

Bronnen, paden en lotgevallen van probleemstoffen in de Waddenzee

'Factsheets'

Titel Bronnen, paden en lotgevallen van probleemstoffen
in de Waddenzee. 'Factsheets'

Correspondentie adres Rijksinstituut voor Kust en Zee/ RIKZ
Postbus 207
9750 AE Haren

Contactpersoon K.van de Ven: C.L.M.vdVen@rikz.rws.minvenw.nl

Inleiding

Kader en algemene doelstelling

De Rijkswaterstaatdirecties Noord-Nederland en Noord-Holland hebben het beheer van de waterkwaliteit van de Waddenzee in handen. Voor een duurzame ontwikkeling en uitvoering van het **waterkwaliteitsbeheer van de Waddenzee** is onder meer kennis van de aanvoer en de verspreiding van stoffen en de effecten van stoffen op organismen noodzakelijk.

Het project 'Lakmoes'¹ bevat een aantal producten die de **chemische kwaliteit** van de Waddenzee in beeld brengen. Deze factsheets en/of factsheet- map behoren tot deze producten.

Naast deze papieren factsheets zijn er nu ook websheets ontwikkeld. De websheet is een verkorte populaire vorm v/d factsheet voor een brede doelgroep. Deze websheets zijn beschikbaar via de internetsite <http://www.waddenzee.nl/waterkwaliteit>.

De waterkwaliteit wordt onder andere bepaald door het toetsen van stoffen aan de normen. Uit de toetsing vloeien probleemstoffen voort. Een probleemstof is binnen Rijkswaterstaat gedefinieerd als

a: een stof die de streefwaarde (VR, verwaarloosbaar risico) of achtergrondwaarde of indicatieve MTR overschrijdt in water, sediment of zwevend stof.

b: een stof die een zodanige trend volgt dat dit mogelijk op de korte termijn tot overschrijding van de norm zal lijden.

Een factsheet geeft informatie over een **probleemstof of probleemstoffen -groep** in de Waddenzee. Voor de beheersdirecties geeft de gebundelde kennis informatie over de invloed van diverse bronnen en aanvoerroutes en hiermee ook zicht op mogelijk te nemen maatregelen op regionaal niveau ten aanzien van een bepaalde stof. Tevens geeft de ontwikkeling van de factsheets een beter inzicht in witte vlekken in de kennis over die stof

De factsheets zijn het resultaat van een pilotstudie, bestaand uit onder meer het inventariseren, samenvatten en leesbaar maken van de beschikbare informatie en kennis over een probleemstof. De relevante informatie is opgebouwd op een manier waarbij overzicht en mogelijkheid tot actualisering centraal staan.

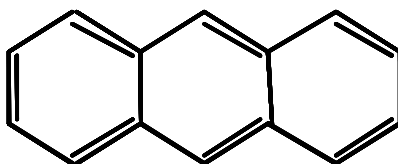
De factsheets zijn opgebouwd uit de hoofdstukken introductie, beleid, bronnen (aanvoerroutes), paden (routes en processen), lotgevallen (afbraak en ophoping) en terugdringen van emissies. De stoffen met de grootste normoverschrijding zijn als eerste meegenomen in een factsheet. Het uiteindelijke doel is de top twintig van probleemstoffen in de Waddenzee te behandelen.

De beschikbare factsheets (maart 2003) zijn:

- TBT (1^e versie, december 2001)
- TFT (1^e versie, december 2001)
- Irgarol (1^e versie, december 2002)
- Antraceen (1^e versie, december 2002)
- Benzo[a]pyreen (1^e versie, december 2002).

¹ In Lakmoes wordt de Waddenzee beschouwd als lakmoespapiertje voor de chemische kwaliteit van het Nederlandse mariene en estuariene milieu.

Antraceen



Auteur

Gerard Stroomberg
(Aquasense)

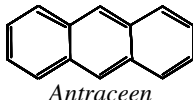
Datum laatste bijwerking

28 november 2002

1. Introductie

Antraceen behoort tot de stofgroep polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs)². PAKs ontstaan bij onvolledige verbrandingsprocessen en bevinden zich in aardolie en van aardolie afgeleide producten. PAKs bestaan uit twee of meer gefuseerde aromatische ringen die honderden verschillende structuren kunnen vormen.

