepaalde immuunfuncties. Zink is een betrekkelijk "jong" metaal. Het is waarschijnlijk pas in de dertiende eeuw voor het eerst als zodanig verkregen. Na ijzer, aluminium en koper is zink het meest gebruikte metaal. Het kent tal van toepassingen, waarvan het verzinken of galvaniseren de belangrijkste is. Daarnaast wordt het toegepast bij de bereiding van messing en zinkplaten.

1.7 Beschrijving onderzochte vissoorten

Gelet op het gedrag van verschillende verontreinigende stoffen in het aquatisch milieu, zoals beschreven in de vorige paragraaf, is het van belang enig inzicht te hebben in de onderzochte vissoorten. Met name de aard van het voedsel en de plaats in de voedselketen zijn belangrijk om eventuele verschillen in gemeten concentraties tussen soorten te kunnen verklaren. De paling foerageert bij voorbeeld met name in de waterbodem, terwijl de snoek vooral vis eet en hoog in de voedselketen staat. Zeelt foerageert zowel in het water als de waterbodem en de brasem zoekt zijn voedsel vooral in de waterbodem. In deze paragraaf wordt van al deze 4 onderzochte soorten kort uiteengezet wat hun voedsel is en welke eisen ze aan hun habitat stellen. Hierbij is vooral informatie gebruikt uit de Atlas van de Nederlandse Zoetwatervissen [Nie, 1997]. In figuur 2.5 is de plaats aangegeven van de betreffende vissoorten ten opzichte van elkaar in het aquatische voedselweb.



Figuur 2.5 Overzicht van betrokken vissoorten in het voedselweb.

Snoek

Een vrouwelijke snoek kan 140 cm worden, mannetjes blijven kleiner, tot circa 85 cm. Jonge snoek tot een lengte van 3 cm eet kleine kreeftachtigen zoals mosselkreeftjes, watervlooien en roeipootkreeftjes. Tussen de 1 en 6 cm wordt het dieet aangevuld met larven van insecten. Bij een lengte van 2,5 cm begint de snoek aan zijn roofviscarrière. Boven de 10 cm eet de snoek vooral vis en andere gewervelde dieren als kikkers. De snoek is weinig kieskeurig. Echter vissen met stekels en stekelige vinnen, zoals stekelbaars en baars, zijn minder favoriet.

De snoek is een soort die voorkomt in stilstaand of langzaam stromend water zoals rivieren en brede beken. Een stroomsnelheid van meer dan 25 cm/sec wordt slechts een paar uur lang verdragen. De voorkeur gaat uit naar water met een gevarieerde begroeiing van oeverplanten en onderwaterplanten. Alleen snoek die zelf te groot is om opgegeten te worden door andere snoek, kan zich ophouden in open water zonder planten of eventueel in troebel water. Doordat de snoek een (top)predator is en dus hoog in de voedselketen staat, kunnen vooral bij de oudere snoeken de concentraties verontreinigende stoffen sterk zijn toegenomen door accumulatie.

Paling

Een paling is niet snel, maar heeft wel een zeer goed reukvermogen. Het voorkeursvoedsel bestaat uit ongewervelden die groter zijn dan 7 mm en op de bodem leven zoals muggenlarven vlokreeften, aasgarnalen, waterpissebedden, haften en kokerjuffers. Paling van 20 tot 35 cm kan zomers visbroed eten. Paling groter dan 35 cm kan zich ontwikkelen tot vispredator. Zoetwatermosselen en verse dode vis behoren ook tot het voedsel van de paling. Aangezien de paling vooral voedsel uit de waterbodem betreft mag op voorhand worden verwacht dat de kwaliteit van de paling nauw samenhangt met die van de waterbodem. Doordat paling een hoog vetgehalte heeft kan door accumulatie het gehalte van veel stoffen met een lipofiel karakter in paling aanzienlijk stijgen naarmate de paling ouder wordt.

Een natuurlijke populatie paling heeft vrije toegang tot zee nodig. Als glasaal moet de vis het zoete water kunnen bereiken en als schieraal moet de vis terug kunnen zwemmen naar zee om te gaan paaien. Dijken, stuwen en sluizen vormen barrières tijdens zijn trektocht van zout naar zoet en omgekeerd. Als zoetwatervis heeft de paling een zeer groot aanpassingsvermogen en wordt dan ook aangetroffen in ieder watertype dat hij kan bereiken. De beschikbaarheid van voedselorganismen van voldoende grootte en schuilgelegenheid in de vorm van modder, veen of onregelmatigheden als rotsen, grof grind, waterplanten en boomwortels zijn de belangrijkste voorwaarden.

Brasem

Brasem kan meer dan 90 cm lang worden. De brasem heeft weliswaar geen tastdraden zoals karper, maar is toch een bodem-foerageerder. De vis beschikt over een geraffineerd zeefsysteem, waarmee ook effectief watervlooien bemachtigd worden. Jonge brasems eten de grotere algenetende watervlooien, waardoor de algen ongehinderd toenemen in rijk bemest water, wat troebelheid veroorzaakt. Grotere brasems zoeken al wroetend voedsel in de bodem, waardoor eveneens troebeling ontstaat. Bovendien wordt zo het wortelen van waterplanten onmogelijk gemaakt.

