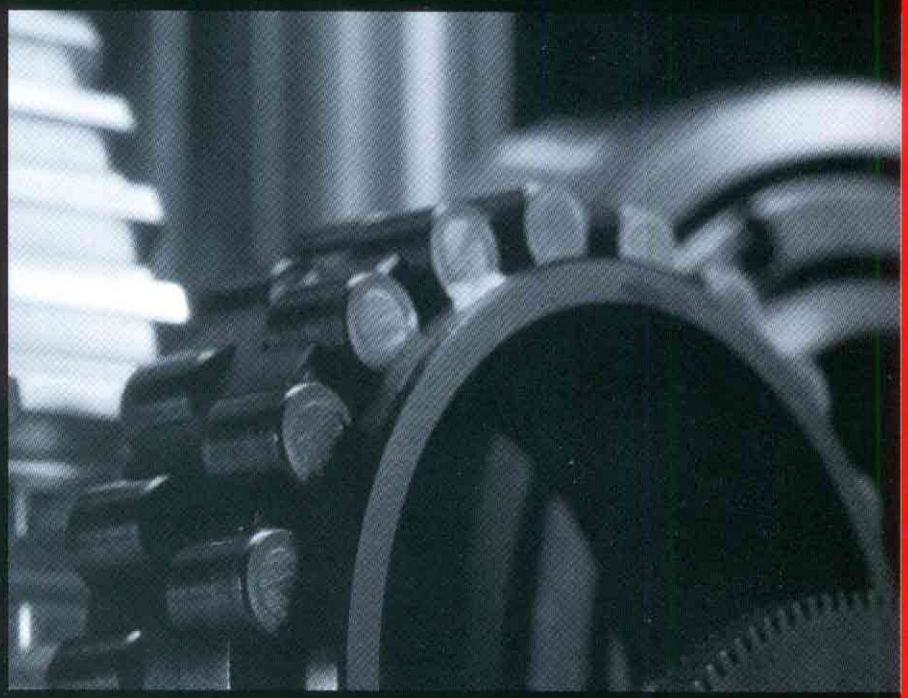
procesbeschrijvingen industrie

Scheepswerven



Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
RIZA

rivm
onderzoek in dienst
van mens en milieu
RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEUHYGIENE

spin

Samenwerkingsproject
Procesbeschrijvingen
Industrie Nederland

SCHEEPSWERVEN

Samenwerkingsproject
Procesbeschrijvingen
Industrie
Nederland

RIVM (rapportnr. 773006148), RIZA (notanr. 92.003/48) en DGM

Auteurs : L. Verstappen (Tebodin) en C.H.A. Quarles van Ufford (RIVM/LAE)

Basisjaar : 1990/1992
Datum publikatie : april 1993

INHOUD

1. Beschrijving bedrijfstak 1

2. Procesbeschrijving en bronnen van emissies 5

3. Emissies en afval 9

4. Energiefactoren 15

5. Mogelijkheden voor emissiebeperking en energiebesparing 16

6. Onderzoek naar schone processen 18

7. Normstelling en vergunningssituatie 19

8. Referenties 20

Bijlage: Berekening luchtemissies PAK tijdens het teren van schepen op de werf. 22

1. BESCHRIJVING BEDRIJFSTAK

Scheepswerven vallen onder de SBI-code 37.4

De bedrijfstak scheepswerven wordt in de volgende categorieën onderverdeeld (tussen haakjes staan de aantallen per type werf vermeld):
1. - overdekte nieuwbouw zeegaande schepen (12);
2. - niet of deels overdekte nieuwbouw zeegaande schepen (15);
3. - reparatie zeegaande schepen, werven met dokken (17);
4. - reparatie zeegaande schepen, met hellingen (3);
5. - binnenvaartwerven, nieuwbouw en reparatie (144).

In Nederland zijn volgens de Internationale Vereniging Het Rijnschepenregister ongeveer 7850 binnenvaartschepen in de vaart (maart 1989). Deze schepen worden gemiddeld eens in de drie jaar op een werf behandeld.

Er bestaan in Nederland circa 30 werven voor de bouw van zeeschepen, 20 voor de reparatie van zeeschepen, 150 voor de bouw of reparatie van binnenvaartschepen, visserijschepen en kleine bedrijfsvaartuigen en 15 grote jachtwerven, die zijn ingericht voor de bouw of reparatie van schepen met een lengte van 25 meter of meer (grens voor categorie-A inrichtingen, Wet geluidhinder; VROM/Tebodin, 1989). De kleinere werven vallen, evenals de jachtwerven buiten het bestek van dit rapport.

Beknopte typering van de belangrijkste activiteiten per type werf:
ad 1. Staalplaten worden in een gesloten ruimte gestraald (gerecirculeerd via cycloon) en in de primer gezet (lucht wordt gefilterd). Staalplaten worden vervolgens in de scheepsbouwloods afgeschreven en aaneen gelast. Het schip wordt op de helling afgebouwd en geverfd, verdere afbouw vindt plaats na de tewaterlating.
ad 2. Met primer bewerkte staalonderdelen worden per vrachtauto aangeleverd. Lassen van segmenten gebeurt vaak in een loods. De afwerking op de helling of te water vindt buiten plaats.
ad 3. Schepen worden in het dok met een hogedruk-waterspuit gereinigd, olieranden worden verwijderd, vervolgens wordt het schip gestraald en gespoten. Las- en andere werkzaamheden kunnen zowel op de dokvloer plaatsvinden als aan boord. Onderdelen worden elders op het werfterrein behandeld.
ad 4. De werkzaamheden komen overeen met 3, het schip staat nu echter meestal op de helling en zodoende gedeeltelijk boven het oppervlaktewater. Stralen wordt minder toegepast, verven gebeurt hier deels met de roller. 30% van de werkzaamheden wordt gevormd door nieuwbouw.
ad 5. Van de activiteiten bestaat 60% uit nieuwbouw en 40% uit reparatie. Deze werven beschikken meestal over een overdekte bouwhelling en een niet overdekte helling voor reparatie.

Op de werven vindt een groot aantal uiteenlopende activiteiten plaats met specifieke emissies naar water, lucht en bodem.
De belangrijkste milieubelastende activiteiten komen voor in de categorieën 3, 4 en 5.

De werven uit de categorieën 1 en 2 zijn voornamelijk gelegen in Zuid-Holland, Friesland en Groningen. Werven uit de categorieën 3 en 4 zijn voornamelijk geconcentreerd in het Rijnmondgebied. De werven uit categorie 5 liggen verspreid over het hele land (met concentraties in de provincies Zuid-Holland en Noord-Holland).
Op de volgende pagina wordt een overzicht gegeven van de conserveringswerkzaamheden op dokken en hellingen zoals die bij de verschillende typen werven plaatsvinden.