Buiten deze componenten bestaan ook (ge-alkyleerde) PAKs met één of meer methyl-groepen,



(heterocyclische) PAKs waarin één van de ringen een koolstofatoom is vervangen door een zwavel- of een stikstofatoom. Deze componenten zijn vaak gerelateerd aan aardolie(producten). Daarnaast kunnen bij verbrandingsprocessen ook reacties met luchtstikstof plaats vinden waardoor nitro-PAKs ontstaan met een NO₂-groep aan een ring.

Geschiedenis en toepassing.

PAKs ontstaan bij onvolledige verbrandingsprocessen en worden gevormd in het verkeer en bij diverse industriële processen, zoals cokesproductie t.b.v. de staalindustrie. Daarnaast vindt er uitstoot plaats t.g.v. elektriciteitsopwekking met name via kolenstook en afvalverbranding. [1, 2 en 3]

Met name in het verleden is koolteer en creosoot gebruikt voor de conservering van scheepshuiden en beschoeiingen. Ook houten spoorbielzen zijn ter conservering behandeld met creosootolie. Creosootolie kan rond de 11% (gewicht) antraceen bevatten, het zwaardere koolteer rond de 1,2% [2]. Het wegverkeer is ook een belangrijke bron van PAKs. Daarnaast worden veel PAKs gevormd bij het gebruik van open haarden. Buiten deze antropogene bronnen zijn er ook (min of meer) natuurlijke bronnen zoals bosbranden.

Huidig gebruik.

Het gebruik van koolteer bij de conservering van scheepshuiden en kunstwerken is niet meer toegestaan. Ook spoorbielzen worden tegenwoordig vaker van beton gemaakt. Voornaamste bron van PAKs blijven onvolledige verbrandingsprocessen (waaronder ook wegverkeer en open haarden) en olieverontreiniging. Een bijzondere toepassing waarbij veel PAKs gemoeid zijn is de aluminiumproductie middels elektrolyse. De gebruikte grafietelektroden bevatten hoge PAK gehalten.

Probleemstoffen

. Op basis van de vierde Nota Waterhuishouding is geconstateerd dat in het gehele Waddengebied de Antraceen gehalten in sediment en zwevende stof zich boven de streefwaarde bevinden [4]. De Antraceen gehalten in zwevend stof in de Noordzee en het IJsselmeer zijn hoger dan in de Waddenzee en duiden op mogelijke aanvoerroutes.

² Bij het samenstellen van deze factsheet is zoveel mogelijk informatie opgenomen over antraceen. In sommige gevallen, wanneer er geen specifieke informatie over antraceen beschikbaar was, is informatie gegeven over de stofgroep PAKs.

2. Beleid

Emissiebeleid lucht.

Het beleidsstandpunt Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen in het Milieu (1993) stelt dat de emissie van iedere bron van PAK, die direct of indirect via atmosferische depositie het milieu belast, in 2000 gereduceerd moest zijn met 90% ten opzichte van het jaar 1985.

Emissiebeleid water.

Met ingang van 4 juni 1996, is het verboden om een PAK-houdende coating toe te passen, voorhanden te hebben of aan een ander ter beschikking te stellen [5].

Per 1 oktober 1999 heeft het CTB de toelating van steenkoolteerdestillaat (creosoot, carboleum) als houtverduurzamingsmiddel voor toepassingen in de waterbouw en in hout dat in direct contact staat met grondwater beëindigd. Voor overige toepassingen zoals hout voor buitenshuis gebruik (niet in direct contact met grond of grondwater), spoorbielsen, en in sommige gevallen in de agrarische en tuinsector is de toelating verlengd. Het CTB-besluit is aangevuld met een invoer- en handelsverbod [6].

Naar aanleiding van de Europese Kader Richtlijn Water is Antraceen voorlopig ingedeeld in Cluster 2 (Oranje cluster) als een stof met de hoogste gevarenklasse ("highest level of hazard") waarvan echter productie of gebruik niet algemeen verboden is [7]. Dit laatste is mede het gevolg van de "natuurlijke" vorming van PAKs bij bijvoorbeeld bosbranden. Een verschuiving naar cluster 3 (Gele cluster) is voorgesteld vanwege onvoldoende informatie op gemeenschapsniveau en onvoorspelbare socio-economische gevolgen.

Toelating.

In het Bouwstoffenbesluit bodem- en oppervlaktewaterbescherming is de bijzondere categorie "toepassing teerhoudend asfaltgranulaat in grootschalige, goed geïsoleerde en terugvindbare, funderingsconstructies" per 1 januari 2001 opgeheven. [8].

Normen.

