

EMS-protocol Emissies door Zeescheepvaart en Visserij: Anodes op schepen in havens

Versie 2, 23.10.2003

23 oktober 2003

Auteur:
P.J.C. Kuiper
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
Afvalwaterbehandeling

Colofon

Uitgegeven door: Adviesdienst Verkeer en Vervoer

Informatie: P.Paffen, km A2.18
AVV, Postbus 1031, 3000 BA Rotterdam

Telefoon: 010-2825726

Fax: 010-2825643

Projectuitvoering: Emissie Registratie en Monitoring Scheepvaart
(EMS)
Rijkwaterstaat,
Adviesdienst Verkeer en Vervoer
Boompjes 200 Rotterdam

Datum: 23 oktober 2003

Status: Definitief

Versienummer: 2

Inhoudsopgave

1	Inleiding en scope	1–1
3	Emissiebron	3–1
3.1	Oorzaken	3–1
3.1.1	Passieve bescherming middels opofferingsanoden	3–1
3.1.2	Actieve bescherming middels Impressed Current	3–3
3.1.3	Ballasttanks	3–4
3.1.4	Elektrische anti-fouling in beunkeeling	3–4
3.2	Maatregelen	3–5
4	Berekeningswijze	4–1
4.1	Methode	4–1
4.2	Nat scheepsoppervlak	4–1
4.3	Corrosiesnelheid	4–3
4.4	Elektrische antifouling systemen in de beunkeeling	4–4
5	Emissieverklarende variabele	5–1
5.1	Bepaling met behulp van statistische gegevens	5–1
5.2	Tijdreeks 1990 tot heden	5–2
5.3	Jaarlijkse bepaling	5–3
5.3.1.	Bron voor jaarlijkse actualisatie	5–3
5.3.2.	Beschrijving data-aanvoeroute	5–3
5.3.3.	Bron voor periodiek data	5–3
6	Aard van de emissiebron	6–1
7	Emissiefactoren	7–1
7.1	Emissiefactoren	7–1
7.1.1.	De corrosiesnelheid	7–1
7.1.2.	Blootstellingtijden	7–1
7.1.3.	Toepassingspercentages	7–1
7.1.4.	Emissiefactoren	7–2
7.2	Tijdreeks van 1990 tot heden	7–2
7.3	Jaarlijkse bepaling	7–2
8	Emissies	8–1
8.1	Emissiecijfers 2002	8–1
8.2	Emissie sinds 1990	8–1
8.3	Vershil in Methode	8–1
8.4	Vershil in cijfers	8–1
9	Kwaliteit van de gegevens	9–1
10	Verbeterpunten methodiek	10–1
10.1	Zwakke punten	10–1
10.2	Belangrijkste verbeterpunten	10–1

11	Regionale opsplitsing	11-1
16	Referenties	16-1
Bijlage A	Anodes op het onderwaterschip	A-1
Bijlage B	Emissies door elektrische antifouling in beunkoelers	B-1

De bron van de emissies is het anodemateriaal dat is aangebracht op de buitenkant van zeeschepen en vissersschepen die in Nederlandse havens liggen. Ook de emissie die optreedt door de toepassing van elektrische anti-fouling systemen in de beunskoeling van deze schepen wordt beschouwd. Ook in ballasttanks worden anodes toegepast. Er is echter van uitgegaan dat er in de havens geen ballastwater wordt geloosd¹.

De emissie wordt binnen de emissieregistratie toegekend aan de doelgroep Verkeer en vervoer. Het gaat om de emissies van zink, aluminium, koper en cadmium. Cadmium is als verontreiniging in het zink aanwezig en komt bij het oplossen van dit anodemateriaal vrij.

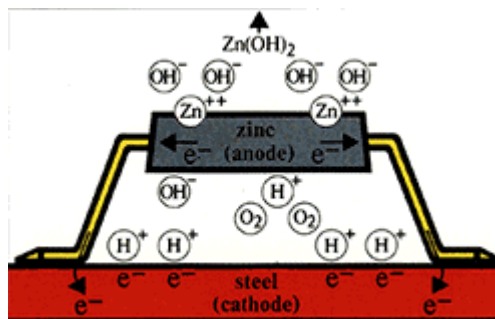
In het EMS protocol "Anodes op schepen op het Nederlands Continentaal Plat" [1] worden de emissies door anodes op zeeschepen en vissersschepen op het Nederlandse gedeelte van de Noordzee gerapporteerd.

¹ Lozen van ballastwater is natuurlijk juist nodig als een schip beladen wordt. In het algemeen zal echter zoveel mogelijk vermeden worden om ballastwater wat de hele reis al in de tank zit aan de kade te lozen. In plaats daarvan kan in het toeleidingskanaal geloosd worden of buitengaats het ballastwater voor vers water verwisseld worden. Voorts zijn ballasttanks niet altijd voorzien van anodes. Bij de Inventarisatie Afvalstoffen wordt ook op emissies ten gevolge van lozen van ballastwater ingegaan.

3.1 Oorzaken

Om corrosie te voorkomen worden schepen gecoat. Deze beschermende laag is echter niet genoeg om het schip volledig te behoeden voor corrosie. Om ook de onbeschermden delen van een schip (schroef, beunkoeling, beschadigingen, etc.) te beschermen én er voor te zorgen dat het schip ook bij een slechter wordende coating beschermd blijft, wordt gebruik gemaakt van kathodische bescherming.

figuur 1 Werking anode



Als twee metalen elektrisch zijn verbonden in een elektrolyt (bijvoorbeeld zeeewater), zullen de elektronen van een onedel metaal naar een ander meer edel metaal vloeien. Dit komt door het verschil in elektrisch potentiaal. Het meest edele metaal wordt de kathode genoemd en het

andere de anode. Als de anode elektronen levert aan de kathode, zal deze geleidelijk oplossen in ionen. Het resultaat is dat de kathode negatief gepolariseerd wordt en daardoor beschermd wordt tegen corrosie. Zie figuur 1. Kathodische bescherming is op te delen in passieve en actieve kathodische bescherming. In de onderstaande subparagrafen wordt dit verder toegelicht.

3.1.1 Passieve bescherming middels opofferingsanoden

Om het schip passief kathodisch te beschermen wordt gebruik gemaakt van opofferingsanoden. Deze opofferingsanoden moeten zoals eerder gezegd van een metaal zijn dat onedeler is dan het metaal dat beschermd moet worden. De twee metalen die in de zeescheepvaart als anode worden toegepast zijn zink en aluminium. In tabel 1 staan de verschillende metalen op volgorde van edelheid weergegeven. De effectiviteit van het anodemateriaal in zeeewater wordt bepaald door de samenstelling van de legering.