Tabel 1.1. Overzicht van conserveringswerkzaamheden dokken/hellingen (CUWVO, 1991)

Outillage	Voorbehandeling						Conserveren				
	1 or	2 hd	3 hm	4 es	5 ns	6 vc	7 kw	8 sp	9 af	10 te	
OVERDEKT											
1. HELLINGEN											
a. rep. zeevaart	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
b. rep. binnenvaart	o	ooo	o	-	-	o	ooo	o	ooo	ooo	1)
c. nieuwbouw	-	-	ooo	o	-	o	ooo	ooo	ooo	ooo	
2. GEGRAVEN DOKKEN											
a. rep. zeevaart	o	ooo	-	oo	-	-	-	ooo	ooo	o	1)
b. rep. binnenvaart	o	ooo	ooo	-	-	o	ooo	o	o	ooo	1)
c. nieuwbouw	-	-	o	o	-	o	o	oo	ooo	o	1)
NIET OVERDEKT											
DOKKEN 3. GEGRAVEN DOKKEN											
a. rep. zeevaart	o	ooo	-	ooo	-	-	o	ooo	ooo	o	
b. rep. binnenvaart	o	ooo	ooo	-	-	o	ooo	o	o	ooo	1)
c. nieuwbouw	-	-	-	-	-	o	o	oo	oo	-	
4. DRIJVENDE DOKKEN											
pontondok											
a. rep. zeevaart	o	ooo	-	ooo	-	-	-	ooo	ooo	o	
b. rep binnenvaart	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
uit één stuk											
a. rep. zeevaart	o	ooo	o	ooo	-	-	o	ooo	ooo	o	
b. rep. binnenvaart	o	ooo	ooo	-	-	-	ooo	o	o	ooo	
LANGS/DWARSHELLING-EN 5. VERHARD											
getijdewater											
a. rep. zeevaart	o	ooo	o	o	o	-	oo	oo	ooo	o	
b. rep. binnenvaart	o	ooo	ooo	-	-	-	ooo	o	o	ooo	
c. nieuwbouw	-	-	oo	-	-	o	oo	oo	oo	oo	

Outillage	Voorbehandeling						Conserveren				
	1 or	2 hd	3 hm	4 es	5 ns	6 vc	7 kw	8 sp	9 af	10 te	
OVERDEKT											
1. HELLINGEN											
vast waterpeil											
a. rep. zeevaart	o	ooo	o	-	-	-	oo	oo	ooo	o	
b. rep. binnenvaart	o	ooo	ooo	-	-	-	ooo	o	o	ooo	
c. nieuwbouw	-	-	oo	-	-	o	oo	oo	oo	oo	
6. ONVERHARD											
getijdewater											
a. rep. zeevaart	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
b. rep. binnenvaart	o	ooo	ooo	-	-	-	ooo	o	o	ooo	
c. nieuwbouw	-	-	oo	-	-	o	oo	oo	oo	oo	
vast waterpeil											
a. rep. zeevaart	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
b. rep. binnenvaart	o	ooo	ooo	-	-	-	ooo	o	o	ooo	
c. nieuwbouw	-	-	oo	-	-	o	oo	oo	oo	oo	
7. SCHROEVENDOKKEN											
a. rep. zeevaart	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
b. rep. binnenvaart	-	o	o	-	-	-	o	-	-	o	
8. SCHEEPSLIFTEN											
a. rep. zeevaart	o	ooo	o	oo	-	-	o	oo	ooo	-	1)
b. rep. binnenvaart	o	ooo	ooo	-	-	-	ooo	-	o	ooo	

or = olierandverwijdering
hd = hogedruk waterstralen
hm = handmatige voorbehandeling
es = éénmalig straalmiddel
ns = nat of vochtig stralen
vc = vacuümstralen
kw = handmatig verven met kwast of roller
sp = spuiten
af = antifouling
te = teer
Frequentie:
ooo = (bijna) alle dokken en hellingen van deze soort
oo = komt regelmatig voor
o = komt incidenteel voor
- = komt niet voor
1) soort outillage komt slechts één of enkele malen voor.

2. PROCESBESCHRIJVINGEN EN BRONNEN VAN EMISSIES

De beschreven emissies hebben betrekking op conserveringswerkzaamheden. De nieuwbouwwerven zijn niet meegenomen.

2.1. Stoomreinigen/reinigen met heet water

Het stoomreinigen dient om olie, vet en zand te verwijderen van de vervuilde onderdelen. Hiertoe wordt onder hoge druk verneveld water van bijna 100 °C met een vetemulgerend middel, bestaande uit alkalische en oppervlakte-actieve stoffen (natriumhydroxide, fosfaten, detergenten) op het werkstuk gespoten.
Het aflopende water, dat olie, vet en vuil bevat, wordt, afhankelijk van de concentratie van de verontreinigingen, al of niet na het passeren van een zand-, olie- en vetvanger, geloosd op het riool (geschat wordt in 10% van de gevallen) of het oppervlaktewater.

2.2. Hogedrukwaterreiniging

Een hogedrukspuitbehandeling met water (circa 160-200 bar) vindt vrijwel altijd als voorbehandeling plaats, indien een reparatieschip zijn conserverend verfsysteem van huid en bodem laat vernieuwen of bijwerken. Ook slecht hechtende verflagen en loszittend roest worden verwijderd. De behandeling vindt in het dok of op de helling plaats, die voor tewaterlating wordt schoongemaakt. Een gedeelte blijft echter achter, waardoor zware metalen in het oppervlaktewater terecht komen.

2.3. Olierandverwijdering

Het ontvetten van gedeelten van de buitenzijde van te repareren schepen betreft meestal het verwijderen van olieranden, ter plaatse van de waterlijn, om een goede hechting van de verf te verkrijgen.
Hierbij wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van:
- organische oplosmiddelen (alifaten, aromaten of een mengsel van beide);
- detergenten;
- mengsels van detergenten met in water geëmulgeerde organische oplosmiddelen.

Restanten komen vaak direct in het oppervlaktewater terecht.
De noodzaak tot olierandverwijdering neemt af door een verminderde verontreiniging van het oppervlaktewater met olie.

2.4. Gritstralen

Stralen van de scheepshuid en bodem vindt plaats om een goede ondergrond te verkrijgen voor de hechting van het aan te brengen verfsysteem. Gritstralen wordt in hoofdzaak uitgevoerd bij onderhoud van zeeschepen in dokken. Onderscheid kan worden gemaakt in het licht opruwen van de oude verflaag tot het zeer zorgvuldig stralen. Alleen ter plaatse van beschadigingen wordt de huid kaal gestraald. Gebruik kan worden gemaakt van éénmalig of meermalig straalmiddel, droge of natte straaltechnieken, automatisch of

handstralen.
De meest toegepaste vorm van gritstralen is het traditionele open, droge gritstralen. Straalwerkzaamheden aan de kade vinden vrijwel uitsluitend binnen in het schip plaats.
Als éénmalig grit kan worden gebruikt: centraleslak (uit steenkool gestookte elektriciteitscentrales, hoog gehalte aan aluminium- en siliciumoxiden) of metaalslak (koperslak uit de (koper)ertswinning (vooral koperoxide en ijzersilicaat). Metaalslak wordt op Nederlandse werven niet of nauwelijks meer toegepast.

Stralen met meermalig grit (veelal krullen gietijzer) wordt vaak toegepast bij nieuwbouw.
Een bijzondere vorm van stralen is het vacuümstralen (geen stofontwikkeling), hierbij wordt aluminiumoxide als straalmiddel toegepast.
De WVO-vergunningen staan niet langer toe dat open stralen boven het oppervlaktewater wordt uitgevoerd.
Een deel van het stof en de losgespoten verfdeeltjes kunnen via de lucht en bij het reinigen van de dokvloer in het oppervlaktewater terecht komen. Dit speelt voornamelijk bij reparatiewerven met drijvende dokken en bij straalwerkzaamheden aan afgemeerde schepen. Door de dok- en hellingvloerdiscipline is de laatste jaren in deze situatie duidelijk verbetering opgetreden. Het straalmiddel zelf wordt weinig schadelijk voor het milieu geacht.

Indicatie aangetroffen metaalgehalten in gebruikt grit:
Zn : max. 0,3%;
Cu : max. 3,8%;
Pb : max. 0,2%;
Cr : max. 0,1%;
Sn : max. 0,5%.

Zowel het gebruikte grit als het stof uit de cyclonen dient vaak als chemisch afval beschouwd te worden, dit op grond van het overschrijden van de concentratiegrens uit het BACA. (Het artikel uit het BACA dat gritstraalmiddel als procesafvalstof als chemisch afval aanwijst is nog niet van kracht).