De in de 4^e Nota Waterhuishouding [9] geformuleerde normen voor antraceen zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. In de 4^e Nota Waterhuishouding vastgelegde normen voor antraceen.

Oppervlaktewater			Sediment		Grondwater (opgelost)
MTR opgelost (µg/l)	SW totaal (µg/l)	MTR totaal (µg/l)	SW droge stof (mg/kg d.s.)	MTR droge stof (mg/kg d.s.)	landelijke streefwaarde (µg/l)
0.07	0.0008	0.08	0.001	0.1	0.0007

3. Bron

Algemeen.

In tabel 2 is een overzicht gegeven van de belangrijkste PAK-emissies (10 PAK VROM) naar lucht in Nederland volgens een inventarisatie van het RIVM in 1995 [3]. De totale emissie uit een brongroep is gegeven en de belangrijkste deelbron met bijbehorende emissie.

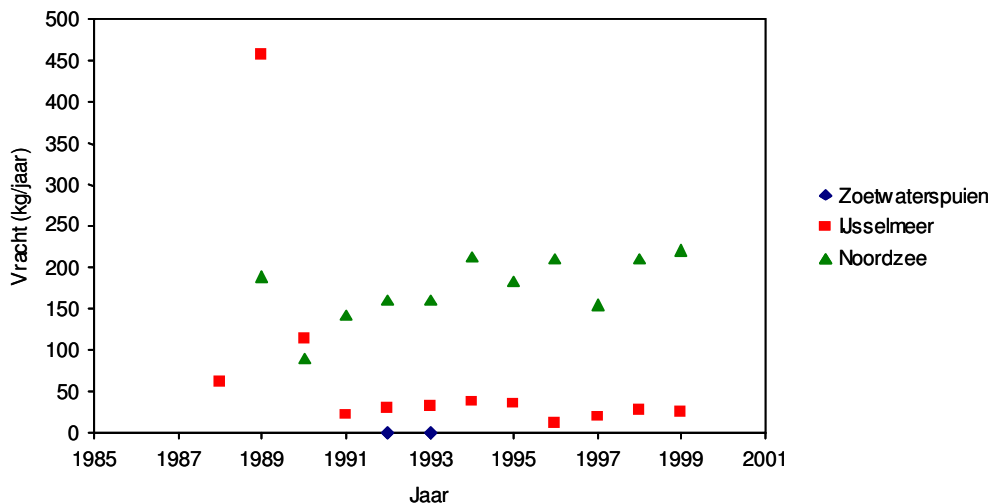
Tabel 2 Emissie bronnen van PAKs (10 PAKs van VROM) naar de lucht in Nederland, gerapporteerd in 1995 [3].

Brongroep	Totale emissie (ton/jaar)	Belangrijkste deelbron	Emissie van bel. deelbron (ton/jaar)
Afvalverwerking	0.196		
Bouw	292	Gecreosoteerd hout	197
Consumenten	85	Open haard	83
Energie	6.5	Aardgas productie	2.8
Handel, tertiaire sector en overheid	4.2	Verladen	3.1
Industrie	348	Cokes en staal productie, hout en meubel industrie	224
Landbouw	1.4	Glastuinbouw	1.3
Verkeer en transport	393	Wegverkeer	380

Aanvoer uit omliggende wateren.

Figuur 1 geeft een overzicht van de antraceen-vrachten die de Waddenzee bereiken. De Noordzee levert verreweg de grootste bijdrage, gevolgd door de spui vanuit het IJsselmeer. De bijdrage vanuit de zoetwaterspuien is het kleinst.

Figuur 1. Antraceen-vrachten vanuit de wateren rondom de Waddenzee [10]



Opvallend is dat waar de vracht vanuit het IJsselmeer over de laatste jaren is afgenomen, de vracht uit de Noordzee lijkt toe te nemen. De afname van de aanvoer uit het IJsselmeer laat zich onder meer verklaren door de verbeterde kwaliteit van het water in de IJssel.

Atmosferische depositie.

Duyzer en Vonk [11] maakten een schatting van de depositie van PAKs in Nederland. Zij berekenen tussen 1990 en 2000 een verlaging van de PAK depositie met een factor 4.2. Voor 2000 schatten zij een totale depositie van antracene in Nederland (Opp. 36800 km²) van 1619 kg/jaar waarvan 305 kg/jaar via natte depositie en 1314 kg/jaar via droge depositie. Omrekening van deze waarden naar de Waddenzee levert een schatting zoals weergegeven in tabel 3.