De anoden lossen in het zeeewater op waardoor de noodzaak bestaat om de blokken periodiek te vervangen. Gemiddeld worden de blokken daarom na 2 tot 2,5 jaar vervangen, gemiddeld is er dan ca. 15% van het oorspronkelijke gewicht over. Bij vissersschepen liggen de verhoudingen anders. Het vissersschip gaat elk jaar in dok waardoor de blokken ook elk jaar worden vervangen. Gemiddeld is er dan ca. 30% van het oorspronkelijke gewicht over.

tabel 1 Metalen op volgorde van edelheid

Mate van edelheid van verschillende metalen

Metaal	Symbool
Kalium	K
Natrium	Na
Calcium	Ca
Magnesium	Mg
Aluminium	Al
Zink	Zn
IJzer	Fe
Chroom	Cr
Nikkel	Ni
Tin	Sn
Lood	Pb
Koper	Cu
Kwik	Hg
Zilver	Ag
Platium	Pt
Goud	Au



Zinkanode

Zink is het meest gebruikte materiaal voor kathodische bescherming van zeeschepen. De elektrische capaciteit (ook wel aangegeven met het symbool ϵ , zie hoofdstuk 4.1) van een zinkanode in zeewater is 780 Ah/kg (Ampère per uur per kilogram zinkanode). Dit heeft betrekking op de hoeveelheid valentie-elektronen die er per uur verplaatst kunnen worden van het zink naar het onedeler metaal. Als bekend is hoeveel valentie-elektronen het te beschermen metaal afstaat onder invloed van het zeewater, kan uitgerekend worden hoe snel de zinkanode oplost. Bij het plaatsten van de zinkanoden wordt de levensduur van zinkanoden meestal berekend voor een levensduur tussen de 1 en 3 jaar.

Aluminiumanode

Aluminium is een anodemateriaal dat steeds vaker gebruikt wordt. De elektrische capaciteit van een aluminiumanode in zeewater is 2.600 Ah/kg. Aluminiumanoden leveren een betere prestatie dan de zinkanoden (2.600 valentie-elektronen per uur per kilogram tegen 780 voor het zink). Er hoeven er dan ook minder geplaatst te worden om hetzelfde effect te bereiken. Het aluminium is als materiaal weliswaar duurder dan het zink, de kosten van het gebruik van aluminiumanoden zijn wel lager doordat er 3,33 maal minder materiaal geplaatst hoeft te worden. Een ander belangrijk milieuhygiënisch voordeel is dat er in de gebruikte aluminiumlegeringen geen cadmium zit, in tegenstelling tot de gebruikte (en via standaardisatie voorgeschreven) zinklegeringen (zie hoofdstuk 3.2).

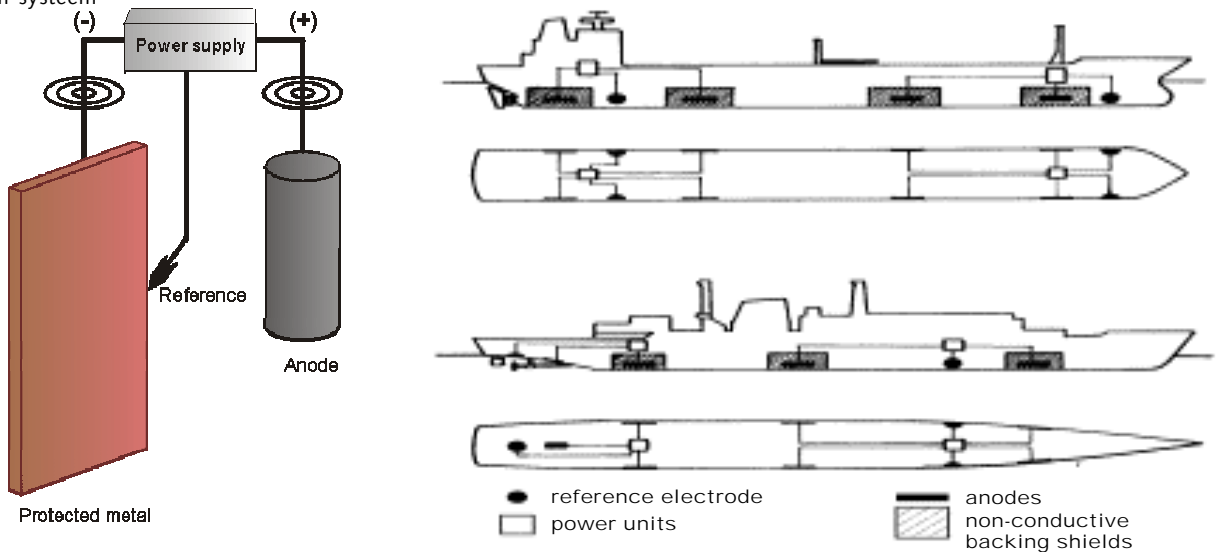
3.1.2 Actieve bescherming middels Impressed Current

Naast de passieve bescherming wordt steeds vaker gebruik gemaakt van actieve kathodische bescherming. Het opgedrukt stroomstelsel - ook wel Impressed Current (IC) genoemd - verschuift potentialen, waardoor het metaal wordt beschermd.

Een opgedrukt stroomstelsel maakt gebruik van een transformator, een regelbare gelijkrichter als stroombron en zogenaamde niet-slijtende anoden. De regelbare gelijkrichter kan zodanig worden ingesteld dat de verbonden anode(n) precies die beschermstroom leveren die voor de gewenste beschermingspotentialaai zorgt. Zie figuur 2.

In principe kan het IC-systeem de gehele buitenkant van het schip beschermen. Toch worden nog vaak in een combinatie met het IC-systeem passieve anoden geplaatst. De onderdelen van een schip die uitgerust worden met passieve anoden zijn: de boegschroeftunnel; de schroef en het roer. Bij deze onderdelen van een schip is de afbreekfactor van de coating hoger, is er sprake van blank metaal (schroef) en is de snelheid van het langslopende water hoger dan bij andere delen van de romp, extra protectie is daarom gewenst. In ballast tanks worden geen IC-systemen gebruikt; dit wegens de vorming van waterstofgas (H_2) wat explosiegevaar oplevert, zeker in combinatie met het elektrische systeem.

figuur 2 Werking en plaatsing opgedrukte stroom-systeem



Aangezien er bij IC geen metaalionen in het water komen is dit de meest milieuvriendelijke kathodische protectiemethode. Met het systeem kan ook on-line de staat van de coating gemeten worden. Ook de aangroei van organismen blijft beperkt, wat tot een lager brandstofgebruik leidt.

