

1998-12\_emissies-scheepsmotoren

**stowa**

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

## Emissies uit Scheepsmotoren

*Een verkennende studie van verontreinigingen uit motoren in de zeescheepvaart, beroepsbinnenvaart en recreatievaart*



98

12

## Emissies uit Scheepsmotoren

*Een verkennende studie van verontreinigingen uit motoren in de zeescheepvaart, beroepsbinnenvaart en recreatievaart*

*Uitvoerder: **WATERPAKT***

- *Landelijke Vereniging tot behoud van de Waddenzee*
  - *Stichting Werkgroep Noordzee*
  - *Stichting Reinwater*
- *Vereniging tot behoud van het IJsselmeer*

*Correspondentie:*

*Het Waterpakt*

*Postbus 90*

*8860 AB Harlingen*

*tel: 050-3119490*

Arthur van Schendelstraat 816

Postbus 8090, 3503 RB Utrecht

Telefoon 030 232 11 99

Fax 030 232 17 66

Publicaties en het publicatie-  
overzicht van de STOWA kunt u  
uitsluitend bestellen bij:

*Hageman Verpakkers BV*

Postbus 281

2700 AC Zoetermeer

tel. 079 - 361 11 88

fax 079 - 361 39 27

o.v.v. ISBN- of bestelnummer en  
een duidelijk afleveradres.

ISBN 90.5773.024.3

98

12

## Ten Geleide

Naarmate steeds meer puntbronnen in Nederland gesaneerd raken, worden diffuse bronnen in toenemende mate verantwoordelijk voor een steeds groter deel van de waterverontreiniging. Dat geldt ook voor de emissies die vanuit scheepsmotoren het oppervlaktewater bereiken. Om deze reden heeft de STOWA begin 1997 Waterpakt, een samenwerkingsverband tussen de Landelijke Vereniging tot Behoud van de Waddenzee, de Stichting Werkgroep Noordzee, de Stichting Reinwater en de Vereniging tot Behoud van het IJsselmeer, opgedragen een literatuuronderzoek uit te voeren naar de emissies naar oppervlaktewater vanuit scheepsmotoren.

De inventarisatie heeft zich toegespitst op drie subsectoren van de scheepvaart, te weten de zeescheepvaart, de beroepsbinnenvaart en de recreatievaart. Voor het Nederlandse oppervlaktewater vormen met name emissies van roetdeeltjes (met daaraan PAKs) uit de beroepsbinnenvaart en emissies van koolwaterstoffen en PAKs uit de recreatievaart mogelijke knelpunten voor het watermilieu. Een vervolgonderzoek zal dan ook gericht zijn op de belasting van het oppervlaktewater met koolwaterstoffen en met name PAKs vanuit de recreatievaart. Hiertoe worden twee scenario's voor enkele locaties doorgerekend. Het eerste scenario zal uitgaan van Europese emissierichtlijnen, het tweede scenario van verdergaande maatregelen.

Het project is uitgevoerd door ir. A.P. Abbink Spaink, die vanuit de Waterpakt-organisaties begeleid is door drs. P. Vertegaal (projectleider; coördinator Waterpakt), mr. Drs. E. Ninaber (dagelijkse begeleiding; directeur Stichting Werkgroep Noordzee) en drs. E. W. Meijer (actie-coördinator Landelijke Vereniging tot Behoud van de Waddenzee). Het project is begeleid door een door het bestuur van de STOWA ingestelde begeleidingscommissie bestaande uit ir. J. Hulskotte (TNO-MEP, afd. Emissies en Milieubelasting), dr. S.P. Klapwijk (STOWA), ing. J.A.P. Klein (CBS, sector Milieu), drs. M. Tromp (Provincie Noord-Holland), ir. W.J. Stuurman (Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier) en mevr. ing. I. Zeegers (RIZA).

Namens de opdrachtgever, de uitvoerders en de begeleidingscommissie spreek ik de hoop uit dat deze literatuurstudie van nut zal zijn bij de verdere aanpak van de uitstoot uit scheepsmotoren.

Utrecht, januari 1998

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

## Samenvatting

Diffuse bronnen zijn voor een steeds groter deel van de waterverontreiniging verantwoordelijk. Voor het aanpakken van een diffuse bron is het zaak de bron eerst in kaart te brengen. De diffuse bronnenkaart bevat nog veel witte vlekken, waaronder de emissies uit scheepsmotoren. Dit verslag heeft als doel de kaart voor emissies uit scheepsmotoren verder in te vullen. De scheepvaartsector is daartoe opgedeeld in drie subsectoren, te weten de zeescheepvaart, de beroepsbinnenvaart en de recreatievaart. De brandstoffen die in de gehele scheepvaartsector worden benut variëren van zware stookolie tot benzine. De stoffen die tijdens de verbranding vrijkomen zijn  $\text{CO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , koolwaterstoffen, PAKs en overige microverontreinigingen.  $\text{SO}_x$  en  $\text{NO}_x$  dragen bij aan zure regen en eutrofiëring. Koolwaterstoffen veroorzaken, samen met  $\text{NO}_x$ , smog waarbij ook ozon ontstaat. In het oppervlaktewater brengen koolwaterstoffen reeds bij lage concentraties schade aan organismen toe. De PAKs en overige microverontreinigingen (die met name aan roetdeeltjes gebonden zitten) kunnen zich ophopen in het sediment of organismen en zodoende vroeg of laat het milieu schaden. De belangrijkste factoren die van invloed zijn op het ontstaan van motoremissies zijn het soort brandstof, type motoren, motorgebruik en motorafstelling.

De omvang van de verschillende motoremissies wordt per scheepvaartsubsector geschat door het energiegebruik te vermenigvuldigen met emissiefactoren. Emissiefactoren geven aan hoeveel er van een bepaalde stof vrijkomt tijdens het verbranden van een kilo brandstof. Het gebruiken van emissiefactoren voor een bepaalde groep motoren (bijvoorbeeld dieselmotoren) is slechts een benadering omdat er een grote variatie in motortypen en motorgebruik is, wat zijn weerslag heeft in de emissiefactoren. Ook ontbreken er voor sommige motoren en stoffen nog gemeten emissiefactoren zodat schattingen gebruikt worden. Het schatten van het energiegebruik per scheepvaartssectorsubsector kan gedaan worden op basis van scheepsbewegingen en het specifiek brandstofverbruik. Voor de zeescheepvaart en de beroepsbinnenvaart worden de scheepsbewegingen voor een deel geregistreerd, voor de recreatievaart is een schatting gemaakt.

De zeescheepvaart verstoekt op het Nederlands Continentaal Plat (NCP) jaarlijks ongeveer 920 kiloton stookolie, wat resulteert in 62,6 kiloton  $\text{NO}_x$ , 36 kiloton  $\text{SO}_x$ , 4,3 kiloton roet en 2,5 kiloton koolwaterstoffen. Daarnaast worden ook microverontreinigingen uitgestoten als nitro-PAKs en dioxines. De hoeveelheid uitgestoten microverontreinigingen wordt onderschat aangezien er met regelmaat reststromen, waaronder gevaarlijk afval uit de chemische en verfindustrie aan de stookolie worden toegevoegd met een onbekende samenstelling. De beroepsbinnenvaart stootte in 1994 32,6 kiloton  $\text{NO}_x$ , 2,3 kiloton roet, 1,9 kiloton  $\text{SO}_x$  en 1,8 kiloton koolwaterstoffen uit, waarvan 5,7 ton PAKs. Naar schatting verbruikte de recreatievaart in 1995 20 kiloton mengsmering, 1 kiloton benzine en 15 kiloton dieselolie. De hierbij vrijgekomen motoremissies bestonden uit 10,3 kiloton koolmonoxide en 6 kiloton koolwaterstoffen, waarvan 3 ton PAKs. Daarnaast werd ook nog 1,1 kiloton  $\text{NO}_x$ , 234 ton roetdeeltjes, 66 ton smeerolie en 430 kilo lood uitgestoten. De uitstoot van koolwaterstoffen door de recreatievaart in Nederlandse wateren is grotendeels (92%) aan buitenboordmotoren toe te schrijven en overtreft de totale uitstoot van koolwaterstoffen uit de beroepsbinnenvaart ruim drie keer!

De belangrijkste mogelijke knelpunten voor het aquatische milieu zijn voor het NCP de eutrofiëring door  $\text{NO}_x$  en de (wellicht grotere) uitstoot van microverontreinigingen (die gebonden aan roetdeeltjes in zee vallen). Voor het Nederlandse oppervlaktewater vormen met name emissies van roetdeeltjes (met daaraan de PAKs) uit de beroepsbinnenvaart en emissies van koolwaterstoffen en PAKs uit de recreatievaart mogelijke knelpunten voor het milieu. Aangezien de uitstoot van PAKs en koolwaterstoffen uit de recreatievaart alleen in de zomer en op lokale schaal plaatsvindt kunnen hierdoor hoge pieken in de belasting van het milieu optreden. Om wat meer inzicht in deze pieken te krijgen zijn er twee case-studies voor de Vecht (een 's zomers druk recreatief bevaren water) uitgewerkt waaruit blijkt dat de mogelijke concentraties hoog op kunnen lopen. Waterkwaliteitsnormen kunnen na een week topdrukke met factor 50 overschreden worden, terwijl aan het eind van een drukke dag de concentratie koolwaterstoffen in het water al tot subletale effecten leidt.

Het huidige beleid voorziet nog niet in maatregelen om de emissies uit scheepsmotoren te verminderen. De verwachting is dat de scheepvaartsector de komende jaren alleen maar groter wordt.

*Trefwoorden: diffuse bronnen, scheepvaart, emissies, emissiefactoren.*

## Summary

Diffuse sources are an increasingly serious contributor to water pollution. To tackle the problem one must understand it fully and be able to trace pollutants back to their source or sources. Unfortunately the map for diffuse sources is incomplete. One significant gap, and the focus of this study, is emissions from ship and small craft engines. For the purpose of this study shipping has been split into three categories: seagoing vessels, the inland carrying trade, and recreational craft. The type of fuel used by ships and small craft varies considerable, from heavy fuel oil to petrol.

Emissions from combustion include CO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, carbon compounds, PAHs and other micropollutants. SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> cause acid rain and eutrophication. Hydrocarbons, together with NO<sub>x</sub>, cause smog and ozone. Carbon compounds in surface waters damage organisms even at very low levels. PAHs and other microcontaminants (which are mainly attached to soot particles) can accumulate in the sediment or in organisms where they will, sooner or later, cause harm to the environment.

The most important factors determining the content of exhaust emissions are fuel type, engine type, engine use and engine tuning. The quantities of the different engine emissions are calculated for each shipping sector by multiplying its energy consumption by "emission factors". Emission factors indicate how much will be released during the combustion of one kilogram of fuel. However, the use of emission factors is fraught with difficulty. Differing engine types and uses mean that emission factors give only a rough indication of emission contents. Indeed, emission factors are unavailable for some engines and substances, and in these cases estimates have been made. An estimate of the energy consumption of a particular shipping sector can be arrived at by studying ship movements and rates of fuel consumption. For seagoing vessels and the inland carrying trade, ship movements are recorded and known. For smaller recreational craft an estimate has been made.

On the Dutch continental shelf seagoing vessels consume around 920,000 tonnes of heavy fuel oil each year. This produces 62,600 tonnes of NO<sub>x</sub>, 36,000 tonnes of SO<sub>x</sub>, 4,300 tonnes of soot and 2,500 tonnes of carbon compounds. Other emissions include, but may not be limited to, microcontaminants like nitro-PAHs and dioxins. The quantity of microcontaminants emitted is invariably an underestimate with fuel oil frequently being blended with waste streams from the chemical and paint industry. The exact origin and content of these so-called "cutterstocks" is unknown.

In 1994 the inland carrying trade emitted 32,600 tonnes of NO<sub>x</sub>, 2,300 tonnes of soot, 1,900 tonnes of SO<sub>x</sub>, and 1,800 tonnes of carbon compounds, of which 5.7 tonnes were PAHs. In 1995 recreational craft used 20,000 tonnes of two-stroke petrol-oil mixture, 1,000 tonnes of petrol and 15,000 tonnes of diesel oil. The resulting emissions were 10,300 tonnes of carbon monoxide and 6,000 tonnes of hydrocarbons, of which 3 tonnes were PAHs. Other emissions include 1,100 tonnes of NO<sub>x</sub>, 234 tonnes of soot particles, 66 tonnes of lubricating oil, and 4.3 tonnes of lead. Outboard engines are responsible for by far the largest proportion of hydrocarbons emissions (92%) from recreational craft, while recreational craft as whole

produce over three times more hydrocarbon emissions than the inland carrying trade.

The most important problem areas for the aquatic environment on the Dutch continental shelf and the open North Sea are eutrophication as a result of NO<sub>x</sub> pollution, and (possibly larger) emissions of microcontaminants (which attached to soot will deposit themselves in the sea). For Dutch surface waters the main problems appear to be emissions of soot (which include PAHs) from the inland carrying trade, and emissions of hydrocarbons and PAHs from recreational craft. Emissions from recreational craft are highly seasonal and on a local scale and are thus likely to result in high peak loads in the environment. A separate study of the river Vecht in summer, a popular place for recreational craft, showed that water quality norms can be exceeded by a factor of 50 in a single busy week, while at the end of just one busy day the concentration of hydrocarbons in the water is already leading to sub-lethal effects.

Present government policy does not include measures to curb emissions from ship and small craft engines. It is anticipated that the various shipping sectors will expand in the future.

*Keywords: diffuse sources, shipping, emissions, emission factors.*

# Inhoudsopgave

**Samenvatting**

**Summary**

**Inhoudsopgave**

<b>1. Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2. Aard en ontstaan van emissies uit scheepsmotoren</b>	<b>3</b>
2.1 Inleiding	3
2.2 Procesbeschrijving ontstaan emissies.	4
2.3 Eigenschappen van de geëmitteerde stoffen	13
2.4 Samenvatting en conclusies	20
<b>3. Omvang van emissies uit scheepsmotoren.</b>	<b>23</b>
3.1 Inleiding	23
3.2 Emissiefactoren	25
3.3 Omvang en geografische verdeling van de emissies	30
3.4 Samenvatting en conclusies.	40
<b>4. Probleemschets</b>	<b>43</b>
4.1 Inleiding	43
4.2 Nederlands Continentaal Plat	43
4.3 Transportassen beroepsbinnenvaart Nederland	45
4.4 Lokaal	46
<b>5. Beleid en Regelgeving</b>	<b>51</b>
5.1 Algemeen	51
5.2 Zeescheepvaart	51
5.3 Binnenvaart	54
5.4 Recreatievaart	55
<b>6. Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>59</b>
6.1 Methodologische conclusies	59
6.2 Inhoudelijke conclusies	59
6.3 Aanbevelingen	61

**Literatuur**

**Lijst met afkortingen**



## Bijlagen

- bijlage 1, PAKs aangetroffen in extract van roetdeeltjes uitgestoten door dieselmotoren.
- bijlage 2, PAKs aangetroffen in benzine of uitlaatgassen van benzinemotoren.
- bijlage 3, Samenstelling van de verschillende somparameters van (nitro-)PAK en PCB
- bijlage 4, Berekening van de emissies uit de recreatievaart.
- bijlage 5, Emissie afzonderlijke koolwaterstoffen door beroepsbinnenvaart 1994
- bijlage 6, Achtergrond schatting door CBS van brandstofverbruik door de recreatievaart.
- bijlage 7, Geografische verdeling van de motoremissies van de recreatievaart op basis van sluispassages 1996.
- bijlage 8, Spreiding van aanlegplaatsen over Nederland.
- bijlage 9, Case-studies emissies recreatievaart Vecht

## Figuren

- figuur 1, Historische ontwikkeling van de zure neerslag in Nederland. 15
- figuur 2, Berekende SO<sub>2</sub> emissies voor scheepvaart op het noordoostelijke deel van de Atlantische oceaan, 1990. (in ton/50 km x 50 km/jaar & kg/km<sup>2</sup>/jaar) Bron: Lloyd's Register, 1995 31
- figuur 3, Berekende NO<sub>x</sub> emissies voor scheepvaart op het noordoostelijke deel van de Atlantische oceaan, 1990. (in ton/50 km x 50 km/jaar & kg/km<sup>2</sup>/jaar) Bron: Lloyd's Register, 1995 31
- figuur 4, Berekende CO emissies voor scheepvaart op het noordoostelijke deel van de Atlantische oceaan, 1990. (in ton/50 km x 50 km/jaar & kg/km<sup>2</sup>/jaar) Bron: Lloyd's Register, 1995 31
- figuur 5, Berekende HC emissies voor scheepvaart op het noordoostelijke deel van de Atlantische oceaan, 1990. (in ton/50 km x 50 km/jaar & kg/km<sup>2</sup>/jaar) Bron: Lloyd's Register, 1995 32
- figuur 6, Recreatievaart 1995: Motoremissies van enkele stofgroepen verdeeld naar motortype 41

## Tabellen

tabel 1,	Eigenschappen van oliefracties/-producten. (De getallen zijn de gemiddelden uit literatuurgegevens)	3
tabel 2,	Een aantal belangrijke polycyclische aromatische koolwaterstoffen en hun al dan niet carcinogene en mutagene eigenschappen	17
tabel 3,	Emissiefactoren voor de zeescheepvaart	25
tabel 4,	Emissiefactoren voor de zeescheepvaart, microverontreinigingen	26
tabel 5,	Emissiefactoren voor de binnenvrachtvaart	26
tabel 6,	Emissiefactoren voor passagiersvervoer	26
tabel 7,	Emissiefactoren voor high speed dieselmotoren	27
tabel 8,	Emissiefactoren voor binnenboord benzinemotoren (recreatievaart).	28
tabel 9,	Emissiefactoren van smeerolie uit buitenboordmotoren	29
tabel 10,	Emissiefactoren voor buitenboordmotoren (mengsmering)	29
tabel 11,	Motoremissies door zeescheepvaart op het Nederlands Continentaal Plat	30
tabel 12,	Motoremissies microverontreinigingen zeescheepvaart op het NCP	30
tabel 13,	Comparative evaluation of SO <sub>2</sub> and NO <sub>x</sub> emission estimates for the study area (in tonnes x 10 <sup>3</sup> )	32
tabel 14,	Motoremissies per provincie per stof voor 1983	33
tabel 15,	Motoremissies per provincie per stof voor 2000	34
tabel 16,	Motoremissies uit de beroepsbinnenvaart 1994	34
tabel 17,	Motoremissies microverontreinigingen uit de beroepsbinnenvaart 1994	34
tabel 18,	Motoremissies binnenvrachtvaart per provincie per stof in 1994	35
tabel 19,	Motoremissies binnenvrachtvaart per provincie per stof in 1994	36
tabel 20,	Benzine en Dieselverbruik door de recreatievaart (milj.kg/jaar)	38
tabel 21,	Totale motoremissies door de recreatievaart	38
tabel 22,	Vergelijken van emissies microverontreinigingen uit scheepsmotoren op het NCP met andere bronnen.	43
tabel 23,	Vergelijking emissies scheepsmotoren met totale uitstoot in Nederland (kiloton)	45
tabel 24,	Emissies door scheepsmotoren op 300 meter Vecht bij Loenen op een zomerse dag	48
tabel 25,	Mogelijke concentraties PAKs in de Vecht door motoremissies uit de recreatievaart na een "topweek".	49

## 1. Inleiding

Na het in werking treden van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater is de kwaliteit van het oppervlaktewater enorm verbeterd. Zo is het voor een aantal vissoorten weer mogelijk om in de Rijn te overleven en delen van het ecosysteem zijn aan het herstellen. Dit is voornamelijk te danken aan het saneren van puntbronnen zoals industriële en stedelijke lozingen. Nu veel puntbronnen gesaneerd zijn wordt duidelijk dat naast de puntbronnen ook de diffuse verontreiniging van het water een bron van belang is. Voorbeelden van diffuse bronnen zijn bestrijdingsmiddelen en nutriënten uit de landbouw, koper uit waterleidingen, depositie uit de atmosfeer, uitloging van gecreosoteerde oeverbeschoeiingen en scheepvaart. Het relatieve aandeel van de diffuse bronnen in de totale watervervuiling groeit naarmate de puntbronnen minder vervuilen. Voor de aanpak van diffuse bronnen is een andere strategie nodig dan de huidige strategie voor de puntbronnen aangezien veel partijen met verschillende belangen bij deze problematiek betrokken zijn.

### *Aanleiding*

Eén van de diffuse bronnen van waterverontreiniging is scheepvaart. Binnen deze bron zijn weer verschillende bronnen te onderscheiden zoals lekkage van olie en schroefasvet, uitloging van aangroeiwerende coatings, huishoudelijk en operationeel afval(water), opofferingsanodes en motoremissies. Om een diffuse bron succesvol aan te pakken is het zaak deze eerst in kaart te brengen. Voor de scheepvaart zijn de meeste van de bovengenoemde bronnen al in kaart gebracht en wordt er aan beleid voor het saneren van de bron gewerkt. De emissies uit scheepsmotoren vormen hierop een uitzondering. Voor enkele sectoren van de scheepvaart is wel een begin gemaakt met het in kaart brengen. Zo is in het kader van het project SPEED gewerkt aan het schatten van de emissie uit de recreatievaart. Uit onderzoek van Lloyd's Register en TNO blijkt dat er giftige en carcinogene stoffen door de zeescheepvaart worden uitgestoten. Ook voor de binnenvaart zijn reeds enkele schattingen gemaakt (NEA, 1991). Toch staan er nog veel witte vlekken en onzekerheden op deze kaart. Met name de emissie van microverontreinigingen is nog omgeven met tal van onzekerheden; deze zijn verontrustend genoeg om de kaart van emissies uit scheepsmotoren verder in te vullen.

### *Doelstellingen*

Deze eerste fase van het literatuuronderzoek "Emissies uit scheepsmotoren" heeft ten eerste als doel de emissies uit scheepsmotoren zowel kwalitatief als kwantitatief in beeld te brengen. Een tweede doel is inzicht te scheppen in de absolute en relatieve bijdrage van emissies uit scheepsmotoren aan milieuproblemen op zowel mondiale als regionale en lokale schaal. Een derde doel is het signaleren van mogelijke knelpunten voor het milieu die door deze emissies ontstaan, een probleemschets.

### *Onderzoekskader*

Om bovenstaande doelen uit te werken binnen een hanteerbaar kader is deze eerste fase als volgt afgebakend: Er wordt uitgegaan van de emissies uit scheepsmotoren, zoals deze de uitlaat verlaten. Pas in tweede instantie wordt hierbij gekeken of deze emissies in het water terecht komen. Gezien de potentiële risico's van microverontreinigingen ligt het zwaartepunt op mi-

croverontreinigingen. Als geografische afbakening is gekozen voor het Nederlandse oppervlaktewater en het Nederlands Continentaal Plat.

#### *Werkwijze*

In dit onderzoek is er voor gekozen de scheepvaartsector op te delen in verschillende scheepvaartssectoren, die meer homogeen van samenstelling zijn en die ook beleidsmatig als verschillende sectoren worden beschouwd. Voor de verschillende typen brandstof en scheepsmotoren (vaak een vaste combinatie) worden de processen waaruit emissies voortkomen en de factoren die deze processen beïnvloeden beschreven. Om de eventuele milieurisico's van de uitlaatgassen te signaleren is het van belang de eigenschappen van de geëmitteerde stoffen te kennen of van het gebrek aan kennis op de hoogte te zijn.

De kwantitatieve kant van de emissies uit scheepsmotoren, de omvang, kan worden geschat met behulp van emissiefactoren en het brandstofverbruik. Met het zo verkregen inzicht in de kwaliteit, kwantiteit en ruimtelijke verdeling van de emissies uit scheepsmotoren wordt duidelijk hoeveel scheepsmotoren bijdragen aan de milieuvervuiling en waar dat tot milieuproblemen kan leiden. Het huidige beleid ten aanzien van de scheepsmotoren als diffuse bron is op een rij gezet en afgetast naar mogelijke aangrijpingspunten om de emissies te verminderen.

#### *Opdelen scheepvaartsector*

De scheepvaartsector wordt in dit verslag opgedeeld in drie subsectoren op basis van aangrijpingspunten voor beleid. Dit verdient de voorkeur boven het opdelen op basis van technische aspecten aangezien zo duidelijk is voor welke doelgroep nieuw of aanvullend beleid nodig of gewenst is. De drie scheepvaartssectoren zijn: zeescheepvaart, de beroepsbinnenvaart en de recreatievaart. De zeescheepvaart vindt uiteraard op zee plaats en in de havens. De zeeschepen vervoeren hoofdzakelijk vracht en kunnen enorme afmetingen hebben. Daarnaast worden ook vissersschepen en ferries tot de zeescheepvaart gerekend. De beroepsbinnenvaart vindt met name op de grote rivieren, meren en kanalen plaats. Er wordt veel vracht vervoerd tussen de Rotterdamse haven en de achterliggende industriegebieden (Duitsland). Duwbakken behoren tot de grootste binnenvaartschepen (de Waal is voor "zesbaks-duwbakken" bevaarbaar). Daarnaast is er nog passagiersvervoer (bijvoorbeeld veerdiensten) en binnenvisserij. De recreatievaart vindt met name op lokale schaal plaats en benut relatief kleine scheepjes.

#### *Leeswijzer*

De opbouw van het verslag volgt in grote lijnen de werkwijze van het onderzoek. Zo wordt in het tweede hoofdstuk de aard en het ontstaan van emissies uit de doeken gedaan. Vervolgens wordt in het derde hoofdstuk de omvang van de motoremissies vanuit de verschillende subsectoren beschreven, gevolgd door een probleemschets (hoofdstuk vier). Het huidige beleid en de huidige regelgeving worden in hoofdstuk vijf beschreven. Het verslag wordt afgesloten met een hoofdstuk conclusies en aanbevelingen, hoofdstuk zes.

## 2. Aard en ontstaan van emissies uit scheepsmotoren

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de aard van de emissies uit scheepsmotoren besproken. Emissies ontstaan doordat de chemische energie uit fossiele brandstoffen wordt gebruikt om in de energiebehoefte van schepen te voorzien. Deze energie is nodig voor de voorstuwing en andere processen aan boord, bijvoorbeeld gebruik van apparatuur en verwarming. Fossiele brandstoffen bestaan idealiter uit koolwaterstoffen. Deze koolwaterstoffen worden in het geval van volledige verbranding afgebroken tot CO<sub>2</sub> en water. In de praktijk is de samenstelling van de brandstoffen meer complex en de verbranding in de scheepsmotoren onvolledig. Hierdoor worden stoffen als CO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, koolwaterstoffen, roetdeeltjes en diverse microverontreinigingen uitgestoten. De brandstoffen voor de scheepvaart worden door middel van destillatie uit ruwe olie gewonnen. Naast de koolwaterstoffen bevat ruwe olie ook andere componenten zoals zwavel en zware metalen. Aan de gewonnen fracties worden vervolgens additieven toegevoegd om de motor beter te laten lopen, te beschermen tegen overmatige slijtage of de brandstof te behoeden tegen schiften. Een overzicht van de fracties waarin de ruwe olie wordt opgedeeld door raffinage is gegeven in tabel 1.

tabel 1 Eigenschappen van oliefracties/-producten. (De getallen zijn de gemiddelden uit literatuurgegevens)

Fractie	Aantal C-atomen	Dichtheid (g/ml)	Kooktraject (°C)	Stolpunt (°C)	Vlampunt (°C)	Viscositeit (cS) bij 38(°C)	Vol% in ruwe olie
Gas	2-5						
Benzine	4-12		15-210			0,43-0,82 <sup>20°</sup>	9-43
Dieselolie	11-20	0,85-0,92	190-350	-30 tot +17	50-115	2,9-24	
Kerosine	9-17	0,78-0,85	150-300	-38	46	2,3 <sup>20°</sup> -4	11-15
Gasolie	12-25	0,84-0,86	180-400	-15 tot -7		4-1540	15-25
Stookolie		0,83-1,07	200-370	-23 tot +60	38-74	2-5000	
Smeerolie	20	0,9	405-515	-25 tot -15	210-515	10-1000	
Was	12	0,9	370-515	+41 tot -96		4-25 <sup>100°</sup>	0-30
Asfalt	26				200	170 <sup>100°</sup> -420 <sup>50°</sup>	
Residu		0,93-0,97	340	36			20-45

• Temperatuur waarbij viscositeit gemeten is.

Bron: W. Koops, 1985.

De lichtste fractie die voor de scheepvaart wordt gebruikt is benzine. Benzine wordt met name in de recreatievaart gebruikt. Voor gebruik in buitenboordmotoren wordt aan de benzine smeerolie toegevoegd, de zogenaamde mengsmering. Een wat zwaardere fractie is de gasolie of dieselolie. Diesel wordt in de recreatievaart en de binnenlandse beroepsvaart gebruikt. Op de samenstelling van benzine en diesel is controle, al blijkt de diesel die in jachthavens verkrijgbaar is weleens van slechte kwaliteit te zijn (Martens, 1996). Een nog zwaardere fractie, Marine Diesel Oil (verder aangeduid met MDO) wordt alleen voor de zeescheepvaart gebruikt. De MDO is in een range van wat lichtere tot zwaardere fracties verkrijgbaar. Als een van de laatste fracties van het destillatieproces van ruwe olie wordt de Heavy Fuel Oil (verder aangeduid met HFO) gebruikt. Naarmate er meer fracties uit de ruwe olie zijn gewonnen wordt deze laatste fractie zwaarder. De zwaarste HFO is

alleen geschikt voor de grootste zeeschepen die zijn uitgerust met zogenaamde slow speed dieselmotoren. Met de verschillende brandstoffen corresponderen verschillende motoren. Voor benzine en mengsmering zijn er respectievelijk de benzinemotoren en de tweetaktmotoren. Voor de gasolie zijn er de high speed en medium speed dieselmotoren. De MDO wordt gebruikt in medium speed dieselmotoren en de HFO wordt, met name wanneer het een zwaardere fractie betreft, verbrand in slow speed motoren. Er worden echter steeds geavanceerdere medium speed motoren ontwikkeld die steeds zwaardere HFO kunnen verbranden.

De factoren en processen die van invloed zijn op het vrijkomen van emissies verschillen veelal *per per brandstof (en motortype)*. Ook zijn er factoren en processen die voor alle motoren opgaan. Deze processen worden in dit hoofdstuk als eerste behandeld. Vervolgens worden de meer specifieke processen bij het verbranden van respectievelijk HFO, MDO + gas- en dieselolie, benzine en als laatste mengsmering besproken. Nadat er inzicht is verkregen in de onderliggende processen zullen de eigenschappen van de geëmitteerde stoffen worden behandeld. Hierbij wordt de nadruk gelegd op de schadelijkheid van deze stoffen voor het milieu.

## 2.2 Procesbeschrijving ontstaan emissies.

### 2.2.1 Algemene processen.

Er spelen zich tijdens de verbranding, onafhankelijk van de brandstofsoort, processen af die bepalend zijn voor de emissies. Deze algemene processen worden nu voor verschillende stofgroepen behandeld worden.

#### $CO_x$

$CO_x$  is een verzamelterm voor koolmonoxyde (CO) en kooldioxyde ( $CO_2$ ). Tijdens het verbrandingsproces worden de koolwaterstoffen afgebroken. De koolstof-(C) atomen reageren met zuurstof-(O) atomen. Als de verbranding onvolledig is (door tijds- of zuurstofgebrek) zien niet alle C-atomen kans twee zuurstofatomen te binden, wat emissie van CO tot gevolg heeft. De wel volledig met zuurstof gereageerde koolstof-atomen vormen de  $CO_2$ -emissie. Naarmate de verbranding vollediger verloopt ontstaat er in verhouding dus minder CO en meer  $CO_2$ . De verbranding verloopt vollediger als er meer zuurstof, hogere druk en temperatuur, een langere verblijfstijd en betere brandstofverdeling in de verbrandingskamer is.