De brasem is oorspronkelijk een vis van stilstaande wateren zoals meren en plassen. Hij heeft afwisseling nodig tussen ruim open water en paai- en opgroeigelegenheid voor zijn nakomelingen in de oeverzone. Kwalitatief goede brasems komen voorin helder, plantenrijk water. Doordat brasem een lager vetgehalte heeft dan bij voorbeeld paling zullen ook de concentraties verontreinigende stoffen in het algemeen iets lager zijn, ervan uitgaand dat ze in hetzelfde gebied foerageren.

Zeelt

De zeelt is een forse verschijning, met bolronde vinnen, kleine schubben en een bijzonder slijmige huid. De vis kan maximaal 70 centimeter lang worden. De zeelt zoekt vooral 's nachts naar voedsel. Zicht speelt een onbelangrijke rol (klein oog), de tastharen wijzen op aanpassing aan foerageren in de bodem. Het voedsel bestaat uit slakjes, kreeftachtigen, watervlooien die net boven de waterbodem leven en muggenlarven. Daarnaast eet de zeelt ook plantendelen, algen en detritus.

De zeelt is een vis van stilstaand of traag stromend water met een bodem van modder. Waterplanten, in soortenrijke gemeenschappen, zijn van groot belang. De zeelt komt voor in klein water en aan de zonnige, plantenrijke oevers van groot water en kan tegen lage zuurstofconcentraties en een hoge pH. Daarmee is de vis redelijk bestand tegen organische vervuiling.

3 Materiaal en methoden

3.1 Beschrijving locaties

De twee locaties die zijn bemonsterd voor het visonderzoek nabij de ATF Drachten zijn de Smalle Eesterzanding en de zandwinput van Jansma. De Smalle Eesterzanding is een plas ten westen van Drachten op ongeveer 2 kilometer afstand van de ATF. De Smalle Eesterzanding is op de meeste plaatsen om en nabij de 300 meter breed. De plas heeft natuurlijke oevers. De zandwinput van Jansma ligt even ten westen van Drachten op een afstand van 400 meter van de ATF. De breedte van de zandwinput van Jansma is 450 meter. De zandwinput van Jansma is ontstaan door zandwinning. Momenteel wordt de zandwinput van Jansma weer opgevuld met baggerspecie. Aan de oostkant van de zandwinput van Jansma ligt een kade die door veel sportvissers wordt benut om te vissen. De andere oevers zijn natuurlijk. De onderzoekslocaties zijn weergegeven in bijlage 1.

3.2 Het vangen en voorbereiden van vis

De vissen zijn op 3 april 2001 gevangen door een lokale beroepsvisser met behulp van elektro visapparatuur. In tabel 3.1 is een overzicht weergegeven van de gevangen vissen met hun bijbehorende lengte. Er is voornamelijk kleine vis gevangen. De vissen zijn levend aangeleverd bij het laboratorium van Wetterskip Fryslân. In het laboratorium zijn ze vervolgens schoongemaakt. Van de beschikbare individuen per soort is van ieder individu een representatief deel gefileerd en fijngemalen. De fijngemalen fracties zijn samengevoegd en gemengd tot een homogeen mengmonster. In dit mengmonster zijn de analyses uitgevoerd.

Tabel 3.1: Voor de analyses gebruikte aantal vissen met bijbehorende lengte.

Plaats van vangst	Soort vis	Aantal en lengte
Smalle Eesterzanding	Snoek	1 x 40 cm; 1 x 38 cm; 1 x 33 cm; 1 x 30 cm
Smalle Eesterzanding	Brasem	1 x 29 cm; 1 x 22 cm; 1 x 20 cm
Smalle Eesterzanding	Zeelt	2 x 20 cm; 1 x 15 cm; 1 x 11 cm
Smalle Eesterzanding	Paling	6 x 40 cm; 2 x 40 cm; 1 x 35 cm; 1 x 25 cm
Zandwinput van Jansma	Snoek	2 x 27 cm; 1 x 30 cm; 1 x 28,5 cm
Zandwinput van Jansma	Brasem/Kolblei	1 x 20 cm; 1 x 19 cm
Zandwinput van Jansma	Paling	2 x 35 cm; 2 x 26 cm; 1 x 38 cm; 1 x 33 cm; 1 x 32 cm; 1 x 30 cm; 1 x 25 cm

3.3 De analyses

De vissen zijn onderzocht op OCB's, PAK, PCB's en metalen. Daarnaast is het vetgehalte bepaald. Hieronder is voor de gemeten stoffen aangegeven welke meetmethode is toegepast. De isolatie van de te meten stoffen is hiervan afgeleid.

OCB's (NEN 5734): α -hexachloorcyclohexaan (α -HCH); β -HCH; γ -HCH (lindaan); pentachloorbenzeen; hexachloorbenzeen (HCB); aldrin; dieldrin; endrin; isodrin; telodrin; α -endosulfan; o,p-DDE; p,p-DDE; o,p-DDD; p,p-DDD; o,p-DDT (DDT: dichloordifenyiltrichloorethaan); p,p-DDT; heptachloor; heptachloorepoxide en cis-chloordaan.