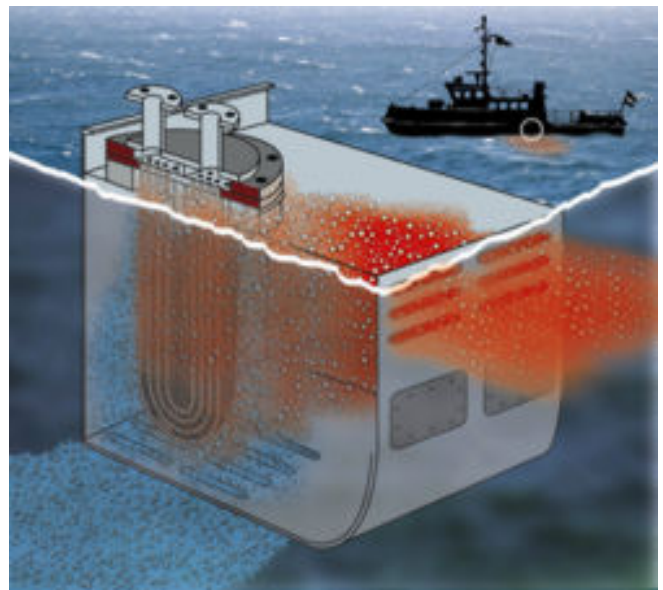
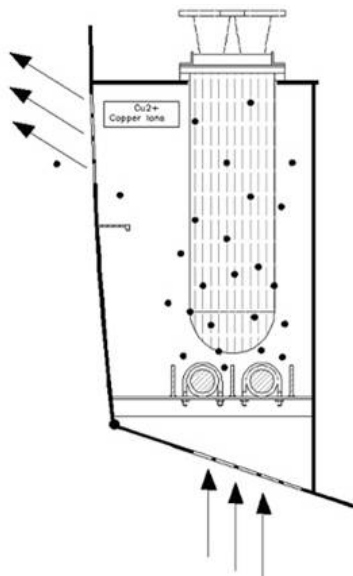
3.1.3 Ballasttanks

Uitgangspunt is dat er in de havens geen ballastwater wordt geloosd, maar dat dit buitengaats gebeurt. De emissie door anodes in ballasttanks is daarom voor havens op nul gesteld.

3.1.4 Elektrische anti-fouling in beunkoeling

In de beunkoeling van het schip zit de warmtewisselaar die er voor zorgt dat bepaalde systemen van een schip gekoeld worden (motor, elektrische systemen, generatoren, etc.). Koud zeewater stroomt via openingen in de huid van de boot de beunkoeling in, het water koelt

.....
figuur 3 Beunkoeling anti-fouling systeem op basis van koper en aluminium anode



de warmtewisselaar waarna het vervolgens opgewarmd weer naar buiten stroomt. In de beunkoeling worden zowel zinkanoden als aluminiumanoden geplaatst. Het IC-systeem zoals gebruikt voor de scheepsromp wordt niet in de beunkoeling gebruikt.

In de beunkoeling worden preventieve maatregelen genomen die voorkomen dat organisme aangroeien (anti-fouling). Eén van de methoden is het doseren van bepaalde. Een ander methode die veel wordt toegepast is een elektrisch systeem dat koper en aluminium in oplossing brengt. Het koper zorgt voor de anti-fouling, het aluminium zorgt er voor dat het koper beter werkt en dat corrosie in de beun wordt tegengegaan. Bij deze methode gaan grote hoeveelheden koper en aluminium in oplossing (zie figuur 3).

3.2 Maatregelen

Het overheidsbeleid is er op gericht de concentraties toxische stoffen te verlagen tot de streefwaarde. Daartoe moeten voor veel stoffen de emissies worden verlaagd. Tussen 1985 en 1995 moest de belasting van oppervlaktewater met koper 50% worden teruggebracht; die van cadmium met 70% (Noordzee actieplan). Deze doelen zijn ruimschoots gehaald. Voor cadmium, een prioritaire stof, is het streven naar minimalisering van de lozing. Zink, koper en cadmium zijn van belang voor de zoete oppervlaktewateren, vooral in verband met de verontreiniging van de waterbodem.

Hoewel cadmiumgehalten in zink de laatste jaren verlaagd zijn (0,001 – 0,005 %), geldt dit niet voor anodemateriaal. Hiervoor worden hogere gehalten gehanteerd [8, 9, 10]. Reden hiervoor is dat er kwaliteitseisen gesteld worden aan het anodemateriaal die verband houden met de samenstelling van de legering. Het gaat er daarbij om dat de anoden gelijkmatig corroderen. Cadmiumgehalten moeten daarom liggen tussen 0,025 – 0,07 %. Hogere gehalten kunnen voorkomen, indien het om minder consciëntieuze leveranciers gaat, maar cijfers ontbreken.

In OSPAR verband is in 1996 een rapport opgesteld [18] over de emissie van zink en cadmium uit anodes. Aanbevolen wordt daarin om de emissie te monitoren. Mocht er een toename in zinkgebruik worden geconstateerd, dan dienen met het oog op deze cadmium emissie aanvullende maatregelen in overweging te worden genomen.

De visserijbranche heeft op grote schaal gekozen voor de vervanging van anodes door IC-systemen. Belangrijk motief daarbij is dat anodes op de scheepshuid de vaarweerstand verhogen, resulterend in lagere vaarsnelheden en een hoger brandstofverbruik. Sinds 2000 is de aanschaf van IC-systemen in de visserij opgenomen in de VAMIL² regeling (een milieuregeling van VROM).

² Vamil staat voor willekeurige afschrijving milieu-investering. De VAMIL is door het Ministerie van VROM opgesteld.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de berekeningswijze die is toegepast om tot de emissieschatting te komen. In deze paragraaf wordt in algemene zin ingegaan op de gevolgde rekensystematiek. Vervolgens worden in de hoofdstukken 5, 7 en 8 de emissieverklarende variabele, de emissiefactoren en de emissies gepresenteerd.

4.1 Methode

De berekende emissie is het product van de emissiefactor (waarin de corrosiesnelheid van het betreffende anodemateriaal, de blootstellingtijd en de toepassingsfactor) en de emissieverklarende variabele (bestaande uit de totale natte oppervlakte van de zeeschepen op het NCP). De emissie wordt uitgedrukt in ton per jaar. De corrosiesnelheden die worden gebruikt in de berekeningen zijn overgenomen uit het rapport Uitloging anodemateriaal van zeeschepen dat in opdracht van RIZA door BECO in 2003 is opgesteld [2]. Voor het aantal bezoekende zeeschepen en visserijschepen is gebruik gemaakt van de CBS-database StatLine [3]. Het gemiddelde oppervlak van zee- en visserijschepen is afgeleid uit de verkeersdatabase bij het risicomodel SAMSON [5]. Dit model wordt gevuld met Lloyds-gegevens over het aantal schepen dat vaart op het NCP, onderscheiden naar type en gewichtsklasse.