#### $SO_x$

Onder  $SO_x$  wordt zwaveldioxide ( $SO_2$ ) en zwaveltrioxide ( $SO_3$ ) verstaan. Tijdens de verbranding reageert alle in de brandstof aanwezige zwavel met zuurstof tot zwaveldioxide. De zwaveldioxide kan, bij voldoende zuurstof en voldoende verblijfstijd, verder reageren tot zwaveltrioxide. Het gevormde  $SO_3$  gaat direct een reactie aan met waterdamp wat resulteert in zwavelzuur ( $H_2SO_4$ ).

#### $NO_x$

Er zijn verschillende processen te onderscheiden die  $NO_x$  vormen (Alexandersson, 1993). Deze worden hier sterk vereenvoudigd beschreven. Ten eerste kan stikstof (N) dat voorkomt in de brandstof reageren tot stikstofoxiden. Tussen de 800 en 1700 °C is de temperatuur weinig van invloed op

dit proces. De samenstelling van de brandstof is van groter belang. Een tweede mogelijkheid voor het ontstaan van stikstofoxiden is een reactie die bij hoge temperaturen verloopt. Stikstof uit de lucht (80% van de lucht bestaat uit  $N_2$ ) reageert met zuurstof. De aanwezigheid van zuurstofradicalen (zuurstofatomen die gemakkelijk reageren) bepaalt hoe snel deze reactie verloopt. Een overmaat aan lucht (arm mengsel) werkt het ontstaan van zuurstofradicalen in de hand. De snelheid waarmee de reactie verloopt is sterk afhankelijk van de temperatuur (en hiermee de druk, aangezien temperatuur en druk hand in hand gaan). Als de temperatuur boven de 1200 °C komt verloopt deze reactie vlot. De verblijfstijd bij deze hoge temperaturen bepaalt hoelang deze reactie kan verlopen en daarmee eveneens hoeveel NO er gevormd kan worden. De voor deze reactie bepalende factoren zijn dus de lucht/brandstof-verhouding, de verbrandingstemperatuur en de verblijfstijd in de verbrandingskamer. Een derde proces wat zich af kan spelen is dat stikstof uit de lucht zich tijdens de verbranding bindt aan koolwaterstoffen. Bij de daarop volgende verbranding van de koolwaterstoffen kan er zo stikstofmonoxide gevormd worden. Dit proces vindt plaats in de vlam tijdens de verbranding. Een vierde proces is de vorming van stikstofdioxide.  $NO_2$  ontstaat doordat reeds gevormd NO nog een zuurstofatoom bindt. Dit proces verloopt bij hoge temperaturen door reacties met radicalen. Bij lage temperaturen en langere verblijfstijd (bijvoorbeeld in het uitlaatsysteem) kan het proces verlopen door reactie met zuurstof.

#### *Koolwaterstoffen.*

De koolwaterstoffen, waaruit de brandstof voor het grootste gedeelte bestaat, verbranden maar voor een deel. Onverbrande resten komen zo in de uitlaatgassen terecht. De variatie van in de uitlaatgassen aangetroffen koolwaterstoffen is groot. Vrijwel iedere chemische configuratie van waterstof (H), C, O, N, en S komt voor. Configuraties die hier nader worden toegelicht zijn de zogenaamde PAKs (Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen). Deze stoffen maken een klein deel uit van de totale HC-emissie, maar zijn uitermate ongewenst (zie paragraaf 2.3.5). Om deze reden worden die configuraties waar er stikstof aan de PAKs gebonden is, de zogenaamde nitro-PAKs (IARC, 1989) ook besproken. Koolwaterstoffen met een aantal C-atomen in de keten tussen de 1 en 18, komen vooral voor in de gasfase van de uitlaatgassen. De zwaardere HC's (met langere ketens of meer ringen in het geval van PAKs) hechten bij voorkeur aan roetdeeltjes. Aangezien de zwaardere PAKs zich bij voorkeur hechten aan de roetdeeltjes in combinatie met bijvoorbeeld zware metalen worden deze verder besproken onder het kopje microverontreinigingen. De wat lichtere PAKs die in de gasfase voorkomen zijn onder meer naftaleen, fenantreen en fluorantheen. De factoren die van invloed zijn op de HC-emissie zijn dezelfde factoren als reeds genoemd bij  $CO_2$ . Naarmate de verbranding vollediger verloopt zullen er minder HC's geëmitteerd worden. Bij lage belasting van een motor vindt de verbranding onvollediger plaats dan bij hogere belasting. Een temperatuur van rond de 700 °C is optimaal voor de vorming van PAKs. Een belangrijke factor bij het ontstaan van nitro-PAKs is het onderhoud van de motor. Oude motorolie bevat veel nitro-PAKs. Bij slecht onderhouden motoren is de kans dat er oude motorolie in de verbrandingskamers komt groter.

### *Roetdeeltjes en microverontreinigingen.*

Zoals bij de koolwaterstoffen al ter sprake is gekomen bevatten roetdeeltjes een breed scala van aangehechte verbindingen. Hierbij kan gedacht worden aan verbindingen met zware metalen en de zwaardere PAKs. Een voorbeeld van deze zwaardere PAKs is benzo(a)pyreen. Maar ook andere microverontreinigingen, afkomstig uit de brandstof of ontstaan tijdens de verbranding, hechten zich aan roet. Roetdeeltjes kunnen bestaan uit vaste en vloeibare deeltjes en vinden hun oorsprong in een paar processen. Ten eerste kan roet gevormd worden door ketenvorming (polymerisatie) van acetyleen tijdens de verbranding. In deze ketens worden ook PAKs gebonden. De eerste stap is het ontstaan van deeltjes met een doorsnede tot 50 nm. Deze deeltjes kunnen vervolgens gaan klonteren en zo grotere deeltjes vormen. Dit proces wordt beïnvloed door de temperatuur, in combinatie met de mate van menging in de verbrandingskamer. Als het brandstof/lucht mengsel reeds ontbrandt voordat het zich goed gemengd heeft, bevordert een hoge temperatuur het ontstaan van roetdeeltjes. Als het mengsel voor het ontbranden reeds goed gemengd is, reduceert een hoge temperatuur juist het ontstaan van roet op deze manier. Een andere bron van roet is de as die overblijft nadat oliedruppeltjes zijn uitgebrand. De hoeveelheid as hangt geheel af van de kwaliteit van de gebruikte brandstof. Onverbrande brandstofresten kunnen zich ook hebben afgezet op de wanden van de verbrandingskamer. Deze resten kunnen loslaten en zorgen zo voor de emissie van vooral de grote roetvlokken. De samenstelling van de brandstof is dus van wezenlijke invloed op de roet emissie.

## **2.2.2 Heavy Fuel Oil**

### *Samenstelling*

HFO, ook wel zware stookolie genoemd, is een van de laatste en dus zwaarste fracties uit het raffinageproces van ruwe olie. Uit de ruwe olie worden door vooruitgang in de raffinagetechniek steeds meer fracties gewonnen waardoor de afvalstoffen van het raffinageproces steeds verder worden geconcentreerd. De fractie bevat daardoor naast de zwaarste koolwaterstoffen ook veel van de zware metalen, zwavel en overige stoffen die zich in de ruwe olie bevonden. De fractie is vaak te stroperig (te hoge viscositeit) om als brandstof te dienen. Door te mengen met dunnere vloeistof (zogenaamde cutterstock) wordt de brandstof 'op specificatie' gebracht. Van deze cutterstock is de samenstelling onbekend. Als cutterstock worden bijvoorbeeld reststromen, waaronder gevaarlijk afval uit de verf- en chemische industrie gebruikt. Na het versnijden van de cutterstock door de brandstof worden er nog additieven toegevoegd (zogenaamde lube oil) om bijvoorbeeld de corrosieve werking van de brandstof tegen te gaan. Deze additieven zijn relatief kostbaar. Het zwavelgehalte ligt tussen de 3 en 5 gewichtsprocent. Verder is de samenstelling van HFO meestal onbekend. Het komt regelmatig voor dat er aan de stookolie chemisch afval, zoals afgewerkte motorolie wordt toegevoegd (Bunker news, 1994). De controle op dit soort verontreinigingen van stookolie is moeizaam (Surveyor, 1992). In 1985 is in opdracht van het ministerie van VROM een onderzoek uitgevoerd naar PCB's in afgewerkte motorolie. Deze partijen afgewerkte motorolie waren bestemd voor het bijmengen in scheepsolie. Het PCB-gehalte bedroeg 200-600 mg/kg (VROM,



ongepubliceerd). In 1995 is er door DCMR Milieudienst Rijnmond en het ministerie van VROM een onderzoek gestart naar de kwaliteit van stookolie. Uit dit onderzoek blijkt dat "de huidige manier van verwerken in de bunkerwereld, met name het toepassen van allerlei stoffen als blendmateriaal (in het bijzonder gevaarlijke reststoffen), de beperkte mogelijkheden ongewenste stoffen te detecteren bij kwaliteitscontrole, de regelgeving die beperkt is en regels die niet goed op elkaar zijn afgestemd, resulteren in een niet in te schatten risico voor mens, milieu en motoren van zeeschepen. Door de toegenomen blendpraktijk en de toename in soorten blendproducten blijken veel onderzochte monsters af te wijken van de referentie bunkeroliën." (W. Veldman, 1997). De op deze manier toegevoegde microverontreinigingen kunnen schade en overmatige slijtage van de motoren tot gevolg hebben (Marine Propulsion, 1993). Door de toevoegingen kan ook de verbranding minder volledig verlopen.

#### *Toepassing*

Stookolie wordt in de scheepvaart uitsluitend door zeeschepen benut. De zeeschepen zijn uitgerust met medium speed of slow speed motoren. Met name de slow speed motoren kunnen op zware stookolie varen. De medium speed motoren worden in middelgrote schepen toegepast, soms twee per schip. De slow speed motoren worden hoofdzakelijk in de grootste schepen toegepast, zoals mammoettankers. Deze motoren dienen voor de voortstuwing van het schip, ook wel hoofdmotor(en) genoemd. Per verbrandingsproduct zullen de daarvoor verantwoordelijke processen nu kort beschreven worden.

#### *SO<sub>x</sub>*

De in de brandstof aanwezige zwavel wordt omgezet in SO<sub>2</sub> of SO<sub>3</sub>. De verhouding waarin zwaveldioxide en zwaveltrioxide ontstaat is ongeveer 15:1 (Lloyd's Register, 1990).

#### *NO<sub>x</sub>*

Stikstof maakt ongeveer 0,2 tot 0,5 gewichtsprocent van de stookolie uit (in de vorm van NH<sub>3</sub>-groepen van amines, amides en pyridines). Bij de verbranding van HFO vormt de stikstof uit de brandstof een bron voor NO<sub>x</sub>. De mate waarin NO<sub>x</sub> tijdens de verbranding gevormd wordt is afhankelijk van de lucht/brandstof-verhouding. Een rijk mengsel zorgt ervoor dat er een deel van reeds gevormd NO verder kan reageren met nog aanwezige NH<sub>3</sub>-groepen (uit de brandstof) tot N<sub>2</sub>. Roetdeeltjes kunnen hierbij een katalyserend effect hebben. Het grootste deel van de NO<sub>x</sub> in de emissies bij verbranden van stookolie heeft als stikstofbron de stikstof in de lucht. De verbranding, die bij zeer hoge temperatuur en druk plaats vindt, zorgt ervoor dat deze processen goed verlopen. Daarnaast zijn de motoren die op stookolie lopen vaak slow speed diesels waardoor de verblijfstijden in de verbrandingskamer lang zijn. Ook dit resulteert in veel uitstoot van NO<sub>x</sub>. Het proces waarin stikstof uit de lucht zich bindt aan koolwaterstoffen levert slechts een geringe bijdrage aan de emissie ten opzichte van het bovengenoemde proces. Het aandeel van NO<sub>2</sub> aan de totale NO<sub>x</sub> emissie is laag, tussen de 5 en 10 procent.

### *Koolwaterstoffen.*

Configuraties als de oorspronkelijke zware koolwaterstoffen in de brandstof komen weinig voor in de uitlaatgassen. Tijdens het verbranden breken de koolwaterstoffen in kleinere koolwaterstoffen, (kraken van HC's) welke wel in de uitlaatgassen worden aangetroffen. Hierbij kan gedacht worden aan diverse alkanen, alkenen en aromaten als benzeen en toluen. Daarnaast komt formaldehyde als verbrandingsproduct van koolwaterstoffen voor.

### *Roetdeeltjes en microverontreinigingen.*

De aanzienlijke variatie in samenstelling van HFO heeft direct zijn weerslag op de aard en hoeveelheid van de microverontreinigingen in de uitlaatgassen. Naarmate de kwaliteit van de bunkerolie minder is neemt de emissie van roetdeeltjes toe (Bunker news, 1995). Een hoger zwavelgehalte vergroot de emissie van roetdeeltjes (Alexandersson, 1993). Het bijmengen van chemisch afval kan tot gevolg hebben dat de door scheepsmotoren uitgestoten hoeveelheid en variatie van de microverontreinigingen enorm toeneemt. Gechloreerde verbindingen kunnen op deze wijze in brandstof terecht komen waarna ze ook in de uitlaatgassen worden aangetroffen (Compaan, 1992). Chloor kan ook in de verbrandingskamer terechtkomen doordat lucht boven zeewater chloor bevat, zij het in beperkte mate. Tijdens de verbranding kunnen hierdoor polychloorbifenylen (PCBs), dibenzofuranen (PCDFs) en dibenzodioxines (PCDDs) gevormd worden. Afgewerkte motorolie bevat veel zware metalen en nitropaks. Door het bijmengen van afgewerkte motorolie aan de scheepsbrandstoffen komen deze verbindingen in de uitlaatgassen terecht. Er is op beperkte schaal onderzoek gedaan naar de uitstoot van microverontreinigingen door zeeschepen. De volgende stoffen werden in de uitlaatgassen aangetroffen (Wulffraat, 1993): arsenicum, cadmium, chroom, koper, lood, kwik, nikkel, tin, vanadium, zink, PCBs, PCDDs, PCDFs en nitropaks.

### *Samenvatting*

HFO wordt gebruikt door de grote zeeschepen en de samenstelling van de brandstof is meestal onbekend door de toepassing van industriële reststromen als cutterstock. Door het vaak hoge zwavelgehalte wordt er veel SO<sub>x</sub> uitgestoten. De hoge verbrandingstemperatuur, lange verblijfstijden en de grote overmaat aan lucht zorgen voor de uitstoot van veel NO<sub>x</sub>. De uitgestoten microverontreinigingen zijn grotendeels afhankelijk van de samenstelling van de brandstof.

## **2.2.3 Marine Diesel Oil + Gas- en dieselolie.**

### *Samenstelling*

MDO is een wat lichtere fractie van het raffinageproces van ruwe olie dan de HFO, maar zwaarder dan gas- of dieselolie. De samenstelling is al minder variabel dan die van HFO maar kan toch aanzienlijk verschillen. Het zwavelgehalte varieert tussen de 1 en 3 procent. Gasolie mag maximaal 0,2 procent zwavel bevatten en is weer minder variabel in samenstelling dan MDO. Er zijn enkele incidenten bekend waarbij er chemisch afval door de MDO was gemengd (DNV, 1993). De kwaliteit van dieselolie is over het algemeen goed, al zijn er ook uitzonderingen (Martens, 1996). Dieselolie mag maximaal 0,05 % zwavel bevatten.

### *Toepassing.*

MDO mag, gezien het hoge zwavelgehalte, alleen op zee toegepast worden en niet voor binnenlands transport. MDO wordt verbrand in medium speed motoren die vooral gebruikt worden als hoofdmotor op kleinere schepen (visserij) of als hulpmotor bij grotere schepen. De gasolie vindt zijn toepassing voor het grootste deel in de binnenvaart en de dieselolie in de recreatievaart. In de binnenvaart worden medium en high speed dieselmotoren gebruikt, in de recreatievaart worden doorgaans high speed motoren gebruikt. De processen die verantwoordelijk zijn voor de emissies komen voor MDO, gas- en dieselolie-motoren voor een deel overeen met de processen die al genoemd zijn in de paragraaf over HFO. Voor enkele processen zal dan ook naar de vorige paragraaf verwezen worden.

### *SO<sub>x</sub>*

De in de brandstof aanwezige zwavel wordt omgezet in SO<sub>2</sub> of SO<sub>3</sub>. De verhouding waarin zwaveldioxide en zwaveltrioxide ontstaat is ongeveer 15:1 (Lloyd's Register, 1990).

### *NO<sub>x</sub>*

Voor de emissie van NO<sub>x</sub> spelen dezelfde processen een rol als genoemd bij stookolie. Het belang van de processen ligt wel anders. Voor verbranden van MDO, gas- en dieselolie is de stikstof uit de brandstof een minder belangrijke bron. Stikstof uit de lucht is de grootste bron bij de vorming van NO<sub>x</sub>. De verblijfstijden in medium speed en met name high speed motoren zijn aanzienlijk korter dan bij slow speed motoren. Hierdoor is er minder tijd voor de reactie om te verlopen.

### *Koolwaterstoffen.*

Evenals bij HFO komen configuraties als de oorspronkelijke koolwaterstoffen in de brandstof weinig voor in de uitlaatgassen. Lichtere koolwaterstoffen komen wel voor in de uitlaatgassen. Hierbij kan gedacht worden aan diverse alkanen, alkenen en aromaten als benzeen en toluen. Daarnaast komt formaldehyde als verbrandingsproduct van koolwaterstoffen voor.

### *Roetdeeltjes en microverontreinigingen.*

Er is weinig bekend over de emissies van roet en microverontreinigingen uit motoren die MDO gebruiken. Er is meer onderzoek gedaan naar de uitlaatgassen van motoren die diesel gebruiken, aangezien deze brandstof ook in het wegverkeer gebruikt wordt. Een opsomming van aan roetdeeltjes gevonden verbindingen is in de bijlage 1 (IARC, 1989) opgenomen.

### *Samenvatting*

De processen die een rol spelen bij het verbranden van MDO, gas- en dieselolie komen grotendeels overeen met de processen die een rol spelen bij het verbranden van HFO. Er is echter wat minder uitstoot van microverontreinigingen te verwachten omdat de brandstoffen niet met een cutterstock versneden worden. De uitstoot van SO<sub>x</sub> en NO<sub>x</sub> zal ook lager zijn dan bij HFO door de andere samenstelling van de brandstoffen (minder stikstof en minder zwavel) en de kortere verblijfstijden.

## 2.2.4 Benzine.

### *Samenstelling*

Benzine is een nog lichtere fractie dan dieselolie en bestaat uit drie fracties: aromaten, olefinen en paraffinen. Om de benzine beter geschikt te maken voor verbranden in motoren worden er additieven als tetra-ethyl-lood (TEL) en/of tetra-methyl-lood (TML) aan toegevoegd. Het toevoegen van lood heeft tot doel de verbranding gecontroleerd te laten verlopen en spontane ontbranding tegen te gaan. Om te zorgen dat het lood niet achter blijft in de verbrandingskamer kan er dichloorethaan of een bromideverbinding worden toegevoegd. Er is ook benzine met loodvervanger op de markt.

### *Toepassing*

Benzine is licht ontvlambaar. Dit maakt het mogelijk om, mits de mengverhouding lucht/benzine optimaal is, bij lagere temperatuur en druk het mengsel te verbranden. Dit brengt het voordeel mee dat de constructie van de benzinemotor veel lichter en eenvoudiger kan blijven dan de constructie van de diesel- en stookolietmotoren. Twee motortypen worden veel gebruikt voor het verbranden van benzine, te weten viertaktmotoren en tweetaktmotoren. Viertaktmotoren worden binnen de scheepvaart meestal toegepast als binnenboordmotoren. Tweetaktmotoren zijn technisch een stap eenvoudiger doordat de motor niet door middel van een oliekringloop wordt gesmeerd, maar door toegevoegde smeerolie in de benzine (mengsmering). Dit maakt een nog lichtere motorconstructie mogelijk. Het tweetaktprincipe wordt dan ook in buitenboordmotoren toegepast (een enkele uitzondering daargelaten). Omdat de emissies uit viertaktmotoren aanzienlijk verschillen van die uit tweetaktmotoren, wordt mengsmering in de volgende paragraaf apart besproken. De stoffen in uitlaatgassen van benzinemotoren komen kwalitatief gezien overeen met de uitlaatgassen van dieselmotoren. Omdat benzine uit lichtere koolwaterstoffen bestaat en bij lagere temperaturen verbrand wordt, liggen de verhoudingen waarin de stoffen ontstaan wel anders.

### *CO<sub>x</sub>*

Voor CO<sub>x</sub> geldt ook hier dat een optimale verbranding resulteert in minder CO en meer CO<sub>2</sub>. Een overmaat aan zuurstof, zoals bij dieselmotoren kan worden toegepast, vormt voor benzinemotoren geen geschikt mengsel. De afstelling van de motor is dan ook van grote invloed op de emissie van CO.

### *SO<sub>2</sub>*

Benzine bevat minder zwavel dan diesel en stookolie, aangezien de zwavel achterblijft in de zwaardere fracties tijdens het raffinageproces. De zwavel uit de brandstof volgt verder de zelfde weg als bij diesel- en stookolie is beschreven, er ontstaat voornamelijk SO<sub>2</sub>.

### *NO<sub>x</sub>*

Bij het verbranden van benzine ontstaat minder NO<sub>x</sub> dan bij het verbranden van diesel- of stookolie. Dit komt voornamelijk door de lagere verbrandings-temperatuur, kortere verblijfstijden (een benzinemotor maakt meer toeren) en verbranden zonder luchtvermaat.

### *Koolwaterstoffen.*

Koolwaterstoffen in de uitlaatgassen bestaan voornamelijk uit vluchtige HC's met weinig C-atomen in de keten (alkanen, alkenen en alkynen) (Veldt, 1993). Zwaardere koolwaterstoffen komen wel voor, evenals allerlei PAKs. Het onderhoud van de motor is, zoals genoemd bij stookolie- en dieselmotoren, van invloed op de emissie van nitro-PAKs. Een tabel van gevonden stoffen in uitlaatgassen van benzinemotoren is in de bijlage 2 opgenomen (IARC, 1989).

### *Roetdeeltjes en microverontreinigingen.*

De hoeveelheid en aard van de roetdeeltjes verschilt ook. Roetdeeltjes uit benzinemotoren zijn veel compacter dan deeltjes uit dieselmotoren en bieden zo minder houvast aan microverontreinigingen. Verbranden van loodhoudende benzine levert een scala aan verbindingen met lood op. Sommige van deze verbindingen zijn goed oplosbaar in water (o.a. loodsulfaat, loodbromochloride). Nieuwe motoren kunnen vrijwel zonder uitzondering loodvrije benzine verbranden.

### *Samenvatting*

Benzinemotoren zijn lichter geconstrueerd dan dieselmotoren en voornamelijk in gebruik bij de recreatievaart. De emissies komen kwalitatief overeen met de emissies uit dieselmotoren maar de verhoudingen waarin de stoffen worden uitgestoten verschillen aanzienlijk. Zo ontstaat er minder NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> en roet bij gebruik van benzine, maar meer koolwaterstoffen. De roetdeeltjes zijn kleiner en compacter dan bij diesel.

## **2.2.5 Mengsmering.**

### *Samenstelling.*

Mengsmering wordt gemaakt door smeerolie aan de benzine toe te voegen. De samenstelling van de benzine is reeds aan de orde gekomen. Smeerolie bestaat voor het grootste deel uit residu olie waaraan dierlijke of plantaardige olie is toegevoegd. De kwaliteit van de smeerolie kan aanzienlijk verschillen. Er is ook biologisch afbreekbare smeerolie op de markt.

### *Toepassing.*

Mengsmering wordt verbrand in tweetaktmotoren. Bij een tweetaktmotor bestaat de verbrandingscyclus uit twee slagen. Bij een viertaktmotor vindt de afvoer van uitlaatgassen en het vullen met nieuw mengsel in aparte slagen plaats. Bij een tweetaktmotor gebeurt dit in een enkele slag. Hierdoor is een deel van het nog te verbranden mengsel in staat om direct in de uitlaatgassen terecht te komen. De hoeveelheid lucht/brandstof mengsel die in de motor wordt 'gevangen' ten opzichte van de hoeveelheid lucht/brandstof mengsel die aan de motor wordt toegevoegd, wordt het vangrendement van de motor genoemd. Het vangrendement is van grote invloed op de emissies uit buitenboordmotoren en neemt toe met het toerental van de motor. Een gemiddelde waarde voor het vangrendement ligt tussen de 60 en 75 procent (McCarthy, 1973).

### *CO<sub>x</sub>*

Voor CO<sub>2</sub> is reeds genoemd dat naarmate de verbranding vollediger verloopt er meer CO<sub>2</sub> gevormd wordt. Als gevolg van onvolledige verbranding wordt CO gevormd. Daarnaast speelt er bij tweetaktmotoren nog het vangrendement mee. Het vangrendement bepaalt hoeveel van het lucht/brandstof mengsel aan verbranding bloot staat. Een laag vangrendement betekent dat de uitlaatgassen meer verdund worden met lucht/brandstof mengsel. Daarnaast is er minder brandstof aanwezig tijdens de verbranding. De CO<sub>x</sub> emissie neemt hierdoor af.

### *SO<sub>x</sub>*

SO<sub>x</sub> uitstoot is geheel afhankelijk van de hoeveelheid zwavel in de brandstof. De brandstof die voor tweetaktmotoren gebruikt wordt is benzine met bijgemengde smeerolie, een brandstof die relatief weinig zwavel bevat.

### *NO<sub>x</sub>*

De temperaturen waarbij de verbranding plaatsvindt in een tweetaktmotor zijn laag en de verblijfstijden in de verbrandingskamer zijn kort. Hierdoor ontstaat er weinig NO<sub>x</sub> tijdens de verbranding.

### *Koolwaterstoffen*

De koolwaterstoffen vormen een aanzienlijk deel van de emissies uit tweetaktmotoren. De koolwaterstoffen komen op drie manieren in de uitlaatgassen terecht. Het passeren van lucht/brandstof mengsel zonder te verbranden zorgt voor het grootste deel van de HC's in de uitlaatgassen. Deze koolwaterstoffen zijn identiek aan die in de brandstof. De aanwezige aromaten bestaan voor een deel uit PAKs. Een tweede bron van HC's in uitlaatgassen vormen de HC's die tijdens de onvolledige verbranding gevormd zijn, waaronder PAKs. Een derde bron wordt gevormd door smeerolie. Aangezien de tweetaktmotor door smeerolie uit de brandstof (smeerolie bestaat hoofdzakelijk uit wat zwaardere koolwaterstoffen) gesmeerd wordt, wordt een te rijk mengsel toegepast om de smeerkfunctie te garanderen. Dit houdt in dat er altijd een aanzienlijke hoeveelheid onverbrande koolwaterstoffen in de uitlaatgassen voorkomt. De factoren die van invloed zijn op het voorkomen van HC's in de uitlaatgassen zijn het vangrendement en samenstelling en mengverhouding van de brandstof. Het vangrendement hangt af van het toerental en de constructie van de motor. De uitstoot van verschillende motoren kan aanzienlijk verschillen (Mc Carthy, 1979; Schneider, 1981).

### *Roetdeeltjes en microverontreinigingen*

De deeltjes die door een tweetaktmotor worden uitgescheiden zijn ontstaan door onvolledige verbranding. Tijdens de verbranding door tweetaktmotoren ontstaat er een breed scala aan microverontreinigingen (Balk, 1994). Er is echter nog weinig duidelijkheid over de verbindingen die er aan roetdeeltjes uit tweetaktmotoren gehecht kunnen zitten. De samenstelling van de brandstof is in ieder geval van invloed op de vorming van roetdeeltjes en microverontreinigingen. De additieven (zowel aan de smeerolie als aan de benzine) verbranden niet of gedeeltelijk. In hoeverre er microverontreinigingen aan deze additieven zijn toe te schrijven is nog onduidelijk. Lood gedraagt zich hetzelfde als bij benzine is besproken. Ook het toerental van de motor is van belang voor de uitstoot van roetdeeltjes en microverontreinigingen. Bij lagere

toerentallen en lage belasting (bijvoorbeeld vrijloop) verloopt de verbranding onvollediger. De in de verbrandingskamer achterblijvende onverbrande resten versterken dit effect ('vervetten' van de motor).

#### *Samenvatting*

Mengsmering is benzine met smeerolie. Door de smeerolie aan benzine toe te voegen wordt de functie van het smeersysteem van de motor overgenomen en kan de motor eenvoudiger en lichter geconstrueerd worden. Deze motoren hebben het nadeel dat een derde van de brandstof de motor passeert zonder te verbranden. De emissies komen overeen met de emissies uit benzinemotoren waar bovenop stoffen worden geëmitteerd die zijn ontstaan uit deels verbrande smeerolie en onverbrande brandstof. De emissie van microverontreinigingen door buitenboordmotoren is nog grotendeels onbekend.

## **2.3 Eigenschappen van de geëmitteerde stoffen**

### **2.3.1 CO<sub>x</sub>**

Koolstofmonoxide is een gas dat in hoge concentraties acut toxisch is (kolendamp vergiftiging). Het bindt aan de rode bloedcellen en vermindert zo het zuurstoftransport door het bloed. Mensen met hart- en vaataandoeningen zijn aanzienlijk gevoeliger voor CO. In lagere concentraties kan CO het concentratievermogen negatief beïnvloeden. Koolstofmonoxide neemt ook deel aan fotochemische reacties en draagt bij aan het broeikaseffect.

Koolstofdioxide is een gas wat in de atmosfeer algemeen voorkomt. CO<sub>2</sub> is het meest belangrijke 'broeikasgas'. Broeikasgassen hebben effect op de stralingsbalans van de aarde waardoor deze opwarmt. Het hierdoor verder smelten van de poolkappen heeft een stijging van de zeespiegel tot gevolg. De nationale reductie doelstelling voor CO<sub>2</sub> is 3 tot 5% in het jaar 2000 (VROM, 1994).

### **2.3.2 SO<sub>x</sub>**

Zwaveloxides hebben een negatief effect op de gezondheid van de mens en zorgen met name voor ademhalingsproblemen. Een verhoogde concentratie SO<sub>2</sub> in de lucht kan zorgen voor groeireductie van of schade aan gewassen. Zwaveloxides kunnen omgezet worden in zwavelzuur en dragen zo bij aan de verzuring van zwak gebufferde watersystemen en bodems. Zwaveloxides tasten op deze manier aquatische en terrestrische ecosystemen als ook bouwwerken en andere materialen aan. Op de effecten van verzuring wordt bij de behandeling van NO<sub>x</sub> verder ingegaan. Streefwaarde voor zure neerslag in Nederland is 1400 grammoleculen per hectare per jaar voor gevoelige gebieden (bossen) (VROM, 1994).

### **2.3.3 NO<sub>x</sub>**

Stikstofmonoxide reageert in de atmosfeer tot NO<sub>2</sub> en HNO<sub>3</sub> (salpeterzuur). De stikstofoxiden hebben een direct negatief effect op gewassen en bomen.

Bij de hiervoor gevoelige mensen kunnen stikstofoxiden leiden tot ademhalingsproblemen.

Stikstofoxiden reageren dicht bij het aardoppervlak met koolwaterstoffen onder invloed van zonlicht (fotochemische reacties), waarbij ozon gevormd wordt. Dit ozon is schadelijk voor landbouwgewassen.  $N_2O$  op zijn beurt breekt de ozonlaag in de stratosfeer af. In de atmosfeer gedraagt  $N_2O$  zich als een broeikasgas. Voor de emissies van  $N_2O$  is de doelstelling een stabilisatie in het jaar 2000 ten opzichte van 1990 (VROM, 1994).

