

RIVM rapport 773002019/2002

**Scheepvaart en Milieu**  
Mogelijkheden voor emissiesreductie

S.C. Kasifa

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het ministerie van VROM, Directoraat-Generaal Milieubeheer, directie Lokale Milieukwaliteit en Verkeer, en is uitgebracht door het RIVM in het kader van project 773002, Verkeer en vervoer.



## Abstract

### Introduction

At present, shipping is considered a relatively environmental-friendly modality, but the contribution of shipping emissions to total emissions from traffic and transport is already high. This contribution is expected to increase in the future if policy remains unchanged. In 1995 the proportion of ocean and inland shipping was approximately 50% of the total SO<sub>2</sub> emission from traffic and transport in the Netherlands. For NO<sub>x</sub> this was approximately 15%. These shares are expected to increase to 77% and 38% by 2010 for SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>, respectively.

The study reported on here was set up with the object of determining: what technological and policy measures could reduce emissions to the air on Dutch territory from ocean and inland shipping up to 2020?

The main emphasis was placed on the emissions to the air in Dutch territory. The report also examines the emissions from ocean shipping on the Dutch Continental Shelf (emissions offshore).

### Shipping emissions

Vessels emit three types of substances: greenhouse gases, acidifying gases and other substances.

- Greenhouse gases are responsible for the reinforcement of the greenhouse effect resulting in climate change. Climate change has many negative ecological, social and economic consequences. The greenhouse gas, CO<sub>2</sub>, contributes the largest share to shipping emissions.
- Acidifying substances play a role in local and regional environmental problems, like acidification and eutrophication. The most important acidifying substances in shipping emissions are NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub>.
- Other substances emitted include soot particles (PAHs and heavy metals) and particles from chemical reactions in the atmosphere (ozone and particulate matter). These particles may cause toxic, carcinogenic and other damage to humans and nature on local and regional levels.

The shipping emissions, soot, ozone and particulate matter, have less impact on human and animal health than emissions on land because the emissions occur at sea. But because some substances remain for a long time in the atmosphere, shipping emissions might reach the land and so have an impact on the environmental stress on land.

### Determinants for environmental stress

The most important determinants for emissions from ocean shipping and inland shipping are fuels used, techniques used, development of volume and spatial aspects.

- Fuel. Vessels use two kinds of fuel: heavy fuel oil (HFO) and marine diesel oil (MDO). HFO is a residual oil product containing high concentrations of impurities like sulphur and (heavy) metals. This means that emitted combustion gases will contain correspondingly high concentrations of pollutants. MDO has an unambiguously composition, contains fewer pollutants and thus emits fewer polluting substances.
- Techniques. Most ocean vessels (approximately 66%) in the North Sea have slow-speed diesel engines (SP engines), while 32% of the vessels are driven by medium-speed diesel engines (MS engines). SP engines have a higher energy efficiency than MS engines - 50% and 47%, respectively. A very small number of the ocean-going vessels use other engine types. Most inland navigation vessels are equipped with high-speed diesel engines (HS engines). Although inland vessels can use MS engines, this is uncommon for economic reasons.
- Development of volume. The most relevant factors for the environmental stress from shipping are size and composition of the fleet.
- Spatial aspects. Lane-bounded shipping traffic concentrates on the eastern, western and south-western directions of the Dutch Continental Shelf (Dutch abbreviation: NCP). The

coastal area is sailed most actively by non-lane-bounded shipping traffic. Inland navigation vessels sail mostly on large waterways, where large quantities of pollutants are typically concentrated.

Pollutants from ocean shipping and inland shipping showed a slight increase in the past. Unless there is a change in policy, all shipping emissions are expected to increase in the 2000-2030 period. This corresponds to the expected increase in energy consumption in both sectors. Energy consumption is expected to increase more for ocean shipping than for inland shipping. The Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) does not assign the emissions from international shipping to the different countries. There is no relationship between the location of the bunker fuel sale and the location of the emissions. Depending on the allocation method used, the Netherlands is responsible for a maximum of 20% of the global CO<sub>2</sub> emissions caused by international shipping in 1990. This corresponds to approximately 33 million tonnes of CO<sub>2</sub>.

## Possibilities for reducing emissions

Emissions of air pollutants may be reduced in a number of ways:

- **Current fuels.** The quantity of the SO<sub>2</sub> emission is dependent on the composition of the fuel (sulphur content). Cleaner fuels, which are already on the fuel market, can be used. These include marine diesel oil, natural gas and low-sulphur fuels.
- **Alternative fuels.** The use of alternative fuels such as biofuels, dimethyl ether, synthetic diesel ('gas-to-liquid') and PuriNO<sub>x</sub> can result in a reduction in various emissions. Most of these fuels are currently not applicable to commercial use, often due to economic or technical reasons.
- **Energy-saving and emission-reducing measures.** Various emissions can be reduced by cutting down the fuel consumption via technical measures to increase energy efficiency. Technical measures aimed at reducing specific emissions can also be taken.
- **Adjustments to engines and combustion processes.** NO<sub>x</sub> emissions, which are determined by engine design and the combustion process itself, can be reduced by changing input factors to the engine, such as air temperature, air pressure and length of stay in the engine. Specific engine adjustments can also reduce the formation of NO<sub>x</sub>.
- **'End-of-pipe' techniques.** The combustion gases go through a follow-up treatment. These measures can reduce emissions like NO<sub>x</sub>, particulate matter and SO<sub>2</sub>. So far, the SCR system is the only technique known to obtain very low emissions of NO<sub>x</sub> (2 g/kWh).
- **Alternative engines.** In the future it will be possible to provide ships with alternative engines, such as fuel cells, dual engines and gas engines instead of conventional diesel engines. This may result in very low emissions.
- **Technological-logistic measures.** Examples are increasing the utilisation of the cargo-carrying capacity (load factor) and choosing the right speed and engine power. In the future new alternative propulsion systems will be able to increase the energy efficiency of such vessels as the Whale Tail Wheel.

It will not always be possible to apply alternative fuels or technical measures in existing vessels. Often many technical adjustments will be required. Furthermore, a lot of measures are still in an experimental stage, making implementation in the short term impossible. Because of the long technical life span of ocean and inland shipping vessels, it will take a long time to observe the effects of the implementation of measures. Other barriers to implementation are of a social, legal, economic, logistic and technological nature, and will have to be overcome before measures can be implemented.

## Economic aspects

Not only measures relating to fuels and techniques are important for shipowners, but also the financial consequences of these measures. To assess the measures from an economic point of view, the costs and/or the cost-effectiveness of the different measures must be determined wherever possible. The most important economic aspects will be dealt with below.

- Contrary to road transportation, owners of ocean-going vessels and inland vessels do not pay

any taxes or charges on their fuels. The bulk price of fuels for vessels is already low, and in the absence of taxes prices are even lower compared with fuels for road traffic.

- Use of more environmental-friendly alternative fuels, such as low-sulphur fuels, biofuels and GTL fuels involves high costs compared with current conventional diesel fuels. Only the costs for the use of PuriNO<sub>x</sub> are slightly higher than the fuels currently used for vessels.
- Most new techniques like the SCR system, the HAM technique, an electronic fuel/air regulator and the replacement of an HS engine with an MS engine require high investments, possibly amounting to several (tens of) thousands of Euros.
- New alternative engines such as the fuel cell and the combined gas turbine/steam turbine are not expected to be profitable for commercial use in the short term. Other measures often also require high investments.

## Shipping policy

There are three stands a country can take in pursuing a shipping policy: as a coastal state, as a flag state or as a port state. The choice determines the jurisdiction of a country. A distinction can be made between international, European and national policy.

## International policy

The most important organisation for ocean shipping is the International Maritime Organization (IMO). Annex VI of the Marpol convention (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) contains regulations to restrict air pollution from ocean vessels. This convention includes the following rules:

- an NO<sub>x</sub> standard (depending on the number of revolutions) for all new engines that are installed on ships on or after 1 January 2000. This standard will be retroactive from this date. When Annex VI is ratified, all engines installed after 1 January will have to meet this standard. That is why the engines nowadays are already built according to this NO<sub>x</sub> emission standard.
- a maximum sulphur level of 4.5% m in marine fuels. This percentage is very high, offering the possibility of increasing the sulphur content of fuels.
- the possibility of establishing SO<sub>x</sub> emission control areas, where the maximum emission of SO<sub>2</sub> is 6 g/kWh. This corresponds to the consumption of fuel with a maximum sulphur content of 1.5% m. An amendment establishing the North Sea as an SO<sub>x</sub> emission control area has already been passed.
- setting up an emission registration system.

At the moment various countries register their own emissions. If a comparison is to be made between the emissions in the different countries, the registration of emissions will have to meet certain conditions, as below:

- data availability to distinguish national and international use of bunker fuels.
- consistent use of the definitions 'national fuel consumption' and 'international fuel consumption'.
- consistent use of methods to determine emissions from ocean vessels.

These conditions are important for:

- the assignment of emissions from international ocean shipping to different countries. According to the Kyoto Protocol emissions from international shipping are left aside when emissions are allocated. In the future these emissions may also be allocated, but because of the instability of the Kyoto Protocol at the moment, it isn't clear what the development of this allocation will be in the future.
- shipping emission trading. Emission trade can facilitate the implementation of technical measures.
- formulating shipping emission standards for CO<sub>2</sub>. This is also a policy instrument to reduce CO<sub>2</sub> emissions.

Annex VI is not internationally operative (yet) and consequently is also not yet taken up in Dutch legislation. The conditions for international ratification are:

- ratification of Annex VI by more than 15 countries;
- countries representing more than 50% of the total global trading tonnage.

Ratification is not predicted to occur in the short term. For this reason, the European Union, or even more countries should take additional measures to reduce emissions from shipping. Last spring Japan submitted ten proposals on the subject 'prevention of marine pollution'. These proposals are very progressive. The intention is to reach an agreement on a so-called Joint Action Plan based on these ten proposals with all participating countries during the Ministerial Conference on Transport and Environment in January 2002. Japan's intends to accelerate the introduction of environmental policy and take additional environmental action to that taken by international environmental organisations of the United Nations (e.g. IMO and CCR).

## European policy

To date there is no clear European policy for reducing shipping emissions from ocean shipping vessels, unlike emissions from inland shipping. An important organisation for inland shipping is the Central Commission for Rhine navigation (CCR) in Strasbourg. The CCR has proposed to introduce, step by step, more stringent standards for inland navigation vessels:

- in mid 2000, the CCR reaches a first-phase standard for new engines installed in inland navigation vessels from 1 January 2002.
- in early 2001, the CCR reaches an understanding with the engine-building industry about a new second-phase NO<sub>x</sub> emission standard, which will be implemented in 2005.
- Probably in 2008, the standard will be introduced at 2.5 g/k, although the data on the third phase standard are not definitive.
- further refining of the standards is possible, although data are not yet available.

The sulphur content of marine diesel oil from inland shipping is approximately 2000 ppm (0.2% m). The standard for diesel used for road traffic will be 50 ppm in 2005. So the sulphur level for inland shipping exceeds the level for road traffic by a factor of 40. For heavy fuel oil and marine diesel oil for ocean shipping the sulphur content will exceed the sulphur content for road traffic by a factor of 1000. All this shows that there is a big difference between regulations for road traffic and shipping. European and possibly international regulation is needed to reduce the SO<sub>2</sub> emission from shipping. A Dutch regulation already exists to decrease the sulphur emitted from marine diesel oil to 1000 ppm in 2008.

## National policy

During the past years the idea behind outlining a policy on the subject of choosing transportation has moved from stimulating 'modal shift' from road to rail and inland shipping, to stimulating the most environmental-friendly modality. There are a couple of possibilities for the Dutch government to set out a policy to reduce shipping emissions:

- providing shipowners with financial stimuli to apply measures to reduce emissions (including early replacement of engines),
- providing financial stimuli to do research on possibilities for reducing emissions,
- levying taxes on certain fuels,
- differentiation of port dues on the basis of environmental stress,
- allocating environmental costs to shipper and consumer,
- setting up an emission registration system.

In addition to imposed policy measures, the shipping industry itself is also showing initiative in reducing the emissions to the air. The motives for a shipowner to apply reduction measures are strengthening one's competitive position and image-building.

Research has shown that charges on fuels, an incentives policy and emission standards for inland

shipping can lead to reductions in CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions. The lowering of the sulphur content in shipping fuels by means of regulation can result in a reduction in the SO<sub>2</sub> emissions. With the implementation of technical measures in the global marine fleet, theoretical energy savings of 15 to 20% in 2010 and of 25 to 30% in 2020 can be achieved when compared to a base scenario without implementation of measures. The introduction of these standards for ocean-going vessels is expected to have no environmental impact since the vessels already meet these standards. The CCR standard will lead to a reduction in emissions from inland navigation vessels.

## **Final considerations**

The above-mentioned information leads to the conclusion that by using technical measures which can be implemented by means of policy measures, several possibilities arise for reducing emissions from ocean and inland shipping. International standards for ocean vessels on the same level as those for road traffic will not be set down in the short term. For this reason it is necessary to take action on a national/international level. Japan has already suggested this in the form of the ten proposals for the Ministerial Conference in 2002. For example, the Netherlands can show initiative by taking additional measures for European waters and on the quality of the fuel used in European waters, along with other North Sea countries or even in a European context.

With the current techniques it is possible to obtain high reductions of shipping emissions. Furthermore, there aren't any arguments, other than financial, to not apply technical measures. The international character of the shipping sector makes it necessary to apply regulations, price policy and other policy instruments in international co-operation. This prevents shipowners avoiding these policy instruments by sailing under a flag of convenience.

## Voorwoord

Dit rapport is het eindresultaat van mijn afstudeerstage bij het Directoraat-generaal Milieubeheer (DGM) van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer in Den Haag in samenwerking met het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Ik was bij DGM werkzaam bij de afdeling Mobiliteit en Verkeer van de directie Lokale Milieukwaliteit en Verkeer. Deze stage maakte deel uit van het afstudeertraject van de opleiding Natuurwetenschappen en Bedrijf & Bestuur aan de Universiteit Utrecht.

Het onderzoek dat in dit rapport wordt beschreven bestond voornamelijk uit het vinden en toepassen van bruikbare gegevens en het zetten van deze gegevens in de juiste context. Het was niet de bedoeling om nieuw onderzoek uit te voeren op verschillende gebieden, maar om een rapport te produceren waarin een 'state-of-the-art' overzicht wordt gegeven van verschillende aspecten met betrekking tot emissies naar de lucht door de scheepvaartsector. Ik heb hiervoor diverse bronnen geraadpleegd en een aantal interviews afgenomen. Daarnaast heb ik informatie gehaald van Internet. Het overzicht dat in dit rapport gemaakt is, is gebaseerd op gevonden literatuur. Het is mogelijk dat niet alle relevante gegevens boven water zijn gekomen. Daarnaast is het inzicht in de betrouwbaarheid van gegevens niet altijd aanwezig. Voordat concrete beleidsmaatregelen uitgevoerd worden, zal eerst nog aanvullend onderzoek gedaan moeten worden.

Mijn dank gaat in de eerste plaats uit naar Diederik de Jong van het Ministerie van VROM en Bert van Wee van de Universiteit Utrecht/Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, die conceptteksten van dit rapport hebben voorzien van nuttige commentaren en suggesties. Daarnaast wil ik ook Henk Brouwer van DGM danken voor het leveren van feedback op dit rapport.

Ook wil ik van de gelegenheid gebruik maken om de medewerkers van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Goederenvervoer, afdeling Zeescheepvaart en afdeling Verkeersmanagement te bedanken voor hun medewerking.

Het was voor mij een hele leerzame ervaring om gedurende een periode van 24 weken het reilen en zeilen binnen het Ministerie van VROM van dichtbij mee te maken. De gesprekken en discussies tijdens het wekelijks MOVE-afdelingsoverleg waren zeer informatief en hebben mijn kijk op sommige zaken genuanceerd.

Het rapport is uitgebracht bij het RIVM. Daarbij dient te worden aangetekend dat het een inventarisatie van informatiebronnen betreft, zonder dat een validatie op die bronnen heeft plaatsgevonden. Dit is vooral van belang omdat de wetenschappelijke kwaliteit van sommige bronnen niet bekend is.

Sandy Kasifa  
Den Haag, augustus 2001

Sandy Kasifa  
E-mail: sckasifa@hotmail.com



**Inhoud**

<b>Samenvatting</b>	<b>13</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>29</b>
1.1 <i>Scheepvaart en milieu</i>	29
1.2 <i>Achtergrond</i>	29
1.3 <i>Probleemstelling</i>	30
1.4 <i>Afbakening</i>	31
1.5 <i>Beginselen in het Nederlandse milieubeleid</i>	31
1.6 <i>Leeswijzer</i>	31
<b>2 Methodologie</b>	<b>33</b>
2.1 <i>Inleiding</i>	33
2.2 <i>Doorgelopen traject</i>	33
<b>3 Typen emissies en hun milieu-effecten</b>	<b>35</b>
3.1 <i>Inleiding</i>	35
3.2 <i>Broeikasgassen</i>	35
3.2.1 <i>CO<sub>2</sub></i>	35
3.2.2 <i>Gehalogoneerde koolwaterstoffen</i>	36
3.2.3 <i>VOS-emissies</i>	36
3.3 <i>Verzurende stoffen</i>	36
3.3.1 <i>NO<sub>x</sub></i>	37
3.3.2 <i>SO<sub>2</sub></i>	37
3.4 <i>Overige emissies</i>	37
3.4.1 <i>PAK's</i>	38
3.4.2 <i>Metalen</i>	38
3.4.3 <i>Ozon (O<sub>3</sub>)</i>	38
3.4.4 <i>Fijn stof (PM<sub>10</sub>)</i>	38
3.5 <i>Deelconclusie</i>	39
<b>4 Factoren die de milieubelasting van de scheepvaart bepalen</b>	<b>41</b>
4.1 <i>Inleiding</i>	41
4.2 <i>Conceptueel model voor emissies door de scheepvaart-sector</i>	41
4.2.1 <i>Bepalende factoren</i>	41
4.2.2 <i>Causale relaties</i>	41
4.2.3 <i>Afbakening van conceptueel model</i>	44
4.3 <i>Gebruikte brandstoffen</i>	44
4.3.1 <i>Typen brandstof en bijbehorende kwaliteit</i>	44
4.3.2 <i>Herkomst</i>	46
4.3.3 <i>Belangen van derden</i>	46
4.4 <i>Gebruikte technieken</i>	47
4.4.1 <i>Technieken in de zeescheepvaart</i>	47
4.4.2 <i>Technieken in de binnenvaart</i>	49
4.5 <i>Volume-aspect</i>	49
4.5.1 <i>Type lading</i>	49
4.5.2 <i>Omvang en samenstelling scheepsvloot</i>	50
4.5.3 <i>Af te leggen afstanden</i>	53
4.5.4 <i>Overslag</i>	53
4.6 <i>Ruimtelijke aspect</i>	53
4.6.1 <i>Routes over het NCP</i>	53
4.6.2 <i>Binnenwateren</i>	54
4.7 <i>Deelconclusie</i>	55

<b>5</b>	<b>Ontwikkelingen van emissies en de bepalende factoren</b>	<b>57</b>
5.1	<i>Inleiding</i>	57
5.2	<i>Ontwikkelingen in het verleden en het heden</i>	57
5.2.1	<i>Inleiding</i>	57
5.2.2	<i>Type lading en overslag</i>	57
5.2.3	<i>Omvang en samenstelling scheepsvloot</i>	59
5.2.4	<i>Af te leggen afstanden en routes</i>	61
5.2.5	<i>Emissies</i>	62
5.3	<i>Toekomstige ontwikkelingen en prognoses</i>	65
5.3.1	<i>Inleiding</i>	65
5.3.2	<i>Type lading en overslag</i>	65
5.3.3	<i>Omvang en samenstelling scheepsvloot</i>	67
5.3.4	<i>Af te leggen afstanden en routes</i>	67
5.3.5	<i>Emissies</i>	69
5.4	<i>Deelconclusie</i>	77
<b>6</b>	<b>Mogelijkheden ter vermindering van emissies</b>	<b>79</b>
6.1	<i>Inleiding</i>	79
6.2	<i>Mogelijkheden met betrekking tot brandstof</i>	79
6.2.1	<i>Inleiding</i>	79
6.2.2	<i>Reductie van NO<sub>x</sub></i>	79
6.2.3	<i>Reductie van SO<sub>2</sub></i>	80
6.2.4	<i>Reductie van CO<sub>2</sub></i>	81
6.2.5	<i>Alternatieve brandstoffen</i>	81
6.2.6	<i>Overzicht van maatregelen en milieu-effecten</i>	86
6.3	<i>Mogelijkheden met betrekking tot techniek</i>	86
6.3.1	<i>Inleiding</i>	86
6.3.2	<i>Energiebesparende technieken</i>	86
6.3.3	<i>Reductie van NO<sub>x</sub></i>	89
6.3.4	<i>Reductie van SO<sub>2</sub></i>	95
6.3.5	<i>Reductie van CO<sub>2</sub></i>	96
6.3.6	<i>Reductie van VOS</i>	96
6.3.7	<i>Overzicht van maatregelen en milieu-effecten</i>	97
6.4	<i>Mogelijkheden met betrekking tot brandstof en techniek</i>	98
6.4.1	<i>Inleiding</i>	98
6.4.2	<i>Duale scheidingsmotoren</i>	98
6.4.3	<i>Overzicht van maatregelen en milieu-effecten</i>	99
6.5	<i>Overige mogelijkheden</i>	99
6.5.1	<i>Inleiding</i>	99
6.5.2	<i>Logistieke verbeteringsmogelijkheden</i>	99
6.5.3	<i>Alternatieve voorstuwingsmethoden</i>	101
6.5.4	<i>Overzicht van maatregelen en milieu-effecten</i>	103
6.6	<i>Implementatiebarrières bij technische maatregelen</i>	103
6.6.1	<i>Inleiding</i>	103
6.6.2	<i>Maatschappelijke implementatiebarrières</i>	103
6.6.3	<i>Juridische implementatiebarrières</i>	104
6.6.4	<i>Economische implementatiebarrières</i>	104
6.6.5	<i>Logistieke implementatiebarrières</i>	105
6.6.6	<i>Technologische implementatiebarrières</i>	105
6.7	<i>Deelconclusie</i>	107
<b>7</b>	<b>Kosteneffectiviteit van de verbeteringsmogelijkheden</b>	<b>111</b>
7.1	<i>Inleiding</i>	111
7.2	<i>Kostenposten in de scheepvaart</i>	111
7.3	<i>Mogelijkheden met betrekking tot brandstof</i>	113

7.4	<i>Mogelijkheden met betrekking tot techniek</i>	114
7.5	<i>Mogelijkheden met betrekking tot brandstof en techniek</i>	116
7.6	<i>Overige mogelijkheden</i>	116
7.7	<i>Totaal overzicht verbeteringsmogelijkheden en hun kosteneffectiviteit</i>	116
7.8	<i>Deelconclusie</i>	127
<b>8</b>	<b>Aanzet tot beleid ter vermindering van emissies</b>	<b>129</b>
8.1	<i>Inleiding</i>	129
8.2	<i>Internationaal beleid</i>	130
8.2.1	<i>Huidig beleid</i>	130
8.2.2	<i>Toekomstige ontwikkelingen in beleid</i>	132
8.3	<i>Europees beleid</i>	135
8.3.1	<i>Huidig beleid</i>	135
8.3.2	<i>Toekomstige ontwikkelingen in beleid</i>	136
8.4	<i>Nationaal beleid</i>	138
8.4.1	<i>Huidig beleid</i>	138
8.4.2	<i>Toekomstige ontwikkelingen in beleid</i>	139
8.5	<i>Initiatieven vanuit de scheepvaartsector</i>	142
8.6	<i>Knelpunten</i>	143
8.6.1	<i>Allocatie van emissies</i>	143
8.6.2	<i>'Modal shift' beleid</i>	143
8.6.3	<i>Overige knelpunten</i>	144
8.7	<i>Beleidsscenario's</i>	144
8.8	<i>Deelconclusies</i>	146
<b>9</b>	<b>Discussiepunten</b>	<b>151</b>
9.1	<i>Beschikbaarheid van recente en betrouwbare emissiefactoren</i>	151
9.2	<i>Eenheid van emissies</i>	151
9.3	<i>Bestemming van zwavel uit ontzwavelde brandstoffen</i>	151
9.4	<i>Aanvullende verbeteringsmogelijkheden</i>	151
9.5	<i>Wenselijkheid van modal shift</i>	152
9.6	<i>Verschillende belangen</i>	153
9.7	<i>SO<sub>2</sub>-problematiek</i>	153
<b>10</b>	<b>Conclusies</b>	<b>154</b>
10.1	<i>Inleiding</i>	154
10.2	<i>Bepalende factoren</i>	154
10.3	<i>Verbeteringsmogelijkheden</i>	154
10.4	<i>Economisch aspecten</i>	155
10.5	<i>Beleid voor de scheepvaartsector</i>	156
10.5.1	<i>Internationaal beleid</i>	156
10.5.2	<i>Europees beleid</i>	157
10.5.3	<i>Nationaal beleid</i>	157
10.6	<i>Slotoverweging</i>	158

---

<b>11</b>	<b>Aanbevelingen tot verder onderzoek</b>	<b>159</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>160</b>
	<b>Verzendlijst</b>	<b>165</b>
	<b>Bijlage 1.A: Emissies van de scheepvaart op Nederlands grondgebied</b>	<b>167</b>
	<b>Bijlage 4.A: Emissies van combinaties motoren/brandstoffen in de scheepvaart</b>	<b>168</b>
	<b>Bijlage 4.B: Goederengroepen in de scheepvaartsector</b>	<b>170</b>
	<b>Bijlage 4.C: Herkomst en bestemming van de goederengroepen in de scheepvaartsector</b>	<b>171</b>
	<b>Bijlage 4.D: Verdeling van het Nederlands Continentaal Plat (NCP)</b>	<b>173</b>
	<b>Bijlage 4.E: Verdeling van het Nederlands Continentaal Plat (NCP)</b>	<b>174</b>
	<b>Bijlage 5.A: Vervoersprestatie, energiegebruik en emissies door de scheepvaart in de periode 1980-2020 op Nederlands grondgebied</b>	<b>175</b>
	<b>Bijlage 5.B: Vervoersprestatie, energiegebruik en emissies door de binnenvaart in de periode 1980-2020 op Nederlands grondgebied</b>	<b>177</b>
	<b>Bijlage 5.C: Energiegebruik en emissies door de binnenvaart op Nederlands grondgebied, verdeeld naar scheepstype</b>	<b>179</b>
	<b>Bijlage 5.D: Uitgangspunten van de CPB-scenario's</b>	<b>181</b>
	<b>Bijlage 5.E: Specificatie van prognose getransporteerde tonnage naar type goed in de binnenvaart</b>	<b>182</b>
	<b>Bijlage 6.A: Uitgebreidere beschrijving van de maatregelen</b>	<b>183</b>
	<b>Bijlage 7.A: Externe milieukosten, scheepvaartsector op nederlands grondgebied in 1999</b>	<b>189</b>

## Samenvatting

De sector verkeer en vervoer levert een belangrijke bijdrage aan diverse milieuproblemen. Zo bedraagt de bijdrage aan de Nederlandse CO<sub>2</sub>-uitstoot bijna 20%, en is het aandeel in de emissie van stoffen als VOS, CO en NO<sub>x</sub> 40 tot 60% (RIVM, 2001). Deze bijdrage betreft de aan Nederland toe te rekenen emissies. De emissies ten gevolge van de internationale luchtvaart en zeescheepvaart worden niet of nauwelijks aan Nederland toegerekend. Afhankelijk van de wijze van toedelen van emissies aan landen is de bijdrage inclusief deze 'internationale emissies' dus nog aanzienlijk groter. Ter illustratie: als de CO<sub>2</sub>-emissies ten gevolge van in Nederland getankte brandstof door zeeschepen en de luchtvaart aan Nederland zou worden toegerekend (geen 'officiële' toerekeningsmethode!) zou het aandeel van de sector verkeer en vervoer in de Nederlandse CO<sub>2</sub>-emissies ongeveer eenderde deel bedragen (RIVM, 1997).

Vanwege het hoge aandeel van verkeer in emissies is er veel beleidsmatige aandacht voor de sector. Het beleid heeft zich de afgelopen decennia vooral gericht op het wegverkeer. Gelet op het hoge aandeel van het wegverkeer in de emissies is dat goed verklaarbaar. Maar het wegverkeer wordt steeds 'schoner', vooral door succesvol EU-beleid gericht op voertuigen en brandstoffen. De beleidsmatige aandacht voor beleid gericht op het niet-wegverkeer is tot op heden veel beperkter geweest en later op gang gekomen. Omdat bovendien de vervoermiddelen in het niet-wegverkeer, zoals schepen en vliegtuigen, veel langer meegaan dan bijvoorbeeld auto's en vrachtwagens, penetreren 'schone' technieken relatief langzaam in de betreffende voertuigparken. Ook daardoor neemt het aandeel van het niet-wegverkeer in de uitstoot van diverse stoffen toe. In de toekomst zullen diverse emissies door het wegverkeer verder afnemen, maar de emissies door het niet-wegverkeer niet of nauwelijks. Daardoor zal het aandeel van het niet-wegverkeer in de emissie van NO<sub>x</sub> toenemen van 38% in 1995 tot 60% in 2020. Het aandeel in de SO<sub>2</sub>-emissie neemt in die periode toe van 58 tot 93% (Feimann et al., 2000).

Binnen het niet-wegverkeer is de scheepvaart van relatief groot belang. Het betreft zowel de zeescheepvaart als de binnenvaart. Naar verwachting zal de emissie van NO<sub>x</sub> per tonkilometer in 2010 door binnenschepen hoger zijn dan door vrachtwagens. De zeescheepvaart zal, uitgaande van het huidige regeringsbeleid, in dat jaar circa driekwart van de SO<sub>2</sub>-uitstoot door verkeer voor zijn rekening nemen. En dat betreft dan nog slechts alleen de bijdrage van de zogenoemde 'binnengaatse' emissies (Nederlands grondgebied, inclusief vaarwegen).

Het toenemende belang van de zeescheepvaart in de emissie van diverse stoffen roept diverse vragen op:

- welke opties zijn er om de emissies door binnenvaart en zeescheepvaart te verminderen?
- welke zijn de kosten en effecten van die opties?
- hoe kunnen die opties beleidsmatig geïmplementeerd worden?

Doel van dit rapport is antwoord te geven op deze vragen. De gebruikte methode is die van bronnenonderzoek, met name literatuuronderzoek en gesprekken met deskundigen. Voor een nadere toelichting: zie de hoofdtekst. Deze samenvatting richt zich alleen op emissies van de belangrijkste stoffen. De scheepvaart draagt lokaal ook bij aan geluidhinder, geurhinder en externe veiligheid; op deze onderwerpen wordt dus niet ingegaan.

Sectie 2 geeft een overzicht van de milieubelasting van de scheepvaart. Sectie 3 geeft een overzicht van technische opties om emissies door de scheepvaart te verminderen. Sectie 4 gaat in op de kosten-effectiviteit van die opties. Sectie 5 besteedt aandacht aan implementatiebarrières behorende bij die opties. Sectie 6 gaat in op de beleidskaders voor zeescheepvaart en binnenvaart. Sectie 7 tenslotte geeft de belangrijkste conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek.

## Scheepvaart en milieu: een overzicht

### *Omvang en aandelen in energiegebruik en emissies*

De belangrijkste stoffen die door de sector verkeer en vervoer worden uitgestoten, zijn CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOS, CO en PM<sub>10</sub>. CO<sub>2</sub> draagt bij aan klimaatverandering, SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> aan verzuring, NO<sub>x</sub>, VOS, CO en PM<sub>10</sub> zijn schadelijk voor de gezondheid.

Tabel 1 geeft een overzicht van het energiegebruik en de emissies van diverse stoffen door de binnenvaart en de zeescheepvaart voor 1995. Ter vergelijking zijn de waarden van het wegverkeer en de totale sector verkeer en vervoer opgenomen.

*Tabel 1: Energiegebruik en emissies van binnenvaart en zeescheepvaart in verhouding tot het totale verkeer op Nederlands grondgebied in 1995*

	Totaal Verkeer en vervoer	Binnen-vaart	Zeescheep-vaart	Totale scheepvaart	Percentage totale scheepvaart van emissies verkeer (%)	Totaal weg-verkeer	Percentage totaal wegverkeer (%)
Energie (PJ)	455	24	14	38	8	378	83
CO <sub>2</sub> (miljard kg)	33	2	1	3	8	27	83
NO <sub>x</sub> (miljoen kg)	314	33	21	54	17	225	72
CO (miljoen kg)	543	2	3	5	1	507	93
VOS (miljoen kg)	151	2	1	3	2	140	93
PM <sub>10</sub> (miljoen kg)	17	2	2	4	22	10	58
SO <sub>2</sub> (miljoen kg)	31	2	13	14	47	14	46
N <sub>2</sub> O (miljoen kg)	7	0	0	0	0	6	85

Bron: Van den Brink, 2000

Uit de tabel blijkt dat het aandeel van de scheepvaart vooral voor energiegebruik, CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>-, PM<sub>10</sub>- en SO<sub>2</sub>-emissie substantieel is. NB: dit betreft alleen de aan Nederland toegerekende emissies. Het belang van de zeescheepvaart komt daarin niet goed tot uitdrukking. Ter illustratie: het energiegebruik door het totale wegverkeer bedroeg in 1999 410 PJ, de energie-inhoud van de door de internationale zeescheepvaart in Nederland getankte brandstoffen 514 PJ (Van den Brink, 2000).

Ter illustratie van het toenemende relatieve belang van de scheepvaart geeft Tabel 2 voor enkele stoffen het aandeel in 1995 en 2010. De 2010-waarden betreffen het zogenoemde European Coordination scenario van het Centraal Planbureau in combinatie met het huidige overheidsbeleid (EU en Nederland) – Zie Feimann et al. voor een nadere toelichting.

*Tabel 2: Aandeel binnenvaart en zeescheepvaart in emissies door verkeer voor enkele stoffen; 1995 en 2010*

	1995			2010		
	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
Binnenvaart	5	10	6	6	21	9
Zeescheepvaart	3	7	40	4	17	68
Totaal	8	17	47	10	38	77

Bron: Feimann et al. (2001), Van den Brink (2000)

Tabel 2 geeft aan dat voor alle drie de stoffen het aandeel in de verkeersemissies zal toenemen. Het aandeel van de scheepvaart in de SO<sub>2</sub>-emissie zal dan ongeveer driekwart bedragen, in de NO<sub>x</sub>-emissie ruim eenderde. Daarbij moet worden bedacht dat de emissie van die stoffen op de Noordzee vele malen hoger is dan op Nederlands grondgebied, terwijl die emissies niet in de tabel zijn opgenomen.

*Factoren die de milieubelasting van de scheepvaart bepalen*

Er zijn een aantal (typen) factoren die invloed hebben op de milieubelasting van emissies naar de lucht in zowel de zeescheepvaart als de binnenvaart. Tabel 3 geeft daarvan een overzicht.

Tabel 3: Factoren die de omvang van emissies door scheepvaart bepalen

	Toelichting
<i>Volume-aspecten</i>	
Hoeveelheid vervoer	wordt veelal uitgedrukt in tonnen
Vervoersafstanden	in kilometers. Gecombineerd met tonnen ontstaat de vervoersprestatie in tonkilometers
Type goederen	het gaat hierbij vooral om de dichtheid / het soortelijk gewicht
<i>Ruimtelijke aspecten</i>	
Gekozen routes	niet zozeer van belang voor omgang emissies( uitgaande van gegeven vervoersafstanden) maar vooral voor de invloed van emissies op natuur, mens, gebouwen en gewassen, via verspreiding ervan door de lucht, concentraties schadelijke stoffen en zure depositie
<i>Kenmerken schepen</i>	
Verdeling vervoer over scheepsgrootte	van belang is hierbij de beladingsgraad van het schip
Gebruikte technologieën	van belang voor specifiek brandstofverbruik (verbruik per tonkilometer), en voor de emissie per kg verstoekte brandstof
<i>Kenmerken brandstoffen</i>	
Gebruikte brandstoffen en samenstelling ervan	het betreft o.a. het zwavelgehalte
<i>Logistiek</i>	
Beladingsgraden	naar afstand en inhoud; naar gewicht en volume

Uit de tabel blijkt, dat de omvang van emissies bepaald wordt door diverse typen factoren. Voor de effecten van de emissies van diverse stoffen is verder de ruimtelijke verdeling van de locaties van emissies van belang.

## Opties om emissies te verminderen

### Brandstoffen

Er zijn diverse mogelijkheden emissies te verminderen door wijzigingen in de brandstofsamenstelling en -keuze. Deze paragraaf geeft daarvan een overzicht. Een deel van de mogelijkheden wordt nader beschreven.

Tabel 4 vat de belangrijkste mogelijkheden samen en geeft de belangrijkste effecten op emissies.