Tabel 3. Schattingen van atmosferische antracene depositie in de Waddenzee volgens [11].

Sector	Oppervlakte (km ²)	Totale depositie (kg/jaar)	Natte depositie (kg/jaar)	Droge depositie (kg/jaar)
Waddenzee	2786	123	23.1	99.5
West. Wad.	1533	67.4	12.7	54.7
Oost. Wad.	733	32.2	6.1	26.2
Eems-Doll.	520	22.9	4.3	18.6

Waterbodembodems.

De meeste havensedimenten rondom de Waddenzee vertonen betrekkelijk lage antracenegehalten. Alleen in de grotere havens worden verhoogde antracenegehalten gemeten, te weten Delfzijl, Den Helder, Harlingen en Lauwersoog. Deze sedimenten worden regelmatig verwijderd ten behoeve van het op diepte houden van de haven, daarnaast worden sommige hoog gecontamineerde vakken gesaneerd om aan gestelde milieunormen te voldoen [12].

Overige bronnen

Scheepvaart.

Zoals boven onder het kopje beleid/toelating is aangegeven is het niet langer toegestaan om PAK houdende coatings toe te passen voor de conservering van scheepshuiden etc. In tabel 4 is een overzicht gegeven van de emissiefactoren voor totaal PAKs van verschillende typen scheepsmotoren en twee soorten brandstof. Met name de gewenste reductie van de uitstoot van CO₂, NO_x, PM₁₀ en SO₂ leidt tot een verschuiving naar schonere brandstoffen en scheepsmotoren. Deze reductie zal ook een gunstige invloed hebben op de PAK uitstoot [13].

Tabel 4. Emissiefactoren voor Totaal PAKs VROM (mg/kg brandstof) van de verschillende scheepsmotoren in de zeescheepvaart. [14]

	Medium Speed Diesel	Slow Speed Diesel	Stoomturbine	Gasturbine
Zware stookolie	1,01	1,03	0,15	
Scheepsgasolie	3,07	1,01	0,091	0,046

Locale emissies.

Gezien de hoge PAK belasting die traditioneel gepaard gaat met aluminium productie is specifiek aandacht geschonken aan de PAK emissies door Aldel, een aluminium producerend bedrijf in Delfzijl. In het milieujarverslag 2001 [15] is een overzicht gegeven van de gerapporteerde PAK emissies vanaf 1995. De totale emissie (10 PAK VROM) naar lucht is in de periode 1995 - 2001 gereduceerd van 200 a 300 g/ton geproduceerd aluminium tot ca 0.8 g/ton. In totaal bedroeg de 10 PAK emissie naar lucht minder dan 1 kg. De (6 PAK Borneff) emissie naar water werd in dezelfde periode gereduceerd van 50 kg/jaar tot 0,002 kg/jaar per jaar. De sterke daling in de emissies is het gevolg van het feit dat ovenpuin niet langer in de open lucht wordt opgeslagen.

4. Pad

Plaats in de stofgroep PAKs.

Door de grote omvang van het aantal PAKs wordt voor het monitoren een selectie gemaakt van PAKs die worden gemeten. Binnen de PAKs die worden gevolgd in de reguliere monitoringprogramma's is antracene een van de kleinere (drierings) PAKs. Antracene maakt deel uit van de volgende selecties; 16 PAK van de US/EPA en de 10 PAK van VROM. Antracene maakt geen deel uit van de 6 PAK van Borneff. Door de relatief lage log-Kow waarde is deze PAK betrekkelijk goed wateroplosbaar en zal daardoor minder aan sediment binden in vergelijking met zwaardere PAKs.

Gegevens en eigenschappen Antracene [2]

CAS nr.	120-12-7
EINEC nr	204-371-1
Triviale/alternatieve naam	Antracene, Paranaftaleen, Anthracin
Molecuul gewicht	178 g/mol
Log Kow	4.45
Oplosbaarheid (zoet/zout)	1.29 mg/l (in zoet water bij 25°C)
	0.6 mg/l (in zout water bij 25°C)
	0.075 mg/l (in zout water bij 15°C)

Verspreiding.

PAK-concentraties in zeewater vertonen een grote variatie, van 0,001 ng/l tot 0,3 ng/l, maar kunnen zelfs 8500 ng/l bereiken in estuaria en kustgebieden. Sediment gehalten in estuaria kunnen variëren van 0,2 tot meer dan 6 mg/kg (droog gewicht) [16].