2.5. Airless verfspuiten en spuitcabine

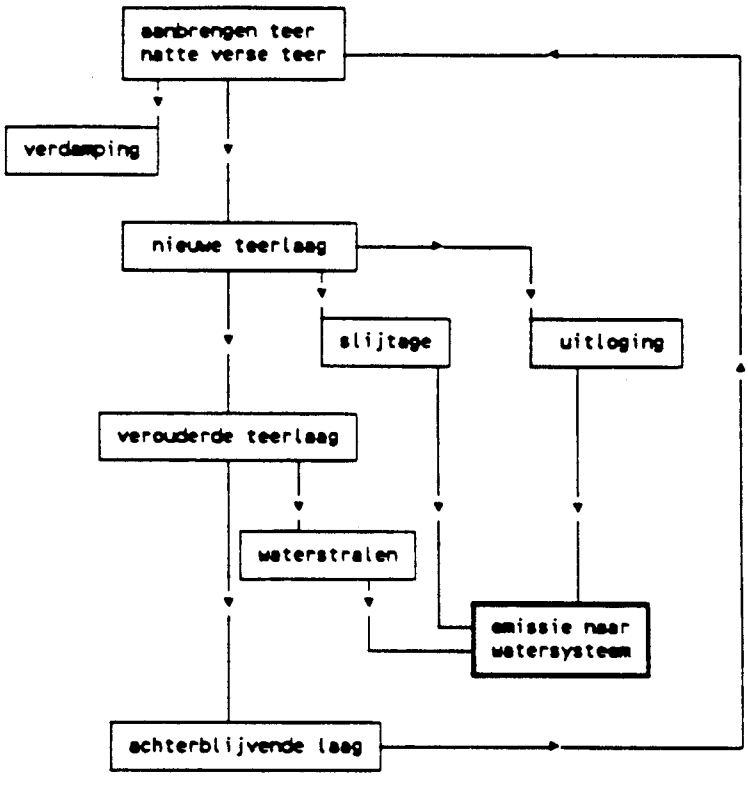
Verfapplicatie geschiedt op grotere werven in bijna alle gevallen door airless spuiten.
Verven bevatten pigmenten, vulstoffen, bindmiddelen, oplosmiddelen en hulpstoffen, soms extra verdunningsmiddelen.
Om milieuhygiënische redenen zijn belangrijk:
- pigmenten op basis van zware metalen als zink, lood, chroom en koper (koper(I)oxide wordt veel toegepast als biocide in antifoulingverf);
- bindmiddelen op basis van gechloreerde koolwaterstoffen als chloorrubber en vinylhar sen;
- bindmiddelen op basis van teerepoxycombinaties met name de polycyclische aromaten uit de teer;
- oplosmiddelen met aromaten en oplosmiddelen op basis van gechloreerde koolwaterstof fen;

- organotinverbindingen (algenwerend);
- siccatieven (naftenaten, Pb, Co, Mn en Zn).

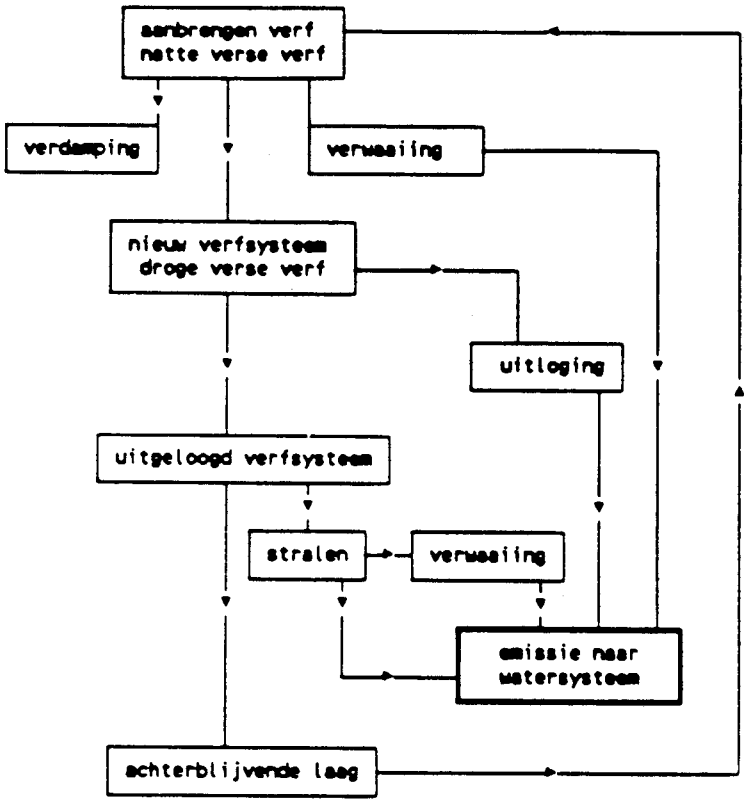
Door overspray en door verwaaiing kan een aanzienlijke hoeveelheid van de verf in het oppervlaktewater terechtkomen. De WVO-vergunning kan eisen stellen ten aanzien van deze activiteit.
Slechts enkele werven beschikken over een spuitcabine. Deze zijn voorzien van afzuiging en filters.
Verdamping van oplosmiddelen treedt op bij droging van de verf.
Waterafdunbare verven zijn (nog) niet gangbaar; veelal bepaalt de reder welke verf wordt toegepast.

2.6. Verven en teren

Voor verven met de kwast of de roller geldt in beginsel hetzelfde als voor verfspuiten, verwaaiing speelt uiteraard geen rol. De verliezen zijn kleiner.
Teren vindt plaats bij binnenvaartschepen, opbrenging gebeurt handmatig. Er zijn morsverliezen en emissies als gevolg van uitloging en verdamping. Op de werven wordt alleen het onderwatergedeelte van schepen met teer behandeld, het droge deel van de zijgang wordt in de havens geteerd.



Figuur 2.1. De verfkringloop bij de binnenvaart (teerprodukten; CUWVO, 1991)



Figuur 2.2. De verfkringloop bij zeegaande schepen (CUWVO, 1991)

2.7. Diverse metaalbewerkingen

Het snijden of brandsnijden gebeurt met zuurstof en acetyleen, propaan of MAPP-gas, een mengsel van methylacetyleen en propadieen. De meest gebruikte lastechniek is elektrisch vlambooglassen.
De machinefabriek, de ketelmakerij, de pijpfitterij, de tandwielfabricage en de motorenreparatie en -revisie hebben als milieuhygiënisch belangrijkste werkzaamheden boren, snijden, slijpen, frezen en honen, waarbij gebruik gemaakt wordt van minerale oliën met dopes en synthetische metaalbewerkingsvloeistoffen (sommige bevatten aminen of nitrieten). De meeste apparaten zijn voorzien van opvangbakken.

Kleinere onderdelen worden ontvet met oplosmiddelen, veelal 1,1,1-trichloorethaan of een chloorvrije organische vloeistof.
1,1,1-Trichloorethaan wordt gebruikt in gesloten baden voor ontvetting met de hand, de chloorvrije koolwaterstoffen (alifaten, soms aromaathoudend) voor grootschaligere toepassing. Hierbij treden verdampingsverliezen op.
Op slechts enkele grote werven zijn beitsbaden en passiveerbaden aanwezig.

