

**CE**

**Oplossingen voor  
milieu, economie  
en technologie**

Oude Delft 180  
2611 HH Delft  
tel: 015 2 150 150  
fax: 015 2 150 151  
e-mail: ce@ce.nl  
website: www.ce.n

## **Emissiefactoren fijn stof van de scheepvaart**

**Rapport**

Delft, februari 2001

Opgesteld door: ir. W.J. Dijkstra



# Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:  
Dijkstra, W.J.  
Emissiefactoren fijn stof van de scheepvaart  
Delft : CE, 2001

Scheepvaart / Binnenvaart / Zeevaart / Emissies / Milieugevaarlijke / Stoffen  
/ Roet / Concentratie / Normen / Grenswaarde / Inventarisatie

Publicatienummer: 01.4890.04

Verspreiding van CE-publicaties gebeurt door:  
Oude Delft 180  
2611 HH Delft  
Tel: 015-2150150  
Fax: 01-2150151  
E-mail: [publicatie@ce.nl](mailto:publicatie@ce.nl)

Opdrachtgever: Provincie Zuid-Holland  
Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider de heer  
W.J. Dijkstra.

© copyright, CE, Delft

## **CE**

### **Oplossingen voor milieu, economie en technologie**

CE is een onafhankelijke onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

CE is onderverdeeld in vijf secties die zich richten op de volgende werkteerrenen:

- economie
- energie
- industrie
- materialen
- verkeer & vervoer

Van elk van deze secties is een publicatielijst beschikbaar. Geïnteresseerden kunnen deze opvragen bij CE tel: 015-2150150. De meest actuele informatie van CE is te vinden op de website: [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

# Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	3
1.1 Aanleiding	3
1.2 Kader	3
1.3 Doelstelling	4
1.4 Afbakening en werkwijze	4
1.5 Leeswijzer	5
2 Emissies en emissiefactoren fijn stof	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Wat is fijn stof?	7
2.3 Emissies van fijn stof in Nederland en de bijdrage van de scheepvaart	8
2.4 Wijze van presenteren van emissiefactoren	10
2.5 Aandeel fijn stof in deeltjes emissies	12
2.6 Invloedsfactoren fijn stof emissies van schepen	13
2.7 Normstellingen en technische ontwikkelingen	15
3 Emissiefactoren fijn stof: literatuuroverzicht	17
3.1 Marintek, 1989	17
3.2 Lloyd's, 1989 – 1995	17
3.3 TNO-MEP, 1996	18
3.4 CBS emissiefactoren	19
3.5 RIVM, 1996	20
3.6 Techne, 1998	20
3.7 TNO, 2000	22
3.8 EPA, 1998	23
3.9 EPA, 2000	23
3.10 CE, 1996	25
3.11 Overige bronnen	26
3.12 Totaal overzicht	26
4 Conclusies en aanbevelingen	29
Bronnen	33
Gebruikte termen en afkortingen	37



# Samenvatting

In opdracht van de Provincie Zuid-Holland heeft CE een literatuurstudie uitgevoerd naar de hoogte van de emissiefactoren van fijn stof ( $PM_{10}$ ) in de scheepvaart. Dit betreft zowel zeescheepvaart als de binnenvaart.

Het doel van de studie is om inzicht te krijgen in de hoogte van in de (internationale) literatuur gebruikte emissiefactoren voor  $PM_{10}$  en om de Provincie Zuid-Holland te adviseren over de hoogte van de te gebruiken  $PM_{10}$ -emissiefactoren van de scheepvaart in de luchtkwaliteitmodellen.

In het kader van de Europese docterrichtlijn zijn eisen gesteld aan de concentraties van  $PM_{10}$  in de lucht. Met name in stedelijke gebieden worden deze overschreden.

Voor het kunnen treffen van maatregelen of voor het formuleren van beleid om te voldoen aan de eisen die in de Europese docterrichtlijn voor luchtkwaliteit zijn gesteld, is het van belang de bronnen van de stofemissies te identificeren en hun bijdrage aan de totale uitstoot te kunnen vaststellen. Hiervoor is inzicht in de emissiefactoren noodzakelijk.

In de literatuur wordt een grote spreiding van  $PM_{10}$ -emissiefactoren van de scheepvaart aangetroffen. Het aantal meetgegevens is echter relatief beperkt en zijn in de veel gevallen ontleend aan dezelfde studies. Met name de meetresultaten van Lloyds worden vaak aangehaald.

De emissiefactoren voor fijn stof zijn met relatief grote onzekerheid omgeven. Dit wordt bevestigd door de grote bandbreedte van in de literatuur aangetroffen emissiefactoren. Bij het aandeel fijn stof ( $PM_{10}$ ) in de totale deeltjesuitstoot wordt uitgegaan van 100 % m/m.

Om methodische en geografische continuïteit in de nationale en regionale luchtkwaliteitstudies en emissiemodellen te bereiken wordt aanbevolen om in regionale modellen zo veel mogelijk aan te sluiten bij de nationaal gebruikte emissiefactoren door CBS, RIVM en de gebruikte factoren in de Nationale Emissieregistratie. Echter voor de binnenvaart is de hierin gebruikte emissiefactor hoger dan op basis van de aangetroffen waarden in de literatuur te verwachten is.

## *Binnenvaart: 3 g/kg brandstof*

Naar aanleiding de bevindingen in de literatuur en de ontwikkelingen in de binnenvaartvloot wordt aanbevolen om 3 g/kg als vlootgemiddelde  $PM_{10}$ -emissiefactor te gebruiken voor de binnenvaart. Verwacht wordt dat er rond deze vlootgemiddelde emissiefactor een grote spreiding zal worden aangetroffen, met name met uitschieters naar boven.

Er zijn geen bronnen aangetroffen die emissiefactoren voor fijn stof van de binnenvaart op basis van recente (Nederlandse) metingen rapporteren. De hoogte van de vlootgemiddelde emissiefactoren voor fijn stof in de binnenvaart is daarom met grote onzekerheid omgeven.

De emissiefactor van 3 g/kg wijkt af van de in Nederland gangbare en meest gebruikte gemiddelde waarde voor goederenvervoer per binnenvaart van 4 g/kg brandstof. Nieuwe motoren zullen ingevolge van emissieregelgeving in de binnenvaart een lagere deeltjes uitstoot hebben dan deze 4 g/kg. Emissiefactoren tussen 2 en 3 g/kg worden hier verwacht. Voor oudere motoren is de conditie en de onderhoudstoestand zeer bepalend voor de hoogte van

de deeltjesemissies. Daarom worden in de literatuur aangetroffen lage waarden van ca. 1,5 g/kg brandstof niet representatief geacht als gemiddelde voor de gehele vloot, hoewel deze voor individuele motoren mogelijk wel haalbaar zijn.

#### *Zeevaart: 4,6 g/kg brandstof*

Aanbevolen wordt om bij zeeschepen uit te gaan van de emissiefactoren zoals die worden gebruikt door CBS en in de nationale emissieregistratie (Tabel 20). De gemiddelde emissiefactor voor de zeevaart bedraagt volgens deze gegevens 4,6 g/kg brandstof. Dit past in de bandbreedte van de in de literatuur aangetroffen waarden. Indien meer gedifferentieerde emissiefactoren voor de zeevaart gewenst zijn wordt aanbevolen om gebruik te maken van de emissiefactoren zoals recent in [TNO, 2000] werden gerapporteerd. Die emissiefactoren zijn o.a. gebaseerd op de metingen van Lloyd's en maken onderscheid naar brandstofsoort (MDO en HFO) en motortype (slow speed en medium speed) (zie Tabel 14, p.22)

#### *Metingen*

Wegens een gebrek aan recente meetgegevens wordt aanbevolen om metingen uit te voeren om meer inzicht te krijgen in de hoogte van de PM<sub>10</sub>-emissiefactoren in de binnenvaartvloot en de mate van spreiding in de hoogte van deze emissiefactoren. Hierbij is het van belang inzicht te krijgen in de mate waarin de binnen de vloot gemeten emissiefactoren en uitschieters hierin, invloed hebben op de vlootgemiddelde emissiefactor. Bij de metingen dienen het werkelijke gebruik en de werkelijke gebruiksomstandigheden van de motor zo goed als mogelijk te worden benaderd.



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

De Provincie Zuid-Holland wenst een beter inzicht te krijgen in de hoogte van de emissiefactoren fijn stof van de scheepvaart voor haar berekeningen met betrekking tot luchtkwaliteit en de invloed die de verschillende sectoren, met name de scheepvaart, daarop hebben. Deze wens komt voort uit een onzekerheid omtrent de hoogte van de emissiefactoren die in de huidige modellen worden gebruikt. Daarnaast is het aandeel fijn stof in de stof uitstoot van de schepen in de momenteel gebruikte gegevens onzeker. De indruk bestond dat de berekende emissies van de scheepvaart te laag waren. Eerdere aannames over het aandeel fijn stof in de totale deeltjes uitstoot werden daarom naar boven toe bijgesteld.

De Provincie Zuid-Holland wilde hierin meer duidelijkheid. Mede omdat de scheepvaart door de aanwezigheid van het Rotterdamse havengebied een aanzienlijke bijdrage levert aan de aantasting van de luchtkwaliteit in de Zuid-Hollandse regio. De juiste waarden voor de emissiefactoren zijn van belang om een goede inschatting te kunnen maken van de bijdragen van de verschillende categorieën aan de belasting van de luchtkwaliteit in Zuid-Holland. De Provincie Zuid-Holland heeft CE gevraagd een onderzoek uit te voeren naar de in de literatuur gebruikte emissiefactoren voor de scheepvaart.

## 1.2 Kader

In de studie van TNO [TNO, 1996] die werd uitgevoerd voor het gemeentelijk havenbedrijf in Rotterdam, werd de bijdrage van de scheepvaart aan de emissies in het ROM-Rijnmond gebied berekend. De bijdrage van de scheepvaart aan de stofemissies bedroeg volgens de berekeningen 12%. Het grootste deel hiervan (ca.  $\frac{2}{3}$ ) bestaat uit de stofemissies bij overslag van goederen. De motorenemissies van de scheepvaart werden berekend met behulp van een roet-emissiefactor (4,5 g/kg brandstof) en een geschat aandeel fijn stof hierin van 25%. De emissiefactor voor fijn stof van scheepsdieselmotoren bedroeg in [TNO, 1996] dus 1,13 g/kg per kg brandstof.

In deze studie zal worden ingegaan op de vraag in hoeverre deze uitgangspunten ten aanzien van de gebruikte emissiefactor voor  $PM_{10}$  in overeenstemming zijn met bevindingen die in de literatuur. Hierbij worden als eerste de gangbare waarden die gebruikte worden in de emissie-inventarisatie in Nederland van belang geacht, omdat uniformiteit en afstemming ten aanzien van de gebruikte emissiefactoren in lokale en nationale luchtkwaliteits- en emissiemodellen modellen na te streven is.

In verschillende bronnen wordt aangegeven dat de emissiefactoren voor fijn stof een zekere mate van onbetrouwbaarheid hebben. In [Berdowski en Visschedijk, 2000] wordt een aanzet gegeven tot een Europese Emissie-inventarisatie voor fijn stof. De auteurs geven aan dat met name de emissiefactoren voor  $PM_{10}$  in de transportsector zeer onzeker zijn in Nederland, deze emissiefactoren vallen in de categorie met de hoogste onzekerheid. Binnen de transportsector leveren met name de binnenvaart en havenbewe-

gingen een belangrijke bijdrage aan deze algemene onzekerheid. De auteurs geven aan dat er binnen Europa meer gestreefd moet worden naar uniforme datasets voor wat betreft emissiebronnen en emissiefactoren. Ook in [TNO, 2000] wordt aangegeven dat er onzekerheid bestaat over de hoogte van de emissiefactoren fijn stof van de scheepvaart en wordt aanbevolen onderzoek te verrichten naar de emissies van fijn stof door de scheepvaart.

Meer en zeer uitgebreide informatie over Europese aspecten ten aanzien van de uitstoot van  $PM_{10}$  en de ontwikkeling van Europese emissie-inventarisaties is te lezen in [EMEP 2000a] en [EMEP 2000b].