In figuur 2 (volgende pagina) is een overzicht gegeven van gemiddelde antracene-gehalten in sediment, zwevend stof en in mossel in 1999.

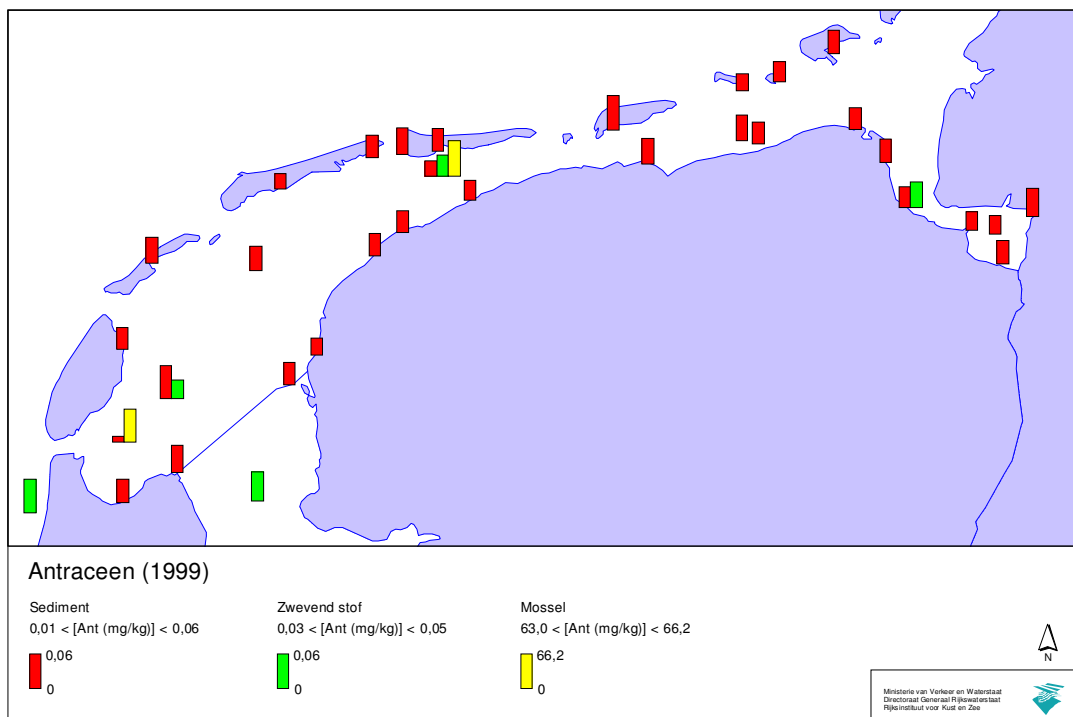
Toetsing van de antracene-gehalten (90% percentiel) in zwevend stof en sediment in de Waddenzee laten zien dat de MTR niet wordt overschreden, maar de streefwaarde wel. Een overzicht is in tabel 5 weergegeven. De gehalten zijn vrij uniform verdeeld over de onderscheiden sectoren in de Waddenzee, West, Oost en Eems-Dollard

Tabel 5. Toetsing antracene gehalten aan streefwaarden en MTR [4]

Compartiment	Normen		Waddenzee-West		Waddenzee-Oost		Eems Dollard	
	SW (mg/kg)	MTR (mg/kg)	t.o.v. SW	t.o.v. MTR	t.o.v. SW	t.o.v. MTR	t.o.v. SW	t.o.v. MTR
Zwevend stof	0.001	0.1	52	<	59	<	57	<
Sediment	0.001	0.1	47	<	45	<	42	<

Gerapporteerd zijn de overschrijdingsfactoren van de 90% percentiel.

Trendanalyse van antracene-gehalten in zwevend stof en mossel laat geen significante trends zien over de periode 1989-1999 [4].



Figuur 2. Gemiddelde meetwaarden van het antraceneen-gehalte in 1999 in sediment, zwevend stof en mossel. (De locaties in het IJsselmeer en de Noordzee liggen in werkelijkheid verder naar het zuiden.) [4].

Verdeling over water- en sedimentfase.

Antraceneen is betrekkelijk goed wateroplosbaar zoals kan worden afgeleid uit de relatief lage log K_{ow} waarde. In watersystemen is antraceneen dan ook meer in de opgeloste fase in verhouding tot zwaardere PAKs. Dit verklaart ook waarom antraceneen (ondanks hogere emissies) in lagere concentraties in zwevend stof of sediment voorkomt in vergelijking tot grotere PAKs zoals benzo[a]pyreen.