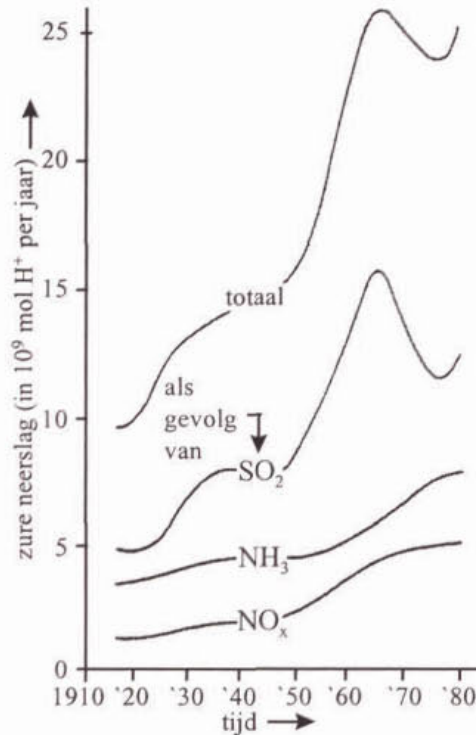
Evenals zwaveloxides veroorzaken ook stikstofoxiden problemen in zwak gebufferde watersystemen en bodems. Door depositie van stikstofoxiden neemt de hoeveelheid beschikbaar stikstof toe, waardoor de planten harder groeien. Zodra de depositie de groei overtreft ontstaat er een overschot aan stikstof, iets dat vrij snel gebeurt. Hierdoor verzuurt het ecosysteem. De stikstof, in de vorm van nitraat, spoelt samen met belangrijke sporenelementen (bijvoorbeeld calcium en magnesium) uit de bodem. Door de zure omgeving komen er ook stoffen los die schadelijk zijn voor het ecosysteem (bijvoorbeeld aluminium en cadmium). Het uitgespoelde nitraat draagt bij aan de eutrofiëring van het oppervlaktewater. In figuur 1 is de historische ontwikkeling van de zure neerslag in Nederland weergegeven waaruit duidelijk de invloed van de opkomende industrie kan worden opgemaakt. Na 1980 is de zure neerslag met een derde afgenomen.

De atmosferische depositie van stikstofoxiden op de Noordzee draagt bij aan de eutrofiëring van de Noordzee. De eutrofiëringssituatie van de zee buiten de directe kustzone (ongeveer 50 kilometer) wordt bepaald door stikstof (de Vries, 1993). Het gebrek aan stikstof in deze wateren vormt de beperkende factor voor de algengroei. Een toename van stikstof resulteert dus in meer algen, iets dat ongewenst is aangezien algen voor fluctuaties van het zuurstofgehalte van het water zorgen. Met name uitschieters naar lage concentraties vormen een probleem voor de in het water levende organismen. Ook de vorming van schuim op het strand wordt veroorzaakt door algen.

De doelstellingen voor de emissies van  $NO_x$  worden voor 2010 niet gehaald (VROM, 1994). Hiervoor is een reductie van 128 kton nodig.



figuur 1 Historische ontwikkeling van de zure neerslag in Nederland.



Bron: Zwerver, 1983.

### 2.3.4 Koolwaterstoffen

Door onvolledige verbranding komen koolwaterstoffen in de uitlaatgassen terecht. De grootte, als ook de 'vorm' van HC's kan sterk verschillen. De ketens van koolstofatomen kunnen vertakt (iso alkanen) of onvertakt zijn (n-alkanen). Dan kunnen ze ook nog cyclisch zijn. Cyclische HC's zonder dubbele bindingen (verzadigd) worden naftenen of cyclo-alkanen genoemd. Koolwaterstoffen die dubbele bindingen bevatten worden oleofinen genoemd. Als koolwaterstoffen cyclisch en onverzadigd zijn heten ze aromaten. Polycyclische aromatische koolwaterstoffen worden, gezien de sterk afwijkende eigenschappen in de volgende paragraaf behandeld.

Koolwaterstoffen zijn vluchtig als ze minder dan 11 koolstofatomen bevatten. Voor deze HC's bestaat de verzamelterm VOS (volatile organic substances). VOS leveren een bijdrage aan het broeikas-effect. Daarnaast kunnen VOS fotochemische reacties aangaan met stikstofoxiden, waarbij ozon wordt gevormd. Ozon is in de troposfeer (tot een hoogte van 10 kilometer) beschikbaar en schadelijk voor gewassen. In het oog springende VOS zijn benzeen (carcinogeen, veroorzaakt leukemie) en toluen (giftig). De MAC-normen voor benzeen en toluen zijn respectievelijk 30 en 375 (mg/m<sup>3</sup>)

In het aquatische milieu worden de lichtere en vaak vluchtige koolwaterstoffen vooral aangetroffen aan het wateroppervlak, terwijl de zwaardere koolwaterstoffen zich hechten aan zwevende stof en zo in het sediment terecht komen. In het sediment wordt de afbraak door micro-organismen voornamelijk bepaald door de aanwezigheid van zuurstof. Aangezien in sedimenten vaak weinig zuurstof voorhanden is, hopen de zwaardere HC's zich

hierin op. Er zijn redelijk wat onderzoeksresultaten voorhanden over effecten van koolwaterstoffen in het aquatische milieu. Een goed overzicht hiervan wordt gegeven door B. Dicks en J.A. Bayley (1983).

Lichte HC's kunnen gemakkelijk celmembranen binnendringen en het metabolisme van een organisme beïnvloeden. Lage concentraties koolwaterstoffen (0,1 tot 1 ppm) kunnen subletale effecten hebben (remming van de fotosynthese en celdeling). Organismen die het meeste last van HC's hebben leven in de toplaag van het water of in het sediment. Hieronder vallen vele soorten plankton, de eieren en larven van vissen en de organismen die in het sediment leven. Bij concentraties boven 1 ppm treden acute effecten op.

De reductiedoelstellingen van VOS in Nederland komen voort uit de ozondoelstellingen en zijn 80% reductie in het jaar 2000 ten opzichte van 1990.

### 2.3.5 PAKs

Polycyclische aromatische koolwaterstoffen zijn koolwaterstoffen die zijn opgebouwd uit twee of meer benzeenringen. Het ministerie van VROM heeft uit de enkele honderden PAKs een tiental gidsstoffen geselecteerd. Een andere selectie uit het totaal aanbod van PAKs is de '6-PAK van Borneff'. De geselecteerde stoffen zijn te vinden in bijlage 3. Naftaleen is een vluchtige PAK en is alleen opgenomen in de 'tien van VROM'. Het gedrag van PAKs hangt voor een groot deel af van de grootte van de verbinding. Grote verbindingen, bestaande uit meer benzeenringen worden ook wel hogere PAKs genoemd. Hogere PAKs komen in de atmosfeer hoofdzakelijk aan deeltjes gebonden voor (bijvoorbeeld roetdeeltjes). In het water binden ze snel aan organische stof waardoor ze vooral in het sediment aangetroffen worden. In het sediment zijn PAKs moeilijk afbreekbaar door gebrek aan zuurstof. PAKs kunnen op enkele manieren in organismen voor problemen zorgen. De verbindingen kunnen reeds toxisch zijn of toxisch worden na reacties in organismen. De meeste organismen zijn goed in staat PAKs om te zetten (biotransformatie) of af te breken (biodegradatie). Tijdens, of na deze reacties worden er metabolieten gevormd die vele malen giftiger kunnen zijn dan de oorspronkelijke PAK. De organismen zetten PAKs om in beter wateroplosbare stoffen zodat ze ze kunnen uitscheiden (van der Naald, 1988). Wormachtigen, schaal- en schelpdieren zijn in mindere mate in staat tot biotransformatie en degradatie van PAKs. In deze organismen treedt dan ook bioaccumulatie op.

Daarnaast kunnen PAKs reageren met bijvoorbeeld stikstofverbindingen (nitro-PAKs) of halogenen (broom of chloor) onder invloed van licht. De zo gevormde verbindingen zijn vaak toxisch of carcinogeen (IARC, 1989). Lagere PAKs kunnen onder invloed van licht getransformeerd of afgebroken worden waarbij giftige stoffen ontstaan (fototoxiciteit). Dit vindt vooral plaats in de atmosfeer of de bovenste waterlaag.

**Tabel 2** Een aantal belangrijke polycyclische aromatische koolwaterstoffen en hun al dan niet carcinogene en mutagene eigenschappen

PAK	Mate van carcinogeniteit in proefdieren	Acute mutageniteit
aceanthryleen	-	+
anthanthreen	+/-	+/-
antraceen	+	-
benzo(j)aceantryleen	++	+
benzo(a)anthraceen	+	
benzo(b)anthraceen	-	
benzo(a)fenantreen	+++	
10,11 en 11,12 benzo(b)- en (j)fluorantheen	++	+
benzo(k) en (m,n,o)fluorantheen	-	
benzofluoreen	-	+
benzo(ghi)peryleen	+	+
benzo(a)pyreen	+++	+
benzo(e)pyreen	+/-	+
chryseen	+	+
coroneen	-	
cyclopenta(a)fenantreen	-	
dibenzo(a,c)anthraceen	+	+
dibenzo(a,h)anthraceen	+++	+
dibenzo(a,j)anthraceen	+	+
dibenzo(b,d,e,f)chryseen	++	
dibenzo(a,c) en (a,b)fluoreen	+/-	
dibenzo(a,g)fluoreen	+	
dibenzo(a,h) of (a,c)fluorantheen	+/-	
dibenzo(hrst)pentofeen	+	
dibenzo(a,e,i) en (e,l)pyreen	+	
dibenzo(c,d,j,k)pyreen	-	
dibenzo(a,h)pyreen	+++	+
dibenzo(a,i)pyreen	+++	+
dimethylbenz(a)anthraceen	+++	+
fenantreen	-	-
fluorantheen	-	-
fluoreen	-	-
indeno(1,2,3 cd)pyreen	+	
3 methylcholantreen	+++	
naftaceen	-	
peryleen	-	+
pyreen	+/-	-
tribenzopyreen	+	+
trifenyleen	+/-	

Bron: Copius Peereboom, 1986.

Veel PAKs zijn carcinogeen. De meest bekende PAK is benzo(a)pyreen (B(a)P). Chronische blootstelling aan matig met PAK vervuild sediment (totaal-PAK gehalte van 9,8-33 mg/kg) kan reeds tot tumoren en leveraandoeningen leiden (van der Naald, 1988). Daarnaast kunnen PAKs het erfelijk materiaal aantasten (mutagene stoffen). Onderzoek van carcinogene en mutagene potentie van veel voorkomende PAKs is samengevat in Tabel 2. Wat de normstelling voor PAKs in Nederland betreft mag de totale concentratie van de 6-PAK van Borneff niet meer bedragen dan 0,1 mg/m<sup>3</sup> in oppervlaktewater. De vooruitzichten op basis van het huidige beleid geven aan dat in het jaar 2000 meer dan de helft van de rijkswateren niet zal voldoen aan de

normstellingen (VROM/DGM, 1994). Voor regionale en lokale wateren zijn onvoldoende gegevens beschikbaar om zo'n schatting te maken.

### 2.3.6 Verbindingen met chloor

De verbindingen die in de uitlaatgassen van scheepsmotoren gevonden worden zijn polychloorbifenylen (PCBs), polychloor-dibenzofuranen (PCDFs) en polychloor-dibenzo-p-dioxinen (PCDDs) (Wulffraat, 1993).

PCB is een verzamelnaam voor 209 verschillende verbindingen die gemeenschappelijk hebben dat ze zijn opgebouwd uit twee benzeenringen waaraan een of meerdere chloor-atomen gebonden zijn. Alle PCBs zijn vrijwel onbrandbaar, slecht oplosbaar in water en stabiel onder hoge druk en temperatuur. De eigenschappen zijn sterk afhankelijk van de hoeveelheid gebonden chloor-atomen. Naarmate PCBs verder zijn gechloureerd zijn ze in het milieu moeilijker afbreekbaar, beter oplosbaar in olie en vet en giftiger voor organismen (CCRX, 1986). Deze eigenschappen hebben tot gevolg dat PCBs zich kunnen ophopen in het vet van organismen. Vooral hoger op in de voedselketen kunnen hierdoor aanzienlijke en problematische concentraties in bijvoorbeeld zeehonden ontstaan. Ook de mens krijgt, als toppredator een aanzienlijke hoeveelheid PCBs via het voedsel binnen, vooral via consumptie van vis. In het oppervlaktewater hechten PCBs zich met name aan het sediment (Klamer, 1989). Er zijn weinig gegevens over toxische effecten van de afzonderlijke PCBs (CCRX, 1986). Het is bekend dat PCBs zich ophopen in de lever, effect hebben op de voortplanting en dat ze kankerverwekkend zijn. Voor veldmetingen van PCBs, die gebruik maken van de PCB153 als gidsstof, bestaat het risico dat de toxiciteit van PCBs in het milieu onderschat wordt (Bergman, 1993).

Onder de groep dioxines vallen 210 soorten polychloordibenzo-p-dioxinen en dibenzofuranen. Deze stoffen zijn toxischer dan PCBs. Dioxines zijn vrijwel onoplosbaar in water en komen dan ook voornamelijk gebonden aan stofdeeltjes, zwevende stof en sediment voor. Naarmate de stoffen verder gechloureerd zijn vormen ze een groter probleem in het milieu. De lager gechloureerde congenereën kunnen nog fotochemisch worden afgebroken. Dit heeft tot gevolg dat vooral de hoger gechloureerde dioxines overblijven en zich ophopen in het milieu. Het ophopen in mensen en dieren kan per dioxine sterk verschillen. Dioxines kunnen effecten op de voortplanting en het immuunsysteem van organismen veroorzaken. Van de meeste dioxines is weinig bekend over de toxiciteit (KNLV, 1995). Aan de hand van overeenkomsten in structuur van de stoffen wordt voor de normstelling een toxisch equivalent geschat. Deze equivalenten worden weergegeven als TCDD-equivalenten, een isomeer waarvan meer over de giftigheid bekend is. De norm voor oppervlaktewater en grondwater is 10 fentogram/liter ( $10^{-15}$  gram/liter).

### 2.3.7 Zware metalen

De zware metalen die door scheepsmotoren worden uitgestoten zijn: arsenicum, cadmium, kobalt, chroom, koper, kwik, mangaan, molybdeem, nikkel, lood, vanadium en zink (Alexandersson, 1993). Deze metalen zijn voornamelijk gebonden aan de roetdeeltjes. Organismen krijgen zware metalen binnen met het voedsel. Het uitscheiden van zware metalen is een moeizaam

proces wat veel energie kost. Hierdoor kunnen reeds lage concentraties al effect op de energiebalans van een organisme hebben (Looise, 1990). Tijdens het uitscheidingsproces kunnen ook toxische metaboliëten ontstaan. Gezien de langzame uitscheiding kunnen zware metalen gemakkelijk bio-accumuleren in zowel de individuen als ook in de gehele voedselketen. Met name aquatische organismen zijn erg gevoelig voor zware metalen. In het water binden zware metalen zich met name aan de organische fractie van zwevende stof en komen zodoende in het sediment terecht. Organismen die in het sediment of van zwevende stof leven (filterfeeders, bijvoorbeeld mosselen) lopen hierdoor het meeste risico.

Cadmium is carcinogeen, kan nierstoornissen bij de mens veroorzaken en is extreem giftig voor aquatische organismen (BKH, 1993). Cadmium behoort tot de topvijf meest milieugevaarlijke stoffen en de vervuiling wordt met prioriteit aangepakt. Koper is niet carcinogeen maar vooral voor schelpdieren toxisch (van Linden, 1990). Kwik wordt in aquatische systemen omgezet in methylkwik. Dit is een stabiele verbinding die goed in vet oplost, wat leidt tot bio-accumulatie in het milieu. Goed oplosbare loodverbindingen zijn giftig. De normstelling voor cadmium in oppervlaktewater is 1  $\mu\text{g/l}$ . De normstelling voor kwik in het oppervlakte water is 0,5  $\mu\text{g/liter}$ . De normstelling voor lood, koper, arsenicum en nikkel is 50  $\mu\text{g/liter}$  en de norm voor zink is 200  $\mu\text{g/l}$  in het oppervlaktewater.

### 2.3.8 Overigen

Slechts een klein deel (20%) van de potentiële toxiciteit van het oppervlakte water kan verklaard worden aan de hand van concentraties van bekende stoffen (Hendriks, 1994). Deels kan dit verklaard worden door aan te nemen dat deze stoffen elkaar in sommige combinaties versterken (synergisme). Een andere verklaring is het feit dat er veel meer stoffen in het oppervlaktewater aan de potentiële toxiciteit bijdragen dan er bekend zijn. Met de huidige stand van de analyse techniek kunnen deze zogenaamde 'unknowns' aangetoond en gekwantificeerd worden (SENSE workshop, 1997). Het probleem dat onbekend is welke stoffen voor de potentiële toxiciteit verantwoordelijk zijn blijft aanwezig.

Er is weinig bekend over de stoffen die zich bevinden in uitlaatgassen van tweetaktmotoren. Er is wel een onderzoek voorhanden naar de toxische effecten van uitlaatgassen uit tweetaktbuitenboordmotoren op vis. In dit onderzoek wordt aangetoond dat een lage belasting, vergelijkbaar met in het veld aangetroffen omstandigheden, van vissen met deze uitlaatgassen resulteert in toxische effecten. Effecten als remming van de enzymactiviteit en blijvende schade aan genetisch materiaal van vissen, onder andere in levercellen, bloedcellen en niercellen zijn onderzocht en aangetoond. De onderzochte DNA schade maakt slechts een klein deel van mogelijk aangerichte schade aan een cel uit. Schade aan andere celbestanddelen bijvoorbeeld membranen, RNA, en andere eiwitten zijn zeer wel denkbaar (Balk, 1994). De belasting van de vissen door bio-accumulatie in de voedselketen is in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. Dat de onbekende stoffen accumuleren is vrijwel zeker. De resultaten representeren hierdoor mogelijk de minimale biologische effecten.

Aan de uitlaatgassen van diesel- en benzinemotoren is veel toxiciteitsonderzoek gedaan, gezien de blootstelling van de mens aan uitlaatgassen (IARC,

1989). Hieruit is gebleken dat de carcinogeniteit en toxiciteit van de diesel-uitlaatgassen zich voornamelijk concentreert in de roetdeeltjes. Voor benzine-uitlaatgassen is aangetoond dat zowel de roetdeeltjes als de gasfase toxisch en carcinogeen zijn.

## 2.4 Samenvatting en conclusies

### 2.4.1 Processen

Naarmate de brandstof vollediger wordt verbrand bevatten de uitlaatgassen minder verontreinigingen. De samenstelling van de brandstof heeft een grote invloed op de samenstelling van de uitlaatgassen. Zo wordt het in de brandstof aanwezige zwavel uitgestoten als SO<sub>x</sub>. Microverontreinigingen en zware metalen zitten voornamelijk aan roetdeeltjes gehecht.

#### *Heavy Fuel Oil*

Heavy Fuel Oil (HFO) wordt gebruikt door de grote zeeschepen en de samenstelling van de brandstof is meestal onbekend door het bijmengen van industriële reststromen onder de verzamelnaam cutterstock. Door het vaak hoge zwavelgehalte van HFO wordt er veel SO<sub>x</sub> uitgestoten. De hoge verbrandingstemperatuur, lange verblijfstijden en de grote overmaat aan lucht zorgen voor de uitstoot van veel NO<sub>x</sub>. De uitgestoten microverontreinigingen zijn grotendeels afhankelijk van de samenstelling van de brandstof.

#### *MDO, gas- en dieselolie*

De processen die een rol spelen bij het verbranden van MDO, gas- en dieselolie komen grotendeels overeen met de processen die een rol spelen bij het verbranden van HFO. Er is echter wat minder uitstoot van microverontreinigingen te verwachten omdat de brandstoffen niet met een cutterstock versneden worden. De uitstoot van zwavel en NO<sub>x</sub> zal ook lager zijn dan bij HFO door de andere samenstelling van de brandstoffen (minder stikstof en minder zwavel) en de kortere verblijfstijden.

#### *Benzine*

Benzinemotoren zijn lichter geconstrueerd dan dieselmotoren en voornamelijk in gebruik bij de recreatievaart. De emissies komen kwalitatief overeen met de emissies uit dieselmotoren maar de verhoudingen waarin de stoffen worden uitgestoten verschillen aanzienlijk. Zo ontstaan er minder NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> en roetdeeltjes bij gebruik van benzine, maar meer koolwaterstoffen. De roetdeeltjes zijn kleiner en compacter dan bij diesel.

#### *Mengsmering*

Mengsmering is benzine met smeerolie. Door de smeerolie aan benzine toe te voegen wordt de functie van het smeersysteem van de motor overgenomen en kan de motor eenvoudiger en lichter geconstrueerd worden. Deze motoren hebben het nadeel dat een derde van de brandstof de motor passeert zonder te verbranden. De emissies komen overeen met de emissies uit benzinemotoren waar bovenop stoffen worden geëmitteerd die zijn ontstaan uit deels verbrande smeerolie en onverbrande brandstof. De emissie van microverontreinigingen door buitenboordmotoren is nog grotendeels onbekend.

### 2.4.2 Stofeigenschappen

De stoffen die in de emissies worden aangetroffen vormen in meer of mindere mate een bedreiging voor het milieu. Koolstof(di)oxiden dragen bij aan het broeikaseffect. SO<sub>x</sub> en NO<sub>x</sub> dragen bij aan de zure regen en aan de eutrofiëring. Koolwaterstoffen kunnen samen met NO<sub>x</sub> na fotochemische reacties voor problemen zorgen (smog). Ook dragen ze bij aan het broeikaseffect. Een deel van de uitgestoten koolwaterstoffen zijn PAKs. Deze stoffen hopen zich op in het milieu en zijn vaak giftig en carcinogeen. Het aquatische milieu is erg gevoelig voor deze stoffen. Verbindingen met chloor worden met name door de zeescheepvaart uitgestoten.

### 2.4.3 Conclusies

De uitlaatgassen van de verschillende categorieën scheepsmotoren bevatten een keur aan stoffen. Een deel van deze stoffen kan schade aan mensen en andere organismen veroorzaken. Daarnaast kunnen ook (soms indirect) negatieve effecten optreden in het milieu, bijvoorbeeld eutrofiëring, verzuren van bodem en water, fotochemisch ontstaan van ozon, aantasten van de ozonlaag en toename van het broeikaseffect.

#### *Cutterstock*

De samenstelling van de brandstof en de mate van verbranding zijn van grote invloed op de emissie van deze stoffen. De samenstelling van de brandstof heeft direct zijn weerslag op de samenstelling van de emissies. Zorgwekkend is hierbij het toevoegen van chemisch afval (o.a. afgewerkte motorolie) en reststromen uit de (petro)chemische industrie (met onbekende herkomst en samenstelling) aan stookolie voor de zeescheepvaart, wat regelmatig geconstateerd wordt. Deze toevoegingen kunnen resulteren in de uitstoot van zeer giftige microverontreinigingen als nitro-PAKs, PCBs en dioxines. Daarnaast is kans op uitstoot van andere onbekende milieugevaarlijke stoffen.

#### *Mengsmering*

Naarmate de verbranding onvollediger verloopt nemen de emissies toe. Tweetaktmotoren die mengsmering verbranden nemen hier een aparte plaats in omdat deze motoren afhankelijk zijn van de smering door smeerolie in de brandstof, die om deze reden voor een deel onverbrand blijft. De emissies van tweetaktmotoren hebben zorgwekkende effecten op vis bij concentraties die in de praktijk voorkomen. Over de identiteit van de hiervoor verantwoordelijke stoffen is nog weinig bekend.

### 3. Omvang van emissies uit scheepsmotoren.

#### 3.1 Inleiding

##### *Soorten emissies*

Zoals uit het voorgaande hoofdstuk is gebleken worden de volgende stoffen uit scheepsmotoren geëmitteerd: CO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, diverse koolwaterstoffen waaronder PAKs, zware metalen en aan roetdeeltjes gebonden microverontreinigingen.

##### *Bronnen*

De motoren die deze stoffen uitstoten zijn voor de zeescheepvaart slow en medium speed motoren. De slow speed motoren varen op stookolie en de medium speed motoren varen op gas- of dieselolie. Slow speed motoren worden vooral gebruikt als hoofdmotor op grote zeeschepen. De medium speed motoren worden op de grote schepen als hulpmotor gebruikt en op kleine schepen als hoofdmotor (bijvoorbeeld viskotters). In de binnenvaart worden vooral medium speed motoren gebruikt als hoofdmotor. Soms is er als hulpmotor ook een high speed dieselgenerator aan boord. De recreatievaart kent binnenboord en buitenboordmotoren. Ongeveer 5 % van de binnenboordmotoren zijn benzine motoren. De rest van de binnenboordmotoren zijn high speed dieselmotoren. De buitenboordmotoren verbranden, met een uitzondering daargelaten, mengsmering.

##### *Emissieroutes*

Voor de zeescheepvaart en de binnenvaart worden de uitlaatgassen direct naar de lucht geëmitteerd. Gezien de geringe hoogte van de uitlaten worden de uitlaatgassen onder de inversielaag in de atmosfeer geëmitteerd. Dit is voor de verspreiding van de verontreinigingen van belang. In de recreatievaart is meer variatie in uitlaatsystemen. Voor de binnenboordmotoren wordt ongeveer in de helft van de gevallen vlak boven de waterlijn direct naar de lucht geëmitteerd. De andere helft van de binnenboordmotoren heeft de uitlaat onderwater, of een watergekoeld uitlaatsysteem wat hetzelfde effect resulteert. De buitenboordmotoren hebben allemaal de uitlaat onder water. De uitlaatgassen worden hierbij in het schroefwater geëmitteerd.

##### *Verdelen van emissies naar lucht en water*

Er is weinig duidelijkheid over de hoeveelheid geëmitteerde stoffen die in het water terecht komt. Voor naar de lucht geëmitteerde stoffen door de zeescheepvaart wordt verwacht dat de zwaardere deeltjes (roet) binnen een straal van veertig kilometer van de bron in zee terecht komen. Voor NO<sub>x</sub> en SO<sub>x</sub> is bekend dat deze stoffen wel 2000 kilometer getransporteerd kunnen worden voor ze neerslaan. Vaak is het dan moeilijk de emissies te verdelen naar depositie op land of water.

De emissies uit de binnenvaart vinden plaats op water dat relatief smal is. Een verdeling naar land en water is dan ook moeilijk te maken.

Al wordt voor de emissies uit de recreatievaart soms aangenomen dat de helft van de stoffen in het water achterblijft (van Benthum 1994), duidelijkheid hieromtrent ontbreekt nog. Aangezien de stoffen onderwater geëmitteerd worden is onduidelijk hoe lang de stoffen er over doen het water te



verlaten en in welke mate er sprake is van milieurisico in die periode. Gezien de complexiteit van het verdelen van de emissies tussen lucht en water wordt er in dit verslag de nadruk gelegd op de totale emissie.

#### *Methodiek*

Het schatten van de omvang van de emissies uit de diverse scheepsmotoren gebeurt in dit rapport op basis van emissiefactoren en energiegebruik. Emissiefactoren geven voor een bepaald motortype aan hoeveel van een bepaalde stof per kilogram verbruikte brandstof vrijkomt. Het schatten van emissiefactoren wordt gedaan door naast het meten van de diverse geëmitteerde stoffen ook het brandstofverbruik te meten. Factoren die van invloed zijn op de emissiefactoren zijn onder andere de belasting van de motor (variatie van het toerental), de afstelling van de motor (brandstofmengsel) en de samenstelling van de brandstof.

Het schatten van het brandstofverbruik kan door het specifieke brandstofverbruik van een motor te vermenigvuldigen met de geleverde prestatie (bijvoorbeeld vaaruren of geleverde energie). Vaaruren kunnen weer op basis van scheepsbewegingen geschat worden. Geleverde energie kan geschat aan de hand van de waterverplaatsing van het schip en de afgelegde weg.

#### *Tekortkomingen van de methodiek*

De onzekerheden bij het toepassen van bovengenoemde methode zijn te verdelen naar onzekerheden betreffende de emissiefactoren en onzekerheden betreffende het energiegebruik.

Bij het schatten van emissiefactoren wordt ervan uitgegaan dat metingen aan enkele motoren representatief zijn voor de hele groep motoren waar de emissiefactoren voor gebruikt worden. Dit terwijl motoren hierin aanzienlijk kunnen verschillen. Ook de andere factoren tijdens het meten, zoals belasting van de motor en samenstelling van de brandstof, worden verondersteld representatief te zijn voor het gebruik van alle motoren. Daarnaast zijn er alleen emissiefactoren beschikbaar voor stoffen die worden gemeten. Aangezien alleen die stoffen gemeten worden die verwacht worden en bekend zijn, vallen onbekende stoffen buiten de boot. Emissiefactoren betreffen slechts een deel van de emissies.

Onzekerheden bij het energiegebruik schuilen in het schatten van het specifieke brandstofverbruik en het schatten van vaaruren of geleverde prestatie. Deze factoren kunnen per schip en schipper sterk verschillen.

#### *Leeswijzer*

In de volgende paragraaf zullen de emissiefactoren uit de literatuur worden gegeven en besproken. In paragraaf 3.3 worden de emissiefactoren gekoppeld aan het energiegebruik waardoor de totale omvang duidelijk wordt. Voor de omvang wordt onderscheid gemaakt naar emissies uit de zeescheepvaart, emissies uit de binnenvaart en emissies uit de recreatievaart. In de laatste paragraaf van hoofdstuk 3 worden de resultaten samengevat en enkele conclusies getrokken.

## 3.2 Emissiefactoren

### 3.2.1 Slow en medium speed dieselmotoren

#### *Herkomst emissiefactoren*

Emissies van de zeescheepvaart worden aan boord van het schip gemeten door een monster uit het uitlaatsysteem te analyseren. Het bemachtigen van een representatief monster is lastig gezien de grote hoeveelheid uitlaatgassen en de beperkte omvang van het monster. Deze omvang wordt vaak beperkt doordat door roetdeeltjes de filters dichtslaan of doordat de uitermate corrosieve uitlaatgassen in de leidingen condenseren. TNO heeft samen met Lloyd's Register metingen aan uitlaatgassen van een containerschip verricht tijdens stilliggen, manoeuvreren en varen. Deze metingen vormen de basis van de emissiefactoren die door het CBS en TNO worden gebruikt. Voor stilliggende schepen wordt ervan uitgegaan dat 50% van de benodigde energie uit stookolie komt en de andere helft uit diesel (gebruikt in hulpmotoren). Voor varende schepen wordt ervan uitgegaan dat 70% van de energie uit stookolie en 30 % uit diesel afkomstig is. De emissiefactoren voor de diverse koolwaterstoffen worden uitgedrukt als een fractie van het VOS-gehalte zonder methaan (Non Methane VOS) . Dit profiel is overgenomen van dieselmotoren uit het wegverkeer en is te vinden in bijlage 4, tabel 11. Deze aanname wordt redelijk onderbouwd door enkele metingen aan scheepsdiesels (Lloyd's Register, 1995). Voor enkele microverontreinigingen zijn wel aan een slow speed dieselmotor gemeten emissiefactoren voorhanden. De emissiefactoren voor de zeescheepvaart staan in tabel 3. De emissiefactoren voor enkele microverontreinigingen staan in Tabel 4

Emissiefactoren voor mediumspeed dieselmotoren zoals gebruikelijk in de binnenvaart zijn voor de binnenvrachtvaart weergegeven in tabel 5. Hierbij is voor de diverse koolwaterstoffen hetzelfde profiel gebruikt als voor het wegverkeer (bijlage 4). Aangezien passagiersschepen meer energie nodig hebben (verwarmen van het interieur) en vaak meer manoeuvreren (veerdiensten) worden hiervoor iets andere emissiefactoren aangehouden, welke in Tabel 6 staan.