### 1.3 Doelstelling

Het doel van de studie is om door middel van een literatuur- en bronnenonderzoek de volgende vragen te beantwoorden:

- wat zijn de waarden van de deeltjes emissiefactor van dieselmotoren in de scheepvaart die in de (internationale) literatuur worden aangetroffen en;
- wat is het aandeel  $PM_{10}$  in de totale deeltjesemissies van motoren van schepen;
- wijken de bevindingen af van de huidige emissiefactoren die worden gebruikt in de emissie- en luchtkwaliteitmodellen die de Provincie Zuid-Holland worden gebruikt
- kan op basis van de in de literatuur aangetroffen kennis over de emissiefactoren van fijn stof een aanbeveling worden gemaakt over de in de toekomst te gebruiken emissiefactoren.

### 1.4 Afbakening en werkwijze

De studie is een desk-studie naar de hoogte van de emissiefactoren van  $PM_{10}$  van scheepsdieselmotoren. Dit betreft zowel motorenemissies van de zeescheepvaart als van de binnenvaart. Overige stofemissies, bijvoorbeeld afkomstig uit ladingoverslag vallen hier niet onder. Deeltjesemissies van stoomturbines en gasturbines worden niet meegenomen wegens de zeer beperkte omvang van de studie en het geringe aandeel van deze motoren in de vloot. Aangetroffen gegevens over turbines worden echter wel vermeld.

Er zijn diverse literatuurbronnen geraadpleegd. Tevens is veel gebruik gemaakt van internet en zijn enkele gesprekken gevoerd. De studie beperkt zich tot het inventariseren van de informatie die beschikbaar is over de hoogte van de emissiefactoren van fijn stof. Er wordt in de studie niet ingegaan op de gezondheidseffecten hoewel deze wel aanleiding zijn voor een toenemende aandacht voor de concentraties en de uitstoot van fijn stof.

De deeltjesgrootte verdeling komt slechts zeer beperkt aan de orde: alleen het aandeel  $PM_{10}$  (massa%) in de totale deeltjes uitstoot komt aan de orde, hoewel in toenemende mate ook aandacht uitgaat naar de kleinere deeltjes fracties ( $PM_{2,5}$ ), aangezien deze een relatief grotere bijdrage aan de negatieve gezondheidseffecten zouden hebben.

Wegens het internationale karakter van de scheepvaart is er gebruik gemaakt van nationale en internationale bronnen.

De studie richt zich op de primaire emissies van fijn stof uit scheepsdieselmotoren. Secundair aërosol wordt niet in de studie betrokken. Ook worden geen relaties met de luchtkwaliteit gelegd.

De studie geeft inzicht in de hoogte van de emissiefactoren zoals die worden gebruikt in verschillende studies. De studie gaat slechts zeer beperkt in op



de ontstaanswijze van roet- en deeltjesemissies. Ook de chemische samenstelling van de deeltjes en de effecten op de volksgezondheid vormen geen onderdeel van de studie.

## **1.5 Leeswijzer**

In het volgende hoofdstuk (hoofdstuk 2) wordt ingegaan op enkele algemene aspecten rondom de uitstoot van fijn stof door motoren en scheepsmotoren in het bijzonder. In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gemaakt van de geraadpleegde bronnen en de aangetroffen waarden voor de emissiefactoren van fijn stof. Tenslotte wordt in hoofdstuk 4 afgesloten met enkele conclusies en aanbevelingen.



## 2 Emissies en emissiefactoren fijn stof

### 2.1 Inleiding

De uitstoot van stof en de concentraties van stof in de lucht staan in een toenemende belangstelling. Dit is voornamelijk te wijten aan de gezondheidseffecten die met name aan de kleine stofdeeltjes worden toegeschreven<sup>1</sup> en de eisen die worden gesteld aan de luchtkwaliteit.

#### *Luchtkwaliteitseisen*

De nieuwe Europese luchtkwaliteitseisen uit de 1<sup>e</sup> dochterrichtlijn hebben betrekking op eisen ten aanzien van de PM<sub>10</sub>-concentratie in de lucht, met ingang van 2005 (richtlijn 1999/30/EG) [Edwards, 2000]. Hierin wordt voorgeschreven dat de daggemiddelde concentratie in 2005 maximaal 40 µg/m<sup>3</sup> mag bedragen. Daarna zal de norm langzaam worden aangescherpt. De waarde wordt momenteel in grote delen van Nederland overschreden, met name in steden. Het verkeer levert een belangrijke bijdrage aan de uitstoot van PM<sub>10</sub>. De stofemissies van de scheepvaart dragen hieraan bij voor zover de in de buurt van stedelijke agglomeraties plaatsvinden.

Voor het kunnen treffen van maatregelen of formuleren van beleid is het van belang de bronnen van de stofemissies te identificeren en hun bijdrage aan de totale uitstoot te kunnen vaststellen. Dit is een van de doelen van een emissie-inventarisatie. In Nederland wordt dit uitgevoerd door de emissieregistratie in jaarrapportages. Hierin wordt samengewerkt met o.a. vertegenwoordigers van CBS en RIVM en VROM en TNO. In Nederland worden de emissies van de diverse economische sectoren berekend en gerapporteerd in de Nederlandse Emissieregistratie. In periodieke publicaties worden de emissies gerapporteerd [Draaijers et al. 1997]. De hierbij gebruikte emissiefactoren voor de sector verkeer zijn vastgesteld in de Taakgroep Verkeer en worden zowel door CBS, de emissieregistratie en RIVM gebruikt om de uitstoot van de scheepvaart en de binnenvaart te berekenen.

### 2.2 Wat is fijn stof?

In deze paragraaf wordt zeer in het kort ingegaan op de definitie van fijn stof als een van de emissies door de scheepvaart. De hier gebruikte definitie van fijn stof betreft met name de deeltjesgrootte. Beschrijving van de chemische samenstelling van de fijn stof emissie uit dieselmotoren en de ontstaanswijze vallen buiten het kader van deze studie.

Stof of aërosol zijn vrij in de lucht zwevende deeltjes, vast of vloeibaar. De herkomst, de eigenschappen en de afmetingen van de deeltjes kunnen sterk verschillen. Stof kan rechtstreeks in de atmosfeer worden uitgestoten (zogenoemd primair aërosol) maar het kan ook door chemische reacties ontstaan

---

<sup>1</sup> Recent is in een studie van de Landbouwwuniversiteit Wageningen (1999) is bij basisschoolkinderen een toename van de luchtwegklachten waargenomen in samenhang met verkeersgerelateerde luchtverontreiniging. Met name in de Verenigde Staten bestaat al geruime tijd grote aandacht voor fijn stof emissies, strenge regelgeving en handhaving. Ook zijn in de Verenigde Staten veel epidemiologische studies uitgevoerd waarin de relatie tussen fijn stof en gezondheid wordt bestudeerd. Gezondheidseffecten vallen echter buiten het kader van de studie.

uit chemische luchtverontreiniging (secundair aërosol) [RIVM, januari 1995]. Verder kan stof worden ingedeeld in fijn en grof stof, waarbij fijn stof ook wel  $PM_{10}$  wordt genoemd.  $PM_{10}$  is een afkorting van Particulate Matter waarbij de index aangeeft dat het hierbij gaat om deeltjes met een diameter kleiner dan 10 micrometer. Fijn stof bestaat kan bestaan uit roet en deeltjes zoals sulfaat, nitraat, ammonium, koolwaterstoffen, zeezout en metalen gesuspendeerd in de lucht. Vanwege de schadelijkheid is met name de deeltjes fractie <10 micrometer punt van aandacht in onderzoek en regelgeving ten aanzien van emissie en luchtkwaliteit en gezondheid. Deze kleine fractie (met name  $PM_{2,5}$ ) wordt doordat zij diep in de longen kan doordringen in relatie gebracht met negatieve gezondheidseffecten.

De categorie deeltjes fijn stof (< 10 micrometer) die rechtstreeks wordt uitgestoten in de atmosfeer bij verbranding in dieselmotoren van scheepsmotoren staat centraal in deze studie. Deze uitstootkarakteristiek wordt beschreven door emissiefactoren.

Grof stof is gedefinieerd als de fractie groter dan 10 micrometer. Deze fractie kenmerkt zich door een snellere depositie als fijns stof en de hinder als gevolg van de vervuiling die hierbij optreedt. Grof stof wordt, doordat deze deeltjes niet diep in de longen doordringen, minder in relatie gebracht met gezondheidseffecten.

#### *Roetmissies*

Stof- of deeltjesemissies van scheepsdieselmotoren kunnen worden verward met (zichtbare) roetuitstoot of zwarte rook. Slechts een deel van de roetuitstoot kan echter worden gedefinieerd als fijn stof. Hierbij wordt de deeltjes diameter van 10 micrometer ( $PM_{10}$ ) als onderscheidend aangenomen. Veel geraadpleegde studies spreken van PM, zonder verder definitie. In veel van deze gevallen wordt doorgaans  $PM_{10}$  bedoeld.

### **2.3 Emissies van fijn stof in Nederland en de bijdrage van de scheepvaart**

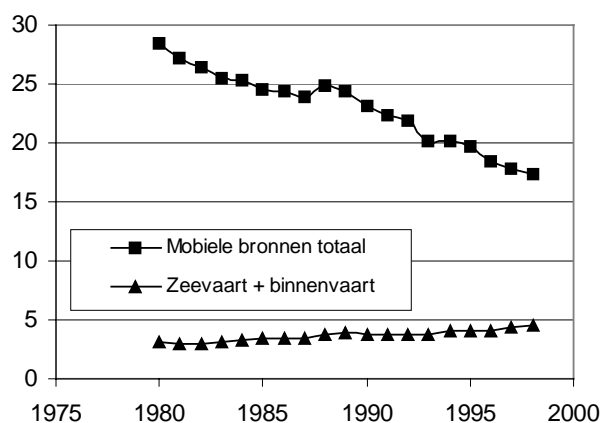
Het CBS rapporteert de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen van de diverse sectoren. Hieruit kan worden opgemaakt dat de totale uitstoot van fijn stof in Nederland (mobiele + stationaire bronnen) geleidelijk aan afneemt. In 1990 bedroeg dit nog 70 kton. In 1998 was dit teruggebracht tot 42 kton. De verdeling tussen mobiele en stationaire bronnen en de bijdragen van de verschillende mobiele bronnen zijn vermeld in de volgende tabel (zie Tabel 1).

Tabel 1 Uitstoot van fijn stof in Nederland 1998 [CBS]

Categorie	kton PM (1998)
Totaal	42
Waarvan:	
– Stationaire bronnen	22
– Mobiele bronnen	20
Waarvan:	
• Vrachtauto, bestelauto's en trekkers	5,2
• Personenauto's	3,5
• Binnenvaart	2,7
• Zeevaart	1,6
• Motortweewielers	0,18
• Brommers	0,042
• Bussen	0,60
• Speciale voertuigen	0,20
• Spoorwegen	0,068
• Luchtvaart	0,16
• Overige voertuigen + mobiele werktuigen	3,6

Het relatieve aandeel van de mobiele bronnen in de totale uitstoot van  $PM_{10}$  nam vanaf 1990 periode toe van 33% tot 41%. In absolute termen nam de uitstoot van fijn stof door mobiele bronnen wel af (zie Figuur 1). De totale uitstoot van fijn stof door mobiele bronnen in Nederland is de afgelopen twee decennia met 40% afgenomen en bedraagt momenteel 17 miljoen kg [CBS]. De relatieve bijdrage hierin van de zee- en binnenvaart is echter wel toegenomen van 11% in 1980 tot 26% in 1998. Ook in absolute termen zien we een toename van de deeltjesemissies door de scheepvaart (zie Figuur 1).