5. Lot

Opname en ophoping.

Door het biotransformatie vermogen van hogere organismen speelt ophoping (bioaccumulatie) en doorvergiftiging (biomagnificatie) vaak geen rol. In predatoren worden relatief lage tot zeer lage PAK gehalten waargenomen. Bij primaire producenten (planten) en detrivore organismen (afvaleters) zijn de gemeten gehalten hoger [17]. Voor deze laatste organismen geldt dat zij in nauw contact met verontreinigde bodem leven. De toxiciteit van PAKs is echter mede afhankelijk van de mate van biotransformatie zoals hieronder is beschreven.

Afbraak.

Naast biotransformatie wordt afbraak van PAKs door bacteriën en schimmels onder gecontroleerde omstandigheden waargenomen [18]. Voorwaarde is dat de PAKs de enige koolstofbron zijn voor het micro-organisme. Daarnaast speelt de selectiviteit van de micro-organismen een rol, sommige stammen metaboliseren slechts één of enkele PAKs. Antraceen, geadsorbeerd aan zwevende stofdeeltjes, is gevoelig voor fotochemische oxidatie onder invloed van zonlicht. Onder natuurlijke omstandigheden is de fotochemische oxidatie van antraceen in sediment echter verwaarloosbaar [19].

Omzettingsproducten.

Door de gefuseerde aromatische ringstructuur zijn PAKs stabiele componenten. Voor het openen van de ringen is een hoge activeringsenergie nodig. In het milieu vindt afbraak voornamelijk plaats door microorganismen. De gevormde afbraak producten zijn divers, naarmate de afbraak wordt voortgezet worden meer ringen geopend en worden hydroxylgroepen ingevoegd. Deze omzettingsproducten zijn goed wateroplosbaar en veelal gevoelig voor spontane oxidatiereacties met zuurstof en zonlicht.

Ecotoxiciteit

De ecotoxiciteit van PAKs kan zich op verschillende manieren uiten. De meest onderzochte zijn apolaire narcose, carinogeniteit, fototoxiciteit en meer recentelijk hormonale verstoring. *Apolaire narcose.* Apolaire, ongeladen componenten (dus ook PAKs) kunnen opgenomen worden in biologische membranen en de membraan functie verstoren. Dit resulteert in een toxisch effect dat wordt aangeduid met apolaire narcose. In visstudies treedt, na een periode van verhoogde activiteit, immobilisatie op die uiteindelijk resulteert in sterfte. Vergelijkbare condities kunnen in het veld optreden bij bijvoorbeeld olievervuiling.

Carinogeniteit. Antraceen staat niet bekend als een carcinogene (kankerverwekkende) PAK maar dit effect is wel waargenomen in enkele studies [20]. Er bestaat er een sterke correlatie tussen het voorkomen van levertumoren in vis en PAK-blootstelling. Het ontstaan van tumoren is vaak het gevolg van een complexe interactie tussen meerdere contaminanten. Mengsels van stoffen kunnen vaak eerder tot tumoren leiden in plaats van individuele stoffen [21].

Fototoxiciteit. Een andere vorm van toxische effecten is fototoxiciteit. De toxiciteit wordt mede bepaald door de intensiteit van het (zon)licht dat de PAK in het organisme bereikt. Uit een studie van 20 PAKs met *Daphnia magna* (Watervlo) bleek dat antraceen, pyreen, benzo[a]pyreen en dibenzo[a,h]pyreen behoren tot de meest fototoxische PAKs [17].

Hormonale verstoring. Een aantal studies wijst op mogelijke hormonale verstoring door PAKs en met name de PAK-metabolieten. Dit kan veroorzaakt worden door verhoogde activiteit van enzymen dit hormonen (de)activeren of door de activiteit van PAK-metabolieten die een structurele gelijkenis vertonen met hormonen.

Geselecteerde toxiciteitgegevens van antraceen voor mariene en zoetwater-organismen zijn weergegeven in tabel 6. De selectie is gemaakt door de het RIVM ten behoeve van de vaststelling van Geïntegreerde Milieukwaliteitdoelstellingen voor Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen [22]. De gegevens die hiervoor gebruikt zijn dienden aan bepaalde minimale kwaliteitseisen te voldoen.