PAK (NEN 5771): naftaleen; acenaftaleen; fluoreen; phenantreen; anthraceen; pyreen; benzo(a)anthraceen; chryseen; benzo(b)fluorantheen; benzo(k)fluorantheen; benzo(a)pyreen; dibenzo(a,h)anthraceen; benzo(g,h,i)peryleen en indeno(1,2,3-c,d)pyreen.

PCB's (NEN 5734): PCB 28; PCB 52; PCB 101; PCB 118; PCB 138; PCB 153 en PCB 180.

METALEN: arseen en cadmium (SPV A082); chroom (NEN 5767); koper (NEN 5758); kwik (NEN 5779); lood (NEN 5761); nikkel (NEN 5765); zink (NEN 5759).

3.4 Risicobeoordeling

Een verontreinigd oppervlaktewater kan gezondheidsrisico's voor de mens opleveren. De grootte van de gezondheidsrisico's wordt onder andere bepaald door de aard en concentratie van de verontreinigingen in het water en de waterbodem, de gevoeligheid van de blootgestelde bevolkingsgroep en de blootstellingsroutes. In algemene zin kunnen de volgende humane blootstellingsroutes onderscheiden worden:

- inslikken (ingestie) van verontreinigd sediment;
- huidcontact (dermaal contact) met het oppervlaktewater;
- ingestie van verontreinigd oppervlaktewater met de daarin aanwezige zwevende stof;
- dermaal contact waterbodem;
- consumptie van vis.

De eerste vier blootstellingsroutes zijn alleen van belang indien er in het betreffende water gezwommen wordt. In dit onderzoek zijn de gezondheidsrisico's als gevolg van consumptie van vis in beschouwing genomen. Hierbij is gebruik gemaakt van normen die afkomstig zijn uit 2 verschillende bronnen. Er is getoetst aan normen voor consumptie zoals opgenomen in de Warenwetregeling en voor de stoffen waarvoor in het kader van deze wet geen normen beschikbaar zijn, is getoetst aan de normen die gegeven zijn in de Circulaire streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering, kenmerk DBO-1999226863 [VROM, 2000].

3.4.1 De consumptienormen van de Warenwetregeling

In de 'Warenwetregeling Normen PCB's (1993)' zijn voor 7 PCB-componenten normen beschikbaar. In tabel 3.2 staan deze normen vermeld waarbij onderscheid is gemaakt tussen paling en overige vissoorten.

Tabel 3.2: Consumptienormen voor PCB's in vis volgens Warenwetregeling.

Vissoort	Maximale gehalten aan PCB-componenten in mg/kg product						
	28	52	101	118	138	153	180
Paling	0,50	0,20	0,40	0,40	0,50	0,50	0,60
Overige vissoorten	0,10	0,04	0,08	0,08	0,10	0,10	0,12

Indien de gehalten in de vissen lager zijn dan deze normen kan de vis volgens de Warenwet veilig worden geconsumeerd.

In de 'Warenwetregeling Normen zware metalen (1995)' zijn normen voor de metalen cadmium, lood en kwik opgenomen. In tabel 3.3 staan deze normen vermeld waarbij onderscheid is gemaakt tussen enerzijds paling en snoek en anderzijds overige vissoorten.

Tabel 3.3: Consumptienormen voor de zware metalen cadmium, lood en kwik in vissen, schelp- en weekdieren volgens Warenwetregeling.

Vissoort	Maximale gehalten aan zware metalen in mg/kg product		
	Cadmium	Lood	Kwik
Paling en Snoek	0,05	0,5	1,0
Overige vissoorten	0,05	0,5	0,5

3.4.2 Normen Circulaire streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering

Voor PAK, OCB's en de metalen arseen, chroom, koper, nikkel en zink zijn geen normen vastgelegd in de Warenwetregeling. Om de gezondheidsrisico's van deze stoffen te bepalen is gebruik gemaakt van normen (humane MTR-waarden) die in de Circulaire streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering, kenmerk DBO-1999226863, zijn gegeven [VROM, 2000]. In de 'Handleiding urgentie van bodemsanering' [VROM, 1995] is een formule gegeven waarmee de opname aan verontreiniging kan worden berekend bij een dagelijkse visconsumptie.

De formule is als volgt:

$$VO = Q_{vis} * FV_{vis} * f_a * C_{vis}/W$$

waarbij:

VO = opname van verontreiniging via vis in mg/kg/dag

Q_{vis} = visconsumptie in kg product per dag

FV_{vis} = fractie verontreinigde vis

f_a = relatieve adsorptiefactor

C_{vis} = gehalte in de vis in mg/kg product

W = lichaamsgewicht in kg

Voor de parameters Q_{vis} , f_a en W zijn bij de toetsing de volgende waarden uit de 'Handleiding urgentie van bodemsanering' [VROM, 1995] aangehouden:

$$Q_{vis, volw.} = 0,055 \text{ kg/dag}$$

$$f_a = 1$$

$$W_{volw.} = 70 \text{ kg}$$

Voor FV_{vis} wordt de waarde 1 aangehouden, omdat ervan uitgegaan wordt dat de vis in zijn geheel verontreinigd is en dat altijd vis met verontreiniging wordt gegeten. Dit is de slechtst denkbare situatie, maar het is tevens het uitgangspunt die bij het opstellen van consumptienormen uit de Warenwetregeling wordt gehanteerd. Voor C_{vis} zijn de in de onderzochte vissen aangetroffen concentraties aangehouden.