4.2 Nat scheepsoppervlak

Het nat oppervlak van een schip is relatief nauwkeurig te berekenen. Om het nat oppervlak van een scheepsromp te berekenen is de formule van Denny-Mumford te gebruiken:

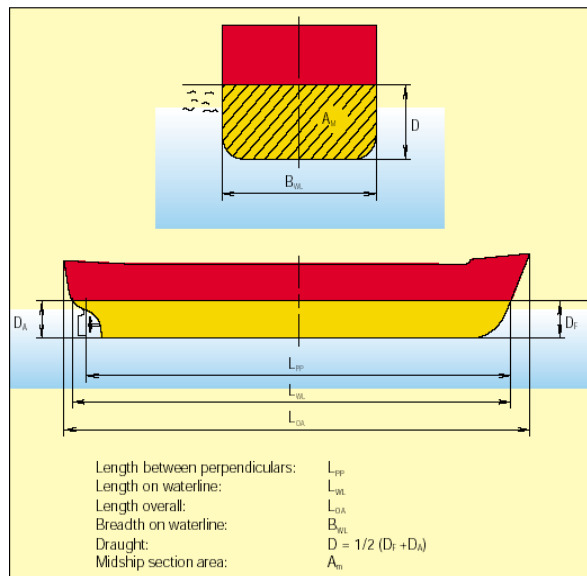
$$(1,7 * l * d) + (BC * l * b) = A$$

Waarbij:

Parameter	Eenheid	Uitleg
l	m.	Lengte tussen de twee loodlijnen (zie figuur 5)
d	m.	Verskil tussen min. en max. diepgang van het schip (zie figuur 5)
BC	--	Blok Coëfficiënt: factor om ronding van vorm van schip te corrigeren (zie tabel 2)
b	m.	Breedte
A	m ³	Nat oppervlak van het schip

Formule 1
Berekening nat scheepsoppervlak

figuur 4 Scheepsromp afmetingen



De blokcoëfficiënt corrigeert het oppervlak voor de scheepsvorm. Kleine slanke schepen hebben een kleiner onderwaterschip dan grote. De blokcoëfficiënt is een getal tussen 0,7 en 0,9. De in de berekening gebruikte blokcoëfficiënten zijn weergegeven in tabel 1 [2,5].

Tabel 1
Blokcoëfficiënt

Scheepstype	CB
Lichters	0,90
Bulk carrier	0,85
Tanker	0,85
Algemene lading	0,75
Containerschip	0,70
Veerboot	0,70

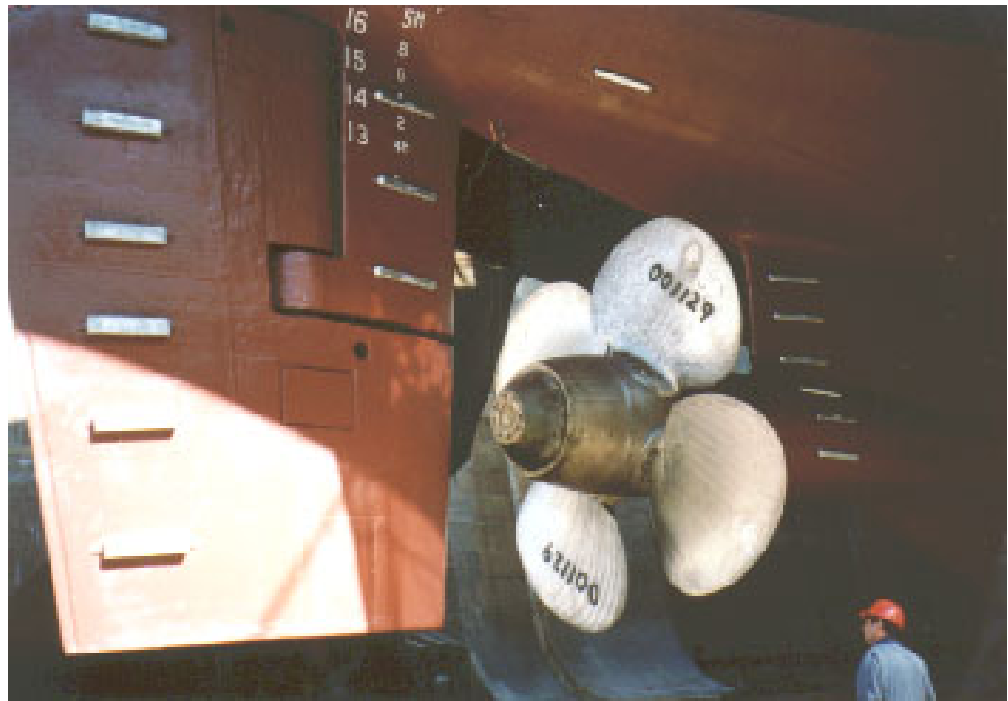
De formule van Eddy-Mumford berekent het nat oppervlak dat behoort bij de ontwerpdiepgang van het schip. Dat is de diepgang bij maximale belading. Het totale natoppervlak per type schip varende op het NCP kan berekend worden met behulp van de gegevens uit het risicomodel SAMSON. Het gemiddeld onderwateroppervlak van de zeeschepen op het NCP bedraagt conform bovenstaande berekeningswijze afgerond ca. 4400 m². Van het gemiddelde onderwateroppervlak van visserijsschepen in Nederlandse havens bevat de verkeersdatabank van SAMSON geen gegevens. Wel is de lengte van de schepen bekend. Door gebruik te maken van de aannames die in de Mam-Pec-studie worden gebruikt voor de berekening van het onderwateroppervlak (de diepte van een schip bedraagt 5% van de lengte en de breedte van een schip bedraagt 15% van de lengte) kan het onderwateroppervlak voor de visserijsschepen worden berekend. Ook dit onderwateroppervlak is gecorrigeerd voor de vorm (blokcoëfficiënt). Het gemiddelde onderwateroppervlak van visserijsschepen bedraagt ca. 553 m².

4.3 Corrosiesnelheid

Bij het ontwerp van het zgn. anodeplan of kathodische beschermingsplan (KB-plan) voor het schip wordt o.a. rekening gehouden met de corrosiegevoeligheid van het type schip en van de afzonderlijke scheepsonderdelen. Rondom de schroef en op het roer worden bijvoorbeeld relatief veel meer anodes aangebracht dan op de rest van het schip (zie figuur 5).

Bij het ontwerp wordt uitgegaan van aanbevolen elektrische stroomdichtheden per m² (i_c) om corrosie tegen te gaan [7, 9, 11]. Uit deze stroomdichtheden volgt het aantal te plaatsen anodes. Voor kaal staal geldt in het Noordzeewater dat de elektrische stroomdichtheid ca. 85 mA/m² moet bedragen om corrosie tegen te gaan. Dit geldt bij een temperatuur tussen de 5°C en 20°C (fluctuatie in Noordzee tussen 1990 en 1999, met een gemiddelde van 11,8°C) en een diepte tussen de 0 en 30 meter.

Figuur 5
Anodes op het roer en rondom schroef



De hoeveelheid anodemateriaal dat oplost in het water in bijvoorbeeld een jaar tijd kan worden berekend uit de stroomdichtheid en de elektrische capaciteit van het anodemateriaal met behulp van de formule van Dwight. Deze formule:

Formule 2
Formule van Dwight voor de berekening van het benodigde aantal anodes op een schip

$$\left(\frac{((A * i_c) / 1000) * t}{\epsilon * u} \right) * a_m = m$$

Waarbij:

Parameter	Eenheid	Uitleg
M	Kg	Hoeveelheid anodemateriaal dat corrodeert in t uren
A	m ²	Nat oppervlakte
i_c	mA/m ²	Benodigde elektrische stroomdichtheid
T	Uren	Verblijftijd in het water in uren

ε	Ah/kg	Elektrische capaciteit anode in zeewater
U	Factor	Utilization factor, voor emissieberekeningen is $u=1$ Fractie die het gebruikte anodemateriaal (zink of aluminium)
a_m	Factor	uitmaakt t.o.v. totaal gebruik aan anodes (totaal aan zink en aluminium anodes)

De elektrische capaciteit van een zinkanode in zeewater is 780 Ah/kg (Ampère-uur per kilogram zinkanode), voor een aluminiumanode is dit 2.600 Ah/kg. De utilization factor wordt gebruikt om een extra marge te introduceren voor het gebruik van anodes. Uitgaande van een bepaalde levensduur, bijvoorbeeld 2 jaar, wordt door een utilization factor van 0,9 een theoretische overcapaciteit van ca 10 % verkregen. Voor emissieberekeningen is de utilization factor 1. De factor a_m geeft de fractie zink of aluminium ten opzichte van het totale anodegebruik in de zeevaart of visserij.