2.8. Hout- en polyesterverwerking

De milieuhygiënisch belangrijkste werkzaamheden in de timmerwerkplaats zijn zagen (meestal met stoffilter), lijmen (vluchtige oplosmiddelen), schuren en lakken of verven.
Polyesterverwerking komt sporadisch voor (marinewerven, speciale werven en jachtwerven).
De belangrijkste milieuhygiënische factoren zijn het vrijkomen van styreendampen, oplosmiddelen als methyleenchloride en butanen, hars- en polyesterresten en slijpstof. Gebruik wordt gemaakt van versnellers op basis van kobalt en brandvertragers op basis van antimoontrioxide.

2.9. Schroef- en as-activiteiten

Werkzaamheden aan de scheepsschroef, schroefas of aan de roeren vinden op de helling of in het dok plaats, of in speciale dokken waarmee alleen het voor- of achterschip uit het water wordt getild (schroevendok).
Hierbij kan smeerolie in het oppervlaktewater komen.

2.10. Innemen van afvalstoffen uit schepen

Het gaat hierbij om huishoudelijk, sanitair en soms chemisch afval uit laadruimen of tanks. Dit laatste wordt afgegeven aan een daartoe bevoegd bedrijf.
Door werkzaamheden aan het schip door de bemanning kunnen verfresten etc. vrijkomen.

3. EMISSIES EN AFVAL

Bij dit hoofdstuk dient opgemerkt te worden dat weinig concrete gegevens voorhanden zijn en dat een belangrijk deel van de informatie gedateerd is. De extrapolatie van de gegevens kent haar beperkingen. De cijfers zijn daarom indicatief.
Uitgangspunten:
- voor de binnenvaartschepen wordt uitgegaan van een te behandelen oppervlak van 640 m^2/schip, waarvan 510 nat en 130 droog;
- voor zeeschepen wordt per schip uitgegaan van een nat oppervlak van 5000 m^2/schip;
- het aantal droogzettingen per jaar bedraagt voor een zeescheepswerf ongeveer 150;
- in de binnenvaart worden ongeveer 2600 schepen per jaar behandeld. Het CUWVO rapport (CUWVO, 1991) geeft een gemiddelde van ongeveer 100 schepen voor een gemiddelde binnenvaartwerf (een deel houdt zich uitsluitend bezig met nieuwbouw).

3.1. Lucht

Verven en verfspuiten
Emissies van koolwaterstoffen op scheepswerven bestaan uit verfoplosmiddelen, deels vrijkomend door verdamping bij het drogen van de verf, deels als verlies bij het spuiten.
De samenstelling van de gebruikte verf is als volgt:

- antifouling 30 vol.% met een oplosmiddelgehalte van 30 gew.%;
- overige verf 70 vol.% met een oplosmiddelgehalte van 45 gew.%.

De totale gemiddelde emissie is berekend op 0,55 t/m^3 (VROM, 1986).
Het jaarlijkse verfverbruik in de vijf verschillende categorieën scheepswerven (hoofdstuk 1.) wordt geschat op respectievelijk 60 m^3 (TAUW, 1990); 12 m^3 (TNO, 1990); 120 m^3 (Shipcare and Maritime Management, 1982); 16 m^3 (Redwood, 1990); 5 m^3 (Provinciale Coördinatiegroep WCA, 1987). Per gemiddeld zeeschip wordt 1846 liter verf gebruikt en verdampt 1015 liter oplosmiddel.

Ontvetten

Het verbruik van ontvettingsmiddelen bij werven van de typen 3 en 4 (zie pg 1), wordt geschat op respectievelijk 2,2 en 0,4 t/j per bedrijf (VROM, 1986), voor de andere typen werven zijn geen schattingen voorhanden. Een onderverdeling naar soort oplosmiddel is niet bekend.

Teren

PAK-emissies naar de lucht op binnenvaartwerven kunnen plaatsvinden tijdens het teren op de werf of in de haven (over het totale oppervlak van het schip) en tijdens de vaart (droge oppervlak van het schip).
Conform de methode toegepast in het SPEED werkplan PAK (Van Campen et al., 1991) zijn voor 9 van de 10 in het basisdocument geselecteerde PAK-emissiefactoren geschat (zie tabel 3.1. en bijlage voor berekeningswijze). Voor de 5 hoogmoleculaire PAK zijn de emissies naar lucht te verwaarlozen (< 1 kg/jaar). Voor naftaleen kon deze methode niet worden gebruikt en wordt geschat dat 40% van het in de teer aanwezige naftaleen emitteert. Uitgaande van een gehalte in teerhoudende verven van 24 mg/kg (TAUW, 1989) betekent dit een emissiefactor van 5 g/(m^2.jaar)

Tabel 3.1. Emissiefactoren en emissies naar lucht en water voor een aantal PAK-verbindingen

	Ef lucht [mg/(m^2.jaar)]	Emissie lucht (kg/jaar)	Ef water [mg/(m^2. jaar)]	Emissie water (kg/jaar)
Naftaleen	5.10^3	6,7.10^3		
Anthraceen	22	30		
Fenanthreen	400	530		
Fluorantheen	44	60	88	70
Benzo(a)anthraceen	1,2	1,6		
Benzo(a)pyreen	3.10^3	<0,1	38	30
Totaal 6 v. Borneff	44	60	250	200
Totaal 10 VROM-PAK	5,5.10^3	7,3.10^3	(380[1])	(300[1])

[1] schatting Coppoolse t.b.v. beleidsstandpunt PAK op basis van profiel oude teer (TAUW, 1989)

De totale oppervlakte waarover tijdens het teren emissies naar de lucht kunnen plaatsvinden is 640 m^2, 510 m^2 nat en 130 m^2 droog oppervlak. Op werven wordt uitsluitend het

natte oppervlak geteerd, 1,3 mln m^2/jaar. In de havens wordt per jaar circa 340.000 m^2 schip geteerd (droog oppervlak). In de binnenvaart wordt op werven ongeveer 700 ton teer toegepast voor ongeveer 2600 schepen per jaar, opgebracht in twee lagen (CUWVO, 1991).

Stralen
Stofemissies naar de lucht zijn voornamelijk het gevolg van straalwerkzaamheden, in veel mindere mate van metaal- en houtbewerkingen.
Voor stofemissies als gevolg van stralen geeft het Handbook of Emission Factors (RIZA) aan dat 200 g/kg straalmiddel vrijkomt. Stralen vindt vooral plaats in categorie 3. Voor een gemiddeld schip is 7 ton straalmiddel nodig. De stofemissie bedraagt dientengevolge 1.400 kg per schip. Voor een gemiddelde werf uit categorie 3 betekent dit 91 ton/jaar (65 schepen).

Polyesterverwerking
Van de styreen uit polyesterharsen verdampt 2-15%. Bij één onderzocht bedrijf werd 30 ton hars per jaar gebruikt, waarvan 1,6 ton/jaar aan styreen vrijkwam (dit komt neer op 2 kg per uur; VROM, 1986).

3.2. Water

De belasting van het aquatische milieu bij conserveringswerkzaamheden wordt vooral veroorzaakt door verf, teer en verfdeeltjes die loskomen bij het stralen van de scheepshuid. Bedrijfsafvalwater bestaat uit schrob-, koel- en hogedrukreinigingswater.
Werven van de typen 1 t/m 4 lozen hun water doorgaans op het oppervlaktewater, bij type 5 gaat dit meestal via een rioolstelsel (VROM, 1986).
Antifoulings op organotinbasis (tributyltin, TBT-houdende soorten) zijn belangrijke componenten van waterverontreiniging. Voor schepen korter dan 25 meter geldt in Nederland reeds een verbod op deze soorten antifoulings. Van de grote zeegaande schepen is ongeveer 70% voorzien van Self-Polishing-Coatings (SPC). Dit zijn meestal antifoulings op basis van TBT. In de nieuwbouw is dit percentage 90%. Onder emissies van metalen naar het oppervlaktewater worden ook verstaan emissies ten gevolge van verfspuiten, stralen en hogedrukspuiten (koper, zink, lood en tin). De belangrijkste emissies als gevolg van antifoulingverven vinden plaats tijdens de vaart en horen als zodanig niet bij de emissies van werven, maar zijn uiteraard wel het gevolg van op werven gebruikte materialen.