Figuur 1 Emissies fijn stof door mobiele bronnen in Nederland, miljoen kg [CBS]



Voor deze ontwikkeling in Figuur 1 kunnen twee verklaringen worden gegeven:

- door de introductie van schonere wegvoertuigen, schone motoren etc neemt de uitstoot van fijn stof door de sector verkeer en vervoer geleidelijk af, ondanks het sterk toegenomen gebruik van voertuigen in de afgelopen 20 jaar. Dit toegenomen gebruik geldt met name voor de perso-

nenauto's en de vrachtauto's in het wegverkeer die het grootste aandeel in de deeltjes emissies van de mobiele bronnen veroorzaken;

- deze ontwikkeling geldt niet voor de zee- en binnenvaart. De introductie van schone techniek en schone motoren in de scheepvaart gaat namelijk relatief langzaam, terwijl het gebruik van de zee- en binnenvaart wel is toegenomen. Dit wordt in de emissie-inventarisatie zichtbaar door een toegenomen brandstofafzet of brandstof verbruik door scheepvaart. Bij gelijkblijvende of slechts langzaam dalende emissiefactoren leidt dit tot een toename van de totale deeltjesuitstoot door de scheepvaart, zoals zichtbaar is in de figuur. Deze toename houdt vrijwel gelijke tred met de toename van het energiegebruik door de scheepvaart (toename met ca. 40% van 1980 tot 1998).

De berekening van bovenstaande cijfers over de uitstoot van fijn stof in Nederland is gebaseerd op het energiegebruik en de emissiefactoren voor fijn stof die gebruikt worden door het CBS (zie paragraaf 3.4).

#### *Maatregelen scheepvaart*

Het bovenstaande betekent echter niet dat er geen ontwikkelingen plaatsvinden in de scheepvaart. In IMO-verband afgesproken om de NO<sub>x</sub>-uitstoot van nieuwe motoren aan een maximum te binden. Deze maatregel is echter nog niet door alle aangesloten landen geratificeerd, maar wordt in meeste gevallen wel als uitgangspunt genomen bij de bouw van nieuwe schepen.

Het zwavelgehalte in de brandstof is verder een punt van internationaal overleg. Dit heeft voor de Noordzee nog niet geleid tot verlaging van het maximaal toegestane zwavelgehalte. Regionaal zijn gebieden, bijvoorbeeld de Baltische Zee, door de IMO aangewezen als beschermde ecologische zone of zogenoemde 'SO<sub>x</sub> control areas'. In dergelijke gebieden is een verlaging van het maximale toegestane zwavelgehalte tot 1,5 massa% bereikt. Verlaging van het zwavelgehalte leidt naast een reductie van de verzurende emissies van SO<sub>2</sub>, ook tot een reductie van de deeltjesemissies van dieselmotoren (zie ook paragraaf 2.6)

In de binnenvaart zijn afspraken gemaakt om per 2002 voor nieuwe motoren eisen te stellen aan de uitstoot van NO<sub>x</sub>, VOS, CO en deeltjes (zie ook paragraaf 2.7)

## **2.4 Wijze van presenteren van emissiefactoren**

In de literatuur en in emissiemodellen en emissieregistraties zijn de waarden voor de hoogte van de emissiefactoren bepalend voor de totale uitstoot die hoort bij een bepaald scheepvaartactiviteit. De waarden voor de emissiefactoren van fijn stof (en ook andere stoffen) worden op verschillende wijzen uitgedrukt.

Hierbij zijn twee uitgangspunten gangbaar:

- motor gebaseerde emissiefactoren ('engine based') (g/kWh);
- brandstof gebaseerde emissiefactoren ('fuel based') g/kg brandstof.

#### *Gram per kWh*

Het uitdrukken van een emissiefactor in gram per kWh sluit aan bij de wijze waarop normstellingen voor motorenemissies zijn opgesteld. Gangbaar is om uit te gaan en nauw aan te sluiten bij de motorkarakteristieken en de emissiefactor uit te drukken in hoeveelheid uitstoot per geleverde hoeveelheid energie door de krukas van de motor. In dat geval spreken we van een emissie in gram per kWh (g/kWh) of een op de motorkarakteristieken gebaseerde emissiefactor. Voor emissienormeringen bij dieselmotoren wordt



deze uitdrukking ook gebruikt (bijvoorbeeld de emissienormstellingen van vrachtwagenmotoren en ook binnenvaartmotoren ook de NO<sub>x</sub>-eis in de IMO-normstelling voor motoren in de zeevaart).

#### *Gram per kilogram brandstof*

In emissiemodellen en emissie-inventarisaties is het doorgaans eenvoudiger om de emissiefactoren uit te drukken in de hoeveelheid uitstoot per gebruikte hoeveelheid brandstof. De emissiefactor kan in dat geval worden vermenigvuldigd met een getal dat uitdrukking geeft aan de omvang van de activiteit. In dit geval is dat de totale hoeveelheid gebruikte of afgezette brandstof. In dit geval worden de emissiefactoren uitgedrukt als gram per kg brandstof (g/kg). Het voordeel van deze wijze van uitdrukken is dat er een eenvoudig rechtstreeks verband gelegd kan worden tussen de totale uitstoot en de totale hoeveelheid brandstof die is verbruikt. Er wordt in dit geval van uitgegaan dat de hoeveelheid brandstof die wordt verstoekt bekend is of kan worden berekend. Emissiefactoren en brandstofverbruik kunnen bovendien worden gedifferentieerd naar scheepscategorie of naar eigenschappen van de brandstof of van de motor.

#### *Omrekening tussen g/kg en g/kWh*

De omrekening van de emissie uitgedrukt in g/kWh naar g/kg brandstof is meer informatie nodig over de motor ( $\eta$  = rendement) en de energie-inhoud van de brandstof (MJ/kg). Dit laatste bedraagt voor gasolie ca. 42,7 MJ/kg. De omrekening ziet er dan als volgt uit:

$$[\text{g} / \text{kWh}] = \frac{[\text{g} / \text{kg}] \cdot 3,6}{\eta \cdot 42,7}$$

Het rendement ( $\eta$ ) van de motor is sterk bepalend voor de omrekening. Het rendement verschilt per motortype (zie Tabel 2) en verandert eveneens onder invloed van de belasting van de motor. De motorbelasting wordt uitgedrukt in het % MCR (een percentage van het maximale motorvermogen).

Bij de omrekening tussen gram per kWh en de g/kg brandstof is een waarde voor het motorrendement noodzakelijk. In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van typische motorrendementen [T&E, 1996].

Tabel 2 Motorrendement scheepsmotoren [T&E, 1996]

Motortype	rendement % ( $\eta$ )
Slow speed diesel	49-54
Medium speed diesel	43 – 50
High speed diesel	40 –43
Gas turbine	32- 39 (>10 MW) 26-34 (<5 MW)
Steam turbine	30 –37

#### *Herkomst van de emissiefactoren*

Emissiefactoren die in de literatuur worden gebruikt voor berekeningen van uitstoot van voertuigen en vaartuigen zijn in veel gevallen gebaseerd op verwijzingen naar andere bronnen en minder vaak op metingen slechts zelden op eigen meetresultaten. De internationaal meest geraadpleegde studie is de studie van Lloyd's, uitgevoerd in de eerste helft van de jaren negentig. In deze studie werden praktijkemissiemetingen gedaan om de

emissiefactoren van diverse typen motoren van zeeschepen vast te stellen. De in de Nederlandse statistieken [CBS] en de Nederlands emissieregistratie [Draaijers et al., 1997] gebruikte emissiefactoren zijn in paragraaf 3.4 vermeld.

#### *Metingen van emissiefactoren*

Om een goed beeld te krijgen van de emissiefactoren voor fijn stof zouden eigenlijk periodiek metingen moeten worden verricht aan representatieve scheepsmotoren. Deze metingen worden echter niet standaard uitgevoerd bij het opstellen van emissie-inventarisaties. Doorgaans worden in de verschillende emissie-inventarisaties aangetroffen emissiefactoren uit de literatuur ontleend. In slechts enkele gevallen zijn deze gebaseerd op metingen. De vernieuwing van de scheepsmotoren in de vloot is echter zeer beperkt, waardoor de noodzaak van een periodieke aanpassing van de gebruikte emissiefactoren niet groot is, in tegenstelling tot bijvoorbeeld in het wegverkeer waar de levensduur veel korter is.

Met de komst echter van milieu-eisen aan nieuwe motoren ontstaat de noodzaak om te weten wat de (kosten) effectiviteit van maatregelen is die hiervoor moeten worden getroffen. Hiervoor is het nodig om inzicht te hebben in de huidige emissiefactoren en de potentiële verbeteringen die gerealiseerd kunnen worden met (technische) maatregelen. Dit zien we bijvoorbeeld bij de komst van de eisen die door de CCR aan de nieuwe binnenvaartmotoren zullen worden gesteld met ingang van het jaar 2002 [Immunity 2000 en CE 1999]. In de binnenvaart wordt daarom voor  $\text{NO}_x$  op dit moment door DGG onderzocht op welke wijze een eenvoudige meetmethode kan worden opgezet. Metingen van roet- of deeltjesemissies maken echter (nog) geen deel uit van dit plan.

## **2.5 Aandeel fijn stof in deeltjes emissies**

Over het gehalte aan fijn stof  $\text{PM}_{10}$  in de totale deeltjes uitstoot (PM) lopen de inzichten uiteen in de literatuur. Met name door de toegenomen belangstelling voor gezondheidseffecten, is het belang van de deeltjesgrootte in toenemende mate belangrijk. In Tabel 3 is een overzicht gegeven van de aangetroffen informatie over de deeltjesgrootteverdeling:

Uit dit overzicht wordt duidelijk dat de aanname van TNO in [TNO, 1996] van een aandeel  $\text{PM}_{10}$  met een massa percentage van 25% laag is ten opzichte van andere uitgangspunten die werden aangetroffen. De inzichten in de diverse bronnen gaan uit van een aandeel van ca. 80% tot 100%. Deze aanname van 25% werd aanvankelijk ook door RIVM gehanteerd maar in [RIVM 1996] werd op basis van een uitgebreide literatuurstudie geconcludeerd dat bij de uitstoot van stof door dieselmotoren het massa percentage van deeltjes < 10 micrometer ( $\text{PM}_{10}$ ) ca. 100% bedraagt. Deze conclusie van RIVM was aanleiding tot een discussie over de aannames over het percentage  $\text{PM}_{10}$  in de Nederlandse Emissie-inventarisatie. [Draaijers et al., 1997]. De uitkomst was dat er voortaan van zou worden uitgegaan van een aandeel van 100%. Dit uitgangspunt zal daarom ook in voorliggende studie verder als uitgangspunt worden genomen.

TNO, RIVM en CBS gaan daarom nu uit van een aandeel fijn stof van 100% [Draaijers et al., 1997].





Tabel 3 Referenties over het massa-aandeel  $PM_{10}$  in fijn stof emissies van scheeps- en dieselmotoren, diverse bronnen

Massa % $PM_{10}$ in PM	opmerkingen	bron:
25%	Inschatting van TNO, 1996	[TNO MEP, 1996]
86%	Steam residual oil engines	[Techne, 2000]
50%	Steam destillate engines	
82%	diesel engines	
98% (PM10) 94% (PM2,5) 92% (PM 1)	Diesel particle mass	UCLA <sup>2</sup>
100%	Deeltjes emissies van dieselmotoren. Aanpassing naar aanleiding van [RIVM 1996] van eerder aannames die een lager aandeel veronderstelden (nl. 25%)	[Draaijers et al. 1997]
86%	Aandeel $PM_{10}$ in PM. Heeft betrekking op de sector transport de sector "Transportation particulate matter science assesment Document 1999"	Health Canada <sup>3</sup>
100%	Emissies fijn stof dieselmotoren	RIVM , 1996

## 2.6 Invloedsfactoren fijn stof emissies van schepen

De belangrijkste factoren die van invloed zijn op de deeltjes emissies van dieselmotoren zijn de kwaliteit van het brandstofinjectionssysteem en de kwaliteit van de brandstof. Het eerste punt betreft de inspuitdruk, de verneveling, inspuitmoment en de inspuihoeveelheid. Hieraan is bij de nieuwste generatie motoren veel aandacht besteed, omdat verbetering hiervan doorgaans ook tot een verhoogde brandstofefficiency leidt. Met een modern elektronisch gestuurd brandstofinjectionssysteem kan de benodigde brandstofhoeveelheid nog beter worden afgereld, met als resultaat nog lagere deeltjes uitstoot en verbeterde brandstofefficiency [CE, 1997].

De invloed van de brandstofkwaliteit op de deeltjesuitstoot wordt vnl. bepaald door het gehalte aan reststoffen. Met name het zwavelgehalte is hierbij van grote invloed.