De uitkomsten van VO worden vergeleken met de normen die in de circulaire zijn gegeven. Deze normen zijn gekarakteriseerd als het maximaal toelaatbare risico (MTR) voor mensen. Het MTR is de waarde die aangeeft bij welk blootstellingsniveau of bij welke concentratie in een bepaald compartiment (bijvoorbeeld oppervlaktewater of sediment of in dit geval de mens) het risico als maximaal toelaatbaar wordt geacht. Anders gezegd, het risico is niet verwaarloosbaar klein, maar wordt tot op zeker niveau als aanvaardbaar beschouwd.

4 Resultaten en discussie

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd. Allereerst wordt een overzicht gegeven van de gemeten concentraties in de onderzochte vissoorten afkomstig uit de Smalle Eesterzanding en de zandwininput van Jansma. Daarna wordt iets gezegd over de mogelijke risico's voor mensen als ze vis uit dit gebied consumeren.

4.1 Gemeten concentraties

De gemeten concentraties verontreinigende stoffen in de onderzochte vissoorten zijn vermeld in tabel 4.1 en 4.2. In tabel 4.1 zijn de gemeten gehalten in zeelt, paling, snoek en brasem afkomstig uit de Smalle Eesterzanding weergegeven en in tabel 4.2 de gehalten in paling, snoek en brasem afkomstig uit de zandwininput van Jansma. De concentraties zijn uitgedrukt in mg of μg per kg product (visvlees) en niet per eenheid vet. Wel is in de tabel het percentage vet vermeld, zodat een omrekening naar gehalte per eenheid vet mogelijk is. In veel gevallen zijn de concentraties dusdanig laag dat het onderscheidend vermogen van de toegepaste analysemethode niet toereikend is om iets te kunnen aantonen. In deze gevallen is vermeld dat het gehalte kleiner is dan de zogenaamde rapportagegrens van de analysemethode. Het arseengehalte in zeelt is bijvoorbeeld kleiner dan de rapportagegrens van 0,05 ($< 0,05$).

Vergelijking tussen soorten

Als wordt aangenomen dat de onderzochte vissen locatie gebonden zijn, dan zou de kwaliteit van vissen afkomstig van een zelfde locatie min of meer vergelijkbaar moeten zijn. Niettemin kunnen er verschillen tussen soorten optreden doordat sommige verontreinigende stoffen in vet en/of de voedselketen accumuleren. Zo heeft paling een hoog vetpercentage en staat de snoek bekend als toppredator van de voedselketen. In deze soorten worden daarom hogere concentraties verwacht dan in bijvoorbeeld brasem en zeelt.

Voor de soorten die in de Smalle Eesterzanding zijn onderzocht blijken in het algemeen de verschillen klein te zijn. Alhoewel voor sommige PCB's en OCB's de concentraties in snoek en paling iets hoger zijn dan in brasem en zeelt is het beeld niet consistent. Opvallend is wel het hoge zinkgehalte van paling vergeleken met de andere soorten.

De gemeten concentraties in paling afkomstig uit de zandwininput van Jansma blijken consistent iets hoger te zijn dan die in snoek en brasem, terwijl die in snoek en brasem min of meer gelijk zijn. Ook voor deze locatie geldt dat het zinkgehalte van paling relatief hoog is.

Onderlinge vergelijking locaties

Aangezien de Smalle Eesterzanding op grotere afstand van het industriegebied van Drachten ligt dan de zandwininput van Jansma zou op voorhand verwacht mogen worden dat het water, de waterbodem en waarschijnlijk dus ook de vissen van de Smalle Eesterzanding minder verontreinigd zijn dan die van de zandwininput van Jansma. Alvorens op de vissen wordt ingegaan wordt eerst iets gezegd over de kwaliteit van de waterbodem.

In 1997 is de kwaliteit van het slib in de waterbodem van de industriehaven van Drachten onderzocht [Wetterskip Fryslân, 1998]. Het blijkt dat de waterbodem vooral klasse 2 en 3 specie bevat. Dit betekent dat de kwaliteit matig is, maar niet zodanig verontreinigd dat er sprake is van een hoge saneringsurgentie, of anders gezegd, het slib hoeft niet zo spoedig mogelijk te worden verwijderd en

opgeslagen. De waterbodem van de zandwinput van Jansma is in verband met de berging van schone en licht verontreinigde baggerspecie eveneens onderzocht. De waterbodem is geclassificeerd als klasse 2. Vanaf eind vorig jaar wordt in deze put zo nu en dan schone en licht verontreinigde specie van andere locaties geborgen. In de Smalle Eesterzanding is de waterbodem beperkt onderzocht. Op basis hiervan wordt ervan uitgegaan dat hier met name klasse 1 en hier en daar klasse 2 specie ligt. Hoewel het verschil niet erg groot is, lijkt het erop dat de waterbodem van de Smalle Eesterzanding schoner is dan die van de zandwinput van Jansma.

Tabel 4.1: Gemeten concentraties in vissen afkomstig uit de Smalle Eesterzanding.