Tabel 4: *Overzicht van maatregelen met betrekking tot brandstoffen*

Maatregelen m.b.t. brandstof	Milieu-effecten	
Eerder beëindigen van olieraffinageproces: lagere concentratie van vervuilingen in HFO	Reductie van verschillende emissies	
Ontzwavelingsproces: produceren van laagzwavelige brandstoffen	SO <sub>2</sub> -reductie: 20 gram per massaprocent zwavel in MDO PM <sub>10</sub> -reductie: 0,1 gram per massaprocent zwavel in MDO	CO <sub>2</sub> -toename: 6 ton CO <sub>2</sub> voor 1 ton zwavelreductie bij MDO
Toepassen van scheepsgasolie in plaats van zware stookolie.	Energiebesparing: 4-5% NO <sub>x</sub> -reductie SO <sub>2</sub> -reductie	PM <sub>10</sub> -reductie Rookreductie
Toepassen van aardgas als brandstof	NO <sub>x</sub> -reductie SO <sub>2</sub> -reductie PM <sub>10</sub> -reductie Rookreductie	Toename CH <sub>4</sub> -emissie Verminderde energie-efficiëntie Toename CO <sub>2</sub> -emissie
Toepassen van biobrandstoffen (in dit geval biodiesel) als brandstof	Gelijke NO <sub>x</sub> -emissie Geen SO <sub>2</sub> -emissie CH-reductie CO <sub>2</sub> -reductie	PM <sub>10</sub> -reductie Rookreductie Minder geurhinder
Toepassen van zonne-energie als brandstof	Reductie van alle emissies	
Toepassen van dimethyl ether (DME) als brandstof	NO <sub>x</sub> -reductie: 20-30% PM <sub>10</sub> -reductie Rookreductie	PAK-reductie SO <sub>2</sub> -reductie
Toepassen van propaan als brandstof	CH-reductie: tot circa 33% NO <sub>x</sub> -reductie: tot circa 20%	CO-reductie: tot circa 60%
Toepassen van GTL-brandstoffen	Geen SO <sub>2</sub> -emissie Geen emissie van metalen Geen emissie van aromaten CH-reductie: 41-46%	CO-reductie: 45-47% NO <sub>x</sub> -reductie: circa 9% PM <sub>10</sub> -reductie: 27-32%
Toepassen van PuriNO <sub>x</sub> als brandstof	NO <sub>x</sub> -reductie: circa 10-25% PM <sub>10</sub> -reductie: circa 30% CO-reductie CO <sub>2</sub> -reductie: 2-8%	Rookreductie: 50-80% Toename thermische efficiëntie. Verlies van vermogen: 0-15%

#### *NO<sub>x</sub>-emissie binnenvaart en zeescheepvaart: samenstelling conventionele brandstoffen*

De samenstelling van brandstoffen kan de omvang van de NO<sub>x</sub>-emissie beïnvloeden. Het gaat daarbij vooral om verontreiniging met aromaten. De concentratie aromaten wordt steeds hoger omdat de olieraffinaderijen steeds meer hoogwaardige olieproducten destilleren uit ruwe olie. Het gevolg is dat er – overige omstandigheden gelijkblijvend - meer NO<sub>x</sub> vrijkomt bij verbranding. Het eerder stoppen met raffineren zou de NO<sub>x</sub>-emissie doen verlagen. Dit stuit ongetwijfeld op financiële weerstand bij de raffinaderijen.

#### *SO<sub>2</sub>-emissie zeescheepvaart en binnenvaart: ontzwaveling en dubbele brandstofinstallaties op zeeschepen*

Verlaging van het zwavelgehalte doet de emissies van SO<sub>2</sub> evenredig verminderen. Er zijn geen technologische knelpunten die het gebruik van laagzwavelige brandstoffen in de weg staan. Integendeel: bij een lager zwavelgehalte loopt de motor zelfs soepeler in is er minder kans op bedrijfsproblemen (Kageson, 1999). Wel zijn er kosten verbonden aan ontzwaveling. Ontzwaveling kost bovendien meer energie tijdens het raffinageproces. Om één ton zwavel te verwijderen zou circa zes ton extra CO<sub>2</sub> worden geproduceerd (Ofstedal et al., 1996). Kosten en energiegebruik nemen meer dan evenredig toe bij verdergaande ontzwaveling. Ontzwaveling leidt overigens ook tot verlaging van de emissies van fijn stof.

Het is denkbaar dat een zeeschip vaart in gebieden met verschillende eisen voor brandstoffen. Wanneer dan om economische redenen op één schip zowel hoog- als laagzwavelige brandstoffen



worden verstoekt, kan het bouwen van een dubbele brandstofinstallatie noodzakelijk zijn.

#### *Alternatieve brandstoffen – conventionele brandstoffen*

Zeeschepen kunnen in plaats van zware stookolie (Heavy Fuel Oil, HDO) ook scheepsgasolie (Marine Diesel Oil, MDO) (nu toegepast in de binnenvaart) gebruiken, maar dan zijn kleine technische aanpassingen nodig, onder andere met betrekking tot de gebruikte smeerolie en het brandstofsysteem.

Verder is het mogelijk aardgas in te zetten, hetzij als enige brandstof, hetzij in een mengsel met dieselolie. Dat leidt tot veel lagere emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en fijn stof. Wel zijn technische aanpassingen nodig, niet alleen in verband met de verbrandingskarakteristieken, maar ook om veiligheidsredenen (zie bijvoorbeeld King, 1992; PG&E, 2000; Blythe, 2000). Vanwege veiligheidsaspecten is het gebruik van aardgas in Nederland momenteel niet toegestaan.

#### *Alternatieve brandstoffen: niet-fossiel, biobrandstoffen en synthetische brandstoffen*

Biobrandstoffen bestaan uit chemische bestanddelen gehaald uit cellulose van biomassa. Het kan daarbij gaan om rest- en afvalproducten, en om gewassen die worden verbouwd met als doel biobrandstoffen te kunnen produceren. Er bestaan diverse type biobrandstoffen, maar voor de scheepvaart is vooral biodiesel een mogelijk alternatief. Biodiesel wordt gemaakt uit plantaardige oliën, dierlijke vetten en gerecyclede vetten. Het kan in pure vorm worden gebruikt of gemengd met conventionele dieselbrandstoffen. Wanneer een mengsel wordt gebruikt, zijn weinig tot geen veranderingen aan conventionele dieselmotoren nodig. Het gebruik van biobrandstoffen doet de koolwaterstof- koolmonoxide- en fijn stofemissies verminderen. Verder zijn ze klimaatneutraal. Door het ontbreken aan zwavel ontstaan er ook geen SO<sub>2</sub>-emissies. Biodiesel is goed te combineren met katalysatoren en andere technieken om emissies te verminderen. Belangrijk nadeel van biodiesel is dat de productiekosten veel hoger zijn dan die van conventionele brandstoffen. Verder neemt de verbouw van gewassen relatief veel ruimte in beslag.

Dimethyl ether (DME) is een synthetische brandstof en heeft dezelfde chemische eigenschappen als propaan en butaan. DME wordt gemaakt uit gassen. Dezelfde opslagfaciliteiten en infrastructuur als voor LPG kunnen worden gebruikt. De NO<sub>x</sub>-uitstoot zou lager zijn (bij een proef met een auto: 20 tot 30%) en er zou geen fijn stof worden uitgestoten. Het onderzoek naar DME richt zich vooral op toepassingen in het wegverkeer. Toepassing op langere termijn door de scheepvaart is niet uitgesloten.

De 'Gas-to-liquid-methode' (GTL-methode) houdt in dat gassen vloeibaar worden gemaakt. Daardoor is de brandstof makkelijk te transporteren en op te slaan. De methode kan zowel op conventionele als synthetische producten worden toegepast. De emissies van koolwaterstoffen en CO zouden circa 40 tot 50% lager zijn dan die van laagzwavelige petroleum diesel. Voor NO<sub>x</sub> bedraagt de reductiewaarde circa 10%, voor fijn stof circa 30%.

PuriNO<sub>x</sub> is een alternatieve brandstof die recent op de markt is gekomen. Het is een lage-emissie dieselbrandstof, bestaande uit een stabiel mengsel van additieven, water, commerciële dieselbrandstof en seizoensproducten zoals antivries. Groot voordeel ervan is dat gebruik kan worden gemaakt van de huidige commercieel verkrijgbare brandstoffen en van de bestaande infrastructuur. Door de aanwezigheid van water wordt de verbranding vertraagd en ontstaan minder schadelijke stoffen. Volgens de fabrikant leidt het gebruik van PuriNO<sub>x</sub> tot een circa 10-25% lagere NO<sub>x</sub>-emissie en een circa 30% lagere emissie van fijn stof. Het systeem staat nog in de kinderschoenen (Fiffick, 2000; Lubrizol, 2001).

Voor een beschrijving van de overige opties wordt verwezen naar Kasifa (2001).

## **Techniek en wijze van gebruik**

Technische en gebruiksmaatregelen betreffen enerzijds energiebesparende maatregelen, en anderzijds overige maatregelen. Bij deze laatste categorie gaat het om wijzigingen die de verbrandingskarakteristieken van een motor beïnvloeden, om technieken voor de nabehandeling van emissies, en om alternatieve technieken. De tabellen 5 en 6 geven een overzicht van de maatregelen

en hun milieu-effecten.

*Tabel 5: Overzicht van energiebesparingsmaatregelen en hun milieu-effecten*

Energiebesparende technische maatregelen	Milieu-effecten
Efficiënt gebruik van het laadvermogen	Energiebesparing per tonkm Reductie van verschillende emissies
Verlagen van de vaarsnelheid	Energiebesparing per tonkm Reductie van verschillende emissies
Kiezen van de optimale scheepsgrootte	Energiebesparing per tonkm Reductie van verschillende emissies
Kiezen van de juiste technologische aspecten, als motor, weerstand en efficiëntie van schroef/voortstuwing	Energiebesparing bestaande schepen: 4-20% Energiebesparing nieuwe schepen: 5-30% Reductie van verschillende emissies
Onderhoud aan technisch apparaat op schip	Energiebesparing per tonkm Reductie van verschillende emissies
Optimaliseren van het laadvermogen (qua ruimte-indeling)	Energiebesparing per tonkm Reductie van verschillende emissies
Efficiënter maken en verfijnen van motor (vergroten van motorrendement)	Energiebesparing nieuw schip: 10-12% Toename motorrendement Reductie van verschillende emissies
Toepassen van common railinjectie	Energiebesparing alle technische maatregelen: 10-20% Reductie van verschillende emissies
Aanbrengen van straalbuizen	Toename schroefrendement Energiebesparing alle technische maatregelen: 10-20% Reductie van verschillende emissies
Verbeteren van schroeftunnels	Toename schroefrendement Energiebesparing: 5% Reductie van verschillende emissies
Verlengen van romp	Energiebesparing Reductie van verschillende emissies
Optimaliseren van romp	Energiebesparing: 5-20%.
Vergroten van schroefrendement (aanbrengen 0-aanstroomvereffeningsbuis)	Energiebesparing: 12-15% Reductie van verschillende emissies
Keuze van schroef	Energiebesparing van 5-10%.
Plaatsen van een economy-meter	Energiebesparing: 4-12% Reductie van verschillende emissies
Toepassen van warmtekrachtkoppeling	Energiebesparing
Installeren van een MS-motor i.p.v. een HS-motor in een binnenschip	Energiebesparing: 5-10%

Tabel 6: Overzicht van de maatregelen op het gebied van techniek en de bijbehorende milieu-effecten.

Maatregelen m.b.t. techniek	Milieu-effecten
Aanpassen van inputfactor: reductie van lokale temperatuurspieken van de vlam	NO <sub>x</sub> -reductie
Aanpassen van inputfactor: reductie van de partiële druk van zuurstof	NO <sub>x</sub> -reductie
Aanpassen van inputfactor: verbeterde controle van het verbrandingsproces	NO <sub>x</sub> -reductie: maximaal 20-30% Verminderde energie-efficiëntie (toename brandstofconsumptie) Toename CO <sub>2</sub> -emissie Toename PM <sub>10</sub> -emissie
Aanpassen van inputfactor: reductie van verbrandingstemperatuur door controle van het werkend medium (brandstof en lucht) met behulp van water wateremulsie, waterinjectie of HAM	NO <sub>x</sub> -reductie: 20-50% (waterinjectie), circa 30% (wateremulsie), 70-80% (HAM) Verminderde energie-efficiëntie
'End-of-pipe': Selectieve Katalytische Reductie (SCR-systeem)	NO <sub>x</sub> -reductie: 90-95% SO <sub>2</sub> -reductie door gebruik laagzwavelige brandstof.
'End-of-pipe': 'Exhaust Gas Recirculation'-systeem (EGR-systeem)	NO <sub>x</sub> -reductie bestaand schip: 20% NO <sub>x</sub> -reductie nieuw schip: 40%
'End-of-pipe': toepassen van roetfilters	Reductie van zichtbaar fijn stof met 80-90%
'End-of-pipe': zeewater 'scrubber' (gaszuiveraar)	SO <sub>2</sub> -reductie: maximaal 90%
Plaatsen van een intercooler voor de ingang van de verbrandingsruimte	NO <sub>x</sub> -reductie
Toepassen van een gasturbine voor de aandrijving	Reductie van verschillende emissies Verminderde energie-efficiëntie Toename CO <sub>2</sub> -emissie Grootte van fijn stof is kleiner
Toepassen van een gasmotor voor de aandrijving	Reductie van verschillende emissies Toename CO <sub>2</sub> -emissie Grootte van fijn stof is kleiner
Toepassen van een brandstofcel voor de aandrijving	Reductie van verschillende emissies
Toepassen van elektromagnetische hydrodynamische voortstuwing	Lagere energie-efficiëntie Reductie van verschillende emissie
Toepassen van een nucleaire reactor	Reductie van verschillende emissie Radio-actief afval
Toepassen van Vapour Emission Control System (VECS)	VOS-reductie
Verzadigen van atmosfeer boven olie-oppervlak bij laden en lossen en tijdens zeereis	VOS-reductie
Verlagen van dampspanning door afkoeling van olie	VOS-reductie
Olietanks 100% vullen in plaats van de regulier 98%	VOS-reductie

Hieronder volgt een toelichting op een deel van de in de tabellen genoemde maatregelen.

Verlaging van de snelheid leidt tot energiebesparing: de energieconsumptie neemt kwadratisch toe met de snelheid van een schip. Grotere schepen leiden – overige omstandigheden gelijkblijvend – tot lagere emissies, aangezien de capaciteit sneller toeneemt dan het energiegebruik per vaartuigkilometer. Het optimaliseren van de romp van een zeeschip kan leiden tot een energiebesparing van 5-20%. De keuze van de schroef kan tot een energiebesparing van 5 tot 10% leiden. Het potentieel voor energiebesparing bij nieuwe zeeschepen met behulp van technische maatregelen bedraagt 5 tot 30%, en bij bestaande schepen 4-20% (IMO, 2000). Het potentieel van technische maatregelen bij binnenschepen bedraagt 10 tot 20% (Dijkstra en Dings, 2000). Het verhogen van de efficiency van motoren leidt ook tot een lager energiegebruik, maar kan tot een hogere NO<sub>x</sub>-emissie leiden. Motortecnische maatregelen om de NO<sub>x</sub>-emissie te verminderen, betreffen maatregelen gericht op een reductie van de lokale temperatuurspieken van de vlam, een verbeterde controle van het verbrandingsproces, een reductie van de verbrandingstemperatuur en een reductie van de partiële druk van zuurstof door edelgassen toe te voegen. Op binnenschepen kan een economy-meter worden toegepast. Daardoor kan de schipper zijn vaargedrag optimaliseren en het brandstofverbruik verlagen. Bijkomend voordeel is dat eventuele defecten eerder worden getraceerd.

De apparatuur is nog niet standaard leverbaar en vergt relatief hoge investeringen (Dings et al., 1997). Er zijn systemen ontwikkeld die gebruik maken van satellieten. De leveranciers geven een energiebesparing van 4-12% op en stellen dat de terugverdientijd minder dan een jaar is. Eenvoudigere technieken worden reeds toegepast, vooral door grotere reders. Het draagvlak voor economy-meter zou beperkt zijn.

De belangrijkste end-of-pipe technieken zijn Selective Catalytic Reduction (SCR), Exhaust Gas Recirculation (EGR) en Non-thermal plasma (NTP). Bij SCR wordt een oplossing van ammonia of ureum aan de verbrandingsgassen toegevoegd, waardoor NO<sub>x</sub> wordt omgezet in stikstof en water. De NO<sub>x</sub>-emissie kan daardoor met 90 tot 95% worden verminderd. SCR vereist de toepassing van laagzwavelige brandstof. Het kan op nieuwe en bestaande schepen worden toegepast. Het principe van EGR is dat de gerecirculeerde uitlaatgassen de soortelijke warmte van de cilindervulling verhogen en dus de maximum temperaturen verlagen. De NO<sub>x</sub>-reductie bedraagt bij bestaande schepen circa 20%, en bij nieuwe circa 40%. Bovendien worden niet-verbrande brandstoffen verstoekt. Een mogelijk probleem is beschadiging van de motor door de slechtere verbrandingsomstandigheden. Een ander nadeel is een hoger brandstofverbruik. EGR kan alleen worden toegepast in combinatie met lichte dieselolie en niet met zware stookolie.

Bij NTP wordt een plasma ingezet. Dat is een gedeeltelijk geïoniseerd gas waarin vrije radicalen (elektronen en positieve ionen) voorkomen. Deze radicalen zijn in staat om NO, fijn stof en andere stoffen, om te zetten. Er kunnen NO<sub>x</sub>-reducties behaald worden van meer dan 70%, en reducties van fijn stof van meer dan 90%. Tot nu toe is het niet mogelijk gebleken beide reducties met één systeem te behalen. NTP kan gecombineerd worden met SCR. Momenteel wordt veel onderzoek uitgevoerd naar NTP. Andere nabehandelingstechnieken zijn roetfilters (80 tot 90% minder emissies van roet) en ongeregelde nageschakelde katalysatoren.

Meer dan de helft van de VOS-emissie in de zeescheepvaart, en ongeveer een kwart van die emissie bij de binnenvaart is afkomstig van oliedamp die tijdens het in- en uitladen van ruwe olie en olieproducten ontsnapt. Zogenaemde VECS's (Vapour Emission Control System) kunnen de oliedamp opvangen.

## **Combinatie brandstoffen en techniek**

De belangrijkste maatregel binnen deze categorie is de toepassing van zogenaemde duale scheepsmotoren. Dat zijn motoren die op twee brandstoffen tegelijk kunnen werken. Bij de scheepvaart gaat het vooral om de combinatie van aardgas en diesel. Dit leidt tot lagere emissies van diverse stoffen. Bij toepassing van deze maatregel gaat het met name om retrofit van schepen. Deze maatregel is tot nu toe weinig toegepast omdat het een hoge investering vergt van de reders.

## **Overige**

De belangrijkste overige maatregelen zijn weergegeven in tabel 7.

Tabel 7: Overige maatregelen en hun milieu-effecten

Overige maatregelen (zie ook energie-besparende maatregelen)	Milieu-effecten
Verhogen van gemiddelde beladingsgraden.	Reductie van verschillende emissies
Het kiezen van een constante vaarsnelheid.	Energiebesparing: 0,1-2% Reductie van verschillende emissies
Veranderen van vaargedrag.	Reductie van verschillende emissies
Good housekeeping.	Reductie van verschillende emissies
Weather-routing.	Energiebesparing: 2-4% Reductie van verschillende emissies
Vloot-planning.	Energiebesparing: 5-40% Reductie van verschillende emissies
Toepassen van het Whale Tail Wheel in plaats van de conventionele schroef.	Energiebesparing: 25-33% Reductie van verschillende emissies
Toepassen van andere zeer efficiënte natuurlijke vis-voorstuwings technologie in nieuwe schepen in plaats van de conventionele schroef.	Toename energie-efficiëntie Reductie van verschillende emissies
Toepassen van zeilschepen voor de goedertransport in plaats van motorschepen.	Reductie van verschillende emissies

Enkele van de maatregelen worden hieronder nader toegelicht. Weather routing houdt in dat bij de routekeuze rekening wordt gehouden met stormen en sterke stromingen. Het principe van de Whale Tail Wheel kan worden toegepast in binnenschepen. Dit principe komt erop neer dat twee onder water draaiende trommels de walvisstaartbeweging simuleren. Daardoor kunnen schepen sneller, zuiniger en stiller varen. Volgens de producenten zou het systeem een energiebesparing van 25 tot 35% opleveren (Whale Tail, 2001). Naast Whale Tail Wheel zijn er nog andere technieken die de vis-voorstuwingswijze trachten na te bootsen.

## Kosteneffectiviteit van opties om emissies te verminderen

Van lang niet alle hiervoor gepresenteerde mogelijkheden is voldoende informatie beschikbaar om de kosteneffectiviteit vast te stellen. Daar waar er wel informatie beschikbaar is, is de hardheid ervan niet altijd vast te stellen. Daarom moeten de resultaten van deze sectie slechts worden gezien als een ruwe indicatie van de kosteneffectiviteit. Wanneer wel gegevens over de kosten bekend zijn, maar niet of in mindere mate over de effecten, zijn de kosten weergegeven (en niet de kosteneffectiviteit). Van veel van de in het voorafgaande genoemde technieken is geen of geen bruikbare informatie over de kosten aangetroffen; deze zijn in tabel 8 niet opgenomen

Het is opvallend dat van veel technieken effecten, kosten en kosten-effectiviteit niet bekend zijn. Er is relatief weinig onderzoek uitgevoerd naar mogelijkheden om de emissies door de scheepvaart te verminderen.

Tabel 8 geeft voor een aantal maatregelen inzicht in de kosteneffectiviteit of kosten.

Tabel 8: Kosten of kosteneffectiviteit van maatregelen

Maatregel	Kosteneffectiviteit
Ontzwareling Marine Diesel Oil (MDO)	0,15 – 0,40 euro per kg NO <sub>x</sub> -equivalent?
Ontzwareling Heavy Fuel Oil (HFO)	Binnenvaart: 1,60 euro per kg NO <sub>x</sub> -equivalent
Aardgas	Goedkoper dan hoogwaardige olieproducten, duurder dan zware stookolie
Biobrandstoffen	225-450 euro per ton CO <sub>2</sub>
Synthetische brandstoffen ('Gas-to-liquid')	Kosten vergelijkbaar met laagzwavelige brandstoffen
PuriNO <sub>x</sub>	Maximaal 15% extra bedrijfskosten
Efficiënter maken van motor	Geen extra kosten
Vergroten schroefrendement	23.000 – 45.000 euro per schip
Verbeterde controle van het verbrandingsproces	10-15% meerkosten
Econometer	Terugverdientijd korter dan 1 jaar
SCR	Minder dan 0,60 euro per kg NO <sub>x</sub>
EGR	Lager dan SCR (< 0,60 euro per kg NO <sub>x</sub> )
Brandstofcel als aandrijving	Brandstofkosten circa 10 keer zo hoog als dieselbrandstof
Duale scheepsmotor	Met installatie aan wal: circa US\$ 350.000, Alleen retrofit: US\$ 97.000
Whale tail Wheel	Terugverdientijd maximaal 8 jaar, afhankelijk van dieselprijs

De tabel geeft aan voor het verminderen van verzurende emissies (NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>) diverse opties zijn. De kosten voor het verminderen van 1 kg NO<sub>x</sub> (-equivalent) bedragen van diverse opties hooguit enkele euro's. Dat is veel lager dan de kosten-effectiviteit van voorgenomen voertuigtechnisch beleid in het wegverkeer. Ter vergelijking: de meest dure maatregel die wordt getroffen als gevolg van het voorgenomen beleid betreft de invoering van de EURO 4 normen voor personenauto's, die circa 30 euro bedraagt. Daarbij moet worden opgemerkt, dat de maatregel ook de emissies van andere stoffen reduceert (Van Wee et al., 2001).

## Implementatiebarrières

Het algemene beeld van de literatuur naar technische mogelijkheden om emissies door de scheepvaart te reduceren, is dat er relatief weinig bekend is over die mogelijkheden. Over veel opties zijn geen bruikbare bronnen aangetroffen die inzicht geven in de kosten, de effecten en de kosten-effectiviteit. Daarnaast zijn er bronnen aangetroffen en gebruikt die niet onafhankelijk zijn. Het betreft vooral informatie van fabrikanten en leveranciers. Toch bestaat de indruk dat er op kosten-effectieve wijze emissies in de scheepvaart kunnen worden gereduceerd. Het lijkt daarom aanbevelenswaardig meer onderzoek naar die opties uit te voeren, ter ondersteuning van de beleidsontwikkeling.

Diverse barrières staan de implementatie van de hiervoor beschreven mogelijkheden om emissie te reduceren, in de weg. Het betreft maatschappelijke, juridische, economische, logistieke en technologische implementatiebarrières. De indeling van barrières in deze categorieën is overigens enigszins arbitrair. Belangrijke maatschappelijke barrières betreft de algemene weerstand tegen alles wat nieuw is. Dit geldt in de scheepvaartsector vooral voor alternatieve brandstoffen en aandrijvingsmethoden. Verder zijn er twijfels over de veiligheid en betrouwbaarheid van bepaalde mogelijkheden (Agee, 1999).

Juridische implementatiebarrières zijn het feit dat er topt nu toe weinig regelgeving is voor de scheepvaart, zeker voor de zeescheepvaart. Een andere barrière van deze categorie is het feit dat er een consequente inventarisatie van emissies ontbreekt. Daardoor is de basis voor regelgeving relatief zwak.

Economische barrières betreffen onder meer de hoge investeringen die sommige technieken met zich meebrengen en het feit dat vaak recent de motor van een schip is vervangen, waardoor toepassing van een nieuwe, schonere of zuinigere motor tot vervroegde afschrijvingen leidt. Verder is de relatief lage brandstofprijs een barrière, temeer omdat de brandstofkosten in de totale transportkosten beperkt zijn

(Ofstedal et al, 1996). Daarnaast vereist de toepassing van bepaalde opties de medewerking van de olie-industrie; deze zal moeten investeren in de productie van 'schone' brandstoffen. Tenslotte is onzekerheid over de toekomstige marktontwikkeling een belangrijke economische implementatiebarrière.

Logistieke implementatiebarrières betreffen vooral barrières die optreden bij de productie, opslag en distributie van alternatieve brandstoffen (Agee, 1999). Een andere barrière van deze categorie betreft het feit dat olieraffinaderijen hun residuale olieproducten kwijt zullen moeten raken. Het gevaar bestaat dat ze andere afnemers zoeken, zoals elektriciteitscentrales, waardoor er alleen een wijziging in de locatie van emissies optreedt. Verstoking van dergelijke producten op het vasteland zal in veel situaties tot een hogere milieubelasting leiden dan het verstoken ervan op de oceanen. Tenslotte is de mate van beschikbaarheid van alternatieve brandstoffen een barrière van deze categorie.

Technologische implementatiebarrières betreffen onzekerheden in emissiefactoren, vooral die van NO<sub>x</sub> en fijn stof. Verder is de huidige technologie in de scheepvaart een barrière voor het gebruik van sommige alternatieve brandstoffen. Een andere barrière van deze categorie betreft de relatief lange technische levensduur van scheepsmotoren, waardoor 'schone' technologie maar langzaam penetreert in de scheepsvloten. Motoren van schepen gaan 15 tot 30 jaar mee. Een scheepscasco gaat in de regel tenminste 30 jaar mee.

## Beleidsaspecten

Regelgeving met betrekking tot emissies van motoren, en het zwavelgehalte van brandstoffen, zijn vooralsnog de belangrijkste instrumenten om emissies door de zeescheepvaart en de binnenvaart te verminderen. Dergelijk beleid wordt uitgeoefend op internationaal niveau. Deze sectie geeft een overzicht van dat beleid op hoofdlijnen. Naast internationaal beleid is er nationaal beleid mogelijk, vooral op financieel en infrastructureel gebied. Op dergelijk beleid wordt in deze samenvatting niet ingegaan.

### *Zeescheepvaart*

Beleid voor de zeescheepvaart is bij uitstek internationaal van karakter. Het belangrijkste beleidsorgaan is de International Maritime Organizations (IMO). Het door de IMO opgestelde Marpol-verdrag (Internationaal verdrag ter voorkoming van verontreiniging door schepen) richt zich vooral op scheepstechniek en brandstoffen. Het verdrag, dat nog moet worden geratificeerd, richt zich vooral op de volgende punten. Ten eerste is er normstelling voor de NO<sub>x</sub>-emissies voor nieuwe motoren in de maak. Die zal met terugwerkende kracht gelden vanaf 1-1-2000, zowel voor bestaande als voor nieuwe schepen. De normstelling is afhankelijk van het toerental. Fabrikanten van motoren produceren reeds motoren die aan deze norm voldoen, mede omdat de norm – zodra die van kracht wordt – met terugwerkende kracht geldt vanaf 1-1-2000. Ten tweede is er een maximum toegestaan zwavelgehalte van 4,5m% voor scheepsbrandstoffen. De norm 'SO<sub>x</sub>-emission control areas' in te stellen, waar de SO<sub>2</sub>-uitstoot niet meer dan 6 gram per kilowattuur (kWh) mag bedragen. Deze norm komt overeen met het gebruik van brandstof met een maximum zwavelgehalte van 1,5m%. Voor de Noordzee is reeds een amendement aangenomen voor het verkrijgen van deze status. Tenslotte is het opzetten van een systeem voor emissieregistratie van belang.

Het verdrag wordt van kracht zodra meer dan 15 landen het hebben geratificeerd, en deze landen meer dan 50% van het totale wereldhandelstonnage vertegenwoordigen. Aangezien naar verwachting deze voorwaarden binnen afzienbare tijd niet worden gerealiseerd, heeft Japan het initiatief genomen om te komen tot een relatief vooruitstrevend milieuplan ('Joint Action Plan' – zie hierna).

### *Binnenvaart*

Voor de binnenvaart is de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) in Straatsburg een belangrijk orgaan. Het CCR doet voorstellen voor stapsgewijs strenger wordende normstelling. Vanaf 1-1-2002 geldt de eerste fase normstelling voor nieuwe motoren voor binnenschepen. De belangrijkste norm is die voor de NO<sub>x</sub>-uitstoot (afhankelijk van motorvermogen en toerental 9,2 – 13,0 gram/kWh). Rond 2005 gaan de normen van de tweede fase waarschijnlijk in, vermoedelijk circa 2008 die van de derde

fase. Vooralsnog wordt voor 2008 gedacht aan een norm van 2,5 gram NO<sub>x</sub> per kWh. Ter illustratie: sinds 2000 geldt voor nieuwe vrachtwagens de norm van 5 gram per kWh. De normstelling voor de binnenvaart loopt dus achter op die voor vrachtwagens.

De norm voor het zwavelgehalte van scheepsgasolie in de binnenvaart bedraagt 2.000 ppm (0,2m%). Ter illustratie: die voor diesel voor het wegverkeer bedraagt vanaf 2005 50 ppm. Vermoedelijk in 2008 wordt de norm voor scheepsgasolie in de binnenvaart verlaagd naar 1.000 ppm.

#### *Klimaatbeleid*

De emissies van broeikasgassen door de internationale zeescheepvaart worden in het kader van het Kyoto-protocol niet aan landen toegerekend, maar wel geregistreerd.

#### *Overige beleidsaspecten*

In aanvulling op de reeds genoemde regelgeving voor schepen en brandstoffen (IMO en CCR) zijn andere beleidsinstrumenten denkbaar. Ten eerste is er het instrument van emissiehandel genoemd, dat vooral zinvol lijkt wanneer er een systeem voor het toerekenen van emissies aan landen zou komen. Het is ook denkbaar dat er, met name voor broeikasgassen, een plafond komt voor de totale internationale scheepvaart (en wellicht ook een plafond voor de internationale luchtvaart). Emissies binnen dat plafond zouden via een veilingssysteem kunnen worden verkocht.

Verder is er prijsbeleid denkbaar. Er zou accijns op brandstoffen kunnen worden ingevoerd. Het draagvlak daarvoor en de effectiviteit ervan is uiteraard het grootst bij wereldwijde invoering. Het zal echter niet eenvoudig zijn dit te realiseren. Bij niet-wereldwijde heffing zijn aanvullende maatregelen nodig (Beumer et al., 1997). De Akte van Mannheim (1868) maakt echter dat er beperkingen zijn met betrekking tot het opleggen van heffingen en accijns door overheden voor binnenschepen die varen op de Rijn.

Daarnaast valt te overwegen over te gaan tot informatieverstrekking over de milieu-eigenschappen van schepen en scheepsmotoren. Dat geeft in beginsel prikkels aan zowel de rederij als de verlader.

Japan heeft recent het initiatief genomen tot een ministeriële conferentie over milieu en transport (te houden januari 2002). Het heeft tien voorstellen gedaan om de milieubelasting van de scheepvaart te verminderen. Het betreft onder meer de promotie van stimuleringsregelingen voor schepen die aan bepaalde eisen voldoen, evaluatie en rangschikking van schepen en publicatie van de resultaten en de ontwikkeling van monitoringssystemen. Het doel is te komen tot een 'Joint Action Plan'. Nederland kan het initiatief van Japan ondersteunen.

Nederland zou door middel van fiscale stimulering de toepassing van 'schone' technieken en brandstoffen kunnen stimuleren. Verder kan het aanbrenge van differentiatie in de gelden voor vaarwater en havenrechten, afhankelijk van milieu-aspecten, worden genoemd (Kageson, 1999). In Zweden bestaat reeds een dergelijk systeem.

## **Conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek**

De belangrijkste conclusies uit deze studie zijn de volgende:

1. Er is relatief weinig literatuur over mogelijkheden om emissies door de scheepvaart te verminderen, en de effecten en kosten ervan. Van sommige van die mogelijkheden is alleen informatie van fabrikanten aangetroffen. Omdat deze informatie niet onafhankelijk is, dient ze met de nodige voorzichtigheid gebruikt te worden.
2. Toch bestaat de indruk dat er vele mogelijkheden zijn op het gebied van brandstoffen en techniek om de emissies door de zeescheepvaart en de binnenvaart te reduceren. Een deel van die opties is relatief kosteneffectief.
3. Voor de realisatie van sommige van die opties zijn internationale beleidskaders aanwezig. Erg voortvarend zijn die kaders niet. Voor sommige andere opties ontbreken beleidskaders. Algemeen gesteld: vanwege het bij uitstek internationale karakter van de binnenvaart, en meer nog de zeescheepvaart is het moeilijk beleidmatig de toepassing van opties om emissies door de scheepvaart terug te dringen.



Hieronder worden nader op deze conclusies ingegaan en worden daaraan gekoppelde aanbevelingen voor verder onderzoek gegeven.

Opvallend is dat er over de milieubelasting van de scheepvaart relatief weinig literatuur bestaat; er wordt weinig onderzoek naar uitgevoerd. Door de reeds gerealiseerde en in de toekomst verwachte daling van diverse emissies in het wegverkeer (niet: CO<sub>2</sub>), wordt het relatieve belang van de scheepvaart in de verkeersgerelateerde milieuproblemen steeds groter. Een deel van de aangetroffen literatuur is afkomstig van niet-onafhankelijke bronnen. Deze dienen nader onderzocht te worden op hun betrouwbaarheid en geschiktheid voor beleidsdoeleinden. Het verdient daarom aanbeveling naar de milieubelasting van de scheepvaart nader onderzoek uit te voeren.

Er is weinig literatuur aangetroffen die ingaat op de kosten en kosten-effectiviteit van maatregelen om de milieubelasting van de zeescheepvaart te verminderen. Nader onderzoek hiernaar is eveneens gewenst.

Er bestaan veel mogelijkheden de emissies van de scheepvaart te verminderen. Een aantal ervan is vermoedelijk of zeker kosteneffectief in vergelijking tot maatregelen die momenteel of in de nabije toekomst in het wegverkeer worden getroffen: de vermindering van emissies door technische maatregelen of samenstelling van brandstofkeuze en brandstofsamenstelling is veelal relatief goedkoop. Voor andere stoffen dan CO<sub>2</sub> dient te worden bedacht dat de locatie van emissies van belang is voor de effecten ervan. Dat geldt in de eerste plaats voor stoffen die gezondheidseffecten hebben, maar ook voor verzurende stoffen. Dit locatie-aspect is in deze studie niet meegenomen. Het verdient daarom aanbeveling nader onderzoek te doen naar de kosteneffectiviteit van emissieverlagende maatregelen in de scheepvaart, door bij de effecten niet alleen de emissies te betrekken, maar eveneens de uiteindelijke milieu-effecten van die emissies, rekening houdend met de locaties van emissies en van 'ontvangers' van schadelijke stoffen (bevolking, dieren, planten, ecosystemen, voor verzuring gevoelige gebouwen en landbouwgewassen).

In deze studie staan vooral technische maatregelen en maatregelen met betrekking tot de brandstof centraal. Daarnaast kan de milieubelasting van de scheepvaart worden verminderd door volume-, logistieke en gedragsmaatregelen. Nader onderzoek hiernaar is gewenst. Vooral nader inzicht in de effecten van internationaal prijsbeleid lijkt gewenst. Dat geldt in mindere mate voor maatregelen gericht op de vervoerswijzekeuze; hiernaar zijn reeds diverse studies uitgevoerd, waardoor reeds het nodig inzicht in de effecten ervan bekend is.

Beleid gericht op de binnenvaart en (nog sterker) de zeescheepvaart is bij uitstek internationaal beleid. Voor de vermindering van de emissies van stoffen als NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en VOS zijn beleidskaders aanwezig. Er zijn tot op heden geen instanties die beleid vaststellen voor CO<sub>2</sub>. De mogelijkheden voor zelfstandig Nederlands beleid zijn beperkt, en richten zich vooral op stimuleringsmaatregelen gericht op de binnenvaart.

Er zijn weinig gegevens met betrekking tot de emissies van de scheepvaart. Het verdient aanbeveling meer metingen uit te voeren en de registratie en monitoring van die emissies te verbeteren.