Tabel 6. Toxiciteitgegevens van antraceen voor mariene en zoetwater-organismen*

Taxonomische groep	Soort	Parameter	Concentratie (ug/l)
Zoetwater	2		
Vis	3 Lepomis macrochirus	LC50	3.9
	4 Lepomis spec.	LC50	18
	5 Pimephalis promelas	NOEC hatchability	8.8
	6 Pimephalis promelas	LC50	360
Kreeftachtige	<i>Daphnia magna</i>	NOEC groei	2.4
	7 Daphnia magna	NOEC reproductie	1.7
	8 Daphnia magna	LC50	27
	9 Daphnia magna	EC50 immobiliteit	80-100
Insect	10 Aedis aegypti	LC50	64
Plant	<i>Lemna gibba</i>	NOEC	300
Alg	<i>Selenastrum capricornutum</i>	NOEC groei	3.6
	<i>Selenastrum capricornutum</i>	NOEC prim.prod.	2.5
Marien			
Alg	<i>Photobacterium phosphoreum</i>	EC50	11
Kreeftachtige	<i>Artemia salina</i>	LC50	32

*Zoals verzameld ten behoeve van de Geïntegreerde Milieukwaliteitdoelstellingen voor Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK' s) [22].

6. Terugdringen emissies

Beleid.

In 1992 werd een *Strategienotitie thema verspreiding* aan de Tweede Kamer aangeboden (TK, 1991-1992, 22767 nr. 1). In deze notitie werd aangegeven dat gestreefd moest worden naar veilige concentraties van stoffen in het milieu. Deze veilige concentraties werden bepaald door het in het *Eerste Nationaal Milieubeleidsplan* vastgelegde systeem van maximaal toelaatbaar risico (MTR) en de streefwaarde (SW). Als doel werd gesteld om middels emissie reducties in 2000 het MTR te bereiken en in 2010 de SW (voor alle compartimenten, land, lucht en water). [Het emissiereductiebeleid is erop gericht om nieuwe verontreiniging tegen te gaan en doet dus geen uitspraken over bestaande verontreinigingen]. In 2001 verscheen de notitie *Emissiereductiedoelstellingen prioritaire stoffen* waarin de stand van zaken betreffende een groot aantal stoffen wordt beschreven en doelstellingen voor 2010 zijn vastgelegd. [8]. Volgens deze notitie *Emissiereductiedoelstellingen prioritaire stoffen* is er een grote reductie van PAK emissies gerealiseerd in de periode 1990-2000, maar er zijn verdergaande reducties noodzakelijk om landelijk op het niveau van het MTR uit te komen. De verschillende doelgroepen; industrie, verkeer, energie etc, dienen een reductie van ca 70% te realiseren (t.o.v. 1995) om landelijk op het MTR-niveau uit te komen. Om het SW-niveau te kunnen bereiken zijn reducties noodzakelijk van 80-90% (t.o.v. 1995). De doelgroep industrie verwacht het SW-niveau in 2005 bereikt te hebben, de doelgroep afvalverwerking verwacht vóór 2010 een reductie van 80% te realiseren. Doelgroep verkeer verwacht wel een verdere reductie maar niet voldoende om de SW te bereiken. Binnen de energiesector zijn de afgelopen jaren twee kolencentrales gesloten. Onderzoek bij raffinaderijen wees uit dat de PAK emissies een factor 10 lager waren dan voorheen werd aangenomen [8].

Alternatieven.

Voor het verduurzamen van hout zijn alternatieven beschikbaar in de vorm van het zogenaamde Plato-hout en geacetyleerd hout. Beide zijn door middel van thermische modificatie verduurzaamd. Oorspronkelijk werd hout ook verduurzaam met koperzouten maar dat is eind 2001 door de CTB verboden. Ook andere materialen zoals beton of kunststof kunnen als alternatief dienen [8].