Omschrijving	Eenheid	Zeelt	Paling	Snoek	Brasem
Vet	%	0,6	14	0,2	0,7
Metalen					
Arseen	mg/kg product	< 0,05	< 0,05	0,06	< 0,05
Cadmium	mg/kg product	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chroom	mg/kg product	< 1	< 1	< 1	< 1
Koper	mg/kg product	0,44	< 0,2	0,39	0,34
Kwik	mg/kg product	0,12	0,11	0,19	0,07
Lood	mg/kg product	< 1	< 1	< 1	< 1
Nikkel	mg/kg product	< 2	< 2	< 2	< 2
Zink	mg/kg product	6,5	20	7,6	3,1
PCB's					
PCB- 28	µg/kg product	0,3	< 0,1	0,27	< 0,1
PCB- 52	µg/kg product	0,28	< 0,2	0,57	0,24
PCB- 101	µg/kg product	0,82	0,37	2,3	0,96
PCB- 118	µg/kg product	1	0,73	1,7	0,98
PCB- 138	µg/kg product	1,4	1,5	2,4	1,3
PCB- 153	µg/kg product	2,4	2,3	4,2	2,1
PCB- 180	µg/kg product	0,42	1	2,2	0,44
OCB's					
α-HexachloorcycloHexaan	µg/kg product	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
β-HexachloorcycloHexaan	µg/kg product	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
γ-HexachloorcycloHexaan	µg/kg product	0,2	0,48	< 0,2	0,21
Pentachloorbenzeen	µg/kg product	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
HexachloorBenzeen	µg/kg product	< 0,1	0,17	< 0,1	0,69
Aldrin	µg/kg product	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Dieldrin	µg/kg product	0,12	0,26	< 0,1	0,2
Endrin	µg/kg product	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
α-Endosulfan	µg/kg product	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
O,p- DDE	µg/kg product	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
P,p- DDE	µg/kg product	< 0,2	< 0,2	0,33	< 0,2
O,p- DDD	µg/kg product	1,2	1,8	2	2,1
P,p- DDD	µg/kg product	< 0,1	0,22	< 0,1	0,1
O,p- DDT	µg/kg product	0,47	1	0,79	1,3
P,p- DDT	µg/kg product	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Heptachloor	µg/kg product	0,67	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Heptachloorepoxide	µg/kg product	< 0,1	< 0,1	0,12	< 0,1
Isodrin	µg/kg product	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Telodrin	µg/kg product	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cis-Chloordaan	µg/kg product	0,2	0,21	0,31	0,26
PAK					
Naftaleen	mg/kg product	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Acenafthyleen	mg/kg product	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Acenaftheen	mg/kg product	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Fluoreen	mg/kg product	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Fenantreen	mg/kg product	0,02	0,09	0,007	0,06
Anthraceen	mg/kg product	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,002
Fluorantheen	mg/kg product	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,05
Pyreen	mg/kg product	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Benzo (a) anthraceen	mg/kg product	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Chryseen	mg/kg product	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,004
Benzo (b) fluorantheen	mg/kg product	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Benzo (k) fluorantheen	mg/kg product	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002

Benzo (a) pyreen	mg/kg product	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Dibenzo (a, h) anthraceen	mg/kg product	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Benzo (g, h, i) peryleen	mg/kg product	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Indeno (1, 2, 3- c, d) pyreen	mg/kg product	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
10 PAK volgens VROM	mg/kg product	0,02	0,09	< 0,01	0,06

Tabel 4.2: Gemeten concentraties in de vissen uit de zandwinput van Jansma.

Omschrijving	Eenheid	Paling	Snoek	Brasem
Vet	%	4,6	< 0,2	< 0,2
Metalen				
Arseen	mg/kg product	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Cadmium	mg/kg product	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chroom	mg/kg product	< 1	< 1	< 1
Koper	mg/kg product	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Kwik	mg/kg product	0,12	0,09	0,06
Lood	mg/kg product	< 1	< 1	< 1
Nikkel	mg/kg product	< 2	< 2	< 2
Zink	mg/kg product	17	5	2,4
PCB's				
PCB- 28	µg/kg product	< 0,1	< 0,1	< 0,1
PCB- 52	µg/kg product	0,4	< 0,2	< 0,2
PCB- 101	µg/kg product	1,5	0,5	0,33
PCB- 118	µg/kg product	2,4	0,56	0,34
PCB- 138	µg/kg product	5,2	0,97	0,6
PCB- 153	µg/kg product	8,1	1,6	1,1
PCB- 180	µg/kg product	3,1	0,66	0,54
OCB's				
α-HexaChloorcycloHexaan	µg/kg product	< 0,1	< 0,1	< 0,1
β-HexaChloorcycloHexaan	µg/kg product	< 0,2	< 0,2	< 0,2
γ-HexaChloorcycloHexaan	µg/kg product	0,59	< 0,2	< 0,2
Pentachloorbenzeen	µg/kg product	< 0,1	< 0,1	< 0,1
HexaChloorBenzeen	µg/kg product	0,45	< 0,1	< 0,1
Aldrin	µg/kg product	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Dieldrin	µg/kg product	0,38	< 0,1	< 0,1
Endrin	µg/kg product	< 0,5	< 0,5	< 0,5
α-Endosulfan	µg/kg product	< 0,1	< 0,1	< 0,1
o,p- DDE	µg/kg product	< 0,2	< 0,2	< 0,2
p,p- DDE	µg/kg product	< 0,2	< 0,2	< 0,2
o,p- DDD	µg/kg product	4,8	1,1	0,41
p,p- DDD	µg/kg product	< 0,1	< 0,1	< 0,1
o,p- DDT	µg/kg product	3,6	0,4	< 0,2
p,p- DDT	µg/kg product	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Heptachloor	µg/kg product	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Heptachloorepoxide	µg/kg product	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Isodrin	µg/kg product	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Telodrin	µg/kg product	0,12	< 0,1	< 0,1
cis-Chloordaan	µg/kg product	0,49	0,1	< 0,1
PAK				
Naftaleen	mg/kg product	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Acenafthyleen	mg/kg product	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Acenaftheen	mg/kg product	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Fluoreen	mg/kg product	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Fenantreen	mg/kg product	0,02	0,01	< 0,005
Anthraceen	mg/kg product	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Fluorantheen	mg/kg product	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Pyreen	mg/kg product	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Benzo (a) anthraceen	mg/kg product	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Chryseen	mg/kg product	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Benzo (b) fluorantheen	mg/kg product	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Benzo (k) fluorantheen	mg/kg product	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Benzo (a) pyreen	mg/kg product	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Dibenzo (a, h) anthraceen	mg/kg product	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Benzo (g, h, i) peryleen	mg/kg product	< 0,005	< 0,005	< 0,005