## Literatuur

Agee MA (1999), Fuels for the Future, Syntroleum Corporation, Tulsa, Oklahoma, USA, at the Energy Frontiers International Conference in San Francisco, California, USA, website [http://www.syntroleum.com/sn4\\_pap.htm](http://www.syntroleum.com/sn4_pap.htm), geraadpleegd in mei 2001

Beumer L, Tak CM van der, Melissen P (1997), Marine Bunker Fuel Taxes, Final Report, Netherlands Economic Institute (NEI), Rotterdam

Blythe NX (2000), Present and Future Emission Prospects for Diesel and Natural Gas Fueled Marine Engines, Fairbanks Morse Engine Division (MARAD Workshop)

Brink RMM van den (2000), Verkeer en vervoer in de Milieubalans 2000. RIVM rapport 251701044, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

Dijkstra WJ, Dings JMW (1997), Specific Energy Consumption and Emissions of Freight Transport, a Comparison between Road, Water, Rail and Air, Centre for Energy Conservation and Environmental Technology, Delft

Dings JMW, Dijkstra WJ, Moorman SAH, Janse P (1997), Schoon Schip in de Nederlandse Binnenvaart, CE Centrum voor energiebesparing en Schone Technologie, Delft

Feimann PFL, Geurs KT, Brink RMM van den, Annema JA, Wee GP van (2000), Verkeer en vervoer in de Nationale Milieuverkenning 5, RIVM rapport 408129014, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

Fiffick L (2000), Port of Houston Authority Air Adventure: 2000 and Beyond, Environmental Affairs Department U.S.A. (MARAD Workshop)

Kågeson P (1999), T&E Report 99/7, Economic Instruments for Reducing Emissions from Sea Transport, The Swedish NGO Secretariat on Acid Rain, European Federation for Transport and Environment (T&E), European Environmental Bureau (EEB), Solna, Zweden, website <http://www.t-e.nu>, geraadpleegd in februari 2001

King SR (1992), Technology Today, Understanding the effects of Variations in Natural Gas Fuel Composition on Vehicle Operation. Gepubliceerd door SwRI (lente 1992), Southwest Research Institute, San Antonio, Texas, USA

Lubrizol (2001), e-mail inclusief bijlagen van Mike Attfield, bedrijfsmanager PuriNO<sub>x</sub><sup>TM</sup>, Den Haag, website <http://www.lubrizol.com/PuriNOx/default.htm>, geraadpleegd in mei 2001

Oftedal S, Martens OM, Ellingsen H, Ågren C. (1996), Air Pollution from Sea Vessels, The Need and Potential for Reductions, T&E: European Federation for Transport and Environment, Brussel, België

PG&E (2000), Shoreside Logistics for Natural Gas Fueling, Pacific Gas and Electric Company (MARAD Workshop)

RIVM (2001) Milieubalans 2001. Het Nederlandse milieu verklaard. Alphen aan den Rijn: Kluwer

Wee GP van, Kuijpers-Linde MAJ, Gerwen OJ van (red.) (2001), Emissies en kosten tot 2030 bij het vastgesteld milieubeleid. Achtergronddocument bij de Nationale Milieuverkenning 5. RIVM rapport 408129013, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

Whale Tail (2001), website <http://www.whaletail.nl>, Van Voorden Gieterij B.V. en Whale Tail Systems B.V., Zaltbommel, geraadpleegd in mei 2001

### **Status van dit rapport**

Dit rapport is uitgebracht bij het RIVM. Daarbij dient te worden aangetekend dat het een inventarisatie van informatiebronnen betreft, zonder dat een validatie op die bronnen heeft plaatsgevonden. Dit is vooral van belang omdat de wetenschappelijke kwaliteit van sommige bronnen niet bekend is.



# 1 Inleiding

## 1.1 Scheepvaart en milieu

De scheepvaart is in bepaalde opzichten relatief milieuvriendelijk vergeleken met andere vormen van vervoer. Schepen zijn energie-efficiënter dan wegverkeer, waardoor ook sommige emissies per tonkilometer lager zijn [NIRIA, 2000]. Maar net als de andere sectoren van verkeer en vervoer dragen de sectoren binnenvaart en zeescheepvaart ook bij aan de belasting van de verschillende milieucompartimenten. In de scheepvaartsector zijn met name de compartimenten lucht en water van belang.

Bij het compartiment water kan bijvoorbeeld gedacht worden aan verontreiniging van het zeewater met olie en schadelijke stoffen uit aangroeiwerende verfsystemen. Andere verontreinigingen in het water zijn afvalstoffen (onder andere oliehoudend ballastwater), sanitair afvalwater en huishoudelijk afval [DGG, 1998].

Bij het milieucompartiment lucht zijn ook verschillende verontreinigingen aan te wijzen. Voorbeelden van emissies naar de lucht zijn CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>. Het is mogelijk om te bepalen welke stoffen worden uitgestoten in de scheepvaartsector, maar het kwantificeren van de omvang van de emissies van deze stoffen is vaak moeilijk. De scheepvaartsector heeft voor een aantal emissies een relatieve voorsprong op andere modaliteiten met betrekking tot de uitstoot per eenheid vervoerde lading, maar door toekomstige ontwikkelingen in het wegvervoer kan de scheepvaartsector deze positie verliezen.

## 1.2 Achtergrond

Het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer is geïnteresseerd in de ontwikkelingen in de milieubelasting door de scheepvaart. Hiervoor zijn een aantal redenen. Aangezien gedacht werd dat de scheepvaart een relatief schone modaliteit was, is er betrekkelijk weinig beleidsmatige aandacht geweest voor deze tak van verkeer en vervoer. Pas het laatste decennium is het besef gekomen, dat er meer inzicht moet worden verkregen over de aard en omvang van milieuproblemen in de scheepvaart. Uit onderzoek is namelijk gebleken dat de scheepvaart voor een hogere milieubelasting verantwoordelijk is dan waarin het verleden vanuit gegaan was.

Een tweede reden is dat er een verslechtering van de kwaliteit van de natuur in Nederland plaatsvindt door onder andere de depositie van verzurende stoffen. Deze stoffen (onder andere NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>) hebben een dubbele bijdrage aan de kwaliteitsvermindering van het milieu; ze veranderen namelijk de kwaliteit van de bodem en die van de lucht [RIVM, 2000]. De scheepvaart is een belangrijke veroorzaker van dit milieuprobleem. De scheepvaart neemt een belangrijke plaats in bij vele andere milieuproblemen (zoals de versterking van het broeikas effect en problemen met betrekking tot schade aan mens en natuur). De emissies van de scheepvaartsector zullen in de toekomst alleen maar groter worden, aangezien verwacht wordt dat de scheepvaartsector in de toekomst zal gaan groeien.

Om prognoses op te kunnen stellen over het verloop van de emissies in de toekomst is het belangrijk dat er inzicht is in de volume-ontwikkelingen en ontwikkelingen in de ruimtelijke verdeling van de scheepvaart. Een groei of inkrimping van de scheepsvloot die op Nederlandse wateren vaart, kan van invloed zijn op de hoeveelheid uitgestoten verontreinigingen naar de lucht. De binnenvaart en de zeescheepvaart zijn veel meer ruimtelijk geconcentreerd dan het wegverkeer, namelijk de binnenvaart op de rivieren en kanalen en de zeescheepvaart in de havens. [Harms, 2000] De omvang van de emissies is verder afhankelijk van de gebruikte technieken.

Als laatste reden voor de toegenomen aandacht voor de scheepvaartbranche is de verwachting dat in de toekomst het aandeel van door de scheepvaart veroorzaakte emissies in de totale emissies door verkeer en vervoer zal toenemen ten opzichte van andere vervoerswijzen [Geurs et al., 1998; RIVM, 2000b, Feimann et al., 2000]. Het Ministerie van VROM wil daarom weten welke mogelijkheden er bestaan voor de reductie van milieuvervuilende emissies door de scheepvaart.

In tegenstelling tot de regelgeving voor emissies van wegverkeer is nog relatief weinig gedaan aan de regelgeving voor de binnenvaart en zeescheepvaart met betrekking tot de verschillende emissie naar

de lucht en de verlaging van het zwavelgehalte in brandstof. De emissie, veroorzaakt door de scheepvaartsector, nemen een steeds groter gedeelte van de totale emissie door verkeer en vervoer voor zijn rekening. In 1995 bedroeg het aandeel van de binnenvaart en zeescheepvaart bijna 50% van de totale SO<sub>2</sub>-emissie door verkeer en vervoer. Voor NO<sub>x</sub> was dit in 1995 circa 15%. In tabel 1 van bijlage 1.A staan waarden genoemd voor emissies van meerdere stoffen naar de lucht, die ook betrekking hebben op het jaar 1995. De prognose is dat dit in 2010 voor SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> respectievelijk 77% en 38% zal zijn (zie tabel 2 van bijlage 1.A). [Feimann et al., 2000]

Naast de emissie van verzurende stoffen speelt ook de uitstoot van CO<sub>2</sub> een grote rol in de scheepvaart. Deze bedroeg in 1995 circa 8% van de totale uitstoot door verkeer en vervoer. De verwachting is dat in 2010 het percentage van de CO<sub>2</sub>-emissie door de scheepvaart iets hoger zal zijn dan in 1995 (EC-scenario; voor uitleg zie paragraaf 5.3.1). De berekeningen die bij deze percentages horen, staan in bijlage 1.A. Absoluut gezien zal de emissie van CO<sub>2</sub> naar verwachting toenemen met 0,5 miljard kg. Op dit moment worden in IPCC-kader (Intergovernmental Panel on Climate Change) de CO<sub>2</sub>-emissies en alle andere emissies van de internationale zeescheepvaart niet toegerekend aan de verschillende landen. Het is heel goed mogelijk dat dit in de toekomst wel gedaan zal worden, wat zal resulteren in hogere emissiewaarden voor Nederland. [Feimann et al., 2000]

Met het oog op deze ontwikkeling en aangezien het om aanzienlijke hoeveelheden luchtverontreinigende stoffen gaat, zullen er stappen ondernomen moeten worden op het gebied van regelgeving, zowel in nationaal als in internationaal verband, om vervuiling van de atmosfeer door de scheepvaart tegen te gaan. [RIVM, 2000b] Het vermoeden bestaat tevens dat emissies kosteneffectief bestreden kunnen worden.

### 1.3 Probleemstelling

Uit de vorige paragraaf blijkt dat er genoeg aanleiding is om meer aandacht te schenken aan de emissies in de scheepvaartbranche. Een eerste aanzet van de overheid was de publicatie van de Voortgangsnota Scheepvaart en Milieu in 1998. In deze voortgangsnota is op strategisch niveau de volgende hoofddoelstelling in het regeringsbeleid geformuleerd:

*'Het leveren -met het milieubeleid voor de scheepvaart- van een bijdrage aan duurzame ontwikkeling.'*

Dit houdt in dat er zodanig beleid gevoerd moet worden, dat de leefkwaliteit en de kwaliteit van de natuur gewaarborgd blijven voor toekomstige generaties. Zoals in paragraaf 1.1 is vermeld, worden in dit rapport voornamelijk de verontreinigingen in het milieucompartiment lucht behandeld. De hoofdprobleemstelling in dit rapport luidt dan ook:

***Gelet op de huidige ontwikkelingen zal de sector scheepvaart ten behoeve van het goederentransport op korte en middellange termijn niet duurzaam worden. Hierbij is de uitstoot van verzurende stoffen (onder andere NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>) en broeikasgassen (onder andere CO<sub>2</sub>) het belangrijkste knelpunt.***

Bij dit probleem hoort de volgende onderzoeksvraag:

***Welke technische en beleidsmatige mogelijkheden bestaan er om emissies naar de lucht op Nederlands territorium door de binnenvaart en zeescheepvaart te verminderen in de periode tot 2020?***

Om deze onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden is het noodzakelijk om een antwoord te vinden op een aantal deelvragen. Deze deelvragen zijn:

- 1) *Welke stoffen worden door de sector scheepvaart uitgestoten naar de lucht?*
- 2) *Welke factoren beïnvloeden de milieubelasting van emissies naar de lucht door de scheepvaart?*
- 3) *Hoe is de verhouding van emissies door de scheepvaart op Nederlands territorium ten opzichte van de emissies in Europa en de mondiale emissies?*

- 4) *Hoe zal de ontwikkeling van de voor emissies belangrijke factoren en van de emissies zelf in de toekomst verlopen?*
- 5) *Met welke maatregelen, gericht op technieken en brandstoffen, kunnen emissies naar de lucht verminderd worden in de scheepvaart?*
- 6) *Wat is de kosteneffectiviteit van deze mogelijk te treffen maatregelen?*

Deze deelvragen worden in de verschillende hoofdstukken behandeld. Dit gebeurt niet exact in bovenstaande volgorde.

## 1.4 Afbakening

In dit rapport wordt voornamelijk gekeken naar emissies van de volgende sectoren van de scheepvaart ten behoeve van het goederentransport:

- emissies door de zeescheepvaart binnengaats,
- emissies door de zeescheepvaart buitengaats,
- emissies door de binnenvaart.

Emissies van de zeescheepvaart binnengaats zijn afkomstig van alle nationale en internationale zeeschepen die binnen de kust- en havengebieden van Nederland varen. Hierbij is de term Nederlands territorium van belang (ook wel Nederlands grondgebied genoemd in dit rapport), wat wordt bepaald door de landsgrenzen van Duitsland en België en door de (doorgetrokken) kustlijn. Emissies van de nationale en internationale zeescheepvaart op de Nieuwe Waterweg en de Schelde vallen hier dus ook onder. In tegenstelling tot de IPCC-methode is de vraag waar de brandstof is getankt bij emissies op Nederlands grondgebied niet van belang. Daarentegen komen emissies van de buitengaats zeescheepvaart van zeeschepen die in volle zee varen op het Nederlands Continentaal Plat (NCP) niet aan de orde bij de bepaling van de emissie op Nederlands grondgebied. Het NCP maakt deel uit van de zuidelijke Noordzee. Met een oppervlakte van 57.000 vierkante kilometer is het Nederlandse deel van de Noordzee groter dan Nederland zelf. [Waterland, 2001]

Met betrekking tot de binnenvaart wordt enkel gekeken naar emissies van schepen op wateren die op het Nederlands territorium varen. Hierbij worden de recreatievaart en de visserij buiten beschouwing gelaten, omdat dit rapport alleen het goederenvervoer behandelt.

Tevens wordt de verhouding van de emissies in Europa en de mondiale emissies met de emissies op Nederlands territorium behandeld.

## 1.5 Beginselen in het Nederlandse milieubeleid

In het Nederlandse milieubeleid zijn er een aantal beginselen die een grote rol spelen bij de besluitvorming. Het eerste beginsel is 'de vervuiler betaalt'. Dit houdt in dat degene die de verontreinigingen veroorzaakt ook voor de kosten opdraait. Daarnaast speelt het beginsel 'aanpak bij de bron' een belangrijke rol. Het heeft een hoge prioriteit dat varend vervoer schoon, zuinig, veilig en stil is. Aangezien de technologie voortdurend in ontwikkeling is, wordt bij het implementeren van nieuwe technieken die de milieubelasting verminderen uitgegaan van het beginsel 'toepassing van de best uitvoerbare technieken'. Hiermee samenhangend is ook het ALARA-beginsel van belang ('As Low As Reasonably Achievable'). Dit houdt in dat emissies beperkt moeten worden in de mate die redelijkerwijs behaald en van de sector gevraagd kan worden. [Michiels, 1998]

## 1.6 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd: allereerst zal in hoofdstuk 2 de methodologie behandeld worden die gebruikt is bij het maken van dit rapport. In hoofdstuk 3 wordt een kort overzicht gegeven van de verschillende soorten stoffen die door de scheepvaart worden uitgestoten. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 de factoren uiteengezet die van invloed zijn op de mate van emissie, zoals techniek, brandstof, volumes en ruimtelijke aspecten. Teneinde een prognose te geven van de emissies in de toekomst, worden in hoofdstuk 5 de ontwikkelingen van een aantal van bovengenoemde factoren in

het verleden, heden en mogelijk de toekomst bekeken. Deze ontwikkelingen kunnen gezien worden als het 'business-as-usual', dus zonder wijziging van het huidige beleid van de overheid. In hoofdstuk 6 volgt een inventarisatie van technische mogelijkheden ter vermindering van emissies naar de lucht in de scheepvaart. De kosteneffectiviteit van deze mogelijkheden wordt behandeld in hoofdstuk 7. Dat hoofdstuk eindigt met een totaaloverzicht van alle mogelijkheden en hun kosteneffectiviteit. Vervolgens wordt in hoofdstuk 8 een aanzet tot beleid voor de overheid gegeven. Hiertoe wordt eerst kort het huidige beleid beschreven en daarna mogelijkheden voor de overheid met betrekking tot zowel nationaal als internationaal beleid in de toekomst. Op basis van deze mogelijkheden worden kort de uitkomsten van deze beleidsscenario's gegeven met betrekking tot de ontwikkeling van emissies in de toekomst. Over de resultaten van dit rapport wordt in hoofdstuk 9 kort een aantal discussiepunten op een rij gezet om vervolgens in hoofdstuk 10 te komen tot de conclusies. Dit rapport eindigt met een aantal aanbevelingen tot verder onderzoek voor onderwerpen waarover op dit moment nog een leemte in kennis is.

Bij de inventarisatie van mogelijkheden dient te worden aangetekend dat er geen validatie op de informatiebronnen heeft plaatsgevonden. Dit is vooral van belang omdat de wetenschappelijke kwaliteit van sommige bronnen niet bekend is.



## 2 Methodologie

### 2.1 Inleiding

In hoofdstuk 1 is reeds een probleemstelling en een onderzoeksvraag geformuleerd, waarop in dit rapport antwoorden worden gezocht. Het zoeken van een antwoord kan op verschillende manieren gebeuren. Dit wordt ook wel de 'methodologie' genoemd. In dit hoofdstuk wordt de methodologie beschreven, die voor dit onderzoek gebruikt is.

### 2.2 Doorgelopen traject

Om uiteindelijk tot de totstandkoming van dit rapport te komen, is een traject doorlopen, dat bestaat uit de volgende stappen:

1. het duidelijk formuleren van een probleemstelling en onderzoeksvraag,
2. het bepalen van de factoren die van invloed zijn op de emissies van de scheepvaart,
3. het opstellen van een conceptueel model,
4. het maken van een afbakening met betrekking tot de bepalende factoren in het conceptueel model,
5. het doen van literatuuronderzoek,
6. het houden van interviews,
7. de gevonden gegevens beoordelen vanuit een beleidsmatige invalshoek,
8. het houden van interviews met beleidsmakers,
9. het weergeven van de bevindingen op hoofdlijnen,
10. het ordenen van de bevindingen op de onderzoeksvraag op mate van belangrijkheid,
11. het doen van aanbevelingen tot verder onderzoek.

Hierbij maken de stappen 5, 6, 7 en 8 deel uit van de methodologie. De probleemstelling en een onderzoeksvraag zijn geformuleerd op basis van de verschillende vragen die het Ministerie van VROM heeft gesteld. Hierbij is in overleg met het Ministerie van VROM en het RIVM een afbakening gemaakt met betrekking tot de verschillende emissies.

De volgende stap is het bepalen van alle factoren die van invloed zijn op de milieubelasting van de scheepvaartsector. Dit is gedaan in paragraaf 4.2.1. Met behulp van causale relaties is de inwerking van de verschillende factoren op andere factoren duidelijk gemaakt. Deze relaties zijn grafisch weergegeven in een conceptueel model (zie figuur 4.1). Aangezien dit een omvangrijk model is, is hier een afbakening gemaakt. Op de afgebakende factoren ligt de nadruk van dit rapport. Door deze afbakening is het mogelijk om meer gericht literatuur te zoeken. Op basis van dit literatuuronderzoek kunnen bevindingen gedaan worden en leemten in kennis ontdekt worden. Ook kan er meer gevoel voor de situatie in de scheepvaart verkregen worden. Om bepaalde leemten in kennis op te vullen worden interviews gehouden. Op deze manier kunnen zaken ook van verschillende kanten bekeken worden. Na dit literatuuronderzoek zijn de verkregen gegevens vanuit een beleidsmatige invalshoek bekeken. Om de relevantie van verschillende gegevens te bepalen, is feedback gevraagd aan de verschillende beleidsmakers. Hierbij zijn de bevindingen op hoofdlijnen weergegeven en verwerkt in het rapport. Eerder genoemde stappen zijn doorlopen voor hoofdstuk 3 tot en met 9. Deze bevindingen worden vervolgens geordend op mate van belangrijkheid (zie hoofdstuk 10). Uiteindelijk zijn een aantal aanbevelingen tot verder onderzoek gegeven. Deze hebben betrekking op bepaalde leemten in kennis zijn of op onduidelijkheden omtrent bepaalde gegevens (zie hoofdstuk 11).



## 3 Typen emissies en hun milieu-effecten

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de eerste deelvraag uit de algemene inleiding (hoofdstuk 1) behandeld. Het betreft de volgende vraag:

*Welke stoffen worden door de sector scheepvaart uitgestoten naar de lucht?*

Hiertoe wordt een overzicht gegeven van de verschillende stoffen die vrijkomen bij de verbranding van scheepsbrandstoffen (zie ook paragraaf 4.3). Er is een verdeling gemaakt naar broeikasgassen, verzurende/vermestende stoffen en overige emissies. Binnen deze verdeling zijn de belangrijkste vrijkomende stoffen behandeld, waarbij kort hun effecten op milieu en volksgezondheid en een aantal eigenschappen uiteengezet zijn. In dit hoofdstuk is er geen onderscheid gemaakt tussen emissies van de zeescheepvaart en de binnenvaart, omdat beide sectoren dezelfde typen emissies hebben.

### 3.2 Broeikasgassen

Het milieuprobleem ten gevolge van de uitstoot van broeikasgassen is de versterking van het broeikas effect. Deze versterking heeft weer een verandering van het klimaat als gevolg. Dit probleem speelt zich op mondiaal niveau af. Hierbij zijn de belangrijkste veroorzakers het gebruik van fossiele brandstoffen en ontbossing. De stoffen die geclassificeerd zijn als broeikasgassen zijn koolstofdioxide ( $\text{CO}_2$ ), methaan ( $\text{CH}_4$ ), distikstofoxide of stikstofmonoxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ) en fluorverbindingen. Daarnaast zijn er nog stoffen die een indirecte bijdrage leveren aan het broeikas effect, zoals stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ), koolmonoxide ( $\text{CO}$ ) en vluchtige organische stoffen (VOS). [Ministerie's, 1998]

Stijgende concentraties van broeikasgassen in de lucht leiden tot een versterkt broeikas effect. Het IPCC heeft een prognose opgesteld waarin een wereldwijde opwarming van de aarde in het jaar 2100 plaatsvindt van ongeveer 1 tot 3,5 °C ten opzichte van het jaar 1990. [Ministerie's, 1998; IPCC, 2000; IPCC, 2001] Deze opwarming heeft een aantal mogelijk desastreuze gevolgen op ecologisch, sociaal en economisch gebied. Een aantal gevolgen worden hieronder opgesomd [RIVM, 2000a en Heil, 2000]:

- een stijging van de zeespiegel,
- een verandering in neerslag en regionale temperatuur,
- een verandering in de lengte van het groeiseizoen (periode waarin regenval en temperatuur gewasgroei mogelijk maakt),
- een verschuiving van klimaatzones,
- effecten op vegetatie, ecosystemen en de mens (bijvoorbeeld droogte, verdwijnen van planten- en insectensoorten),
- het frequenter voorkomen van extreme situaties in het weer,
- een verschuiving in soortensamenstelling van flora en fauna (vermindering van de biodiversiteit),
- een verandering in de zoetwatervoorraden.

#### 3.2.1 $\text{CO}_2$

Circa 60% van totale emissie aan broeikasgassen bestaat wereldwijd uit emissie van  $\text{CO}_2$ . De belangrijkste emissiebronnen van  $\text{CO}_2$  zijn de industrie, de elektriciteitssector en de sector verkeer en vervoer. In Nederland bestaat 75% van totale emissie aan broeikasgassen uit koolstofdioxide. Dit komt voor 1995 neer op 179 miljard kg  $\text{CO}_2$ , berekend met de IPCC-methode. [RIVM, 2000a: p39 en p148] In 1995 was het aandeel van de scheepvaart hierin ruim 1,5%, wat overeenkomt met 2,8 miljard kg uitgestoten  $\text{CO}_2$ . De uitstoot van  $\text{CO}_2$  in de scheepvaart is afhankelijk van het gebruikte type brandstof en de omvang van het brandstofverbruik.

Verhoging van de  $\text{CO}_2$ -concentratie heeft daarnaast een aantal directe effecten op planten. Het eerste type effect is een verandering in het fysiologisch gedrag van planten, zoals veranderingen op het gebied van fotosynthese, respiratie (opnemen van zuurstof en het afgeven van koolzuur,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), groeisnelheden en voortplanting. Het tweede type effect is een verandering op ecologisch niveau.

Hieronder vallen veranderingen met betrekking tot plant-plant-interacties, plant-dier-interacties en plant-microben-interactie. Ook de differentiatie door evolutie wordt beïnvloed door de CO<sub>2</sub>-verhoging. [Heil, 2000]

### 3.2.2 Gehalogoneerde koolwaterstoffen

Onder gehalogoneerde koolwaterstoffen zijn voor de scheepvaartsector onder andere CFK's (ChloorFluorKoolwaterstoffen) en halonen relevant. Koolwaterstoffen zijn verantwoordelijk voor de aantasting van de ozonlaag in de stratosfeer. Doordat de ozonlaag steeds dunner wordt, bereikt meer schadelijke UV-straling het aardoppervlak. UV-straling verhoogt het risico op huidkanker en heeft ook negatieve effecten op ecosystemen (zowel op het land als in het water), landbouwgewassen en materialen. [Ministerie's, 1998]

### 3.2.3 VOS-emissies

De concentratie van Vluchtige Organische Stoffen (VOS) wordt in Nederland voor een groot deel bepaald door het verkeer en door grensoverschrijdende luchtverontreiniging. Daarom is het mogelijk dat op locaties met een hoge verkeersdichtheid een verhoogde VOS-concentratie gemeten wordt. Door chemische reacties met andere stoffen kan er smogvorming in de troposfeer plaatsvinden. De troposfeer is de onderste laag van de atmosfeer die het dichtst bij de aarde is. [RIVM, 2000a: p67] Ook leveren VOS-emissies een indirecte bijdrage aan de versterking van het broeikaseffect. [Ministerie's, 1998: p213]

In de zeescheepvaart is VOS-emissie afkomstig van verbrandingsgassen uit de scheepsmotoren en uit smeerolie van de cilinders. Maar het grootste gedeelte van de uitstoot van vluchtige organische stoffen vindt zijn oorsprong in de verdamping van de scheepslading van olietankers. Geschat wordt dat circa 0,1% van het totaal aan getransporteerde ruwe olie en olieproducten verdwijnt naar de lucht. Deze uitstoot vindt voornamelijk plaats tijdens het inladen en uitladen van de olietankers. [Ofstedal et al., 1996]

In dit rapport wordt er onderscheid gemaakt tussen NMVOS en VOS. Bij NMVOS wordt het methaan niet meegerekend en bij VOS wel.

## 3.3 Verzurende stoffen

Een tweede categorie van -voor het milieu- schadelijke stoffen zijn de verzurende stoffen. De depositie van zuren (via zure regen) leidt tot verzuring van bodem en water. Dit houdt in dat er een verandering plaatsvindt van de chemische samenstelling van bodem en oppervlaktewateren. Het gevolg van deze verzuring is schade aan planten, dieren, gebouwen en ander cultureel erfgoed. Voor Nederland zijn twee typen depositie van belang: droge en natte depositie. Bij droge depositie worden de stoffen direct geabsorbeerd door bodem en andere oppervlakten zoals bladeren en takken van planten. De snelheid van depositie is hier afhankelijk van eigenschappen van het oppervlak waarop depositie plaatsvindt. Natte depositie is gedefinieerd als depositie via regen (de zogenaamde zure regen), hagel of sneeuw. Hierbij is de verwijderingssnelheid van verzurende stoffen uit de atmosfeer onafhankelijk van de ontvangende oppervlakte (bodem takken en bladeren), omdat de vervuilende stoffen met een medium (regen, hagel of sneeuw) op het oppervlak terechtkomen. Er is dus een directe impact via bovengrondse blootstelling aan hoge zuurconcentraties en een indirecte impact via de bodem. [Heil, 2000]

Bij deze laatste manier leidt onder andere uitloging van basische kationen (positief geladen deeltjes) door depositie van zuren tot een tekortkoming aan voedingsstoffen in de bodem. Ook kunnen er onoplosbare zouten ontstaan, wat een gebrek aan bepaalde stoffen tot gevolg kan hebben. Een andere effect van verzuring is een ophoping van de metalen in de bodem (onder andere koper), die in de voorraden grondwater terechtkomen. De invloed van natte depositie op bodemverzuring is afhankelijk van de eigenschappen van de bodem en van de mate waarin bodemverzuringprocessen van nature optreden. [Heil, 2000]

In onderstaande subparagrafen zullen de stoffen stikstofdioxide (NO<sub>x</sub>) en zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) behandeld worden. Ammoniak wordt buiten beschouwing gelaten, omdat dit niet door de scheepvaart geëmitteerd wordt. Om de depositie van verschillende verzurende stoffen onder één noemer te

brengen is de eenheid zuurequivalenten per hectare land per jaar (z-eq/ha/jaar) ingevoerd. Naast deze verzurende stoffen spelen ook hun reactieproducten, ontstaan door oxidatie en zuur/base-reacties, een belangrijke rol in het verzuringsproces.

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

De kringloop van stikstofverbindingen is op mondiaal niveau reeds twee keer zo groot als de natuurlijke kringloop (stikstofverbindingen die van nature voorkomen, dus niet de antropogene stikstofverbindingen). [RIVM, 2000b: p71] Van de NO<sub>x</sub>-verbindingen uitgestoten door de scheepvaart heeft NO<sub>2</sub> het meeste effect op de volksgezondheid in de vorm van verandering in kwaliteit van de leefomgeving [RIVM, 2000b: p91]

Naast verzuring heeft NO<sub>x</sub> nog een tweede uitwerking op zijn natuurlijke omgeving. De emissie van NO<sub>x</sub> door de scheepvaart leidt, na omzetting in NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, tot een verstoring van de nutriëntenbalans in het water maar niet in de bodem. [RIVM, 2000a] Deze overmaat aan voedingsstoffen voor planten (in dit geval nitraten, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) wordt ook wel vermesting of eutrofiëring genoemd. Door deze verstoringen vinden er veranderingen plaats van de soortensamenstelling in de natuur. De toename van nutriënten in dieper grondwater en oppervlaktewater zorgt ervoor dat er voldoende voedingsstoffen zijn voor planten die van stikstof houden, zoals kroos en algen, om overal in het water te woekeren. Omdat zonlicht niet meer door de kroos-/algenbedekking kan dringen door hun overmatige groei, zullen onderliggende planten en vissen worden verdreven of zelfs sterven. Er vindt dus een verarming van de soortenrijkdom plaats in de wateren. Eutrofiëring door de zeescheepvaart is in Nederland voornamelijk beperkt tot de kustwateren, waaronder de Waddenzee. Hier komt sterke algenbloei regelmatig voor.

In Nederland vindt regelmatig normoverschrijding van NO<sub>x</sub> plaats door hoge verkeersemissies. Doordat NO<sub>x</sub> reageert met andere stoffen kan dit leiden tot smogvorming in de troposfeer. [RIVM, 2000a: p67] Daarnaast draagt de emissie van NO<sub>x</sub> indirect bij aan de versterking van het broeikas-effect. [Dings et al., 1997; Ministerie's, 1998: p213; NIRIA, 2000] NO<sub>x</sub> heeft een verblijftijd van circa dertig uur in de atmosfeer, wat betekent de NO<sub>x</sub>-emissies van schepen op zee vaak het land bereiken voordat de NO<sub>x</sub> neerslaat als zure regen. Daarom wordt de NO<sub>x</sub>-emissie van zeeschepen gezien als een wereldwijd probleem en niet als een lokaal probleem. [NIRIA, 2000] Voor de binnenvaart zullen de vaarwegen en andere naburige wateren last kunnen ondervinden van eutrofiëring.

### 3.3.2 SO<sub>2</sub>

Een tweede belangrijke verzurende stof is zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>). Zwaveldioxide ontstaat door een chemische reactie van de zwavel in de brandstof met zuurstof uit de lucht. In de periode 1980-1999 is het aandeel van de zeescheepvaart op Nederlands territorium in de totale SO<sub>2</sub>-emissie van verkeer in vervoer toegenomen van ruim 30% in 1980 tot meer dan 60% in 1999. [RIVM, 2000a] De emissie van SO<sub>2</sub> in de scheepvaartsector is voornamelijk afhankelijk van het zwavelgehalte in de gebruikte brandstoffen en de hoeveelheid gebruikte brandstoffen.

Er wordt beweerd dat zure regen door SO<sub>2</sub> schadelijk is voor het leven op land maar niet voor het leven in zee. Wanneer SO<sub>2</sub> direct in het zeewater terecht komt in plaats van in de lucht, zal de concentratie van zwaveldioxide in het zeewater zeer klein zijn door verdunning. Op deze manier blijft de concentratie van SO<sub>2</sub> in het zeewater op natuurlijk wijze in balans. [Oftedal et al., 1996] De vraag is of dit daadwerkelijk het geval is.

## 3.4 Overige emissies

Sommige van onderstaande microverontreinigingen komen door hechting aan roetdeeltjes in de atmosfeer (PAK's en zware metalen) en andere microverontreinigingen ontstaan door chemische reacties in de atmosfeer (ozon en fijn stof).

### 3.4.1 PAK's

Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) vormen een groep van enige honderden organische verbindingen opgebouwd uit twee of meer benzeenringen. De PAK componenten verschillen onderling sterk in fysisch-chemische eigenschappen en in risico's voor mens en ecosystemen. Het risico voor de volksgezondheid betreft voornamelijk de giftige en carcinogene (kankerverwekkende) natuur van PAK's. Voor de scheepvaart zijn 22 typen PAK's en nitro-PAK's van belang bij emissies naar de lucht. Dit zijn voornamelijk onverbrande koolwaterstoffen uit de scheepsbrandstof. [STOWA, 1998; Dings et al., 1997]

### 3.4.2 Metalen

De (zware) metalen die vrijkomen bij verbranding van brandstof in de scheepvaart zijn voornamelijk arseen, cadmium, koper, nikkel, vanadium en zink [Hulskotte, 2000]. Door opeenhoping in het milieu (in bodem en water) komen er steeds hogere concentraties van deze metalen terecht in de voedselketen. Aangezien deze stoffen een toxische belasting hebben, bestaan er risico's voor de menselijke gezondheid en voor ecosystemen.

De klimaat- en verzuringsemissiedoelstellingen die nationaal en internationaal zijn gesteld brengen een 'meelift' effect met betrekking tot de reductie van zware metalen met zich mee. [RIVM, 2000b]

### 3.4.3 Ozon (O<sub>3</sub>)

Ozon is een stof die ontstaat uit een chemische reactie in de atmosfeer tussen VOS en NO<sub>x</sub> onder invloed van zonlicht. Bij deze fotochemische luchtverontreiniging spelen de stoffen methaan en koolstofmonoxide ook een rol. Door opeenhoping van ozon in de atmosfeer ontstaat er een 'ozonsluier' op leefniveau (ook wel fotochemische smog genoemd). Hierdoor worden mensen, dieren en planten blootgesteld aan hoge troposferische concentraties van ozon.

De gevolgen van een te hoge blootstelling aan ozon zijn niet gering. Te hoge concentraties kunnen voor mensen leiden tot gezondheidsproblemen op het gebied van het ademhalingsstelsel en tot hart- en vaataandoeningen. Ook aantasting van de natuurlijke omgeving, zoals beschadigingen aan landbouwproducten (en dus een verminderde oogst), bladschade in de natuur, groeireducties van planten, versnelde veroudering van planten en verminderde bloeiprestaties zijn het resultaat van deze 'ozonsluier'. Tevens kunnen er mogelijk verschuivingen in soortensamenstelling optreden, aangezien met name planten met een hoge groeisnelheid (zoals aardappelen en tomaten) en een groot aantal bomen gevoelig zijn voor schommelingen in ozonconcentraties. Naast lokale en regionale effecten levert troposferische ozon ook een bijdrage aan versterking van het broeikas effect. [RIVM, 2000a: p56]

Door het karakteristiek Nederlands weer vinden de kortdurende piekconcentraties van ozon voornamelijk plaats op warme en zonnige dagen in de zomer (zomersmog). Maar ook chronische blootstelling aan lagere ozonconcentraties kan gelijke gevolgen met zich meebrengen.

Door de verblijftijd van sommige emissies in de atmosfeer zullen stoffen uitgestoten op zee voor de vorming van ozon boven land kunnen zorgen. Op zee zelf zullen de bovenstaande problemen waarschijnlijk minder spelen, aangezien daar weinig mensen incidenteel aanwezig zullen zijn.