Uitloging van zware metalen uit verfsystemen
Nieuw aangebrachte verfsystemen op koperbasis zorgen voor een koperemissie van ongeveer 600 µg/(cm^2.dag), gedurende de eerste 50 dagen, daarna neemt deze af tot zo'n 30µg/(cm^2.dag) (VROM, 1986). Per schip (5.000 m^2) dat gemiddeld drie dagen aan de kade verblijft betekent dit ongeveer 90 kilogram.
Een meting in een dok gaf voor koperuitloging 2,25 kg bij een oppervlakte van 1.500 m^2. Ook hierbij wordt ervan uit gegaan dat de uitloging voornamelijk in de eerste drie dagen plaatsvindt, hetgeen dus neerkomt op 50 µg/(cm^2.dag). In hetzelfde CUWVO-rapport (CUWVO, 1991) wordt uitgegaan van een totale koperuitloging van 6 tot 8 ton per jaar

voor 800 schepen.

Emissies van zware metalen bij conserveringswerkzaamheden
Op basis van metingen geeft CUWVO voor de emissies naar het water de vrachten per schip zoals opgenomen in tabel 3.2.
Voor de totale jaarlijkse emissies van een gemiddelde zeescheepsreparatiewerf volgens CUWVO zie tabel 3.3.
In de totalen zijn opgenomen de emissies als gevolg van het hogedrukreinigen en van het schoonspuiten van het dok na gritstralen en verfspuiten.

Tabel 3.2. Totale gemeten emissies naar het water per schip (CUWVO, 1991)

Parameter	Vracht (g/schip)			
	HDR	grit	verf	totaal
Zwevend stof	10.000	13.000	9.000	23.000
Koper	130	140	410	270
Organotin	10	30	60	40
Olie	150	890	360	1.040

Tabel 3.3. Emissies op jaarbasis van gemiddelde zeescheepsreparatiewerf (uitgaande van 150 schepen/werf)

Parameter	Vracht (kg/werf)			
	HDR	grit	verf	totaal
Zwevend stof	2.000	2.000	1.000	4.000
Koper	20	20	60	40
Organotin	2	5	10	7
Olie	20	130	50	150

De volgende cijfers aangaande zware-metalenemissies zijn afkomstig uit een gedateerde studie van Stork B.V. (Stork, 1983). De potentiële emissies zijn waarschijnlijk niet noemenswaardig veranderd, het deel dat van opgesomde emissies per schip in het afvalwater terecht komt is, vooral door de invoering van de dok- en hellingvloerdiscipline, sterk teruggebracht.
Hogedrukreinigen heeft de volgende potentiële emissies naar het oppervlaktewater, per gemiddeld schip:
Cu: 6,2 kg;
Zn: 0,7 kg;
Sn: 0,4 kg.

Potentiële zware-metalenemissies als gevolg van gritstralen. Dit komt per gemiddeld schip in een drijvend dok neer op:
Cu: 48,6 kg (waarvan 36,1 kg uit nieuwe verf);

Zn: 57,6 kg (waarvan 43,6 kg uit nieuwe verf);
Pb: 23,4 kg (waarvan 12,5 kg uit nieuwe verf);
Sn: 3,7 kg (waarvan 2,9 kg uit nieuwe verf).

Idem voor een gegraven dok :
Cu: 111,8 kg (waarvan 91,9 kg uit nieuwe verf);
Zn: 154,7 kg (waarvan 103,7 kg uit nieuwe verf);
Pb: 52,3 kg (waarvan 29,5 kg uit nieuwe verf);
Sn: 8,2 kg (waarvan 6,9 kg uit nieuwe verf).

Verwaaiing van verf
Van de op te brengen verf gaat ongeveer 20% als overspray en door verwaaiing verloren en 25% komt rechtstreeks in het oppervlaktewater terecht. Het jaarlijkse verfverbruik in de vijf verschillende categorieën scheepswerven (hoofdstuk 1) wordt geschat op 60 m^3 (Tauw Infra Consult, 1990); 12 m^3 (TNO, 1990); 120 m^3 (Shipcare and Maritime Management, 1982); 16 m^3 (Redwood, 1990); 5 m^3 (Provinciale Coördinatiegroep WCA, 1987). Per gemiddeld schip wordt 1.846 liter verf gebruikt, hiervan verwaait dus ongeveer 37 liter. Aan metalen verwaait met deze verf per gemiddeld schip (Stork, 1983):
Cu: 5,2 kg;
Zn: 6,2 kg;
Pb: 1,8 kg;
Sn: 0,4 kg.

Let wel, deze hoeveelheden komen slechts deels in het oppervlaktewater terecht, afhankelijk van werkwijze en aanwezige opvangtechnieken. De gemeten waarden worden weergegeven in tabel 3.1.)

PAK-emissie door waterstralen van geteerde schepen
In het CUWVO-rapport aangaande stralen en conserveren wordt een schatting gemaakt van de PAK-emissie (6 PAK's van Borneff, hierna afgekort tot 6vB), op grond van metingen bij een 5-tal werven. Hieruit blijkt dat gemiddeld 0,25 g/m^2 6vB-PAK met het waterstralen verwijderd wordt. Op basis van dezelfde meetgegevens zijn in SPEED (Van Campen et al., 1991) de emissiefactoren voor fluorantheen en benzo(a)pyreen bepaald op resp. 88 en 38 mg/m^2. Emissieschattingen in diverse kaders lopen uiteen, omdat andere aannames zijn gemaakt over het te behandelen scheepsoppervlak, varierend van 130 m^2 per schip (= helft van de zijgangen) tot 510 m^2 per schip (helft zijgangen + bodem). Dit correspondeert met totale emissies als gevolg van de werkzaamheden op scheepswerven van ca. 80 tot ca. 350 kg/jaar. In SPEED werd uitgegaan van een minimumschatting De bodem werd kaal verondersteld. In het CUWVO-rapport werd voor de emissie per schip en per werf uitgegaan van de maximumschatting van 510 m^2/schip.

Conform CUWVO-VI wordt de totale emissies geschat op 200 kg PAK/jaar (6vB). Dit komt overeen met een behandeld oppervlak van gemiddeld 300 m^2/schip, een emissie per gemiddeld schip van 75 g PAK (6vB) en per gemiddelde werf van 7,5 kg PAK (6vB), uitgaande van 100 droogzettingen per werf per jaar (zie ook tabel 3.1.).