#### *Tabellen*

**tabel 3** Emissiefactoren voor de zeescheepvaart

Stof(groep)	varend (g/kg-brandstof)	stilliggend
CO	7,2	8,2
VOS verbr.	2,7	2,5
NOx	68	43
Aërosolen	4,7	4,3
SO <sub>2</sub>	39	31
CO <sub>2</sub>	3100	3100
N <sub>2</sub> O	0,7	0,7
CH <sub>4</sub>	0,1	0,1
NMVOS, verbr.	2,6	2,4

Stof(groep)	varend (mg/kg-brandstof)	stilliggend
Vanadium	70	50
Kwik	0,035	0,025
Cadmium	0,02	0,02
Koper	0,86	1,1
Chroom	0,19	0,15
Nikkel	28	20
Seleen	0,02	0,02
Zink	0,65	0,75
Arsenicum	0,05	0,05

Ongecorrigeerd voor bijmengen van onbekende stoffen aan stookolie.

Bron: CBS en TNO, 1997 ongepubliceerd.

**Tabel 4** Emissiefactoren voor de zeescheepvaart, microverontreinigingen

Stof(groep)	range	eenheid
PCB*	0,65 tot 1,95	µg/kg
PCB 153	30 tot 200	ng/kg
PCDD, PCDF*	0,07 tot 6,6	ng/kg
PAK-22*	0,42 tot 2,97	mg/kg
PAK-Borneff	0,07 tot 0,29	mg/kg
benz(a)pyreen	0,07 tot 7,8	µg/kg
Nitro-PAKs*	23 tot 320	µg/kg

Gebaseerd op metingen aan een containerschip en niet gecorrigeerd voor bijmengen van onbekende stoffen aan stookolie. Voor beschrijving stofgroepen, zie bijlage 3.

Bron: Wulffraat, 1993

**tabel 5** Emissiefactoren voor de binnenvrachtvaart

Stof(groep)	(g/kg-diesel)	Stof(groep)	(mg/kg-diesel)
CO	3	Lood	0
VOS verbr.	3	Cadmium	0,01
NOx	60	Koper	1,7
Aërosolen	4	Chroom	0,05
SO <sub>2</sub>	3,4	Nikkel	0,07
CO <sub>2</sub>	3130	Seleen	0,001
N <sub>2</sub> O	0,69	Zink	1
CH <sub>4</sub>	0,12	Arseen	0,05
NMVOS, verbr.	2,9	PAK-Borneff	0,15
		PAK-VROM	8,69
		PAK-EPA	9,08

Emissiefactoren voor microverontreinigingen zijn afgeleid van het wegverkeer.

Bron: CBS en TNO, 1997 niet gepubliceerd.

**Tabel 6** Emissiefactoren voor passagiersvervoer

Stof(groep)	(g/kg-diesel)	Stof(groep)	(mg/kg-diesel)
CO	10	Lood	0
VOS verbr.	6	Cadmium	0,01
NOx	50	Koper	1,7
Aërosolen	6	Chroom	0,05
SO <sub>2</sub>	3,4	Nikkel	0,07
CO <sub>2</sub>	3130	Seleen	0,001
N <sub>2</sub> O	0,69	Zink	1
CH <sub>4</sub>	0,24	Arseen	0,05
NMVOS, verbr.	5,8	PAK-Borneff	0,3
		PAK-VROM	17,38
		PAK-EPA	18,16

Emissiefactoren voor microverontreinigingen zijn afgeleid van het wegverkeer.

Bron: CBS en TNO, 1997 niet gepubliceerd.

### Betrouwbaarheid

De voor de zeescheepvaart gebruikte emissiefactoren geven voor microverontreinigingen een vertekend beeld, gezien het bijmengen restprodukten uit de chemische- en verfindustrie, waaronder gevaarlijk afval.

### 3.2.2 High speed dieselmotoren

#### *Herkomst emissiefactoren*

De emissiefactoren voor high speed dieselmotoren zijn afkomstig uit het wegverkeer.

#### *Tabellen*

**tabel 7** Emissiefactoren voor high speed dieselmotoren

Stof(groep)	(g/kg-diesel)	Stof(groep)	(mg/kg-diesel)
CO	30	Lood	0
VOS verbr.	10	Cadmium	0,01
NOx	62	Koper	1,7
Aërosolen	3,05	Chroom	0,05
SO <sub>2</sub>	3,4	Nikkel	0,07
CO <sub>2</sub>	3130	Seleen	0,001
N <sub>2</sub> O	0,69	Zink	1
CH <sub>4</sub>	0,35	Arseen	0,05
NMVOS, verbr.	9,7	PAK-Borneff	0,49
		PAK-VROM	29,08
		PAK-EPA	30,37

Emissiefactoren voor microverontreinigingen zijn afgeleid van het wegverkeer.

Bron: CBS en TNO, 1997 niet gepubliceerd.

#### *Betrouwbaarheid*

Factoren als het motorgebruik, motorvermogen en motorbelasting van scheepsmotoren verschillen van motoren in het wegverkeer. Ook maken scheepsdiesels doorgaans minder toeren dan vergelijkbare motoren in het wegverkeer. In hoeverre deze verschillen doorwerken in de emissiefactoren zal uit verder onderzoek moeten blijken.

### 3.2.3 Binnenboord benzinemotoren

#### *Herkomst emissiefactoren*

De emissiefactoren voor benzine binnenboordmotoren zijn afkomstig van benzinemotoren zonder katalysator uit het wegverkeer.

## Tabellen

tabel 8 Emissiefactoren voor binnenboord benzinemotoren (recreatievaart).

Stof(groep)	(g/kg-benzine)	Stof(groep)	(mg/kg-benzine)
CO	551	Lood	20,0
VOS verbr.	260	Cadmium	0,01
NOx	1,5	Koper	1,7
Aërosolen	2,4	Chroom	0,05
SO <sub>2</sub>	0,4	Nikkel	0,07
CO <sub>2</sub>	1500	Seleen	0,001
N <sub>2</sub> O	0,22	Zink	1
CH <sub>4</sub>	13	Arseen	0,05
NMVOS, verbr.	247	PAK-Borneff	7,24
		PAK-VROM	264,5
		PAK-EPA	280,8

Emissiefactoren afkomstig uit het wegverkeer  
Bron: van Bentum, 1994; Veldt, 1993

### Betrouwbaarheid

Zoals reeds bij high speed dieselmotoren is opgemerkt is het nog onduidelijk in hoeverre de emissiefactoren van motoren uit het wegverkeer overeenkomen met die van scheepsmotoren.

### 3.2.4 Buitenboordmotoren

#### Herkomst emissiefactoren

Het meten van emissies uit buitenboordmotoren geschiedt doorgaans in een watertank (proefopstelling) waaruit de uitlaatgassen worden opgevangen en het water wordt geanalyseerd. Het afleiden van eenduidige emissiefactoren voor buitenboordmotoren wordt bemoeilijkt doordat de verschillen tussen de buitenboordmotoren onderling groot zijn. Zo kan de mengsmerings-verhouding verschillen van 1:25 (1 deel smeerolie op 25 delen benzine) voor de oudere motoren tot 1:200 voor de nieuwste motoren. Voor het schatten van de smeerolie-emissie door buitenboordmotoren is het van belang te weten hoeveel motoren van elk soort er in gebruik zijn. Voor 1986 werden voornamelijk '1:50 motoren' verkocht. Na 1986 zijn de '1:100 motoren' op de markt gekomen. Sinds 1990 zijn er '1:200 motoren' op de markt. Per jaar worden ongeveer 8000 motoren nieuwe motoren verkocht (mond. med. Willemse ). Voor een deel zijn dit vervangingsmotoren en voor een deel zijn ze toegevoegd aan het totaal aantal buitenboordmotoren in Nederland. Op basis van deze gegevens en de emissiefactoren voor smeerolie van diverse motoren is voor enkele jaren een emissiefactor voor smeerolie afgeleid (conform de methode gebruikt door van Bentum ). De emissiefactoren voor smeerolie staan in tabel 9. In hoeverre de smeerolie-emissie bijdraagt aan de emissie van minerale olie, roetdeeltjes, PAKs en VOS is nog onduidelijk.

Om een idee van de emissies van microverontreinigingen te krijgen is er een vergelijking getrokken met de emissiefactoren voor bromfietsen. De emissiefactoren voor bromfietsen zijn weer tot stand gekomen door het deel van de brandstof dat de motor onverbrand passeert op te tellen als benzinedamp bij onbestreden emissies van het wegverkeer. Effecten van de smeerolie worden hierdoor buiten beschouwing gelaten. De (gemeten) emissiefactoren voor

buitenboordmotoren staan in tabel 10. Deze emissiefactoren zijn gemeten in proefopstellingen waarbij de uitlaten van de motoren net onderwater zaten. De motoren waren niet voorzien van een schroef. De metingen werden in de bovenstaande lucht uitgevoerd. De theoretische emissiefactoren voor microverontreinigingen zijn te vinden in bijlage 4, tabel 9.

### Tabellen

**tabel 9** Emissiefactoren van smeeroil uit buitenboordmotoren

jaar	aantal 1:50 motoren	aantal 1:100 motoren	aantal 1:200 motoren	(g olie/kg-benzine)
1985	88790	0	0	6,80
1990	57880	40000	0	5,21
1995	28067	40000	40000	3,23
vervangen van 1:100	-685	40000	80000	
2000a				
2000	0	39315	80000	1,66

Bron: Schneider, 1981; van Bentum, 1994

**tabel 10** Emissiefactoren voor buitenboordmotoren (mengsmering)

Stofgroep	motor <10 kW g/kg	motor > 10 kW g/kg
NOx	4,48	5,45
HC	223,88	272,73
CO	373,13	454,55
PM	7,46	9,09
CO <sub>2</sub>	1641,79	2000,00
SO <sub>2</sub>	0,31	0,31

Uitlaatgassen boven water gemeten aan buitenboordmotor zonder schroef.

Bron: Mariterm AB, 1991

### Betrouwbaarheid

De emissiefactoren van de E.P.A. Zweden zijn gemeten aan een buitenboordmotor zonder schroef (Mariterm AB, 1991). Hierdoor borrelen de uitlaatgassen in vrij grote bellen naar het oppervlakte in plaats van door de schroef in het water geslagen te worden. Het water is niet geanalyseerd op geëmitteerde stoffen. Een vergelijking met metingen aan een tweetakt-motor van een grasmaaier gaf een soortgelijk beeld. Het feit dat de metingen aan de uitlaatgassen na een passage door water plaatsvonden lijkt voor gemeten stoffen niet tot een grote onderschatting te leiden.

De emissiefactoren voor microverontreinigingen zijn niet op directe metingen gebaseerd, maar verkregen door bij gemeten emissiefactoren van viertakt-motoren een deel benzinedamp op te tellen. Aangezien er geen rekening wordt gehouden met deels verbrande smeeroil is het waarschijnlijk dat de emissie van microverontreinigingen wordt onderschat.

### 3.3 Omvang en geografische verdeling van de emissies

#### 3.3.1 Zeescheepvaart

##### 3.3.1.1 Totale motoremissies zeescheepvaart

###### *Energiegebruik*

Het brandstofverbruik door scheepvaart op het Nederlands Continentaal Plat wordt geschat op 920.000 ton bunkerolie/jaar (mond. med. de Wit ). Deze schatting is gebaseerd op de hoeveelheden verkochte brandstoffen. De schatting dient gezien te worden als een ruwe schatting gezien het mondiale karakter van de zeescheepvaart.

###### *Tabellen emissies*

**tabel 11** Motoremissies door zeescheepvaart op het Nederlands Continentaal Plat

Stof(groep)	(kiloton/jaar)	Stof	(ton/jaar)
CO	6,6	Vanadium	64,40
VOS verbr.	2,5	Kwik	0,03
NOx	62,6	Cadmium	0,02
Aërosolen	4,3	Koper	0,79
SO <sub>2</sub>	35,9	Chroom	0,17
CO <sub>2</sub>	2852,0	Nikkel	25,76
N <sub>2</sub> O	0,6	Seleen	0,02
CH <sub>4</sub>	0,1	Zink	0,60
NMVOS, verbr.	2,4	Arsenicum	0,05

Door variabele brandstofkwaliteit kan de werkelijke emissie voor zware metalen afwijken, bovenstaande schattingen betreffen een minimale schatting.

**Tabel 12** Motoremissies microverontreinigingen zeescheepvaart op het NCP

Stof(groep)	range (kg/jaar)
PCB	0,60 - 1,79
PCB 153	0,03 - 0,18
PCDD, PCDF	0,00 - 0,01
PAK-22	386,40 - 2732,40
PAK-Borneff	64,40 - 266,80
benz(a)pyreen	64,40 - 7176,00
Nitro-PAKs	21,16 - 294,40

Door variabele brandstofkwaliteit kan de werkelijke emissie voor microverontreinigingen afwijken, bovenstaande schattingen betreffen een minimale schatting.

###### *Betrouwbaarheid*

De bovenstaande schattingen zijn zeer ruwe schattingen. De emissiefactoren zijn afkomstig van enkele metingen aan varende schepen en hun brandstof. Daarnaast is het energiegebruik ook ruw geschat. De bovenstaande schattingen kunnen gezien worden als minimale schattingen. Door de variabele en steeds afnemende kwaliteit van de brandstof (steeds verdergaande raffinage van de ruwe olie en bijmengen cutterstock), als ook de extra uitstoot tijdens manoeuvreren van de schepen, valt de werkelijke emissie hoger uit.

### 3.3.1.2 Verdeling motoremissies zeescheepvaart

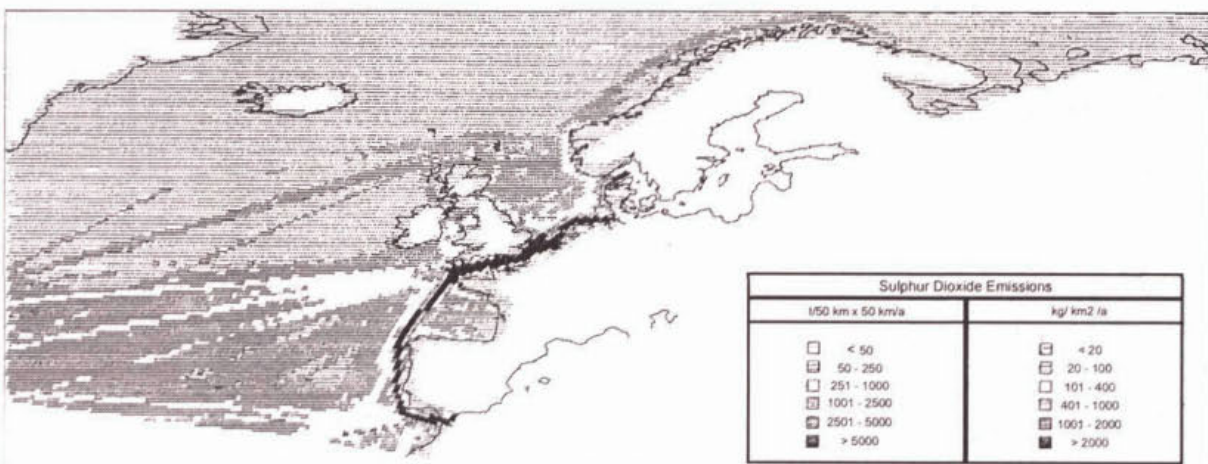
#### Verdeelsleutel

In 1995 is er aan de hand van scheepsbewegingen een schatting gemaakt van de hoeveelheid en verdeling van de door de scheepvaart geëmitteerde stoffen op het noordoostelijke deel van de Atlantische oceaan en de Noordzee (Lloyd's Register, 1995). De hieruit voortgekomen figuren zijn in dit rapport overgenomen.

#### Tabellen

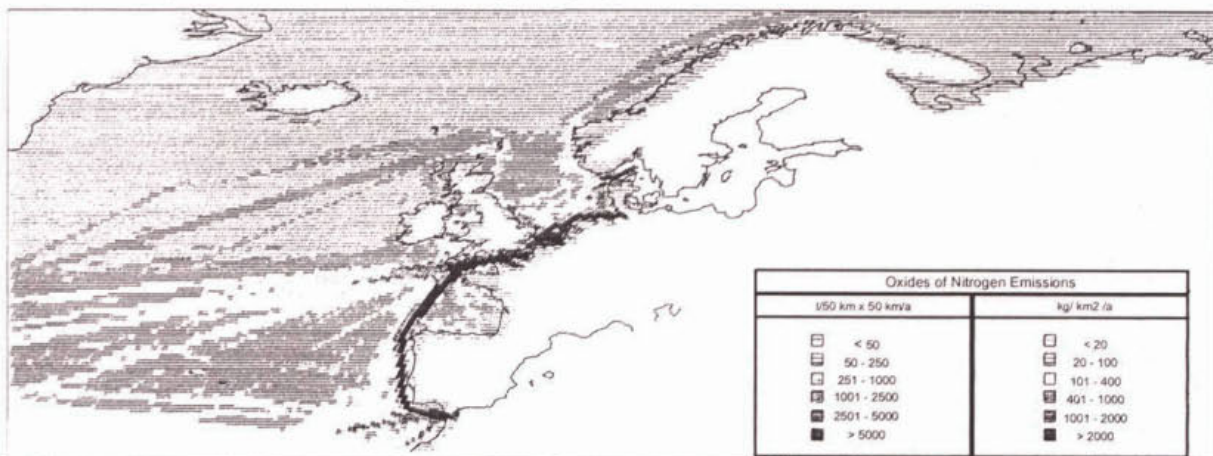
Uit figuur 2 tot en met figuur 5 blijkt duidelijk dat een belangrijk deel van de emissies plaatsvindt op het Nederlands Continentaal Plat (NCP). Voor de microverontreinigingen zal er van een soortgelijke verdeling sprake zijn.

**figuur 2** Berekende SO<sub>2</sub> emissies voor scheepvaart op het noordoostelijke deel van de Atlantische oceaan, 1990. (in ton/50 km x 50 km/jaar & kg/km<sup>2</sup>/jaar)



Bron: Lloyd's Register, 1995

**figuur 3** Berekende NO<sub>x</sub> emissies voor scheepvaart op het noordoostelijke deel van de Atlantische oceaan, 1990. (in ton/50 km x 50 km/jaar & kg/km<sup>2</sup>/jaar)



Bron: Lloyd's Register, 1995



**figuur 4** Berekende CO emissies voor scheepvaart op het noordoostelijke deel van de Atlantische oceaan, 1990. (in ton/50 km x 50 km/jaar & kg/km<sup>2</sup>/jaar)



Bron: Lloyd's Register, 1995

**figuur 5** Berekende HC emissies voor scheepvaart op het noordoostelijke deel van de Atlantische oceaan, 1990. (in ton/50 km x 50 km/jaar & kg/km<sup>2</sup>/jaar)



Bron: Lloyd's Register, 1995

#### Betrouwbaarheid

Bovenstaande schattingen komen redelijk overeen met andere schattingen die er op dit gebied zijn gedaan. Echter, in vergelijking met de onderzoeksresultaten van de EMEP (EMEP, 1993) zijn de waarden voor totaal uitgestoten NO<sub>x</sub> en SO<sub>x</sub> in de studie van Lloyd's Register aanzienlijk hoger. De Tabel 13 is overgenomen uit het onderzoeksverslag en geeft de resultaten van verschillende onderzoeken weer.

**Tabel 13** Comparative evaluation of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emission estimates for the study area (in tonnes x 10<sup>3</sup>)

Reseachers	Area	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Lloyd's Register	N E Atlantic	1371	1935
	English Channel & southern North Sea	162	227
Concawe	English Channel & southern North Sea	152	-
Marintek	English Channel & southern North Sea	122	-
DNV	N E Atlantic	590	780
EMEP	N E Atlantic	490	541

Bron: Lloyd's Register, 1995

### 3.3.1.3 Relevantie voor water

De emissies uit de scheepsmotoren van zeeschepen worden in de eerste instantie naar de lucht geëmitteerd. De vaste deeltjes zullen vrij snel neerslaan op het oppervlaktewater. De emissie van roetdeeltjes, met daaraan een verscheidenheid aan verontreinigingen als bijvoorbeeld (nitro-)Paks en zware metalen is dan direkt relevant voor het water.

### 3.3.2 Binnenvaart

#### 3.3.2.1 Totale motoremissies binnenvaart

##### *Energiegebruik*

Er zijn twee studies geweest naar het energiegebruik en de omvang van emissies uit scheepsmotoren van de binnenvaart. Het NEA heeft in 1991 de emissies door het goederenvervoer op de binnenwateren in kaart gebracht. Hierbij is de passagiersvaart en de binnenvisserij buiten beschouwing gelaten. Er is rekening gehouden met emissies gedurende verschillende belastingsgraden zoals tijdens manoeuvreren en opstarten. De hoofdwaterwegen van Nederland zijn hiertoe in vakken opgedeeld waarna er per vak op, basis van scheepsbewegingen, de hoeveelheid gebruikte energie is berekend. Dit onderzoek geeft dan ook inzicht in de ruimtelijke verdeling van de emissies in Nederland. Het onderzoek betrof emissies in het jaar 1983 en geeft een prognose voor het jaar 2000. In tabel 14 en tabel 15 zijn de resultaten van dit onderzoek weergegeven.

Daarnaast heeft het CBS een schatting gemaakt van het energiegebruik en de emissies in de binnenvaart. Hierbij is wel rekening gehouden met de binnenvisserij en de passagiersvaart. In tabel 16 en tabel 17 worden de emissies van de diverse stofgroepen gegeven. De geschatte hoeveelheden van de afzonderlijke koolwaterstoffen zijn te vinden in bijlage 5.

##### *Tabellen emissies*

**tabel 14** Motoremissies per provincie per stof voor 1983

Provincie	Emissies (ton)						
	NO	NOx	CO	CO <sub>2</sub> *	SO <sub>2</sub>	HC	PM
Groningen	127,8	136,5	20,2	9,8	11	9,3	3,1
Friesland	291,2	309,9	50,5	23,2	26,9	20,8	7,2
Drenthe	8,6	9,2	1,2	0,6	0,7	0,6	0,2
Overijssel	184,7	195,2	31,2	15,1	17,9	12,4	4,2
Gelderland	3423,8	3614,5	624,3	284,7	342,9	230,5	81,3
Flevoland	313,3	329,2	61,9	27,1	33,8	20,5	7,6
Utrecht	682,5	715,9	155	61,5	79	44,6	16,9
Noord-Holland	527,1	555,7	111,7	45,7	57	35,7	13
Zuid-Holland	2937,4	3084,8	667,6	263	337	194,6	76
Zeeland	862,7	905,6	193,3	77,3	98,9	56,7	21,4
Noord-Brabant	1695,1	1780,9	371,5	150,2	191	112,2	43
Limburg	722,3	760,9	140,7	61,6	75,9	48,2	17,7
totaal	11776,5	12398,3	2429,1	1019,8	1272	786,1	291,6

\*CO<sub>2</sub> in 1000 ton  
Bron: NEA, 1991

**tabel 15** Motoremissies per provincie per stof voor 2000

Provincie	Emissies (ton)						
	NO	NOx	CO	CO <sub>2</sub> *	SO <sub>2</sub>	HC	PM
Groningen	180,9	193,3	28,2	13,8	15,4	13,2	4,5
Friesland	410,7	437,4	68	32,3	37	29,4	10,2
Drenthe	16,3	17,5	2,4	1,2	1,3	1,2	0,4
Overijssel	277,5	294,1	44,9	22,3	25,9	19	6,3
Gelderland	5335,5	5642,4	921,6	435,8	512,2	361,8	121,2
Flevoland	475,1	500,2	88,6	40,3	49,3	31,3	11,2
Utrecht	1008,8	1059,6	214,2	88,9	112,3	66,2	24,4
Noord-Holland	784,1	827,2	158,9	67,1	82,8	53,1	19,2
Zuid-Holland	5096,7	5353,6	1104,6	450,4	571,9	336,3	130,9
Zeeland	1322,3	1387,8	291,8	118,1	150,8	86,7	32,6
Noord-Brabant	2528,9	2658,6	526	221	277,6	167,1	62,9
Limburg	116,8	123,8	20,3	9,5	11,2	8,1	2,8
totaal	17553,6	18495,5	3469,5	1500,7	1847,7	1173,4	426,6

\*CO<sub>2</sub> in 1000 ton  
Bron: NEA, 1991

**tabel 16** Motoremissies uit de beroepsbinnenvaart 1994

Stof(groep)	vrachtvaart (kton)	passagiersvaart (ton)	binnenvisserij (ton)	totaal (kton)	
CO		1,5	360	39	1,9
VOS verbr.		1,5	216	39	1,8
NOx		30,1	1800	780	32,6
Aërosolen		2,0	216	52	2,3
SO <sub>2</sub>		1,7	122,4	44,2	1,9
CO <sub>2</sub>		1568,1	112680	40690	1721,5
N <sub>2</sub> O		0,3	24,84	8,97	0,4
CH <sub>4</sub>		0,1	8,64	1,56	0,1
NMVOS, verbr.		1,5	208,8	37,7	1,7

Bron: CBS, 1997 niet gepubliceerd

**tabel 17** Motoremissies microverontreinigingen uit de beroepsbinnenvaart 1994

Stof(groep)	vrachtvaart (kg)	passagiersvaart (kg)	binnenvisserij (kg)	totaal (kg)
Cadmium	5	0	0	5
Koper	853	61	22	936
Chroom	25	2	1	28
Nikkel	35	3	1	39
Seleen	0	0	0	0
Zink	501	36	13	550
Arseen	25	2	1	28
PAK-Borneff	70	10	10	90
PAK-VROM	4330	620	730	5680
PAK-EPA	4520	650	770	5940

Emissieprofiel ontleend aan het wegverkeer.  
Bron: CBS, 1997 niet gepubliceerd

### Betrouwbaarheid

Bovenstaande schattingen van het CBS zijn geëvalueerd door het CE, waarbij is geconcludeerd dat de registratie van het energiegebruik grote onnauwkeurigheden met zich mee brengt. Of de CBS-gegevens de emissies onderschatten of overschatten zal uit verder onderzoek blijken. Dit onderzoek vindt momenteel bij het CE plaats (Dings, in pub. )

### 3.3.2.2 Verdeling motoremissies binnenvaart

#### Verdeelsleutel

Het onderzoek van het NEA biedt inzicht in de verdeling van de motoremissies uit de binnenvrachtvaart over Nederland. Dit inzicht is gebruikt om de totale emissie voor 1994 te verdelen over Nederland. Voor deze verdeelsleutel zijn de uitkomsten uit het NEA onderzoek voor het jaar 1985 en 2000 gemiddeld. De zo verkregen verdeling van motoremissies uit de binnenvaart voor 1994 staan in tabel 18.

Een verdeelsleutel voor motoremissies uit passagiersschepen is niet voor handen. Voor de visserij kan aangenomen worden dat het grootste deel van het energiegebruik en de emissie plaatsvindt op het IJsselmeer.

#### Tabellen

tabel 18 Motoremissies binnenvrachtvaart per provincie per stof in 1994

Provincie	Emissies (ton)					
	NOx	CO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	HC	PM
Groningen	323,0	12,3	14744,4	14,4	17,3	21,2
Friesland	732,1	30,3	34712,1	35,0	38,6	48,6
Drenthe	25,4	0,9	1088,2	1,1	1,3	1,6
Overijssel	476,3	19,3	23260,1	23,9	24,0	29,2
Gelderland	8978,8	392,0	446571,5	464,8	451,2	562,9
Flevoland	806,6	38,3	41890,2	45,3	39,6	52,3
Utrecht	1731,2	94,2	93729,2	104,5	84,9	115,2
Noord-Holland	1347,7	68,8	70192,2	76,2	68,0	89,6
Zuid-Holland	8100,9	444,9	437515,8	488,3	400,6	567,5
Zeeland	2228,6	122,8	121132,4	135,5	109,5	149,8
Noord-Brabant	4325,1	228,4	230940,7	255,3	213,9	294,9
Limburg	1024,4	47,8	52323,1	55,9	51,2	67,3
Totaal ( in 1000 ton)	30,1	1,5	1568,1	1,7	1,5	2,0

Bron: CBS, 1997, niet gepubliceerd; NEA, 1991

**tabel 19** Motoremissies binnenvrachtvaart per provincie per stof in 1994

Provincie	Emissies (kg)								
	Cadmium	Koper	Chroom	Nikkel	Zink	Arseen	PAK-Borneff	PAK-VROM	PAK-EPA
Groningen	0,0	8,0	0,2	0,3	4,7	0,2	0,7	40,7	42,5
Friesland	0,1	18,9	0,6	0,8	11,1	0,6	1,5	95,9	100,1
Drenthe	0,0	0,6	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	3,0	3,1
Overijssel	0,1	12,7	0,4	0,5	7,4	0,4	1,0	64,2	67,2
Gelderland	1,4	242,9	7,1	10,0	142,7	7,1	19,9	1233,1	1287,2
Flevoland	0,1	22,8	0,7	0,9	13,4	0,7	1,9	115,7	120,7
Utrecht	0,3	51,0	1,5	2,1	29,9	1,5	4,2	258,8	270,2
Noord-Holland	0,2	38,2	1,1	1,6	22,4	1,1	3,1	193,8	202,3
Zuid-Holland	1,4	238,0	7,0	9,8	139,8	7,0	19,5	1208,1	1261,1
Zeeland	0,4	65,9	1,9	2,7	38,7	1,9	5,4	334,5	349,2
Noord-Brabant	0,7	125,6	3,7	5,2	73,8	3,7	10,3	637,7	665,7
Limburg	0,2	28,5	0,8	1,2	16,7	0,8	2,3	144,5	150,8
Totaal	5,0	853,0	25,0	35,0	501,0	25,0	70,0	4330,0	4520,0

Bron: CBS, 1997, niet gepubliceerd; NEA, 1991

#### *Betrouwbaarheid*

Deze verdeelsleutel heeft slechts tot doel een idee te geven van de spreiding van de motoremissies over Nederland. Deze getallen zijn theoretisch en niet geverifieerd door middel van metingen.

#### **3.3.2.3 Relevantie voor water**

De emissies uit de scheepsmotoren van de binnenvaart worden in de eerste instantie naar de lucht geëmitteerd. De vaste deeltjes zullen vrij snel neerslaan op het oppervlaktewater. In tegenstelling tot de zeescheepvaart is het voor de binnenvaart minder vanzelfsprekend dat deze deeltjes op het water neerslaan. De zeescheepvaart vindt plaats op groot water terwijl de binnenvaart vaak op rivieren en kanalen plaatsvindt. Hierdoor zien de vaste deeltjes in de uitlaatgassen van de binnenvaart kans zowel op land als op water neer te slaan. Inzicht in deze verdeling tussen water en land ontbreekt nog. Wel ligt het voor de hand dat meteorologische invloeden (als neerslag en windrichting) alsook afstand tot de wal van invloed zijn op de verdeling.

#### **3.3.3 Recreatievaart**

##### **3.3.3.1 Totale motoremissies recreatievaart**

#### *Energiegebruik*

Er is reeds onderzoek gedaan naar het energiegebruik door recreatievaart. Eén van de eerste onderzoeken in Nederland is het onderzoek van de Vries & van den Hout uit 1991 (van den Hout, 1991). De hieruit voortkomende gegevens met betrekking tot de samenstelling en de gebruiksintensiteit van de pleziervloot vormen tot op heden de meest recente gegevens. Een onderzoek in het

kader van het SPEED project in 1994 is grotendeels gebaseerd op deze gegevens en heeft hieraan een betere schatting van het specifieke brandstofgebruik van motoren toegevoegd (van Bentum, 1994). De samenstelling en gebruiksintensiteit van de verschillende recreatievaartsectoren is te vinden in bijlage 4, tabel 1 tot en met 4.

