

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 Rijkswaterstaatsdirecties 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 Maximaal Toelaatbaar Risico (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 groep van **probleemstoffen** - in de Waddenzee. Voor de beheersdirecties geeft de gebundelde kennis informatie over de invloed van diverse bronnen en aanvoerroutes. Hiermee komt 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 'pilotstudy', bestaande 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.

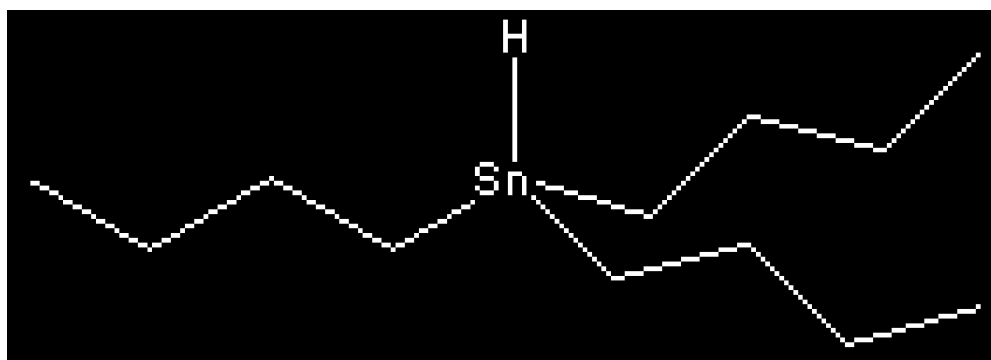
De factsheets zijn opgebouwd uit de hoofdstukken introductie, beleid, bronnen (aanvoerroutes), paden (routes en processen), lotgevallen (afbraak en ophoping) en terugdringen van emissies. De stoffen met de grootste normoverschrijding zijn als eerste meegenomen in een factsheet. Het uiteindelijke doel 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 lakmoespapier voor de chemische kwaliteit van het Nederlandse mariene en estuariene milieu.

Tributyltin



Auteur
Datum laatste bijwerking

Melissa van Hoorn
december 2003

1 Introductie

De organotinverbinding TBT (tributyltin) is gebruikt als aangroeiwerend middel (biocide) in mariene scheepsverf. De stof is in het mariene milieu zeer toxisch voor schelpdieren [2]. TBT wordt beschouwd als een probleemstof in de Nederlandse zoute wateren, omdat normoverschrijding plaatsvindt [9].

Geschiedenis en toepassing

TBT wordt industrieel geproduceerd uit tetrabutyltin (TeBT) wat in tegenstelling tot TBT een stabiele stof is. Van nature komt van organotinverbindingen alleen de stof methyltin voor. De overige varianten, waarvan TBT er één is, zijn van antropogene oorsprong. De eerste synthese van butyltin vond plaats halverwege de 19de eeuw. Sinds 1943 worden butyltin verbindingen op verschillende manieren en op grote schaal gebruikt [2]. De toepassing van TBT als biocide in de zeescheepvaart vindt plaats sinds het begin van de jaren zeventig [9].

Huidig gebruik

Het huidige gebruik van tributyltin verbindingen is in Nederland vanaf 1 januari 2003 [26] en in de lidstaten van Europese Unie vanaf 1 juli 2003 niet meer toegelaten als aangroeiwerende middelen op alle mariene schepen groter dan 25 meter. Het gebruik op schepen kleiner dan 25 meter was al sinds 1 januari 1993 niet meer toegelaten. De butylverbindingen die nog wel toegepast mogen worden zijn de mono- en dibutylverbindingen als stabilisatoren in de PVC-productie. [2].

Probleemstof

TBT bestaat uit het metaal element tin, waaraan drie butyl groepen gebonden zijn. TBT heeft daardoor lipofiele eigenschappen en is slecht oplosbaar in water [2]. Eind jaren zeventig werden op verschillende plaatsen in Europa effecten op mariene bodemorganismen waargenomen. Deze effecten werden gerelateerd aan het grootschalig gebruik van TBT. Tegenwoordig is bekend dat TBT desastreuze effecten veroorzaakt in het mariene milieu. Enkele bekende effecten zijn imposex² en de misvormingen in oesterschelpen door verstoring van de kalkhuishouding. Door het gebruik van TBT is de wulk in de Waddenzee uitgestorven [8].

Omzettingsproducten

De metabolieten van TBT zijn DBT (dibutyltin), MBT (monobutyltin) en Sn (anorganisch tin), respectievelijk afnemend in toxiciteit [2].