Tabel 3.4. Emissiefactoren

Emissie	Compartiment	Gem. schip per 3 jaar (kg)	Werf (cat.) per jaar	m^2 Schip (g)	%
Straalstof	lucht/water	1.400	91 t/j (3)	280	20
Cu (HD) *	dok/helling	6,2		1,2	
Zn (HD) *	dok/helling	0,7		0,2	
Sn (HD) *	dok/helling	0,4		0,1	
Cu (GS,dd)*	dok/helling	48,6		9,7	
(GS,gd)*		111,8		22,4	
Zn (GS,dd)*	dok/helling	57,6		11,5	
(GS,gd)*		154,7		30,9	
Pb (GS,dd)*	dok/helling	23,3		4,7	
(GS,gd)*		52,3		10,5	
Sn (GS,dd)*	dok/helling	3,7		0,7	
(GS,gd)*		8,2		1,6	
Zwevend stof (afz)	water	23	4 t/j (3,4)		
Cu (afz)	water	270 g	40 kg (3,4)		
Sn (afz)	water	40 g	7 kg (3,4)		
Olie (afz)	water	1	150 kg (3,4)		
Organisch oplos-middel	lucht	1.015 l		0,2 l	55
PAK 6 van Borneff	water	75 g	7,5 kg (gem)	0,25	
PAK	lucht				
Bap				3 µg/(m^2/j)	
Flu				44m g/(m^2/j)	
Cu (VV) *	dok/helling	5,2		1	
Zn (VV) *	dok/helling	6,2		1,2	
Pb (VV) *	dok/helling	1,8		0,4	
Sn (VV) *	dok/helling	0,4		0,1	
Styreen	lucht				2-15
Cu door uitloging	water	90 (3d)		600 (0-50d) 30 (>50d) µg/(cm^2/d)	
Ontvettings-middel	lucht		2,2 t/j (3) 0,4 t/j (4)		
Minerale olie	afval		2,2 t/j (3) 0,4 t/j (4)		

per 3 jaar : de emissies treden per dok- of hellingbeurt op, dit is voor een gemiddeld schip eens in de drie jaar
Werf (cat.) : tussen haakjes staat aangegeven voor welke categorie werf de genoemde jaarlijkse emissies gelden
% : percentage van de (grond)stof die geëmitteerd wordt
Gem. schip : gemiddeld zeegaand schip, zoals door CMO gedefinieerd, te behandelen oppervlak 5.000 m^2. Voor PAK emissies, gemiddeld binnenvaartschip zoals in CUWVO-rapportage gedefinieerd, met een oppervlakte van 640 m^2, waarvan 510 nat en 130 droog
cat. : categorie scheepswerf zoals eerder in dit rapport beschreven
HD : hogedrukreiniging
GS : gritstralen
dd : drijvend dok
gd : gegraven dok
afz : bij afzinken van schip overgebleven verontreiniging op de dokvloer
Bap : benzo(a)pyreen
Flu : fluorantheen
vv : verwaaien van verf

* : potentiële emissies van zware metalen, sterk afhankelijk van getroffen maatregelen. Gedateerde cijfers over vrijkomende stoffen die zeker niet geheel in het oppervlaktewater terechtkomen. Zie hiervoor de in de tabellen 3.1. en 3.2. genoemde cijfers die zijn gebaseerd op metingen
3d : uitloging in de eerste drie dagen
PAK : de 6 PAK's van Borneff

3.3. Afval

Het bedrijfsafval van werven bestaat voornamelijk uit kantoor- en kantineafval, emballagemateriaal (hout en kunststof), veegvuil, filter- en poetsdoeken.
De hoeveelheden verwijderde minerale oliën worden geschat op ongeveer 2,2 en 0,4 t/j voor werven van de categorieën 2 en 4 (VROM, 1986).
Er is van uit gegaan dat 5% van de minerale olie in het water terecht komt en dat de rest wordt afgevoerd als afval. De groep oliën en emulsies bestaat uit afgewerkte olie, boor-, snij-en slijpolie en minerale olie.

Tabel 3.5. Hoeveelheden (chemisch) afval (t/j) per bedrijfscategorie (peiljaar 1987/Rijnmond)

Afvalstof	Reparatiebedrijven GHV[1]	Reparatiebedrijven KHV[2]-/binnenvaart	Jachtwerven
Straalgrit	13.300	0,415	1,5
Ontvetters	1,8	0,300	-
Boor-, snij-olie	253	0,380	4,05
Afgewerkte olie	51	4,137	0,05
Bedrijfsafval	3.960	561	22,5
Verfresten	72	0,060	-
Oplosmiddelen	111	0,087	0,035
Min. olieslobs	1,20	0,050	-
PCB	6	-	-
Ammonia	0,25	-	-
Fotobaden	0,16	-	-
Asbestfolie	6	-	-
Slib-olie-afsch.	12	-	-
Zoutzuur	150	-	-
Ladingresten	525	6	-
Zaagselperliet	0,4	-	0,050
Ladingssedimenten	600	-	-
Totaal	19.168	572	29

[1] Groot Handels Vaart
[2] Klein Handels Vaart

4. ENERGIEFACTOREN

Scheepswerven zijn geen energie-intensieve bedrijven. De energie die gebruikt wordt is niet rechtstreeks te koppelen aan een bepaalde activiteit of grootheid. Energiefactoren zijn als zodanig niet te geven.

5. EMISSIEBEPERKING

5.1. Technieken

Stralen
- Opvang van het droge straalgrit door afschermende middelen. Hiermee wordt op beperkte schaal geëxperimenteerd. De resultaten zijn veelbelovend. Reductiepercentages zijn nog niet duidelijk.
  Deze afschermingen beperken tevens de overspray bij het verfspuiten.
  Bij verfapplicatie wordt ook de mogelijkheid van zogenaamde waternevels onderzocht.
- Opvang van het straalgrit voor hergebruik in een gesloten systeem. Deze techniek kampt met rendementsproblemen (gestraald oppervlak/tijdseenheid) en is in de praktijk nog niet toepasbaar daar rondingen in de scheepshuid niet kunnen worden gestraald.
- Natstralen voorkomt stofemissies, maar heeft de vorming van vliegroest als nadelig bijeffect. Dit kan de kwaliteit van de uiteindelijke verfhechting verminderen. Anderzijds is het mogelijk dat door het afspoelen van bepaalde zouten de hechting van de nieuw aan te brengen verflagen juist verbetert. Hiernaar wordt door TNO, VVVF en VNSI onderzoek verricht. Deze techniek dient te worden toegepast in combinatie met een gedegen wateropvang en -zuivering. - Een installatie voor de reiniging van gebruikt straalgrit is in ontwikkeling en wordt op kleine schaal reeds toegepast. De resultaten zijn veelbelovend.

Nieuwe teerprodukten
- Aanpassen helling-/dokvloer, of dok.
- Alternatieven voor koolteer in de binnenvaart, bijvoorbeeld produkten op basis van aardolie/bitumen.

Nieuwe verfsoorten
- Ontwikkelingen op het gebied van oplosmiddelarme verfsoorten (in het kader van KWS-2000) en alternatieven voor de TBT-antifoulings stuiten nog op problemen als te lange droogtijd en kortere dokintervallen.

5.2. Kosten

In 1986 bedroegen de totale milieukosten in de scheepswerfsector ongeveer 16 miljoen gulden, 0,3% van de totale omzet (VROM, 1986).
Van de huidige financiële situatie en de ontwikkelingen daarin bestaan geen recente cijfers.
De belangrijkste milieukosten waarvoor werven momenteel staan zijn:
- aanpassingen van dok- en hellingvloeren;
- plaatsen van waterzuiveringsinstallaties;
- aanbrengen van afschermende maatregelen voor stralen en verven;
- invoeren van nieuwe straaltechnieken;
- saneren van vervuilde bedrijfsterreinen en waterbodems;
- aanbrengen van overdekkingen en luchtfilters tegen emissies naar de lucht.

CUWVO heeft voor de aanpassing van dok- en hellingvloeren kostenschattingen gemaakt. Deze aanpassingen bestaan onder andere uit het verharden van de hellingvloer, het aanbrengen van goten, pompputten en bezinktanks, het modificeren van hellingwagens en eventueel de aanleg van drijvende olieschermen ten behoeve van calamiteiten.
De kosten variëren sterk per bedrijf, afhankelijk van grootte, langs- of dwarshelling en de huidige stand van zaken.

Voor een aantal modelsituaties zijn de kosten berekend.