Indeno (1, 2, 3- c, d) pyreen	mg/kg product	< 0,01	< 0,01	< 0,01
10 PAK volgens VROM	mg/kg product	< 0,01	0,01	< 0,1

Op beide locaties is paling, snoek en brasem gevangen en onderzocht. Voor deze soorten kan dus een onderlinge vergelijking worden uitgevoerd. Het blijkt dat de PCB en OCB-gehalten van de paling uit de zandwininput van Jansma consistent hoger zijn dan die van de paling van de Smalle Eesterzanding. Voor de zware metalen en PAK zijn de verschillen gering.

Bij de snoek is het beeld omgekeerd. Nu zijn de PCB- en OCB-concentraties, maar ook de zware metalenconcentraties, in de snoek afkomstig uit de Smalle Eesterzanding hoger dan die in de snoek uit de zandwininput van Jansma. Zoals opgemerkt in hoofdstuk 2 kunnen PCB's, OCB's en PAK accumuleren in de voedselketen. Dit betekent dat in een toppredator, zoals de snoek, de concentraties zullen toenemen naarmate de snoek ouder en groter is. Aangezien de gemiddelde lengte van de snoeken afkomstig uit de Smalle Eesterzanding 35 cm is en die van de zandwininput van Jansma 31 cm zouden de iets hogere concentraties hierdoor verklaard kunnen worden.

Bij de brasem geldt hetzelfde als voor de snoek. Ook in dit geval zijn de gemeten concentraties in de vissen afkomstig uit de Smalle Eesterzanding over het algemeen iets hoger dan die afkomstig uit de zandwininput van Jansma. Overigens dient hierbij nog te worden opgemerkt dat in de zandwininput van Jansma één brasem is gevangen en één kolblei waar een gezamenlijk mengmonster van is gemaakt. Het is dus een kleine steekproef, waardoor de resultaten minder betrouwbaar zijn.

Op basis van het bovenstaande wordt geconcludeerd dat de gemeten concentraties verontreinigende stoffen in paling afkomstig uit de zandwininput van Jansma in het algemeen iets hoger zijn dan die gemeten in paling afkomstig uit de Smalle Eesterzanding. Dit stemt overeen met de kwaliteit van de waterbodem. Verder blijkt het zinkgehalte, in vergelijking met andere metalen, relatief hoog te zijn in de paling van beide locaties. Voor snoek en brasem geldt het omgekeerde. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de gemiddelde lengte van de onderzochte individuen van de Smalle Eesterzanding iets groter is dan die van onderzochte exemplaren uit de zandwininput van Jansma. In oudere exemplaren heeft accumulatie gedurende een langere tijd kunnen plaatsvinden, waardoor in deze organismen in het algemeen hogere concentraties worden gemeten.

Vergelijking met andere onderzochte locaties

Om een indicatie te krijgen in hoeverre de kwaliteit van de onderzochte vissen zich verhoudt tot die van andere gebieden is een vergelijking gemaakt met eerder uitgevoerd onderzoek. Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het verkennend waterbodemonderzoek. In 1997 is door Wetterskip Fryslân op 5 locaties de kwaliteit van een aantal vissoorten onderzocht om na te gaan of er een relatie aanwezig is tussen de mate waarin een waterbodem verontreinigd is en de kwaliteit van de vissen die in deze gebieden leven [Strien, 1999^a]. De 5 locaties zijn de volgende:

- Dokkumer Ee in Leeuwarden;
- Lemster Rien in Lemmer
- Parkstergracht in Dokkum;
- De Sondelerleien in Gaasterland;
- 't Zwin nabij Balk.