### 3.4.4 Fijn stof (PM<sub>10</sub>)

De afkorting PM<sub>10</sub> staat voor Particulate Matter. Onder PM<sub>10</sub> vallen deeltjes die een afmeting van kleiner dan 10 µm hebben. Deze deeltjes kunnen een vaste of een vloeibare vorm hebben. Deeltjes van dit formaat kunnen voor een lange periode in de lucht verblijven en zijn klein genoeg om diep in het ademhalingskanaal te penetreren. Naast de VOS-emissie is fijn stof ook verantwoordelijk voor grensoverschrijdende luchtverontreinigingen. Fijn stof ontstaat uit chemische omzetting van stoffen van verzurende bronnen. Het stof is een volgproduct van onder andere VOS, NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>, dat voornamelijk bestaat uit sulfaat- en nitraatdeeltjes (het zogenaamde 'secundair stof'). Ook roet (vast koolstof) valt onder fijn stof. Aan dit stof kunnen zich metalen en PAK's hechten. [RIVM, 2000a: p67]

Blootstelling aan PM<sub>10</sub> kan leiden tot gezondheidsproblemen met betrekking tot het ademhalingsstelsel (zoals een verminderde werking van de longen en een toename van het aantal astma-aanvallen) en tot hart- en vaataandoeningen. Net als bij ozon kan een acute blootstelling aan

PM<sub>10</sub> (smog) of een chronische blootstelling de oorzaak zijn van deze gezondheidsproblemen. Circa 6% van de bevolking is in 1999 chronisch blootgesteld aan overschrijding van de huidige EU-norm van 40 µg fijn stof per m<sup>3</sup> lucht. Het percentage van de Nederlandse PM<sub>10</sub>-emissie, afkomstig uit eigen land, is circa 30%. Dit komt overeen met 39,2 miljoen kg fijn stof in het jaar 1999. Hiervan bedroeg de bijdrage van verkeer en vervoer in 1999 bijna 45% (circa 17,5 miljoen kg fijn stof). Bijna 25% van deze totale hoeveelheid fijn stof van verkeer en vervoer is in 1999 toe te schrijven aan de scheepvaart op Nederlands territorium (circa 4,1 miljoen kg). Zie ook tabel 1 van bijlage 1A. [RIVM, 2000a] De emissie van PM<sub>10</sub> van de scheepvaart zal in mindere mate gezondheidsgevolgen hebben doordat de uitstoot op het water plaatsvindt en niet direct in de omgeving van mensen. Door de verblijftijd van het fijn stof in de atmosfeer zal er wel een hoeveelheid op het land terecht komen.

### 3.5 Deelconclusie

In dit hoofdstuk is bekeken welke stoffen geëmitteerd worden in de scheepvaartsector. Ook is bekeken welke gevolgen deze emissies met zich meebrengen voor het milieu. Er zijn een drietal typen emissies, namelijk broeikasgassen, verzurende stoffen en overige emissies.

Broeikasgassen zijn verantwoordelijk voor de versterking van het broeikaseffect, met klimaatverandering als gevolg. De verandering van het klimaat heeft vele negatieve ecologische, sociale en economische gevolgen. Van de broeikasgassen heeft CO<sub>2</sub> in de scheepvaartsector de grootste omvang.

Het tweede type emissie is de uitstoot van verzurende stoffen. Dit type brengt plaatselijke en regionale milieuproblemen met zich mee. De verzuring van bodem en water ten gevolge van depositie van zuren kan schade leveren aan planten, dieren, gebouwen en ander cultureel erfgoed. De belangrijkste stoffen in de scheepvaartsector zijn NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>.

Onder overige emissies valt de uitstoot van roetdeeltjes (PAK's en zware metalen) en deeltjes die ontstaan door chemische reacties in de atmosfeer (ozon en fijn stof). Deze deeltjes kunnen toxische, carcinogene en andere schadelijke gevolgen hebben voor mens en natuur. Deze milieuproblemen hebben naast een plaatselijk en regionaal karakter ook een grensoverschrijdend karakter.

Hierbij moet de kanttekening gemaakt worden dat de emissie van roet, ozon en fijn stof door de zeescheepvaart een minder grote impact heeft op de gezondheid van mens en dier dan een even grote emissie door het wegverkeer. De emissies vinden namelijk op zee plaats, waardoor de afstand tussen bron en blootgestelde relatief groot is. Maar door de lange verblijftijd van sommige stoffen in de atmosfeer kunnen emissies, uitgestoten op het water, toch het land bereiken en daar van invloed zijn op de milieubelasting.





## 4 Factoren die de milieubelasting van de scheepvaart bepalen

### 4.1 Inleiding

De omvang van de emissies is afhankelijk van een aantal factoren. Deze factoren zullen in dit hoofdstuk nader behandeld worden. In dit hoofdstuk wordt daarmee een antwoord gezocht op de tweede deelvraag uit de algemene inleiding, die als volgt luidt:

*Welke factoren beïnvloeden de milieubelasting van emissies naar de lucht door de scheepvaart?*

Allereerst wordt er een overzicht gegeven van de te behandelen factoren in de vorm van een conceptueel model. Hierin worden alle factoren causaal met elkaar in verband gebracht en wordt bij iedere relatie een korte uitleg gegeven. In de daarop volgende paragrafen wordt de stand van zaken omtrent de verschillende factoren uiteengezet. Ook wordt bekeken op welke manier deze factoren de milieubelasting van de zeescheepvaart en de binnenvaart beïnvloeden.

### 4.2 Conceptueel model voor emissies door de scheepvaart-sector

#### 4.2.1 Bepalende factoren

Er zijn een aantal factoren die invloed hebben op de milieubelasting van emissies naar de lucht in zowel de zeescheepvaart als de binnenvaart. Dit zijn de factoren:

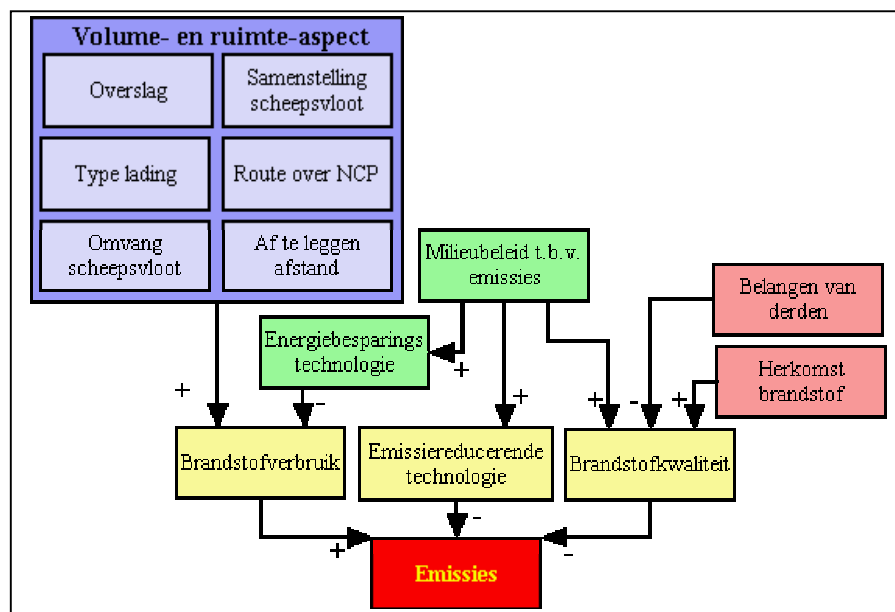
- af te leggen afstand,
- belangen van derden,
- brandstofkwaliteit,
- brandstofverbruik,
- emissies,
- emissieverminderende technologie,
- energiebesparingstechnologie,
- herkomst brandstof,
- milieubeleid t.b.v. emissies,
- omvang scheepsvloot,
- overslag,
- route over water,
- samenstelling scheepsvloot,
- type lading.

Deze factoren zijn opgenomen in het causaal diagram van figuur 4.1.

#### 4.2.2 Causale relaties

De causale relaties uit figuur 4.1 zullen hieronder worden toegelicht. De specificatie van de causale relaties in het conceptueel model zal hieronder voor iedere relatie apart worden besproken. Een positieve causale relatie krijgt een plusteken, wat inhoudt dat een toename van de variabele vóór de pijl ook een toename van de variabele achter de pijl teweeg zal brengen. Anderzijds zal een afname van de variabele vóór de pijl zorgen voor een afname van de variabele achter de pijl.

Een negatieve causale relatie krijgt een minteken. Dit betekent dat een toename van de variabele vóór de pijl zal leiden tot een afname van de variabele achter de pijl. Daarentegen zal een toename van de variabele achter de pijl het gevolg zijn van een afname van de variabele vóór de pijl.



Figuur 4.1. Causaal diagram voor de emissies in de scheepvaartsector.

*Brandstofverbruik* → *Emissies*: +

Naarmate meer brandstof wordt verbruikt, zullen er meer verbrandingsgassen geëmitteerd worden naar de lucht. De emissie van broeikasgassen, verzurende emissies en andere luchtverontreinigende stoffen is direct gerelateerd aan de hoeveelheid energie die nodig is voor de verplaatsing over het water.

*Brandstofkwaliteit* → *Emissies*: -

Naarmate de kwaliteit van de brandstof beter is, zullen bepaalde emissies lager zijn. De kwaliteit van brandstof wordt bepaald door de samenstelling ervan. Als de brandstof minder verontreinigingen en lagere gehalten van bepaalde chemische stoffen heeft, zal dat ook een positief effect hebben op de samenstelling van de verbrandingsgassen.

*Belangen van derden* → *Brandstofkwaliteit*: -

Naarmate er meer met de belangen van de chemische en verfindustrie rekening wordt gehouden, zal de kwaliteit van de brandstof slechter zijn. De olieraffinaderijen nemen namelijk afval- en restproducten af van de chemische industrie en verfindustrie om deze producten te mengen met hun olieproducten. Wanneer er regelgeving zou komen ten aanzien van het gebruik van stookolie in de scheepvaart, dan zullen de olieraffinaderijen wel een andere afzetmarkt proberen te vinden voor hun vervuilende stookolie. Daarnaast zou er regelgeving kunnen ontstaan over het mengen van chemisch afval, waardoor de kwaliteit van de brandstof hoger kan worden. [Ofedal et al., 1996]

*Emissieverminderende technologie* → *Emissies*: -

Naarmate er meer (nieuwe) technologie aan de emissiebron of (nieuwe) 'end of pipe'-technologie ingezet worden, zullen emissies naar de lucht verminderd worden. Er bestaan reeds nieuwe technieken ter vermindering van bepaalde emissies, die zich nog in een 'pilot' fase bevinden. Deze technieken worden om technische en economische redenen (nog) niet overal toegepast (zie hoofdstuk 6 voor deze verbeteringsmogelijkheden).

*Milieubeleid t.b.v. emissies* → *Energiebesparingstechnologie*: +

Naarmate de overheid een meer actief milieubeleid voert ter vermindering van emissies door de scheepvaartsector, zal de scheepvaart meer geneigd zijn om (nieuwe) energiebesparingstechnologie te introduceren en te gebruiken. Door stimulans vanuit de overheid -bijvoorbeeld door het geven van subsidies- zal de scheepvaartsector meer in Research & Development willen investeren door de (gedeeltelijke) opheffing van financiële barrières. Ook wanneer de overheid besluit om

emissieplafonds vast te stellen, zal de scheepvaart manieren moeten zoeken om de norm niet te overschrijden. Het aanwenden van energiebesparende technieken is een mogelijkheid om de norm te halen.

*Milieubeleid t.b.v. emissies → Emissieverminderende technologie: +*

Naarmate er meer regelgeving is met betrekking tot bijvoorbeeld emissie-eisen, zal de scheepvaart meer geneigd zijn om (nieuwe) emissiereducerende technologie te introduceren en te gebruiken. Door de verplichting van de overheid om aan de gestelde emissienormen te voldoen, zal de scheepvaartsector willen/moeten investeren in nieuwe technologie ter vermindering van emissies.

*Milieubeleid t.b.v. emissies → Brandstofkwaliteit: +*

Naarmate er meer regelgeving is met betrekking tot bijvoorbeeld eisen voor de brandstofkwaliteit (zoals een maximale zwavelgehalte), zal de kwaliteit van door de scheepvaart gebruikte brandstoffen toenemen. De overheid kan met behulp van Nederlandse wetgeving een beperkt aantal eisen stellen aan de kwaliteit van brandstof. Op deze manier kan de scheepvaartsector verplicht gesteld worden om bepaalde brandstoffen te gebruiken. Maar een internationale aanpak voor milieubeleid zou meer impact hebben op de brandstofkwaliteit.

*Energiebesparingstechnologie → Brandstofverbruik: -*

Het gebruik van energiebesparende technieken, als efficiëntere motoren, zal leiden tot een vermindering van de directe brandstofconsumptie. Door bijvoorbeeld motoren met een hoger rendement te gebruiken is voor een zelfde hoeveelheid opgewekt vermogen minder brandstof nodig in vergelijking met motoren die een lager rendement hebben (zie hoofdstuk 6 voor deze verbeteringsmogelijkheden).

*Herkomst brandstof → Brandstofkwaliteit: +*

Naarmate brandstof afkomstig is van een olieraffinaderij die ontzwaveling toepast, het raffinageproces minder ver doorvoert of minder/geen 'cutterstock' toevoegt, zal de kwaliteit van de brandstof hoger liggen. De kwaliteit is mede afhankelijk van de ruwe olie uit een oliebron en van de wijze waarop het olieraffinageproces heeft plaatsgevonden. Dit zal per raffinaderij verschillen.

*Omvang scheepsvloot → Brandstofverbruik: +*

Naarmate het aantal schepen in de scheepsvloot groter is, zal de hoeveelheid verbruikte brandstoffen hoger worden. Meer schepen verstoken ook meer brandstof. De hoeveelheid per schip is afhankelijk van het type schip en type lading.

*Samenstelling scheepsvloot → Brandstofverbruik: +*

Naarmate de scheepsvloot bestaat uit meer schepen met lichtere motoren of kleinere schepen, zal het brandstofverbruik per vaartuigkilometer afnemen. Hierbij is ook de leeftijd van het schip van belang. Nieuwere schepen zullen meer geoptimaliseerd zijn op het brandstofverbruik dan oudere schepen. De verdeling van de scheepsvloot naar type wordt ook wel een verdeling naar scheepsgrootteklasse genoemd. Deze verdeling vindt plaats op basis van de GRT (Gross Registered Tonnes) voor alle schepen behalve containerschepen en voor containerschepen op basis van TEU (Twenty feet Equivalent Unit: internationale standaardmaat). Wanneer het tonnage van een schip hoger is, zal een schip meer brandstof verbruiken om verplaatsing mogelijk te maken. Uit gegevens blijkt ook dat het energiegebruik per vaartuigkilometer toeneemt met het laadvermogen. [Janse, 1994] Hierbij moet de kanttekening gemaakt worden dat grotere schepen meer goederen kunnen vervoeren, waardoor grotere schepen een hogere energie-efficiëntie per tonkilometer kunnen hebben.

*Af te leggen afstand → Brandstofverbruik: +*

Naarmate de af te leggen afstand over het water langer is, zal er meer brandstof nodig zijn voor de verplaatsing. Afhankelijk van de energie-efficiëntie verbruikt een schip een bepaalde hoeveelheid brandstof per afgelegde kilometer. Het verband tussen afstand en brandstoffen is proportioneel.

*Type lading → Samenstelling scheepsvloot: +*

Naarmate schepen meer (zware) goederen en in grotere hoeveelheden per reis vervoeren, zullen er meer schepen met een hoger tonnage (en dus met zwaardere motoren) ingezet worden. Goederen die over een lange afstand en tevens in grote hoeveelheden verplaatst moeten worden, worden vervoerd met bijvoorbeeld (mammoet)tankers en containerschepen. Transport over korte afstanden en in kleinere hoeveelheden kan plaatsvinden met bijvoorbeeld coasters. [Hulskotte, 2000]

*Overslag → Emissies: +*

Naarmate er meer overslag plaatsvindt, zal de scheepvaartintensiteit op de overslaglocatie hoger zijn en dus ook de emissie van verbrandingsgassen. Op locaties waar veel overslag plaatsvindt, zullen veel schepen manoeuvreren en met draaiende motor stilstaan. Doordat de scheepvaartintensiteit hoger is bij overslaghavens, zal ook de concentratie van luchtverontreinigende stoffen hoger zijn.

*Route over water → Brandstofverbruik: +*

Naarmate de gunstigere routes over het NCP of binnenwateren met betrekking tot stromingen en windrichtingen worden bevaren, zal het brandstofverbruik lager zijn. Het brandstofverbruik is onder andere afhankelijk van natuurlijke omstandigheden. Bij stroom tegen zal er meer brandstof nodig zijn om een kilometer te varen dan wanneer het schip een meegaande stroom heeft. Een vergelijkbare situatie geldt ook voor de windrichting op zee en waterwegen.

### 4.2.3 Afbakening van conceptueel model

Het behandelen van het gehele conceptueel model zal heel veel tijd in beslag nemen. Daarom wordt in dit rapport de nadruk gelegd op een aantal variabelen en de bijbehorende causale relaties. Dit zijn de variabelen:

- brandstofverbruik,
- emissies,
- brandstofkwaliteit,
- milieubeleid ten behoeve van emissies,
- energiebesparingstechnologie,
- emissiereducerende technologie.

De overige variabelen en causale relaties van het conceptueel model zullen voor zover mogelijk kort behandeld worden.

## 4.3 Gebruikte brandstoffen

### 4.3.1 Typen brandstof en bijbehorende kwaliteit

Alle scheepsbrandstoffen ontstaan uit de delfstof aardolie, die bestaat uit koolwaterstoffen en andere elementen zoals zuurstof, stikstof en verbindingen met zwavel. Daarnaast kunnen er nog andere stoffen vermengd zijn, zoals (zware) metalen. Het olieraffinageproces omvat de destillatie van ruwe olie in een aantal fracties op basis van dichtheid. De lichtere fracties hebben een lagere dichtheid en bevatten minder onzuiverheden dan de zwaardere fracties. [Hulskotte, 2000] De samenstelling van de brandstof is van grote invloed op de samenstelling van de geëmitteerde verbrandingsgassen. Naarmate brandstoffen vollediger worden verbrand, bevatten de verbrandingsgassen minder verontreinigingen. De relatie tussen brandstofverbruik en CO<sub>2</sub>-emissie is afhankelijk van de C/H-verhouding en de mate van verbranding.

De volgende twee typen bunkerbrandstoffen (zie volgende alinea voor definitie) worden het meest gebruikt in de scheepvaartsector: zware stookolie en scheepsgasolie. Het totaal verbruik aan scheepsbrandstoffen wereldwijd bedraagt gemiddeld 130-150 miljoen ton per jaar. Hiervan neemt zware stookolie gemiddeld 110-130 miljoen ton per jaar in. Scheepsgasolie is verantwoordelijk voor gemiddeld 20-40 miljoen ton per jaar. Gemiddeld bedraagt het percentage scheepsgasolie 15%-20% van alle bunkerbrandstoffen wereldwijd.<sup>1</sup> De verschillende typen brandstoffen zullen hieronder apart

<sup>1</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

voor de zeescheepvaart en de binnenvaart behandeld worden.

### ***Brandstoffen in de zeescheepvaart***

In de zeescheepvaart wordt voornamelijk gebruik gemaakt van twee typen brandstof, namelijk zware stookolie en scheepsgasolie (ook wel dieselolie genoemd). Beiden typen vallen onder de categorie 'gebunkerde brandstoffen'. Hiervan luidt de door het CBS en het IPCC gehanteerde definitie: 'brandstoffen die worden ingenomen door schepen en vliegtuigen en worden gebruikt ten behoeve van internationaal vervoer.' [Geurs et al., 1998]

De eerste brandstof, zware stookolie, is een residuaal olieproduct, dus olie die aan het eind van het olieraffinageproces overblijft (een soort restproduct). Dit wordt ook wel Heavy Fuel Oil (HFO) genoemd. Op het moment is de trend dat olieraffinaderijen proberen om het raffinageproces steeds verder door te voeren zodat meer olieproducten met een hogere toegevoegde waarde worden verkregen. Dus de hoeveelheid residuale olie wordt steeds minder. Het gevolg hiervan is dat de concentratie van de onzuiverheden in zware stookolie steeds hoger wordt. Onder deze onzuiverheden vallen onder andere (zware) metalen en zwavel. Doordat de dichtheid van zware stookolie hoog is, is het noodzakelijk dat voor gebruik als brandstof dit olieproduct verdund wordt. Het verdunnen gebeurt met zogenaamde 'cutterstock'. Dit verdunningsmiddel bestaat uit chemische afval en restproducten van de (petro) chemische industrie en verfindustrie, zoals bijvoorbeeld afgewerkte motorolie. De samenstelling van de 'cutterstock' is onbekend bij de 'buitenwereld' evenals de herkomst. Hierdoor kunnen bij verbranding naast nitro-PAK's, PCB's (PolyChloorBifenyl) en dioxines ook onbekende milieugevaarlijke stoffen vrijkomen. Tevens wordt de stookolie verwarmd voordat de stookolie de verbrandingsruimte in gaat. Deze verwarming zorgt voor een verlaging van de viscositeit en dus een makkelijkere verbranding. [STOWA, 1998; Hulskotte en Koch, 2000]

De kwaliteit van zware stookolie is afhankelijk van de oliebron, het olieraffinageproces en de samenstelling van het verdunningsmiddel. De eerste stap van het raffinageproces bestaat uit het scheiden van de ruwe olie op basis van kookpunten: nafta, kerosine, diesel en een atmosferisch residu. Daarna wordt hydrogenatie toegepast wat inhoudt dat er waterstofmolekulen aan de petroleummolekulen worden toegevoegd. Deze waterstofbehandeling rangschikt de molekulen chemisch op een andere manier, zodat zwavel en stikstof verwijderd worden en aromatische bestanddelen verzadigd geraken. De organisch gebonden zwavel in aardolie kan katalytisch worden gereduceerd tot zwavelwaterstof (H<sub>2</sub>S). Op deze manier vindt ontzwaveling plaats. Naarmate er minder zwavel in de brandstof zit, zal dit moeilijker te verwijderen zijn. Dit ontzwavelingsproces wordt uitgevoerd op de hoogwaardige olie-producten en niet op residuale stookolie, zodat al het zwavel in de stookolie blijft. [Sefer, 1993; Anonymous, 1999]

De belangrijkste emissies van deze brandstof zijn CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> fijn stof en NO<sub>x</sub>. De CO<sub>2</sub>-emissie is proportioneel aan de consumptie van brandstof. De omvang van de CO<sub>2</sub>-emissie per eenheid verbrande hoeveelheid brandstof is een constante, omdat het koolstofgehalte in de gangbare fossiele brandstoffen nauwelijks varieert. [NIRIA, 2000] De relatief hoge SO<sub>2</sub>-emissie is toe te schrijven aan het hoge zwavelgehalte in stookolie. Er is namelijk een lineair verband tussen zwavelgehalte en SO<sub>2</sub>-emissie. Twee factoren bepalen het zwavelgehalte in de brandstof: het natuurlijk zwavelniveau en het raffinageproces. [Bunkerworld, 2001] Het gemiddelde zwavelgehalte in de huidige bunkerbrandstoffen bedroeg in 2000 circa 2,7% (massaprocenten). Ruim 80% van de zware stookolie had in 2000 een zwavelgehalte tussen de 2% en 4% (massaprocenten). Deze gegevens zijn gebaseerd op 40-50% van de hoeveelheid van alle bunkerbrandstoffen (HFO) wereldwijd en kan dus representatief genoemd worden voor de totale mondiale bunkerbrandstoffen.<sup>2</sup> De emissie van fijn stof is afhankelijk van het zwavelgehalte, het gehalte aan moeilijk te verbranden stoffen en een aantal machinale factoren (zie paragraaf 4.4). [Dings et al., 1997]

De NO<sub>x</sub>-emissie wordt voornamelijk bepaald door 'machinale' factoren zoals een hoge verbrandingstemperatuur, lange verblijfstijden en een grote overmaat aan lucht (zie ook paragraaf

---

<sup>2</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

4.4). Toch heeft de kwaliteit van HFO ook effect op de vorming van NO<sub>x</sub> en fijn stof. Verontreiniging van de brandstof met aromaten zal een minder goede verbranding opleveren. Door het hoger aromatisch karakter van HFO worden de ontbrandings- en verbrandingskarakteristieken gereduceerd, waardoor de verbranding minder goed plaatsvindt. Dit heeft een toename van emissies tot gevolg. De toename van het aromatisch karakter van de brandstof is voornamelijk te wijten aan de reeds genoemde trend van een toenemende vraag van de markt naar hoogwaardigere olieproducten. Ook de dichtheid van de brandstof en het cetaangehalte zijn van invloed op de omvang van de emissies (de laatste variabele is met name belangrijk voor de vorming van HC en CO). [Oftedal et al., 1996; Ullman, 1994]

Het tweede type brandstof dat veel in de zeescheepvaart gebruik wordt, is scheepsgasolie. Dit wordt ook wel Marine Diesel Oil (MDO) genoemd. MDO is één van de gedestilleerde producten die vrijkomt bij het olieraffinageproces. Marine Diesel Oil is een lichtere fractie van zware stookolie en is in tegenstelling tot zware stookolie reeds licht vloeibaar. Er hoeft dus geen verdunningsmiddel toegevoegd te worden aan de dieselolie, waardoor beter bekend is wat de samenstelling van MDO is. Ook is de uitstoot van microverontreinigingen, als zwaveldioxide en stikstofoxiden, door de chemische samenstelling van de Marine Diesel Oil lager dan bij zware stookolie. [Hulskotte en Koch, 2000; STOWA, 1998] Het zwavelgehalte in scheepsgasolie bedraagt maximaal 1,5% (massaprocenten) in de zeescheepvaart.<sup>3</sup>

Ook al kan in sommige motoren zowel HFO als MDO gestookt worden, HFO wordt toch in grotere hoeveelheden gestookt. In 1990 was de verhouding van MDO en HFO in de mondiale voorraad van bunkerbrandstoffen voor de zeescheepvaart circa 1:4. [Van Velzen en Wit, 2000] Voor 1996 geldt een verhouding van 1:2,6. [IMO, 2000] De reden dat er meer zware stookolie wordt gebruikt in de zeescheepvaart is van economische aard. Door de mindere kwaliteit is zware stookolie goedkoper dan scheepsgasolie. In Nederlandse zeehavens wordt jaarlijks gemiddeld 14 miljard liter hoogzwavelige bunkerbrandstoffen opgeslagen door zeeschepen van verschillende nationaliteiten. Ter vergelijking kan vermeld worden dat het wegverkeer gemiddeld 2,5 miljard liter laagzwavelige brandstoffen verbruikt. [TLN, 1999: P71]

### ***Brandstoffen in de binnenvaart***

Voor de nationale binnenvaart wordt enkel gebruik gemaakt van scheepsgasolie (MDO) en voor de binnenvaart ten behoeve de Rijnvaart en andere internationale binnenvaart wordt zowel scheepsgasolie als zware stookolie (HFO) gestookt (zware stookolie heeft maar een zeer klein aandeel en wordt alleen bij rivier-zeeschepen en zeer grote binnenschepen toegepast). In 1995 was de verhouding tussen binnenlands afgezette brandstoffen en gebunkerde brandstoffen op Nederlands grondgebied circa 1:2. [Geurs et al., 1998] De door de binnenvaart gebruikte scheepsgasolie heeft een zwavelgehalte van 0,2% (massaprocenten) oftewel 2.000 parts per million (ppm).<sup>3</sup> [DGG, 1998]

### **4.3.2 Herkomst**

Zoals in de vorige subparagraaf reeds is vermeld, is de kwaliteit van zware stookolie onder andere afhankelijk van de oliebron en het olieraffinageproces. In ruwe olie zit al een natuurlijke percentage van verontreinigingen. Dit percentage bepaalt de uiteindelijk verontreinigingen in de verbrandingsgassen van de olie-derivaten. Ook het raffinageproces is van invloed op de samenstelling en omvang van de emissies. Hoe verder het hydrogenatieproces wordt doorgevoerd, des te minder verontreinigingen zullen de olie-producten bevatten. Een andere laatste belangrijke factor is de samenstelling van eventuele additieven aan de olieproducten (onder andere 'cutterstock').

### **4.3.3 Belangen van derden**

De chemische industrie zet haar rest- en afvalproducten af aan de olie-industrie. De chemische industrie is blij dat zij deze producten kwijt kan aan de olie-industrie. En de olie-industrie zal deze producten voor weinig geld kunnen verkrijgen om als 'cutterstock' toe te passen. Daarom zal

<sup>3</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

medewerking omtrent de samenstelling van deze rest- en afvalproducten niet vrijwillig verleend worden door de chemische industrie en de olie-industrie.

Er zijn in Nederland reeds regels omtrent de omgang met sommige rest- en afvalproducten. Er bestaat reeds normstelling met betrekking tot halogenen en PAK's. Op basis van de huidige wijze van normstelling kan niet voorkomen worden dat er normopvulling plaatsvindt. Dit houdt in dat er stoffen aan de stookolie gevoegd worden totdat de gestelde norm is bereikt (zie ook hoofdstuk 9).<sup>4</sup>

## 4.4 Gebruikte technieken

In deze paragraaf worden de technieken besproken die veelvuldig gebruikt worden in de zeescheepvaart en de binnenvaart, waarbij met name wordt gekeken naar de verschillende gebruikte motortypen. Ook wordt gekeken naar de verschillende combinaties van motortype en brandstoftype en de daarbij behorende emissiefactoren. Andere belangrijke factoren die de omvang van de emissie bepalen zijn de leeftijd van de motor, het ontwerp van het brandstofsysteem en de condities met betrekking tot de werking van de machine.

### 4.4.1 Technieken in de zeescheepvaart

De aandrijving van schepen op het Nederlands Continentaal Plat gebeurt op een aantal manieren. In tabel 4.1 is een overzicht gegeven van de verdeling van de typen motoren van zeeschepen op de Noordzee. Hierbij is ook het rendement gegeven (zie ook tabel 6.3) en de NO<sub>x</sub>-emissiefactoren.

Tabel 4.1. De verdeling van het aantal scheepsmotoren op de Noordzee naar type motor.

[Hulskotte en Koch, 2000: Lloyd's data voor schepen op de Noordzee; Feimann et al., 2000]

Motortype	Percentage (%)	Rendement (%)	Toerental (RPM)	NO <sub>x</sub> -emissiefactor (gr/kWh)
Slow speed diesel	66	50	50-120	14
Medium speed diesel	32	47	400-1000	10-11
Overige vormen van aandrijving	2	26-39	diverse	diverse

Zoals in tabel 4.1 aangegeven is, wordt de meerderheid van alle zeeschepen aangedreven met behulp van speciale scheepsdieselmotoren, die ook worden gebruikt voor de elektriciteitsproductie op het schip. Deze motoren worden bij de zeescheepvaart onderverdeeld in 'slow speed' motoren (SP) en 'medium speed' motoren (MS). De 'slow speed' motoren zijn bedoeld voor grotere schepen die langere afstanden moeten afleggen, zoals (mammoet)tankers en containerschepen. De grotere zeeschepen kunnen twee motoren hebben van ieder 1000 kW.<sup>5</sup>

Het nadeel van deze motoren is dat ze groot en zwaar zijn. Daarentegen zijn ze wel relatief zuinig. Het gemiddelde rendement bedraagt circa 50%. Zowel zware stookolie, als scheepsgasolie kan gestookt worden in deze motoren. Het tweede type motoren, 'medium speed' motoren, wordt gebruikt door de gemiddeld kleinere schepen die kortere afstanden varen, zoals coasters en veerboten. Het gemiddelde rendement van de MS-motoren bedraagt circa 47%. [Hulskotte en Koch, 2000]

Naast bovenstaande typen dieselmotoren wordt op kleinere schaal ook gebruik gemaakt van andere vormen van aandrijving, zoals aandrijving met behulp van een gas- of stoomturbine. In een gasturbine (TB) wordt brandstof gestookt om vervolgens de verbrandingsgassen naar een turbine te leiden. Hierbij is er dus direct contact tussen de vrijgekomen verbrandingsgassen en de turbinebladen. Het rendement is redelijk laag namelijk 26-39%, afhankelijk van het motorvermogen [Dijkstra, 2001a]. De emissie van CO<sub>2</sub> is hoog, maar de emissie van NO<sub>x</sub> is laag. Tevens is de emissie van SO<sub>2</sub> te

<sup>4</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

<sup>5</sup> Interview met dhr. H.L. Baarbé van de directie KVI over scheepvaart en milieu op woensdag 2 mei 2001, Ministerie van VROM, Den Haag

verwaarlozen, omdat het gebruik van een gasturbine schone brandstof vereist. [Ofstedal et al., 1996; Hulskotte en Koch, 2000] Door het gebruik van brandstoffen met een hogere kwaliteit zullen de brandstofkosten hoger zijn dan bij de toepassing van conventionele dieselmotoren.

In een stoomturbine (ST) wordt brandstof gestookt om water om te zetten in stoom, die via pijpen wordt geblazen tegen de turbinebladen. Bij deze vorm van aandrijving is er dus geen direct contact tussen de vrijgekomen verbrandingsgassen en de turbinebladen. Het rendement van deze motor bedraagt 30-37%. [Hulskotte en Koch, 2000; Dijkstra, 2001a]

Ook een gasmotor is een alternatief voor de traditionele dieselmotor. De specifieke CO<sub>2</sub>-emissie is lager wanneer de brandstof een lagere koolstof/waterstof ratio heeft, zoals bijvoorbeeld aardgas. Dit geldt ook voor andere emissies. [Ofstedal et al., 1996] Het nadeel van gasmotoren is dat de energie-efficiëntie relatief laag is (37-47%).

In tabel 4.2 zijn alle mogelijke combinaties van brandstoftype en motortype bij elkaar gezet. Uit de tabel blijkt dat de gasturbine en HS-motor (enkel voor binnenvaart) de enige motortype zijn die op één brandstof werken. In de vorige paragraaf is reeds vermeld dat in de meeste scheepsmotoren Heavy Fuel Oil wordt gestookt om economische redenen. Deze motoren zijn voornamelijk de slow speed motoren van grote zeeschepen. Op kleinere zeeschepen wordt ook wel scheepsgasolie gestookt.

Tabel 4.2. Overzicht van de mogelijke combinaties van brandstoftype en motortype. [Hulskotte en Koch, 2000]

Brandstoftype \ Motortype	MDO	HFO
Slow speed diesel (SP)	X	X
Medium speed diesel (MS)	X	X
High speed diesel (HS)	X	
Stoomturbine (ST)	X	X
Gasturbine (TB)	X	

Allereerst moet over de emissies van de motoren vermeld worden dat er een positief causaal verband is tussen de consumptie van de brandstof en alle emissies naar de lucht. Hoe hoger het brandstofverbruik is, des te hoger zijn ook de emissies naar de lucht. De emissies zijn dus sterk afhankelijk van de energie-efficiëntie van de gebruikte motoren.

De gebruikte dieselmotoren hebben relatief lage emissies van CO<sub>2</sub>, CO, HC en PM<sub>10</sub> per kilogram brandstof door de overmaat aan lucht tijdens het verbrandingsproces. [Ullman, 1994] Zoals in het vorige hoofdstuk reeds is aangegeven, komen bij het verbrandingsproces stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) vrij, die relatief hoog zijn bij de scheepsdieselmotoren. De chemische reactie is als volgt: de stikstof (N) in de verbrandingslucht in de verbrandingskamer oxideert tot NO<sub>x</sub> ten gevolge van de hoge temperatuur en druk. De NO<sub>x</sub>-formatie heeft een positief causaal verband met het maximale temperatuurniveau (door bevordering van het zowel het chemische evenwicht als de reactiesnelheden zelfs exponentieel), de partiële druk van zuurstof en de tijdsduur van de temperatuurspieken tijdens de verbranding. De verbrandingstemperatuur is sterk afhankelijk van de lucht/brandstof ratio en de temperatuur van de lucht bij ontbranding. In de afgelopen 30 jaar is de maximale verbrandingstemperatuur en -druk toegenomen wat heeft geresulteerd in een hogere energie-efficiëntie. De keerzijde hiervan was de hogere emissie van NO<sub>x</sub>. Ook de verblijftijd van het verbrandingsmengsel in de verbrandingskamer is van belang voor de vorming van NO<sub>x</sub>, die tijdsafhankelijk is. De reactie voor de vorming van NO<sub>x</sub> neemt een bepaalde tijd in beslag. Naarmate de verbrandingscyclus langer is, zal de temperatuur in de verbrandingskamer langer geschikt zijn voor de vorming van NO<sub>x</sub>. Er zal dan meer NO<sub>x</sub> gevormd worden. Met name bij Slow Speed motoren is de verblijftijd groot, zodat er relatief meer NO<sub>x</sub> uitgestoten wordt. Daarnaast kan de verblijftijd van het verbrandingsmengsel ook een positief effect hebben op emissies ten gevolge van een meer volledige verbranding. <sup>6</sup> [Dings et al., 1997; NIRIA, 2000; Dijkstra, 2001a]

<sup>6</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag



De uitstoot van fijn stof is naast de kwaliteit van de brandstof ook afhankelijk van een aantal machinale factoren zoals de kwaliteit van het injectiesysteem. Hieronder vallen onder andere de inspuitdruk, de mate van verneveling, het injectietijdstip- en hoeveelheid. [Dings et al., 1997]

Tabel 1 van bijlage 4.A geeft een overzicht van de belangrijkste emissiefactoren in de zeescheepvaart. Hierbij zijn alle mogelijke combinaties van motortype en brandstoftype bekeken, zoals die zijn weergegeven in tabel 4.2. Met behulp van deze gegevens kunnen de emissies naar de lucht gekwantificeerd worden. Dit wordt berekend door de hoeveelheid brandstof (afkomstig van het CBS) te vermenigvuldigen met de bijbehorende emissiefactoren. In de meeste gepubliceerde rapporten wordt geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende motortypen en brandstoftypen. In deze publicaties wordt voor de berekeningen van emissies naar de lucht gebruik gemaakt van gemiddelde standaardwaarden (door het RIVM wordt voor gebunkerde brandstoffen gebruik gemaakt van de volgende waarden: voor CO<sub>2</sub> is dat 77 kg/GJ en voor NO<sub>2</sub> is dat 16,2 g/GJ). [Van den Brink, 2000]

#### 4.4.2 Technieken in de binnenvaart

Het type motor van grote binnenschepen is ongeveer gelijk aan het type motor in de zeescheepvaart. De motoren van kleine binnenschepen komen redelijk overeen met de turbodieselmotoren van zware vrachtwagens en hebben een vermogen van circa 300 kW. [Baarbé, 2001] Het grootste deel van het vermogen van de motoren in binnenschepen ligt tussen de 150-700 kW [Dings et al., 1997].