² Imposex is de vorming van mannelijke geslachtseigenschappen bij vrouwtjes. Dit verschijnsel is waargenomen bij purperslakken en wulken.

2 Beleid

Gebruik

In de Derde Nota Waterhuishouding (NW3) is er een norm voor tributyltin verbindingen in het zoete water bepaald [16]. In de Vierde Nota Waterhuishouding (NW4) is de MTR voor TBT bepaald en gespecificeerd naar het zoute water (zie tabel 2.1).

Gehalten TBT liggen in de Nederlandse zoute wateren tussen de 50 tot 230 maal boven de minimumkwaliteit (MTR) in zwevend stof. In tabel 2.1 is het 90 percentiel van gemeten concentraties gepresenteerd naast de MTR.

Tabel 2.1: 90 percentiel van de gemeten waarden in sediment, zwevend stof en opgelost in de waterfase in 1999.

Gebied/ locatie	sediment ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Zwevend stof ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	oppervlakte water (ng L^{-1})
Waddenzee west	39	42	
Waddenzee oost	40	42	
Eems-Dollard	40	52	
Vlieland jachthaven			6
Harlingen jachthaven			91
MTR	0,7	0,7	1

Sinds 1992 geldt voor EU landen een verbod op gebruik van TBT in verf op schepen kleiner dan 25 meter en op voorwerpen voor maricultuur [11].

Vissers hebben in 1999 een convenant getekend waarin staat dat vanaf 2000 geen tinhoudende verven meer worden *aangebracht* en na 1 januari 2003 geen organotinhoudende verf als *actieve toplaag* aanwezig is op vissersschepen [12 & 28].

Door de IMO (Internationale Maritieme Organisatie) is een maximale uitloging van $4 \mu\text{g per cm}^2$ per dag³ gesteld voor organotin verbindingen uit verf. In Nederland mag alleen de verfsoort gebruikt worden die aan deze maximale uitloging voldoet [12].

De IMO heeft met de internationale gemeenschap op 5 oktober 2001 een verdrag getekend, waarin het verbod op organotinhoudende scheepsverven is vastgelegd [27]. Het verdrag is getekend door 25 staten die gezamenlijk 25 % van de wereldwijde beroepsscheepvaart vertegenwoordigen. Vanaf januari 2003 mag geen organotinhoudende verf meer worden *aangebracht*. Per 2008 mag het niet meer als actieve toplaag *aanwezig* zijn. De staten die hebben getekend zijn verplicht deze regels te hanteren voor schepen die onder hun vlag varen, onder hun autoriteit vallen en die gebruik maken van hun werf, haven of terminal [28].

In Nederland zijn tributylverbindingen met ingang van 1 januari 2003 niet meer toegelaten.[26].

De Europese Unie heeft een richtlijn opgesteld waarbij de lidstaten vanaf 1 juli 2003 het gebruik van tributylverbindingen niet meer toelaten[33].

Baggeren

De kwaliteit van bagger wordt beoordeeld aan de hand van de uniforme gehaltetoets (UGT). TBT is (nog) niet meegenomen in deze toets instrument [9 & 10]. In NW4 staat beschreven dat er zal worden nagegaan hoe baggerspecie verder afgestemd kan worden op milieukwaliteitsnormen (MTR).

In de Chemische Toxiciteits Toets (CTT) zal de bagger ook getoetst worden aan het gehalte van (tri)butylverbindingen. Deze CTT zou ingevoerd worden met ingang van 1 januari 2004 maar de beoordeling met behulp van de CTT in plaats van de huidige UGT is voorlopig uitgesteld [ref].

³ Het organotin- mengsel toegepast in verf, bestaat voor ongeveer 92% uit TBT, zodoende is een uitloging van $4 \mu\text{g kg}^{-1}$ organotin ongeveer gelijk aan $3,7 \mu\text{g kg}^{-1}$ TBT [4].

3 Bron

Veruit de grootste bron van verontreiniging van TBT in het milieu is afkomstig van de in de beroepsscheepvaart gebruikte antifouling verven[9].