### *Zwavelgehalte van de brandstof*

In de scheepvaart worden verschillende typen brandstof toegepast. Het type brandstof is voornamelijk door het zwavelgehalte van invloed op de deeltjesuitstoot. Hogere zwavelgehalten leiden tot een hoger deeltjesuitstoot. De verklaring hiervoor is dat de zwaveldeeltjes in de vorm van sulfaat deel uitmaken van de deeltjesfractie en hierdoor de uitstoot vergroten. Daarnaast is de zwaveldioxide ( $SO_2$ ) die door verbranding ontstaat onderhevig aan de vorming van secundair aërosol. De keuze van de brandstofkwaliteit wordt bepaald door het motortype en economische motieven. In de onderstaande tabel is een overzicht gemaakt van de beschikbare typen brandstof en het zwavelgehalte.

<sup>2</sup> UCLA, Institute for the environment Los Angeles Southern California Particle Center and Supersite SCPCS, Case study diesel exhaust 'proposed Identification of diesel exhaust as a toxic air contaminant, 4/22/98, <http://www.ioe.ucla.edu/academic/envm1c/WEEK4A/tsld003.htm>.

<sup>3</sup> Health Canada: <http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/ehd/catalogue/bch.htm>.

Tabel 4 Zwavelgehaltes brandstoffen scheepvaart

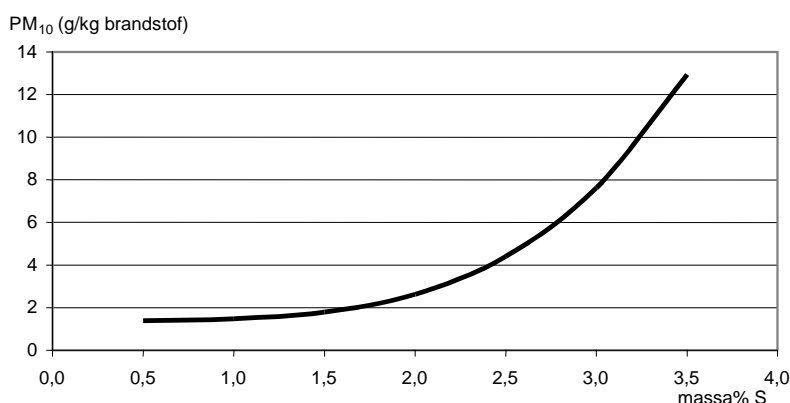
	Brandstof	Zwavelgehalte (massa%)	Bron
Zeevaart	HFO	Ca. 3% (max. 4,5%)	TNO, CE
	MDO	Ca. 2%	TNO
Binnenvaart	Gasolie	0,18% (max. 0,2%)	CE, 1997

HFO (Heavy Fuel Oil) is een zware stookolie en wordt alleen gebruikt in de zeescheepvaart. Stookolie is in de meest extreme vorm een niet-gedistilleerd residu met een hoog zwavelgehalte. MDO (Marine Diesel Oil) wordt eveneens gebruikt in de zeevaart. Het kent verschillende gradaties en is een lichtere olie dan HFO en met een lager zwavelgehalte. Gasolie is een gedestilleerde brandstof met een lager zwavelgehalte dan de MDO en HFO. Gasolie wordt gebruikt in de binnenvaart

Het zwavelgehalte in de zeevaart mag volgens de internationale afspraken maximaal 4,5% massa bedragen, behalve in enkele door de IMO aangewezen ecologische zones waar strengere normen gelden. In de binnenvaart is het maximale zwavelgehalte 0,2 %. In 2008 wordt dit mogelijk verlaagd tot 0,1%.

In de studie van Lloyd's is een verband tussen het zwavelgehalte en de uitstoot van deeltjes beschreven (zie Figuur 2).

Figuur 2 Relatie tussen zwavelgehalte en deeltjesuitstoot [Lloyd's]



#### Motorkenmerken

In de Lloyd's studie [Lloyd's] wordt bij de emissiefactoren voor deeltjes geen onderscheid gemaakt tussen motortypes (slow speed of medium speed) maar is alleen het zwavelgehalte van de brandstof bepalend. Dit betekent dat indirect – via de keuze voor de brandstof - het motortype wel bepalend is. Het type brandstof wordt namelijk deels bepaald door het motortype. In [TNO, 2000] wordt aangegeven dat ca.  $\frac{2}{3}$  van de voortstuwingmotoren in zeevaart bestaan uit slow speed motoren en  $\frac{1}{3}$  medium speed motoren. Een zeer gering aandeel vormen de gas- en stoomturbines (ca. 2%) [TNO, 2000]. Over het algemeen kunnen de volgende typen dieselmotoren worden onderscheiden in de scheepvaart (excl. stoom- of gasturbines) (zie Tabel 5).

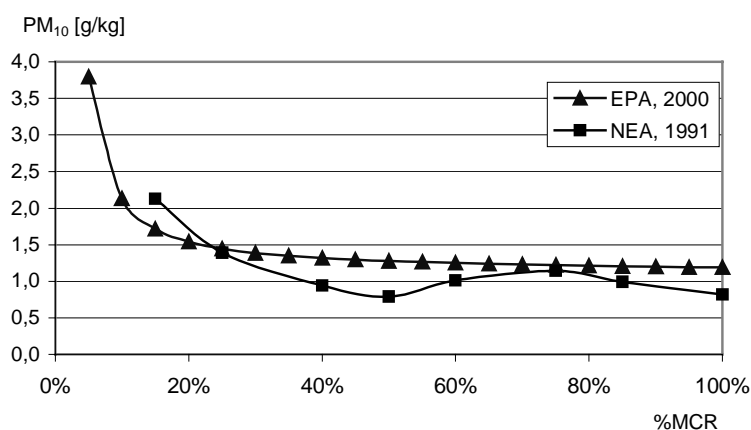
Tabel 5 Motorkenmerken scheepvaart

	Type motor	Brandstof	Toerentallen rpm
Zeevaart	Slow speed	HFO, MDO	<400
	Medium speed	HFO, MDO	
Binnenvaart	Medium speed	Gasolie	400 –1.000
	High speed		
	High speed	Gasolie	> 1.000 rpm

*Motorbelasting (vullast – deellast).*

In een aantal studie wordt de relatie gelegd tussen motorbelasting en deeltjes emissies. In de studie van NEA [NEA, 1991] wordt dit verband bijvoorbeeld gelegd en in de studie van EPA [EPA, 2000] wordt dit ook uitgebreid gedaan. De uitstoot van deeltjes (g/kg) wordt door NEA uitgezet tegen de motorbelasting (zie Figuur 3). Over het algemeen zijn de verbrandingscondities bij deellast gunstig voor de vorming van roet, waardoor in deellast de roetuitstoot toeneemt. Vooral wisselende belastingen, waarbij de brandstof-lucht verhouding niet gunstig is kunnen leiden tot verhoogde roetemissies als gevolg van niet optimale verbranding.

Figuur 3 Relatie motorbelasting en deeltjesuitstoot [NEA, 1991] en [EPA, 2000]



*Motorvermogen en toerental*

Motoren met een groot motorvermogen hebben doorgaans een lagere emissiefactor (g/kWh) dan lichtere motoren. Over het algemeen kan worden gesteld dat hoe beter de verbrandingscondities zijn, des te minder roetvorming of deeltjes uitstoot plaatsvindt. Onder goede verbrandingscondities wordt in dit geval verstaan hoge verbrandingskamertemperaturen en -drukken, goede brandstof inspuiting (inspuitmoment en hoeveelheid). Ook een relatief lange verblijftijd van het verbrandingsmengsel in motoren met grote cilinder inhoud leiden tot een betere verbranding. Dit leidt er ook toe dat motoren met grote vermogens en lagere toerentallen ook lagere specifieke emissiefactoren hebben voor deeltjes. Dit is ook zichtbaar aan de emissiefactoren en de eisen die daaraan worden gesteld. Hogere vermogens hebben lagere grenswaarden (zie ook volgende paragraaf).

## 2.7 Normstellingen en technische ontwikkelingen

Motortechnische ontwikkelingen worden voornamelijk afgedwongen door normstellingen ten aanzien van de maximale toegestane uitstoot maar ook door de wens om de motor efficiënter te maken. Ook dit laatste punt heeft ook een verlagend effect op de deeltjesemissies. Efficiencyverbeteringen zijn economisch aantrekkelijk en gebeuren ook zonder regelgeving. Verbetering van de brandstofefficiency van motoren zijn gebaseerd op een betere controle van de verbranding van de brandstof in de motor, hetgeen ook gunstig uitwerkt op de deeltjesuitstoot. Periodiek onderhoud en controle van het brandstof(inspuit)systeem kan een gunstig effect hebben op de deeltjes uitstoot door verbetering van de verbrandingscondities.

In de binnenvaart zijn per 2002 normen van kracht die de emissies van nieuwe motoren zullen reguleren. Voor deeltjes is de norm voor de zwaarste categorie motoren vastgesteld op 0,54 g/kWh (omgerekend naar schatting ca. 2,5 g/kg brandstof). De normstellingen zijn opgenomen in de volgende tabel. De nieuwe eisen zullen naar verwachting geen problemen opleveren voor de motorenfabrikanten. De normstellingen voor vrachtwagen motoren voor de deeltjes uitstoot zijn in EU verband reeds ver terug gebracht tot 0,1g/kWh (omgerekend ca. 0,6 g/kg) en zullen nog verder aangescherpt gaan worden tot 0,02 g.kWh (Euro 3 en Euro 4, resp. 2000 en 2005).

Tabel 6 Eisen van de CCR voor nieuwe binnenvaart motoren m.i.v. 2002 [CE, 1999]

Vermogen	CCR eis PM <sub>10</sub> uitstoot (2002) (g/kWh)	Omrekening g/kg brandstof*)
<37 kW	geen eis	--
37 – 75 kW	0,85	4
75 –130 kW	0,70	3,3
>130 kW	0,54	2,6

\*) Aanname 40% rendement en 42,7 MJ/kg brandstof.

Zichtbaar wordt dat de deeltjes uitstoot van de grootste categorie motoren (>130 kW) vanaf 2002 maximaal ca. 2,6 g/kg bedraagt.

### 3 Emissiefactoren fijn stof: literatuuroverzicht

In dit hoofdstuk wordt een aantal bronnen uit de literatuur geïnventariseerd waarin emissies en emissiefactoren van de scheepvaart worden gerapporteerd. De meeste van de geraadpleegde bronnen verwijzen voor gebruikte emissiefactoren naar andere bronnen, in veel gevallen is dit de studie van Lloyd's [Lloyd's] waarin een groot aantal metingen werd uitgevoerd aan zeeschepen. Slechts in enkele gevallen is er sprake van nieuwe metingen. Vele studies evalueren een groot aantal studies. De vermelde data zijn in een overzichtstabel opgenomen die is opgenomen in de laatste paragraaf van dit hoofdstuk. In de volgende paragrafen worden de bevindingen uit belangrijkste bronnen aan de orde gesteld.

#### 3.1 Marintek, 1989

Deze inmiddels wat oudere studie uit 1989 maakt een overzicht en een inschatting van de bijdragen van de zeescheepvaart aan de globale emissies. Het rapport richt zich voornamelijk op de NO<sub>x</sub>-emissies, maar ook andere emissies en emissiefactoren van fijn stof worden aan de orde gesteld. Het zwavelgehalte wordt bepalend verondersteld voor de hoogte van de deeltjesemissies. De deeltjesemissies worden in deze studie overigens niet gespecificeerd naar deeltjesgrootte-klassen. In aansluiting op de discussie die gevoerd zijn over het aandeel fijn stof in de totale deeltjes uitstoot (zie ook 2.5) wordt daarom hier aangenomen dat het aandeel PM<sub>10</sub> in de totale deeltjes uitstoot 100% bedraagt.

Tabel 7 Emissiefactoren fijn stof [Marintek, 1989]

	PM (g/kg)
Dieselschepen (gemiddeld)	2,5
– high speed motoren	1,5 ± 0,5
– medium speed	1,2 ± 0,8
– slow speed	3,5 ± 1,5
Stoomgeneratoren ('steam engines')	3,9

De waarden die door Marintek worden gebruikt in de bovenstaande tabel zijn gebaseerd op een aantal oude Noorse metingen (Marintek: Exhaust emissions from boats). De data geven aan dat er een zekere bandbreedte bestaat in de meetresultaten. De gemiddelde emissiefactor voor fijn stof voor zeeschepen die in deze studie wordt gebruikt bedraagt volgens deze studie 2,5 g/kg brandstof, waarbij slow speed motoren de hoogste emissiefactoren vertonen. Niet aangegeven is met welke brandstofkwaliteiten (zwavelgehalte) gemeten is.