De motoren van binnenschepen hebben een hoger toerental dan de motoren in de zeescheepvaart: de bovengrens is rond de 2.000 toeren per minuut. De meeste binnenschepen hebben een toerental tussen de 1.500 en 2.000 toeren per minuut. Daarom wordt dit type motor ook wel een 'high speed' motor (HS-motor) genoemd. Er worden ook wel MS-motoren ingezet in de binnenvaart. Het rendement van HS-motoren bedraagt 40-43%. Het verschil met zeeschepen is dat binnenschepen niet met een constant toerental varen. [Dings et al., 1997; Dijkstra, 2001a] Eerdergenoemde gegevens omtrent emissiefactoren gelden ook voor de motoren van de binnenschepen.

Het grootste gedeelte van alle binnenschepen vaart op scheepsgasolie. De constructie van de motor is de reden dat praktisch alleen op scheepsgasolie gevaren wordt. Alleen in zee-rivierschepen en andere zeer grote binnenschepen wordt zware stookolie gebruikt. Tevens zijn de motoren in de binnenvaart al redelijk zuinig in vergelijking met motoren in de zeescheepvaart (zie onderstaande tabel 4.3). De rendementen zijn wel lager van HS-motoren dan de dieselmotoren in de zeescheepvaart (respectievelijk rond de 40% en 50%).<sup>7</sup>

Tabel 4.3. *Vergelijking tussen het energiegebruik in de zeescheepvaart en de binnenvaart op Nederlands grondgebied in 1995. [Feimann et al., 2000]*

	Energiegebruik (PJ)	Vervoersprestatie (miljoen tonkm)	Energiegebruik (MJ/tonkm)
Zeescheepvaart	14	11929	0,71
Binnenvaart	23	32246	1,17

Bij bovenstaande tabel moet de kanttekening gemaakt worden dat zeeschepen veel energie gebruiken wanneer ze stilstaan in de havens. Dit stationair energiegebruik is ook meegenomen bij het energiegebruik in kolom 2 van tabel 4.3.

## 4.5 Volume-aspect

### 4.5.1 Type lading

De binnenvaart en zeescheepvaart vervoeren drie verschillende typen goederen, namelijk droge bulk, natte bulk en stukgoed. Het eerste type, droge bulk, bestaat uit zware en droge stoffen die in grote hoeveelheden getransporteerd worden. Hieronder vallen de goederengroepen agribulk, kolen, ijzererts

<sup>7</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

en overige droge bulk. Een goederengroep is een verzameling van soortgelijke producten. Met natte bulk worden zware en vloeibare stoffen bedoeld, die eveneens in grote hoeveelheden worden getransporteerd. Dit tweede type omvat de goederengroepen ruwe olie, olieproducten en chemische producten. De stukgoederen worden in containers vervoerd. In tabel 1 van bijlage 4.B is een uitgebreider overzicht gegeven van de belangrijkste producten die behoren bij de verschillende typen en groepen goederen. In de volgende paragraaf wordt het type lading van de getransporteerde goederen in verband gebracht met het gebruikte scheepstype.

#### **4.5.2 Omvang en samenstelling scheepsvloot**

De omvang van de scheepsvloot van zowel de binnenvaart als de zeescheepvaart is van belang voor de hoeveelheid verstookte brandstof. Hierbij is het niet van belang of het de nationale of de internationale scheepvaart betreft, maar het is van belang of de uitstoot van verbrandingsgassen op wateren op Nederlands grondgebied dan wel op het NCP plaatsvindt. Daartoe is het nodig om te weten hoeveel schepen op de Nederlands wateren varen. Aangezien dit rapport zich richt op de emissies binnengaats op Nederlands grondgebied en buitengaats op het NCP, wordt geen nadruk gelegd op emissies die elders op de Noordzee plaatsvinden. Naast de omvang is ook het type van de gebruikte schepen van belang. Sommige schepen zijn energiezuiniger dan anderen en brengen daartoe minder emissie van stoffen met zich mee. Het energiegebruik is ook afhankelijk van de leeftijd van het schip, omdat nieuwere schepen meer op de huidige stand van techniek zijn gebouwd (zie voor de motorbouwjaren in de binnenvaart tabel 6.8).

##### ***Vlootsamenstelling zeescheepvaart***

De scheepsvloot in de zeevaart bestaat mondiaal uit ongeveer 40.000 schepen. Hiervan voeren in 1999 ruim 500 zeeschepen onder Nederlandse vlag. [CBS, 2001] De Nederlandse zeescheepvaartsector is voor gemiddeld 0,5% verantwoordelijk voor het Bruto Nationaal Product. Dagelijks bevinden zich gemiddeld 347 zeeschepen op het Nederlands Continentaal Plat. [DGG, 1998; TLN, 1999]

De zeescheepsvloot bestaat uit een verscheidenheid aan typen schepen. Door het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (GHR) is een indeling gemaakt naar goederengroep en scheepsomvang. Deze indeling is weergegeven in tabel 4.4. Het maximale laadvermogen voor schepen die droge en natte bulk vervoeren, is uitgedrukt in DeadWeight Tonnes (DWT). Voor de containervaart is het maximale laadvermogen uitgedrukt in Twenty feet Equivalent Unit (TEU). Dit is een internationale maat voor een container. [Harms, 2000] Globaal kan gezegd worden dat de schepen voor het transport van natte bulk relatief groter zijn dan voor het transport van droge bulk en stukgoed, met uitzondering van het transport van chemicaliën.

Tabel 4.4. Scheepstypen en -omvang in de zeescheepvaart in 1997. [Harms, 2000: GHR]

Goederengroep	Scheepstype	Maximaal laadvermogen
<b>Droge bulk</b>		
	'Kleine' bulk carriers	< 20.000 DWT
	Handysize	20.000 - 50.000 DWT
	Panamax	50.000 - 75.000 DWT
	Capesize	> 75.000 DWT
<b>Natte bulk</b>		
	<i>Olietankers</i>	
	Aframax	± 1000.000 DWT
	Suezmax	± 150.000 DWT
	VLCC (Very Large Crude Oil Tanker)	± 250.000 DWT
	<i>Olieproducten</i>	
	Kleine tankers	10.000 - 45.000 DWT
	Grote tankers	45.000 - 90.000 DWT
	<i>Chemicaliën</i>	
	Gemiddeld	< 5.000 DWT
<b>Containers</b>		
	Kustvaart	< 1.000 TEU
	Diepzeevaart	> 1.000 TEU

Bij het containertransport wordt er een onderscheid gemaakt tussen diepzeevaart en kustvaart. Met diepzeevaart worden grote intercontinentale goederenstromen bedoeld met een minimale capaciteit van 1.000 TEU en een maximale capaciteit 7.000 TEU. In de kustvaart kan er weer een tweedeling gemaakt worden in het type transport, namelijk shortsea transport en feeder transport. Shortsea transport betreft de intracontinentale korte-afstandsvervoer binnen Europa. Daarentegen valt al het voor- en natransport van en naar Rotterdam als onderdeel van intercontinentale goederenstromen onder het feeder transport.

#### ***Vlootsamenstelling binnenvaart***

De totale binnenvloot van België, Duitsland, Zwitserland, Frankrijk, Luxemburg, Polen en Nederland bedraagt tezamen circa 21.500 schepen [DGG, 1998]. Deze landen hebben allen een grote binnenvloot. Van deze schepen is circa 4.500 Nederlands [Dijkstra en Bekkers, 1999].

In de CBS-statistieken wordt voor binnenschepen een tweedeling gemaakt naar motorschepen en duwvaart. Bij de duwvaart is het gedeelte waar de lading zich bevindt en het gedeelte waar de motoren ten behoeve van de voortstuwing zich bevinden, van elkaar gescheiden. Het deel van het schip voor de aandrijving duwt als het ware het ladingsgedeelte (oftewel losse laadbakken) vooruit. De duwvaart wordt voornamelijk gebruikt voor transport van ijzererts en in mindere mate van andere goederen. [Harms, 2000] Bij motorschepen daarentegen zijn het voortstuwingsgedeelte en het gedeelte voor de lading niet apart. Er is ook nog een categorie van overige binnenschepen, waaronder passagiersschepen en -veren, baggerschepen, sleepvaart en vissersschepen vallen. [Dijkstra en Dings, 2000] In tabel 4.5 is een overzicht gegeven van verschillende typen binnenschepen en het bijbehorend energiegebruik. In de kolom 'soort vaart' wordt een indeling gemaakt van het type binnenschip naar afkomst en locatie. Belangrijk is om te weten dat de categorie 'in Nederland' betrekking heeft op het binnenvaartverkeer op Nederlands grondgebied.

Tabel 4.5. Overzicht van typen binnenschepen, vervoersprestatie en energiegebruik in 1998.  
[Dijkstra en Dings, 2000: CBS]

Scheepstype	Soort vaart	Vervoersprestatie (miljoen tonkm)	Totaal energiegebruik (PJ)	Energiegebruik (MJ/tonkm)
Duwvaart	1. Binnenlands	925	0,5	0,54
	2. Internationaal	13.636	4,2	0,31
	3. Alle schepen (1+2)	14.561	4,7	0,32
	4. Nederlandse schepen	nb	2,7	nb
	5. In Nederland	8.030	2,8	0,35
Sleepschepen	1. Binnenlands	190	nb	nb
	2. Internationaal	154	nb	nb
	3. Alle schepen (1+2)	344	nb	nb
	4. Nederlandse schepen	nb	nb	nb
	5. In Nederland	269	nb	nb
Motorschepen	1. Binnenlands	7.762	5,4	0,70
	2. Internationaal	67.676	38,6	0,57
	3. Alle schepen (1+2)	75.438	44,0	0,58
	4. Nederlandse schepen	nb	29,3	nb
	5. In Nederland	32.414	19,9	0,61
Totaal	1. Binnenlands	8.877	6,0	0,68
	2. Internationaal	81.465	42,7	0,52
	3. Alle schepen (1+2)	90.342	48,7	0,54
	4. Nederlandse schepen	57.618	32,1	0,56
	5. In Nederland	40.713	22,6	0,56

nb = niet bekend

Naast een indeling op basis van voortbeweging kan er ook een indeling gemaakt worden naar laadvermogen. Dit is in tabel 4.6 weergegeven. Tevens is hierbij het energiegebruik per vaartuigkilometer van de verschillende binnenschepen gegeven.

Tabel 4.6. Het type schip en het energiegebruik per laadvermogenklasse in de binnenvaart.  
[Janse en Roos, 1994; afkomstig van NEA]

Voertuigsoort	Gem. energiegebruik (MJ/vaartuigkm)	Laadvermogen (ton)	Type binnenschip
Kleine binnenschepen	140	50 - 249	Klein schip
		250 - 449	Spits
		450 - 649	Kempenaar
		650 - 849	Hagenaar
Middelgrote binnenschepen	300	850 - 1.049	Dortmunder
		1.050 - 1.249	Verlengde Dortmunder
		1.250 - 1.799	Rhein-hernekanaal
Grote binnenschepen	410	1.800 - 3.199	Groot Rijnschip
		3.200 - 6.500	2-Baks duwvaart
		> 6.500	4-baks duwvaart

### 4.5.3 Af te leggen afstanden

Naast de omvang en de samenstelling van de vloot is de hoeveelheid afgelegde kilometers ook van belang voor de hoeveelheid emissies. Dit wordt de verkeersprestatie genoemd. De in dit rapport gehanteerde definitie daarvan luidt: de gemiddelde afstand vermenigvuldigd met het bijbehorend aantal scheepsreizen. De verkeersprestatie heeft de eenheid vaartuigkilometers.

Het energiegebruik wordt meestal uitgedrukt in MegaJoule per tonkilometer. De eenheid tonkilometer hoort bij de grootte vervoersprestatie. Deze presentatie wordt bepaald door de gemiddelde afstand te vermenigvuldigen met de bijbehorende overslag in de goederengroep. Een uitzondering hierop is de zeescheepvaart. De eenheid ton wordt gebruikt om de vervoersprestatie door de zeescheepvaart uit te drukken. [Boose et al., 1994]

#### *Afstanden in de zeescheepvaart*

In dit rapport zijn voor de zeescheepvaart enkel de afstanden op Nederlands grondgebieden en op het Nederlands Continentaal Plat van belang. De afstanden op Nederlands grondgebied hebben betrekking op het transport van zeeschepen aan de kust en in de zeehavens. Hieronder valt dus zowel het varen als het manoeuvreren in de havens. De belangrijkste vier havengebieden in Nederland zijn verantwoordelijk voor 99,5% van de overslag. Dit zijn de havengebieden [V&W, 1995]:

- Rijn- Maasmond (Rotterdam, Schiedam, Vlaardingen, Maassluis, Dordrecht en Moerdijk),
- Noordzeekanaalgebied (Amsterdam, Beverwijk, Velsen/IJmuiden en Zaanstad),
- Scheldebekken (Vlissingen en Terneuzen),
- Eemsmond (Delfzijl en Eemshaven).

#### *Afstanden in de binnenvaart*

De vervoersprestatie is voor motorschepen hoger dan voor de duwvaart, omdat het aantal motorschepen veel groter is dan duwbakken (zie tabel 5.2). Daarnaast is het energiegebruik per tonkilometer hoger voor de motorschepen dan voor de duwvaart. Een reden is dat de duwvaart meer schaalvoordelen heeft ten opzichte van de motorschepen. Aangezien zowel het energiegebruik als de vervoersprestatie hoger zijn voor motorschepen zijn de emissies veroorzaakt door de motorschepen op Nederlands grondgebied circa vijf maal zo groot als de emissies veroorzaakt door de duwvaart. [Dijkstra en Dings, 2000] In tabel 4.5 is reeds het aantal tonkilometers weergegeven voor de verschillende typen binnenschepen.

### 4.5.4 Overslag

Met overslag wordt het overladen van vrachtgoed op land, binnenschepen of andere zeeschepen in Nederland bedoeld. Daarom is deze variabele voor zowel de zeescheepvaart als de binnenvaart van belang. Zoals ook in het conceptueel model aan de orde is gekomen, zal de verkeersdichtheid in overslaghavens hoog zijn, waarbij de Rijnmond een belangrijke rol speelt. In 1994 werd hier 355 miljoen ton over zee en 1.444 miljoen ton via de binnenvaart vervoerd. [V&W, 1995] Door deze verkeersintensiteit zal de concentratie van de verschillende uitgestoten stoffen op deze locaties hoger zijn dan elders.

Volgens Transport Logistiek Nederland zal een modal shift (zie ook paragraaf 9.5) van wegvervoer naar binnenvaart pas gunstige effecten op het energiegebruik hebben, wanneer de containerplaatsen meer benut worden (met andere woorden een hogere beladingsgraad). De relatie tussen beladingsgraad en energiegebruik is afhankelijk van de grootte van het binnenschip. [TLN, 1999]

## 4.6 Ruimtelijke aspect

### 4.6.1 Routes over het NCP

Het Nederlands Continentaal Plat (NCP) omvat het gedeelte van de Noordzee dat aan Nederland is toegewezen en is alleen voor de zeescheepvaart van belang, aangezien de binnenschepen niet op zee varen. Het NCP is verdeeld in het noordelijk NCP, het zuidelijk NCP en de DW-route. DW-route staat voor 'Diep Water'-route en omvat, zoals de naam al zegt, dat deel van het NCP waar de

Noordzee zeer diep is.<sup>8</sup> In figuur 1 van bijlage 4.D is deze verdeling over het NCP weergegeven.

Een tweedeling die gemaakt kan worden van de verschillende routes voor de zeescheepvaart op het NCP gebeurt op basis van routegebonden scheepvaartverkeer en niet-routegebonden scheepvaartverkeer. Routegebonden houdt in dat er tussen de verschillende havens min of meer vaste routes worden gevolgd. Deze categorie beslaat circa de helft van het scheepvaartverkeer op het NCP. Onder niet-routegebonden scheepvaartverkeer vallen visserij, recreatievaart en werkschepen die voor olie- en gaswinning op de Noordzee varen. In figuur 1 en 2 van bijlage 4.E is een overzicht gegeven van de verkeersdichtheid van deze twee typen scheepvaart op het NCP. [DGG, 2001] Op de locaties waar de verkeersdichtheid hoog is, zullen meer stoffen naar de lucht geëmitteerd worden.

Aangezien het routegebonden scheepvaartverkeer zich beweegt over een vast aantal vaarwegen op zee, zal de concentratie van uitgestoten verbrandingsgassen op deze routes hoger zijn dan de zeewegen waarover niet-routegebonden scheepvaartverkeer zich voortbeweegt. Uit figuur 1 van bijlage 4.E kan geconcludeerd worden, dat het routegebonden scheepvaartverkeer zich het meeste concentreert op de routes in noordoostelijk richting (Amsterdam of verder, bijvoorbeeld Hamburg) en zuidwestelijke richting (Rotterdam). Ten aanzien van het niet-routegebonden scheepvaartverkeer kan in figuur 2 van bijlage 4.E gezien worden dat met name het zeegebied aan de kust druk bevaren wordt.

Aangezien wind en zeestromingen het brandstofverbruik beïnvloeden, zullen deze factoren ook invloed uitoefenen op de emissies naar de lucht. Maar aangezien de zeeschepen evenveel 'tegen' invloeden als 'mee' invloeden zullen ondervinden, kunnen deze aspecten verwaarloosd worden. [DGG, 2001a]

In bijlage 4.C wordt puntsgewijs bekeken wat (mits bekend) de herkomst en bestemming van de verschillende goederenstromen in de zeescheepvaart zijn. [Harms, 2000]

Het transport met behulp van zeeschepen heeft een dominante positie in het transport tussen de verschillende continenten in vergelijking met andere modaliteiten. Daarentegen is er sterke competitie tussen de verschillende modaliteiten met betrekking tot goederentransport binnen individuele landen en tussen Europese landen.

#### 4.6.2 Binnenwateren

De hoge verkeersdichtheid van de binnenschepen (weergegeven als het aantal schepen per 1.000 km<sup>2</sup>) op de verschillende binnenwateren en in de havens op Nederlands grondgebied, zal de concentratie van luchtverontreinigende stoffen op die locaties verhogen. Dit komt door accumulatie van deze uitgestoten stoffen in de lucht. Naarmate er meer schepen op de Nederlandse binnenwateren varen, zal er meer uitstoot naar de lucht plaatsvinden en zal de luchtkwaliteit slechter zijn.

Het energiegebruik wordt gedifferentieerd naar transport over kanalen of over rivieren. Bij transport over kanalen wordt transport over 'stilstaand water' bedoeld. In vergelijking met rivieren zijn de stromingen in kanalen namelijk veel minder sterk. Het energiegebruik bij transport over rivieren is afhankelijk van stroomrichting, stroomsnelheid en de vaardiepte. Er wordt hier een onderscheid gemaakt tussen berg- en dalvaart (stroomop- respectievelijk stroomafwaarts) bij transport over rivieren. Het energiegebruik vertoont grote verschillen voor beide typen vaart. [Dings et al., 1997; TLN, 1999]

De vaarroutes over rivieren en kanalen kunnen ruimtelijk niet veel veranderd worden, tenzij er nieuwe kanalen worden aangelegd. Wel is het mogelijk dat de verdeling over de verschillende vaarroutes verandert. In verband met het onderwerp van de onderzoeksvraag zal er verder geen aandacht besteed worden aan deze ruimtelijke veranderingen voor de binnenvaart. In bijlage 4.C zal (voor zover mogelijk) puntsgewijs een uiteenzetting gegeven worden van de routes van de verschillende goederenstromen in de binnenvaart. [Harms, 2000]

---

<sup>8</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

## 4.7 Deelconclusie

In dit hoofdstuk is bekeken welke factoren de milieubelasting van de scheepvaart beïnvloeden. Dit is gedaan aan de hand van het opstellen van een conceptueel model. De belangrijkste factoren uit dit model voor de scheepvaartsector zijn de gebruikte brandstoffen, de gebruikte technieken, de volumes en de ruimtelijke aspecten.

In de zeescheepvaart worden er twee typen brandstof gebruikt, namelijk zware stookolie (ook wel HFO genoemd: Heavy Fuel Oil) en scheepsgasolie (ook wel MDO genoemd: Marine Diesel Oil). HFO is een residuaal olieproduct en bevat dus een hoge concentratie van onzuiverheden als zwavel en (zware) metalen. Hierdoor bevatten de geëmitteerde verbrandingsgassen overeenkomstig veel vervuilingen. De toevoeging van zogenaamde 'cutterstock' voor de verdunning van HFO brengt nog meer vervuilingen met zich mee, omdat cutterstock uit restafval van de chemische industrie bestaat. Het gemiddelde zwavelgehalte in de huidige bunkerbrandstoffen bedroeg in 2000 circa 2,7% (massaprocenten). Ruim 80% van de zware stookolie had in 2000 een zwavelgehalte tussen de 2% en 4% (massaprocenten). Deze gegevens zijn gebaseerd op 40-50% van de hoeveelheid van alle bunkerbrandstoffen (HFO) wereldwijd en kan dus representatief genoemd worden voor de totale mondiale bunkerbrandstoffen.

Aan MDO wordt geen cutterstock toegevoegd, zodat de samenstelling meer eenduidig is. Daarnaast bevat scheepsgasolie minder onzuiverheden en worden er dus minder vervuilende stoffen uitgestoten. In de binnenvaart wordt alleen gebruik gemaakt van scheepsgasolie, maar dit type is van betere kwaliteit dan de scheepsgasolie gebruikt in de zeescheepvaart (een zwavelgehalte van 0,2% in de binnenvaart en 1,5% in de binnenvaart).

In Nederlandse zeehavens wordt jaarlijks gemiddeld 14 miljard liter hoogzwavelige bunkerbrandstoffen ingenomen door zeeschepen van verschillende nationaliteiten. Ter vergelijking kan vermeld worden dat het totale wegverkeer in Nederland gemiddeld 2,5 miljard liter laagzwavelige brandstoffen (50 ppm in 2005) verbruikt.

Het merendeel van de zeeschepen op de Noordzee is voorzien van slow speed dieselmotoren (circa 66%). Daarnaast wordt circa 32% van de zeeschepen aangedreven door medium speed dieselmotoren. SP-motoren hebben een hogere energie-efficiëntie dan MS-motoren, respectievelijk circa 50% en 47%. Een zeer klein gedeelte van de zeeschepen maakt gebruik van andere vormen van aandrijving. In binnenschepen zijn voornamelijk high speed dieselmotoren (HS-motoren) geïnstalleerd. Deze motoren zijn zuiniger in het gebruik dan SP- en MS-motoren.

Van de verschillende volume-factoren is de omvang en de samenstelling van de scheepsvloot het meeste relevant voor de milieubelasting. Hoe meer schepen, des te hoger is de energieconsumptie en des te groter zijn de emissies.

In dit rapport worden van de scheepvaart alleen de binnengaatse en buitengaatse emissies op het Nederlands Continentaal Plat behandeld. Het routegebonden scheepvaartverkeer concentreert zich het meest op de routes in oostelijke, westelijke en zuidwestelijke richting op het NCP. Het zeegebied aan de kust wordt het drukst bevaren door de categorie niet-routegebonden scheepvaartverkeer. In de binnenvaart is vooral de stroming van belang voor het energiegebruik. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen berg- en dalvaart (stroomop- respectievelijk stroomafwaarts).





## 5 Ontwikkelingen van emissies en de bepalende factoren

### 5.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk is behandeld op welk manier bepaalde factoren invloed uitoefenen op de milieubelasting veroorzaakt door de binnenvaart en de zeescheepvaart. Om het effect van bepaald beleid te kunnen 'meten', is het belangrijk dat de resultaten verkregen met behulp van bepaalde beleidsmaatregelen, vergeleken kunnen worden met een 'nul'-situatie. Aangezien tot nu toe weinig milieumaatregelen zijn getroffen ter reductie van emissies in de scheepvaart, kan het effect van nieuwe milieumaatregelen bepaald worden. Daartoe wordt in paragraaf 5.2 de ontwikkelingen in het verleden en het heden van de factoren uit hoofdstuk 4 bekeken. Hierbij is de nadruk gelegd op het volume-aspect en de emissies naar de lucht. Daarnaast worden ook de prognoses voor de toekomst met betrekking tot deze factoren behandeld. Dit gebeurt in paragraaf 5.3. In deze paragraaf wordt de volgende deelvraag uit de algemene inleiding behandeld:

*Hoe zal de ontwikkeling van de voor emissies belangrijke factoren en van de emissies zelf in de toekomst verlopen?*

Om de emissies uitgestoten in Nederland in perspectief te zien, is ook een overzicht gegeven van de emissies in Europa en wereldwijd. Op deze manier kan het aandeel van Nederland in de totale emissies vergeleken worden. Dit wordt voor zover mogelijk voor zowel het verleden als de toekomst gedaan. Daarmee wordt een andere deelvraag uit hoofdstuk 1 behandeld. Deze luidt:

*Hoe is de verhouding van emissies door de scheepvaart op Nederlands territorium ten opzichte van de emissies in Europa en de mondiale emissies?*

De bovenstaande ontwikkelingen worden waar mogelijk cijfermatig onderbouwd. De meeste prognose-cijfers voor de zeescheepvaart zijn afkomstig van het programma PROZIN (Prognose-model Zeescheepvaart Intensiteiten) gemaakt door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) in samenwerking met het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (GHR). De prognose-cijfers voor de binnenvaart zijn bepaald met behulp van het binnenvaartmodel BARGE, wat staat voor Brandstofverbruik, Afstanden, Reizen, Goederenvervoer(sprestatie) en Emissies. [RIVM, 2000b]

### 5.2 Ontwikkelingen in het verleden en het heden

#### 5.2.1 Inleiding

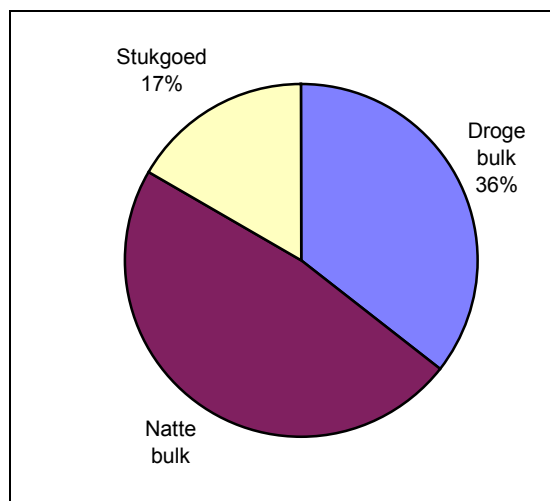
In de volgende subparagrafen worden de ontwikkelingen in het verleden en van dit moment bekeken met betrekking tot de aspecten type lading en overslag, omvang en samenstelling scheepsvloot, af te leggen afstanden en routes en emissies naar de lucht.

#### 5.2.2 Type lading en overslag

Aangezien de verschillende typen goederengroepen en de bijbehorende hoeveelheden niet los van elkaar bekeken kunnen worden, worden beide factoren samen in deze subparagraaf behandeld.

##### *Goederengroepen in de zeescheepvaart*

Figuur 5.1 geeft de verdeling van de goederengroepen op Nederlands grondgebied in 1987. Hierbij is de verdeling aangehouden van paragraaf 4.5.1, dus een verdeling naar droge bulk, natte bulk en stukgoed.

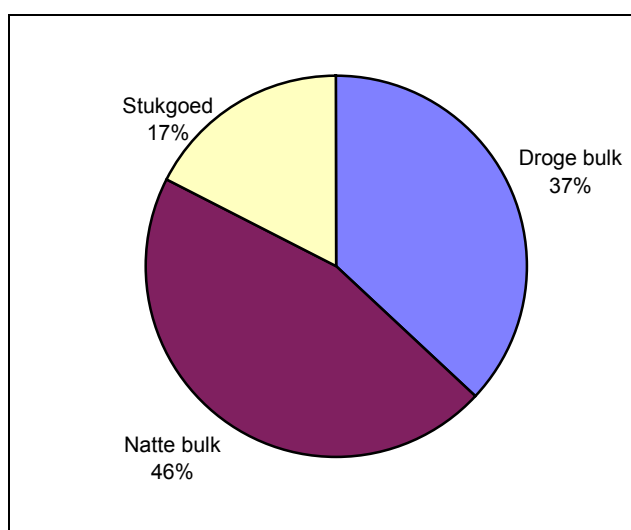


Figuur 5.1. Specificatie van de goederengroepen in de zeescheepvaart in 1987. [Harms, 2000]

Zoals in figuur 5.1 gezien kan worden, was het percentage van de overslag van natte bulk in 1987 bijna 50% van het totaal aan overslag van goederen op Nederlands grondgebied. In 1987 bestond het grootste deel van de natte bulk uit ruwe olie (ruim 65%). De ruwe olie is de belangrijkste component van de overslag van natte bulk in Rotterdam; Rotterdam heeft hierin tevens min of meer een monopoliepositie. Van de goederenstroom droge bulk heeft de overslag van ijzererts het grootste aandeel met circa 40%. De overslag van agribulk heeft een aandeel van circa 30% in het geheel van droge bulk. [Harms, 2000]

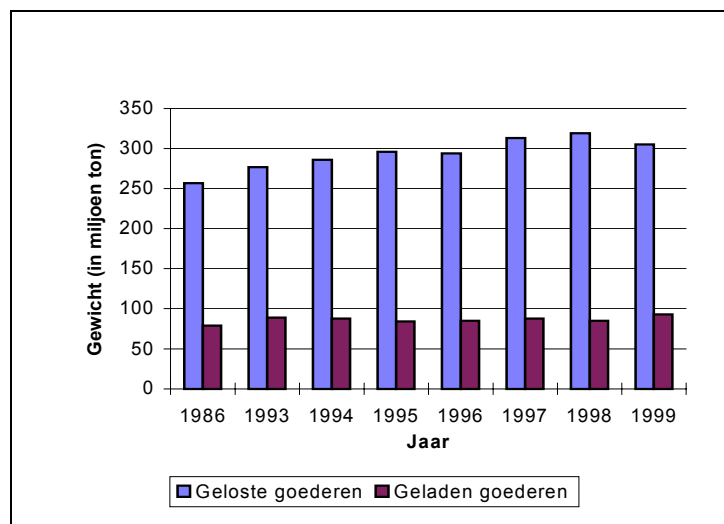
Van de goederenstroom stukgoed neemt de containervaart het grootste gedeelte voor zijn rekening. Uit gegevens blijkt dat Rotterdam min of meer een monopoliepositie inneemt binnen Nederland met betrekking tot de containervaart. [Boose et al., 1994] In de periode 1974-1995 is het aantal containers dat over zee getransporteerd is met circa 10% per jaar gestegen en de prijs van containervervoer over zee met 5% per jaar gedaald. Deze prijsdaling is toe te schrijven aan een betere capaciteitsbenutting van de schepen door een betere planning en betere laad- en lossystemen. Een tweede reden is een enorme schaalvergroting van de containervloot in deze periode. [Dings et al., 1999b; Van Gelder, 2000] Alhoewel transport met moderne kleine containerschepen, zoals de Neokemp, steeds vaker voorkomt (zie paragraaf (zie ook paragraaf 6.5.2 en 8.5).

Daarnaast is in figuur 5.2 de verdeling van de goederengroepen in 1999 weergegeven. De verhouding tussen droge bulk, natte bulk en stukgoed in 1987 en 1999 is nagenoeg gelijk gebleven. Wel is de totale tonnage van de overslag toegenomen met ruim 20%.



Figuur 5.2. Specificatie van de goederengroepen in de zeescheepvaart in 1999 (305 miljoen ton). [Harms, 2000]

In onderstaande figuur 5.3 is de ontwikkeling van de tonnage van de geloste en geladen goederen weergegeven over de periode 1986-1999. Hier is voor zowel de geloste als de geladen goederen een lichte stijging te zien. Wanneer de term 'overslag' gebruikt wordt in dit rapport, wordt hiermee de sommatie van geloste en geladen goederen bedoeld.



Figuur 5.3. De ontwikkeling van het aantal goederen gelost/geladen in Nederlandse zeehavens in het verleden. [CBS, 2001]

### Goederengroepen in de binnenvaart

Dertig jaar geleden werd de binnenvaart voornamelijk ingezet voor fijnmazig vervoer met kleine schepen. Dit is in de loop van de tijd veranderd. Er wordt steeds meer gevaren met grotere binnenschepen om meer te kunnen vervoeren. Tegenwoordig vindt er veel nieuwbouw in de grootste klassen nieuwbouw van binnenschepen plaats. [Dings et al., 1999b]

De binnenvaart is in de periode 1975-1995 sneller geworden als gevolg van de toename van de gemiddelde grootte van de schepen en de sterkere motoren. In 1980 had het merendeel van de binnenschepen een gemiddelde lengte van circa 75 meter en een breedte van rond de acht meter. In 1990 had een aantal schepen reeds een gemiddelde lengte van 120 meter en een breedte van circa 10 meter. Maar in de zomer van 2000 is er een nieuwe generatie binnenschepen ontstaan, namelijk het containerschip 'Jowi' met een lengte van 135 meter en een breedte van circa zeventien meter. Met betrekking tot de breedte kan er weinig vergroting meer plaatsvinden, maar in de lengte zullen er nog mogelijkheden liggen voor schaalvergroting (zie ook paragraaf 6.5.2). [Dings et al., 1999b; Van Gelder, 2000]

In figuur 5.6 van paragraaf 5.3.2 is het verloop van het aantal tonkilometers van het totaal aan goederengroepen voor de periode 1995-1998 grafisch weergegeven. Er zijn voor 1999 geen gegevens bekend over de tonnage van de getransporteerde goederen op Nederlands grondgebied. Wel is bekend dat in 1999 de binnenvaart ruim 75% van de door de gehele goederentransportsector vervoerde kolen transporteert over Nederlandse binnenwateren. Voor aardolie is dit circa 60%. Andere grote posten betreffen erts en mineralen/bouwmaterialen (beiden ruim 30%). [TLN, 2000] In het begin van de jaren vijftig werden er door de binnenvaartschepen weinig containers binnen Nederland vervoerd. Maar vanaf de jaren zeventig is het gebruik van containerschepen voor de binnenvaart sterk toegenomen. Tegenwoordig neemt dit gebruik nog steeds toe ten gevolge van de uitbreiding van zogenaamde inlandterminals (zie ook paragraaf 5.3.4), de gunstige economische aspecten (goedkoop transport) en de congestieproblemen van het wegtransport. [Harms, 2000; TLN, 2000]

### 5.2.3 Omvang en samenstelling scheepsvloot

In deze subparagraaf wordt de omvang en de samenstelling van de scheepsvloot voor de zeescheepvaart en de binnenvaart bekeken. Hierbij wordt voornamelijk gekeken naar het gebruikte type schip.

***Scheepsvloot van de zeescheepvaart***

In tabel 5.1 is een overzicht van het scheepvaartverkeer op het Nederlands Continentaal Plat naar scheepstype gegeven (zie ook paragraaf 4.6.1).

*Tabel 5.1. Gemiddelde verdeling van het scheepvaartverkeer op het NCP. [DGG, 2001]*

<b>Scheepstype</b>	<b>Aantal schepen per dag</b>	<b>Percentage (%)</b>
Vrachtvaart	120,9	31,3
Tankervaart	36,8	9,5
Bulkvaart	19,1	4,9
Containervaart	10,2	2,6
Passagiersferries	3,3	0,9
<i>Totaal routegebonden</i>	<i>190,3</i>	<i>49,2</i>
Werkvaart	38,8	10,0
Visserij	147,6	38,2
Recreatievaart	9,8	2,5
<i>Totaal niet-routegebonden</i>	<i>196,3</i>	<i>50,8</i>
<b>Totaal scheepvaartverkeer</b>	<b>386,6</b>	<b>100,0</b>

Uit tabel 5.1 blijkt dat het aantal routegebonden zeeschepen min of meer gelijk is aan het aantal niet-routegebonden zeeschepen op het NCP. Het belangrijkste routegebonden scheepstype is de vrachtvaart, gevolgd door de tankervaart. Transportschepen zullen de snelste en kortste routes kiezen. Bij het niet-routegebonden scheepvaartverkeer neemt de visserij het grootste gedeelte voor zijn rekening.

***Binnenvloot***

In tabel 5.2 is bij de verschillende categorieën het aantal schepen gegeven dat in 1999 op de Nederlandse binnenwateren heeft gevaren. Er is een onderscheid gemaakt naar wijze van voortbewegen en naar functie (vracht, tank en speciale doeleinden).