Scheepvaart

Er zijn twee soorten TBT houdende verven die veel gebruikt zijn: De zelfslipende verven (self polishing copolymers', SPC), die lang mee gaan (2,5 tot 5 jaar [2]) en de conventionele verven, die op veel kleinere schaal worden gebruikt en minder lang mee gaan (0,5 tot 2 jaar) [2]. Er wordt verondersteld dat SPC verankerd met een snelheid van $1 \mu\text{g cm}^{-2} \text{dag}^{-1}$ en varend met een snelheid van $4\text{-}5 \mu\text{g cm}^{-2} \text{dag}^{-1}$ uitlooft. Schepen met de conventionele verf logen tijdens het ankeren $2\text{-}3 \mu\text{g cm}^{-2} \text{dag}^{-1}$ en tijdens varen $5 \mu\text{g cm}^{-2} \text{dag}^{-1}$ uit. In tabel 3.1 is de emissiebron scheepvaart op de Waddenzee gekwantificeerd.

De intensiteit van beroepsvaart is op de Noordzee een stuk groter dan op de Waddenzee [2]. Belangrijke bronnen van TBT in de westelijke Waddenzee zijn de grote havens en baggerstort activiteiten aan de Nederlandse en Belgische Noordzeekust. De invloed van deze bron is vele malen groter dan de directe invoer van TBT door de lokale scheepvaart [8].

Op de Waddenzee bestaat de scheepvaart uit recreatie-, visserij- en overige beroepsscheepvaart. Omdat de recreatievaart geen gebruik meer mag maken van TBT is deze categorie niet meegenomen als aparte bron. Er zijn wel aanwijzingen dat (een deel van) de recreatievaart zich niet aan deze regel houdt [2]. Door het convenant zal de visvaart vanaf 2000 een beperkte bijdrage leveren. Tabel 3.1 bevat het resultaat van een schattingsberekening van emissie door scheepvaart op de Waddenzee in 1999.

Werven

Het schoonmaken van schepen vindt gemiddeld om de 2 tot 4 jaar in de werven plaats. Onder schoonmaken wordt verstaan: het verwijderen van aangroei, roest en beschadigde verf en het aanbrengen van een nieuwe laag. Verwaaiing, afspoeling en schoonmaken van het dok na behandeling van een schip zijn factoren die tot emissies naar de Waddenzee kunnen leiden [11].

De jaarlijkse emissie door werven aan de Waddenzee is afhankelijk van de hoeveelheid zeegaande schepen dat gerepareerd wordt, de vergunningverlening en de aard van de werkzaamheden. Er zijn verscheidene werven gelegen aan de Waddenzee, zowel voor nieuwbouw als reparatie en combinaties van beiden. Belangrijkste werven zijn Delfzijl, Den Helder, Harlingen (voor zeegaande schepen) en Lauwersoog (voor vissersschepen) [mond. med. J. van der Velde & kaart in bijlage].

Tabel 3.1: Bronnen en emissies (waar mogelijk) van TBT naar de Waddenzee.

Soort bron		Emissie	Soort bron	Emissie
Scheepvaart ⁴	Varend	1 tot 4 ton jaar ⁻¹	Havens & bagger activiteiten	
Werven ⁵	Totaal	0,5 kg jaar ⁻¹	Noordzee	
Overige toepassingen in combinatie met uitwatering op Waddenzee				

Baggeractiviteiten

Baggeractiviteiten zijn mogelijk de oorzaak van de verspreiding van hoge concentraties TBT [9]. Hoge gehalten zijn gemeten op locatie Loswal Noord-west, wat een stortplek is voor Rotterdams havenslib. Ten zuiden van deze locatie zijn de gehalten ook hoog [9].

Stortplaatsen voor baggerslib bevinden zich op een aantal plaatsen in de Waddenzee. De grootste stortplaatsen zijn Bocht van Watum, Grootte Gat en Marsdiep. Op elke van deze locaties is meer dan een miljoen m³ sediment gestort in 1999 [7].

⁴ Alle meldplichtige schepen in de categorieën tussen 10 en 380 meter lengte [31]. Op deze manier ontstaat een onzekerheidsmarge wat betreft gebruik van organotin houdende verf door de verschillende scheepvaart categorieën, dit lijkt er toe dat de kans op een overschatting zeer groot is.

⁵ Effluentbenadering op basis van 8 metingen in 2000 en 2001 van de werf Frisian Shipyard Welgelegen te Harlingen [32].

Emissies door overige toepassingen

Bij geïmpregneerd hout werden de biociden, waaronder TBT uit de verf langzaam vrijgegeven aan het water, zodat aangroei uitblijft. De emissie vanuit geïmpregneerd hout levert een zeer klein aandeel aan de concentraties TBT in water [2].

TBT werd ook gebruikt als fungicide in de katoenindustrie en in koelwater zoals in koeltorens en koelkasten, papiermolensystemen en brouwerijen [11].