Formule 2 (Dwight formule) geeft in combinatie met de aanbevolen stroomdichtheden de mogelijkheid het aantal anodes te berekenen, maar ook om de corrosiesnelheid te bepalen. Uit de Dwight formule kan de formule voor de corrosiesnelheid in $\mu\text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{dag}$ direct worden afgeleid. Deze ziet als volgt uit:

.....
Formule 3
Formule voor het berekenen van de
corrosiesnelheid van anodes

$$\left(\frac{i_c * 2400}{\varepsilon} \right) = \text{corrosiesnelheid}$$

Uit de literatuur blijkt dat de corrosiesnelheid in havens een factor 3 tot 5 lager is dan tijdens de vaart [12]. Voor de berekening van de corrosiesnelheid in havens is de emissiefactor daarom met een factor 4 verlaagd ten opzichte van die tijdens de vaart. De uitkomsten van deze exercitie staan in tabel 2 [1, 12].

.....
Tabel 2
Corrosiesnelheid per type schip

Type schip	Stroomdichtheid i_c in mA/m^2	corrosiesnelheid in $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{dag}$	
		zink	aluminium
Zeeschepen	3,8	11,5	3,3
Vissersschepen	6,3	19,3	5,6

4.4 Elektrische antifouling systemen in de beunkeoling

De beunkeoling geeft bij toepassing van elektrische anti-fouling systemen eveneens emissies naar water. De vloot van Directie Noordzee van Rijkswaterstaat vervangt elke twee jaar per schip gemiddeld 100 kg van deze anoden. Het is niet bekend hoeveel schepen dergelijke systemen toepassen. Als eerste schatting is in dit document 50 % van de schepen aangehouden.

5

Emissieverklarende variabele

5.1 Bepaling met behulp van statistische gegevens

In tabel 3 staat het natte oppervlak van de zeeschepen en vissersschepen dat zich op elk moment op het Nederlands Continentaal Plat bevindt. Deze informatie is afkomstig van de verkeersdatabase over het jaar 2000 van het risicomodel SAMSON [5]. Hieruit is een gemiddeld oppervlak per zeeschip of vissersschip berekend door te delen door het aantal schepen dat op elk moment op het NCP aanwezig is.

Tabel 3
Berekening gemiddeld scheepsoppervlak uit SAMSON

Zeeschepen		Visserij	
Tonnage	Oppervlak m2	Tonnage	Oppervlak m2
100 – 500	1474	< 50	11370
500 - 1.000	9267	50 - 100	18790
1.000 - 1.600	28718	100 - 500	31133
1.600 - 10.000	294572	500 - 1.000	3717
10.000 - 30.000	252202	1.000 - 1.600	148
30.000 - 60.000	165631	> 1.600	392
60.000 - 100.000	45191		
> 100.000	11031		
Totaal	808087		65551
Gemiddeld oppervlakte in m2 per schip	4415,89		553,34

In tabel 4 staat het totaal aantal bezoekende zee- en vissersschepen. De informatie is afkomstig van het CBS [3].

Tabel 4
Aantal bezoekende zeeschepen

Jaar	Aantal bezoekende zeeschepen	Aantal vissersschepen***
1990	45.920*	639
1993	42.168*	563
1994	43.835*	573
1995	44.056*	581
1996	42.830	557
1997	42.681	543
1998	42.401	546
1999	43.136	540
2000	43.406	528
2001	42.858	523
2002	42.377**	515**

* Omdat de Statline database van het CBS geen gegevens bevat van voor 1996 zijn deze cijfers verkregen uit bijschatting van reeds bekende cijfers uit de factsheet 'Uitloging van zeeschepen in havens' [6]. De bijschatting bedraagt het aantal bezoeken, geschat op basis van de verschillen tussen de cijfers van de Statline database en de factsheet over de jaren 1996-2000.

* *Het jaarcijfer voor bezoekende zeeschepen over 2002 is geschat aan de hand van beschikbare cijfers over de eerste drie kwartalen van dat jaar. Het jaarcijfer voor het aantal vissersschepen over 2002 is nog niet bekend en is daarom gebaseerd op een extrapolatie van de cijfers van voorgaande jaren.

** Het totaal van het aantal kotters, trawlers, mosselschepen, kokkelschepen, en overige schelpdierschepen.

Bovenstaande cijfers zijn opgebouwd uit de totalen van de cijfers voor de Nederlandse zeehavens. Dat totaal is hoger dan het jaartotaalcijfer dat het CBS publiceert, omdat een schip meerder havens kan bezoeken. In bovenstaande cijfers zijn alle bezoeken meegeteld. De gegevens gaan terug tot het jaar 1996. Van eerdere jaren publiceert het CBS geen online gegevens en zijn bijschattingen gemaakt op basis van aanwezige literatuur (zie het bijschrift bij tabel 2).

De volgende havens zijn meegenomen: Amsterdam, Delfzijl en Eemshaven, Dordrecht, Harlingen, IJmuiden, Klundert, Moerdijk, Rotterdam, Scheveningen, Terneuzen, Vlaardingen, Vlissingen, Zevenbergen en Zaanstad.

5.2 Tijdreeks 1990 tot heden

Uit tabel 3 en 4 is de emissieverklarende variabele voor de jaren 1990 tot heden berekend. De resultaten staan in tabel 5. Het betreft het totale oppervlak van alle bezoekende schepen. Voor de beunskoeling is de emissieverklarende variabele het aantal zeeschepen dat gemiddeld per dag in de Nederlandse havens aanwezig is.

Tabel 5
Emissie verklarende variabelen voor de jaren
1990 t/m 2002

Jaar	Zeeschepen		Vissersschepen	
	Gemiddeld aantal per dag	Nat oppervlak m ²	Gemiddeld aantal per dag	Nat oppervlak m ²
1990	194	202777718	143	353582
1993	178	186209295	129	311528
1994	185	193570585	126	317062
1995	186	194546497	130	321488
1996	181	189132615	125	308208
1997	180	188474647	122	300462
1998	179	187238198	123	302122
1999	182	190483877	121	298802
2000	183	191676168	118	292162
2001	181	189256260	117	289395
2002	179	187132216	116	284968

5.3 Jaarlijkse bepaling

5.3.1. Bron voor jaarlijkse actualisatie

Voor het aantal bezoekende schepen en de omvang van de visserijvloot is het CBS de bron voor de jaarlijkse actualisatie.