Op de eerste 3 locaties komt vooral klasse 4 specie voor en de waterbodem is hier dus ernstig verontreinigd. In De Sondelerleien komt klasse 0, 1 en 2 specie voor in 't Zwin vooral klasse 0 wat betekent dat de waterbodem zeer schoon is. De algemene conclusie van het uitgevoerde onderzoek was dat in de meeste gevallen een duidelijke relatie aanwezig is tussen de gemeten concentraties in de waterbodem en die in de vis.

In voornoemd onderzoek zijn verschillende vissoorten onderzocht, onder andere snoek en paling. Voor deze 2 soorten is een vergelijking gemaakt met de resultaten van het onderhavige onderzoek. Over de gemeten concentraties in paling wordt het volgende opgemerkt:

- de PCB-concentraties in de paling afkomstig uit de Eesterzanding en de zandwininput van Jansma komen overeen met die gemeten in de Sondelerleien. In 't Zwin is geen paling onderzocht. De concentraties die zijn gemeten op de sterk verontreinigde locaties zijn een factor 10 tot 100 hoger;
- voor OCB's, voor zover gemeten, geldt min of meer hetzelfde als voor PCB's;
- er zijn geen zware metalen en PAK gemeten, zodat voor deze stoffen geen vergelijking kan worden gemaakt.

Voor de snoek is het volgende geconstateerd:

- de PCB-concentraties in de snoek afkomstig van de Eesterzanding en de zandwininput van Jansma zijn vergelijkbaar met die gemeten in snoek afkomstig uit De Sondelerleien. De concentraties gemeten in snoek uit 't Zwin zijn ongeveer een factor 5 lager, maar de gemeten concentraties in snoek afkomstig van de sterk verontreinigde locaties zijn een factor 2 tot 10 hoger.
- voor OCB's geldt op hoofdlijnen hetzelfde als voor de PCB's;
- ook in dit geval zijn geen zware metalen en PAK gemeten, zodat voor deze stoffen geen vergelijking kan worden gemaakt.

Naast het hierboven genoemde onderzoek is in 1999 ook in de Luts bij Balk onderzoek gedaan naar vissen [Strien, 1999^b]. In dit geval is wel gekeken naar zware metalen. Het blijkt dat gemeten concentraties zware metalen in paling van de Smalle Eesterzanding en de zandwininput van Jansma ongeveer gelijk zijn met die gemeten in de Luts, terwijl die gemeten in snoek over het algemeen iets lager zijn.

Op basis van het bovenstaande wordt geconcludeerd dat het beeld dat de kwaliteit van de vis een duidelijke relatie heeft met de kwaliteit van de waterbodem bevestigd. De concentraties verontreinigende stoffen die zijn gemeten in de vis afkomstig van de Smalle Eesterzanding en de zandwininput van Jansma zijn namelijk iets hoger dan die gemeten in vis van schone locaties, maar aanmerkelijk lager dan die gemeten in vis uit ernstig verontreinigde gebieden.

4.2 Risicobeoordeling

Om iets te kunnen zeggen over de mogelijke risico's die mensen lopen als ze vis uit het door de brand beïnvloede gebied consumeren zijn de gemeten concentraties getoetst aan de consumptienormen die zijn opgenomen in de Warenwet. Voor de stoffen waarvoor in het kader van deze wet geen normen beschikbaar zijn, is gebruik gemaakt van normen uit de Circulaire streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering (zie hoofdstuk 3).

Warenwet

In het kader van de Warenwet zijn consumptienormen beschikbaar voor PCB's en een aantal zware metalen. Deze normen voor paling en overige vissoorten zijn weergegeven in paragraaf 3.3. Met betrekking tot zware metalen zijn normen opgesteld voor cadmium, lood en kwik. De toetsresultaten zijn weergegeven in bijlage 2. Het blijkt dat in geen enkel geval normoverschrijding plaatsvindt.

Circulaire streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering

Voor de overige metalen (arseen, chroom, koper, nikkel en zink), PAK en OCB's zijn in het kader van de Warenwet geen normen gegeven. Deze stoffen zijn getoetst aan de normen uit de Circulaire streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering, zoals beschreven in paragraaf 3.4.2. De toetsresultaten zijn weergegeven in bijlage 3. Ook in dit geval vindt geen enkele normoverschrijding plaats.

Vergelijking met andere locaties

In de vorige paragraaf is een vergelijking gemaakt met reeds eerder uitgevoerd onderzoek naar de kwaliteit van vissen in relatie tot de waterbodemkwaliteit. Hieruit blijkt dat concentraties verontreinigende stoffen in vissen in veel gevallen een duidelijke relatie vertoont met de mate waarin de waterbodem vervuild is. Ook in deze onderzoeken is getoetst aan de hierboven genoemde normen. Op de ernstig verontreinigde locaties bleek er af en toe sprake te zijn van normoverschrijding. Voor de Luts heeft dit bijvoorbeeld geresulteerd in het advies uit dit gebied geen vis meer te consumeren. Inmiddels is de waterbodem van de Luts gesaneerd en is het advies ingetrokken.

Met inachtneming dat elke risicobeoordeling zijn beperkingen heeft - niet alles kan worden gemeten en er moeten altijd schattingen worden gemaakt - is de algemene conclusie dat de uitkomsten van het visonderzoek geen aanleiding zijn om het consumeren van vis uit het door de brand beïnvloede gebied te ontraden.