Op verscheidene plekken in de Waddenzee wordt zoet water geloosd. Activiteiten waarbij TBT wordt toegepast kunnen via deze route een bijdrage leveren aan TBT gehalten in de Waddenzee. In het kader van aanvullend onderzoek naar organotinverbindingen zijn op een drietal spuilocaties, met name Den Oever, Zwarte Haan en Nieuwe Statenzijl ook butyltinverbindingen gemeten [35].

Er bevinden zich twee thermische centrales in de Eems-Dollard. Daarnaast hebben zowel de provincie Groningen als Friesland ieder twee brouwerijen [17]. Er zijn geen data beschikbaar over eventuele lozingen van TBT op oppervlaktewater van deze industrieën.

4 Pad

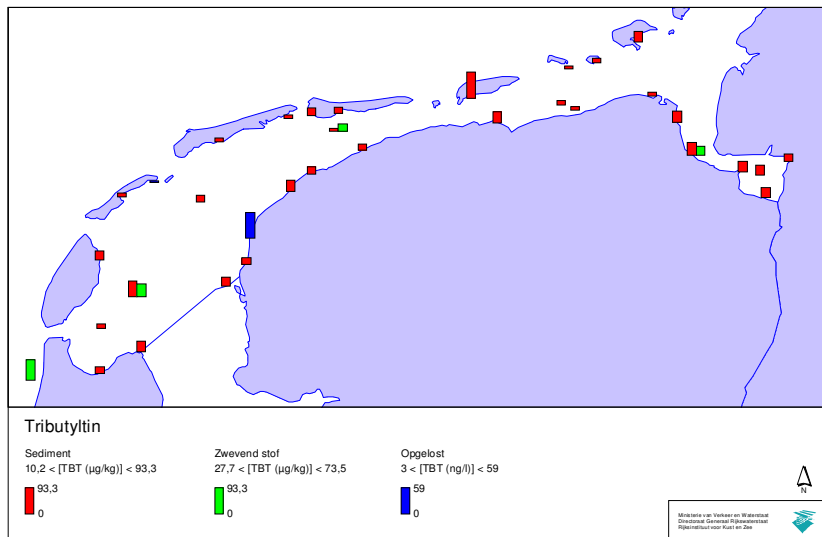
Van scheepshuid naar mariene systeem

Het principe van antifouling berust op het constant uitlogen van biociden, zoals TBT, uit een copolymeer-netwerk in de verf [4]. Zowel het varen als het ankeren en dokken van beroeps zeeschepen draagt bij aan emissie van TBT naar het oppervlaktewater (zie tabel 3.1) [1, 2 & 4]. Over het algemeen worden hogere concentraties gemeten op scheepvaartroutes en in havens [2 & 8].

TBT in de vaste fase, eigenschappen

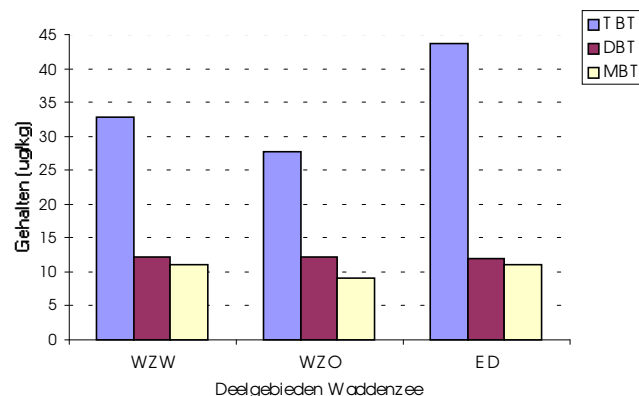
Door de slechte oplosbaarheid van TBT heeft het een grote affiniteit voor vaste deeltjes ('sorptie'); veruit de hoogste gehalten zijn aanwezig in sediment en zwevend stof. De verdelingscoëfficiënt K_p (tabel 4.1) is onder andere afhankelijk van het aandeel organische stof en kleimineralen in sediment [1 & 6]. Bij hogere saliniteit is binding aan organisch materiaal groter [6]. Wanneer een $\log K_p$ groter is dan 5 duidt meestal op de aanwezigheid van verfresten (bijvoorbeeld rond droogdokken en (jacht)havens) [2].

Onder zowel anaërobe als aërobe omstandigheden van sediment komen de vormen TBTCI en TBTOH (omzettingproducten van hetzij TBTO of TBTAc -tributyltinacetaat-) veel voor [6].