Tabel 5.2. Overzicht van de verdeling van de scheepsvloot naar type binnenschip op Nederlandse binnenwateren in 1999. [CBS, 2001]

Type binnenschip	Aantal	Percentage (%)
<i>Wijze van voortbewegen</i>		
Motorschepen	3.768	82,3
Sleepschepen	244	5,3
Duwbakken	565	12,3
<b>Totaal</b>	<b>4.577</b>	<b>100,0</b>
<i>Functie</i>		
<i>Vrachtschepen</i>		
Motorvrachtschepen	3.213	70,2
Sleepvrachtschepen	110	2,4
Duwvrachtbakken	524	11,4
<i>Tankschepen</i>	<i>580</i>	<i>12,7</i>
Motortankschepen	539	11,8
Sleptankschepen	0	0,0
Duwtankbakken	41	0,9
<i>Schepen voor speciale doeleinden</i>		
Motorschepen	16	0,3
Sleepschepen	134	2,9
<b>Totaal</b>	<b>4.577</b>	<b>100,0</b>

Uit deze tabel komt naar voren dat sleepschepen het kleinste aandeel hebben in het goederenvervoer over het water en vrachtschepen het grootste aandeel. Tevens blijkt dat in 1999 de meerderheid van alle binnenschepen valt onder het type motorschip (ruim 80%). Uit deze gegevens kan niet geconcludeerd worden welk type binnenschip de hoogste vervoersprestatie heeft.

#### 5.2.4 Af te leggen afstanden en routes

Aangezien de af te leggen afstanden en de verschillende vaarroutes een verband met elkaar hebben, zijn beide factoren samengenomen in deze subparagraaf om de overzichtelijkheid te bevorderen.

##### *Vaarwegen in de zeescheepvaart*

De gegevens uit tabel 5.3 zijn gedeeltelijk gelijk aan de gegevens van tabel 5.1. In onderstaande tabel zijn de gegevens verder gespecificeerd naar deelgebied op het Nederlands Continentaal Plat. Zoals uit tabel 5.3 blijkt, varen de meeste zeeschepen op het zuidelijk deel van het NCP. Dit geldt voor zowel het routegebonden als het niet-routegebonden scheepvaartverkeer. Dit groot aantal is toe te schrijven aan het feit dat het zuidelijk NCP de gehele kustlijn van Nederland omsluit. Alle schepen die van en naar Nederlandse zeehavens varen moeten dit gedeelte passeren. Tevens zullen er ook veel schepen over het zuidelijk NCP varen om de kortste bocht te maken naar Duitse havens als Bremen en Hamburg en verdere havens.

Tabel 5.3. Gemiddelde dagelijkse verdeling van het aantal schepen op het NCP naar scheepstypen en deelgebied van het NCP. [DGG, 2001]

NCP-deelgebied \ Scheepstype	Aantal op Zuid	Aantal op DW-route	Aantal op Noord	Totaal aantal	Percentage totaal
Vrachtvaart	97,2	8,6	15,2	120,9	31,3
Tankervaart	28,9	2,7	5,2	36,8	9,5
Bulkvaart	15,2	2,2	1,7	19,1	4,9
Containervaart	8,6	0,6	1	10,2	2,6
Passagiersferries	2,6	0,2	0,5	3,3	0,9
<i>Totaal routegebonden</i>	<i>152,5</i>	<i>14,2</i>	<i>23,6</i>	<i>190,3</i>	<i>49,2</i>
Werkvaart	29,6	2,9	6,3	38,8	10
Visserij	85,4	19,6	42,7	147,6	38,2
Recreatievaart	8,8	0,4	0,7	9,8	2,5
<i>Totaal niet-routegebonden</i>	<i>123,8</i>	<i>22,9</i>	<i>49,6</i>	<i>196,3</i>	<i>50,8</i>
<b>Totaal scheepvaartverkeer</b>	<b>276,3</b>	<b>37,1</b>	<b>73,2</b>	<b>386,6</b>	<b>100,0</b>

Naast het aantal schepen op het NCP kan ook gekeken worden naar de afgelegde afstanden en de scheepvaartbewegingen over het NCP van en naar de Nederlandse havens. Uit gegevens van het CBS blijkt dat in 1998 de scheepvaartbewegingen en de vaartuigkilometers zich in de eerste plaats concentreerden op de Rijnmond (ruim 60%) en in de tweede plaats op het Noordzeekanaal. [Harms, 2000]

### *Vaarwegen in de binnenvaart*

Het totale vaarwegennetwerk in Nederland heeft een lengte van meer dan 5.000 kilometer. Iedere vaarweg heeft zijn eigen kenmerken met betrekking tot diepgang, breedte, doorvaarhoogte en waterstand. Door de lopende schaalvergroting in de binnenvaart concentreren de grotere binnenschepen zich vooral op de grote vervoersassen en met name de Waal-Rijn. Hier kan namelijk met grote(re) schepen gevaren worden. [Dings et al, 1999b] Uit gegevens blijkt dat de scheepvaartintensiteit, uitgedrukt als het aantal vaartuigen per kilometer vaarweglengte, toeneemt met de grootte van de vaarwegen. [Harms, 2000]

## 5.2.5 Emissies

In deze subparagraaf worden enkele emissies behandeld die ook in hoofdstuk 3 aan de orde zijn gekomen. In de bijlagen 5.A, 5.B en 5.C is het verloop van het energiegebruik, de vervoersprestatie en de emissies naar de lucht van een aantal stoffen kwantitatief weergegeven. Het betreft de stoffen CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NMVOS (exclusief methaan), VOS (inclusief methaan), CO en PM<sub>10</sub>. De gegevens van deze stoffen zijn grafisch verwerkt in dit hoofdstuk. Om dubbele grafieken te vermijden zijn de ontwikkelingen van het heden en verleden in één grafiek per stof samen weergegeven met de toekomstige ontwikkelingen in de volgende paragraaf 5.3. Op deze manier kan het verloop van de emissies in de tijd gezien worden. Wel zal hieronder waar mogelijk een toelichting gegeven worden op het verloop van emissies in het heden en verleden.

### *Emissies door de zeescheepvaart binnengaats*

In bijlage 5.A is een kwantitatief overzicht gegeven van de emissies naar de lucht van een aantal stoffen. De emissies in de jaren negentig waren hoger dan in de jaren tachtig. In de jaren tachtig was er voor een aantal stoffen een constant blijvende emissie of zelfs een dalend verloop. Daarnaast zijn in de jaren negentig alle emissies toegenomen. In de zeescheepvaart heeft de CO<sub>2</sub>-emissie de grootste omvang ten opzichte van de andere door de zeeschepen uitgestoten stoffen. In 1999 bedroeg de hoeveelheid uitgestoten CO<sub>2</sub> circa 0,6% van de totale CO<sub>2</sub>-emissie die in Nederland (binnengaats) uitgestoten wordt door alle sectoren (zoals industrie, energiesector, verkeer, landbouw en huishoudens). Voor NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> is dat respectievelijk ruim 5% en 13%. [Van den Brink, 2000; TLN,

2000] Zoals in de inleiding reeds aangegeven is, bedroeg in 1995 het aandeel van de binnenvaart en zeescheepvaart bijna 50% van de totale SO<sub>2</sub>-emissie door verkeer en vervoer. Dit was voor NO<sub>x</sub> circa 15%.

### ***Emissies door de zeescheepvaart buitengaats***

Er zijn weinig gegevens bekend over emissies door de internationale zeescheepvaart. In dit rapport worden hiervoor alleen gegevens voor het jaar 1990 gebruikt. Zoals ook in de inleiding is aangegeven, worden in IPCC-kader de internationale CO<sub>2</sub>-emissies niet aan de verschillende landen toegerekend. Het totaal verbruik aan scheepsbrandstoffen wereldwijd bedraagt gemiddeld 130-150 miljoen ton per jaar. Zoals eerder is aangegeven, blijkt uit gegevens dat zeeschepen van verschillende nationaliteiten meer dan 14 miljard liter hoogzwavelige brandstoffen bunkeren in Nederland. [TLN, 1999] Bij een aangenomen dichtheid van 1 kg/dm<sup>3</sup> en een CO<sub>2</sub>-emissie van 3.200 gr/kg brandstof komt dit neer op een totale CO<sub>2</sub>-emissie van bunkerbrandstoffen van circa 45 miljard kg [NIRIA, 2000; Shell, 2001]. Ter vergelijking: in 1995 bedroeg de CO<sub>2</sub>-emissie van het totaal wegverkeer op Nederlands grondgebied circa 27 miljard kg [Feimann et al., 2000]. In 1999 bedroeg de omvang van de CO<sub>2</sub>-emissies door de industrie op Nederlands grondgebied circa 57 miljard kg CO<sub>2</sub> [RIVM, 2000a].

In het kader van het Kyoto-protocol zouden de emissies door de internationale zeescheepvaart toegewezen kunnen worden aan de verschillende landen (allocatie). Op deze manier worden de landen zelf verantwoordelijk gesteld voor een bepaalde hoeveelheid emissies. Zij moeten zelf maatregelen treffen om deze emissies te reduceren. Wanneer er geen allocatie gedaan wordt, zal het IPCC verantwoordelijk kunnen zijn voor het reduceren van emissies. Het is in de zeescheepvaart mogelijk om op minstens twee manieren een allocatie uit te voeren. De belangrijkste zijn:

1. allocatie op basis van het percentuele aandeel van de totale antropogene emissies (emissies die door mensen zijn veroorzaakt, zoals door industrie en transport) van een land in de totale mondiale antropogene emissies
2. allocatie op basis het percentuele aandeel van de nationale bunkerverkoop aan de internationale zeescheepvaartsector in de totale mondiale bunkerverkoop.

Naast de twee genoemde allocatie-methoden kunnen de emissies ook toegedeeld worden op basis van herkomst en bestemming van het schip of de goederen.

De verschillende percentages van optie 2 en 3 worden vermenigvuldigd met de totale door de internationale zeescheepvaart veroorzaakte emissie. Deze percentages zouden voor Nederland uitkomen op respectievelijk 0,79% en 9%.

In tabel 5.4 is een overzicht gegeven van de emissies van SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub> naar de lucht door de internationale zeescheepvaart. In deze tabel is tevens de totale mondiale antropogene emissie, de emissie door de gehele internationale zeescheepvaartsector en het aandeel van Nederland hierin gegeven. [Kågeson, 1999; Van Velzen en Wit, 2000]

*Tabel 5.4. SO<sub>2</sub> -, NO<sub>x</sub> - en CO<sub>2</sub> -emissies van de internationale zeescheepvaart.  
[Kågeson, 1999; Van Velzen en Wit, 2000]*

Locatie emissie	1990 (tonnage in miljoen ton)				
	SO <sub>2</sub> <sup>a)</sup>	NO <sub>x</sub> <sup>a)</sup>	CO <sub>2</sub> -optie 1	CO <sub>2</sub> -optie 2	CO <sub>2</sub> -optie 3
Totale emissie wereldwijd	39,5	25,7	21.246	21.246	21.246
Totale emissie internationale zeescheepvaart	1,6	2,3	366	366	366
Nederland's aandeel in emissie van zeescheepvaart	0,16 <sup>b)</sup>	0,35 <sup>c)</sup>	0	2,89	33,19

a) Emissiewaarden alleen binnen Europa (EU en NON-EU) en niet wereldwijd [Kågeson, 1999]

b) Deze waarde is gebaseerd op een gemiddeld aandeel van 10% in de depositie van SO<sub>2</sub>, afkomstig van de internationale zeescheepvaart. [Kågeson, 1999]

c) Deze waarde is gebaseerd op een gemiddeld aandeel van 15% in de depositie van NO<sub>x</sub>, afkomstig van de internationale zeescheepvaart. [Kågeson, 1999]

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de wijze van CO<sub>2</sub>-allocatie zeer veel invloed heeft op de grootte van het aandeel van Nederland in de internationale emissies. Bij allocatie gebaseerd op optie 2 wordt

circa 1,7% van de nationale CO<sub>2</sub>-emissie veroorzaakt door de internationale zeescheepvaart. Dit is bij optie 3 bijna 20% van de nationaal uitgestoten antropogene hoeveelheid CO<sub>2</sub>, wat overeenkomt met circa 9% van de totale CO<sub>2</sub>-emissie door de internationale zeescheepvaart. Bij deze allocatie is Nederland naast de Verenigde Staten percentueel gezien de grootste vervuiler met betrekking tot de CO<sub>2</sub>-emissie. Nederland is namelijk verantwoordelijk voor een grote afzet van bunkerbrandstoffen aan de internationale zeescheepvaartsector en zou daarom bij deze optie een relatief groot deel van de CO<sub>2</sub>-emissies toegewezen krijgen. In tabel 1 van bijlage 5.A zijn ook waarden voor de CO<sub>2</sub>-emissie uit de bunkering van brandstoffen op Nederlands grondgebied gegeven. Voor het jaar 1990 is hier een percentueel verschil te zien van ongeveer 2,5%. Dit verschil is waarschijnlijk toe te schrijven aan het gebruik van verschillende emissiefactoren voor CO<sub>2</sub>. Maar aangezien dit percentueel verschil zo klein is, wordt hier verder geen aandacht aanbesteed.

De 'Marine Engineering Society' in Japan is van mening dat de wereldvloot jaarlijks verantwoordelijk is voor 4,6% van de totale wereldwijde SO<sub>2</sub>-emissie (5,8 miljoen ton), voor 6,55% van de NO<sub>x</sub>-emissie (7,1 miljoen ton) en voor 2% van de CO<sub>2</sub>-emissie (389 miljoen ton) [Oftedal et al., 1996]. Wereldwijd gezien is het aandeel van de internationale zeescheepvaart klein, maar nationaal en regionaal kunnen de emissies van de zeescheepvaart een grote bijdrage leveren aan de milieubelasting.

Uit een rapport voor het IMO blijkt dat in 1996 olietankers, bulkcarriers, algemene vrachtschepen en containerschepen verantwoordelijk zijn voor circa 80% van alle emissies door de internationale scheepvaart wereldwijd. De belangrijkste kustgebieden waar deze emissies plaatsvinden zijn het noordelijk halfrond, langs de oost- en westkust van de Verenigde Staten, in Noord-Europa en in de noordelijke Pacific. [IMO, 2000]

Door de oliecrisis in de periode 1975-1985 is de specifieke consumptie van brandstof van scheepsmotoren verlaagd door technologische ontwikkelingen. Dit geldt voor zowel de MS-motoren als voor de SP motoren, alhoewel dit voor SP-motoren veel sterker is geweest. Deze technologische ontwikkelingen brachten een hogere druk en temperatuur tijdens de verbranding met zich mee, waardoor de NO<sub>x</sub>-emissie in deze periode hoger is geworden. De afgelopen tien jaar is de aandacht vooral gericht geweest op het verminderen van NO<sub>x</sub>-vorming dan op reductie van de energieconsumptie. Uit ontwikkelingen van het verleden is gebleken dat er een hoge correlatie bestaat tussen energiebesparende ontwikkelingen en de ontwikkeling van de energieconsumptie en marktverwachtingen. [Oftedal et al., 1996]

Alhoewel de gemiddelde snelheid en de gemiddelde scheepsgrootte in de afgelopen vijftien jaar zijn toegenomen, is de NO<sub>x</sub>-emissie per getransporteerde hoeveelheid voor tankers en containers licht afgenomen. Dit is allereerst toe te schrijven aan de verbeteringen aan de motoren ter vermindering van NO<sub>x</sub>-vorming die door de leveranciers is gedaan. Daarnaast zijn de schepen groter en efficiënter geworden.

### ***Emissies door de binnenvaart***

In tabel 1 van bijlage 5.B zijn de emissies naar de lucht kwantitatief weergegeven. De uitstoot van CO<sub>2</sub> is in de jaren tachtig en negentig constant gebleven. De overige stoffen hebben een stijgend verloop in overeenstemming met het verloop van het aantal tonkilometers. Maar het verloop van de uitgestoten SO<sub>2</sub> heeft vergeleken met de vorige stoffen een minder steilere helling en wordt vanaf het midden van de jaren tachtig gekenmerkt door lagere emissiewaarden. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan het frequenter verbruik van zwavelarme brandstoffen. In 1999 was de binnenvaart voor circa 1,1% van de totale uitstoot van alle sectoren (zie hierboven) verantwoordelijk met betrekking tot de uitstoot van CO<sub>2</sub> in Nederland (binnengaats). Voor NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> was dit in 1999 respectievelijk bijna 9% en 2%. [Van den Brink, 2000; TLN, 2000]

Naast het bekijken van de gehele binnenvaartsector zijn er ook gegevens bekend over het energiegebruik en de emissies per afzonderlijke type binnenschip, waarbij een indeling is gemaakt naar motorschepen, duwvaart en overige binnenvaart. Onder overige binnenvaart vallen de vaartuigen passagiersschepen en -veren, baggerschepen, sleepvaart en vissersschepen. Deze gegevens zijn in de tabellen 1 tot en met 6 van bijlage 5.C afzonderlijk weergegeven. In deze tabellen is te zien dat de



motorschepen voor het grootste gedeelte van de emissie verantwoordelijk zijn.

## 5.3 Toekomstige ontwikkelingen en prognoses

### 5.3.1 Inleiding

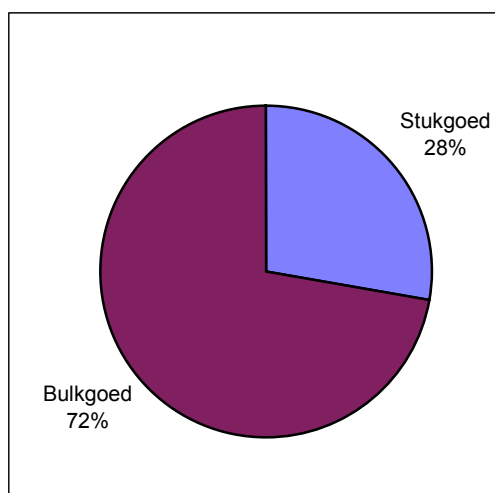
In de volgende subparagrafen worden de ontwikkelingen en prognoses voor de toekomst behandeld met betrekking tot de aspecten type lading en overslag, omvang en samenstelling scheepsvloot, af te leggen afstanden en routes en emissies naar de lucht. Ook zijn in deze paragraaf de ontwikkelingen van de verschillende factoren uit het verleden en het heden en de toekomstige prognoses over de ontwikkeling van deze factoren grafisch weergegeven. Door het Centraal Planbureau (CPB) zijn drie scenario's met verschillende kenmerken ontwikkeld die als basis dienen voor de prognoses. Dit zijn de scenario's 'Divided Europe' (DE), 'European Coordination' (EC) en 'Global Competition' (GC). In tabel 1 van bijlage 5.D is een overzicht gegeven van een aantal kenmerken van de drie CPB-scenario's. In dit rapport worden alleen de scenario's EC en GC behandeld. Uit Milieuverkenning 5 van het RIVM blijkt namelijk dat het DE-scenario niet meer plausibel is, gekeken naar de recente mondiale ontwikkelingen. [RIVM, 2000b] Kort samengevat heeft het GC-scenario een hogere economische ontwikkeling maar een slechter werkend marktmechanisme en overheidscoördinatie dan het EC-scenario. Waar mogelijk worden beide scenario's behandeld voor de betreffende bepalende factoren.

### 5.3.2 Type lading en overslag

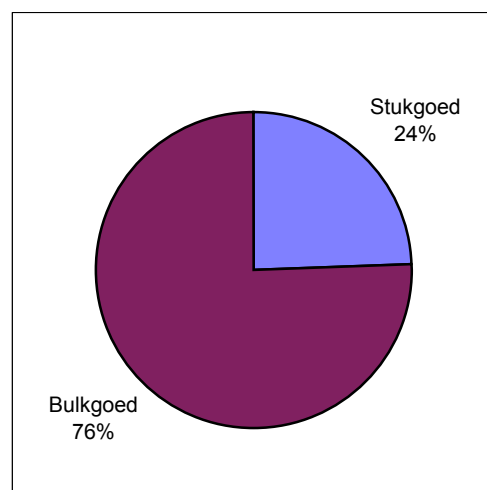
Net als in paragraaf 5.2.2 zullen de verschillende typen goederengroepen en de bijbehorende hoeveelheden niet los van elkaar bekeken worden, maar worden beide factoren in deze subparagraaf behandeld.

#### *Goederengroepen in de zeescheepvaart*

In figuur 5.4 en 5.5 zijn twee cirkeldiagrammen gegeven met een verdeling van de goederengroepen (uitgedrukt in miljoen ton) op Nederlands grondgebied in respectievelijk het jaar EC-2010 en EC-2020 met 1986 als basisjaar. Hier is een indeling van goederengroepen aangehouden naar bulkgoed en stukgoed.



*Figuur 5.4. Specificatie van de goederengroepen in de zeescheepvaart in 2010 van het EC-scenario (450 miljoen ton). [Harms, 2000]*



*Figuur 5.5. Specificatie van de goederengroepen in de zeescheepvaart in 2020 van het EC-scenario (410 miljoen ton).*

In de bovenstaande twee figuren is aangegeven dat in EC-2020 de overslag van stukgoed zal toenemen ten koste van de bulkgoederen in vergelijking met EC-2010. De totale overslag zal toenemen van 410 miljoen ton in EC-2010 naar 450 miljoen ton in EC-2020. Tevens zijn in

onderstaande tabel 5.5 de prognoses cijfermatig gegeven van de vervoerde tonnage in het EC-scenario met als basisjaar 1986, waarbij onderscheid is gemaakt naar bulkgoederen en stukgoed.

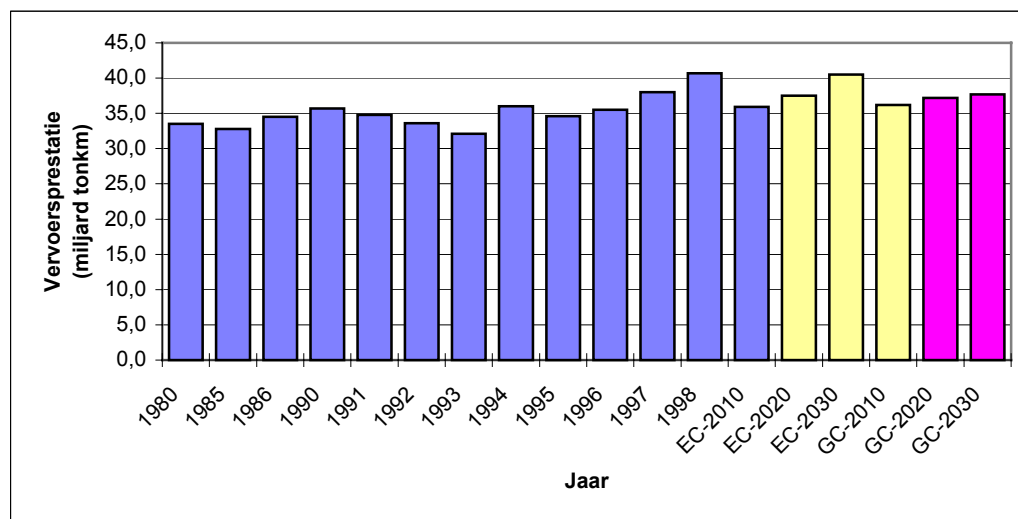
Tabel 5.5. De toekomstige ontwikkeling van overslag in de zeescheepvaart op Nederlands grondgebied.  
[Harms, 2000]

Tonnage in miljoen ton				
	1986	1995	EC-2010	EC-2020
Stukgoed	48,5	68,7	101,1	124,7
Index	100	142	208	257
Bulkgoederen	285,8	297,9	313,0	324,3
Index	100	104	110	113
Totaal	334,4	366,6	414,1	448,9
Index	100	110	124	134

Opgemerkt kan worden dat de werkelijke overslag in 1995 (circa 380 miljoen ton; zie bijlage 5.A) hoger is dan het prognose-cijfer voor 1995 (367 miljoen ton). Ook is er een verschil tussen bovenstaande prognosecijfers en de cijfers in bijlage 5.A. Dit is toe te schrijven aan het feit dat 1995 als basisjaar is genomen voor de prognoses in de bijlage. Daarom zijn de waarden in de bijlage in hogere mate aan de recente ontwikkelingen aangepast en dus ook betrouwbaarder.

### Goederengroepen in de binnenvaart

In figuur 5.6 is de ontwikkeling van de jaarlijkse vervoersprestatie over de periode 1980-2020 (uitgedrukt in tonkilometers) grafisch uiteengezet. Hierin is te zien dat er een toename wordt verwacht van het aantal tonkilometers in de jaren 2010 en 2020 van zowel het EC- als het GC-scenario. Wel is de overgang van 1998 naar EC/GC-2000 nogal vreemd, aangezien daar een daling te zien is.



Figuur 5.6. Specificatie van de vervoersprestatie in de binnenvaart over de periode 1980-2030.  
[Feimann et al., 2000]

In tabel 5.6 is een overzicht gegeven van de volume-ontwikkelingen op Nederlands grondgebied met betrekking tot de vervoerde tonnage, het aantal tonkilometers en het aantal vaartuigkilometers. Hier is het 'gemiddeld EC-scenario' weergegeven, dat is afgeleid van het EC-scenario van het CPB. Daarom verschillen de waarden in tabel 5.6 van de waarden van het aantal tonkilometers in bijlage 5.B. Ter vergelijking zijn ook de waarden voor het jaar 1993 in onderstaande tabel weergegeven, aangezien dit het basisjaar is voor deze factoren.

Tabel 5.6. Volume-ontwikkelingen in de binnenvaart op Nederlands grondgebied tussen 1993 en 2020.  
[Harms, 2000]

	1993	EC-2010	EC-2020
Tonnage	262,5	301,1	329,0
Index	100	115	125
Tonkilometers	32057,8	36201,5	37704,0
Index	100	113	118
Vaartuigkm	49,4	57,2	60,9
Index	100	116	123

In tabel 1 van bijlage 5.E is percentueel weergegeven hoe het verloop van de verschillende goederengroepen in de toekomst zal zijn in het EC-scenario. Hier is 1993 als basisjaar genomen. Uit deze gegevens blijkt dat de goederenstroom 'textiel' de hoogste groei kent evenals de post 'overige' (een verdrievoudiging in 2020 vergeleken met 1993). In de goederenstroom 'overige' is met name de groei van de containervaart weergegeven (ook een verdrievoudiging). Alleen de goederenstroom 'landbouw' heeft een dalend verloop, wat waarschijnlijk toe te schrijven is aan de inkrimping van de veestapel.

### 5.3.3 Omvang en samenstelling scheepsvloot

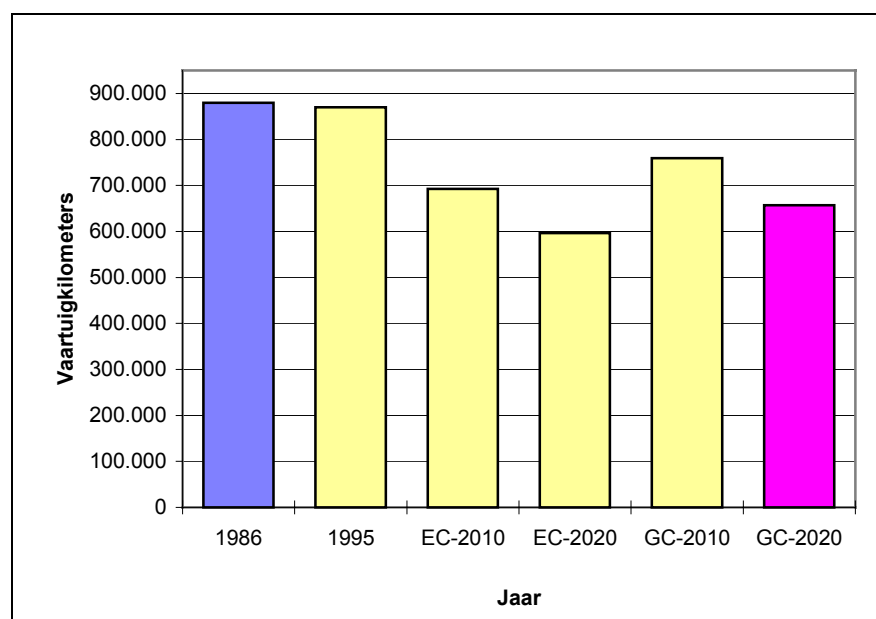
Aangezien de levensduur van scheepsmotoren lang is (circa 25 jaar), zal er op korte termijn weinig verandering optreden in de samenstelling van de motoren in de scheepsvloot van de zeescheepvaart en de binnenvaart. De toekomstige ontwikkelingen van de typen schepen en de motoren van de schepen zullen in hoofdstuk 6 verder behandeld worden.

### 5.3.4 Af te leggen afstanden en routes

Net als in de subparagraaf 5.2.4 worden ter overzichtelijkheid zowel de af te leggen afstanden als de vaarroutes tegelijkertijd in deze subparagraaf behandeld.

#### *Vaarwegen in de zeescheepvaart*

In figuur 5.7 is de ontwikkeling van het aantal vaartuigkilometers in de periode 1995-2020 weergegeven. Zoals in deze figuur gezien kan worden, zal het aantal vaartuigkilometers afnemen. Dit is toe te schrijven aan het verplaatsen van havengebonden werkzaamheden richting de open zee. Op deze manier wordt de gemiddelde vaarafstand op Nederlands grondgebied gereduceerd. [Harms, 2000]



Figuur 5.7. De ontwikkeling van de vaartuigkilometers op Nederlands grondgebied in de zeescheepvaart. [Harms, 2000]

Voor de zeescheepvaart zijn er een tweetal groeimogelijkheden: 'shortsea shipping' en 'river sea navigation'. Zoals in paragraaf 4.5.2 reeds is vermeld, betreft 'shortsea shipping' het transport binnen Europa. Zeetransport wordt tot nu toe voornamelijk gebruikt voor bulkgoederen (zie figuur 5.4 en 5.5). Maar juist voor de zeescheepvaart/kustvaart liggen de kansen in het 'door-to-door'-transport van containers en trailers, waardoor een deel van het wegtransport overgenomen wordt. Er zijn geen dure voorzieningen voor de infrastructuur nodig, er wordt nauwelijks beslag gelegd op de bestaande ruimte en er is een grote capaciteit. Een nadeel is alleen dat de transportduur nog lang is, maar door de bouw van snellere schepen en nieuwe laad- en lostechnieken kan deze duur verkort worden. De mogelijkheden voor 'shortsea shipping' in Nederland liggen voornamelijk in de vaart op Noord-Spanje, Portugal, Zuid- en Midden-Italië, het Oostelijk Middellandse Zeegebied en de Oostzeestaten. [Scheijgrond, 1997] 'River sea navigation' is onderdeel van 'shortsea shipping'; het is een integratie van kustvaart en binnenvaart. Voor 'river sea navigation' zijn speciale rivier-zee schepen nodig die niet te groot en goed wendbaar in gesloten ruimtes en smalle doorgangen zijn. Het economisch voordeel van deze manier van transport is dat er geen overslag- en laadkosten gemaakt hoeven te worden. [Rissoden, 1998]

Er zijn een drietal andere redenen die de verkeersprestatie over zee beïnvloeden. Ten eerste is de olieprijs op het moment relatief laag, waardoor energiebesparingen niet worden bevorderd en waardoor de transportkosten van vele goederen laag zijn vergeleken met de totale kosten. Omdat transport over de weg sneller is, zal deze modaliteit meer aangewend worden ten koste van het vervoer over water.

De tweede reden is dat het JIT-principe in de markt steeds belangrijker zal worden, aangezien de opslagkosten hoog zijn (Just In Time; geen voorraad, dus pas goederen binnen krijgen wanneer ze nodig zijn). Omdat goederentransport over water voornamelijk geschikt is voor grote partijen en relatief traag is, zal het transport over weg gaan groeien. Schepen zijn namelijk niet geschikt voor frequent en snel transport over korte afstand. Door kleinere schepen in te zetten, kan de binnenvaart mogelijk wel concurreren met het wegtransport (zie paragraaf 8.5).

De laatste reden is dat overheden in Europa op het moment voornamelijk transport over land subsidiëren waardoor ook steeds meer transport over land plaatsvindt. Dit gaat ten koste van het vervoer met zeeschepen. [Ofstedal et al., 1996]

### ***Vaarwegen in de binnenvaart***

Net als de zeescheepvaart heeft de binnenvaart veel potentie om te groeien op het gebied van de containervaart. In het verleden werd de binnenvaart ook voornamelijk gebruikt voor de transport van bulkgoederen. De containervaart door binnenschepen is voornamelijk gericht op drie vaarwegen:

transport tussen Rotterdam en Antwerpen (en vice versa), korte-afstandsvervoer in de Benelux en de waterweg over de Rijn.

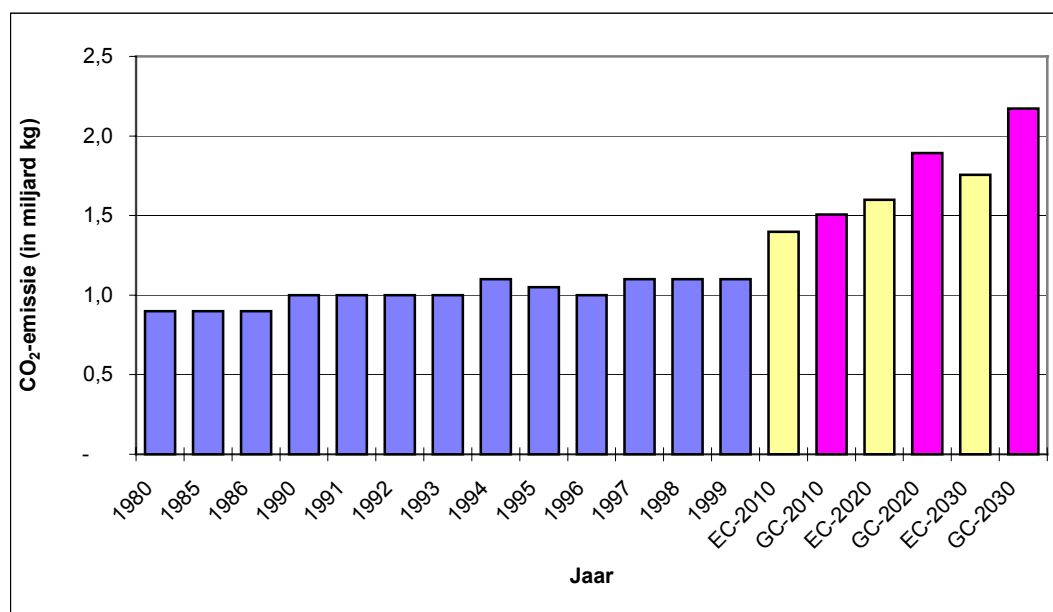
Uit gegevens blijkt dat de binnenvaart de goedkoopste vorm is voor het transporteren van een container in Europa, zelfs wanneer de kosten voor overslag meegerekend worden. Daarnaast is de binnenvaart het minst ontvankelijk voor vertragingen ten opzichte van de andere twee modaliteiten. Een nadeel is evenals bij de zeescheepvaart dat de transportduur langer is dan via weg of spoor. Een ander nadeel is dat de binnenvaart afhankelijk is van de waterstand in de binnenwateren. Een te hoge waterstand vermindert de capaciteit van het binnenschip, omdat de stapelhoogte van de containers beperkt wordt door de hoogte van bruggen. Door een te lage waterstand wordt de capaciteit opnieuw gereduceerd. Het te vervoeren gewicht mag namelijk niet te hoog zijn om te voorkomen dat het schip vastloopt op de bodem. [Bascombe, 1997]

### 5.3.5 Emissies

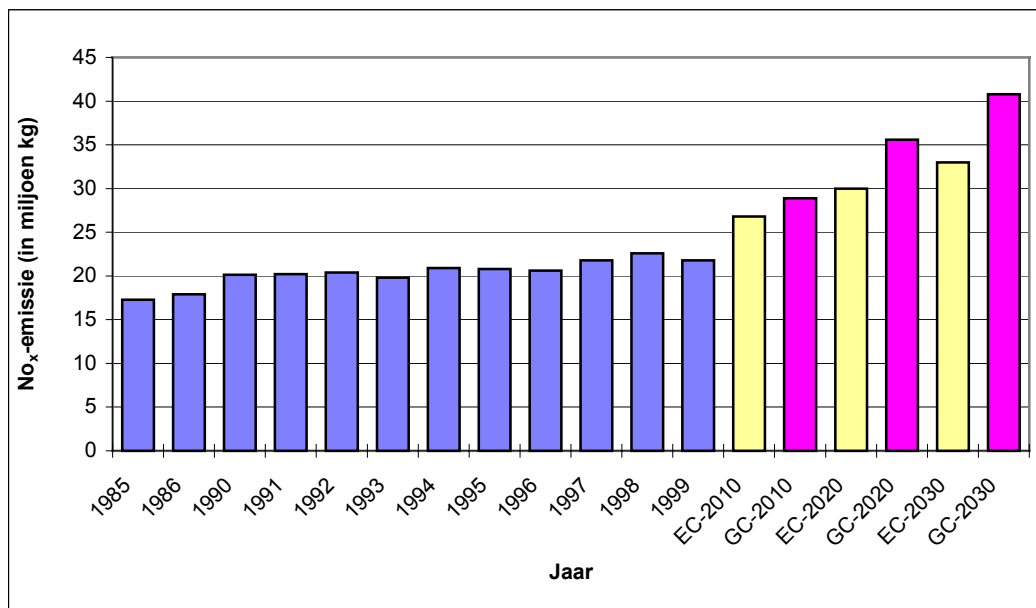
In deze subparagraaf worden de prognoses behandeld van enkele (belangrijke) emissies behandeld die ook in hoofdstuk 3 aan de orde zijn gekomen. In de bijlagen 5.A en 5.B is het verloop van het energiegebruik, de vervoersprestatie en de emissies naar de lucht van een aantal stoffen kwantitatief weergegeven. Het betreft de stoffen CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NMVOS, VOS, CO en PM<sub>10</sub>. De gegevens van deze stoffen zijn grafisch verwerkt in deze subparagraaf. Het betreft hier de periode 1980-2020.