5 Conclusies

Hieronder zijn de conclusies van het uitgevoerde onderzoek nog een keer op rij gezet.

1. Gemeten concentraties verontreinigende stoffen in paling afkomstig uit de zandwinput van Jansma zijn in het algemeen iets hoger dan die gemeten in paling afkomstig uit de Smalle Eesterzanding. Dit stemt overeen met de kwaliteit van de waterbodem. Verder blijkt het zinkgehalte, in vergelijking met andere metalen, relatief hoog te zijn in de paling van beide locaties. Voor snoek en brasem geldt het omgekeerde. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de gemiddelde lengte van de onderzochte individuen van de Smalle Eesterzanding iets groter is dan die van onderzochte exemplaren uit de zandwinput van Jansma. In oudere exemplaren heeft accumulatie gedurende een langere tijd kunnen plaatsvinden, waardoor in deze organismen in het algemeen hogere concentraties worden gemeten.
2. Het beeld dat de kwaliteit van de vis een duidelijke relatie heeft met de kwaliteit van de waterbodem wordt bevestigd. De concentraties verontreinigende stoffen die gemeten zijn in de vis afkomstig van de Smalle Eesterzanding en de zandwinput van Jansma zijn namelijk iets hoger dan die gemeten in vis van schone locaties, maar aanmerkelijk lager dan die gemeten in vis uit ernstig verontreinigde gebieden.
3. Om inzicht te krijgen in de risico's voor mensen bij het consumeren van vis uit het betreffende gebied is getoetst aan beschikbare normen met als conclusie dat in alle gevallen voldaan wordt aan de norm.
4. Met inachtneming dat elke risicobeoordeling zijn beperkingen heeft - niet alles kan worden gemeten en er moeten altijd schattingen worden gemaakt – is de algemene conclusie dat de uitkomsten van het visonderzoek geen aanleiding zijn om het consumeren van vis uit het door de brand beïnvloede gebied te ontraden.

6 Literatuur

- Beurskens, J.E.M. en H.J. Winkels, *Integraal waterbeheer Ketelmeer–verontreinigingshistorie van het Ketelmeer sediment*, Rijswaterstaat RIZA / directie Flevoland, Lelystad, 1991.

- Elder, J.F. en P.V. Dresler, *Accumulation and bioccentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in a nearshore estuarine environment near Pensacola (Florida) creosote contamination site*, Environm. Poll. 49, 117-132, 1988.
- Hattum, B., van, e.a., *Biologische Monitoring van PCB's in een voormalige otterbiotoop – de Oude Venen (Friesland)*, Vrije Universiteit Amsterdam, 1992.
- Hoven, A.M. en R.M.C. Theelen, *(Water)bodemonderzoek rond het ATF-terrein te Drachten*, Tauw bv, rapportnr.: R004-3885089 HOV-D01-N-A, Assen, 2001.
- Landrum, P.F., W.S. Dupuis en J. Kukkonen, *Toxicokinetics and toxicity of sediment-associated pyrene and phenanthrene in Diporeia spp.: Examination of equilibrium-partitioning theory and residue-based effects for assessing hazard*, Environ. Toxicol. Chem. 13, 1769-1780, 1994.
- Maagd, P.G.J., de, *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Fate and Effects in the Aquatic Environment*, 1996.
- Meador, J.P., E. Cassillas, C.A. Sloan and U. Varanasi, *Comparative bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons from sediment by two infaunal invertebrates*, Mar. Ecol. Prog. Ser. 123, 107-124, 1995.
- Nie, H.W., de, *Atlas van de Nederlandse Zoetwatervissen*, Doetinchem, 2^e druk, 1997.
- Oliver, B.G. en A.J. Niimi, *Trophodynamic analysis of polychlorinated biphenyl congeners and other chlorinated hydrocarbons in the Lake Ontario ecosystem*, Environmental Science and Technology 22, 388-397, 1988.
- Socha, S.B. en R. Carpenter, *Factors effecting pore water hydrocarbon concentrations in Puget Sound sediments*, Geochim. Cosmochim. Acta 51, 1273-1284, 1987.
- Strien, A.J. van, *Vissen en verontreinigde waterbodems in de provincie Friesland - Een verkennend onderzoek naar de relatie tussen verontreinigde waterbodems en vissen in de provincie Friesland*, Wetterskip Fryslân, Leeuwarden, 1999^a.
- Strien, A.J. van, *Aanvullend nader onderzoek de Luts te Balk - Verontreiniging in vissen*, Locatiecode: FR/051/404, Wetterskip Fryslân, Leeuwarden, 1999^b.
- Van der Valk, F., e.a., *Contaminant contents of freshwater mussels (Dreissena polymorpha) incubated at various locations in the river Rhine from Switzerland to the Netherlands*, RIVO report nr. MO 89-206, IJmuiden, 1989.
- VROM, *Urgentie van bodemsanering – De handleiding*, Sdu uitgeverij, Den Haag, 1995.
- VROM, *Circulaire streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering, kenmerk BPO-1999226863*, Den Haag, 2000.
- Wetterskip Fryslân, *Verkennend waterbodemonderzoek in de provincie Fryslân*, Leeuwarden, 1998.