Figuur 4.1: Gemiddelde meetwaarden van TBT per compartiment in de Waddenzee en de locatie Noordwijk 10 in de Noordzee (de werkelijke ligging is zuidelijker) uit 1999.

In 1999 zijn de gehalten TBT het grootst in zwevend stof. TBT gehalten zijn groter dan die van DBT en MBT (figuur 4.2). Dit kan veroorzaakt worden doordat de aanvoer van TBT groter is dan de afbraak (9).



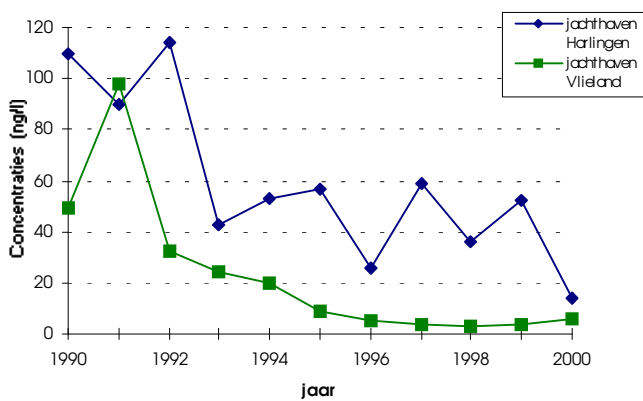
Figuur 4.2: Gehalten butyltin aan zwevend stof in 1999.

TBT in de waterfase: eigenschappen

Omdat in het mariene milieu variatie optreedt in gebonden en ongebonden vormen⁶, staan in tabel 4.1 de fysisch-chemische eigenschappen van TBT [2].

Tabel 4.1: Fysisch-chemische eigenschappen van TBT. Door gebrek aan gegevens is gebruik gemaakt van de niet gestandaardiseerde gegevens⁷.

Eigenschap	S (Oplosbaarheid)	Log K_{ow} (Octanol-water verdelingscoëfficiënt)	Log K_p zw st/water (Zwevend stof water verdelingscoëfficiënt)	Log K_p sed/water (Sediment water verdelingscoëfficiënt)
Factor(en) van invloed	pH, saliniteit [2]	pH, saliniteit [6]	pH, saliniteit en organisch stofgehalte (OC) en deeltjes concentratie [2 & 6]	pH, saliniteit [5 & 6]
Waarde	6 mg L⁻¹ bij pH van 6-8 en een saliniteit ≈ 0 ‰ [5]	3,8 bij onbekende pH en saliniteit [2] tot 4,2 bij pH van >7,4 en saliniteit is 18 ‰ [5]	3,1 L kg⁻¹ bij onbekende pH en saliniteit is 32 ‰ en deeltjesconcentratie is 60 mg L ⁻¹ [2].	2,7 L kg⁻¹ bij onbekende pH en saliniteit is 18 ‰ [5] tot 4,8 L kg⁻¹ bij onbekende pH en saliniteit [2]



Figuur 4.3:
Concentraties van
TBT in de waterfase
(van 1990 tot en
met 2000).
Het betreft
havenlocaties
waardoor dit geen
representatieve
reeks is voor het
hele Waddens
gebied.

⁶ In de Waddenzee is de pH ongeveer 8. Bij deze zuurgraad domineren de vormen TBTCI en TBTOH [6].

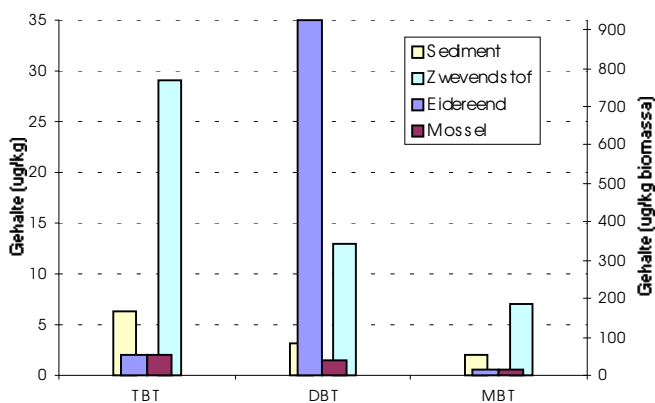
⁷ TBT, K_p sed/wat [2] is gemeten in de Westerschelde, K_p zw. st./ water is gemeten in het laboratorium experiment. De overige getalswaarden van de fysisch-chemische eigenschappen komen uit verschillende bronnen en zijn zodoende onder verschillende omstandigheden en met verschillende analyse methoden bepaald. De data moeten daarom met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

5 Lot

Opname en ophoping

Organismen nemen TBT meestal in de ongeladen vormen op door middel van lipofiele mechanismen. Na opname is het kation verantwoordelijk voor de toxicologische eigenschappen van TBT, terwijl de invloeden van eventueel gekoppelde anionen verwaarloosbaar zijn.