#### 3.2 Lloyd's, 1989 – 1995

De meest bekende meetserie en internationaal meest geciteerde bron van emissiefactoren voor de zeescheepvaart is waarschijnlijk de studie van Lloyd's (1989- 1995). In de studie is een reeks metingen verricht aan diverse

typen zeevarende schepen onder diverse omstandigheden. Veel andere studies maken gebruik van deze resultaten van Lloyd's [o.a. EPA, TNO, CE,] Voor het bepalen van de emissiefactoren van deeltjes zijn metingen verricht aan zes schepen. Er werden metingen verricht bij verschillende (steady state!) motorbelastingen, 6 verschillende schepen en 2 brandstofkwaliteiten. Uit de resultaten werd een verband vastgesteld tussen de emissie van deeltjes en de

- brandstofsoort (% zwavel);
- motorbelasting (% MCR).

De specifieke deeltjesemissies nemen toe bij afnemende motorbelasting (Deellast). Bij de motoren met gasolie was dit minder het geval dan bij motor met stookolie. De auteurs van [Lloyd's 1995] leiden uit de hen beschikbare dataset de volgende emissiefactoren af voor respectievelijk fuel oil (HFO) en gas oil (MDO) (Tabel 8). Er zijn geen metingen verricht met gasolie die ook in de binnenvaart wordt gebruikt.

Tabel 8 Emissiefactoren PM gemeten in steady state metingen [Lloyd's 1995]

Brandstof	g/kg	g/kWh
Fuel oil (HFO)	7,6	1,5
Gas oil (MDO)	1,2	0,2

De bovenstaande emissiefactoren hebben betrekking op 'steady state' (= met constante/ongewijzigde motorbelasting) bedrijf van de motoren en hebben betrekking op de totale massa van de deeltjes uitstoot. Er zijn door Lloyd's tevens metingen verricht bij 'transiënt' bedrijf (met wisselende of dynamische motorbelasting), echter niet voor PM<sub>10</sub>.

### 3.3 TNO-MEP, 1996

De emissiefactoren voor fijn stof die in de studie van TNO worden gebruikt staan als basis voor de luchtkwaliteitmodellen die ook door de Provincie Zuid-Holland worden gebruikt in het ROM-Rijnmond project in 1996 [TNO-MEP, 1996]. De studie van TNO-MEP heeft betrekking op de emissie van de scheepvaart in het ROM Rijnmond gebied. Er is in de emissiefactoren van fijn stof verder geen differentiatie gemaakt in bijvoorbeeld zeeschepen en binnenvaartschepen. In de emissiefactoren voor deeltjes uit scheepsmotoren is in deze studie onderscheid gemaakt in de emissiefactoren voor fijn stof (<10 micrometer) en grof stof (>10 micrometer). Deze inschatting berust volgens [TNO-MEP, 1996] op een eigen inschatting van TNO. De emissiefactoren uit [TNO-MEP, 1996] staan in Tabel 9.

Tabel 9 Deeltjes emissiefactoren [TNO-MEP, 1996]

	Gram/kg
Roetemissies	4,5
Aandeel fijn stof (< 10 µm)	1,13 (=25%)

In de studie (TNO) wordt er van uitgegaan dat van de totale stofemissies 25% bestaat uit fijn stof. Dit is een aanname die onder meer naar aanleiding van berekeningen van de Provincie Zuid-Holland aanleiding is geweest om nader onderzoek te doen naar de emissiefactoren voor fijn stof (zie hoofd-



stuk 1). De indruk bestond namelijk dat het gebruik van de emissiefactor 1,13 g/kg tot te lage uitkomsten leidde. Daarom werd de aanname van 25% aangepast in een aanname dat 100% van de deeltjes emissies PM<sub>10</sub> is. Op basis van in de literatuur aangetroffen waarden over het aandeel PM<sub>10</sub> in de deeltjes emissie is dit een goede aanpassing. De absolute hoogte van de emissiefactor (= 4,5) zal nog nader moeten worden beschouwd.

### 3.4 CBS emissiefactoren

Met uitzondering van de emissiefactoren voor de recreatievaart<sup>4</sup> zijn de emissiefactoren sinds 1980 ongewijzigd. De CBS emissiefactoren zijn opgenomen in de zgn. emmob-files [CBS] en ook te vinden op internet [www.cb.nl/nl/statline](http://www.cb.nl/nl/statline). Dezelfde waarden worden ook gebruikt in de emissie-registratie en de emissiejaarrapportages. Het CBS maakt echter wel onderscheid in verschillende typen vaartuigen. De door CBS gebruikte emissiefactoren fijn stof zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Deze door CBS gebruikte waarden voor emissiefactoren hebben een zekere status omdat ze worden gebruikt in emissie-inventarisatie en monitorings-studies zoals de Emissiejaarrapportage en de Milieubalans van het RIVM.

Tabel 10 Emissiefactoren fijn stof [CBS]

Emissiefactoren fijn stof CBS sinds 1980	PM <sub>10</sub> (g/kg brandstof)
Binnenvaart, vrachtvervoer	4,0
Binnenvaart, personenvervoer	6,0
Recreatie (1980 – 1998)	2,2 – 2,4
Binnenvaart, visserij	4,0
Binnenvaart	4,0
Zeevaart	4,6

Dat voor het personenvervoer in de binnenvaart (bijv. pontveren) een hogere emissiefactor wordt gebruikt is te wijten aan het feit dat deze vaartuigen tot het vrachtvervoer in de binnenvaart een meer dynamisch motorgebruik hebben (wisselende belastingen en toerentallen). Dit leidt tot een hogere deeltjes uitstoot per kg brandstof.

De herkomst van de waarden van de emissiefactoren die door CBS worden gebruikt zijn niet bekend en volgens CBS zijn ze deels gebaseerd op metingen van Lloyd's en TNO maar ook op zogenoemde *expert judgements* [Klein, 2000]. Eventuele aanpassingen aan de gebruikte emissiefactoren dienen te worden besproken in de Taakgroep Verkeer, waarin vertegenwoordigers van o.a. RIVM, TNO, CBS en VROM zitting hebben. Er dient volgens het CBS en RIVM een goede reden te zijn om de gebruikte emissiefactoren te veranderen of aan te passen, omdat bij veranderingen discontinuïteiten in de statistieken zouden optreden. Wijzigingen in de totale uitstoot worden nu nog volledig verklaard door op een toenemende activiteit (= brandstofverbruik) van de scheepvaart.

<sup>4</sup> De emissiefactoren voor de recreatievaart zijn door CBS aangepast. Het aandeel van de emissies van de recreatievaart is volgens de CBS-statistiek echter zeer gering. Er zijn onlangs door de Europese Commissie (27 oktober 2000) plannen aangekondigd voor emissie-eisen voor motoren in de recreatievaart. De eisen hebben betrekking op CO, HC en NOx van zowel benzine als dieselmotoren. Voor dieselmotoren zijn tevens eisen geformuleerd voor deeltjes (-29% reductie wordt verwacht).

Op deze wijze wordt een verandering in de totale uitstoot door de scheepvaart puur en alleen door een veranderde brandstofafzet kunnen worden verklaard [Klein, 2000].

### 3.5 RIVM, 1996

De studie van RIVM is uitgevoerd in het kader van het project fijn stof, in opdracht van het Ministerie van VROM. De studie is een literatuurstudie naar deeltjesemissies afkomstig van verbrandingsmotoren maar ook van slijtage van banden, wegdek, etc. Het doel is identificatie van emissiebronnen, invloed van de diverse bronnen op de  $PM_{10}$ -concentratie en het vinden van een correlatie tussen gezondheidseffecten en bepaalde componenten in de deeltjes uitstoot. De studie van RIVM richt zich hoofdzakelijk op het wegverkeer in Nederland maar gaat ook - zij het zeer in het kort - in op het overige verkeer waaronder ook de binnenscheepvaart en de zeescheepvaart. In de studie van RIVM wordt geconcludeerd dat de tot dusver in Nederland door CBS gebruikte emissiefactoren voor fijn stof voor in zee- en binnenvaart eigenlijk te hoog zijn en aangepast zouden moeten worden. De auteurs geven hierover ook een advies op welke wijze de emissiefactoren op basis van de beschikbare inzichten zouden kunnen worden aangepast. (zie hieronder).

#### *Zeescheepvaart*

De conclusies van het RIVM inzake de emissiefactoren van de zeescheepvaart luidt dat de CBS-factor voor de zeevaart (4,6 g/kg) in vergelijking met andere in de literatuur genoemde emissiefactoren te hoog is. In de studie wordt een beknopte vergelijking gemaakt tussen resultaten van enkele metingen in het buitenland en enkele gebruikte emissiefactoren. Het RIVM stelt daarom voor om voor de Nederlandse zeescheepvaart een lagere emissiefactor, namelijk 3 gram/kg te gebruiken. RIVM geeft hierbij geen verder differentiatie tussen scheepstypen of motortypen (Tabel 11).

#### *Binnenvaart*

Het RIVM stelt in [RIVM, 1996] voor om op basis van de beschikbare gegevens voortaan de emissiefactor voor de binnenvaart te stellen op 2 g/kg (binnenvaart goederenvervoer, tank- en sleepvaart) en 3 g/kg (passagiers en veerboten). Dit is lager dan de momenteel door CBS gebruikte waarden (Tabel 11).

Tabel 11 Emissiefactoren fijn stof (g/kg) van CBS en voorgestelde correctie door RIVM [RIVM, 1996]

	Momenteel gebruikt door CBS en RIVM	Voorstel voor aanpassing [RIVM, 1996]
Zeevaart	4,6	3
Binnenscheepvaart		
– Goederenvervoer, tank- en sleepvaart	4	2
– Personenvervoer	6	3

### 3.6 Techne, 1998

In het kader van strategisch onderzoeksprogramma CORDIS (Europese Commissie) hebben in 1996–1998 een groot aantal Europese onderzoeksinstituten gewerkt aan de ontwikkeling van een soort emissie-



inventarisatiesysteem<sup>5</sup>. De hoofdoelen betreffen het ontwikkelen van modellen om de luchtverontreinigende emissie van transport te kunnen inschatten. Een subdoel is het vergelijken van beschikbare kennis van emissiefactoren en verkeerskarakteristieken in Europa en mogelijk een consensus te vinden over de wijze van emissie-inventarisatie in Europa. In dit omvangrijke project is het onderdeel scheepvaartemissies beschreven door het Italiaanse bureau Techne [Techne 1998a en Techne 1998b] in het kader van het MEET-project<sup>6</sup>.

In dit rapport [Techne, 1998a] worden een groot aantal in de literatuur beschikbare bronnen geëvalueerd ten aanzien emissiefactoren en energiegebruik van schepen. Er wordt in de studie onderscheid gemaakt tussen verschillende scheepstypen en verschillende brandstofsoorten. Ook wordt de 'operation mode' als onderscheidende factor voor de emissiefactor opgenomen. De volgende bedrijfstoestanden van het schip worden onderscheiden:

Tabel 12 Bedrijfstoestanden onderscheiden door [Techne, 1998]

Operating mode	PM (g/kg brandstof)
– Cruising	Zie Tabel 13
– Manoeuvreren	Zie Tabel 13
– Hotelling	Zie Tabel 13
– Tanker offloading	2,11
– Auxiliary generators	1,1

Alle gevonden data zijn door Techne opgenomen in een grote tabel waarbij eveneens voor de emissiefactor relevante kenmerken van de motor of de brandstof zijn opgenomen. Voor de deeltjesemissiefactoren werden in totaal 8 bronnen geraadpleegd waarvan de publicatiedatum varieerde van 1981 tot 1995. Voor de overige emissiefactoren waren echter aanzienlijk meer bronnen beschikbaar. De data zijn door Techne geaggregeerd en worden naar motortype en bedrijfssituatie onderscheiden. Deze resultaten van de analyse van Techne zijn opgenomen in Tabel 13.