De actualisatie van de berekende emissies kan eenvoudig worden uitgevoerd op basis van recente jaarcijfers van het aantal bezoeken zee- en visserij-schepen. Deze cijfers worden jaarlijks gepubliceerd door het CBS.

5.3.2. Beschrijving data-aanvoerroute

De data van het CBS kunnen op twee manieren worden verkregen. De eerste manier is gebruikmaking van de helpdesk van het CBS. Hier kunnen zowel telefonisch als per mail vragen worden gesteld over gepubliceerde cijfers. De andere manier is het gebruikmaken van de database StatLine van het CBS. Deze database is benaderbaar via het internet. De benodigde gegevens komen uit de hoofdgroep "Bedrijfsleven" en vervolgens de groep "Verkeer, vervoer en communicatie", vervolgens de groep "Personen- en goederenvervoer". Selecteer uit deze groep de "zeevaart" en vervolgens "zeevaart, kwartaalcijfers". Om de juiste cijfers te verkrijgen dient in het tabblad "Periodes" de jaartotalen van 1996 t/m 2002 te worden geselecteerd en uit het tabblad "Belangrijkste Nederlandse havens" alle afzonderlijke zeehavens. Kies in het tabblad "Belangrijkste Nederlandse havens" niet voor "Nederland totaal". Daarin zijn de doublures niet meegenomen. Voor de visserijvloot dient de hoofdgroep "Bedrijfsleven" geselecteerd te worden en vervolgens de groep "Landbouw en visserij". Kies daarna voor "Visserij". Selecteer uit deze groep de "Zee- en kustvisserij". Om de juiste cijfers te verkrijgen dient in het tabblad "Onderwerpen" te worden gekozen voor "Vloot" en daarna voor "Aantal schepen". Alle types dienen geselecteerd te worden. Selecteer in het tabblad "Periodes" de gewenste jaren.

Aan het gebruik van de database en de helpdesk zijn geen kosten verbonden. StatLine bevat voor de zeevaart geen cijfers ouder dan 1996. Deze kunnen worden opgevraagd via de informatiedesk.

5.3.3. Bron voor periodiek data

Voor de berekening van het onderwateroppervlak is de verkeersdatabase van het risicomodel SAMSON de bron voor periodieke actualisatie. Voor het berekenen van het nat oppervlak van de schepen is gebruik gemaakt van de gegevens van de verkeersdatabase van SAMSON. De basisgegevens voor de verkeersdatabase over het jaar 2000 zijn afkomstig van Lloyds. Deze basisgegevens zullen mogelijk, gezien de hoge kosten, slechts periodiek worden aangekocht. Verwacht wordt dat vernieuwing van de Lloyds-database niet zal leiden tot grote veranderingen van het nat oppervlak, maar zeker is dat niet. De

database is verkrijgbaar bij Lloyds. De Lloyds-gegevens worden door het Marin omgewerkt tot een verkeersdatabase. De verkeersdatabase is verkrijgbaar bij het Marin of bij AVV (E. Bolt). Liefst eens per jaar zal er een nieuwe verkeersdatabase moeten worden opgesteld aan de hand van de Lloyds-database.

6

Aard van de emissiebron

De emissiebron, de anode, heeft het karakter van een puntbron. In feite bezit elk schip een aantal puntbronnen en daarbij verplaatsen schepen zich ook nog. Omdat dit protocol ingaat op schepen in havens is het geheel te beschouwen als een meervoudige oppervlaktebron ter grootte van de havenbekkens.

7.1 Emissiefactoren

De emissiefactor voor de scheepshuid is opgebouwd uit de corrosiesnelheid van het anodemateriaal en de factoren blootstellingtijd en de mate van toepassing van het betreffende anodemateriaal (zink of aluminium).

Voor het onderdeel beunkeeling bestaat de emissiefactor uit het verbruik aan anodemateriaal gedurende een jaar en een toepassingsvariabele van het betreffende anodemateriaal (koper of aluminium).

7.1.1. De corrosiesnelheid

In tabel 2 in hoofdstuk 4.3 zijn de berekende corrosiesnelheden voor zeeschepen en vissersschepen in de Nederlandse havens weergegeven.

7.1.2. Blootstellingtijden

In de berekeningen wordt verder uitgegaan van een gemiddelde verblijftijd van de zeeschepen in de haven van 1,5 dag. Deze gegevens zijn afkomstig van tellingen die zijn uitgevoerd in de Rotterdamse en Amsterdamse havens. Gemiddeld wordt er 3 uur besteed aan het manoeuvreren van de schepen [15].

Van de visserijvloot wordt aangenomen dat de schepen i.v.m. vangstquota en onderhoud ca. 3 maanden van het jaar niet uitvaren. Van de overige negen maanden wordt aangenomen dat de schepen alleen het weekend in de haven liggen. In totaal liggen de schepen dan 169 dagen per jaar in de haven. De Verenigde Nederlandse Visserijcoöperaties te Urk gaat uit van een verblijftijd in havens van ca. 3 dagen per week [14]. In de berekening wordt 160 dagen aangehouden. De manoeuvreertijd in havens door visserij schepen wordt als nihil verondersteld.

7.1.3. Toepassingspercentages

In de praktijk worden zink en aluminium anoden gebruik. Daarnaast wordt het zgn. IC systeem gebruikt, waarbij geen emissie optreedt. De verhouding in het gebruik op de buitenkant van zeeschepen is als volgt [2]:

- 70,0 % Zinkanoden;
- 12,5 % Aluminiumanoden;
- 17,5 % ICCP systemen.

Voor vissersschepen ligt de verhouding van gebruikte kathodische beschermingsmethode anders dan bij andere zeeschepen. Het ICCP systeem wordt in 70% van de gevallen gebruikt. De verdeling bij vissersschepen is [2]:

- 20 % Zinkanoden;
- 10% aluminiumanoden.
- 70 % ICCP systemen.

Voor de beunkeeling is geen goed inzicht beschikbaar. Voor een eerste schatting is uitgegaan van de volgende verdeling:

- 50 % geen anoden;
- 25 % zink;
- 25 % aluminium.

7.1.4. Emissiefactoren

De emissiefactoren voor zeeschepen en vissersschepen staan in tabel 6:

.....
Tabel 6
Emissiefactoren voor anodes aan de
buitenkant van het schip

Type schip	corrosiesnelheid in $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{dag}$		Blootstelling Dagen/jaar	toepassingsfactor		Emissiefactor g/m^2	
	Zink	aluminium		zink	aluminium	zink	aluminium
Zeeschepen	11,5	3,3	1,5	0,7	0,125	12,08	0,62
Vissersschepen	19,3	5,6	160	0,2	0,1	616,00	88,80

7.2 Tijdreeks van 1990 tot heden

Voor de trend in de emissiefactoren is nader onderzoek nodig. Het gaat daarbij vooral om de mate van toepassing van materialen. Omdat dit de eerste keer is dat de emissieschatting voor deze categorie wordt gemaakt, is hier nog geen aandacht aan besteed. Dat betekent dat voor de jaren 1990 tot heden steeds is uitgegaan van de emissiefactoren in tabel 6.