Ook het CBS schat het brandstofverbruik door de recreatievaart. Deze schatting is deels gebaseerd op een driejaarlijkse enquête door het NRIT, stamt uit 1993 en wordt ieder jaar overgenomen. De NRIT enquête wordt gehouden onder een groep van 4000 Nederlanders. Van deze groep bezit een klein deel een vaartuig. Op de dit kleine deel wordt de omvang van de Nederlandse recreatievloot gebaseerd. De standaardfout van deze benadering is daardoor vrij groot. Vergeleken met andere energiegebruikers is verbruik door de recreatievaart slechts een kleine post en door het CBS minder ver uitgewerkt dan andere energieposten.

De HISWA-vereniging beschikt over omzetgegevens van de brandstofverkoop in jachthavens en maakt vanuit deze optiek een schatting van het energiegebruik (Rekread, 1994). De schatting voor dieselolie komt overeen met de verder uitgewerkte schattingen uit het SPEED-project. De schatting voor benzine en mengsmering is een stuk lager. Dit verschil kan voor een deel verklaard worden doordat het vullen van buitenboordmotoren vaak uit een jerrycan gebeurt. Deze jerrycans worden vaak van huis meegenomen en gevuld bij benzinepompen langs de weg. Voor schepen met een binnenboordmotor is het vaak praktischer om aan het water te tanken gezien de veel grotere hoeveelheid die gebunkerd kan worden en het ontbreken van losse brandstoftanks. De van huis meegenomen brandstof valt buiten de schattingen van de HISWA.

De CBS-schatting van het energiegebruik door de recreatievaart wijkt aanzienlijk af van de schattingen door SPEED. Zo wordt het diesilverbruik hoger en het benzineverbruik lager geschat. De schattingsmethode die door het CBS wordt gehanteerd staat in bijlage 6. De schattingsmethode die door SPEED is gebruikt verdient de voorkeur boven die van het CBS. Ten eerste omdat bij 'SPEED schattingen' de recreatievaart subsectoren opgedeeld worden naar motorvermogen (grote schepen verbruiken meer energie per uur). Bij de schatting door het CBS verbruikt een open zeilbootje evenveel als een kajuitmotorboot. Ten tweede omdat het aantal schepen waarvan het CBS uitgaat veel kleiner is dan het aantal schepen waar 'SPEED schattingen' vanuit gaan. SPEED schattingen gaan uit van de meest betrouwbare schattingen gedaan door de ANWB. De schattingen door de ANWB berusten op verkoopcijfers, enquêtes en eigen onderzoek (van den Hout, 1991). Waar de ANWB in 1990 229.000 recreatievaartuigen telt gaat het CBS voor 1991 uit van 161.600 recreatievaartuigen.

In dit verslag is de 'SPEED-schattingsmethode' verder uitgewerkt.

Na 1990 zijn er geen inventarisaties meer gedaan van aantallen recreatievaartuigen. Om toch een schatting van het energiegebruik in deze sector te kunnen maken is er in dit verslag van uitgegaan dat jaarlijks het aantal recreatievaartuigen met 2% toeneemt. Deze aanname is gebaseerd op de groei van het aantal recreatievaartuigen tussen 1980 en 1990. Deze groei loopt evenredig met de economische groei, welke de laatste jaren niet is afgenomen. Daarnaast geven de tellingen van sluispassages door de recreatievaart van Rijkswaterstaat ook een groei aan (tussen 1994 en 1995 ongeveer 5%). Gesignaleerde trends als het gebruik van steeds grotere schepen en een steeds langer vaarseizoen door betere voorzieningen (Kortlandt, 1996) zijn

buiten de schatting in dit verslag gebleven. De nu volgende schattingen kunnen als een minimale schatting worden opgevat. Voor berekenen van het energiegebruik is dezelfde methodiek als die van het SPEED project aangehouden. Deze berekeningen zijn te vinden in de bijlage en de resultaten staan in tabel 20. Een overzicht van de afzonderlijk geëmitteerde PAKs is te vinden in bijlage 4.

#### Tabellen emissies

**tabel 20** Benzine en Diesilverbruik door de recreatievaart (milj.kg/jaar)

Jaar	1985	1990	1995	2000
Benzineverbruik door buitenboordmotoren:	16,31	18,42	20,33	22,45
Benzineverbruik door binnenboordmotoren:	0,91	0,98	1,08	1,19
Diesilverbruik door binnenboordmotoren	13,01	13,96	15,42	17,02

Minimale schatting, gebaseerd op jaarlijks 2% groei vanaf 1990.

**Tabel 21** Totale motoremissies door de recreatievaart

Stof(groep)	1985 (ton/jaar)	1990 (ton/jaar)	1995 (ton/jaar)	2000 (ton/jaar)
CO	8278,4	9300,8	10268,8	11337,6
VOS verbr.	4798,5	5399,6	5961,6	6582,1
NOx	896,6	967,3	1068,0	1179,1
Aërosolen	189,6	211,8	233,8	258,2
SO <sub>2</sub>	49,6	53,6	59,1	65,3
CO <sub>2</sub>	74593,2	81889,9	90413,1	99823,3
smeerolie	110,9	96,0	65,7	37,3

Zware metalen	1985 (kg/jaar)	1990 (kg/jaar)	1995 (kg/jaar)	2000 (kg/jaar)
Lood	344,4	387,9	428,3	472,9
Cadmium	0,3	0,3	0,4	0,4
Koper	51,4	56,7	62,6	69,1
Chroom	1,5	1,7	1,8	2,0
Nikkel	2,1	2,3	2,6	2,8
Seleen	0,0	0,0	0,0	0,0
Zink	30,2	33,4	36,8	40,7
Arseen	1,5	1,7	1,8	2,0

PAKs, somparameters	1985 (kg/jaar)	1990 (kg/jaar)	1995 (kg/jaar)	2000 (kg/jaar)
PAK-Borneff	184	207	229	253
PAK-VROM	2404	2680	2959	3267
PAK-EPA	3220	3600	3975	4388

Betreft minimale schattingen op basis van emissieprofiel wegverkeer.

#### Betrouwbaarheid

Het schatten van motoremissies uit de recreatievaart is tot op heden omgeven met onzekerheden. Deze onzekerheden zijn te verdelen naar onzekerheden omtrent de emissiefactoren en onzekerheden omtrent het energiegebruik door de recreatievaart. De onzekerheden rond de emissiefactoren zijn reeds in de inleiding van dit hoofdstuk besproken. De onzekerheden omtrent het totale energiegebruik zijn voornamelijk te wijten aan het gebrek aan gegevens die noodzakelijk zijn voor een afdoende schatting. De in dit verslag gepresenteerde schatting van het energiegebruik laat ten opzichte van de

de schatting van het energiegebruik laat ten opzichte van de schattingen door het CBS een verschil zien in de verhouding diesel/benzine. Met name de hoeveelheid diesel wordt door het CBS hoger ingeschat ( 40 miljoen kg/jaar, zie ook bijlage 6). De HISWA vereniging (branche organisatie) komt op basis van verkoopgegevens uit de branche op een afzet van diesel voor de recreatievaart van 14,9 miljoen liter in 1994. Dit is minder dan de in dit rapport uitgewerkte schattingen (zie tabel 20). Als aangenomen wordt dat er ook in het buitenland diesel getankt wordt door schepen, komt de schatting in dit rapport redelijk overeen met de gegevens van de HISWA. Het verbruik van benzine en mengsmering komt niet met de gegevens van de HISWA overeen. Voor 1995 verklaren de omzetgegevens 12 miljoen liter benzine en mengsmering ten opzichte van de in dit rapport gemaakte schatting van 21 miljoen kilo. Uitgaande van een brandstofverbruik van 12 miljoen liter benzine en mengsmering komen de in Tabel 21 gegeven emissies van lood, VOS en smeerolie ongeveer de helft lager uit. Gezien de praktijk dat veel buitenboordmotoren losse brandstoftanks hebben of uit jerrycans gevuld worden waardoor de benzine niet van pompstations aan het water betrokken wordt, is deze 12 miljoen liter een onderschatting van het werkelijke benzineverbruik. De mate van onderschatting is nog onduidelijk.

### 3.3.3.2 Verdeling motoremissies recreatievaart

#### *Verdeelsleutel*

In tegenstelling tot de binnenvrachtvaart is er voor recreatievaart geen sluitende registratie van het aantal vaarbewegingen. Er worden wel brug- en sluispassages geteld op diverse plaatsen. Aangezien een groot deel van de recreatievaart plaatsvindt zonder dat een sluis of brug gepasseerd wordt geeft een hierop gebaseerde verdeelsleutel slechts een indruk. Er kan ook worden gekeken naar de verspreiding van aanlegplaatsen over Nederland. Of dit ook een betrouwbaar beeld oplevert van de spreiding van de emissies is nog onduidelijk. De bovenstaande twee sporen zijn bewandeld en de resultaten zijn te vinden in bijlage 7 en 8 (bron: Oranjewoud, 1993 ; CBS, 1996). De sluisstellingen zijn voor 1996 per provincie gebundeld, waarna de emissies over de provincies verdeeld zijn. Het aantal lig- en aanlegplaatsen is voldoende om aan tweederde van het totaal aantal recreatievaartuigen een locatie toe te wijzen.

### 3.3.3.3 Relevantie voor water

Bij buitenboordmotoren is het gebruikelijk de uitlaatgassen onder water, in het schroefwater te lozen. Bij binnenboordmotoren wordt doorgaans gebruik gemaakt van natte uitlaten. De uitlaatgassen worden hierdoor intensief met het oppervlaktewater vermengd. Dit bevordert de uitwisseling van de emissies tussen de uitlaatgassen en het ontvangende water. Voor de zeer vluchtige stoffen is het verblijf in het oppervlaktewater van relatief korte duur aangezien deze stoffen naar de lucht diffunderen. Toch kunnen deze stoffen tijdens hun verblijf in het water in belangrijke mate bijdragen aan de schade aan waterorganismen (Balk, 1994). De geëmitteerde vaste deeltjes zullen in het water achterblijven. De PAKs, die slecht in water oplosbaar zijn zullen zich aan de zwevende stof in het water hechten en kunnen zo in de waterbo-



dem terechtkomen. Een kwantitatieve verdeling van de verschillende stoffen is tot op heden onvoldoende onderzocht. Een toegepaste benadering van de emissie naar water is de aanname dat 60 % van de emissies in het water achterblijft (van Bentum, 1994).

### 3.4 Samenvatting en conclusies.

#### 3.4.1 Methodologische conclusies.

Zowel aan het schatten van de emissiefactoren als aan het schatten van het energiegebruik kleven onzekerheden. Voor de emissiefactoren zijn het beperkte aantal metingen dat wordt geëxtrapoleerd en het niet meten van onbekende stoffen de belangrijkste oorzaak van de onzekerheden. Bij het schatten van het energiegebruik door de scheepvaart zijn factoren als het specifiek brandstofverbruik en geleverde prestatie door de scheepsmotoren moeilijk te achterhalen.

Daarnaast zijn er nog onzekerheden omtrent de brandstofsamenstelling voor de zeescheepvaart.

#### 3.4.2 Inhoudelijke conclusies

##### *Zeescheepvaart*

Op het noordoostelijke deel van de Atlantische oceaan wordt jaarlijks 62,6 kiloton  $\text{NO}_x$  en 35,9 kiloton  $\text{SO}_2$  geëmitteerd. Bij de emissie van zware metalen vallen de grote hoeveelheden vanadium en nikkel op, met respectievelijk 64,4 en 25,8 ton. De uitstoot van de PAKs (somPAK-22) wordt geschat tussen 386 en 2732 ton per jaar. De schattingen voor nitro-PAKs zitten tussen 21 en 294 ton per jaar.

Een groot deel van de motoremissies uit de zeescheepvaart vindt plaats op het NCP en in het Kanaal. De verspreiding van de motoremissies is te zien in figuur 2 tot en met figuur 5.

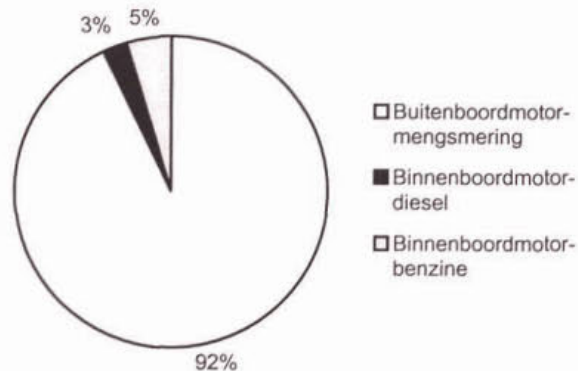
##### *Binnenvaart*

Opvallend aan de motoremissies uit de binnenvaart is de hoeveelheid uitgestoten  $\text{NO}_x$ , met 30,1 kiloton in 1994. De emissie van PAKs, als PAK-EPA door de binnenvaart is in totaal ongeveer 4,3 ton in 1994. Bij de uitstoot van zware metalen springen koper en zink er met respectievelijk 0,8 en 0,5 ton uit. Deze motoremissies concentreren zich langs de grote transportassen door Nederland. Zo vindt 30 % van de motoremissies plaats in provincie Gelderland, 27 % in Zuid-Holland en 14 % in Noord-Brabant.

##### *Recreatievaart*

Bij de motoremissies uit de recreatievaart springt met name de emissie van koolwaterstoffen in het oog met 5961,6 ton in 1995. Zoals uit figuur 6 blijkt is 92% van deze emissie afkomstig uit buitenboordmotoren.

**figuur 6** Recreatievaart 1995: Motoremissies van enkele stofgroepen verdeeld naar motortype  
VOS, totaal 5962 ton



Naast deze VOS emissie is er door deze motoren nog 65 ton smeerolie geëmitteerd in 1995. In vergelijking tot de binnenvaart is de emissie van VOS uit de recreatievaart ruim 3 maal groter (1,8 kiloton uit de binnenvaart tegenover bijna 6 kiloton uit de recreatievaart). Van deze koolwaterstoffen is ongeveer 4 ton PAK (PAK-EPA), wat ongeveer even veel is als de emissie uit de binnenvaart. Het totale brandstofverbruik van de binnenvaart is ongeveer 16 maal groter dan het verbruik door de recreatievaart (593 milj. kilo tegenover 36 milj. kilo). Bij de recreatievaart springt de emissie van lood in het oog met 430 kilo in 1995.

## 4. Probleemschets

### 4.1 Inleiding

In principe belasten alle emissies uit scheepsmotoren het milieu. Het milieu kan als een mondiaal systeem gezien worden of op een kleinere schaal, bijvoorbeeld als een lokaal systeem. Tijdens het belasten van het milieu wordt er een beroep gedaan op de capaciteit van het milieu om deze belasting te verwerken, de zogenaamde veerkracht. Wordt de veerkracht overschreden dan resulteert dat in schade voor (delen van) het milieu. Voor de emissies uit scheepsmotoren worden in dit hoofdstuk die situaties belicht waar vermoedelijk de veerkracht van het milieu aanzienlijk wordt aangesproken dan wel overschreden. Ook worden de emissies, waar mogelijk, vergeleken met emissies van andere oorsprong. Het hoofdstuk gaat daartoe uit van een gebiedsgerichte benadering. Niet voor alle facetten van de scheepvaartemissies zijn voldoende gegevens voor handen om problemen te kunnen signaleren. Dit is een probleem op zich, waarop in het concluderende hoofdstuk van dit verslag nader wordt ingegaan.

### 4.2 Nederlands Continentaal Plat

#### 4.2.1 Emissies scheepsmotoren ten opzichte van andere emissies

Op het NCP zijn het met name de grote zeeschepen die de emissies veroorzaken. Recreatievaart is ten opzichte hiervan te verwaarlozen. Om de omvang van de emissies uit motoren van zeeschepen in een perspectief te plaatsen zijn de emissies van enkele microverontreinigingen door de scheepsmotoren naast andere bronnen op de Noordzee in Tabel 22 gezet. Voor het vergelijken van deze getallen wordt de aanname gedaan dat de microverontreinigingen aan de roetdeeltjes gehecht zitten en dat alle op zee geëmitteerde roetdeeltjes ook in zee vallen.

Tabel 22 Vergelijken van emissies microverontreinigingen uit scheepsmotoren op het NCP met andere bronnen.

Stof(groep)	Motoremissies (kg)	Aanvoer rivieren (kg)	Atmosferische depositie Noordzee (kg)
PAK-Borneff	386 - 2732	5200	88600*
Benz(a)pyreen	64 - 7176	1200	17100*
Nitro-PAKs	21 - 294	-	600 - 15000*
Nikkel (ton)	26	49	188 - 410*

\* Betreft de depositie op de **gehele** Noordzee

Bron: Baart, 1995 ; Wulfraat, 1993

Voor stoffen als NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> en CO<sub>x</sub>, die gasvormig zijn kan niet aangenomen worden dat ze geheel in zee terecht komen. Zo kunnen NO<sub>x</sub> en SO<sub>x</sub> geheel afhankelijk van de meteorologische omstandigheden 2000 kilometer getransporteerd worden alvorens op de aarde terug te vallen.

#### 4.2.2 Knelpunten voor het milieu

##### *Broeikasewfect*

De zeescheepvaart verbruikt op de gehele Noordzee per jaar 4,5 miljoen ton brandstof. Op het Nederlands Continentaal Plat wordt per jaar ongeveer een miljoen ton brandstof verbruikt. De uitstoot van CO<sub>2</sub> is evenredig groot, te weten 2,9 miljoen ton op het Nederlands Continentaal Plat. Het CO<sub>2</sub> is een broeikasgas en zodoende levert de zeescheepvaart een bijdrage aan het broeikasewfect. Naast koolstofdioxide worden er door de zeescheepvaart ook veel stikstofoxiden en opmerkelijk veel zwaveloxiden uitgestoten.

##### *Verzuring*

Nadat de uitlaatgassen via de schoorsteen de lucht ingeblazen zijn, zal een deel van de stoffen weer terugvallen in de vorm van atmosferische depositie. Daar waar de depositie plaatsvindt kunnen vervolgens milieuproblemen ontstaan. Zo veroorzaakt emissie van zwavel en stikstof op zee verzuring en eutrofiëring op het land en zee (zure regen). Het vertalen van deze emissies door de zeescheepvaart naar waterverontreiniging valt buiten de mogelijkheden van dit onderzoek. De hoeveelheden NO<sub>x</sub> en SO<sub>x</sub> die de scheepvaart uitstoot zijn zowel absoluut als relatief groot (zie Tabel 23). Onderzoek, gedaan door Zweden en Noorwegen, schat de bijdrage van de zeescheepvaart aan de verzuring van Noorwegen en Zweden op 14 %. In internationaal verband bestaan nog geen emissierichtlijnen en de richtlijnen die momenteel worden geformuleerd zullen niet bijdragen aan verminderen van de uitstoot (IMO/MEPC, 1997; E. Ninaber 1993 ).

##### *Eutrofiëring Noordzee*

De NO<sub>x</sub> die door de zeescheepvaart geëmitteerd wordt zal voor een deel op zee neerslaan. Hier zal het dan als stikstof beschikbaar zijn en zo bijdragen aan de eutrofiëring van de Noordzee. De eutrofiëringssituatie van de zee buiten de directe kustzone (ongeveer 50 kilometer) wordt bepaald door stikstof (de Vries, 1993). De eutrofiëring leidt tot algenbloei wat grote schommelingen in het zuurstofgehalte van het zeewater veroorzaakt, wat schade aan het milieu tot gevolg heeft.

##### *Smog en ozon*

Smog ontstaat door fotochemische reacties tussen stikstofoxiden en koolwaterstoffen. Hierbij ontstaat ook ozon. Smog is voldoende schadelijk en ongezond om 's zomers tijdens stagnante weersomstandigheden industrie en verkeer stil te leggen als er sprake is van smog. Scheepvaart kan hieraan in de kustgebieden en zeker in havens een belangrijke bijdrage leveren.

##### *Microverontreinigingen*

De diverse microverontreinigingen die door de zeescheepvaart worden uitgestoten zijn, zoals reeds genoemd, grotendeels gehecht aan de roetdeeltjes. Deze roetdeeltjes slaan rond het schip neer op zee. Het is dan ook aannemelijk dat de uitgestoten microverontreinigingen zich met name langs de scheepvaartroutes concentreren. Er worden door de zeescheepvaart aanzienlijke hoeveelheden microverontreinigingen uitgestoten. PAKs, nitro-PAKs, als mogelijk ook PCBs, dioxines (indien de brandstof hiermee verontreinigd is) of nog onbekende (nog niet gemeten) stoffen kunnen zo lokaal tot problemen leiden. Bijvoorbeeld problemen voor de in het ontvangende water

passerende organismen zoals vis, of aan vogels die op het oppervlak van de zee fourageren. Daarnaast hopen de verontreinigingen zich op in het sediment en kunnen aldaar vroeg of laat het leven verstoren.

## 4.3 Transportassen beroepsbinnenvaart Nederland

### 4.3.1 Emissies scheepsmotoren ten opzichte van andere emissies

Met de transportassen in Nederland worden de grote vaarwegen aangeduid die benut worden door de binnenvaarders. Dit zijn de grote rivieren, het IJsselmeer en de diverse kanalen. De emissies op deze vaarwegen worden veroorzaakt door zowel recreatievaart als binnenvaart. In de volgende paragraaf wordt dieper op de lokale bijdrage van de emissies uit de recreatievaart aan de milieuvervuiling ingegaan. Indien voor de recreatievaart aangenomen wordt dat ongeveer 60% van de emissies in het water achterblijft kan er worden vergeleken met andere bronnen naar het water. Bronnen naar het oppervlaktewater van ongeveer gelijke omvang zijn de industrie, het regenwater riool en overstorten. Kleinere bronnen zijn bijvoorbeeld de raffinaderijen en RWZI's (Draaijers et. al., 1997). De emissies van enkele stoffen uit motoren van de binnenvaart zijn in Tabel 23 naast de totale emissies op Nederlands grondgebied gezet. Hierbij moet in gedachte gehouden worden dat een verzamelterm als 'mobiele bronnen' en 'vuurhaarden' een veelvoud van bronnen behelst die allen een klein deel van het getal uitmaken dat hier als één bron met de motoremissies uit de scheepvaart worden vergeleken.

Tabel 23 Vergelijking emissies scheepsmotoren met totale uitstoot in Nederland (kiloton)

Stof(groep)	Wegverkeer	Vuurhaarden	Binnenvaart	Recreatie- vaart	Zeescheep- vaart	Totaal scheep- vaart
CO	505	228	1,9	10,3	6,6	18,8
Nox	252	168	32,6	1,1	62,6	96,3
Sox	14	87	1,9	0,1	35,9	37,9
Aërosolen	?	14	2,3	0,2	4,3	6,8
VOS	139	16	1,8	6	2,5	10,3
CO2 (mld kg)	27,4	121	1,7	0,1	2,9	4,7

Bronnen: CBS, SOVON, 1997

### 4.3.2 Knelpunten voor het milieu

De emissies uit de binnenvaart veroorzaken, net zoals de zeescheepvaart, luchtverontreiniging. De hierbij gepaard gaande knelpunten voor het milieu zijn dan ook dezelfde, te weten een bijdrage aan het broeikaseffect, zure regen en smog. Deze knelpunten zijn reeds besproken in de voorgaande paragraaf. De verspreiding van de geëmitteerde microverontreinigingen is onduidelijk. De transportassen zijn doorgaans te smal om aan te nemen dat de roetdeeltjes op het water neerslaan. Voor een duidelijker beeld is verder onderzoek noodzakelijk.

#### NO<sub>x</sub>

De emissie van NO<sub>x</sub> door de binnenvaart springt in het oog door een bijdrage van meer dan 6% aan de totale emissie van Nederland.

### *Aërosolen*

De binnenvaart draagt significant bij aan de totale hoeveelheid uitgestoten aërosolen in Nederland. Juist aan deze aërosolen zitten de meeste microverontreinigingen uit het verbrandingsproces gehecht (zie § 2.3). De bijdrage aan de totale uitstoot van microverontreinigingen door de binnenvaart kan hierdoor nog hoger uitvallen.

## 4.4 Lokaal

### 4.4.1 Emissies scheepsmotoren ten opzichte van andere emissies

Op lokaal niveau kan de gevoeligheid van het ontvangende watersysteem voor emissies uit scheepsmotoren verschillen. De volgende factoren zijn van invloed op deze gevoeligheid:

1. intensiteit van schepen die op de motor varen;
2. soort motoren dat bij deze scheepvaart in gebruik is;
3. gebruik van de motor (mede bepaald door factoren van het watersysteem);
4. volume van het ontvangende water;
5. verblijfstijd van het water;
6. stroomsnelheid van het water.

Ad 2. Buitenboordmotoren stoten per verbruikte hoeveelheid brandstof veel meer milieubelastende stoffen uit dan andere scheepsmotoren. Daarnaast worden de uitlaatgassen onder water geloosd zodat de verontreinigende stoffen direkt in het water terecht komen. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld uitlaatgassen van motoren van zeeschepen waarbij verontreinigingen via depositie uit de lucht in het water terecht komen. Het is dus van belang om te weten welk deel van de scheepvaart plaatsvindt met buitenboordmotoren.

Ad 3. In een haven mag vaak niet gezeild worden en dus wordt er dan op de motor gevaren. Bij sluizen en bruggen moet vaak gewacht worden, waardoor de motoren in de vrijloop draaien, het toerental waarbij de meeste vervuiling optreedt. Ook moet er voor deze hindernissen vaak geremd worden of gemanoeuvreed wat ook meer vervuiling tot gevolg heeft.

Ad 4. Een smal kanaal bevat veel minder water dan bijvoorbeeld een open meer. De van de scheepsmotoren afkomstige vervuiling wordt in een smal kanaal minder verdund dan in een meer, waardoor er sneller hogere concentraties probleemstoffen kunnen ontstaan.

Ad 5. Als er door een watersysteem meer water stroomt dan wordt de tijd waarin het water in het systeem ververst wordt korter (kortere verblijfstijd). Het instromende water verdunt het water in het systeem en dus ook de vervuiling. Nu hoeft dit niet altijd op te gaan want ook het inkomende water kan reeds vervuild zijn. Als het inkomende water schoner is dan zullen zich bij kortere verblijfstijden van het water minder snel problemen met de waterkwaliteit voordoen.

Ad 6. De zwaardere verontreinigingen (bijvoorbeeld PAKs) die slecht in het water oplosbaar zijn hechten aan organische stof in het water. Als de zwevende organische stof bezinkt komen de verontreinigingen in de waterbodem terecht. Als het water voldoende stroomt blijft de zwevende stof in het water zweven. De vervuiling kan op deze manier weer uit het watersysteem

Sluizen en havens zijn plaatsen waar de scheepvaart zich concentreert. Met name in havens komen zeescheepvaart, binnenvaart en recreatievaart naast elkaar voor, bijvoorbeeld de Volkeraksluizen of de havens in Rotterdam. Een andere mogelijke probleemsituatie op lokale schaal doet zich voor wanneer er veel recreatievaart op een klein water plaatsvindt. Met name in het hoogseizoen kan de intensiteit van de recreatievaart op sommige wateren enorm zijn. Zo passeerden er in de zomermaanden van 1996 bijna 46.000 recreatievaartuigen op de motor het Johan-Friso kanaal in Friesland, een smal water. In bijlage 7 staat per provincie de (geobserveerde) lokatie met het hoogste aantal recreatievaartuig passages op de motor gegeven. Door het gebieds- en seizoensgebonden karakter van de recreatievaart ontstaan door de motoremissies verschillende soorten milieubelasting. Vluchtige stoffen die over het jaar gemiddeld niet bijdragen aan de watervervuiling (ze verlaten het water weer na een paar uur) zouden op een dag in het hoogseizoen voor milieuschade kunnen zorgen. De emissies die niet direkt het water verlaten kunnen in het hoogseizoen accumuleren in het water en zo hoge concentraties bereiken. Om deze mogelijke knelpunten, die niet blijken uit jaargemiddelde emissiecijfers, te illustreren zijn er voor dit rapport twee case-studies uitgewerkt. De eerste case-study heeft tot doel de mogelijke piek in vluchtige stoffen in het water te schatten. De tweede case-study heeft tot doel de accumulatie van microverontreinigingen te illustreren in het hoogseizoen. De studies moeten gezien worden als ruwe schattingen die slechts de orde van grootte aangeven. Aangezien er voor de Utrechts-Noordhollandse Vecht veel informatie voorhanden is, dankzij het project Restauratie Plan Vecht (RPV), en er op de Vecht veel recreatievaart plaatsvindt in het hoogseizoen hebben beide case-studies betrekking op de Vecht (van Rooy, 1996).

*Case-study 1: Een zomerse dag op de Vecht bij Loenen*

In deze case-study worden de emissies uit scheepsmotoren op een zomerse topdag op de Vecht geschat en, om meer feeling voor deze getallen te krijgen, omgerekend naar mogelijke concentraties in het water. Het gaat in dit voorbeeld met name om de VOS-emissie. Op een topdag zijn er op de Vecht bij Loenen ongeveer 450 scheepsbewegingen geteld. Er is aangenomen dat deze scheepjes allen op de motor varen en dat de verdeling van motortype en motorvermogen gelijk is aan het landelijk gemiddelde. Voor de gevaren afstand is de afstand gekozen die de Vecht in 8 uur stroomt, ongeveer 300 meter. Zo wordt er uitgegaan van een massa water die niet door eventuele stroming verdund wordt. Om de emissies om te rekenen naar concentraties zijn er de volgende aannames gedaan. Ten eerste wordt ervan uitgegaan dat alle emissies uit de scheepsmotoren in het water terecht komen. De tweede aanname is dat de rivier als een volledig gemengde bak water gezien wordt, gezien de hoge scheepvaartintensiteit een veilige aanname. De berekeningen zijn te vinden in bijlage 9. De uitkomsten staan in Tabel 24.

**Tabel 24** Emissies door scheepsmotoren op 300 meter Vecht bij Loenen op een zomerse dag

Stof(groep)	Emissie (kg)	Concentratie (mg/l)	Toxisch bij: (mg/l)	Zware metalen	Emissie (g)	Concentratie (µg/l)
CO	14,50	0,50	0,1 tot 1*	Lood	0,62	0,02
<b>VOS verbr.</b>	<b>8,41</b>	<b>0,29</b>		Cadmium	0,00	0,00
NO <sub>x</sub>	1,52	0,05		Koper	0,09	0,00
Aërosolen	0,33	0,01		Chroom	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,08	0,00		Nikkel	0,00	0,00
CO <sub>2</sub>	128,34	4,46		Seleen	0,00	0,00
smeerolie	0,09	0,00		Zink	0,05	0,00
	(g)	(µg/l)		Arseen	0,00	0,00
PAK-Borneff	0,33	0,01				
PAK-VROM	4,25	0,15				
PAK-EPA	5,71	0,20				

Emissies en concentraties betreffen ruwe schattingen.

\*Concentraties waarbij subletale effecten optreden in waterorganismen (Dicks, 1983)

*Case-study 2: Accumulatie PAKs in de Vecht gedurende een week recreatievaart.*

PAKs blijven langer in het ontvangende water aanwezig of gebonden aan zwevende stof in het water. Deze case-study heeft tot doel de accumulatie van PAKs in de Vecht, gedurende enkele dagen te illustreren. Voor enkele PAKs zijn streef- en grenswaarden voor de waterkwaliteit voorhanden, waarmee de berekende concentraties vergeleken worden. Ook in dit geval is ervan uitgegaan dat alle scheepjes op de motor voeren. Ook het geïnstalleerde motorvermogen en motortype is gelijk het landelijke gemiddelde gekozen. Daarnaast is ervan uitgegaan dat de intensiteit van de recreatievaart op het water een kleine week heeft aangehouden. Het traject waarover de concentraties voor verschillende PAKs is berekend is de Vecht van Utrecht tot aan Overmeer. Op dit stuk Vecht wordt de Vecht niet verdund met water uit bijvoorbeeld het Amsterdam-Rijnkanaal. Wel wordt er water uit de Vecht afgevoerd. Om de accumulatie te schatten is het traject in drie deeltrajecten verdeeld. De eindconcentratie van de eerste bak vormt de beginconcentratie van de er op volgende bak. Voor drie PAKs zijn er beginconcentraties bij Utrecht voorhanden (J. van Alphen, 1993). Deze worden bij de accumulatie meegerekend. De berekeningen worden verder toegelicht in bijlage 9, de resultaten staan in Tabel 25.