Tabel 13 Emissiefactoren PM in gram/kg brandstof in verschillende bedrijfssituaties [Techne, 1998]

Motortype	% PM <sub>10</sub> **)	Cruising	Manoeuvreren	Hotelling
BFO* engine steam turbine	86%	2,5	2,5	1,25
MDO engine steam turbine	50%	2,08	2,08	2,1
Diesel engine (high speed)	82%	1,5	1,5	1,5
Diesel engine (medium speed)	82%	1,2	1,2	1,2
Diesel engine (slow speed)	82%	1,2	1,2	1,2
gas turbines	n.n.	1,1	1,1	1,1

\*) BFO = Bunker Fuel Oil (= HFO)

\*\*) Aandeel PM<sub>10</sub> in de totale uitstoot van PM (massa %)

<sup>5</sup> De rapportages van de studie zijn opgenomen op de website van het Franse instituut Inrets: <http://www.inrets.fr/infos/cost319/index.html>.

<sup>6</sup> Methodologies for Estimating Air pollutant Emissions from Transport (MEET), valt onder het vierde kaderprogramma van de Europese Commissie.

Voor de dieselmotoren (high, medium en slow speed) verschillen de emissiefactoren volgens Techne niet in de verschillende bedrijfsomstandigheden. Dit is in tegenstelling met de algemene bevindingen dat de uitstoot van  $PM_{10}$  varieert met de motorbelasting en stijgt bij deellast gebruik. Voor 'cruising' en 'manoeuvreren' blijken de emissiefactoren volgens Techne voor deeltjes niet te verschillen. Bij hotelbedrijf zijn de deeltjesemissies van de stoomturbines lager dan in de andere situaties. Het is dus ook van belang te weten wat het brandstofverbruik is in de verschillende bedrijfstoestanden.

Opvallend is dat deze studie melding maakt van de emissiefactoren van een ontladende tanker en van de emissiefactoren van hulpmotoren. Opvallend is verder de relatief lage waarde die Techne adviseert voor de deeltjes emissiefactor van dieselmotoren en de relatief lage waarde voor het aandeel  $PM_{10}$ . Techne geeft aan dat de emissiefactoren van Medium en Low speed dieselmotoren zijn gebaseerd op data van Lloyd's. De gebruikte waarde hebben betrekking op de Lloyd's data waarbij wordt uitgegaan van MDO als brandstof. De hogere waarden van Lloyds' bij gebruik van HFO worden niet door Techne overgenomen.

De door Techne gebruikte bronnen voor de emissiefactoren zijn niet in alle gevallen bekend en konden niet worden achterhaald. Techne beschrijft evenmin de herkomst van de data, dus is niet bekend of dit in alle gevallen metingen betreft.

### 3.7 TNO, 2000

In deze recente studie [TNO, 2000] heeft TNO een overzicht gemaakt van in de literatuur gebruikte emissiefactoren van in de zeescheepvaart gebruikte voortstuwingmotoren. Deze zijn aangevuld met inschattingen van TNO. Het onderzoek rapporteert zowel de emissiefactoren van de macrocomponenten als de microcomponenten.

De schepen worden ingedeeld in drie categorieën (slow-speed, medium speed en gas- en stoom turbines). Deze laatste categorie maakt volgens [TNO 2000] slechts voor 2% deel uit van de vloot. Naast het motortype wordt tevens de brandstofsoort als onderscheidende factor vermeld. De brandstof (HFO en MDO) worden in beide typen dieselmotoren toegepast. Bij slow speed motoren blijkt de emissiefactoren  $PM_{10}$  volgens TNO niet afhankelijk van de brandstofsoort (zie tabel). Medium speed motoren hebben in vergelijking met slow speed motoren een lagere emissiefactor voor  $PM_{10}$ . De brandstofsoort is wel bepalend voor de hoogte van de emissiefactoren van medium speed motoren (zie Tabel 14). Voor de volledigheid worden ook de emissiefactoren van stoomturbines vermeld in deze tabel. Deze maken echter slechts een gering aandeel uit van de in de zeeschepen geïnstalleerde motoren.

Tabel 14 Emissiefactoren fijn stof gram  $PM_{10}$  per kg brandstof, onderzoek van [TNO, 2000]

Motortype	Brandstof	Gebruikte emissiefactoren	Bandbreedte	
			Laag	hoog
Slow speed	HFO	7,6	3,5	10
	MDO	7,6	3,5	10
Medium Speed	HFO	4,5	1	6
	MDO	1,4	1	4
Stoomturbine	HFO	2,5	1	4
	MDO	2,1	1	4
Gasturbine	MDO	1,1	0,05	1,1



De emissiefactoren van de slow speed motoren zijn door TNO afgeleid uit de metingen van Lloyds [Lloyd's]. De emissiefactoren van de medium speed motoren zijn afhankelijk van het zwavelgehalte en het brandstoftype. TNO gaat hierbij uit van een zwavelgehalte in MDO en HFO van respectievelijk 1,18% en 3,04%. Bij medium speed motoren in combinatie met MDO gaat TNO uit van een emissiefactor van 1,4 g/kg. TNO baseert zich hierbij op de studie van CE [CE, 1996] waarin is uitgegaan van een minimum waarde voor de emissiefactor van medium speed motoren van 1,4 g/kg. Deze waarde heeft CE gebaseerd op Lloyd's [Lloyd's].

De aangetroffen bandbreedte wordt veroorzaakt door de spreiding in de meetresultaten en in het zwavelgehalte van de brandstoffen. Waarschijnlijk is deze grote bandbreedte voor TNO reden om in deze studie expliciet aan te geven dat het wenselijk is om onderzoek te verrichten naar de emissies van roet en fijn stof van scheepsdieselmotoren en dat de emissiefactoren voor fijn stof slechts een voorlopige indicatie zijn.

### 3.8 EPA, 1998

Een uitgebreide studie is de emissie-inventarisatie van de Amerikaanse EPA [EPA, 1998]. Deze studie heeft betrekking op de zogenoemde 'sea and inland waterways' emissies van de scheepvaart op de Amerikaanse wateren. De emissie-inventarisatie is opgesteld om als anticiperend op de voorgestelde emissienormen voor scheepsmotoren in de Verenigde Staten. De inventarisatie dient als zogenoemde 'baseline' ten opzichte waarvan de effecten van het in gang gesteld Amerikaanse beleid voor emissiereductie zullen worden geïnventariseerd. De inventarisatie omvat alle dieselmotoren van > 37 kW in de beroepsvaart op Amerikaanse binnenwateren en Amerikaanse kustvaart.

De gebruikte emissiefactoren in deze studie hebben als bron Lloyd's Register engineering Services in het Marine Exhaust research programma [Lloyd's]. Deze emissiefactoren zijn overgenomen door de EPA in deze studie.

Tabel 15 De door [EPA, 1998] gebruikte emissiefactoren van PM<sub>10</sub> (g/kg) zijn overgenomen uit [Lloyds]

Slow speed (Lloyds)	7,6 g/kg
Medium speed (Lloyds)	1,2 g/kg

Bij de waarden is geen link gelegd met het zwavelgehalte. Voor de meetmethodes wordt verwezen naar de betreffende studies van Lloyd's.

### 3.9 EPA, 2000

De meer recente EPA studie [EPA, 2000] evalueert verschillende methodes voor het bepalen van de emissiefactoren. Verschillende internationale studies zijn geraadpleegd en geanalyseerd op emissiefactoren in verschillende bedrijfssituaties. Aan de hand van de beschikbare data en meetgegevens hebben de auteurs een emissie-inventarisatie model opgesteld. De data zijn afkomstig uit metingen en hebben betrekking op PM zonder nadere deeltjesgrootte aanduiding. De fractie PM<sub>10</sub> hierin is niet gedefinieerd. Aangenomen wordt dat dit 100% is.

Meetgegevens uit de volgende studies werden in de studie voor EPA geanalyseerd en aan een analyse onderworpen.

- 1 British Columbia Ferry corporation<sup>7</sup>. Testprogramma gemeten bij 'Normal Cruise' and Docking operation. Er zijn metingen uitgevoerd aan in totaal 9 motoren. De emissiefactoren zijn uitgedrukt in g/kg brandstof. De motorengegevens zijn echter niet compleet. 5 medium speed en 3 high speed.
- 2 Environment Canada<sup>8</sup>. Er zijn gegevens van 13 motoren in drie bedrijfsomstandigheden getest. Dit is achtereenvolgens bij low speed cruise, manoeuvreren en high speed cruise. Nadere karakterisering van deze bedrijfstoestanden ontbreekt. De emissiefactoren worden als g/kg gerapporteerd en tonen grote variatie.
- 3 Lloyd's<sup>9</sup>: Een groot aantal metingen bij verschillende motorbelastingen (25%, 50% 75% en 100%) bij in totaal 40 schepen. De metingen van deeltjes hebben echter betrekking op een gering aantal schepen.
- 4 U.S. Coast Guard<sup>10</sup>. Er zijn metingen verricht aan 6 schepen die allen 2 motoren hebben. Metingen worden verricht bij idle, 25%, 50% 75% en 100% motorbelasting.

In totaal werden in de EPA studie de meetgegevens van 20 slow speed motoren en 51 high speed motoren geanalyseerd en verwerkt. De auteurs hebben regressieanalyses toegepast om een goed verband te kunnen vaststellen tussen o.a. motorbelasting en hoogte van de emissiefactor. Uit de beschikbare data is d.m.v. een regressieanalyse de relatie afgeleid tussen de PM-emissiefactor en de motorbelasting. Tevens werd uitgebreid ingegaan op het energiegebruik van verschillende scheepstypen in verschillende bedrijfsomstandigheden.

Uit de regressieanalyses werd het volgende verband afgeleid tussen de motorbelasting en deeltjes uitstoot in g/kWh:

$$PM (g/kWh) = 0,2551 + 0,0059 * (%MCR)^{-1,5}$$

Dit verband is weergegeven in de volgende figuur (Figuur 4). Met behulp van gegevens over brandstofverbruik, motorrendement en CO<sub>2</sub>-uitstoot werd in [EPA, 2000] eveneens de PM-emissiefactor in gram / kg brandstof berekend (zie eveneens Figuur 4). In dit verband is geen onderscheid opgenomen in brandstofsoorten of motortypes, het geen de toepasbaarheid voor specifieke situaties niet groot maakt.

Het door [EPA, 2000] vastgestelde verband in Figuur 4 is anders dan door NEA, 1991 (Figuur 3), maar ligt in dezelfde orde van grootte.

---

<sup>7</sup> Marine Emissions Quantification – BCFC Ferries operating in greater Vancouver Regional District Airshed, Final Report prepared by Lloyd's Register of Shipping for the British Columbia Ferry Corporation, London, United Kingdom, 1997.

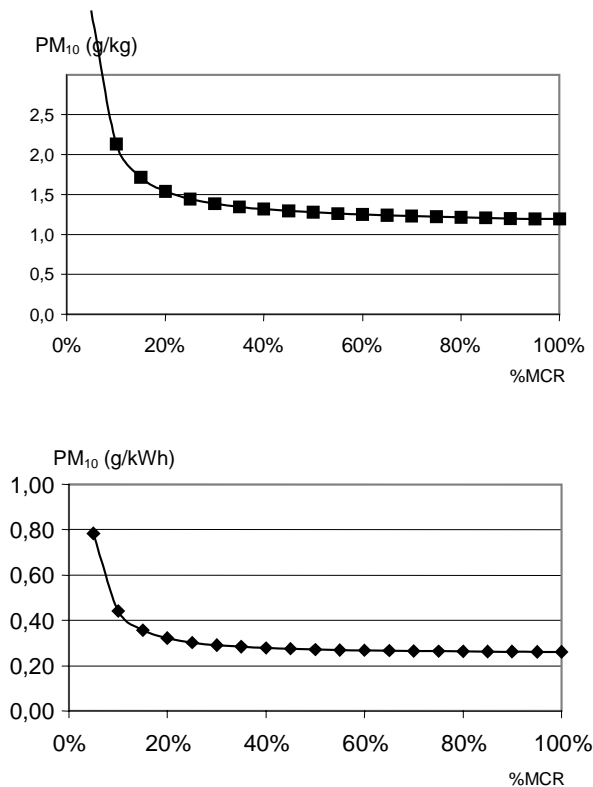
<sup>8</sup> BC Ferries emissions test Program, report for the BC Ferry Corporation, Environment Canada, Ottawa, Ontario, Canada.