#### *Emissies door de zeescheepvaart binnengaats*

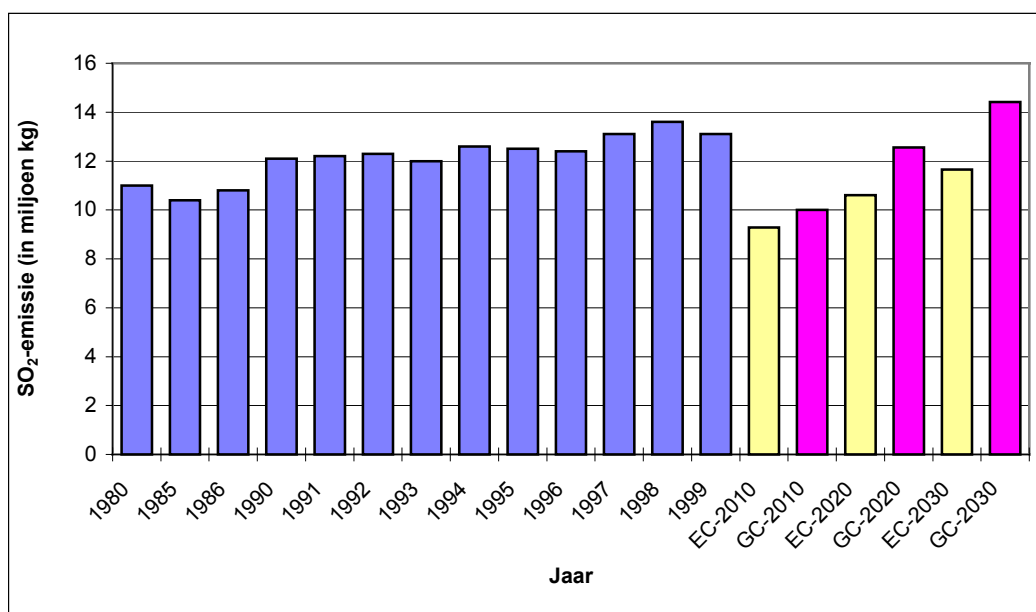
In de onderstaande figuren 5.8 tot en met 5.13 zijn de ontwikkelingen van de verschillende emissies weergegeven. Hierin is te zien dat voor alle stoffen geëmitteerd door de zeescheepvaart op Nederlands grondgebied geldt dat in zowel het EC- als het GC-scenario een toename van de emissie wordt verwacht voor de periode 2000-2030. Deze prognoses zijn opgemaakt op basis van het verwacht energiegebruik en de emissiefactoren. Dus een toename van het brandstofverbruik brengt ook een toename van de emissie met zich mee. Dit is ook in de grafieken te zien. Alleen voor de emissie van NMVOS (dus exclusief methaan) zijn geen prognoses bekend.



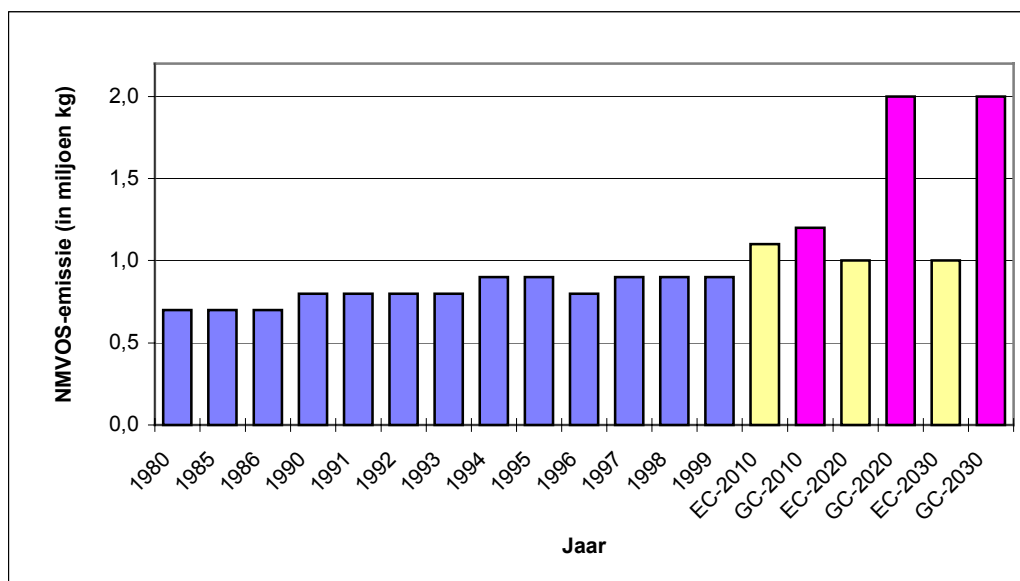
Figuur 5.8. De ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-emissie door de zeescheepvaart op Nederlands grondgebied tussen 1980 en 2030. [Feimann et al., 2000; Van den Brink, 2000]



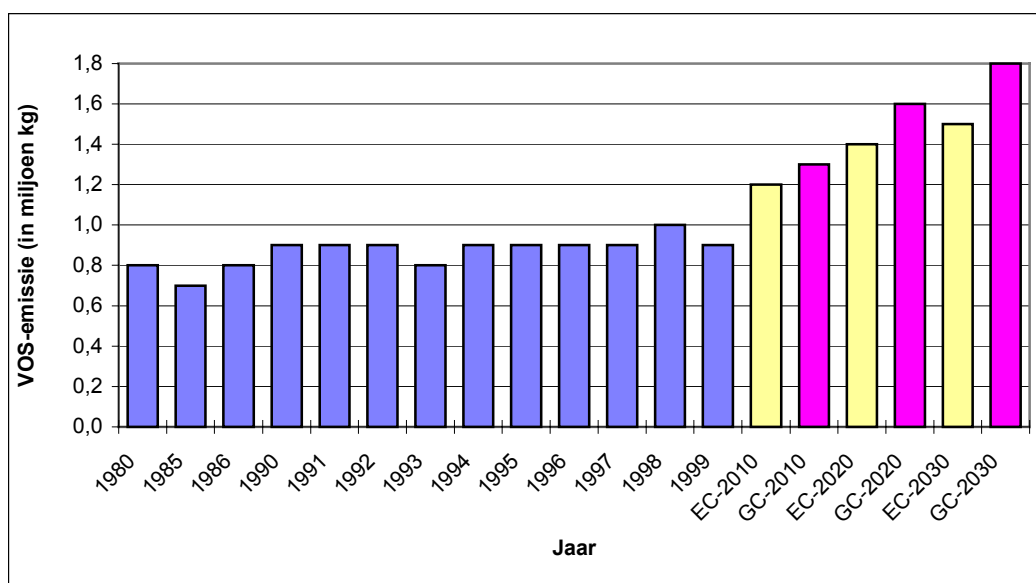
Figuur 5.9. De ontwikkeling van de NO<sub>x</sub>-emissie door de zeescheepvaart op Nederlands grondgebied tussen 1980 en 2030. [Feimann et al., 2000; Van den Brink, 2000]



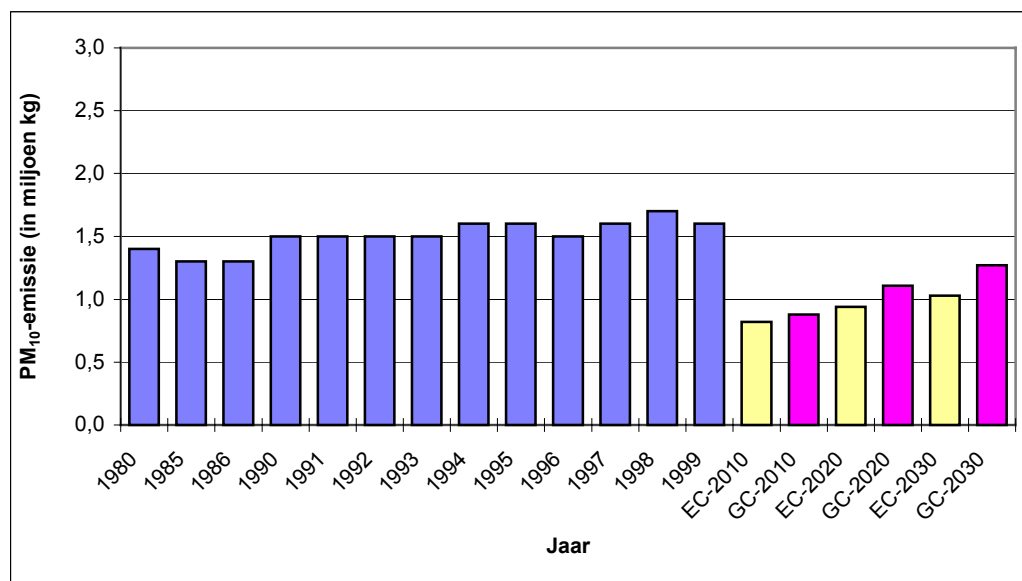
Figuur 5.10. De ontwikkeling van de SO<sub>2</sub>-emissie door de zeescheepvaart op Nederlands grondgebied tussen 1980 en 2030. [Feimann et al., 2000; Van den Brink, 2000]



Figuur 5.11. De ontwikkeling van de NMVOS-emissie door de zeescheepvaart op Nederlands grondgebied tussen 1980 en 2030 (prognoses zijn niet bekend).  
[Feimann et al., 2000; Van den Brink, 2000]



Figuur 5.12. De ontwikkeling van de VOS-emissie door de zeescheepvaart op Nederlands grondgebied tussen 1980 en 2030. [Feimann et al., 2000; Van den Brink, 2000]



Figuur 5.13. De ontwikkeling van de PM<sub>10</sub>-emissie door de zeescheepvaart op Nederlands grondgebied tussen 1980 en 2030. [Feimann et al., 2000; Van den Brink, 2000]

### **Emissies door de zeescheepvaart buitengaats**

In paragraaf 5.2.5 is reeds vermeld dat er niet veel gegevens bekend zijn over emissies buitengaats (op het NCP) in het verleden en heden. Daarom is het moeilijk om prognoses over de emissie van SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub> door de internationale zeescheepvaart voor de toekomst op te stellen. In tabel 5.7 is een tabel gemaakt op basis van gevonden gegevens zoals in tabel 5.4 uit paragraaf 5.2.5.

Tabel 5.7. SO<sub>2</sub> -, NO<sub>x</sub> - en CO<sub>2</sub> -emissies van de internationale zeescheepvaart. [Geurs et al., 1998; Van Velzen en Wit, 2000; Kågeson, 1999]

Locatie emissie	2010 (tonnage in miljoen ton)				
	SO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	NO <sub>x</sub> <sup>1)</sup>	CO <sub>2</sub> -optie 1	CO <sub>2</sub> -optie 2	CO <sub>2</sub> -optie 3
Totale emissie wereldwijd	15,1	15,5	23,098	23,098	23,098
Totale emissie internationale zeescheepvaart	1,6	2,3	nb	nb	nb
Nederland's aandeel in emissie van zeescheepvaart (%)	nb	nb	0	nb	37,5 <sup>2)</sup>

nb = niet bekend

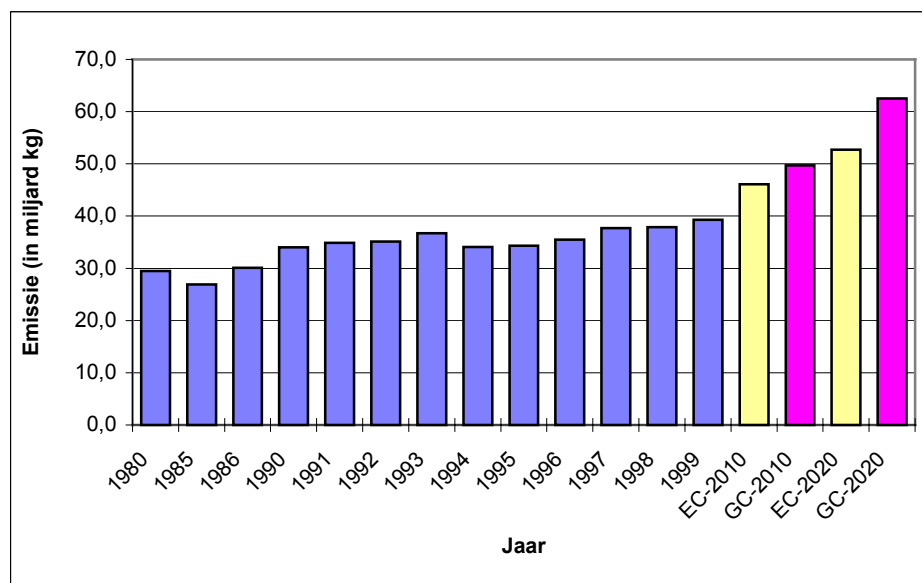
1) Emissiewaarden alleen binnen Europa (EU en NON-EU) en niet wereldwijd [Kågeson, 1999]

2) Dit is een prognose op basis van het EC-scenario; zie ook bijlage 4.A. zijn

Zoals in tabel 5.7 gezien kan worden, is het grootste gedeelte van de tabel niet ingevuld. Voor de bepaling van de omvang van de emissies van SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> van de totale internationale zeescheepvaart in 2010 is ervan uitgegaan dat er geen maatregelen in de periode 1990-2010 worden getroffen. Daarom zijn deze waarden gelijk aan de omvang van de emissies van SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> in 1990. De CO<sub>2</sub>-emissie van optie 3 is berekend door de in 2010 verwachte hoeveelheid bunkerbrandstoffen te vermenigvuldigen met de CO<sub>2</sub>-emissiefactor.

In figuur 5.14 is het verloop van de CO<sub>2</sub>-emissies door de internationale zeescheepvaart op Nederlands grondgebied weergegeven. Deze grafiek heeft betrekking op de periode 1980-2020 voor zowel het EC-scenario als het GC-scenario. Het bepalen van deze CO<sub>2</sub>-emissie is gebaseerd op de gebunkerde brandstoffen op Nederlands grondgebied.





Figuur 5.14. De ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-emissie uit gebunkerde brandstoffen op Nederlands grondgebied tussen 1980 en 2020. [Geurs et al., 1998]

In een rapport dat uitgevoerd is in opdracht van de Europese Commissie zijn prognoses van emissies gegeven voor de verschillende zeeën in Europa. De prognoses voor de emissies van SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> zijn respectievelijk gegeven in tabel 5.8 en 5.9 [Davies et al., 2000]. Hierbij zijn verschillende prognoses gegeven voor dezelfde wateren.

Tabel 5.8. SO<sub>2</sub>-emissies van de zeescheepvaart in Europa. [Davies et al., 2000]

SO <sub>2</sub>	Emissie in 1990 (Mton/jaar)	% van EU-15 in 1990	% van EU-15 in 2010 "huidig beleid"
Mondiale scheepvaart, prognose 1	8,5		
Mondiale scheepvaart, prognose 2	9,2		
Noord Atlantische Oceaan	4,4		
NO Atlantische Oceaan	1,4	8%	30%
Noordzee & NO Atlantische Oceaan, prognose 1	1,1	7%	23%
Noordzee & NO Atlantische Oceaan, prognose 2	1,4	8%	29%
NW Europese wateren & NO Atlantische Oceaan	1,1	6%	23%
Baltische zee	0,1	1%	2%
Baltische zee	0,2	1%	5%
Baltische zee	0,3	2%	6%
Mediterrane zee	0,4	2%	8%
Mediterrane zee	1,2	7%	26%
SO <sub>2</sub> van bunkerbrandstoffen verkocht in Europa	2,6	16%	55%

Tabel 5.9.  $NO_x$ -emissies van de scheepvaartsector in Europa. [Davies et al., 2000]

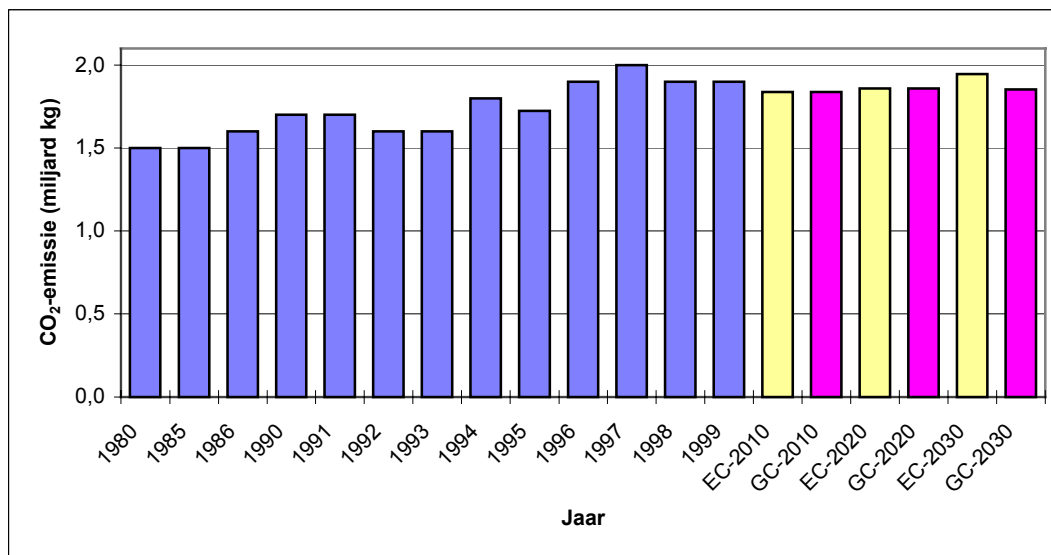
$NO_x$	Emissie in 1990 (Mton/jaar)	% van EU-15 in 1990	% van EU-15 in 2010 'huidig beleid'
Mondiale scheepvaart, prognose 1	10,1		
Mondiale scheepvaart, prognose 2	11,0		
Noord Atlantische Oceaan	5,3		
NO Atlantische Oceaan	1,9	14%	28%
Noordzee & NO Atlantische Oceaan, prognose 1	1,6	12%	24%
Noordzee & NO Atlantische Oceaan, prognose 2	2,0	15%	29%
NW Europese wateren & NO Atlantische Oceaan	1,3	10%	18%
Baltische zee			
Baltische zee	0,4	3%	5%
Baltische zee	0,3	2%	5%
Mediterrane zee	0,5	4%	7%
Mediterrane zee	1,7	13%	25%

Uit bovenstaande twee tabellen blijkt dat de emissie van  $SO_2$  ruim verdrievoudigd zal zijn in 2010 ten opzichte van 1990. Voor de emissie van  $NO_x$  is dit een verdubbeling.

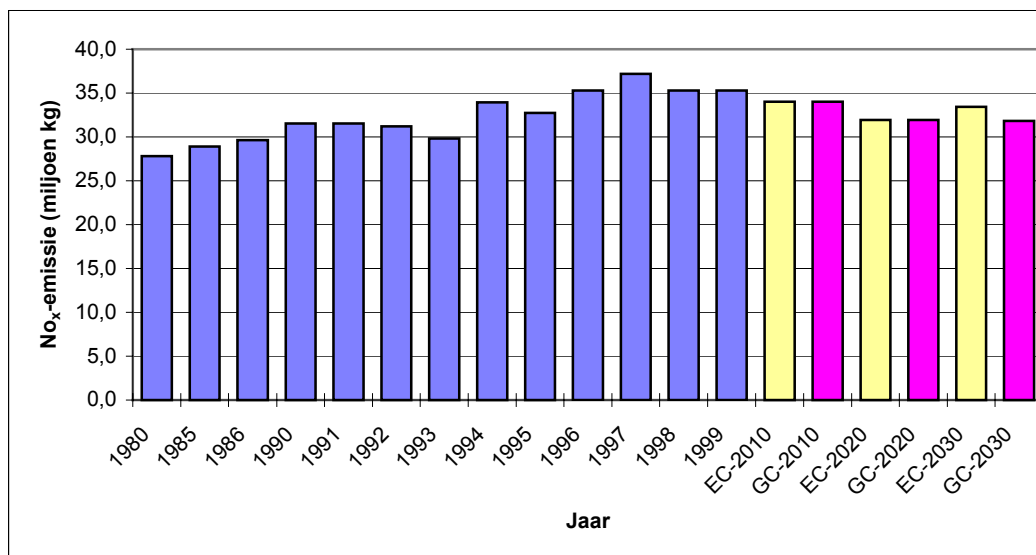
#### **Emissies door de binnenvaart**

In de onderstaande figuren 5.15 tot en met 5.19 is het verloop van de verschillende emissies gegeven in de periode 1980-2020. In deze figuren is te zien dat in zowel het EC- als het GC-scenario een lichte toename van de emissie van alle geëmitteerde stoffen wordt verwacht voor de periode 2000-2020. Dit is overeenkomstig de lichte toename van het brandstofverbruik, wat ook in de grafieken is aangegeven. Alleen voor de emissie van NMVOS (dus exclusief methaan) zijn geen prognoses bekend. Opvallend is het grote verschil van de emissie van  $NO_x$  in het EC-scenario en in het GC-scenario (zie figuur 5.15). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat er in het GC-scenario technieken worden ingezet met betrekking tot de scheepsmotoren die reeds gebruikt worden voor voertuigen op de weg. In het GC-scenario is de technologische ontwikkeling en diffusie namelijk snel [Geurs et al., 1998].

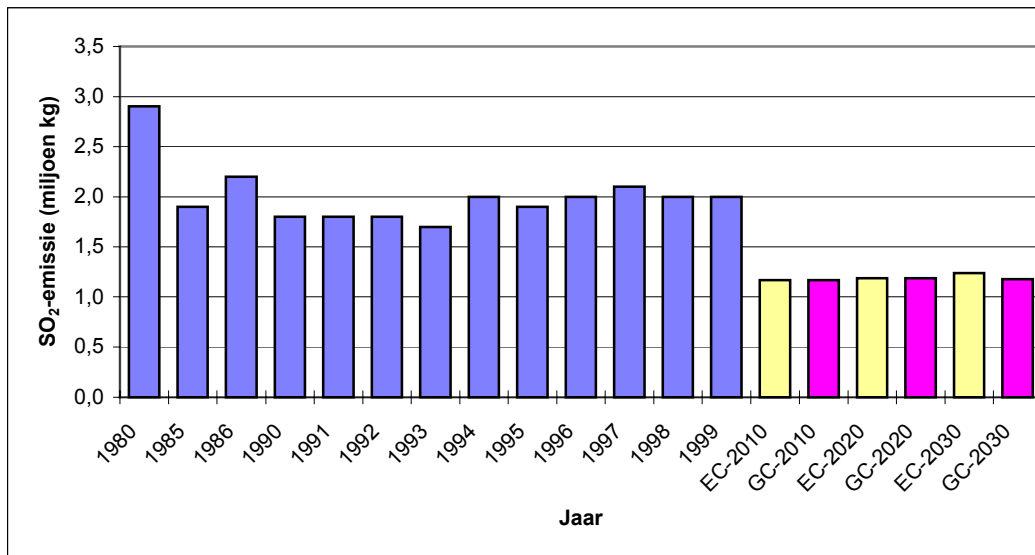
Uit een CE-rapport blijkt dat de binnenvaart met betrekking tot emissie van  $CO_2$  zijn voorsprong zal behouden op het wegverkeer. Voor  $NO_x$  en  $PM_{10}$  zal deze voorsprong geheel verdwijnen en zelfs tot een achterstand leiden. In dit rapport is alleen gekeken naar een nieuwe zware truck en een nieuw binnenschip. [Dings et al., 1997]



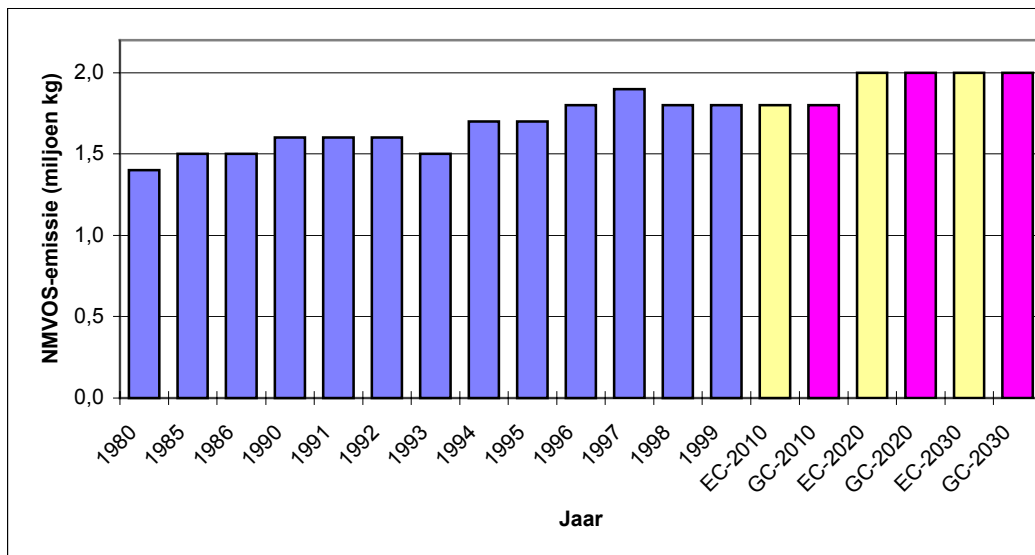
Figuur 5.15. De ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-emissie door de binnenvaart op Nederlands grondgebied tussen 1980 en 2030. [Feimann et al., 2000; Van den Brink, 2000]



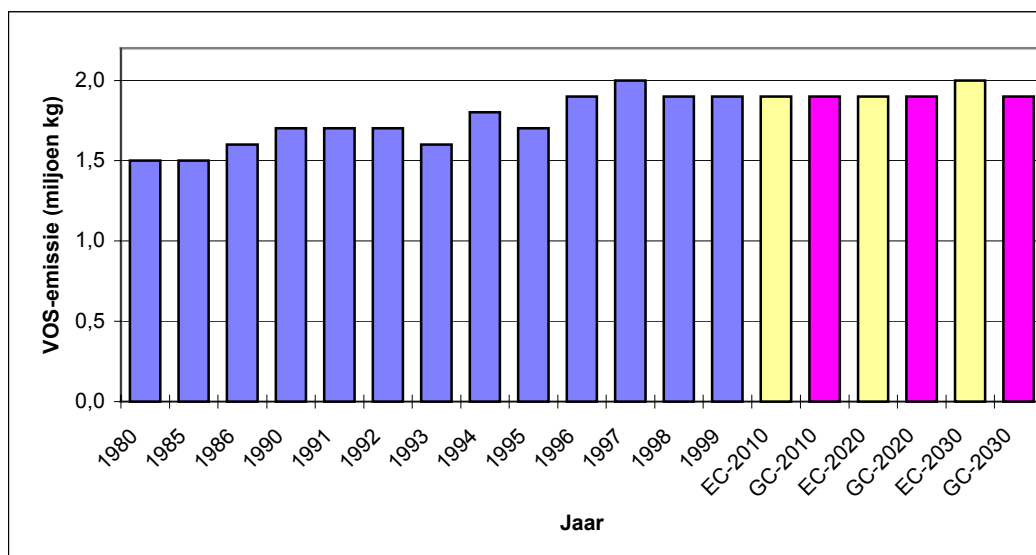
Figuur 5.16. De ontwikkeling van de NO<sub>x</sub>-emissie door de binnenvaart op Nederlands grondgebied tussen 1980 en 2030. [Feimann et al., 2000; Van den Brink, 2000]



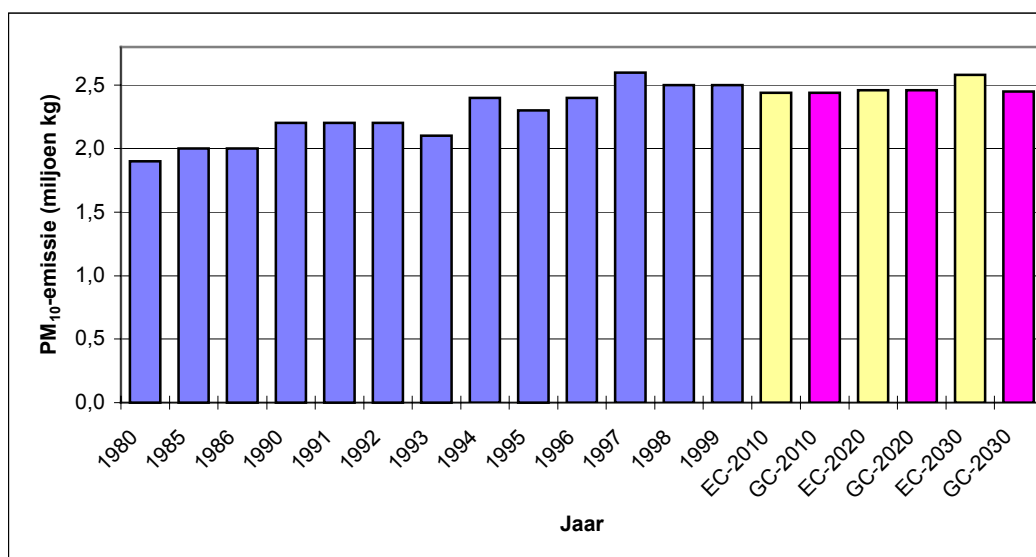
Figuur 5.17. De ontwikkeling van de SO<sub>2</sub>-emissie door de binnenvaart op Nederlands grondgebied tussen 1980 en 2030. [Feimann et al., 2000; Van den Brink, 2000]



Figuur 5.18. De ontwikkeling van de NMVOS-emissie door de binnenvaart op Nederlands grondgebied tussen 1980 en 2030. [Feimann et al., 2000; Van den Brink, 2000]



Figuur 5.19. De ontwikkeling van de VOS-emissie door de binnenvaart op Nederlands grondgebied tussen 1980 en 2030. [Feimann et al., 2000; Van den Brink, 2000]



Figuur 5.20. De ontwikkeling van de PM<sub>10</sub>-emissie door de binnenvaart op Nederlands grondgebied tussen 1980 en 2030. [Feimann et al., 2000; Van den Brink, 2000]

## 5.4 Deelconclusie

Dit hoofdstuk heeft twee deelvragen behandeld. De eerste deelvraag betreft de ontwikkeling van de factoren die de milieubelasting bepalen en de daarbij behorende emissies. Hierbij is er een onderscheid gemaakt tussen ontwikkelingen in het verleden en het heden en toekomstige ontwikkelingen. De prognoses zijn gedaan op basis van twee CPB-scenario's, namelijk het EC-scenario en het GC-scenario. In deze scenario's zijn aannames gedaan over mondiale economische ontwikkelingen, demografische, sociaal-culturele en technologische ontwikkelingen. Met betrekking tot de emissies is er een driedeling gemaakt naar emissies door de zeescheepvaart binnengaats, door de zeescheepvaart buitengaats en door de binnenvaart.

In het verleden is er een lichte stijging te zien van de geëmitteerde stoffen in zowel de zeescheepvaart als de binnenvaart. Voor alle emissies door zowel de zeescheepvaart als de binnenvaart geldt dat een toename wordt verwacht voor de periode 2000-2030. Dit is overeenkomstig de stijging van het energiegebruik door beide sectoren. Deze toename is voor de zeescheepvaart sterker dan voor de binnenvaart. In de binnenvaart zijn de prognoses in het EC-scenario ongeveer gelijk als de prognoses in het GC-scenario. Voor de zeescheepvaart is dit niet het geval: de prognoses van het GC-scenario zijn hoger dan van het EC-scenario. Een mogelijke reden is dat de economische groei in Nederland

hoger is in het GC-scenario dan in het EC-scenario wat leidt tot meer welvaart en dus ook tot meet goederentransport.

In beide scenario's is geen bronbeleid door de Nederlandse overheid verondersteld, maar wel op Europees en internationaal niveau. Uit de prognoses blijkt dus dat de omvang van emissies in de scheepvaartsector in de toekomst groter zal worden, wanneer er geen verdergaande milieumaatregelen getroffen zullen worden.

De tweede deelvraag heeft betrekking op de emissies in Nederland in verhouding tot de emissies in Europa en de emissies wereldwijd. Dit is met name van belang voor de internationale zeescheepvaart omdat vanuit de IPCC-methodiek de emissies van deze categorie tot nu toe niet aan landen worden toegerekend. Afhankelijk van de gebruikte allocatie-methode is Nederland verantwoordelijk voor maximaal 20% van de totale mondiale CO<sub>2</sub>-emissie door de internationale zeescheepvaart. Dit komt overeen met circa 33 miljoen ton CO<sub>2</sub>. Omdat Nederland een grote afzet van bunkerbrandstoffen heeft, is de allocatie op basis van deze factor niet gunstig voor Nederland. Het aandeel is afhankelijk van de gekozen allocatiemethode.

Uit een studie uitgevoerd in opdracht van de Europese Commissie is gebleken dat de emissie van SO<sub>2</sub> in Europese wateren ruim verdrievoudigd zal zijn in 2010 ten opzichte van 1990. Voor de emissie van NO<sub>x</sub> is dit circa een verdubbeling.

## 6 Mogelijkheden ter vermindering van emissies

### 6.1 Inleiding

Hoofdstuk 5 gaf aan dat de prognoses voor de periode 2000-2020 van de emissies door de zeescheepvaart op Nederlands grondgebied naar verwachting een sterk stijgend verloop in de tijd zullen hebben. Voor de binnenvaart is de stijging zwakker. Genoemde ontwikkelingen gelden voor zowel het EC- als het GC-scenario. Deze twee scenario's kunnen ieder voor zich gezien worden als 'business-as-usual'-scenario's. Dit houdt in dat de betreffende ontwikkelingen zich op deze manier kunnen voltrekken, wanneer er geen maatregelen getroffen worden om emissies te reduceren. In hoofdstuk 8 zal verder op het beleid in Nederland, Europa en de wereld worden ingegaan. Door de bezorgdheid om gezondheid en milieu vanuit de maatschappij en door (toekomstige) wetgeving en regelingen vanuit de overheden zal gepoogd moeten worden om de omvang van de emissies in scheepvaartsector in te toekomst te verkleinen. [Agee, 1999]

Dit hoofdstuk behandelt de verbeteringsmogelijkheden om emissies naar de lucht te reduceren. Dit zijn mogelijkheden op het gebied van brandstoffen, techniek, een combinatie van beiden en overige mogelijkheden. De bijbehorende deelvraag, nummer vijf uit hoofdstuk 1, luidt:

*Met welke maatregelen, gericht op technieken en brandstoffen, kunnen emissies naar de lucht verminderd worden in de scheepvaart?*

Naast de inventarisatie van mogelijkheden in de paragrafen 6.2 tot en met 6.5 wordt in paragraaf 6.6 bekeken welke implementatiebarrières er zijn voor de verschillende mogelijkheden. De laatste paragraaf zal de belangrijkste conclusies uit dit hoofdstuk geven.

Aangezien de emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> de grootste omvang hebben, wordt voornamelijk aandacht besteed aan de reductie van deze drie stoffen. Desalniettemin wordt in mindere mate ook gekeken naar andere emissies, zoals VOS. Daarnaast moet in gedachte gehouden worden, dat maatregelen ter vermindering van één bepaalde emissie zowel positieve als negatieve effecten kunnen hebben op de omvang van een andere emissie. In dit hoofdstuk zal een korte beschrijving gegeven worden van sommige maatregelen. Voor een uitgebreidere beschrijving zal soms worden verwezen naar bijlage 6.A. De kosten en de kosteneffectiviteit van de verschillende maatregelen zullen in hoofdstuk 7 behandeld.

## 6.2 Mogelijkheden met betrekking tot brandstof

### 6.2.1 Inleiding

In deze paragraaf worden de mogelijkheden beschreven om emissies naar de lucht te reduceren door veranderingen in de samenstelling van de scheepsbrandstoffen en het inzetten van andere (alternatieve) brandstoffen. Hierbij wordt er een onderscheid gemaakt naar reductie van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>. De laatste subparagraaf geeft een overzicht van alternatieve brandstoffen, die mogelijk in de scheepvaart in de toekomst gebruikt kunnen worden. Tevens worden de voor- en nadelen behandeld van de verschillende mogelijkheden.

### 6.2.2 Reductie van NO<sub>x</sub>

Zoals reeds in paragraaf 4.3.1 is aangegeven, worden de ontbrandings- en verbrandingskarakteristieken van de zware stookolie gereduceerd door de verontreiniging met aromaten. De hoge aromatische eigenschappen van de zware stookolie leiden tot een minder goede verbranding en dus tot meer emissies. De concentratie van deze verontreinigingen wordt steeds hoger omdat de olieraffinaderijen steeds meer hoogwaardige olieproducten destilleren uit ruwe olie. Het gevolg is dat er meer NO<sub>x</sub> vrijkomt bij verbranding van de zware stookolie. Een oplossing zou kunnen zijn om in een eerder stadium te stoppen met het raffineren. Aangezien dit een verlies van bedrijfswinst oplevert voor de olieproducenten, zal dit kunnen leiden tot grote weerstand van deze

sector. Een ander probleem is het feit dat deze oplossing een internationale aanpak vereist. Omdat de maritieme olie-industrie een internationale aangelegenheid is, kan het stellen van eisen in een bepaald aantal landen leiden tot ongelijke concurrentie. Daarom moet dit gelijk getrokken worden. Ook doordat zeeschepen wereldwijd varen, zal overal gelijke eisen gesteld moeten worden om een merkbaar en effectief milieu-effect te krijgen. Deze paragraaf gaat in op zowel de binnenvaart als de zeescheepvaart, omdat zware stookolie in beide sectoren gebruikt wordt.