Organismen kunnen TBT opnemen uit water, sediment en voedsel. Tweekleppigen zoals de mossel, nemen de grootste hoeveelheid TBT op uit algen en pekelkreeftjes en daarnaast uit water. Ophoping via de waterfase kan worden uitgedrukt in BCF (bioconcentratiefactor, tabel 5.1)⁸. Het risico van doorvergiftiging in organismen die hoger in de voedselketen staan blijkt niet groot, omdat omzettingen naar metabolieten plaatsvindt [2].



De gehalten van TBT en haar metabolieten in een organisme zijn onder andere afhankelijk van de blootstellingconcentratie (concentraties in sediment, water en zwevend stof) en de mogelijkheid van een organisme om stoffen af te breken. De gehalten in de mossel zijn vergelijkbaar met gehalten gemeten in mosselen uit de Noordzee (24). In eidereenden bestaat het organotin gehalte voor het grootste deel uit DBT.

Figuur 5.1: Gehalten butyltin in organismen (in µg butyltin per kg levermonster op droge stof van eidereend, in µg butyltin per kg drooggewicht van de totale mossel) en in sediment en zwevend stof in 1999.

Toxische eigenschappen

Chronische blootstelling kan in aquatische milieus leiden tot verkorte levensduur, vermindering in vruchtbaarheid en verandering in morfologisch gedrag bij verschillende mariene organismen. Acute toxische werking is binnen enkele dagen waarneembaar [6].

Tabel 5.1: Toxische eigenschappen van TBT op de mossel (*Mytilus mercenaria*)⁹.

Eigenschap	LC ₅₀ Letale dosis (in blootstellingsmedium) voor 50% van de test organismen	NOEC No Observed Effect Concentration (in blootstellingsmedium)	BCF Bioconcentratiefactor
Factor van invloed	pH [19]	pH [19]	Onbekend
Waarde	1,0 µg L ⁻¹ bij onbekende pH[2]	0,006 µg L ⁻¹ , bij onbekende pH [2]	60000 (bij blootstellingsconcentratie van 50 ng L ⁻¹) [2]

Afbraak

Ophoping van TBT vindt plaats in sediment. Omzetting van TBT in sediment verloopt langzaam: onder aërobe omstandigheden is de halfwaardetijd enkele maanden. Behalve door de afbraak in hogere organismen, kan TBT onder anaërobe omstandigheden in sediment via methylering door sulfaatreducerende bacteriën worden afgebroken. Daarnaast kan de stof onder invloed van licht (fotolytisch) worden afgebroken in DBT, MBT en tin. De afbraak verloopt sneller bij hoge temperaturen, helder water en minder opgelost organisch koolstof.

Op locaties waar sedimentatie een grote rol speelt (in havens, op baggerlocaties en spui-locaties) is vaak sprake van (complete) zuurstofloosheid waardoor de halfwaardetijd op kan lopen tot vele jaren. Ook nalevering vanuit sediment naar de waterfase kan jaren plaatsvinden [2].

⁸ BCF is de concentratie van een stof in een organisme (of in een deel van het organisme) ten opzichte van de concentratie van de stof in de omgeving [19].

⁹ Ook deze getalswaarden komen uit verschillende bronnen en zijn zodoende onder verschillende omstandigheden en met verschillende analyse methoden bepaald. De data moeten daarom met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

6 Terugdringen emissies

Er zijn verschillende (groepen van) alternatieven (zie § 2, Beleid) voor organotinhoudende verven:

Toxische alternatieven

Toxische alternatieven zijn onder andere verven waarin andere biociden worden gebruikt die na uitlozing hun toxische werking uitoefenen.

-Verven op basis van koperverbindingen. Deze stoffen zijn minder toxisch dan TBT maar het gehalte in verf is vaak veel groter. Het nadeel is dat deze koperverbindingen niet tegen alle fauna weerstand bieden, zodat daarnaast nog gebruik gemaakt wordt van schadelijke stoffen zoals bijvoorbeeld diuron en Irgarol [4, 21 & mond. med. J. Klijnstra, TNO]. Koperverbindinghoudende verf mag tegenwoordig alleen nog gebruikt worden voor de zeegaande beroepsscheepvaart [12]. -Met behulp van elektriciteitsprikkelers over het scheepsoppervlak kan aangroei worden tegengegaan. Dit kost energie en bij de elektrolytische reacties worden toxische stoffen gevormd.