7.3 Jaarlijkse bepaling

Er zijn geen eerdere schattingen voor de emissie van zink afkomstig van de corrosie van anodemateriaal op zeeschepen en vissersschepen in havens. In de komende jaren kan aandacht geschonken worden aan de trend in de toepassing van de soort kathodische bescherming (zink, aluminium, IC-systemen) maar ook aan de wijze waarop met ballastwater wordt omgegaan en een nadere detaillering met betrekking tot de toepassing van elektrische anti-fouling systemen in beunkeeling van schepen.

8.1 Emissiecijfers 2002

De emissies in het jaar 2002 afkomstig van anodes op zeeschepen en vissersschepen in de Nederlandse havens staan in onderstaand tabel.

Tabel 7
Emissies afkomstig van anodes op zeeschepen en vissersschepen in de Nederlandse havens

Zeevaart en/of visserij	Emissie in 2002 Ton/jaar			
	Buitenkant schip			
	Zink	aluminium	cadmium	
Zeeschepen	22,67	1,21	0,0113	
Vissersschepen	13,99	1,33	0,0070	
subtotaal	36,67	2,54	0,0183	
	Emissies vanuit beunkoeling door elektrische antifouling			
	zink	aluminium	cadmium	koper
Zeeschepen		2,18		2,18
Vissersschepen		2,98		2,98
subtotaal		5,16		5,16
Totaal	36,67	7,63	0,0183	5,16

8.2 Emissie sinds 1990

In de bijlagen staan de emissies door anodes op zeeschepen en vissersschepen in de Nederlandse havens voor de jaren 1990 t/m 2002.

8.3 Verschil in Methode

Van de emissies door anodes op zeeschepen en vissersschepen in de Nederlandse havens zijn eerder geen schattingen opgenomen. De hier toegepaste methode is voor de anodes gebaseerd op de berekeningsmethode voor het plaatsten van anodes op schepen die in de praktijk veel wordt toegepast. Voor de beunkoeling is een grove benadering gebruikt, gebaseerd op mondeling verkregen informatie.

8.4 Verschil in cijfers

Er zijn geen eerdere cijfers bekend voor de emissies van zink, koper, aluminium en cadmium op het NCP vanuit deze sector.

De kwaliteit van de gegevens kan worden uitgedrukt volgens de classificatiesystematiek die wordt gebruikt in de publicatiereeks Emissieregistratie [16]. Deze werkwijze is gebaseerd op de methodiek van CORINAIR (COre emission INventories AIR).

Hierbij worden de volgende kwaliteitsclassificaties aangehouden:

- A: een getal gebaseerd op een groot aantal metingen aan representatieve locaties;
- B: een getal gebaseerd op een aantal metingen aan een deel van de voor de sector representatieve locaties;
- C: een getal gebaseerd op een beperkt aantal metingen, aangevuld met schattingen op basis van de technische kennis van het proces;
- D: een getal gebaseerd op een gering aantal metingen, aangevuld met schattingen op basis van aannames;
- E: een getal gebaseerd op een technische berekening op basis van een aantal aannames.

Het aantal zee- en vissersschepen op het NCP wordt zorgvuldig bijgehouden, wat een classificatie A voor dat deel van de emissieverklarende variabele oplevert. Het nat oppervlak van de schepen op het NCP betreft een modelmatige schattingen. Totaal levert dit een voor de emissieverklarende variabele een classificatie B op.

De emissiefactoren zijn gebaseerd op aanbevelingen die vanuit technische kennis en praktijkervaring zijn opgesteld. Op grond hiervan wordt voor de emissiefactoren de classificatie C aangehouden.

De verdeling van de emissies over de verschillende compartimenten en de emissieroutes naar water zijn duidelijk geheel naar oppervlaktewater, zodat hiervoor de categorie A wordt gehanteerd.

Onderdeel emissieberekening	Classificatie
Emissieverklarende variabele	B
Emissiefactoren	C
Verdeling compartimenten	A
Emissieroute naar water	A

10.1 Zwakke punten

Er zijn geen goede gegevens over de trends in de toepassing van de verschillende alternatieven voor kathodische bescherming, te weten de keuze voor zink, aluminium of ICCP. Dit geldt ook voor de mate waarin ballastwater wordt gewisseld op het NCP. De emissie cijfers als gevolg van de toepassing van elektrische antifouling systemen in beunkeoling is gebaseerd op summiere gegevens.

Gegevens over het aantal schepen op het NCP en hun onderwateroppervlak is slechts bekend voor het jaar 2000 afkomstig van de Lloyds database. Om toch cijfers te kunnen presenteren voor de jaren 1990 tot 2002 is van een constant gemiddeld oppervlak (nl. dat van het jaar 2000) per schip uitgegaan.

De cijfers van zowel het CBS als van Lloyds worden als betrouwbaar gezien. Het is echter niet zeker of de gegevens over de schepen op het NCP direct vertaalbaar zijn voor de schepen in de havens.

10.2 Belangrijkste verbeterpunten

Het voorgaande geeft reeds aan dat de belangrijkste verbeterpunten zijn (in volgorde van belangrijkheid):

- er dient te worden bezien of er jaarlijks een nieuwe verkeersdatabase kan worden aangemaakt door het Marin. Hiervoor dient een Lloyds verkeersbestand te worden aangekocht dat dient te worden omgewerkt tot een verkeersdatabase. Aankoop en verwerking kosten naar verwachting enkele maanden. De kosten voor de database van Lloyds zijn ongeveer €28.000. De kosten voor het omwerken van de gegevens tot een verkeersdatabase bedragen ongeveer €14.000;
- In een volgend jaar kan een onderzoek naar de trend in het gebruik van de verschillende soorten kathodische bescherming in de tijd worden opgezet;
- Ook kan gepoogd worden een beter beeld te verkrijgen van het wisselen van ballastwater op het NCP en van de emissies via het beunkeelwater door de toepassing van koper en aluminium anodes.

Regionalisatie van de berekende emissies voor de zeescheepvaart kan worden uitgevoerd aan de hand van onderstaande tabel. De tabel geeft het aantal bezoeken zeeschepen per haven weer. Voor de jaren van voor 1996 is deze statistiek niet beschikbaar. De statistiek is ook niet beschikbaar voor visserijschepen.

Tabel 8
Bezoeken zeeschepen naar regio

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002*
Amsterdam	4014	4522	3818	3951	4383	4655	3090
Delfzijl en Eemshaven	1039	889	909	836	989	1042	853
Dordrecht	1025	988	966	815	800	721	610
Harlingen	190	314	323	311	263	207	198
IJmuiden	1380	1485	1626	1575	1516	1520	1181
Klundert	730	-	-	-	-	-	-
Moerdijk	-	-	-	1160	1317	1214	973
Rotterdam	25078	24768	25066	25846	25932	25095	18627
Scheveningen	877	967	1153	1196	1193	1252	927
Terneuzen	1838	2073	1732	1856	1718	1876	1553
Vlaardingen	1117	987	936	860	824	569	426
Vlissingen	3527	2928	2978	3207	2922	3370	2370
Zevenbergen	-	920	1101	-	-	-	-
Zaanstad	397	328	316	295	230	177	111
Overige havens	1618	1512	1477	1234	1319	1160	864

* alleen de eerste drie kwartalen

Uit de cijfers kan worden afgeleid dat ongeveer 60% van de emissies in de Rotterdamse haven plaatsvindt, 10% in de Amsterdamse haven en 7% in de haven van Vlissingen. De regionalisatie is in deze notitie niet verder uitgewerkt.