**Tabel 25** Mogelijke concentraties PAKs in de Vecht door motoremissies uit de recreatievaart na een "topweek".

Stof	Weerdsluis ( $\mu\text{g/l}$ )	Concentratieverhoging door recreatievaart ( $\mu\text{g/l}$ )	Streefwaarde ( $\mu\text{g/l}$ )	Grenswaarde ( $\mu\text{g/l}$ )	Overschrijdingsfactor	
					Streefw.	Grensw.
Naftaleen	?	2,22	0,100	0,100	22	22
Antraceen	?	0,24	0,020	0,020	12	12
Fenantreen	?	0,99	0,020	0,020	49	49
Fluorantheen	0,05	0,21	0,008	0,070	26	3
Benz(a)antraceen	?	0,22	0,003	0,008	74	28
Chryseen	?	0,02	0,003	0,008	7	3
Benz(k)fluoranteen	?	0,02	0,003	0,020	5	1
Benz(a)pyreen	0,01	0,04	0,003	0,005	13	8
Indeno(1,2,3-cd)pyreen	?	0,02	0,002	0,004	8	4
Benz(ghi)peryleen	0,01	0,10	0,001	0,004	99	25

\* bron: Min. V&W, 1994.

Concentraties betreffen ruwe schattingen.

#### 4.4.2 Knelpunten voor het milieu

##### *Koolwaterstoffen*

De grote hoeveelheden koolwaterstoffen die door de recreatievaart uitgestoten worden (voor 90% uit buitenboordmotoren) zijn schadelijk voor het milieu. Met name op topdagen loopt de concentratie van koolwaterstoffen in het water hoog op. Dit blijkt uit de eerste case-study als ook uit eerder onderzoek (Lang, 1982; Jüttner, 1988; Roßknecht, 1993). Op de Bodensee zijn op zomerse topdagen concentraties koolwaterstoffen, afkomstig uit de motoren van de recreatievaart, gemeten van  $8 \mu\text{g/l}$  (mond. med. Müller). Uit de case-study blijkt dat de concentratie in het Vechtwater mogelijk driemaal hoger wordt dan de waarde waarbij de eerste subletale effecten op waterorganismen optreden. De organismen in het water van de Vecht hebben in het groeiseizoen (dat samen valt met het vaarseizoen) dagelijks met deze piek in de belasting te maken. De periode tussen de pieken is hoogstwaarschijnlijk te kort voor de organismen om de toegebrachte schade te herstellen, waardoor blijvende schade aan het ecosysteem Vecht waarschijnlijk is.

##### *PAKs*

Een deel van de koolwaterstoffen bestaat uit PAKs. Voor enkele PAKs zijn normen voor handen (Min. V&W, 1994). De concentraties van deze PAKs in het oppervlaktewater van de Vecht na een week intensieve recreatievaart worden met factor 1 tot 100 overschreden (zie Tabel 25). Voor de PAKs waarvoor geen normen voorhanden zijn is de belasting in dezelfde orde van grootte. PAKs lossen slecht op in water en hechten zich dan ook snel aan de zwevende stof. Uit waterbodemonderzoek van de Vecht blijkt de gehele waterbodem van de Vecht matig tot zwaar is vervuild (van Rooy, 1996). PAKs vormen een belangrijk deel van deze vervuiling. Ook blijkt dat de bovenste 10 centimeter van de sliblaag zwaarder vervuild is dan de onderliggende waterbodem. Dit duidt op een voortdurende en groeiende input van PAKs in de Vecht. De steeds toenemende recreatievaart kan hier een belangrijke bijdrage in hebben. Een met PAKs vervuilde waterbodem heeft nadelige gevolgen voor het leven in die waterbodem. Daarnaast accumuleren PAKs in diverse organismen en kunnen zo ook hoger in de voedselketen schade

toebrengen. De schade kan ontstaan door directe toxiciteit of wel door de energie die een organisme aan de uitscheiding van de PAKs moet besteden en in moet leveren op andere processen. Groepen organismen met toch al een klein energiebudget leggen het hierdoor af tegen andere soorten. Dit heeft soortverschuivingen binnen het ecosysteem tot gevolg wat meestal een vermindering van de diversiteit en dus een verarming van de natuur betekent.

#### *Acute toxiciteit voor waterorganismen op topdagen*

De mogelijke toxiciteit van de koolwaterstoffen is hierboven aan bod gekomen. De toxiciteit door de koolwaterstoffen en PAKs kan slechts een deel van de totale toxiciteit van met uitlaatgassen verontreinigd water verklaren (Balk, 1994). Onderzoek waarbij een buitenboordmotor door een bak water passeerde van 1 m<sup>2</sup> doorsnede verontreinigde het water voldoende om genetische schade bij hieraan blootgestelde vis te veroorzaken. De Vecht heeft op het traject voor Loenen een gemiddelde doorsnede van 103 m<sup>2</sup> en er passeren 450 schepen per dag. De kans op schade aan leefgemeenschappen in de Vecht door emissies uit de motoren van de recreatievaart is groot, zeker op topdagen!

#### *Smeerolie*

Behalve bovengenoemde emissies wordt er ook smeerolie uitgestoten door de buitenboordmotoren. De smeerolie vormt een film op het water waardoor de aan het oppervlakte levende organismen hiermee extra in aanraking komen. Gegevens over eventuele schade aan deze organismen zijn nog niet voor handen, maar gezien de hoeveelheid smeerolie die er op topdagen op de Vecht geloosd wordt (95 gram per 300 meter vaartraject per dag!) vormt dit mogelijk een knelpunt voor het milieu. Nader onderzoek zal hier meer licht op moeten werpen.

## 5. Beleid en Regelgeving

### 5.1 Algemeen

Met de scheepsuitlaatgassen worden stoffen naar de lucht geëmitteerd die voorkomen op zwarte lijsten en lijsten prioritaire stoffen in nationaal en internationaal verband (EU, Noordzeeconferentie, Commissies van Oslo en Parijs). Daarvoor gelden vaak emissie en milieukwaliteitsnormen en een op minimaliseren van de emissies gericht beleid m.b.v. 'best bestaande technieken' (bronnen: Derde Nota Waterhuishouding 1989, Esbjerg Declaration 1995 e.a.). Ook bestaan voor dergelijke stoffen strenge regels ten aanzien van andere emissie(sub)bronnen uit de scheepvaart. Zo is er een AmvB (Wet milieugevaarlijke stoffen) die het gebruik van PAKhoudende koolteerverven in de binnenvaart verbiedt per 1 juli 1997. Ook in OsPar-verband wordt hiervoor internationaal beleid ontwikkeld (bron: Aktieprogramma diffuse bronnen, 1997). Indien aangetoond kan worden dat de emissies uit scheepsmotoren eveneens een ernstige bron is, zou het niet meer dan logisch zijn dat de overheid hiervoor een vergelijkbaar streng beleid vaststelt, waarschijnlijk in een ander wettelijk kader. Voor de verschillende sectoren van de scheepvaart wordt in dit hoofdstuk het huidige relevante beleid toegelicht. Voor iedere sector wordt ook de voorhanden zijnde regelgeving geschetst, als ook eventuele overige instrumenten. Het hoofdstuk is bedoeld als een schets en pretendeert niet volledig te zijn.

### 5.2 Zeescheepvaart

#### 5.2.1 Beleid

De nota "Scheepvaart en Milieu, varen onder een groene vlag" stelt als hoofddoel "het leveren -middels het milieubeleid voor de scheepvaart- van een bijdrage aan een duurzame ontwikkeling". Hieruit komen de volgende subdoelstellingen voort:

- De scheepvaart levert haar bijdrage aan de ontwikkeling van een zodanige kwaliteit van het watersysteem Noordzee en de binnenwateren dat een duurzaam behoud en ontplooiing van de ecologische waarden wordt bevorderd en gehandhaafd.
  - Het zoeken van oplossingen voor knelpunten op die terreinen waarop de scheepvaart thans een ten opzichte van andere sectoren relatief grote vervuiler is, waardoor de positie van varend vervoer als schone transportwijze voor de toekomst wordt gestimuleerd.
  - Het verbeteren van de milieukwaliteit van de scheepvaart zodat ook deze sector haar bijdrage levert aan het algemene streven naar een beter milieu.
- Voor het bereiken van de doelstellingen voor de zeescheepvaart wordt in eerste instantie gezocht naar uniformiteit en samenwerking met andere kuststaten. Eenzijdig gebiedsgerichte maatregelen vindt slechts in uiterste noodzaak plaats. Aan het verwezenlijken van de doelstellingen is geen termijn gesteld.

## 5.2.2 Rechtsmacht

Zeescheepvaart is een internationale aangelegenheid en dit heeft grote gevolgen voor de regelgeving die van toepassing is op zeeschepen. Uitgangspunt bij deze paragraaf is, dat Nederland op grond van het internationale recht kan handelen op basis van een bepaalde hoedanigheid, namelijk als vlaggestaat, als kuststaat en als havenstaat.

### *Nederland als vlaggestaat.*

Nederland heeft in de hoedanigheid van vlaggestaat in principe de mogelijkheid de meest strenge emissienormen te stellen aan de schepen die onder haar vlag varen. Deze normen gelden en kunnen worden gehandhaafd ten opzichte van Nederlandse schepen waar ook ter wereld. Om de concurrentiepositie van de 'eigen' schepen niet aan te tasten, ligt het niet voor de hand dat een vlaggestaat eisen stelt die veel strenger (en duurder) zijn dan de normen die er internationaal zijn vastgesteld. Het strenger zijn dan andere landen kan tot gevolg hebben dat de schepen onder een andere vlag gaan varen. De totale wereld koopvaardijvloot bestaat uit ongeveer 40.000 schepen, waarvan circa 1% onder de Nederlandse vlag vaart .

### *Nederland als kuststaat.*

In de hoedanigheid van kuststaat is Nederland bevoegd regels te stellen voor schepen die het recht van onschuldige doorvaart uitoefenen, d.w.z. de territoriale zee doorvaren (de territoriale zee is 16 mijl breed). Volgens art. 21 VN Zeerechtverdrag mag de kuststaat regels stellen terzake van de onschuldige doorvaart met betrekking tot o.a. de bescherming van het milieu van de kuststaat en het voorkomen, verminderen en bestrijden van de verontreiniging ervan. De belangrijkste beperking in dit opzicht is dat de regelgeving van de kuststaat geen betrekking mag hebben op het ontwerp, de constructie, de bemanning en de uitrusting van schepen onder buitenlandse vlag. Slechts indien deze regelgeving uitvoering geeft aan 'generally accepted international rules or standards' mag zij worden toegepast op schepen onder buitenlandse vlag. Voorstelbaar is dus dat een kuststaat wel regels kan stellen aan de emissienormen van schepen, maar de schepen niet kan dwingen om een bepaald type rookgasreiniger te gebruiken om die emissienorm te halen. Dit wordt anders wanneer ook de internationale regelgeving dit soort voorzieningen voorschrijft. Gezien het grote belang dat er internationaal gehecht wordt aan het beschermen van het begrip 'onschuldige doorvaart', ligt het niet voor de hand dat een kuststaat unilateraal vérgaande maatregelen zal nemen in haar territoriale zee.

### *Nederland als havenstaat.*

Als havenstaat heeft Nederland zowel onder het internationaal gewoonterecht als op grond van het VN Zeerechtverdrag op grond van zijn territoriale soevereiniteit het recht bijzondere eisen te stellen aan schepen. Zolang de bijzondere toegangseisen maar naar behoren bekend zijn gemaakt, staat het Nederland vrij eisen te stellen aan de motoremissies van de scheepvaart. De vraag is wel of de komende nieuwe bijlage VI bij het MARPOL 73/78 Verdrag een staat gaat belemmeren vérderegaande eisen te stellen dan die in de nieuwe bijlage VI zullen worden vastgesteld. Cruciaal daarbij is of de door een

havenstaat in te stellen emissiebeperkende maatregelen nadere voorschriften zijn die bestreken of verboden worden door de nieuwe bepalingen in MARPOL 73/78. Tevens is dan de vraag of Nederland het verdrag gaat ondertekenen en ratificeren. Het zal duidelijk zijn dat het praktisch niet bespreekbaar is voor een land als Nederland met grote economische belangen in de haven om eisen te gaan stellen aan de internationale scheepvaart of aan de schepen onder eigen vlag die sterk uit de pas lopen bij wat de concurrerende havenstaten eisen of wat er internationaal geregeld is.

### 5.2.3 Aanknopingspunten voor beleid.

Voor het instellen van vergaande emissiebeperkende maatregelen (voor bijvoorbeeld SO<sub>x</sub> en NO<sub>x</sub>) komen in principe de volgende mogelijkheden in beeld:

#### *Internationale regelgeving*

Via de internationale regelgeving, in casu Bijlage VI van het MARPOL 73/78 Verdrag. Het concept dat er nu ligt, is na zeer moeizame onderhandelingen tot stand gekomen en het ligt niet voor de hand dat aanscherping van de normen bespreekbaar is binnen afzienbare tijd.

#### *regionale afspraken*

Via regionale afspraken, in casu via de EU. Hoewel internationale regelgeving voor de scheepvaart bij uitstek een IMO aangelegenheid is, gebeurt het toch dat landen strengere eisen stellen wanneer de IMO regelgeving 'achterblijft'. Het is bijvoorbeeld denkbaar dat de EU de normen van Bijlage VI van het IMO Verdrag gaat toepassen nog voor dat de Bijlage in werking is getreden. In feite gaat het hier dan om een gecoördineerde actie van havenstaten die de soevereine macht hebben speciale eisen te stellen als voorwaarde voor binnenkomst.

#### *Eenzijdige of bilaterale afspraken*

Eenzijdige of bilaterale afspraken over scheepvaartsectoren die geen concurrentie van buitenaf te vrezen hebben. Wanneer schepen geen concurrentie te vrezen hebben van schepen die zich kunnen onttrekken aan strengere emissienormen, valt het argument van concurrentievervalsing weg. In dat geval staat een land (of landen) niets in de weg om voor deze schepen strengere emissienormen op te leggen. Hierbij kan gedacht worden aan veerdiensten, overheidsvaartuigen en (in bepaalde gevallen) vissersvlooten. Als vlaggestaat heeft Nederland het recht om dit te regelen.

#### *Invoeren van een marktconform instrumentarium*

Invoeren van een marktconform instrumentarium om het milieuedrag van de scheepvaart te stimuleren. De marktwerking bevat geen prikkels die de scheepvaartsector stimuleren om milieuvriendelijker te gaan opereren. Er zijn initiatieven om hier verandering in te brengen, waarbij het doel is dat schepen die investeren in milieu en veiligheid direct financieel voordeel daarvan krijgen, dat bij voorkeur opgebracht moet worden door de schepen die beneden de maat opereren. Door middel van een 'rating' van een schip op diverse criteria wordt bepaald welk 'indexcijfer' het schip krijgt toegedeeld. De reder van het schip wordt beloond d.m.v. een korting op havengelden, verzekering

gen en alle andere mogelijke kortingen van participanten in de maritieme sector. Voorbeelden van initiatieven in deze richting zijn het Green Award systeem dat geïnitieerd is in Rotterdam en vooral de Scandinavische initiatieven op dit gebied. Zo heeft Zweden zojuist een tarief differentiëring gelanceerd voor haar havengeldtarieven, waarbij de uitstoot van SO<sub>x</sub> en NO<sub>x</sub> zwaar medebepalend zijn voor het havengeldtarief.

#### *Economische instrumenten*

De overheid (en/of de EU) kunnen middels het creëren van fiscale voordelen of door het direct subsidiëren van vrijwillige investeringen in emissiebeperkende maatregelen deze investeringen aantrekkelijker maken.

## **5.3 Binnenvaart**

### **5.3.1 Beleid**

Voor de binnenvaart worden in de nota "Scheepvaart en Milieu, varen onder een groene vlag" dezelfde doelstellingen genoemd als reeds genoemd bij de zeescheepvaart. Specifiek voor de binnenvaart is hieraan de volgende doelstelling toegevoegd: "...de relatief gunstige positie van binnenvaart ten opzichte van andere vormen van transport moet voor de toekomst behouden blijven, zodat de sector op dit terrein blijvend een bijdrage levert aan de vermindering van de belasting van het milieu". Van directe regelgeving betreffende de emissies uit motoren van de binnenvaart is in Nederland momenteel geen sprake. Wel is het de bedoeling dat Nederland het voortouw neemt bij het opstellen van emissienormen voor de binnenvaart in de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR). Voor de brandstof die in de binnenscheepvaart gebruikt wordt is bestaan er wel normen. Zo mag de brandstof 0,2 gewichtsprocent zwavel bevatten.

### **5.3.2 Aanknopingspunten voor beleid**

#### *Internationale regelgeving*

Internationale regelgeving ten aanzien van emissies uit scheepsmotoren kan geformuleerd worden in het kader van de CCR of in Europees verband in de vorm van emissienormen. De Bodenseenorm kan hierbij als voorbeeld dienen<sup>1</sup>. De CCR is de aangewezen organisatie om deze regelgeving in te voeren. Deze regelgeving betreft dan alle schepen in het Rijn-stroomgebied. Nog doeltreffender is het om de regelgeving in Europees verband door te voeren en zodoende alle binnenvaartschepen onder de regelgeving te brengen in Europa.

#### *Economische instrumenten*

De overheid (en/of de EU) kunnen middels het creëren van fiscale voordelen of door het direct subsidiëren van vrijwillige investeringen in emissiebeper-

<sup>1</sup> In de bovenloop van de Rijn, op de Bodensee, bestaat er regelgeving die de uitstoot van uitlaatgassen betreft, de Bodensee-Schiffahrts-Ordnung. Deze norm is in twee fasen ingevoerd, waarvan de eerste fase als een overgangsfase diende naar de uiteindelijke regelgeving als in fase 2. De eerste fase is in 1993 in werking getreden, de tweede fase in 1996.

kende maatregelen deze investeringen aantrekkelijker maken. Een mogelijkheid is dat de overheid de te stimuleren maatregelen opneemt op de WAMIL-lijst (Willekeurige Afschrijving Milieu Investeringen). Voorbeelden van dergelijke maatregelen zijn nieuwe, en vooral schonere, scheepsmotoren of voorzieningen die leiden tot brandstofbesparing (straalbuis, schroeftips). Een ingreep als bijvoorbeeld een straalbuis kan al een brandstofbesparing van 20 % opleveren. Een reductie van het brandstofverbruik zal leiden tot een vermindering van emissies uit motoren. Ook in het milieuzorgsysteem, dat inmiddels voor de beroepsbinnenvaart is ontwikkeld door de Stichting Scheeps- Afvalstoffen Binnenvaart, worden brandstof besparende maatregelen geadviseerd. Een reductie van het brandstofverbruik zal mogelijk ook optreden als neveneffect van de invoering van het Scheeps- Afvalstoffen Verdrag. Met het in werking treden van het internationale Scheeps- Afvalstoffen Verdrag (naar verwachting juli 1998) zal er voor de beroepsbinnenvaart een verwijderingsbijdrage worden geïntroduceerd ter financiering van de kosten die gemaakt worden voor de inzameling en verwerking van scheepsafvalstoffen. Deze verwerkingsbijdrage wordt geconcretiseerd via een heffing op de brandstofprijzen. Het gaat daarbij om redelijk grote bedragen: 7,5 ecu per 1000 liter brandstof. Voor bijvoorbeeld een binnenvaartschip van 1500 ton en 1100 pk dat circa 3000 draaiuren maakt betekent dat f 3200,- extra brandstofkosten. Het is dus goed mogelijk dat deze stijging van brandstofprijzen leidt tot efficiënter brandstofverbruik en daardoor tot reductie van emissies uit scheepsmotoren.

## 5.4 Recreatievaart

### 5.4.1 Beleid

Een expliciet beleid ten aanzien van watervervuiling uit motoren van recreatievaartuigen bestaat niet in Nederland. Emissievoorschriften zoals de bekende 'Bodenseenorm' uit de drie Bodenseelanden bestaan in ons land niet. Ten aanzien van diffuse bronnen is er wel beleid geformuleerd. De recreatievaart en de beroepsbinnenvaart worden breed erkend als belangrijke 'diffuse bronnen' van watervervuiling, waarvan sinds de sanering van industriële en communale puntbronnen een groot deel van de resterende watervervuiling afkomstig is. Het vigerende nationaal beleid inzake diffuse bronnen van watervervuiling is vastgelegd in het Actieprogramma Diffuse Bronnen (VROM, februari 1997). In het diffusebronnenbeleid dat andere aspecten van de scheepvaart betreft wordt vooral het voorlichtingsinstrumentarium aangesproken en wordt met name het gebruik van alternatieven of op gedragsverandering belicht. De autonome groei in de beroeps en recreatievaart, die veel maatregelen op termijn weer compenseert, blijft buiten beschouwing. Dat Nederlands en Europees beleid op dit gebied achter blijft bij de ontwikkelingen in het buitenland blijkt uit de volgende opsomming van buitenlands beleid en regelgeving wat de motoremissies betreft.

- Het meest bekende voorbeeld is de Bodensee-Schiffahrts-Ordnung. Deze is sinds januari 1996 volledig in werking getreden en stelt strenge emissie-eisen aan de motoren waarmee er op de Bodensee gevaren mag worden. Zo is het gebruik van de gangbare buitenboordmotor verboden en zijn

de meeste binnenboordmotoren pas na plaatsten van een katalysator in het uitlaatsysteem toegestaan.

- In navolging van de Bodensee-Schiffahrts-Ordnung zijn er soortgelijke normen gepland of reeds ingevoerd in enkele deelstaten van Duitsland en in Noorwegen en Zweden.
- In de Verenigde Staten is door het Environmental Protection Agency (EPA) een emissiestandaard opgesteld die weliswaar niet zo streng is als de Bodenseenorm, maar toch van een emissiereductie van 75% uitgaat voor alle motoren van de recreatievaart ten opzichte van de huidige situatie. Deze standaard zal geleidelijk ingevoerd worden, beginnende in 1998 en geheel van kracht zijn in 2025.

#### 5.4.2 Aanknopingspunten in bestaande regelgeving

De bestaande regelgeving die in Nederland aangewend kan worden om de emissies uit motoren van de recreatievaart (direkt of indirekt) terug te dringen wordt in deze paragraaf per wettelijk kader behandeld. De Wet op de ruimtelijke ordening en de Wet op de openluchtrecreatie bieden in de huidige vorm geen aanknopingspunten om de emissies uit scheepsmotoren te beperken.

##### *Wet verontreiniging oppervlaktewateren (Wvo)*

De Wvo kan in principe op twee manieren ingezet worden. De eerste manier is het verlenen van vergunningen. De tweede manier is het instellen van algemene regels (Amvb). De eerste manier kan vrijwel direkt toegepast worden maar heeft nogal wat voeten in de aarde. De huidige waterkwaliteitsbeheerder beschikt over onvoldoende capaciteit om voor elk vaartuig een vergunningsaanvraag te behandelen en die ook nog eens te handhaven. Een bijkomende moeilijkheid is het feit dat deze vergunningen voor een bepaalde regio gelden, zodat voor elke regio een nieuwe vergunning nodig is. Met name de tweede manier vormt een mogelijkheid om de emissies uit scheepsmotoren aan te pakken. Het emitteren door scheepsmotoren wordt in dit geval als vergunningsplichtig beschouwd. Als er aan gestelde voorwaarden wordt voldaan (bijvoorbeeld de Bodenseenorm) kan de vergunningsplicht worden omgezet in een meldingsplicht (op basis van een Amvb). De termijn waarop de Wvo op deze manier benut kan worden is echter lang. Een eenmaal ingestelde Amvb is wel landelijk geldig.

##### *Natuurbeschermingswet*

Deze wet is van toepassing in gebieden waaraan de status "beschermd natuurmonument" is toegekend. Is deze status toegekend dan kunnen er aan de toegang tot het gebied eisen gesteld worden die de motoremissies betreffen. De effectiviteit van de wet is echter gering gezien het kleine aantal gebieden waaraan de status "beschermd natuurmonument" is toegekend.



#### *Wet milieubeheer (Wm)*

De wet milieubeheer biedt geen mogelijkheden om de emissies uit scheepsmotoren direkt aan te pakken. Wel kunnen met de Wm voorzieningen (inrichtingen) voor de scheepvaart (bijvoorbeeld aanlegplaatsen of jachthavens) verboden of beperkt worden door geen vergunning te verlenen. Dit heeft indirect invloed op het aantal vaartuigen en de scheepvaartintensiteit in een bepaald gebied.

#### *Scheepvaartverkeerswet*

De scheepvaartverkeerswet geeft het plaatselijke bevoegd gezag van een bepaald vaarwater (dit kan bijvoorbeeld het rijk, de provincie of een waterschap zijn) de mogelijkheid de scheepvaart te reguleren. Een door de gemeente ingestelde algemene verordening (AV) kan door het bevoegd gezag gehandhaafd worden. Hierbij kan gedacht worden aan regels als het afsluiten van water voor de scheepvaart, instellen van aanlegverboden of van een snelheidsbeperking. De motivatie voor dit soort regelgevingen dient echter van waterstaatskundige aard te zijn, of uit belang voor de verkeersveiligheid. Milieubelangen of waterkwaliteitsbelangen kunnen niet als enige motivatie dienen.

#### *Overige verordeningen*

Overige verordeningen zijn slechts in zeer beperkte mate bruikbaar voor het reguleren (bijvoorbeeld afsluiten van een gebied voor de scheepvaart) van scheepvaart. Een verordening kan zich niet begeven op het terrein van reeds bestaande hogere wetgeving (bijvoorbeeld de Wvo of de Wm).

#### *Richtlijnen voor recreatieschepen*

In Europees verband zijn er richtlijnen opgesteld voor recreatievaartuigen. Bij deze reeds bestaande richtlijnen kan aangesloten worden bij richtlijnen voor de emissies van de scheepsmotoren. Momenteel wordt er door de scheepsmotoren-industrie in Brussel aangedrongen op richtlijnen voor emissies uit buitenboordmotoren. Een belangrijk argument hierbij is het ontstaan van handelsbelemmeringen door versnipperde regelgeving in Europa. Argumenten vanuit milieu-optiek ontbreken vooralsnog in deze discussie.

### **5.4.3 Overige aanknopingspunten**

#### *Onderzoek en voorlichting*

Ten aanzien van het gebruik van giftige aangroeiwerende verven lopen diverse acties van verschillende overheden/belangengroepen, in welk kielzog de aanpak van luchtvervuiling uit recreatiemotoren zou kunnen 'meeliften'. Zo verzorgen RIZA en RIKZ een "inventarisatie van ontwikkelingen van de watergerelateerde recreatie in het algemeen, waaronder koper en PAKemissies naar het water als gevolg van de recreatievaart" en stellen de Unie van Waterschappen en de waterrecreatieorganisaties een voorlichtingsfolder op over gebruik van scheepsverven en een plan van aanpak voor vuilwaterinzameling. Rijkswaterstaat werkt aan het opstellen van een plan voor aanpak voor de invoering van milieuzorgsysteem voor de binnenvaart (Aktieprogramma deel 1). Ook regionaal worden een aantal voorlichtingsactiviteiten uitgevoerd/voorbereid ten aanzien van andere typen watervervuiling

uit de recreatievaart. (Aktieprogramma, deel 2). In dergelijke voorlichtingsacties kan informatie over de ernst van de vervuiling uit en over de alternatieven motorgebruik worden opgenomen. Vrijwillige toepassing van de Bodseenorm zou hierin het streven kunnen zijn.

#### *Aansluiten bij waterbodembeleid*

Het instrumentarium dat gebruikt wordt voor de sanering en berging van vervuilde waterbodems (hoofdzakelijk Wvo, Wet bodemsanering en Bouwstoffenbesluit) is niet rechtstreeks van toepassing op de bronnen van die waterbodemvervuiling, zoals het gebruik van scheepsmotoren (bv. PAKvervuiling). Wel is duidelijk dat de met de waterbodemproblematiek verbonden kosten een grote druk zetten op het oplossen van het vraagstuk. Dat geldt ook voor de sector zelf. In het kader van het beginsel 'de vervuiler betaalt' worden m.n. havenbeheerders verantwoordelijk gesteld voor de sanerings en bergingskosten. Dit komt uiteindelijk tot uiting in de hoogte van de lig- en havengelden. Indien een relatie kan worden aangetoond met de bijdrage van de beroeps- en recreatievaartuigen zelf, zou middels differentiatie in deze gelden door de havenbeheerder een onderscheid gemaakt kunnen worden naar schepen met meer en minder vervuilende motoren. Op die wijze zou de 'eigen bijdrage' zeer zichtbaar worden en een regulerende werking kunnen worden bereikt. Naar ons bekend is is men nog nergens in Nederland hiertoe overgegaan. Speciale regelgeving lijkt niet noodzakelijk. De overheid zou deze lijn kunnen versterken door de havenbeheerder naast de bergingskosten te confronteren met een Wvo-heffing op de eigen vervuiling uit tot de (jacht)haven behorende inrichtingen en schepen. Momenteel wordt alleen voor 'puntbronnen' (en incidenteel voor landbouwbedrijven) door de waterbeheerder een heffing geïnd op zuurstofverbruikende stoffen, EOCL en zware metalen. In het licht van vervuiling uit scheepsmotoren en gezien de belangrijkste probleemstoffen in havenspecie, zou een heffing op PAK dan zeker in aanmerking komen. Tot nu toe is het Rijk niet erg actief op de lijn van een Wvo-heffing op diffuse bronnen, maar milieuorganisaties dringen er sterk op aan (voorbereiding NW4).

#### *Economische instrumenten*

Middels differentiatie van accijns of btw voor 'schone' resp. 'vuile' motoren/brandstoffen is met inzet van financiële instrumenten mogelijk ook een interessant spoor te bewandelen. Ook hier zijn voorbeelden uit het wegverkeer voorhanden en/of vinden vergelijkbare studies voor andere bronnen (bijv. de landbouw) plaats in de regeringscommissie 'Vergroening fiscaal stelsel (Commissie Van der Vaart)'. Nagegaan moet worden of afstemming in EU-verband nodig is. Voor de recreatiesector ligt dit waarschijnlijk makkelijker dan voor de beroepsbinnenvaart.

#### *Alkylaatbenzine voor tweetaktmotoren*

Alkylaat is een fractie van ruwe olie die door raffinage gewonnen kan worden. Deze fractie wordt door de huidig verkrijgbare benzine gemengd. Er is aangetoond dat door deze fractie ongemengd te gebruiken in tweetaktmotoren een aanzienlijke reductie van schadelijke emissies bereikt wordt. Deze alkylaat brandstof wordt in Zweden reeds toegepast voor tweetaktmotoren (Östermark, 1996).

## 6. Conclusies en aanbevelingen

Uit de bevindingen van het onderzoek "emissies uit scheepsmotoren" zijn verschillende conclusies te trekken. Deze conclusies zijn te verdelen naar conclusies betreffende de kwaliteit van de beschikbare methoden en gegevens (methodologische conclusies) en conclusies betreffende de emissies (inhoudelijke conclusies).

### 6.1 Methodologische conclusies

Het inzicht in de processen die een rol spelen bij het ontstaan van motoremissies is voldoende.

Het schatten van de emissies aan de hand van emissiefactoren gekoppeld aan energiegebruik is de meest bruikbare methode. Het schatten van de emissiefactoren en het energiegebruik is in veel gevallen nog onvoldoende betrouwbaar om de motoremissies goed in te schatten.