Niet-toxische alternatieven

-De non-stick coatings (op basis van siliconen). Deze hebben door hun lage oppervlakte energie minder aangroei en de aangroei wordt makkelijk verwijderd. Deze non-stick coatings zijn tijdens de gebruiksfase emissieloos en daarmee milieuvriendelijk [mond. med. J. Klijnstra, TNO].

-Periodieke verwijdering met behulp van borstel systemen (gebruikt in recreatievaart), een hogedruk waterspuit, doormiddel van duikers of een speciale machine (een combinatie van de laatste twee kan worden toegepast in de zeescheepvaart) [4 & mond. med. J. Klijnstra, TNO]. Tussen de oude en nieuwe verwijderingbeurt zit een periode waarin aangroei plaatsvindt, waardoor het brandstofgebruik toeneemt. Daarnaast is een schip gedurende de verwijdering een tijd uit de roulatie [4].

-Bewegend substraat: door een turbulente scheepshuid krijgen organismen minder kans om aan te groeien. Voornamelijk bij stilliggende schepen kan door middel van luchtbellen langs de romp turbulentie worden veroorzaakt [4].

-Een harige coating waarin vezeltjes of stekeltjes zijn opgenomen. Met name harde aangroei als pokken en mosselen etc. vestigen zich hier niet op. Algegroeit kan niet worden tegen te gaan met deze coating.

Overige antifouling technieken in onderzoek

-Het nabootsen van stoffen die in de natuur bij zeeorganismen voorkomen waarvan bekend is dat ze aangroei tegengaan. Deze benadering wordt gevolgd in het Camellia project [14].

-Gebruik van niet uitlopende actieve stoffen, waarbij de toxische componenten alleen in contact komen met de direct aangegroeide organismen.

-Recent wordt er nationaal onderzoek gedaan naar eiwittechnologische principes die ingezet worden als milieuvriendelijke methode voor aangroeiwering. Resultaten daarvan zullen nog enige tijd op zich laten wachten.

Nadere informatie over alternatieve aangroeiwerende methoden die nu reeds in gebruik of in ontwikkeling zijn, kan verkregen worden bij TNO Industrie in Den Helder en in [14], waar vanaf eind 2001 publicaties zullen worden gepresenteerd [mond. med. J. Klijnstra, TNO].