Aanpassing hellingen
Exclusief bodemsanering, variëren de kosten voor aanpassing van de helling van *f* 150,-/m^2 tot *f*265,-/m^2
Inclusief bodemsanering, waarbij is uitgegaan van 40 cm vervuilde grond en een reinigingstarief van *f* 250,-/m^3 variëren de kosten van *f* 235,-/m^2 tot *f* 355,-/m^2 helling.
- Voor uitsluitend aanpassingen ten behoeve van waterzuivering is een berekening gemaakt voor een werf met een met klinkers verharde dwarshelling (lengte 115 m, breedte 50 m). Voor een capaciteit van 120 liter water per minuut + regenwater. Kosten totaal *f* 220.000,-.
- Aanpassing van dokken ten behoeve van de opvang van afvalwater is berekend voor een werf met twee onoverdekte gegraven dokken met een gezamenlijke oppervlakte van 1 hectare. Totale kosten *f* 425.000,-. Voor drijvende dokken liggen de prijzen op een vergelijkbaar niveau. Bij pontondokken (losse segmenten) kunnen de kosten hoger uitvallen. Ook de VNSI gaat uit van een gemiddelde prijs voor aanpassing voor de grote reparatiedokken van ongeveer een half miljoen gulden.

Stralen
- Prijzen voor afschermende maatregelen ten behoeve van het gritstralen en verfspuiten zijn niet bekend. Het gaat hierbij echter om relatief kleine investeringen waarvan op korte termijn een hoog milieurendement verwacht kan worden.

Afvalwaterzuivering
- Voor het terugbrengen van de lozing van ongezuiverd afvalwater wordt, per inwonerequivalent, een bedrag genoemd van *f* 1.100,- (VROM, 1986).
  Kosten voor het bergen van vervuilde baggerspecie kunnen daarentegen door deze maatregelen in de toekomst deels voorkomen worden.

Preventie bovemverontreiniging
- Het vervangen van ondergrondse tanks kost *f* 50.000,-/tank.
- Aanleg vloeistofdichte vloeren kost *f* 100,-/m^2,.

Hergebruik oplosmiddelen
- Regeneratiekosten per ton teruggehouden oplosmiddel kost *f* 429,-. Voor de modelbedrij ven 1 en 5 (zie pagina 1), zou dit neerkomen op jaarlijkse kosten van respectievelijk *f* 700.000,- en *f* 50.000,-.
  Bij de kostenschattingen is geen rekening gehouden met eventuele extra kosten als gevolg van overige noodzakelijk geworden aanpassingen en produktieverliezen.

5.3. Rendementen

Met afschermende maatregelen is de verontreiniging van het aquatisch milieu rondom de dokken en hellingen in theorie tot vrijwel nul te reduceren. In de praktijk is dit echter geen haalbare zaak. Uitloging is niet of nauwelijks tegen te gaan. Het is vooralsnog moeilijk rendementspercentages aan de te nemen maatregelen te koppelen.
In SPEED is ingeschat dat de koperemissies naar water als gevolg van dok- en hellingvloerdiscipline met ca. 35% gereduceerd kunnen worden (Coppoolsen et al., 1993). Door het plaatsen van bezinkinstallaties (zwevend stof van 100 mg/l) kunnen de vrachten verontreinigende stoffen, inclusief PAK- en zware metalenemissies met ca 90% gereduceerd worden. Bij een eis van 30 mg/l is een reductiepercentage van 95-99% mogelijk (Van Campen et al., 1991).

6. ONDERZOEK NAAR SCHONE PROCESSEN

Gesloten straalsystemen
In Nederland en daarbuiten wordt geëxperimenteerd met gesloten straalsystemen waardoor de emissie van straalstof en verfdeeltjes naar het oppervlaktewater en de lucht sterk kan worden beperkt. in de praktijk is deze methode nog niet toepasbaar door praktische problemen en hoge kosten (zie 5.1.). Natstralen met afvalwaterbehandeling lijkt een reële verbetering.

Afvalwaterzuivering
Het afvalwater zal moeten worden gezuiverd. Bezinking, eventueel in combinatie met olie/waterafscheiding, levert goede resultaten. Problemen hierbij zijn de extra vorming van roestdeeltjes, de verwijdering van zuiveringsslib en het kostenaspect.

In het kader van het overleg tussen onder andere de overheid en het bedrijfsleven over de zogenoemde prioritaire afvalstromen is in 1992 een (concept) implementatieplan opgesteld. Het implementatieplan geeft een aantal wegen aan waarlangs een geleidelijke reductie van het gebruik van éénmalig straalgrit (smeltslakgrit) kan worden gerealiseerd. Het hergebruik van grit na reiniging is op kleine schaal in onderzoek.

Nieuwe verfsoorten
De verfindustrie is volop bezig met onderzoek naar oplosmiddelarme verf- en antifoulingsoorten, de nadelen hiervan (droogtijd) zijn echter nog niet overwonnen.
Alternatieven voor de in gebruik zijnde verfspuittechnieken lijken nog niet op korte termijn te verwachten.

Nieuwe teersoorten
Voor de uitloging van koolteer in de binnenvaartwerven zouden produkten op basis van bitumen/aardolie op vrij korte termijn een oplossing kunnen bieden. Bij de mogelijke alternatieven voor steenkoolteer wordt onderscheid gemaakt tussen de 1-component en 2-componentsystemen. De eerste bevatten meer vluchtige organische oplosmiddelen en zijn mogelijk minder duurzaam. Voor gebruik van de 2-componentsystemen moet eerst de oude

teerlaag van de schepen verwijderd worden, hetgeen tot hogere kosten en mogelijk het ontstaan van extra afval zal leiden. De verschillende alternatieven moeten nog in de praktijk worden getest. In 1992 is overleg gestart tussen VROM, RIZA, vertegenwoordigers van de binnenvaart, de werven en de verfindustrie. Dit overleg heeft een tweeledig doel:

- afstemming tussen de diverse betrokken Nederlandse organisaties inzake het al dan niet geschikt zijn van alternatieve conserveringsmiddelen (aandachtspunten hierbij zijn de milieubezwaarlijkheid van de diverse middelen en technische en economische aspecten);
- internationale afstemming (Rijnoeverstaten) betreffende een mogelijk verbod op toepassing van koolteer(produkten).

Milieuzorgsystemen
Het invoeren van interne milieuzorg op werven kan een substantiële bijdrage leveren aan de vermindering van diverse emissies. Met dit laatste is reeds een begin gemaakt.

7. NORMSTELLING EN VERGUNNINGSSITUATIE

De belangrijkste wettelijke bepalingen die van toepassing zijn op onderhavige bedrijfstak zijn de Hinderwet/Wet geluidhinder, de Wet verontreiniging oppervlaktewateren en de Wet chemische afvalstoffen.
Door de veelheid aan activiteiten die in deze bedrijfstak plaatsvinden en de sterke diversiteit aan werven is hier geen overzicht gegeven van de diverse milieuvoorschriften.
De belangrijkste emissies vinden plaats naar het compartiment water en de naleving van de vergunningvoorschriften op grond van de Wet verontreiniging oppervlaktewateren is dan ook zeer belangrijk. De WVO stelt dat lozingen rechtstreeks op het oppervlaktewater verboden zijn, behoudens wanneer daarvoor vergunning is verleend. Het beleid van de waterkwaliteitsbeheerder is er veelal op gericht, dat deze lozingen worden beëindigd door aansluiting op de riolering. Daar dit laatste in veel gevallen niet mogelijk is, omdat veel werven buitendijks gelegen zijn, worden doelvoorschriften opgesteld waarin bijvoorbeeld voor zwevend stof in het effluent een maximum gesteld wordt van 100 mg/l. De vrachten verontreinigende stoffen, inclusief PAK en zware metalen, zullen hiermee met 90-99% verminderen (CUWVO, 1991). Door middel van onderzoek zal bepaald worden of een lagere eis opgenomen kan worden. Voor olie zou een eis van 20 mg/l voorgesteld kunnen worden (CUWVO, 1991).
Voor het afzinken van schepen na dokwerkzaamheden bestaat een meldingsplicht die controle mogelijk maakt.
Gelet op het grensoverschrijdend karakter van de scheepvaart is internationale afstemming van wezenlijk belang.
Eén jaar na vaststelling CUWVO-eindrapport (april '91), moeten vergunninghouders een plan indienen gericht op het uiterlijk 2 jaar na datum van vaststelling zoveel mogelijk voorkomen van waterverontreiniging. Hiervoor zijn modelvergunningvoorschriften in het CUWVO-rapport opgenomen.