Er is nog gebrek aan duidelijkheid wat betreft de emissies van microverontreinigingen uit zeeschepen die op zware stookolie varen. Gezien de variërende en onbekende kwaliteit van de cutterstock waarmee de stookolie wordt verdund (reststromen uit de chemische- en verfindustrie) kunnen de emissies van microverontreinigingen uit scheepsmotoren aanzienlijk toenemen. De huidige schattingen houden hier geen rekening mee.

Uit toxiciteitsproeven met uitlaatgassen van buitenboordmotoren (met de uitlaat onder water) is gebleken dat deze uitlaatgassen reeds bij lage concentraties en een kort verblijf giftig zijn voor waterorganismen. Onbekend is echter welke stoffen in de uitlaatgassen voor deze giftigheid verantwoordelijk zijn. Er is weinig inzicht in de verdeling van de motoremissies tussen het water en de lucht. Dit inzicht is nodig om het risico van emissies uit scheepsmotoren voor de waterkwaliteit in te schatten. Wel is duidelijk dat bij de buitenboordmotoren en een groot deel van de binnenboordmotoren in de recreatievaart de emissie onder water plaatsvindt waardoor een substantieel deel van de geëmitteerde stoffen aanvankelijk in het water achterblijft.

### 6.2 Inhoudelijke conclusies

#### *Zeescheepvaart*

De zeescheepvaart op het Nederlands Continentaal Plat draagt bij aan mondiale milieuproblemen als het broeikas effect, afbraak van de ozonlaag. Daarnaast, op continentale schaal, veroorzaakt de zeescheepvaart, samen met andere bronnen de verzuring van het milieu door uitstoot van SO<sub>x</sub> en NO<sub>x</sub>. Op regionale en lokale schaal veroorzaken de emissies van koolwaterstoffen en NO<sub>x</sub> smog. De bijdrage aan microverontreinigingen als dioxines en nitro-PAKs is mede afhankelijk van de kwaliteit van de stookolie. De kwaliteit van de stookolie is vaak slecht door bijmengen van reststromen, van de chemische- en verfindustrie, waaronder gevaarlijk afval. De uitstoot van microver-

ontreinigingen kan hierdoor aanzienlijk toenemen en vormen zo een risico voor het milieu.

#### *Beroepsbinnenvaart*

De beroepsbinnenvaart heeft volgens huidige schattingen een aandeel van meer dan 6% in de totale NO<sub>x</sub> emissie van Nederland. Naast de emissie van NO<sub>x</sub> wordt er ook veel roet geëmitteerd. Aan deze roetdeeltjes zitten microverontreinigingen gebonden. Het is onduidelijk wel deel van de emissies in het oppervlaktewater terecht komt.

#### *Recreatievaart*

De motoren van de recreatievaart stoten veel koolwaterstoffen uit, absoluut gezien drie maal meer dan de binnenvrachtvaart en ook meer dan de beroepsbinnenvaart en de zeescheepvaart (op het NCP) samen. Een deel van deze koolwaterstoffen zijn PAKs. Daarnaast wordt ook smeerolie geëmitteerd. Van de emissies uit de scheepsmotoren van de recreatievaart is 90% afkomstig uit buitenboordmotoren. Indien voor PAKs wordt aangenomen dat jaarlijks 60% van de emissie in het water achterblijft, ligt deze bron van waterverontreiniging in de zelfde orde van grootte als de industrie of riool-overstorten. Het lokale karakter in combinatie met het sterk seizoensgebonden karakter kan lokaal mogelijk problemen veroorzaken. De emissies vinden niet, zoals bij binnenvrachtvaart en zeescheepvaart, verspreid over het gehele jaar plaats maar voornamelijk in de zomermaanden. De emissies uit buitenboordmotoren vinden onder water plaats zodat de emissies direkt in het oppervlaktewater terecht komen. De organismen in het water worden hierdoor direkt belast. Deze belasting resulteert reeds bij lage concentraties in acute effecten op plankton en vis.

#### *NCP*

Op het NCP komt het leeuwedeel van de emissies uit scheepsmotoren voor rekening van de zeescheepvaart. De te verwachten effecten bestaan uit het bijdragen aan de eutrofiëring van de open Noordzee via NO<sub>x</sub>-depositie en verontreiniging met microverontreinigingen als PAKs, nitro-PAKs, dioxines, PCBs en mogelijk nog onbekende stoffen. De microverontreinigingen (mogelijk mede afkomstig uit de 'cutterstock') slaan gebonden aan roetdeeltjes op het water neer.

#### *Transportassen Nederland*

Op de transportassen in Nederland wordt gevaren door beroepsbinnenvaart en recreatievaart. In gebieden als het havengebied en de Westerschelde kan hier ook zeescheepvaart aan toegevoegd worden. Hier is sprake van concentraties van scheepsbewegingen en accumulatie van verontreiniging uit verschillende scheepvaartsubsectoren. Er is nog geen duidelijkheid over welk deel van de emissies uit scheepsmotoren van de zeescheepvaart en de beroepsbinnenvaart er op de transportassen neerslaat en daarmee relevant is voor de waterkwaliteit. De bijdrage van de recreatievaart op de transportassen is nog onduidelijk door het gebrek aan inzicht het energiegebruik van de recreatievaart op de transportassen.

#### *Lokaal*

Op lokale schaal kunnen plaatsen met een hoge scheepvaartintensiteit knelpunten vormen. Met name lokaties als sluizen, beweegbare bruggen en

havens zijn voorbeelden van plaatsen met een hoge scheepvaartintensiteit. In deze situaties zorgt, naast de hoeveelheid schepen, ook het manoeuvreren voor een lokale verhoging in de emissies. In veel gevallen kunnen beroepsbinnenvaart en recreatievaart zich beide op hetzelfde water bevinden. De recreatievaart kan met name in de zomer lokaal een belasting van het oppervlaktewater veroorzaken. Als voorbeeld werd in dit rapport de situatie voor de Utrechtse Vecht geanalyseerd. Tijdens dagen van topdrukke op het water kan er sprake zijn van een dermate hoge concentratie aan koolwaterstoffen drempelwaarden voor effecten op organismen worden overschreden. In langere perioden van hoogtijdagen liepen in de berekeningsmodellen de concentraties van microverontreinigingen als PAKs op tot 1 à 100 keer de waterkwaliteitsnormen.

### 6.3 Aanbevelingen

Uit bovengenoemde conclusies blijkt dat er op een aantal vlakken nog essentiële informatie ontbreekt om het risico voor het milieu van motoremissies van de scheepvaart beter te schatten. Het strekt dan ook tot de aanbeveling deze witte vlekken verder in te vullen. Deze witte vlekken zijn:

- De vertaalstap van emissies uit de scheepsmotor naar belasting van het oppervlaktewater voor de diverse scheepvaartssectoren. Als deze vertaalstap eenmaal gemaakt is kan ook het effect van de totale scheepvaartsector op de waterkwaliteit geschat worden door concentraties te berekenen. Deze schatting kan dan op nationale schaal worden gemaakt maar ook op transportassen en lokale concentratiepunten;
- Emissiefactoren voor de afzonderlijke stoffen voor benzine-tweetaktmotoren;
- De samenstelling van de zware stookolie voor de zeescheepvaart;
- Aard en hoeveelheid van risicovolle stoffen in de cutterstock

De (internationale) regelgeving biedt momenteel nog geen aangrijpingspunten om de kwaliteit van de stookolie te controleren. Het strekt dan ook tot de aanbeveling het gat in deze regelgeving te vullen.

Daarnaast is uit bovenstaande conclusies aannemelijk geworden dat lokaal de recreatievaart en met name het gebruik van buitenboordmotoren een direct risico vormt voor de waterkwaliteit en de in het water levende organismen. De huidige regelgeving biedt weinig mogelijkheden om deze diffuse bron van verontreiniging te reduceren. Daarom de volgende aanbevelingen:

- Het instellen van afdoende emissierichtlijnen voor scheepsmotoren (dit is in de andere transportsectoren reeds ingesteld) met 'Best Available Technology' (B.A.T.) als criterium. In de huidige voorstellen voor zulke richtlijnen ontbreekt dit criterium;
- Het bevorderen van het gebruik van minder milieubelastende, alternatieve voortstuwingstechnieken. Hierbij kan bijvoorbeeld voorlichting als instrument worden ingezet. Ook kan aan het uitvoeren van een pilotproject gedacht worden. Voorbeelden van alternatieve voortstuwingstechnieken zijn het gebruik van electromotoren (bekend als fluisterboten) en scheepsmotoren op LPG;

- Het gebruik van alkylaat brandstof in combinatie met biologisch afbreekbare smeerolieën voor buitenboordmotoren mogelijk maken.

Momenteel wordt er in Europees verband gewerkt aan emissierichtlijnen voor motoren van de recreatievaart. Het strekt tot de aanbeveling het effect van deze nieuwe normen op de emissies in Nederland in te schatten. Dit schept de mogelijkheid tijdig te reageren op mogelijke knelpunten voor het milieu in de toekomst. Met de enkele gesignaleerde aangrijpingspunten in de nationale regelgeving, als bijvoorbeeld de WVO, kan mogelijk ook nog emissiereductie bereikt worden. Het verkennen van de noodzaak tot reductie en de eventueel gewenste aanvullende instrumenten strekt ook tot de aanbeveling.

## Literatuur

- Alexandersson, A., E. Flodström, R. Öberg, P. Stålberg, Maritern AB. Exhaust Gas Emissions from Sea Transportation. 1993, The Swedish Transport Research Board, Stockholm, Sweden, TFB report 1993:1.
- Alphen, J. van. Water en stofbalansen Vecht, concept-notitie. 1993.
- Alphen, J. van, Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht, Dienst Waterbeheer en Riolering, Sector Waterbeheer Vecht en Amstel, Afdeling Watersystemen.
- Baart, A.C., J.J.M. Berdowski, J.A. Jaarsveld, K.J. Wulffraat. Calculation of atmospheric deposition of contaminants on the North Sea. 1995, TNO, TNO-report MW-R95/138, Delft.
- Balk, L., G. Ericson, E. Lindesjö, I. Petterson, U. Tjärnlund, G. Akerman. Effects of exhausts from two-stroke outboard engines on fish, Studies of genotoxic, enzymatic, physiological and histological disorders at the individual level. 1994, Laboratory for Aquatic Ecotoxicology, Stockholm University, Stockholm, Sweden.
- Bekkers, F., P. van der Gaag, J. Londema. De invloed van scheepvaart op baggerspecie. Een tussentijdse rapportage. 1992, Ministerie van Verkeer en Waterstaat: Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat: Directie Zuid-Holland.
- Bentum, F. van, I. Coppoolse, M. Schwarz, C.H.A. Quarles van Ufford. Scheepvaart en havenactiviteiten. 1994, RIZA, VROM/DGM, RIVM, RIZA-nota 94.003, RIVM-rapport 773003002, VROM-nota 11840/159.
- Bergman, A. Concentrations of PAHs, PCBs and heavy metals in the blue mussel *Mytilus edulis*. 1993, DGW 93.001.
- BKH Adviesbureau, Raadgevende Ingenieurs Milieu, Bouw, Infrastructuur. Herziening van de lijst met prioritair stoffen. 1993, Provincie Zuid-Holland.
- Bunker news. 1994, no. 5,6,7.
- Bunker news. 1995, no. 4.
- Buringh, E. Over het atmosferische gedrag en de emissie van submicrone verkeersaerosolen. 1980, Dissertatie LH-796, Landbouw Universiteit Wageningen, Wageningen.
- Campen, A.L.B.M.van, C.H.A. Quarles van Ufford, R.P.M. Berbee, L.A.M. Luijten, M.J.C. Schwartz. PAK in oppervlaktewater: bronnen en maatregelen. Speedwerkplan PAK. 1991, RIZA, VROM/DGM, RIVM, RIZA-nota 91.029, RIVM-rapport 736301007.
- CBS/SOVON. Tijdreeksen Milieu 1997. Internet-adres: [www.cbs.nl](http://www.cbs.nl).
- CCRX. PCB's in het Nederlandse milieu. 1986, CCRX/VROM 60340/4-86, Den Haag.
- Centre International de Recherche sur le Cancer (Lyon). Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. 1989, IARC, IARC-monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol 46.

Compaan, H., Rhemrev, M.M., Houtzager, M.M.G. Emission of toxic organic micro-contaminants from ship's engines: First measurements on a North Sea ferry, a Rhine tanker and a containership on the North Sea. 1992, TNO Environmental Energy Research, TNO-report R 92/279, Delft.

DGM, Beleidsstandpunt Polyclische Aromatische Koolwaterstoffen in het Milieu. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu: Directoraat-Generaal Milieubeheer, Zoetermeer.

Dicks, B.,J.A. Bayley. Der Verbleib von Kohlenwasserstoffen in aquatischer Umgebung. Emissionen von Aussenbordmotoren am Bodensee. 1983, Oil pollution research Unit, U.K.

Dings, J.M.W. Concept Schoon schip in de Nederlandse binnenvaart. In pub.

DNV Petroleum Services. Alleged poor quality marine diesel oil delivered in Rotterdam. 1993.

Draaijers, G.P.J., J.J.M. Berdowski, H. Leneman, G.A. Rood, D.J. de Vries, E.A. Zonneveld. Emissies in Nederland. trends, thema's en doelgroepen. 1995 en ramingen 1996. 1997, Publicatierreeks Emissieregistratie nr. 38, Den Haag.

EPS, Estimates of emissions from Pleasure Craft in Canada. 1994, Environmental Protection Series, report no. EPS 5/AP/5, Canada.

Helfoort, P.C.A.M. van. Diffuse bronnen van waterverontreiniging: een benadering voor het beheersgebied van het hoogheemraadschap. 1988, Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland, Edam.

Hendriks, A.J. Monitoring response on XAD-concentrated water in the Rhine delta: A major part of the toxic compounds remains unidentified. 1994, Water research 28 3:501-598.

Hendriks, A.J. Concentrations of microcontaminants and response of organisms in laboratory experiments and Rhine-Delta field surveys: monitoring and modeling instruments in applied research and management. 1995, RijksUniversiteit Utrecht, RIZA-nota 95.035.

Hout, M. van den, Vries, P. de. De verontreiniging van het oppervlaktewater door de pleziervaart. 1991, KNWV, Bunnik.

IMEC, Comments on draft RIZA: Calculation of emissions by pleasure boating. 1993

IMO/MEPC. Prevention of air pollution from ships, draft protocol. Maart 1997, Marine Environment Protection Committee, 39th session, agenda item 6.

Juttner, F. Motor boat derived volatile organic compounds (VOC) in lakewater. 1988, Z. Wasser- Abwasser-Forsch. 21 p36-39.

Klamer, J.C. PCB's in de Noordzee. Bronnen en verspreiding. 1989, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, dienst getijdewateren, nota GWAO-89.2001.

Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging. Chemische Feitelikheden. actuele encyclopedie over chemie in relatie tot gezondheid, milieu en veiligheid. 1995, Samson H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan de Rijn.



Koops, W. Handboek oliebestrijding op zee, kust en binnenwateren. 1985, Rijkswaterstaat Directie Noordzee, Staatsuitgeverij, Den Haag.

Kortlandt, E., Schneider, P.J. Naar een schoon onderwaterschip, inventarisatie van milieuproblematiek door antifouling- en teergebruik in de recreatievaart. 1996, Waterpakt, Harlingen.

Lang, G. Limnologische Auswirkungen der Schifffahrt auf den Bodensee. 1982, Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Bericht Nr. 29.

Linden, F.J.M. Factoranalyse flora en fauna, veranderingen in de flora en fauna in Nederland en de rol van milieugevaarlijke stoffen hierin. 1990, VROM/DGM Leidschendam.

Lloyd's Register, Marine exhaust emissions research programme. Phase II transient emissions trails. 1993, London.

Lloyd's Register, Marine exhaust emissions research programme. Phase II Air quality impact evaluation. 1993, London.

Lloyd's Register, Marine exhaust emissions research programme. 1995, London.

Lloyd's Register, Marine exhaust emissions research programme. Steady-state operation. 1990, London.

Looise, B.A.S. Modeling the effects of polluting chemicals on marine ecosystems, a literature search project for the North Sea Action Plan. 1990, VROM.

Marine Propulsion. Cracking the fuel quality barrier. 1993, Fuels & fuel treatment 4, juli 1993.

Mariterm AB, Environmental impact of pleasure craft, fishing vessel and working vessels. 1991, Swedish Environmental Agency, Sweden, Report 4307.

Martens, H. Gevaarlijke dieselolie. 1996, Waterkampioen 23-1996.

Mc Carthy Jr., L.T. Analyse van de vervuiling door buitenboordmotoren en hun invloed op het milieu. Samenvattend rapport. 1973, Industrial Waste Treatment Research Laboratory, Edison, New Jersey, U.S.A.

Ministerie Verkeer en Waterstaat. Evaluatienota Water Regeringsbeslissing Tweede Kamer. 1994, Vergaderjaar 1993-1994, 21 250 nr. 28.

Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Nationaal Milieubeleidsplan 2. 1994, VROM 93560/b/12-93, Den Haag.

Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat Generaal Milieubeheer. Beleidsstandpunt polycyclische aromatische koolwaterstoffen in het milieu. 1994, VROM 93463/h/11-93.

Müller, H. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Seenforschung.

Naald, W.G.H. van der, Tamis, W., Berg, M.M.H.E. van den. Polycyclische aromatische koolwaterstoffen in het Nederlandse milieu. 1988, CCRX/VROM 70824/11-87, Den Haag.

Nagtegaal, P., M. Zijlstra. Een benadering van het toelaatbaar aantal recreatievaartuigen in het Lauwerszeegebied, gebaseerd op behoud van de natuurlijke waarden en potenties. 1981, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, rapport no. 1981,2Abw, Lelystad.

NEA, Emissie door het goederenvervoer op de binnenwateren. 1991, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directie Lucht, Afdeling verkeer, report nr:910039/36142, Rijswijk

Ninaber, E. Air pollution from ships: What's happening at the IMO? 1993, North Sea Monitor Sept. 1993.

Norges Rederiforbund, Environmentally differentiated tariffs for ships and shipping. The problems, and some suggested solutions. 1993, Oslo.

Oranjewoud. Landelijk plan voor tijdelijke ligplaatsen. 1993, EZ/LNV.

Östermark, U., Alkylate petrol, environmental aspects of volatile hydrocarbon emissions. 1996, Department of Chemical Environmental Science, Chalmers University of Technology, 41296 Göteborg, Sweden.

Raads, J.S., R.A.L. Peerboom, C. Dorland. Diffuse bronnen van verontreiniging van het oppervlaktewater in Friesland: inventarisatie en kwantificering. 1993 Instituut voor Milieuvraagstukken, E-93/16, Amsterdam.

Rekread & Partners, Brandstofenquôte HISWA vereniging, 1995.

Rideout, G. Emission testing of marine vessels. A joint Environment Canada - Transport Canada programme. 1993, Environmental Technology centre, Ottawa Ontario, Canada.

RIZA. Actieprogramma diffuse bronnen. 1997, UvW, IPO, VNG, Ministerie V enW, Lelystad.

Rooy, P. van, Lugt, K. van der. De Vecht, restauratieplan Vecht 1996-2015. 1996, Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht.

Roßknecht. Zur ökologischen Belastung des Bodensees durch die Schifffahrt. Literaturzusammenstellung und Vorschläge für weitere Untersuchungen. 1993, ISF.

Schneider, A. Abgasuntersuchungen an 2- und 4-takt Aussenbordmotoren. 1981, Fachhochschule Konstanz, Stuttgart.

Sense Workshops, 20 februari 1997, Vrije Universiteit, Amsterdam.

SFT, Exhaust emissions from boats. 1988, The Norwegian State Pollution Control Authority (SFT), sft-report no. 89/88, Oslo.

Surveyor. 1992, Quality Publ. Of the American bureau of shipping, juni 1992.

Veldman, W., A. Ligthart, C. Smit. Toeziichtsactie "olievlek" Een beoordeling van de bunkeroliemarkt vanuit het perspectief van de handhaving. 1997, DCMR Rijnmond en Ministerie van VROM, werkdocument 1997/333. Nederland.

Veldt C., Most, P.F.J. van der. Emissiefactoren: vluchtige organische stoffen uit verbrandingsmotoren. 1993, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer: Hoofdinspectie Milieuhygiëne: Afdeling Emissie Registratie en Informatiemanagement. Publikatiereeks Emissieregistratie 10, Den Haag.

Vries, I. de, H. Los, R. Jansen, S. Cramer, M. van de Tol. Risico-analyse eutrofiëring Noordzee. 1993, Ministerie van Verkeer en Waterstaat: Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat: Dienst Getijdewateren, Rapport DGW-93.029.

Werkgroep Verontreiniging van Recreatiewateren door de Scheepvaart. Werkgroep Verontreiniging van Recreatiewateren door de Scheepvaart. 1981, Staatsuitgeverij, Den Haag.

Willemse, HISWA., 1997.

Wit, E. de. DGSM, 1997.

Wulffraat, K.J., Th. Smit, H. Groskamp, A. de Vries. De belasting van de Noordzee met verontreinigende stoffen 1980-1990. 1993, Ministerie van Verkeer en Waterstaat: Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat: Dienst Getijdewateren, Rapport DGW-93.037.

Wulffraat, K.J., Evers, E.H.G. (1993), Atmospheric emissions of microcontaminants from North Sea ship traffic. RIKZ-rapport GWWS-93.157X.

Zwerver, Symposium Zure Regen. 1983, Den Bosch.

## Lijst met afkortingen

AmvB	:Algemene maatregel van Bestuur
AV	:Algemene Verordening
bat	:Best Available Technology
CCR	:Centrale Commissie voor de Rijnvaart
CE	:Centrum voor Energiebesparing en schone technologie
CO <sub>x</sub>	:Verzamelterm voor koolmonoxide en kooldioxide
DNA	:Erfelijk materiaal
EOCL	:Extraheerbare Organo Chloorkoolwaterstoffen
EPA	:Environmental Protection Agency
EU	:Europese Unie
HC	:Koolwaterstoffen (Hydro Carbons)
HFO	:Heavy Fuel Oil
IMO	:International Maritime Organisation
MAC	:Maximaal Aanvaardbare Concentratie
MARPOL	:Marine Pollution (mondiaal verdrag)
MDO	:Marine Diesel Oil
NCP	:Nederlands Continentaal Plat
NO <sub>x</sub>	:Stikstofoxiden (verzamelterm)
NRIT	:Nationaal Research Instituut voor Recreatie en Toerisme
OSPAR	:Oslo - Paris Commission
PAKs	:Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen
PCB	:PolyChloorBifenylen
PCDD	:Dibenzodioxines
PCDF	:Dibenzofuranen
RNA	:
RPV	:Restauratie Plan Vecht
RWZI	:Riool Water Zuiverings Installatie
SO <sub>x</sub>	:Zwaveloxiden (verzamelterm)
SPEED	:SamenwerkingsProject Effectieve Emissiereductie Diffusebronnen
TEL	:Tetra Ethyl Lood
TML	:Tetra Methyl Lood
VN	:Verenigde Naties
VOS	:Volatile Organic Substances
WAMIL	:Willekeurige Afschrijving Milieu Investeringen
WM	:Wet Milieubeheer
WVO	:Wet Verontreiniging Oppervlaktewater



## Bijlagen

bijlage 1 PAKs aangetroffen in extract van roetdeeltjes uitgestoten door dieselmotoren.

Polycyclic aromatic compounds identified or tentatively identified in three light-duty diesel particulate extracts<sup>a</sup>

Compound	Molecular weight	Concentration <sup>b</sup> ( $\mu\text{g/g}$ of extract)
Acenaphthylene	152	30
Fluorene	166	100-168
Trimethylnaphthalene	170	30-50
Anthracene	178	155-356
Phenanthrene	178	2186-4883
Dimethylbiphenyl	182	30-91
Tetramethylnaphthalene	184	50-152
Dibenzothiophene	184	129-246
4 <i>H</i> -Cyclopenta[ <i>def</i> ]phenanthrene	190	517-1033
2-Methylanthracene	192	517-1522
2-Methylphenanthrene	192	1099-1481
3-Methylphenanthrene	192	929-1287
Trimethylbiphenyl	196	50
Methyldibenzothiophene	198	101-323
Benzacenaphthylene	202	791-1643
Fluoranthene	202	3399-7321
Pyrene	202	3532-8002
2-Phenylnaphthalene	204	650-1336
Dimethylphenanthrene	206	443-1046
2- or 9-Ethylphenanthrene	206	388-464
Dimethylphenanthrene or -anthracene	206	86-585
Benzo[ <i>def</i> ]dibenzothiophene	208	254-333
Ethylidibenzothiophene	212	151-179
Benzo[ <i>a</i> ]fluorene	216	541-990
Benzo[ <i>b</i> ]fluorene	216	175-538
Methylfluoranthene or -pyrene	216	224-552
1-Methylpyrene	216	144-443
Ethylmethylphenanthrene or -anthracene	220	286-432
Benzo[ <i>ghi</i> ]fluoranthene	226	217-418
Cyclopenta[ <i>cd</i> ]pyrene	226	869-1671
Benzo[ <i>a</i> ]anthracene	228	463-1076
Chrysene or triphenylene	228	657-1529
Benzo[ <i>a</i> ]fluoranthene	234	30-126
Benzo[ <i>b</i> ]naphtho[2,1- <i>d</i> ]thiophene	234	30-53
Methylbenzo[ <i>a</i> ]anthracene	242	30-50
3-Methylchrysene	242	50-192
Benzo[ <i>b</i> ]fluoranthene	252	421-1098
Benzo[ <i>j</i> ]fluoranthene	252	492-1367
Benzo[ <i>k</i> ]fluoranthene	252	91-289
Benzo[ <i>e</i> ]pyrene	252	487-946
Benzo[ <i>a</i> ]pyrene	252	208-558
1,2-Binaphthyl	254	30-50
2,2-Binaphthyl	254	89-283
1-Phenylphenanthrene	254	89-163
9-Phenylphenanthrene	254	30-94
Phenylphenanthrene or -anthracene	254	30-116
Benzo[ <i>ghi</i> ]perylene	276	443-1050
Indeno[1,2,3- <i>cd</i> ]pyrene	276	30-93
Dibenzo[ <i>a,h</i> ]anthracene	278	50-96
Coronene	300	301-521
Dibenzopyrene or -[ <i>def,p</i> ]chrysene	302	89-254

<sup>a</sup>From Tong & Karasek (1984)

<sup>b</sup>Concentrations of less than 50  $\mu\text{g/g}$  extract were obtained by approximate calculation

## bijlage 2 PAKs aangetroffen in benzine of uitlaatgassen van benzinemotoren.

Polycyclic aromatic hydrocarbons identified in gasoline engine fuel and exhaust ( $\mu\text{g/l}$  of original or combusted fuel)<sup>a</sup>

Compound	Molecular weight	Gasoline	Exhaust A <sup>b</sup>	Exhaust B <sup>b</sup>
Naphthalene	128	+	+	+
1-Methylnaphthalene	142	+	+	+
2-Methylnaphthalene	142	+	+	+
Acenaphthylene	152	+	+	+
Diphenylene	152	+	+	+
Acenaphthene	154	+	+	+
Diphenyl	154	+	+	+
1,2-Dimethylnaphthalene	156	+	+	+
1,3-Dimethylnaphthalene	156	+	+	+
1,4-Dimethylnaphthalene	156	+	+	+
1,5-Dimethylnaphthalene	156	+	+	+
1,6-Dimethylnaphthalene	156	+	+	+
1,7-Dimethylnaphthalene	156	+	+	+
1,8-Dimethylnaphthalene	156	+	+	+
2,3-Dimethylnaphthalene	156	+	+	+
2,6-Dimethylnaphthalene	156	+	+	+
2,7-Dimethylnaphthalene	156	+	+	+
1-Ethylnaphthalene	156	+	+	+
2-Ethylnaphthalene	156	+	+	+
Fluorene	166	+	+	+
Methylacenaphthylene*	166	+	+	+
Dibenzo[ <i>b,d</i> ]furan	168	-	+	+
Diphenylmethane	168	-	+	+
2-Methyldiphenyl*	168	+	+	+
3-Methyldiphenyl	168	+	+	+
1,3,7-Trimethylnaphthalene	170	-	+	+
1,6,7-Trimethylnaphthalene	170	+	+	+
2,3,6-Trimethylnaphthalene	170	+	+	+
Anthracene	178	1 555	534	642
Phenanthrene	178	15 700	2 930	2 356
Methylfluorene*	180	+	+	+
1-Methylfluorene	180	+	+	+
2-Methylfluorene	180	+	+	+
3,3'-Dimethyldiphenyl ( <i>m,m'</i> -Ditolyl)	182	-	+	+
4,4'-Dimethyldiphenyl ( <i>p,p'</i> -Ditolyl)	182	+	+	+
1,2-Diphenylethane	182	-	+	+
4,5-Methylenphenanthrene	190		473	762
3-Methylphenanthrene	192	6 870	264	510
2-Methylphenanthrene	192	7 730	269	578
2-Methylanthracene	192	739	92	104
4- and 9-Methylphenanthrene	192	1 243	190	330
1-Methylphenanthrene	192	3 180	256	404
Dimethylfluorene*	194	- to 372	- to 161	184-192
Dimethylfluorene* and 1-phenylnaphthalene	194 } 204 }	143	37	108



Compound	Molecular weight	Gasoline	Exhaust A <sup>b</sup>	Exhaust B <sup>b</sup>
Dimethyldiphenylenoxide*	196	+	+	+
Methyldiphenylethane*	196	+	+	+
Fluoranthene	202	1 840	1 060	1 662
Pyrene	202	4 700	2 150	2 884
2-Phenylnaphthalene	204	538	103	186
Dimethylphenanthrene*	206	- to 1128	- to 95	- to 216
Benzo[ <i>a</i> ]fluorene	216	1 500	82	136
Benzo[ <i>b</i> ]fluorene and benzo[ <i>c</i> ]fluorene	216	1 420	65	112
1-Methylpyrene	216	+	+	+
4-Methylpyrene	216	+	+	+
Cyclopenta[ <i>cd</i> ]pyrene	226	-	987	750
Benzo[ <i>ghi</i> ]fluoranthene	226	3	244	112
Benzo[ <i>a</i> ]anthracene	228	39	83	50
Benzo[ <i>c</i> ]phenanthrene	228	+	+	+
Chrysene	228	52	123	85
Triphenylene	228	30	60	40
3-Methylchrysene	242	-	+	+
2- and 5-Methylchrysene	242	8	5	5
4- and 6-Methylchrysene	242	8	5	5
Benzo[ <i>b</i> ]fluoranthene	252	159	48	19
Benzo[ <i>k</i> ]fluoranthene	252	9	17	7
Benzo[ <i>j</i> ]fluoranthene	252	9	27	11
Benzo[ <i>e</i> ]pyrene	252	307	59	37
Benzo[ <i>a</i> ]pyrene	252	133	81	50
Perylene	252	18	14	7
11 <i>H</i> -Cyclopenta[ <i>qrst</i> ]benzo[ <i>e</i> ]pyrene (8,9-Methylenebenzo[ <i>e</i> ]pyrene)	264	13	43	17
10 <i>H</i> -Cyclopenta[ <i>mno</i> ]benzo[ <i>a</i> ]pyrene (10,11-Methylenebenzo[ <i>a</i> ]pyrene)	264	5	18	8
Anthanthrene	276	20	17	26
Benzo[ <i>ghi</i> ]perylene	276	484	333	115
Indeno[1.2.3- <i>cd</i> ]fluoranthene	276	16	32	12
Indeno[1.2.3- <i>cd</i> ]pyrene	276	59	86	32
Dibenz[ <i>a,h</i> ]anthracene	278	+	+	+
Dibenz[ <i>a,i</i> ]anthracene	278	+	+	+
Picene (Benzo[ <i>a</i> ]chrysene)	278	1	1	1
Benzo[ <i>ghi</i> ]cyclopenta[ <i>pqr</i> ]perylene (1,12-Methylenebenzo[ <i>ghi</i> ]perylene)	288	-	41	19
Coronene	300	165	271	106
Picene (Benzo[ <i>a</i> ]chrysene) (1,2,6,7-Dibenzopyrene)	302	16	-	-

<sup>a</sup>From Grimmer *et al.* (1977); compounds that could not be identified are not included in the table.