Literatuur

- 1 **Kortlandt, E & Stronkhorst, J, 1998.** *An issue of substance, TBT in marine antifouling paints.* National Institute for Coastal and Marine Management/ RIKZ brochure.
- 2 **Evers, E.H.G., van Meerendonk, J.H., Ritsema, R., Pijnenburg, J. & Lourens, J.M. 1995.** *Butyltinverbindingen. Een analyse van de problematiek in aquatisch milieu.* Rapport RIKZ-95.007.
- 3 **Chemfinder:** <http://www.chemfinder.com>
- 4 **Kisman, R.E. & van Opstal, M. (eds.) 2000.** *Chemische feitelijkheden.* Actuele encyclopedie over chemie in relatie tot gezondheid, milieu en veiligheid. Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging.
- 5 **Tas J.W., 1993.** *Fate and effects of triorganotins in the aqueous environment. Bioconcentration kinetics, lethal body burdens, sorption and physico-chemical properties.* Universiteit van Utrecht.
- 6 **Fent, K., 1996.** *Critical reviews in Toxicology.*26(1): 1-117. CRC Press, Inc.
- 7 **Vroom, M.G., Thissen, M.H.M. & Hoff, P., 2000.** *Jaarboek Waddenzee 1999.* Rijkswaterstaat, Directie Noord Nederland.
- 8 **Ariese F., 1998.** *Organotin pollution levels in sediments from the Dutch Wadden Sea.* Institute for Environmental studies/ IVM.
- 9 **Swertz, O.C., 1999.** *Butyltingehalten in de zoute wateren in 1998.* Rapport RIKZ-99.021.
- 10 **Evers, H.G., Stolwijk, S., de Vries, A., 1996.** *Verspreidingsberekeningen verontreinigingen voor WSV*ANALYSE en SPECIMEN. Invoergegevens en randvoorwaarden Nederlandse zoute watersystemen.* Werkdocument RIKZ/OS-96.114x.
- 11 **Willemsen, P.R., Ferrari, G.M, 1992.** *Emissies van organotin naar Nederlands oppervlaktewater.* Toegepast Natuurwetenschappelijk onderzoek/ TNO.
- 12 **Verhoeven, B., M. Position paper scheepvaart.-Alternatieven voor metaal en biocidehoudende antifouling-** RIKZ. In prep.
- 13 **Dijkhuizen, D., Loos, C., Schobben, J., 1996.** *Emissies visserij Waddenzee.* RIKZ/AB-96.603x.
- 14 **Camellia:** http://dbs.cordis.lu/cordis/cgi/srchidadb?ACTION=D&SESSION=119842000-2-10&DOC=3&TBL=EN_PROJ&RCN=EP_RCN:31953&CALLER=EN_
- 15 **Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998.** *Vierde Nota waterhuishouding Regeringsbeslissing.* Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.
- 16 **Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1989.** *Derde nota Waterhuishouding. Water voor nu en later.*SDU uitgeverij 's Gravenhage. ISSN 0921-7471.
- 17 **Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieu, 1986.** *De waterkwaliteit van Nederland. Indicatief meerjarenproject water 1985-1989.* staatsdrukkerij, 's Gravenhage.
- 18 **VROM, Wet milieugevaarlijke stoffen. Ontwerp-besluit organotinverbindingen**
- 19 **Craig, P., 1986.** *Organometallic compounds in the environment. Principles and reactions.* School of Chemistry, Leicester Polytechnic. Leicester, UK.
- 20 **Werkman, G. T., Eggens, M.,L., van de Ven, C. L. M., 2001.** *Waterkwaliteit en eidereenden in de Waddenzee. Is er een relatie tussen de waterkwaliteit en de eidereendensterfte in de winter 1999-2000?.* Rapport RIKZ/2001.007.
- 21 **ter Hofstede, R., van de Ven, C. L. M., 2001.** *Bronnen, paden en lotgevallen van probleemstoffen in de Waddenzee en Eems Dollard. Tussenrapport editie 2000.* Werkdocument RIKZ/AB/2000.609x.
- 22 **Crijns, O.M., Stortelder, P.B.M., Frintrop, P.C.M., ten Hulscher, , T.E.M., van Steenwijk, , J.M., Wagemaker, F.H., 1992.** *Trifenylytinverbindingen. Een analyse van de problematiek in aquatisch milieu.* RIZA nota 92.014.
- 23 **Stichting C₃:**www.c3.nl/evv/c3-evbestrijding.pdf
- 24 **van de Ven, C.L.M., ter Hofstede, R., 2000.** *Inventarisatie probleemstoffen in de Waddenzee en Eems-Dollard. RIKZ-werkdocument.* RIKZ/ABW/2000.608x
- 25 **VMM:** <http://www.vmm.be/pdf/trifenylytinacetaat.pdf>
- 26 **CTB:** <http://www.ctb-wageningen.nl> d.d. januari 2004
- 27 **Greenpeace:** <http://www.greenpeace.nl>
- 28 **IMO:** <http://www.IMO.org>
- 29 **Centraal Bureau voor de Statistiek, 1987.** *Organotinverbindingen in Nederland, 1985.* 's Gravenhage, staatsuitgeverij. CBS- publicaties.
- 30 **mumm:** http://www.mumm.ac.be/MNZ/docs_nl/tft.html
- 31 **van Hattum, B., Baart, A.C., Boon, J. G., Steen, R., Ariese, F., 1999.** *Computer model to generate predicted environmental concentrations (PEC's) for antifouling products in the marine environment.* IVM, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- 32 **Steyaert, F., van der Ploeg, R., (1995).** *Mogelijke verontreiniging van de waterbodem als gevolg van het lozen van gezuiverd afvalwater (effluent) door scheepswerf Frisian Shipyard Welgelegen b.v. (FSW) op de Industriehaven te Harlingen.* Werkdocument RIKZ/AB &RWS NN. (Gebruik is gemaakt van de recentere meetgegevens uit 2000 en 2001.

- 33 **Regulation (EC) No. 782/2003** of the European parliament and council of 14 april 2003 on the prohibition of organotin compounds on ships
- 34 **E.G. Bellert & C.L.M. van de Ven.,(2003)**. *Monitoring van trifenyyltin en tributyltin in het Waddenzegebied* Ministerie van Verkeer en Waterstaat, DG Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ. Werkdocument RIKZ/AB/2003.611.x.