Literatuuroverzicht

1. Slooff W, Janus JA, Matthijsem AJCM, Montizaan, Ros JPM (eds.). 1989. *Basisdocument PAK*. RIVM rapport 758474007. RIVM Bilthoven.
2. Verschueren K. 1996. *Handbook of environmental data on organic chemicals*. Van Nostrand Reinhold, New York, pp 2064.
3. Veen MP, Kroese ED. 1999. Following the source to effect using PAH as a lead. RIVM rapport 630040001/1999. RIVM Bilthoven.
4. Ter Hofstede R, Van de Ven CLM. 2001. Bronnen, paden en lotgevallen van probleemstoffen in de Waddenzee en Eems Dollard. Tussenrapport editie 2000. Werkdocument RIKZ AB-2000.609.
5. Besluit PAK-houdende coatings, Wet milieugevaarlijke stoffen. Besluit van 4 juni 1996, houdende regelen met betrekking tot het beperken van het gehalte polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) in coatings (Besluit PAK-houdende coatings Wet milieugevaarlijke stoffen) (Besluit PAK-houdende coatings Wet milieugevaarlijke stoffen [Versie geldig vanaf: 26-05-1998])
6. Staatscourant 1999 nr. 202 / pag. 14 VROM – Wet milieugevaarlijke stoffen. Ontwerpbesluit wijziging Besluit PAK-houdende coatings Wet milieugevaarlijke stoffen met betrekking tot gecreosoteerd hout.
7. Identification of priority hazardous substances. 2001. Modified procedure in accordance with article 16(3) of the water framework Directive. Working Document ENV/19100/01.
http://europa.eu.int/comm/environment/water/water-dangersub/wd_env_191000_01_final.pdf
8. Ministerraad 15 juni 2001. *Emissiereductiedoelstellingen prioritaire stoffen*. Notitie in het kader van NMP4. Met bijlage. VROM, Den Haag.
9. Staatscourant 16 juni 2000, nr. 114 / pag. 18. Gewijzigde versie Bijlage A: Normen 4e Nota Waterhuishouding
10. Marijnissen S, Frederiks B, Smit T, Van de Ven K. 2001. *Emissies naar de Waddenzee 1985-1999*. Rapport RIKZ/2001.048.
11. Duyzer JH, Vonk AW. 2001. Atmosferische depositie van POP in Nederland: Resultaten van metingen in het jaar 2000. TNO-rapport R 2001/307.
12. Maatregelenprogramma Waddenzee. 2000 – 2005 waarin opgenomen Handhavingsprogramma Waddenzee 2000. Vastgesteld door het RCW van 9 december 1999. Opgesteld door: Commissie tot Uitvoering Beheersplan Waddenzee (CUBWAD), Wadden Handhavings Overleg (WHO).
<http://www.waddenzee.nl/dutch/bibliotheek/maatregelenprogramma2000/maatregelenprogramma0.htm>
13. Kasifa SC. 2002. Scheepvaart en Milieu Mogelijkheden voor emissiesreductie. RIVM rapport 773002019/2002. RIVM Bilthoven.
14. Hulskotte JHJ, Koch WWR. 2000. Emissiefactoren Zeeschepen, TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn
15. Milieujaarverslag 2001 (overheidsverslag) Aldel (april 2002). <http://www.aldel.nl>
16. OSPAR Priority Substances Series, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) OSPAR Commission 2001, ISBN 0 946956 73 1.
17. Van Brummelen TC, Van Hattum B, Crommentuijn T, Kalf DF. 1998. The handbook of Environmental Chemistry Vol 3. Part J. PAHs and related compounds. Chapter 14, Bioavailability and Ecotoxicity of PAHs. Ed. Nielson AH. Springer Verlag Berlin. pp 203-263.
18. Neilson AH, Allard A-S. 1998. The handbook of Environmental Chemistry Vol 3. Part J. PAHs and related compounds. Chapter 10, Microbial metabolism of PAHs and Heteroarenes. Ed. Nielson AH. Springer Verlag Berlin. pp 1-80.
19. Kinney RA, Pruell RJ, Burgess RM. 1999. Ratio of the concentration of anthraquinone to anthracene in coastal marine sediments. *Chemosphere* 38:2415-2430.
20. Delistraty. D 1998. The handbook of Environmental Chemistry Vol 3. Part J. PAHs and related compounds. Chapter 16, A critical review of the application of toxic equivalency factors to carcinogenic effects of polycyclic aromatic hydrocarbons in mammals. Ed. Nielson AH. Springer Verlag Berlin. pp 311-359.
21. De Maagd PGJ, Vethaak AD. 1998. The handbook of Environmental Chemistry Vol 3. Part J. PAHs and related compounds. Chapter 15, Biotransformation of PAHs and their carcinogenic effects in fish. Ed. Nielson AH. Springer Verlag Berlin. pp 311-359.
22. Kalf DF, Crommentuijn GH, Posthumus R, Van de Plassche EJ. 1995. Integrated Environmental Quality Objectives for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) RIVM Rapport 679101018, Bilthoven. 172 p.