<sup>b</sup>Exhaust A, vehicle with air-cooled four-cylinder engine (44 PS); Exhaust B, vehicle with water-cooled four-cylinder engine (68 PS)

+, characterized by mass spectrometry; concentrations given when available

-, not detected; limit of detection about 0.2 µg/l combusted fuel

\*, isomer uncertain

### **bijlage 3 Samenstelling van de verschillende somparameters van (nitro-)PAK en PCB**

#### **PAK-Borneff:**

*Fluorantheen, Benzo(a)pyreen, Benzo(b)fluorantheen, Benzo(k)fluorantheen, Indeno(123cd)pyreen, Benzo(ghi)peryleen.*

#### **PAK-VROM:**

*Naftaleen, Fenantreen, Antraceen, Fluorantheen, Chryseen, Benzo(a)antraceen, Benzo(a)pyreen, Benzo(k)fluorantheen, Indeno(123cd)pyreen, Benzo(ghi)peryleen.*

#### **PAK-22:**

*Naftaleen, Fenantreen, Antraceen, Fluorantheen, Pyreen, 3,6-dimethylfenantreen, triphenyleen, Benzo(b)fluorene, Benzo(a)anthraceen, Chryseen, Benzo(e)pyreen, Benzo(j)fluorantheen, Peryleen, Benzo(b)fluorantheen, Benzo(k)fluorantheen, Benzo(a)pyreen, Dibenzo(a,j)anthraceen, Benzo(g,h,i)peryleen, Benzo(a,h)anthraceen, Indeno(123cd)pyreen, 3-methyl-cholanthrene, Anthanthrene.*

#### **Nitro-PAK:**

***1,6/1,8-dinitropyrene, 2-nitrofluoreen, 9-nitroanthraceen, 3-nitroantheen, 1-nitropyreen, 6-nitrochryseen, 7-nitrobenzo(a)anthraceen, 6-nitrobenzo(a)pyreen, totaal mono-NO<sub>2</sub>-PAH (excl. 2-nitrofluoreen)***

#### bijlage 4 Berekening van de emissies uit de recreatievaart.

De wijze van berekenen is gelijk aan de methode die door de werkgroep SPEED is toegepast. Deze berekeningen zijn voor 1985, 1990, 1995 en 2000 uitgevoerd. De berekeningen voor 1995 dienen hier als illustratie van de gebruikte methode. In de hier gepresenteerde berekeningen wordt het benzineverbruik door buitenboordmotoren verder opgesplitst (ten opzichte van werk in het kader van SPEED) naar twee vermogensgroepen. De volgende aannames worden bij deze berekening gedaan:

- Een groei van het aantal recreatievaartuigen van 2% per jaar.
- De verdeling van het totaal aantal motoren over de diverse motortypen blijft hetzelfde (zie tabel 1).
- De samenstelling van de recreatievloot blijft het zelfde

Na de aantallen motoren geschat en naar vermogensklasse ingedeeld te hebben (eerste 2 tabellen) wordt de totaal geproduceerde hoeveelheid arbeid van de binnen- en buitenboordmotoren voor de verschillende scheepstypen berekend. Dit gebeurt door het potentiële vermogen met de vaaruren te vermenigvuldigen. Na vermenigvuldigen van de totaal geproduceerde arbeid met het specifiek brandstofverbruik van de diverse motoren (tabel 3, 4, 5 en 6) is de schatting van het brandstofverbruik rond. Dit verbruik staat weergegeven in tabel 7. Voor buitenboordmotoren is het verbruik naar twee vermogensgroepen uitgesplitst aangezien de bijbehorende emissiefactoren tussen deze twee groepen sterk verschillen (tabel 8).

##### 1. Aantal motoren

	open zeilboten	kajuitzeilboten	open motorboten	kajuitmotorboten	totaal
aantal boten	69.557	56.308	48.580	78.390	252.835
buitenboordmotoren%	61	25	90	10	
aantal buitenboordmotoren	42.430	14.077	43.722	7.839	108.067
binnenboordmotoren	-	75	10	90	
aantal binnenboordmotoren	-	42.231	4.858	70.551	117.640

##### 2. Verdeling vermogen

motorvermogenklasse (kW)	0-10	10-20	20-50	50-100	>100
open zeilboten	100	-	-	-	-
kajuitzeilboten	41	33	18	8	-
motorboten	5	5	46	31	13

##### 3. Vermogen buitenboordmotoren

vermogen (kW)	5	15	35	75	120	totaal vermogen
tijdgewogen vermogen (20.7%)	1,04	3,11	7,25	15,53	24,84	
open zeilboten	43.914,87	-	-	-	-	43.914,87
kajuitzeilboten	5.973,59	14.424,03	18.357,86	17.483,67	-	56.239,14
open motorboten	2.262,59	6.787,78	145.710,98	210.421,13	141.185,79	506.368,27
kajuitmotorboten	405,67	1.217,00	26.124,95	37.727,02	25.313,61	90.788,25

##### 4. Vermogen binnenboordmotoren

vermogen (kW)	5,00	15,00	35,00	75,00	120,00	totaal vermogen
tijdgewogen vermogen (20.7%)	1,04	3,11	7,25	15,53	24,84	
kajuitzeilboten	17.920,76	43.272,09	55.073,57	52.451,01	-	168.717,43
open motorboten	251,40	754,20	16.190,11	23.380,13	15.687,31	56.263,14
kajuitmotorboten	3.651,00	10.953,01	235.124,53	339.543,19	227.822,52	817.094,25

### 5. Benzineverbruik buitenboordmotoren

	totaal vermogen (Kw)	vaartijd (uur/jaar)	specifiek benzineverbruik (kg benz./kWuur)	benzineverbruik (milj.kg/jaar)
open zeilboten	43.914,87	10	0,70	0,31
kajuitzeilboten	56.239,14	10	0,57	0,32
open motorboten	506.368,27	60	0,55	16,71
kajuitmotorboten	90.788,25	60	0,55	3,00
totaalverbruik benzine buitenboordmotoren =>				<b>20,33</b>

### 6. Benzine- en diesilverbruik binnenboordmotoren

	totaal vermogen (Kw)	kW uit benz. (5%)	kW uit diesel (95%)	vaartijd (uur/jaar)	specifiek benzineverbruik (kg benz./kWuur)	specifiek diesilverbruik (kgdiesel./kWuur)	benzineverbruik (milj.kg/jaar)	diesilverbruik (milj.kg/jaar)
kajuitzeilboten	168.717,43	8.435,87	160.281,56	10	0,40	0,30	0,03	0,48
open motorboten	56.263,14	2.813,16	53.449,98	60	0,40	0,30	0,07	0,96
kajuitmotorboten	817.094,25	40.854,71	776.239,54	60	0,40	0,30	0,98	13,97
totaalverbruik binnenboordmotoren =>							<b>1,08</b>	<b>15,42</b>

### 7. Benzine en Diesilverbruik door de recreatievaart (milj.kg/jaar)

Benzineverbruik door buitenboordmotoren:	20,33
Benzineverbruik door binnenboordmotoren:	1,08
Diesilverbruik door binnenboordmotoren	15,42

### 8. Benzineverbruik buitenboordmotoren verdeeld naar vermogensklassen < 10 kW en >10 kW (milj.kg/jaar)

	fractie motoren < 10 kW	benzine totaal (kg)	benz. <10 kW (milj. kg)	benz. >10 kW (milj. kg)
open zeilboten	1,000	0,31	0,31	-
kajuitzeilboten	0,012	0,32	0,00	0,32
open motorboten	0,004	16,71	0,07	16,64
kajuitmotorboten	0,004	3,00	0,01	2,98
totaal			<b>0,40</b>	<b>19,93</b>

Het brandstofverbruik wordt omgerekend naar emissies door het benzine en diesilverbruik met de verschillende emissiefactoren te vermenigvuldigen. De emissiefactoren voor de microverontreinigingen is van tweetaktmotoren zijn afgeleid van het emissieprofiel van bromfietsen (Veldt et. al., 1993). Hierbij is ervan uitgegaan dat een brommer op 1 kg brandstof 60 km rijden kan (tabel 9). Het effect van de smeeroilie die door de brandstof gemengd is niet in deze tabel opgenomen. De emissiefactoren zijn tot stand gekomen door bij emissies van auto motoren een deel benzinedamp op te tellen (ongeveer 30%). Voor de hoeveelheid uitgestoten smeeroilie is een afzonderlijke schatting gemaakt, zie tabel 10. Aangezien modernere buitenboordmotoren minder smeeroilie nodig hebben en zodoende ook minder smeeroilie emitteren wordt er per jaar een gemiddelde emissiefactor bepaald. Deze waarde komt tot stand door de emissiefactoren van oude en nieuwere motoren te middelen.

9. Emissie van enkele PAKs door buitenboordmotoren, exclusief emissie van smeeroil

Paks	(µg/km ) (mg/kg)	totale uitstoot in kg / jaar				
		1985	1990	1995	2000	
Naftaleen	1000	60	978,4	1105,0	1220,0	1347,0
Antraceen	160	9,6	156,5	176,8	195,2	215,5
Fenantreen	620	37,2	606,6	685,1	756,4	835,2
Methylfenantreen	80	4,8	78,3	88,4	97,6	107,8
Dimethylfluoreen	40	2,4	39,1	44,2	48,8	53,9
3,6-Dimethylfenantreen	40	2,4	39,1	44,2	48,8	53,9
Fluorantheen	100	6	97,8	110,5	122,0	134,7
Pyreen	150	9	146,8	165,8	183,0	202,1
Benz(b)fluoreen	10	0,6	9,8	11,1	12,2	13,5
Benz(a)antraceen	150	9	146,8	165,8	183,0	202,1
Chryseen	10	0,6	9,8	11,1	12,2	13,5
Cyclopentapyreen	80	4,8	78,3	88,4	97,6	107,8
Triphenyleen	5	0,3	4,9	5,5	6,1	6,7
Methylchryseen	2	0,12	2,0	2,2	2,4	2,7
Benz(c)fenantreen	10	0,6	9,8	11,1	12,2	13,5
Benz(b)fluoranteen	10	0,6	9,8	11,1	12,2	13,5
Benz(j)fluoranteen	10	0,6	9,8	11,1	12,2	13,5
Benz(k)fluoranteen	10	0,6	9,8	11,1	12,2	13,5
Benz(a)pyreen	15	0,9	14,7	16,6	18,3	20,2
Benz(e)pyreen	20	1,2	19,6	22,1	24,4	26,9
Peryleen	10	0,6	9,8	11,1	12,2	13,5
Cyclopentabenzoperyleen	10	0,6	9,8	11,1	12,2	13,5
Dibenzoantraceen	5	0,3	4,9	5,5	6,1	6,7
Indenofluoranteen	5	0,3	4,9	5,5	6,1	6,7
Indeno(1,2,3-cd)pyreen	10	0,6	9,8	11,1	12,2	13,5
Benz(ghi)peryleen	60	3,6	58,7	66,3	73,2	80,8
Cyclopentabenzoperyleen	5	0,3	4,9	5,5	6,1	6,7
Antantreen	10	0,6	9,8	11,1	12,2	13,5
Coroneen	10	0,6	9,8	11,1	12,2	13,5
Acenafteen *	30	1,8	29,4	33,2	36,6	40,4
Acenaftyleen *	100	6	97,8	110,5	122,0	134,7
Fluoreen *	100	6	97,8	110,5	122,0	134,7
Benz(a,h)antantreen *	10	0,6	9,8	11,1	12,2	13,5

\* Geschatte waarden

\* Bron: Veldt et. al., 1993

10. Emissie van smeeroil uit buitenboordmotoren naar water

jaar	aantal 1:50	aantal 1:100	aantal 1:200	gew. emifac.	olie-emissie	
				(g olie/kg)	(ton/jaar)	
1985		88790	0	0	6,80	110,89
1990		57880	40000	0	5,21	95,96
1995		28067	40000	40000	3,23	65,72
vervangen van 1:100 2000a		-685	40000	80000		
2000		0	39315	80000	1,66	37,33

Bron: Schneider, 1981; Benthum, 1994

Voor de binnenboordmotoren is voor koolwaterstoffen zijn de volgende NMVOS profielen gebruikt. Deze zijn afkomstig van motoren uit het wegverkeer.

11. De volgende emissiefactoren zijn gegeven als fractie van NonMethaneVOS

Stof	Dieselmotor (fractie van NMVOS)	Benzinemotor	Emissie 1995 (ton)
ethaan	0,01	0,014	5,2
propaan	0,01	0,001	1,8
n-butaan	0,02	0,031	11,3
i-butaan	0	0,012	3,2
n-pentaaan	0,02	0,021	8,6
i-pentaaan	0	0,043	11,5
hexanen	0	0,071	19,0
heptanen	0	0,046	12,3
octanen	0	0,079	21,1
nonanen	0	0,023	6,1
alkanen c>=10	0,3	0,009	47,3
etheen	0,12	0,072	37,2
ethyn	0,04	0,045	18,0
propeen	0,03	0,038	14,6
propadieen	0	0,002	0,5
propyn	0	0,003	0,8
1-butenen	0,007	0,017	5,6
1,3-butadieen	0,007	0,008	3,2
2-butenen	0,007	0,006	2,6
1-pentenen	0,005	0,007	2,6
2-pentenen	0,005	0,011	3,7
1-hexenen	0	0,006	1,6
1,3-hexenen	0	0,006	1,6
alkenen c>=7	0,02	0,003	3,8
benzeen	0,02	0,045	15,0
tolueen	0,015	0,12	34,3
o-xyleen	0,005	0,025	7,4
m,p-xyleen	0,015	0,056	17,2
ethylbenzeen	0,005	0,021	6,4
styreen	0	0,007	1,9
1,2,3-trimethylbenzeen	0	0,005	1,3
1,2,4-trimethylbenzeen	0	0,026	6,9
1,3,5-trimethylbenzeen	0	0,008	2,1
overige aromaten c=9	0	0,038	10,2
aromaten c>=10	0,2	0,045	41,9
formaldehyde	0,06	0,017	13,5
aceetaldehyde	0,02	0,003	3,8
verz. Aldehyden c4	0,015	0,003	3,0
acrolene	0,015	0,002	2,8
crotonaldehyde	0,01	0	1,5
benzaldehyde	0,005	0,004	1,8
aceton	0,015	0,001	2,5

Voor de binnenboordmotoren is voor PAKs het volgende NMVOS profiel gebruikt:

12. Emissiefactoren voor PAKs gegeven als fractie van NonMethaneVOS

PAK	Dieselmotor (fractie van NMVOS)	Benzinemotor	Emissie 1995 (kg)
Naftaleen	0,0025461	0,0009666	639,0
Antraceen	0,0000273	0,0000082	6,3
Fenantreen	0,0003539	0,0000559	67,9
Methylfenantreen	0,0000354	0,000009	7,7
Dimethylfluoreen	0,0000303	0,0000053	5,9
3,6-Dimethylfenantreen	0,0000045	0,0000053	2,1
Fluorantheen	0,0000417	0,0000206	11,7
Pyreen	0,0000303	0,000025	11,2
Benz(b)fluoreen	0,0000113	0,0000037	2,7
Benz(a)antraceen	0,0000064	0,0000029	1,7
Chryseen	0,0000183	0,0000082	4,9
Cyclopentapyreen	0,0000207	0,0000053	4,5
Triphenyleen	0,0000045	0,0000026	1,4
Methylchryseen	0,000001	0,0000003	0,2
Benz(c)fenantreen	0,0000048	0,0000018	1,2
Benz(b)fluoranteen	0,0000048	0,0000018	1,2
Benz(j)fluoranteen	0,0000048	0,0000018	1,2
Benz(k)fluoranteen	0,0000023	0,0000018	0,8
Benz(a)pyreen	0,0000058	0,0000018	5,7
Benz(e)pyreen	0,0000048	0,0000037	1,7
Peryleen	0,0000024	0,0000013	0,7
Cyclopentabenzoperyleen	0,0000024	0,0000013	0,7
Dibenzoantraceen	0,000001	0,0000004	0,3
Indenofluoranteen	0,000001	0,0000004	0,3
Indeno(1,2,3-cd)pyreen	0	0,0000021	0,6
Benz(ghi)peryleen	0,0000019	0,0000029	1,1
Cyclopentabenzoperyleen	0,000001	0,0000004	0,3
Antantreen	0,0000011	0,0000021	0,7
Coroneen	0,0000111	0,0000006	1,8
Acenafteen *	0,0000019	0,0000148	4,2
Acenaftyleen *	0,0000479	0,0000148	11,1
Fluoreen *	0,0000479	0,0000148	11,1
Benz(a,h)antantreen *	0,0000019	0,0000066	2,0
PAK-Borneff	0,0000507	0,0000293	15,4
PAK-VROM	0,0029979	0,0010709	734,4
PAK-EPA	0,0031312	0,0011369	772,0

bijlage 5 Emissie afzonderlijke koolwaterstoffen door beroepsbinnenvaart 1994

	Een- heid	Beroepsbinnenvaart		
		Vracht- en tank- schepen	Sleep-/ duw- vaart	Passa- giers-/ veerbt
naftaleen	1000 kg	2,97	0,71	0,53
antracene	"	0,03	0,01	0,01
fenantreen	"	0,41	0,10	0,07
methylfenantreen	"	0,04	0,01	0,01
dimethylfluoreen	"	0,04	0,01	0,01
3,6-dimethylfenantreen	"	0,01	0,00	0,00
fluoranteen	"	0,05	0,01	0,01
pyreen	"	0,04	0,01	0,01
benz(b)fluoreen	"	0,01	0,00	0,00
benz(a)antracene	"	0,01	0,00	0,00
chryseen	"	0,02	0,01	0,00
cyclopentapyreen	"	0,02	0,01	0,00
trifenyleen	"	0,01	0,00	0,00
methylchryseen	"	0,00	0,00	0,00
benz(c)fenantreen	"	0,01	0,00	0,00
benz(b)fluoranteen	"	0,01	0,00	0,00
benz(j)fluoranteen	"	0,01	0,00	0,00
benz(k)fluoranteen	"	0,00	0,00	0,00
benz(a)pyreen	"	0,01	0,00	0,00
benz(e)pyreen	"	0,01	0,00	0,00
peryleen	"	0,00	0,00	0,00
cyclopentabenzopyreen	"	0,00	0,00	0,00
dibenzoantracene	"	0,00	0,00	0,00
indeno(1,2,3-cd)pyreen	"	0,00	0,00	0,00
benz(ghi)peryleen	"	0,00	0,00	0,00
cyclopentabenzoperyleen	"	0,00	0,00	0,00
antantreen	"	0,00	0,00	0,00
coroneen	"	0,01	0,00	0,00
acenafteen	"	0,00	0,00	0,00
acenaftylen	"	0,06	0,01	0,01
fluoreen	"	0,06	0,01	0,01
benz(a,h)antantreen	"	0,00	0,00	0,00
totaal PAK-Borneff	"	0,06	0,01	0,01
totaal PAK-VROM	"	3,50	0,83	0,62
totaal PAK-EPA	"	3,65	0,87	0,65



**bijlage 6 Achtergrond schatting door CBS van brandstofverbruik door de recreatievaart.**

ALTERNATIEVE BEREKENING PLEZIERVAART (file plzvr.wk1)

		open	kajuit	open	kajuit		
		zeilboot	zeilboot	motorbt	motorbt		
6 Watersport 1991	aantal boten 1991	24310	54960	14360	67970		
7							
8 tabel 13 (p.18)	vaardagen per jaar	36	37	41	41		
9 blz 19 (2.10.3)	motorinbouw fractie	0,61	1	1	1		
10 tabel 10 (p.15)	uren per vaardag	5,5	5	3,3	4,5	blz 14/15: tabel 10	
11 blz 19 (2.10.3)	wv op motor fractie	0,1	0,15	1	1		
12							
13 (8x9)x(10x11)	motoruren	12	28	135	185		
14 KNWV, 1991 (P14)	waarvan						
15	binnenboordfractie	0	0,75	0,1	0,9		
16	-benzine fractie	0	0,05	0,05	0,05		
17	-diesel fractie	0	0,95	0,95	0,95		
18	buitenboordfractie	1	0,25	0,9	0,1		
19	-benzine fractie	1	1	1	1		
20							
21	motoruren						
22 (13x15)x16+(13x18)	-benzine	12	8	122	27		
23 (13x15)x17	-diesel	0	20	13	158		
24							
25 NRIT	verbruik l p/uur	4	4	4	4		
26							
27	verbruik per schip						
28	per jaar in liters						
29 (25x22)	-benzine	48	32	490	107		
30 (25x23)	-diesel	0	79	52	631		
31							
32	verbruik vloot					TOTAAL	
33	in mln liter					liters	kg
34 (6x29)	-benzine	1,2	1,8	7	7,3	17	13
35 (6x30)	-diesel	0	4,3	0,7	42,9	48	40

**bijlage 7 Geografische verdeling van de motoremissies van de recreatievaart op basis van sluispassages 1996.**

Toplokaties per provincie, 1996.

Provincie	Telpuntnaam	Vaarweg	Aantal passages (met motor)
Groningen	Robbegatsluis	Lauwersmeer	12.268
Friesland	Johan Frisosluis	Johan Frisokanaal	45.706
Drente	Nieuwe brugsluis	Hoogeveensevaart	2.437
Overijssel	Beukersschutsluis	Beukersgracht	21.577
Gelderland	Sluis en stuw te Hagestein	Lek	9.264
Flevoland	Nijkerkersluis	Nuldernauw-Nijkernaauw	29.007
Utrecht	Grote sluis Muiden	Vecht	*34.000
Noord-Holand	Sluis Krabbersgat	Krabbersgat	67.426
Zuid-Holland	Alphense Brug	Oude Rijn	25.149
Zeeland	Haven van Zierikzee	Oosterschelde	45.691
Noord-Brabant	Volkerraksluizen	Volkerak	41.455
Limburg	Sluis te Linne	Maas	16.200

\*waarschijnlijk waarde van zomer 1993.

Bron: CBS, 1996

(Bij deze tabel moet in gedachten gehouden worden dat er alleen van telpunten informatie is gebruikt om per provincie een 'toplocatie' te selecteren voor recreatievaart. Het is goed mogelijk dat er binnen de provincies nog drukkere lokaties aan te wijzen zijn.)

**bijlage 8 Spreiding van aanlegplaatsen over Nederland.**

**Lig- en aanlegplaatsen in Nederland**

Waterrecreatieregio	ligplaatsen	aanlegplaatsen	totaal
Waddenzee	1745	1560	3305
Lauwersmeer	1060	95	1155
Fries-Groningse kanalen	7315	1380	8695
Fries merengebied	15645	1835	17480
Drents-Overijsselse kanalen	1695	550	2245
Noordwest-Overijssel	4115	840	4955
Flevoland	180	20	200
Randmeren	13445	3040	16485
IJsselmeer en Markermeer	11345	2525	13870
Noordzeekust	1400	280	1680
Noordhollandse kanalen	12420	1375	13795
Noord- Zuidhollands en Utrechts plassengebied	25270	1895	27165
Zuidhollandse vaarwegen	9515	715	10230
Deltagebied	17115	2305	19420
Rivierengebied	13055	1830	14885
Biesboschgebied	5990	610	6600
Brabantse kanalen	1110	240	1350
Maas en Maasplassen	8960	480	9440
Totaal Nederland	151380	21575	172955

Bron: Oranjewoud, 1993 \*\*\*

## bijlage 9 Case-studies emissies recreatievaart Vecht

Het schatten van de emissies uit de recreatievaart in de twee case-studies steekt op dezelfde manier in elkaar als de schatting die in het hoofdstuk "Omvang emissies uit scheepsmotoren". Om de emissies voor een bepaald traject uit te rekenen wordt eerst het energiegebruik geschat, wat vervolgens met de emissiefactoren wordt vermenigvuldigd. In deze bijlage zal alleen het schatten van het energiegebruik toegelicht worden aangezien dit het stuk van de schatting betreft die aangepast is. Voor het schatten van het energiegebruik op een traject op de Vecht is de berekening een stukje uitgebreid waarmee de vaaruren op dat stukje Vecht worden geschat. Dit stukje gaat aan de reeds bekende berekeningen vooraf. Ook wordt, om concentraties te kunnen schatten het totale volume van het ontvangende water geschat.

Er worden nog een paar extra aannames gedaan ten opzichte van het hoofdstuk "Omvang emissies uit scheepsmotoren":

- Alle open boten hebben een motor;
- De emissies worden door de hele waterkolom gemengd;
- De gebruikte motor- typen en vermogens zijn gelijk het Nederlands gemiddelde;
- Alle emissies gaan naar het water.

In de **eerste case-study**, *een zomerse dag op de Vecht bij Loenen*, wordt uitgegaan van een vaardag van 8 uur waarin 450 scheepjes Loenen op de motor passeren. In die tijd stroomt de Vecht bijna 300 meter Dit is de afstand die voor het vaartraject gekozen is.

De parameters voor de berekening van de vaaruren (bovenaan onderstaande berekening) zijn in dit geval:

*lengte traject: 0.29 km; aantal passages: 450; stroomsnelheid: 0.01 (m/s); debiet 1 (m<sup>3</sup>/sec); verversingstijd: 8 uur.*

In de **tweede case-study**, *accumulatie van PAKs in de Vecht door motoremissies uit de recreatievaart na een "top week"*, is de Vecht in drie stukken opgedeeld. Ieder stuk heeft is redelijk homogeen wat betreft stroomsnelheid en debiet. Over het gehele traject verliest de Vecht alleen maar water, er vindt dus geen menging plaats met 'niet Vecht-water'. Hierdoor kan de concentratie aan het eind van een traject als beginconcentratie voor het volgende traject dienen. Voor de drie trajecten staan de in te vullen parameters bovenaan de berekeningen. De vrachten en concentraties aan het eind van elk traject staan na de berekeningen in tabel 'uitkomsten case-study 2'.

Uitkomsten case-study twee, Recreatie op de Vecht

Stof(groep)	Vracht (kg)		
	utrecht maarsen	maarsen nieuwe sluis	nieuwe sluis overmeer
CO	3356,07	172,21	2854,99
VOS verbr.	1947,67	99,94	1656,87
Nox	352,38	18,08	299,77
Aerosolen	76,52	3,93	65,09
SO2	19,56	1,00	16,64
CO2	29709,27	1524,43	25273,51
smeerolie	21,90	1,12	18,63

Zware metalen	Vecht		
	(g)	(g)	(g)
Lood	142,66	7,32	121,36
Cadmium	0,12	0,01	0,10
Koper	20,78	1,07	17,68
Chroom	0,61	0,03	0,52
Nikkel	0,86	0,04	0,73
Seleen	0,01	0,00	0,01
Zink	12,23	0,63	10,40
Arseen	0,61	0,03	0,52

Stof(groep)	Vecht		
	(g)	(g)	(g)
PAK-Borneff (kg/jaar)	76,24	3,91	64,85
PAK-VROM (kg/jaar)	983,89	50,49	836,99
PAK-EPA (kg/jaar)	1322,21	67,84	1124,80

PAKs	Vecht		
	(g)	(g)	(g)
Naftaleen	617,643	31,692	525,425
Antraceen	67,119	3,444	57,098
Fenantreen	274,474	14,084	233,493
Methylfenantreen	35,067	1,799	29,831
Dimethylfluoreen	18,226	0,935	15,505
3,6-Dimethylfenantreen	16,952	0,870	14,421
Fluorantheen	44,533	2,285	37,884
Pyreen	64,685	3,319	55,027
Benz(b)fluoreen	4,950	0,254	4,211
Benz(a)antraceen	61,554	3,158	52,363
Chryseen	5,693	0,292	4,843
Cyclopentapyreen	34,014	1,745	28,935
Triphenyleen	2,485	0,127	2,114
Methylchryseen	0,889	0,046	0,756
Benz(c)fenantreen	4,461	0,229	3,795
Benz(b)fluoranteen	4,461	0,229	3,795
Benz(j)fluoranteen	4,461	0,229	3,795
Benz(k)fluoranteen	4,338	0,223	3,690
Benz(a)pyreen	7,974	0,409	6,783
Benz(e)pyreen	8,695	0,446	7,396
Peryleen	4,299	0,221	3,657
Cyclopentabenzoperyleen	4,299	0,221	3,657
Dibenzoantraceen	2,117	0,109	1,801
Indenofluoranteen	2,117	0,109	1,801
Indeno(1,2,3-cd)pyreen	4,251	0,218	3,616
Benz(ghi)peryleen	24,742	1,270	21,048
Cyclopentabenzoperyleen	2,117	0,109	1,801
Antantreen	4,305	0,221	3,662
Coroneen	4,667	0,239	3,970
Acenafteen *	13,597	0,698	11,567
Acenaftyleen *	44,327	2,274	37,709
Fluoreen *	44,327	2,274	37,709
Benz(a,h)antantreen *	4,742	0,243	4,034

Concentratie verhoging (mg/l)					
utrecht maarsen	maarsen nieuwe sluis	nieuwe sluis overmeer	recreatie- vaart	Weerd- sluis	Totaal
0,43	3,50	8,16	12,08		12,08
0,25	2,03	4,73	7,01		7,01
0,05	0,37	0,86	1,27		1,27
0,01	0,08	0,19	0,28		0,28
0,00	0,02	0,05	0,07		0,07
3,81	30,95	72,21	106,97		106,97
0,00	0,02	0,05	0,08		0,08

Vecht			Totaal	
(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	
0,02	0,15	0,35	0,51	0,51
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,02	0,05	0,07	0,07
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,03	0,04	0,04
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Vecht			Totaal	
(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	
0,01	0,08	0,19	0,27	0,27
0,13	1,02	2,39	3,54	3,54
0,17	1,38	3,21	4,76	4,76

Vecht			Totaal	
(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	
0,079	0,643	1,501	2,22	2,22
0,009	0,070	0,163	0,24	0,24
0,035	0,286	0,667	0,99	0,99
0,004	0,037	0,085	0,13	0,13
0,002	0,019	0,044	0,07	0,07
0,002	0,018	0,041	0,06	0,06
0,006	0,046	0,108	0,16	0,16
0,008	0,067	0,157	0,23	0,23
0,001	0,005	0,012	0,02	0,02
0,008	0,064	0,150	0,22	0,22
0,001	0,006	0,014	0,02	0,02
0,004	0,035	0,083	0,12	0,12
0,000	0,003	0,006	0,01	0,01
0,000	0,001	0,002	0,00	0,00
0,001	0,005	0,011	0,02	0,02
0,001	0,005	0,011	0,02	0,02
0,001	0,005	0,011	0,02	0,02
0,001	0,005	0,011	0,02	0,02
0,001	0,008	0,019	0,03	0,03
0,001	0,009	0,021	0,03	0,03
0,001	0,004	0,010	0,02	0,02
0,001	0,004	0,010	0,02	0,02
0,000	0,002	0,005	0,01	0,01
0,000	0,002	0,005	0,01	0,01
0,001	0,004	0,010	0,02	0,02
0,003	0,026	0,060	0,09	0,09
0,000	0,002	0,005	0,01	0,01
0,001	0,004	0,010	0,02	0,02
0,001	0,004	0,010	0,02	0,02
0,001	0,005	0,011	0,02	0,02
0,002	0,014	0,033	0,05	0,05
0,006	0,046	0,108	0,16	0,16
0,006	0,046	0,108	0,16	0,16
0,001	0,005	0,012	0,02	0,02