8. REFERENTIES

Campen, A.L.B.M. van, C.H.A. Quarles van Ufford, R.P.M. Berbee en M.J.C. Schwartz (1991)
PAK in oppervlaktewater, bronnen en maatregelen. SPEED werkplan 1. Ministerie van VROM, Ministerie van Verkeer en Waterstaat en RIVM. RIVM rapportnr. 736301007

Coppoolsen, J., F. van Bentum, M.J.C. Schwartz, J.A. Annema en C.H.A. Quarles van Ufford (concept april 1993)
Zware metalen in oppervlaktewater, bronnen en maatregelen. SPEED, RWS/RIZA, VROM/DGM, RIVM

CUWVO, werkgroep VI (1991)
Waterverontreinigingsproblematiek bij het stralen en conserveren bij scheepswerven voor beroepsvaart en grote jachten

Nützel, G. (1990)
Kunnen Automatisch Gritstralen en Milieu samengaan?
Tijdschrift voor oppervlaktetechnieken en corrosiebestrijding

Provinciale Coördinatiegroep WCA (1987)
Eindrapport Scheepswerven, Toezicht naleving Wet Chemische Afvalstoffen 1985
Noord-Holland

Redwood, P. (1990)
TBT free antifoulings - their effect on ship operations
IMAS 90, Marine Technology and the Environment
Marine Management (Holdings) ltd. London

Reinders, E. (1983)
Handbook of Emission factors, part 2, industrial sources
VROM/TNO

Shipcare & Maritime Management (1982)
Antifouling Paint, a source of pollution?

Stork Services B.V. (1983)
Studierapport Project: Dokvloeren 83A.3.2.

TAUW Infra Consult (1990)
Onderzoek naar de emissie van verontreinigende stoffen bij conserveringswerkzaamheden aan zeeschepen ter plaatse van reparatiewerven
concept

Tebodin (1989)
Projectvoorstellen milieuonderzoek scheepvaart en scheepsbouw
rapportnummer 330645, CMO

Tebodin/VNSI (1990)
Handleiding Milieuzorg Werven
CMO rapportnummer 89.A.3.3.2

TNO (1990)
Zoektocht naar andere coatingsystemen voor schepen
TNO magazine, augustus 1990

Vereniging FME (1989)
Werkboek Integrale Milieuzorg

VNSI (1988)
Model regeling dok/hellingvloerdiscipline
VNSI (1989)
Notitie inzake het stralen en conserveren van schepen en andere drijvende objecten
VNSI
interne informatie
VOM (1989)
Aspecten van verwerking van gebruikt smeltslakgrit
Samenvattend verslag VOM-milieudag september 1989
VROM (1986)
Bedrijfstaksgewijze milieustudie scheepsbouw en scheepsreparatie
VROM/Tebodin (1989)
Informatiebundel Scheepswerven en Botenbouwers
VROM (1990)
Lijst met toegelaten antifouling per 1 juli 1990, (maximale concentraties actieve bestanddelen per antifoulingsoort)

Bijlage: Berekening luchtemissies PAK tijdens teren van schepen op de werf

Bepaling maximale flux (11 °C)

De maximale flux van PAK tijdens het teren van schepen op de werf is geschat met behulp van de volgende formule (zie ook Van Campen et al., 1991).

max flux (11 °C) = ka * Ca0 - <Ca> [g/(m^2.s)] waarin:

ka = 2 * V(D*v/pi*x)
Ca0 = concentratie aan oppervlak = M * P/22,4.10^{-3} * 1.10^5 Pa
<Ca> = gemiddelde concentratie in de lucht = 0
v = luchtsnelheid = max 4 m/s
x = lengte waarlangs luchtstroom gaat = min. 3 m
D = diffusiecoefficiënt gassen = 2.10^{-5} m^2/s
M = molecuulgewicht (zie onderstaande tabel)
P = dampdruk 11 °C (zie onderstaande tabel)

Aannames bij gebruik van deze formule:

Het betreft een formule voor niet stationaire diffusie. Niet diffusie, maar het concentratieverschil tussen oppervlak en lucht is de snelheidsbeperkende factor. In werkelijkheid kan er sprake zijn van turbulentie, waardoor de flux groter kan zijn. Na enige tijd zal echter diffusie door de teerlaag zelf een rol gaan spelen. Netto is de benadering als niet stationaire diffusie acceptabel, behalve voor naftaleen. Voor naftaleen zal op een gegeven moment diffusie een belangrijke rol gaan spelen, bij toepassing van de formule zou er meer naftaleen emitteren dan er in de teer aanwezig is. Voor de volledigheid is naftaleen wel toegevoegd in de tabel. De emissiefactor is echter op een andere manier geschat (zie hoofdtekst).

Bepaling emissiefactor uit maximale flux

Aangenomen wordt dat het teren gebeurt bij 30-40 °C, dat de totale behandeling (twee keer teren) gemiddeld twee dagen duurt en het schip uitdampt volgens de volgende temperaturen:

3 uur bij 40 °C --> dampdruk * 8 geeft factor 24
5 uur bij 30 °C --> dampdruk * 4 geeft factor 20
16 uur bij 20 °C --> dampdruk * 2 geeft factor 32
24 uur bij 11 °C --> dampdruk * 1 geeft factor 24
TOTAAL per schip: 100 maal berekende uurflux bij 11 °C.

Voor de volledige behandeling van 1m^2 wordt de emissiefactor bij werf en haven geschat op 100 maal de maximale uitdamping/(m^2.uur) bij 11 °C.

PAK-verbinding	P (11 °C; Pa)	Molecuulmassa	Max. flux [(g/(m^2.uur)]	E-factor [(mg/(m^2.jaar)]
(Naftaleen	2,3	128	2,8	5000)
Antraceen	$1,3.10^{-4}$	178	$2,2.10^{-4}$	22
Fenanthreen	$2,4.10^{-3}$	178	$4,0.10^{-3}$	400
Fluorantheen	$2,3.10^{-4}$	202	$4,4.10^{-4}$	44
Benzo(a)anthraceen	$5,5.10^{-6}$	228	$1,2.10^{-5}$	1,2
Chryseen	$2,6.10^{-7}$	228	$5,6.10^{-7}$	6.10^{-2}
Benzo(k)fluoran-theen	$2,6.10^{-9}$	252	$6,1.10^{-9}$	6.10^{-4}
Benzo(a)pyreen	$1,3.10^{-8}$	252	$3,1.10^{-8}$	3.10^{-3}
Benzo(ghi)peryleen	$2,6.10^{-9}$	276	$6,7.10^{-9}$	7.10^{-4}
Indeno(123 cd)py-reen	$2,6.10^{-9}$	276	$6,7.10^{-9}$	7.10^{-4}