<sup>9</sup> Marine Exhaust Emissions Research Programma, Lloyd's Register of Shipping, London.

<sup>10</sup> Shipboard Marine engines Emission Testing for the United States Coast Guard, Final report prepared by Environmental Transportation Consultants for the Volpe National Transportation Systems Center and the United States Coast Guard.



Figuur 4 Emissiefactoren fijn stof als functie van motorbelasting [EPA, 2000]



Volgens de analyses van de EPA is de uitstoot van PM bij hogere motorbelastingen vrijwel constant maar neemt deze toe bij belastingen lager dan ca. 25%. Bij de hogere motorbelasting is de emissiefactor voor dieselmotoren volgens EPA gelijk aan 1,2 – 1,3 g/kg brandstof of 0,26 g/kWh brandstof.

### 3.10 CE, 1996

In deze studie heeft CE in opdracht van het RIVM een methode (ZEMIS) opgesteld voor het berekenen van de emissie van de zeevaart op Nederlands grondgebied in, van en naar de zeehavens. Scheepvaart bewegingen in relatie tot Rotterdam en Antwerpen zijn als uitgangspunt genomen. De emissiefactoren voor fijn stof die in deze studie zijn gebruikt zijn afgeleid uit de studie van Lloyds [Lloyd's]. In deze studies van Lloyds werd een verband weergegeven tussen het zwavelgehalte en de PM<sub>10</sub>-uitstoot. Het verband is eerder weergegeven in Figuur 2. In de studie ZEMIS is er vanuit gegaan dat dit geheel bestond uit deeltjes kleiner dan 10 micrometer (PM<sub>10</sub>). De hoogte van de deeltjes uitstoot wordt volgens [CE, 1996] bepaald door:

- zwavelgehalte ( zie figuur);
- motorbelasting.

In de studie is verder van uitgegaan dat deeltjes uitstoot (g/kg) toeneemt bij deellastbedrijf en transiënt<sup>11</sup> bedrijf. Hierbij werd het volgende verband gehanteerd (zie Tabel 16).

<sup>11</sup> Wisselende of dynamische motorbelasting.

Tabel 16 Relatie emissiefactor PM<sub>10</sub> en motorbedrijf [CE, 1996]

MCR%	'steady state operation'			Transiënt	kade (hotel)
	85%	50%	25%	--	--
Emissiefactor g/kg(index)	100	105	110	120	100

Uit de bovenstaande tabel is 85% MCR gelijk aan de motorbelasting bij kruissnelheid in open water. In de transiënt operaton mode is de deeltjes emissiefactor 20% groter dan bij een constante motorbelasting van ca. 85%. In bovenstaande gegevens is aangenomen dat de emissiefactor voor fijn stof toeneemt bij deellast bedrijf. In deze studie werden de volgende gegevens gebruikt voor de emissiefactor van PM<sub>10</sub>. Deze zijn door [CE, 1996] afgeleid van Lloyd's.

Tabel 17 Emissiefactoren 85% MCR als functie van zwavelgehalte [CE, 1996]

S% m	PM <sub>10</sub> (g/kg)
S < 0,5%	1,4
0,5% < S < 3,5%	1,4 + 0,0769 * %S <sup>4</sup> (zie Figuur 2)
S > 3,5%	13

### 3.11 Overige bronnen

In deze laatste paragraaf worden nog enkele waarden vermeld van deeltjes-emissiefactoren van de scheepvaart die in de literatuur gebruikt worden. Deze zijn afkomstig uit diverse bronnen maar zijn in vele gevallen ontleend aan dezelfde bronnen, met name CBS en TNO.

Tabel 18 Overzicht emissiefactoren PM<sub>10</sub>, diverse bronnen

Bron	Betreft	PM <sub>10</sub> (g/kg brandstof)	Ontleend aan
Waterpakt, 1998	Zeeschepen (varen)	4,7	CBS/TNO/Lloyd's
	Zeeschepen (stilliggen)	4,3	Idem
	Binnenvaart (goederen)	4	Idem
	Binnenvaart (passagiers)	6	Idem
	Highspeed dieselmotoren	3,05	Idem
RIVM, 1997	Binnenvaart goederen	4	CBS
CE, 1997	Binnenvaart	<3	Inschatting op basis van ontwikkelingen
NEI, 1991	Binnenvaart	Ca. 1	Onbekend
UK database <sup>12</sup>	Scheepvaart (Fuel oil)	0,2 (g/kWh) (ca. 1 g/kg)	AP42 <sup>13</sup>
	Scheepvaart (Gas oil)	0,1 (g/kWh) (ca. 0,5 g/kg)	
	Gas turbine	0,185 (g/kWh)	
Immunity, 2000	Binnenvaart	1 g/kg	Onbekend

### 3.12 Totaal overzicht

In deze paragraaf worden de uit de voorgaande paragrafen ontleende emissiefactoren samengevoegd in de volgende tabel.

<sup>12</sup> UK Emission factors database, Department of Environment Transport and the Regions. <http://www.rsk.co.uk/ukefd/efdmain.htm>.

<sup>13</sup> Database emissiefactoren US EPA.



Tabel 19 Overzicht emissiefactoren fijn stof scheepvaart uit diverse bronnen

Bron	Betreft	brandstof	herkomst	PM10 (g/kg)	
TNO-MEP (1996)	Scheepvaart Rijnmond	HFO/MDO	schatting TNO	1,1	
Waterpakt (1998)	Zeeschepen (varen)	HFO/MDO	CBS	4,7	
	Zeeschepen (stilliggen)	HFO/MDO		4,3	
	Binnenvaart (goederen)	gasolie		4	
	Binnenvaart (passagiers)	gasolie		6	
	Highspeed dieselmotoren	gasolie		3,05	
RIVM (1997)	Binnenvaart goederen	gasolie	CBS	4	
CE (1997)	Binnenvaart	gasolie	afgeleid	<3	
NEA (1991)	Binnenvaart	gasolie	metingen aan nieuwe motoren	Ca. 1	
UK database <sup>14</sup>	Scheepvaart (fuel oil)	HFO	onbekend	Ca. 1	
	Scheepvaart (gas oil)	gasolie		Ca. 0,5	
Immunity (2000)	Binnenvaart	gasolie	onbekend	1,0	
CE (1996)	Slow speed and medium speed diesel gebaseerd op Lloyd's	HFO/MDO	afgeleid uit literatuur	S < 0,5%	1,4
				0,5% < S < 3,5%	1,4 + 0,0769 * %S <sup>4</sup>
				S > 3,5%	13
EPA (2000)	Scheepvaart	onbekend	metingen van derden	1,2 – 1,3	
EPA (1998)	Slow speed	onbekend	Lloyds	7,6	
	Medium speed	onbekend		1,2	
TNO (2000)	Slow speed HFO	HFO	afgeleid uit literatuur	7,6	
	Slow speed MDO	MDO		7,6	
	Medium speed HFO	HFO		4,5	
	Medium speed MDO	MDO		1,4	
	Stoom turbine HFO	HFO		2,5	
	Stoom turbine MDO	MDO		2,1	
	Gasturbine MDO	MDO		1,1	
Techne, 1998	BFO engine steam turbine	HFO	literatuur	Cruising	2,5
	MDO engine steam turbine	MDO		Cruising	2,08
	Diesel engine (high speed)	gasolie		Cruising	1,5
	Diesel engine (medium speed)	gasolie		Cruising	1,2
	Diesel engine (slow speed)	gasolie		Cruising	1,2
	Gas turbines	gasolie		Cruising	1,1
RIVM (1996)	Zeevaart	HFO/MDO	afgeleid uit literatuur	Voorstel aanpassing t.o.v. CBS	3
	Binnenvaart goederen	gasolie		2	
	Binnenvaart personen	gasolie		3	
Marintek (1989)	Dieselschepen gemiddeld	HFO/MDO	Noorse metingen eind jaren 80		2,5
	High speed			1,5 ± 0,5	
	Medium speed			1,2 ± 0,8	
	Slow speed			3,5 ± 1,5	
	Stoomgeneratoren			3,9	
CBS	Binnenvaart, vrachtvervoer	gasolie	afgeleid uit literatuur en metingen van derden		4,0
	Binnenvaart, personenvervoer	gasolie		6,0	
	Recreatie (1980 – 1998)	onbekend		2,2 – 2,4	
	Binnenvaart, visserij	gasolie		4,0	
	Binnenvaart	gasolie		4,0	
	Zeevaart	HFO/MDO		4,6	
Lloyd's, 1995	Diesel engine, HFO	HFO	metingen		7,6
	Diesel engine, MDO	MDO		1,2	

<sup>14</sup> UK Emission factors database, Department of Environment Transport and the Regions. <http://www.rsk.co.uk/ukefd/efdmain.htm>.





## 4 Conclusies en aanbevelingen

### Het percentage PM<sub>10</sub> in de deeltjes emissies

Naar aanleiding van onderzoek en de discussie over het percentage (massa%) PM<sub>10</sub> in de deeltjesuitstoot van dieselmotoren door RIVM [RIVM, 1996] en de Emissieregistratie [Draaijers et al., 1997], wordt er in de Emissieregistratie nu van uitgegaan dat het percentage PM<sub>10</sub> in de deeltjesemissies van dieselmotoren 100% bedraagt. Aanbevolen wordt om aan te sluiten bij deze aanname.

### Algemene bevindingen

Er wordt een grote bandbreedte aangetroffen in gebruikte de PM<sub>10</sub>-emissiefactoren voor de scheepvaart. De in de literatuur gebruikte gemiddelde factoren variëren van ca. 1 tot 7,6 g/kg brandstof, terwijl de bandbreedte van in de literatuur vermelde cijfers nog groter is.

Deze grote variatie is te wijten aan:

- mogelijke verschillen in meetomstandigheden en meetmethode. Deze zijn niet gestandaardiseerd en in de literatuur doorgaans niet vermeld;
- verschil in motorbelasting bij metingen (dynamisch of steady state);
- verschillen in conditie van de motoren;
- verschil in type motoren en brandstoffen. Deze zijn niet in alle bronnen eenduidig weergegeven.

Het bepalen van één vlootgemiddelde (binnenvaart + zeevaart) emissiefactor voor PM<sub>10</sub> is niet aan te bevelen. Er dient wegens verschil in brandstof en in motoren minimaal onderscheid gemaakt te worden in zee- en binnenvaartactiviteiten.

Zeeschepen maken gebruik van zwaardere, minder geraffineerde brandstofkwaliteiten met een hoger zwavelgehalte. Het gemiddelde zwavelgehalte in de zeevaart bedraagt maximaal 4,5%. In de binnenvaart is het zwavelgehalte in de brandstof aanzienlijk lager ( $\leq 0,2\%$ , gasolie).

Verder worden de volgende belangrijke aspecten opgesomd:

- veel (internationale bronnen) studies maken gebruik van de meetresultaten van Lloyd's of baseren zich daarop. Deze worden algemeen beschouwd en erkend als de meest uitgebreide en betrouwbare emissie serie metingen aan zeeschepen die momenteel beschikbaar zijn. Dit zijn echter steady state metingen!;
- deeltjesemissies nemen toe bij hogere zwavelgehalten in de brandstof;
- emissiefactoren van fijn stof zijn met relatief grote onzekerheid omgeven. Dit wordt onderschreven in [TNO, 2000] en in [Berdowski en Vischedijk, 2000] en nader onderzoek bijv. d.m.v. metingen wordt aanbevolen.

De in Nederland gangbare en meest gebruikte emissiefactoren voor fijn stof in de scheepvaart staan vermeld in de onderstaande tabel. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen emissiefactoren voor de zeescheepvaart en de binnenvaart. Uitgegaan dient te worden van een 100% PM<sub>10</sub>-massa-aandeel in de totale PM-uitstoot door scheepsdiesels.