1. Kuiper, P.J.C. (2003) *EMS-protocol Emissies door Zeevaart en Visserij, Anodes op schepen op het Nederlands Continentaal Plat*. RIZA-werkdocument nr. 2003.152X. (zie elders in Deel I)
2. Willems, M et al. (2003) *Uitloging van anodemateriaal van zeeschepen*. BECO Groep BV, Rotterdam. (zie Deel II)
3. Centraal Bureau voor de Statistiek. (2003) *Elektronische database Statline*. Internetapplicatie.
4. Hattum, B. van, Baart, A.C., Boon, J.G. (2002) *Computer model to generate predicted environmental concentrations (PECs) for antifouling in the marine environment, 2nd edition accompanying the release of Mam-Pec version 1.4*. rapportnr. E-02-04 / Z3117. IVM, Amsterdam | WL, Delft.
5. Glansdorp, C.C., Tak, C. van der. (1993) *Modellering van de functie "scheepvaart" in het MANS-project*. MARAN&MSCN.
6. Roovaart, J.C. van den. (2002) *Uitloging zeeschepen in havens*. RIZA-werkdocument nr. 2001.088X, volgnr. 3.
7. Norsok. (1997) *Norsok Standard M-503 Cathodic protection*
8. Nederlands Normalisatie-instituut (1996). NEN-EN 12496 "Opofferingsanoden voor kathodische bescherming in zeewater",
9. Det Norske Veritas (1993) *DNV RP B401 Recommended Practice Cathodic Protection Design*
10. U.S. Military Specification (1987). MIL-A-18001J "Anodes, Corrosion Preventive, Zinc; Slab, Disc and Rod Shaped"
11. British Standard, (1991) *BS 7361 Cathodic Protection, Part.1 Code of practice for land and marine applications*
12. Environmental Protection Agency. (1996) *Nature of discharge report "Cathodic Protection"*
13. Meilier, A. *A review of galvanic anode cathodic protection design procedure*
14. Persoonlijke mededeling van de heer Visser van de Verenigde Visserijcoöperatie te Urk.

-
15. Willemsen P.R., Ferrari, G.M. (1992) *Emissies van organotin naar Nederlandse oppervlaktewateren*. TNO-rapport, rapportnr. C 92.1003.
 16. Harmelen, A.K. van et al. November 2001. *Emissie-monitor, jaarcijfers 1999 en ramingen 2000 voor emissies en afval*. Rapportage reeks milieumonitor nr. 2.
 17. Wulffraat, K.J. et al (1993). *De belasting van de Noordzee met verontreinigende stoffen 1980 – 1990*. Rapport DGW 93-037.
 18. OSPAR (1992). *Zinc inputs to the environment from sacrificial anodes used offshore and inland*.

Bijlage A Anodes op het onderwaterschip

Zeeschepen

Jaar	Aantal zeeschepen	Zink anodes			Aluminium anodes	
		Toepas %	Emissie zink (ton)	Emissie cadmium (ton)	Toepas %	Emissie aluminium (ton)
1990	45.920	70	24,57	0,0123	12,5	1,32
1993	42.168	70	22,56	0,0113	12,5	1,21
1994	43.835	70	23,45	0,0117	12,5	1,26
1995	44.056	70	23,57	0,0118	12,5	1,26
1996	42.830	70	22,91	0,0115	12,5	1,23
1997	42.681	70	22,83	0,0114	12,5	1,22
1998	42.401	70	22,68	0,0113	12,5	1,22
1999	43.136	70	23,08	0,0115	12,5	1,24
2000	43.406	70	23,22	0,0116	12,5	1,24
2001	42.858	70	22,93	0,0115	12,5	1,23
2002	42.377	70	22,67	0,0113	12,5	1,21

Visserij

Jaar	Aantal zeeschepen	Toepas %	Emissie zink (ton)	Emissie cadmium (ton)	Toepas %	Emissie aluminium (ton)
1990	639	20	17,36	0,0087	10	1,56
1993	563	20	15,30	0,0076	10	1,38
1994	573	20	15,57	0,0078	10	1,40
1995	581	20	15,79	0,0079	10	1,42
1996	557	20	15,14	0,0076	10	1,36
1997	543	20	14,76	0,0074	10	1,33
1998	546	20	14,84	0,0074	10	1,34
1999	540	20	14,67	0,0073	10	1,32
2000	528	20	14,35	0,0072	10	1,29
2001	523	20	14,21	0,0071	10	1,28

Totaal zeescheepvaart en visserij

Jaar	Zink (ton)	Cadmium (kg)	Aluminium (ton)
1990	41,93	1,26	2,88
1993	37,86	1,14	2,59
1994	39,02	1,17	2,66
1995	39,36	1,18	2,68
1996	38,05	1,14	2,59
1997	37,59	1,13	2,55
1998	37,52	1,13	2,55
1999	37,75	1,13	2,56
2000	37,57	1,13	2,54
2001	37,14	1,11	2,51
2002	36,67	1,10	2,47

Bijlage B Emissies door elektrische antifouling in beunkeelers

Jaarreeks 1990 – 2002

Emissies door elektrische antifouling in beunkeeling

Zeescheepvaart			
Jaar	Aantal	Emissie Cu (ton)	Emissie aluminium (ton)
1990	188,71	2,36	2,36
1993	173,29	2,17	2,17
1994	180,14	2,25	2,25
1995	181,05	2,26	2,26
1996	176,01	2,20	2,20
1997	175,40	2,19	2,19
1998	174,25	2,18	2,18
1999	177,27	2,22	2,22
2000	178,38	2,23	2,23
2001	176,13	2,20	2,20
2002	174,15	2,18	2,18

Visserij			
Jaar	Aantal	Emissie Cu (ton)	Emissie aluminium (ton)
1990	280,11	3,50	3,50
1993	246,79	3,08	3,08
1994	251,18	3,14	3,14
1995	254,68	3,18	3,18
1996	244,16	3,05	3,05
1997	238,03	2,98	2,98
1998	239,34	2,99	2,99
1999	236,71	2,96	2,96
2000	231,45	2,89	2,89
2001	229,26	2,87	2,87
2002	225,75	2,82	2,82

Zeescheepvaart en visserij: emissies door elektrische antifouling in beunkeeling

Totaal	Emissie koper (ton)	Emissie aluminium (ton)
1990	5,86	5,86
1993	5,25	5,25
1994	5,39	5,39
1995	5,45	5,45
1996	5,25	5,25
1997	5,17	5,17
1998	5,17	5,17
1999	5,17	5,17
2000	5,12	5,12
2001	5,07	5,07
2002	5,00	5,00