Tabel 20 Uitgangspunten emissiefactoren in de emissie-inventarisatie zijn gebaseerd op de volgende CBS-emissiefactoren [bron: CBS]

	PM <sub>10</sub> (g/kg brandstof)
Binnenvaart, vrachtvervoer	4,0
Binnenvaart, personenvervoer (pontveren e.a.)	6,0
Recreatievaart	2,4
Binnenvaart, visserij	4,0
Binnenvaart	4,0
Zeevaart	
– gemiddeld	4,6
– stilliggen	4,3
– varen	4,7

### Aanbevelingen te gebruiken PM<sub>10</sub>-emissiefactoren

Uit redenen van geografische continuïteit en uniformiteit verdient het aanbeveling om in regionale en lokale emissie-inventarisaties zo veel mogelijk aan te sluiten bij nationaal gebuikte emissiefactoren (zie bovenstaande tabel en ook p. 19) zoals die in de nationale Nederlandse emissieregistratie en de nationale statistieken worden gebruikt. Echter voor de binnenvaart (vrachtvervoer) verdient het aanbeveling hiervan af te wijken omdat een waarde van 4 g/kg mogelijk te hoog is.

#### *Binnenvaart; 3 g/kg brandstof*

Op basis van de aangetroffen waarden in de literatuur en ook n.a.v. de aanbevelingen van RIVM [RIVM, 1996, p. zie p. 20] is de verwachting dat een gemiddelde waarde van 4 g/kg te hoog is en naar beneden zou moeten worden bijgesteld. Aanbevolen wordt om 3 g/kg als gemiddelde PM<sub>10</sub>-emissiefactor te gebruiken voor de binnenvaart (goederenvervoer). Verwacht wordt dat er rond deze vlootgemiddelde emissiefactor echter een grote spreiding zal worden aangetroffen. Er zijn geen bronnen aangetroffen die emissiefactoren voor fijn stof van de binnenvaart op basis van recente metingen rapporteren. De hoogte van de vlootgemiddelde emissiefactoren voor fijn stof in de binnenvaart in Tabel 20 blijft daarom met grote onzekerheid omgeven.

Een emissiefactor van 3 g/kg is lager dan de in Nederland gangbare en meest gebruikte gemiddelde waarde voor binnenvaart van 4 g/kg brandstof. Nieuwe motoren zullen ingevolge van emissieregelgeving in de binnenvaart (zie paragraaf 2.7) een lagere deeltjesuitstoot hebben dan deze 4 g/kg. Emissiefactoren tussen 2 en 3 g/kg worden hier verwacht. Voor oudere motoren is de conditie en de onderhoudstoestand zeer bepalend voor de hoogte van de deeltjesemissies. De mogelijkheid bestaat dat deze uitschietters naar boven invloed hebben op de vlootgemiddelde emissiefactor. Daarom worden in de literatuur aangetroffen lage waarden van ca. 1,5 g/kg brandstof niet representatief geacht als gemiddelde voor de gehele vloot, hoewel deze voor individuele motoren mogelijk wel haalbaar zijn.

Onbekend is echter wat de spreiding is van de waarden van de emissiefactoren in de binnenvaartvloot en in welke mate deze het vlootgemiddelde beïnvloeden<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> De invloed op de vlootgemiddelde emissiefactor wordt behalve door de hoogte van de emissiefactor van een schip, ook bepaald door het aantal draaiuren van dat schip in vergelijking met andere schepen. De bijdrage aan het gemiddelde wordt officieel afgewogen naar het aandeel in de door de gehele vloot verstoekte hoeveelheid brandstof.

#### *Zeevaart: 4,6 g/kg brandstof*

Aanbevolen wordt om bij zeeschepen uit te gaan van de emissiefactoren zoals die worden gebruikt door CBS en in de nationale emissieregistratie (Tabel 20). De gemiddelde emissiefactor voor de zeevaart bedraagt volgens deze gegevens 4,6 g/kg brandstof. Dit past in de bandbreedte van de in de literatuur aangetroffen waarden. Indien meer gedifferentieerde emissiefactoren voor de zeevaart gewenst zijn wordt aanbevolen om gebruik te maken van de emissiefactoren zoals in [TNO, 2000] werden gerapporteerd. Die emissiefactoren zijn o.a. gebaseerd op de metingen van Lloyd's en maken onderscheid naar brandstofsoort (MDO en HFO) en motortype (slow speed en medium speed)(zie Tabel 14, p.22).

#### *Metingen*

Wegens een gebrek aan recente meetgegevens wordt aanbevolen metingen uit te voeren om meer inzicht te krijgen in de hoogte van de PM<sub>10</sub>-emissiefactoren in de binnenvaartvloot en de mate van spreiding in de hoogte van deze emissiefactoren. Hierbij is het tevens van belang inzicht te krijgen in de mate waarin de binnen de vloot gemeten emissiefactoren invloed hebben op de vlootgemiddelde emissiefactor. Bij het uitvoeren van de metingen dienen het werkelijke gebruik en de werkelijke gebruiksomstandigheden van het schip en de motor zo goed als mogelijk te worden benaderd.



## Bronnen

Berdowski en Visschedijk (2000)

European PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> Emission Inventory of anthropogenic Sources. Jan J.M. Berdowski en Antoon J.H. Visschedijk, TNO-MEP. In : EMEP/CCC Report 9 / 2000: EMEP-WMO Workshop on fine particles – emissions, modelling and measurements, Interlaken, 22-25 november 1999

CBS (1998)

Emissies van Mobiele Bronnen (EMMOB), data-bestand, Voorburg: Centraal Bureau van de Statistiek

CBS (1999)

Energieverbruik door binnenschepen, 1994-1998  
Maandstatistiek verkeer, oktober 1999, CBS, Voorburg / Heerlen 1999

CBS (2000)

Kwartaal bericht Milieustatistieken 2000-I, Heerlen / Voorburg, 2000

CBS (2000b)

John Klein, CBS  
Mondelinge mededeling, 15 november 2000

CCR (2000)

Voorstellen voor de eisen die gesteld zullen worden aan de uitlaat- en deeltjes emissies van dieselmotoren in de binnenvaart Verslag van de CCR Workshop 2000, 29 maart 2000, Straatsburg

CE (1997)

Schoon Schip in de Nederlandse binnenvaart  
Dings e.a. CE, Delft 1997

CE (1999)

Demonstratieprojecten in de binnenvaart, voorstudie en marktverkenning  
W.J. Dijkstra (CE) en F. Bekkers (SAB), CE, Delft november 1999

Concawe (1998)

A study of the number, size and mass of exhaust particles emitted from european diesel and gasoline vehicles under steady state and european driving style conditions Report no. 98/51, Concawe, Brussel februari 1998

Draaijers et al. (1997)

Emissies in Nederland, trends thema's en doelgroepen 1995 en ramingen 1996. Publicatiereeks emissieregistratie nr 38, VROM, augustus 1997

EMEP (2000a)

Status report with respect to Measurements, modelling and emissions of particulate matter in EMEP: An integrated approach, EMEP Report 5/2000 (beschikbaar op website: <http://projects.dnmi.no/~emep/>)

EMEP (2000b)

EMEP-WMO Workshop on fine particles-emissions, modelling and measurements, Interlaken, Zwitserland, 22-25 november, 1999. EMEP/CCC report 9/2000 (beschikbaar op website: <http://projects.dnmi.no/~emep/>)

Edwards (2000)

Lynne Edwards, Plans of the European Commission regarding particulate matter; in EMEP/CCC-Report 9/2000, EMEP-WMO Workshop on fine particles – emissions, modelling and measurements, Interlaken, 22-25 november 1999

EPA (1998)

Commercial Marine Emissions Inventory for EPA Category 2 and 3 Compression Ignition Marine Engines in the United States Continental and Inland Waterways, United States Environmental Protection Agency, Engine Programs and Compliance Division, Office of Mobile Sources, Augustus, 1998

EPA (2000)

Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel consumption data. United States Environmental Protection Agency Office of transportation and Air Quality. februari 2000

Immunity (2000)

Environmental and economic Impacts. Workpackage IV, European Commission DG VII, Transport RTD Programma, 4th Framework, Waterborne Transport Section, Immunity Report WP 4, 10 februari 2000

Lloyd's (1990 - 1995)

Marine Exhaust Emissions Research Programme, Lloyd's Register of Shipping, London

- Steady state operation: Slow speed addendum (1990)
- Phase II Air Quality Impact Evaluation (1993)
- Phase II Transient emission Trials (1993)
- Marine Exhaust Emissions Research Programma (1995)

Marintek (1989)

Exhaust emissions from ships, Submitted by Norway. Marine Environment Protection Committee – 29th session, 19 december 1989

NEA (1991)

Emissies door het goederenvervoer op de binnenwateren  
Rijswijk, oktober 1991

RIVM (1996)

Deeltjesemissies door het wegverkeer. Emissiefactoren, deeltjesgrootte verdeling en chemische samenstelling. R.M.M. van den Brink. Bilthoven, RIVM, oktober 1996

RIVM (1997)

Energiegebruik en emissies per vervoerwijze, R.M.M. van den Brink en G.P. van Wee, RIVM, Bilthoven, mei 1997

RIVM (2000)

Robert van den Brink, RIVM  
Mondelinge Mededeling 16 november 2000

T&E (1996)

Air pollution from sea vessels, the need and potential for reduction. S. Oftedal et al., T&E, Brussels, oktober 1996

Techne (1998a)

Methodologies for estimating air pollutant emissions from Ships. Carlo Trozzi en Rita Vaccaro. MEET Project-contract No ST-96-SC.204 Task 3.3. Ship Emissions factors and traffic parameters. Project funded by the European Commission under the transport RTD programme of the 4th framework programme. Techne, Roma 1998

Techne (1998b)

Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships. In: Proceedings 22nd CIMAC International Congress on Combustion Engines Volume 3. Copenhagen 18-21 mei, 1998

TNO-MEP (1996)

Luchtverontreiniging door de scheepvaart in het Rijnmondgebied: broninventarisatie. A.E. Klein en M.P.J. Pulles, TNO, Delft juli 1996

TNO-MEP (2000)

Emissiefactoren zeeschepen. J.H.J. Hulskotte, W.R.R. Koch. TNO-MEP rapportnr. R 2000/221, Apeldoorn, juni 2000

Waterpakt (1998)

Emissies uit scheepsmotoren, een verkennende studie van verontreiniging uit motoren in de zeescheepvaart, beroepsvaart en recreatievaart. Uitgevoerd in opdracht van Stowa, Utrecht, 1998





## Gebruikte termen en afkortingen

CCR	Centrale Commissie voor de Rijnvaart
EMEP	Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long range transmission of air pollutants in Europe ( <a href="http://www.emep.int">http://www.emep.int</a> )
EPA	Environmental Protection Agency (VS)
gasolie	Dieselolie voor de binnenvaart
HFO	Heavy Fuel Oil, zware stookolie
High Speed motoren	Sneldraaiende motoren met een toerental > 1000 rpm (vnl. binnenvaart)
IMO	International Maritime Organization van de Verenigde Naties
kWh	kiloWattuur (3,6 MJ)
MCR	Maximum Continuous Rating: Maximaal motorvermogen, veelal uitgedrukt als percentage van het maximale vermogen: %MCR), ook wel percentage van het maximale koppel bij een bepaald toerental.
Medium Speed motoren	Motoren met een toeren tal van ca. 400 tot 1000 rpm (voornamelijk zeevaart)
micrometer	1-miljoenste meter
MDO	Marine Diesel Oil. Brandstof gebruikt in de zeescheepvaart
$\eta$	Motorrendement (de geleverde energie aan de krukas van de motor gedeeld door energie-inhoud van de brandstof)
NO <sub>x</sub>	Stikstofoxiden
PM	Particulate Matter; verzamelen naam voor deeltjes en aërosolen.
PM <sub>10</sub>	deeltjes en aërosolen met een diameter kleiner dan 10 micrometer
rpm	toerental; omwentelingen per minuut
Slow speed motoren	Motoren met een laagtoerental (zeevaart) met een toerental van ca. 50 tot 4000 rpm
S	Zwavel
SO <sub>2</sub>	Zwavedioxide
SO <sub>x</sub>	Verzamelnaam voor zwaveloxiden
steady state	situatie met constante (niet-dynamische) motorbelasting
transient	met wisselende ofwel dynamische motorbelasting