### **6.2.3 Reductie van SO<sub>2</sub>**

Zoals eerder is vermeld, is de uitstoot van SO<sub>2</sub> afhankelijk van het zwavelgehalte in de brandstof. Daarom kunnen er enkel maatregelen met betrekking tot de brandstof genomen worden ter reductie van de SO<sub>2</sub>-emissie en geen technische maatregelen aan de motor. Wel kan de SO<sub>2</sub>-emissie (en alle andere emissies) gereduceerd worden door energiebesparende maatregelen te treffen en nabehandelingstechnieken toe te passen. Deze maatregelen worden behandeld in paragraaf 6.3.2 respectievelijk paragraaf 6.3.3.

#### ***Zeescheepvaart***

Om te voorkomen dat er SO<sub>2</sub> naar de lucht wordt uitgestoten, is een reductie van het zwavelgehalte in de gebruikte scheepsbrandstoffen noodzakelijk. Laagzwavelige brandstof is reeds beschikbaar op de markt. Er zijn geen technologische knelpunten die het gebruik van laagzwavelige brandstof in de weg staan. Door de hogere kwaliteit van dit type brandstof loopt de motor zelfs soepeler en is er minder risico op bedrijfsproblemen. [Kågeson, 1999] Wanneer om economische redenen gekozen wordt om zowel op hoogzwavelige als laagzwavelige brandstoffen te varen, kan het bouwen van een dubbele brandstofinstallatie op schepen wel problemen opleveren. Deze dubbele brandstof-installatie kan nodig zijn wanneer er verschillende brandstof-eisen worden gesteld op open zee en in bepaalde aangewezen wateren.

Zoals in paragraaf 4.3 reeds is gezegd, is hoogzwavelige brandstof een residuaal olieproduct. De olieraffinaderijen kunnen hun residuale olieproducten in de huidige hoedanigheid afzetten aan deze sectoren zonder bijkomstige zuiveringsprocessen. Hoogzwavelig brandstof heeft namelijk tot nu toe altijd een toepassing gehad, namelijk voor elektriciteitscentrales, voor de industrie op het land en als brandstof voor de scheepvaart. Er zijn namelijk geen eisen gesteld aan het zwavelgehalte voor stookinstallaties op het land. Daarentegen zijn er wel emissienormen vastgesteld in het Besluit Emissie-eisen Stookinstallatie (BEES A en B) [Infomil, 2001]. Om zwavel uit de brandstof te halen kan een ontzwavelingsproces uitgevoerd worden (zie paragraaf 4.3.1). Het proces van ontzwaveling van de residuale olieproducten brengt investeringen met zich mee en vergt een hogere energieconsumptie van de raffinaderijen. Vooral het verwijderen van de laatste restjes zwavel in een brandstof is het moeilijkst en het meest energie-intensief voor de olieraffinaderijen (en dus ook het duurst). Dit is met name van belang voor de scheepsgasolie.<sup>9</sup>

Het toepassen van het ontzwavelingsproces verhoogt de prijs van deze brandstoffen, zodat er nog minder stimulans is om dit proces uit te voeren. Uit gegevens blijkt dat circa zes ton CO<sub>2</sub> wordt geproduceerd om één ton zwavel te verwijderen. [Oftedal et al., 1996] De vraag moet dus gesteld worden of het waard is om de uitstoot van verzurende stoffen te beperken met als gevolg een zesmaal zo grote toename van de uitstoot van broeikasgassen. Voor er antwoord gegeven kan worden op deze vraag moeten alle pro's en contra's van ontzwaveling afgewogen worden. Een ander nadeel van ontzwaveling is dat het minder gewenste restproduct cokes kan ontstaan in plaats van residuale olieproducten.

Doordat er geen technische problemen verbonden zijn aan het gebruik van laag zwavelige brandstoffen, is het goed mogelijk dat in de toekomst dit type brandstof in grotere mate gebruikt gaat worden. [Oftedal et al., 1996]

#### ***Binnenvaart***

Bovenstaande maatregel is ook van toepassing op de binnenvaart, aangezien in binnenschepen ongeveer dezelfde scheepsbrandstoffen worden gestookt als in zeeschepen. Bij volledige omzetting

---

<sup>9</sup> Interview met dhr. H.L. Baarbé van de directie KVI over scheepvaart en milieu op donderdag 7 juni 2001, Ministerie van VROM, Den Haag



van zwavel in scheepsgasolie tot SO<sub>2</sub> wordt per massaprocent (%m) zwavel in de brandstof 19 gram SO<sub>2</sub> geëmitteerd. Bij verlaging van het zwavelgehalte van 0,2% naar 0,1% wordt de SO<sub>2</sub>-emissie verlaagd met 1,9 gram per kilogram verstoekte scheepsgasolie. Daarnaast zal de verlaging van het zwavelgehalte een reductie van circa 0,1 gram fijn stof per verstoekte kilogram scheepsgasolie ten gevolg hebben. Maar zoals reeds in de vorige paragraaf vermeld is, zal de uitstoot van CO<sub>2</sub> toenemen door toepassing van het ontzwavelingsproces. Wanneer het totaal energiegebruik in de binnenvaart circa 600 miljoen kg bedraagt, zal de SO<sub>2</sub>-reductie een omvang hebben van ruim 1 miljoen kg. Voor fijn stof zal de reductie circa 60.000 kg bedragen. [Dings et al., 1997; Feimann et al., 2000]

#### 6.2.4 Reductie van CO<sub>2</sub>

De omvang van de CO<sub>2</sub>-uitstoot is direct afhankelijk van de consumptie van brandstof en niet zo zeer van de samenstelling van de brandstof. Dit geldt zowel voor de binnenvaart als voor de zeescheepvaart. Reductie van CO<sub>2</sub> kan dus bereikt worden wanneer de energieconsumptie verlaagd wordt met behulp van bijvoorbeeld energiebesparende technische of logistieke maatregelen. Deze maatregelen worden behandeld in paragraaf 6.3.2 en 6.5.1. Ook kan de emissie van CO<sub>2</sub> gereduceerd worden door het toepassen van sommige alternatieve brandstoffen. Hierbij is het onderscheid tussen fossiele en niet fossiele brandstoffen van belang. Deze alternatieve brandstoffen worden in de volgende paragraaf behandeld.

#### 6.2.5 Alternatieve brandstoffen

##### *Commerciële brandstoffen*

Een alternatief voor het stoken van zware stookolie is het stoken van scheepsgasolie. Zeeschepen kunnen varen op scheepsgasolie, maar dit vereist een aantal kleine technische aanpassingen, onder andere met betrekking tot de gebruikte smeerolie en het brandstofsysteem. Zonder deze technische aanpassingen kan een zeeschip wel voor korte tijd op scheepsgasolie varen. Voor het stoken van zware stookolie zijn speciale verwarmingscomponenten nodig, zodat de viscositeit van de stookolie verlaagd wordt. Deze componenten zullen overbodig worden, wanneer scheepsgasolie gestookt zal worden.<sup>10</sup> Deze vervanging van stookolie door scheepsgasolie kan leiden tot een energiebesparing van 4-5%. [IMO, 2000] Doordat er geen fundamentele technische knelpunten zijn voor de vervanging van zware stookolie met scheepsgasolie kan deze brandstof reeds ingezet worden. Om economische redenen is er in geringe mate sprake van vervanging.

Naast scheepsgasolie kan ook aardgas ingezet worden. Aardgas bestaat voor ruim 90% (volumepercenten) uit methaan (CH<sub>4</sub>) en voor de rest uit andere bestanddelen, zoals ethaan en stikstof. Aardgas kan op twee manieren gebruikt worden als energiebron: zuiver aardgas of een mengsel van aardgas en dieselolie (zie voor verdere info ook paragraaf 6.3.3, 6.3.4 en 6.4.1). Het zuivere aardgas kan in gasvorm (Compressed Natural Gas, CNG) of vloeibare vorm (Liquified Natural Gas, LNG) aangewend worden. De kostenposten voor aardgas hebben betrekking op de grondstofkosten, transportkosten (onder andere distributie met behulp van pijpleidingnetwerk en afgifte) en overige kosten. Aardgas is een goedkopere brandstof dan hoogwaardige olie-derivaten, maar waarschijnlijk niet dan zware stookolie. Aardgas heeft een veel lagere emissie van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, rook en fijn stof dan dieselbrandstof, maar geen constante brandstofeigenschappen (onder andere geen constante samenstelling). Hiervoor moeten soms technische aanpassingen gedaan worden. Omdat aardgas maar uit één koolstofatoom bestaat, is de uitstoot van CO<sub>2</sub> ook veel lager.

Aardgas zelf hoeft geen schone brandstof te zijn. De toepassing van aardgas als schone brandstof vereist het gebruik van de juiste technieken door de variaties in samenstelling. Wanneer aardgas gebruikt wordt voor de aandrijving van schepen moeten er veel veiligheidsmaatregelen getroffen worden, zoals bijvoorbeeld de mogelijkheid tot onmiddellijke stopzetting van het gehele systeem in geval van nood. [King, 1992; PG&E, 2000; Blythe, 2000] In verband met deze veiligheidsaspecten staat de scheepvaartinspectie in Nederland het nog niet toe om aardgas te gebruiken in schepen.<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

<sup>11</sup> Interview met dhr. W.J. Dijkstra van Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie op vrijdag 8 juni 2001, Delft

Ook het inzetten van alternatieve en niet-fossiele brandstoffen is een mogelijkheid om emissies naar de lucht te reduceren. Hierbij kan onder andere gedacht worden aan synthetische diesel, biobrandstoffen, zonne-energie, dimethyl ether (DME) en propaan. [Fiffick, 2000] Deze alternatieven zullen hieronder behandeld worden.

### **Biobrandstoffen**

Biobrandstoffen bestaan uit chemische bestanddelen gehaald uit cellulose van biomassa. Het voordeel van dit hergebruik is dat de natuurlijke rest- en afvalproducten (biomassa) oorspronkelijk geen nut en waarde hadden, maar nu toch nuttig ingezet kunnen worden. Er bestaan een aantal typen biobrandstoffen, maar voor de scheepvaartsector is met name het type biodiesel een mogelijk alternatief voor de dieselbrandstoffen. Biodiesel wordt gemaakt van plantaardige oliën (zoals van sojabonen), dierlijke vetten en recyclede vetten. Biodiesel kan gemengd worden met conventionele dieselbrandstoffen of in pure vorm gebruikt worden. Naarmate er meer biodiesel door de conventionele dieselbrandstof wordt gemengd, zal de omvang van de emissies meer gereduceerd worden (zie ook bijlage 6.A). Een groot voordeel is dat biobrandstoffen korte koolstofketens heeft, omdat biobrandstoffen niet fossiel zijn.

De toepassing van een mengsel van diesel en biodiesel behoeft weinig tot geen veranderingen aan de conventionele dieselmotoren. Het gebruik van biodiesel in conventionele dieselmotoren reduceert de omvang van niet-verbrande koolwaterstoffen, koolmonoxide en fijn stof. De karakteristieken met betrekking tot het opstarten, het vermogen, het bereik en de prestatie bij koud weer zijn voor biodiesel gelijk aan de karakteristieken van dieselbrandstof. Biodiesel is meer geoxideerd dan conventionele brandstoffen en daardoor vindt er dus een meer volledige verbranding plaats. Hierdoor komt er minder vast koolstof in de verbrandingsgassen terecht. De emissie van NO<sub>x</sub> zal licht toe- of afnemen, afhankelijk van de gebruikte methoden. Aangezien biodiesel geen zwavel bevat is er ook geen SO<sub>2</sub>-uitstoot. Dit geldt ook voor aromaten. De fractie van oplosbare stoffen blijft gelijk of neemt toe. Negatieve effecten op mensen, dier en planten zijn relatief klein door de verminderde emissie naar de lucht van de verschillende stoffen.

Er zijn nog een aantal andere positieve karakteristieken van biodiesel in vergelijking met conventionele diesel. De verbrandingsgassen van biodiesel hebben een minder vieze geur (volgens sommigen zelfs te vergelijken met de geur van frietjes of popcorn) en zijn biologisch afbreekbaar. Daarnaast is de ontbrandingstemperatuur van biodiesel hoog en is het brandgevaar dus kleiner vergeleken met 'gewone' diesel. Een ander verschil is dat mengsels met biodiesel een beter smerende werking hebben dan 'pure' dieselbrandstof, wat resulteert in minder slijtage.

Het gebruik van biodiesel is goed te combineren met de toepassing van katalysatoren (oplosbare fracties worden namelijk gereduceerd met deze katalysatoren en niet het vast koolstof) en EGR-systemen (deze systemen hebben een langere levensduur door de lagere hoeveelheden van vast koolstof in de verbrandingsgassen). In paragraaf 6.3.3 wordt meer uitleg gegeven over deze nabehandelingssystemen. Ook zijn er geen speciale opslagfaciliteiten nodig: de biodiesel kan in bestaande faciliteiten voor conventionele diesel worden opgeslagen. [NBB, 2001; NBP, 2001]

Op het moment van totstandkoming van dit rapport zijn er mensen die weinig toekomst zien in biobrandstoffen voor het milieu. De kosten voor de productie van biobrandstoffen zijn namelijk nog zeer hoog en kan nog niet concurreren met andere alternatieven. Daarnaast schijnt het dat er andere stoffen dan biomassa toegevoegd worden bij de productie van biobrandstoffen. Deze stoffen worden aan de grond toegevoegd en komen zo in de biomassa terecht, zoals kunstmest. Er is een reductie mogelijk van enkele tientallen procenten CO<sub>2</sub>, maar de bestrijdingskosten hiervan zijn hoog. Het enige echte voordeel van biobrandstoffen is dat biobrandstoffen makkelijk afbreekbaar zijn. Op locaties waar het echt niet wenselijk is om fossiele brandstoffen toe te passen, zouden biobrandstoffen gebruikt kunnen worden. Op deze manier worden gezondheids- en milieurisico's bij lekkage of ongeval beperkt.<sup>12</sup> Door de geringe productiecapaciteit zal het (nog) niet haalbaar zijn om schepen op zuiver biodiesel te laten varen. Ook om technische en economische redenen is het beter om een mengsel van conventionele dieselbrandstoffen en biodiesel in te zetten in de scheepvaart.

---

<sup>12</sup> Interview met dhr. H.L. Baarbé van de directie KVI over scheepvaart en milieu op donderdag 7 juni 2001, Ministerie van VROM, Den Haag

### ***Zonne-energie***

Naast biomassa kan ook een andere natuurlijke energiebron aangewend worden, namelijk zonne-energie. In de binnenvaart wordt reeds geëxperimenteerd met zonnepanelen. Zonne-energie kan een bruikbare energiebron worden, wanneer de zonnepanelen geïntegreerd kunnen worden in de constructie van het schip. [Nederveen et al., 1999] Hierbij zal de opgewekte energie meer toegepast worden voor huishoudelijk energiegebruik dan voor de voortstuwing van het schip.<sup>13</sup>

### ***Propaan***

Propaan is een bijproduct van de productie van aardgas en de raffinage van olie-producten. Propaan wordt ook wel LPG (Liquified Petroleum Gas) genoemd, oftewel vloeibaar gemaakte petroleum gas. De chemische formule van propaan is C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>. Bij auto's kunnen er reducties behaald worden van circa 33% CH-emissie, circa 20% NO<sub>x</sub>-emissie en circa 60% CO-emissie. De opslag van propaan gebeurt in vloeibare vorm. Voordat het propaan de verbrandingskamer ingaat, converteert het vloeibare propaan zich in een gasvormig fase. Hierdoor vindt er een betere menging plaats van het gasvormig propaan en lucht, wat leidt tot een meer volledige verbranding. [PPRC, 1999] Door het lage kookpunt van propaan zijn de dezelfde veiligheidsaspecten zoals bij aardgas van belang. Het nadeel van het gebruik van propaan als brandstof is dat retrofit hiervoor moeilijk is. [Fiffick, 2000]

### ***Dimethyl ether***

Dimethyl ether (DME) is een synthetische brandstof en heeft dezelfde chemische eigenschappen als propaan en butaan. DME wordt gemaakt uit gassen met behulp van chemische reacties (zie ook bijlage 6.A). Wereldwijd wordt er circa 150 duizend ton DME geproduceerd. [NKK, 2000] Het gebruik van DME leidt tot een snellere verbranding, een verminderde motorslijtage en een rustigere loop van de motor. Dezelfde opslagfaciliteiten en infrastructuur als voor LPG kunnen dus gebruikt worden voor DME.

DME heeft een lage toxiciteit en valt binnen enkele tientallen uren uiteen. Daarom gaat men ervan uit dat DME niet bijdraagt aan het broeikaseffect en ook niet aan de aantasting van de ozonlaag. DME is veiliger dan propaan in geval van lekkage. Dimethyl ether heeft een lage temperatuur van zelfontbranding en is daardoor uitermate geschikt voor toepassing in dieselmotoren.

Uit een proefproject met een auto is gebleken dat de NO<sub>x</sub>-uitstoot met 20-30% gereduceerd kan worden door het stoken van DME. Ook werd er geen zwarte rook met roet (fijn stof) uitgestoten. Dit is toe te schrijven aan het feit dat er geen C-C-verbindingen aanwezig zijn in DME en door het hoge zuurstofgehalte in DME. Door de chemische structuur is het ook onwaarschijnlijk dat er PAK's en andere aromatische stoffen gevormd zullen worden. Ook zal er geen SO<sub>2</sub> uitgestoten worden, aangezien DME geen zwavel bevat. SO<sub>2</sub>-emissie zal enkel plaatsvinden bij de synthese van DME.

Gelijke resultaten zijn gevonden voor een proef van Volvo met een dieselmotor voor vrachtwagens. Het vermogen met DME was gelijk als met dieselbrandstof. Bij het toepassen van brandstofinjectie moet er speciaal apparatuur gebruikt worden door de unieke karakteristieken van DME. DME heeft namelijk een weinig smerende werking en een groot vermogen tot samenpersing, zodat conventionele pompen niet gebruikt kunnen worden. Daarnaast zullen er extra veiligheidsmaatregelen genomen moeten worden ter voorkoming van brand en explosie.

DME zal in de toekomst veel meer ingezet kunnen worden en ook gebruikt kunnen worden als bron van waterstof voor de brandstofcel (zie ook paragraaf 6.3.3). TNO Automotive is op dit moment in internationaal verband bezig met een onderzoek naar de mogelijkheden van dimethyl ether. [NKK, 2000; TNO, 2000; TDC, 2001]

### ***'Gas-to-liquid'-methode (GTL-methode)***

De 'gas-to-liquid'-methoden veranderen de fase van een brandstof (zoals aardgas) van gasvormig naar vloeibaar met behulp van chemische reacties.

Het transporteren van brandstof in deze vloeibare toestand is veel gemakkelijker en reduceert de hoge transportkosten. Het blijkt dat gebruik gemaakt zal kunnen worden van de infrastructurele faciliteiten van de olie-industrie. Een ander economisch voordeel is dat een GTL-centrale gemakkelijk te

<sup>13</sup> Interview met dhr. P. 't Hart, projectmanager R&D bij de Vereniging Nederlandse Scheepsbouw Industrie (VNSI) op woensdag 20 juni 2001, Zoetermeer

verplaatsen is, zodat geen hoge kosten gemaakt hoeven te worden voor permanente pijpleidingen, terminals en tankers zoals bij LNG. Bij uitputting van een gasreserve kan men de GTL-centrale verplaatsen naar een andere gasreserve.

Er zijn wereldwijd grote gasvoorraden om de GTL-methode toe te passen. Voor de synthetische aardolie en synthetische brandstoffen zal direct een afzetmarkt zijn, waardoor financiering makkelijker zal worden dan bij LNG.

De GTL-techniek biedt twee mogelijkheden van toepassing. Allereerst kan de synthetische ruwe olie vermengd worden met conventionele ruwe olie om daarvan vervolgens afgeleide olieproducten te maken. Deze olieproducten zijn minder zwaar en hebben een laag zwavelgehalte. Daarnaast kunnen de synthetische brandstoffen gebaseerd op de GTL-techniek vermengd worden met bestaande brandstoffen. Om aan bepaalde fysieke eisen van een motor te voldoen zullen er additieven toegevoegd worden, bijvoorbeeld om de smerende werking van de GTL-brandstoffen te bevorderen.

Diesel die gemaakt is met behulp van deze methode heeft gunstigere effecten op het milieu en de energie-efficiëntie dan diesel, afgeleid van petroleum. GTL-brandstoffen (gebaseerd op kobalt) zijn namelijk vrij van zwavel, metalen en aromaten. De te behalen emissiereducties zijn weergegeven in tabel 6.1. Deze synthetische dieselbrandstoffen kunnen mogelijk gebruikt worden in dieselmotoren van schepen. Door het inzetten van deze brandstoffen kunnen nieuwe technieken die schonere brandstoffen vereisen, toegepast worden om ook andere emissies te reduceren.

Ook hier is de verwachting dat synthetische GTL-brandstoffen zullen kunnen worden ingezet voor het genereren van waterstof voor brandstofcellen (zie ook paragraaf 6.3.3). De koolstofverbindingen in GTL-brandstoffen zijn namelijk verzadigd met waterstofmolekulen, zodat waterstof gegenereerd kan worden. [Agee, 1998a; Venkataraman, 2000; Snyder et al., 2000]

Tabel 6.1. Reductiepercentages van de emissie door gebruik van 'GTL-diesel' in plaats van diesel afgeleid van petroleum. [Venkataraman, 2000]

Emissie	Emissiereductie t.o.v. laagzwavelige petroleum diesel	Emissiereductie t.o.v. laagzwavelige/laag aromatische petroleum diesel
CH	41% - 46%	25% - 31%
CO	45% - 47%	34% - 38%
NO <sub>x</sub>	9%	5%
Fijn stof	27% - 32%	23% - 29%

### **PurinNO<sub>x</sub>**

Een andere alternatieve brandstof die recent op de markt is gekomen, is PuriNO<sub>x</sub> van het bedrijf Lubrizol. PuriNO<sub>x</sub> is een lage-emissie dieselbrandstof met een 'fill-and-go'-principe. Het is een stabiel wit mengsel van additieven, water, commerciële dieselbrandstof (zware stookolie) en seizoenscomponenten (als antivries). PuriNO<sub>x</sub> valt onder het type wateremulsie (zie ook paragraaf 6.3.3). Revolutionair aan deze brandstof is het feit dat deze wateremulsie stabiel is (zie bijlage 6.A). Het voordeel van dit systeem is dat er gebruik gemaakt kan worden van de huidige commerciële brandstoffen en de bestaande infrastructuur. Het mengsel behoudt zijn stabiliteit voor een minimale tijdsduur van twee maanden, wanneer de opslag plaatsvindt in bestaande opslagfaciliteiten op kamertemperatuur.

Afhankelijk van de gewenste prestatie varieert het percentage water in PuriNO<sub>x</sub> tussen de 10% en 20%. De chemische en fysische karakteristieken van PuriNO<sub>x</sub> zijn gelijk aan die van gewone diesel.

Door het water in de brandstof vindt er een vertraging plaats van de verbranding en wordt ook gedeeltelijk het ontstaan van schadelijke stoffen vermeden. Tevens is er een toename van thermische efficiëntie. Uit productgegevens van Lubrizol blijkt dat het gebruik van PuriNO<sub>x</sub> kan resulteren in een NO<sub>x</sub>-reductie van circa 10-25%, een PM-reductie van circa 30% en 'significante reducties' van CO. Ook blijkt de uitstoot van koolwaterstoffen gelijk te blijven of af te nemen, terwijl de emissie van CO<sub>2</sub> ook afneemt met 2-8%.

Een nadeel van dit systeem is een mogelijk verlies van vermogen, omdat water geen energie bevat. Volgens Lubrizol bedraagt het verlies van vermogen 0-15% bij een mengsel met 20% water. Om dit verlies van vermogen te compenseren zal er meer PuriNO<sub>x</sub> gestookt moeten worden. Lubrizol meent

dat de extra bedrijfskosten maximaal 15% van de totale bedrijfskosten bedragen (Waarschijnlijk in de vorm van brandstofkosten). Deze extra kosten zijn afhankelijk van de leeftijd van de motor, het type motor en de condities waaronder de motor werkt.

PuriNO<sub>x</sub> kan gebruikt worden in oudere en nieuwe motoren en het is niet nodig om aanpassingen te doen aan het brandstofsysteem of aan de motor zelf. PuriNO<sub>x</sub> wordt gemengd met verplaatsbare automatisch mengende eenheden om te voldoen aan de vraag van brandstofhandelaars, distributeurs en eindgebruikers.

Dit 'PuriNO<sub>x</sub> Performance System' van Lubrizol staat nog in zijn kinderschoenen. Er zijn reeds verschillende proefprojecten van start gegaan met tot nu toe positieve ervaringen, waaronder een proef met een passagiersschip van 2.000 pk. De verwachting is dat in de toekomst meer schepen op PuriNO<sub>x</sub> zullen varen. Hiervoor zullen tankstations en andere faciliteiten opgezet moeten worden. [Fiffick, 2000; Lubrizol, 2001; Lubrizol, 2001]

Bekeken zal moeten worden of het mogelijk om PuriNO<sub>x</sub> te produceren met behulp van zware stookolie. Dit is nog niet duidelijk. Ook bestaat er nog geen regelgeving voor dit type brandstofproducten. Het probleem voor de gebruiker is dat er accijns betaald moet worden over het water in het brandstof/water-mengsel, terwijl het water geen energie oplevert. In Nederland is hier nog geen regeling voor. In Frankrijk en Italië is men wel bezig met het opzetten van een dergelijke regeling.<sup>14</sup> [Lubrizol, 2001]

---

<sup>14</sup> Interview met dhr. H.L. Baarbé van de directie KVI over scheepvaart en milieu op donderdag 7 juni 2001, Ministerie van VROM, Den Haag

## 6.2.6 Overzicht van maatregelen en milieu-effecten

In deze laatste subparagraaf wordt een overzicht gegeven van de maatregelen die in deze paragraaf behandeld zijn. Dit overzicht staat in tabel 6.2, waarin tevens de milieu-effecten zijn aangegeven.

Tabel 6.2. Overzicht van de maatregelen op het gebied van brandstof en de bijbehorende milieu-effecten.

Maatregelen m.b.t. brandstof	Milieu-effecten	
Eerder beëindigen van olieraffinageproces: lagere concentratie van vervuilingen in HFO	Reductie van verschillende emissies	
Ontzwavelingsproces: produceren van laagzwavelige brandstoffen	SO <sub>2</sub> -reductie: 20 gram per massaprocent zwavel in MDO PM <sub>10</sub> -reductie: 0,1 gram per massaprocent zwavel in MDO	CO <sub>2</sub> -toename: 6 ton CO <sub>2</sub> voor 1 ton zwavelreductie bij MDO
Toepassen van scheepsgasolie in plaats van zware stookolie.	Energiebesparing: 4-5% NO <sub>x</sub> -reductie SO <sub>2</sub> -reductie	PM <sub>10</sub> -reductie Rookreductie
Toepassen van aardgas als brandstof	NO <sub>x</sub> -reductie SO <sub>2</sub> -reductie PM <sub>10</sub> -reductie Rookreductie	Toename CH <sub>4</sub> -emissie Verminderde energie-efficiëntie Toename CO <sub>2</sub> -emissie
Toepassen van biobrandstoffen (in dit geval biodiesel) als brandstof	Gelijke NO <sub>x</sub> -emissie Geen SO <sub>2</sub> -emissie CH-reductie CO <sub>2</sub> -reductie	PM <sub>10</sub> -reductie Rookreductie Minder geurhinder
Toepassen van zonne-energie als brandstof	Reductie van alle emissies	
Toepassen van dimethyl ether (DME) als brandstof	NO <sub>x</sub> -reductie: 20-30% PM <sub>10</sub> -reductie Rookreductie	PAK-reductie SO <sub>2</sub> -reductie
Toepassen van propaan als brandstof	CH-reductie: tot circa 33% NO <sub>x</sub> -reductie: tot circa 20%	CO-reductie: tot circa 60%
Toepassen van GTL-brandstoffen	Geen SO <sub>2</sub> -emissie Geen emissie van metalen Geen emissie van aromaten CH-reductie: 41-46%	CO-reductie: 45-47% NO <sub>x</sub> -reductie: circa 9% PM <sub>10</sub> -reductie: 27-32%
Toepassen van PuriNO <sub>x</sub> als brandstof	NO <sub>x</sub> -reductie: circa 10-25% PM <sub>10</sub> -reductie: circa 30% CO-reductie CO <sub>2</sub> -reductie: 2-8%	Rookreductie: 50-80% Toename thermische efficiëntie. Verlies van vermogen: 0-15%

## 6.3 Mogelijkheden met betrekking tot techniek

### 6.3.1 Inleiding

In deze paragraaf wordt bekeken op welke manieren de techniek aangewend kan worden om de emissie van stoffen naar de lucht te reduceren. In paragraaf 6.3.2 worden energiebesparende technieken behandeld. Deze technieken hebben voornamelijk betrekking op het verhogen van de energie-efficiëntie. De paragrafen 6.3.3 tot en met 6.3.5 gaan over het reduceren van respectievelijk NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> met behulp van technische ingrepen. Bij de verschillende mogelijkheden worden tevens de voor- en nadelen behandeld.

### 6.3.2 Energiebesparende technieken

De transport gerelateerde specifieke emissies in de verbrandingsgassen zijn proportioneel aan de energieconsumptie, in dit geval de scheepsbrandstoffen. En daarmee zijn de emissies ook sterk afhankelijk van de energie-efficiëntie van de motor in het schip.

### **Zeescheepvaart**

De energie-efficiëntie in de zeescheepvaart is afhankelijk van een aantal technologische-logistieke factoren. [Oftedal et al., 1996] Deze factoren zijn:

- de beladingsgraad; dit is een zeer belangrijke factor bij het bepalen van transport gerelateerde specifieke emissies aangezien de emissies gedeeld worden door de vervoerde tonnage.
- de snelheid van het schip; de energieconsumptie neemt toe kwadratisch met de snelheid van een schip met een gegeven grootte; de snelheid is hoger bij het transport van een meer waardevolle lading door het zeeschip.
- de grootte van het schip; de transport gerelateerde emissie is kleiner voor een groot schip omdat de capaciteit sneller groeit met de grootte van het schip dan de energieconsumptie.
- de technologische aspecten van het schip, zoals de scheepsmotor, de weerstanden (golf en wrijving), de efficiëntie van de schroef/voorstuwing, de scheepshuid en de vorm van de scheepscasco; deze factor omvat niet alleen de design, maar ook het onderhoud van de verschillende onderdelen van het schip (zie ook bijlage 6.A). De weerstand van het deel van de scheepsromp dat onder water ligt, wordt verlaagd door de vuilafwerende coating periodiek te vernieuwen. De coating heeft aan de ene kant een positieve werking op het milieu door het bevorderen van de energie-efficiëntie. Maar aan de andere kant is gebleken dat de coating en andere gebruikte middelen schadelijk effecten hebben op het natuurlijk leven in zee (door de zware metalen in de coating).
- het laadvermogen van het schip; dit is afhankelijk van de ruimte en het gewicht die nodig zijn voor de machinerie en de opslag van brandstof.

Met het oog op bovenstaande technologische-logistieke factoren kunnen er een aantal maatregelen uitgevoerd worden. Allereerst kan de snelheid van het schip verlaagd worden, waardoor het brandstofverbruik per afgelegde vaartuigkilometer afneemt. Dit is een mogelijkheid die op korte termijn uitgevoerd kan worden om emissies naar de lucht te reduceren. [Corbett en Farrell, 2000] Daarnaast kan onderhoud aan technisch apparaat van het schip uitstoot van vervuilende stoffen naar de lucht verminderen. Ook kan ervoor gezorgd worden dat het laadvermogen optimaal benut wordt, zodat geen ruimte leeg staat.

Het optimaliseren van de romp van het schip bij nieuwbouw kan leiden tot een energiebesparing van 5-20%. Ook de keuze van de schroef bij nieuwbouw kan leiden tot een energiebesparing van 5-10%. Voor bestaande schepen geldt dat onderhoud aan beide onderdelen kan leiden tot een energiebesparing van 3-8%. Uit onderzoek blijkt dat het totale potentieel voor energiebesparing bij nieuwe schepen met behulp van technische maatregelen 5-30% bedraagt en bij bestaande schepen 4-20%. [IMO, 2000] Naast de vorm van de romp is de scheepshuid ook een belangrijke factor voor de weerstand in het water. Er zijn verschillende mogelijkheden om de weerstand te verlagen, zoals een haaienhuid of juist een gladde coating. Er is afgelopen mei bij het maritieme onderzoeksinstituut MARIN een onderzoek gestart om de weerstand te reduceren met behulp van luchtbelletjes (zie ook bijlage 6.A).<sup>15</sup>

Ook vinden er constant verbeteringen plaats op het gebied van het efficiënt maken van de cilinders in de motor, zodat de motor optimaal werkt op het gebied van brandstof en emissies. Door de verfijning van de motoren kan er tevens een hogere energie-efficiëntie én een reductie van de NO<sub>x</sub>-uitstoot worden bereikt (bijvoorbeeld met behulp van 'common railinjectie'; zie ook onderstaande alinea). Normaal gezien moet bij het toepassen van technologische maatregelen bij conventionele technieken een evenwicht gezocht worden tussen de energie-efficiëntie en de NO<sub>x</sub>-emissie. Vaak leidt een afname van de NO<sub>x</sub>-emissie namelijk tot een lagere energie-efficiëntie.<sup>16</sup> Een reductie van 10-12% van het energiegebruik is mogelijk bij nieuwe MS-motoren en van 2-5% bij nieuwe SP-motoren. [IMO, 2000]

<sup>15</sup> Interview met dhr. P. 't Hart, projectmanager R&D bij de Vereniging Nederlandse Scheepsbouw Industrie (VNSI) op woensdag 20 juni 2001, Zoetermeer

<sup>16</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

In schepen wordt reeds dikwijls warmte-krachtkoppeling toegepast. In passagiersschepen kunnen hiermee ruimten verwarmd worden. Bij goederenschepen is dit veel minder van toepassing, maar deze warmte kan wel gebruikt worden om de zware stookolie te verwarmen om de viscositeit van de stookolie te verlagen.<sup>17</sup>

### ***Binnenvaart***

Net als bij de zeescheepvaart kan bij de binnenvaart de energie-efficiëntie verhoogd worden met behulp van logistieke en technologische verbeteringen. Hieronder zullen een aantal van de technologische verbeteringsmogelijkheden kort beschreven worden. De logistieke verbeteringen in de binnenvaart worden behandeld in paragraaf 6.5. [Dijkstra et al., 2000a]

- Toepassen van common railinjectie. Dit houdt in dat er tegelijkertijd injectie van brandstof plaatsvindt in de verschillende cilinders. Deze maatregel kan leiden tot een reductie van de zichtbare rook bij verschillende belastingen van de motor. [NIRIA, 2000]
- Aanbrengen van straalbuizen. Een straalbuis is een buis die om de schroef onder de romp van een schip wordt gemonteerd. De schroef bevindt zich dus in een lange buis. Op deze manier kan het water maar naar één kant bewogen worden en dus niet naar de zijkanten uitwijken. Straalbuizen verhogen het schroefrendement, waardoor de energie-efficiëntie groter wordt. Een ander voordeel van een straalbuis is dat de schroef beschermd wordt tegen aanvaringen van buitenaf.<sup>18</sup> [Dijkstra, 2001b]
- Verbeteren van de schroeftunnels. Een schroeftunnel is een uitholling op de bodem van de romp van het schip. In deze uitholling ligt de schroef. Hierdoor vindt er een betere aanstroming van het water naar de schroef plaats. Ook met deze maatregel wordt het schroefrendement verhoogd.<sup>18</sup>
- Verlengen van de romp. Op deze manier wordt het laadvermogen groter en kan sneller gevaren worden. Hierdoor is een energiebesparing per tonkilometer mogelijk. [Dings et al., 1997]
- Vergroten van het schroefrendement met andere methoden dan een straalbuis of schroeftunnel. [Dings et al., 1997] In de regel geldt dat het schroefrendement hoger is, naarmate de schroef groter is (bijvoorbeeld het Whale Tail Wheel in paragraaf 6.5.2).
- Vergroten van het motorrendement door het reduceren van verschillende weerstanden.

Het verbeteren van de schroeftunnels kan bijvoorbeeld een energiebesparing opleveren van circa 5%. Een mogelijkheid om het schroefrendement te vergroten is het aanbrengen van een 0-aanstroomvereffeningsbuis, waarmee een besparing van 12-15% behaald kan worden. De kosten hiervan bedragen 23.000-45.000 euro (fl.50.000-100.000), waardoor deze maatregel alleen voor grote schepen aantrekkelijk is. [Dings et al., 1997]

Voor bestaande schepen bedraagt het totale potentieel van de energiereductie met behulp van logistieke en technologische verbeteringen maximaal 30%. Door toepassing van alleen technologische verbeteringen kunnen reducties behaald worden van 10-20%. [Dijkstra en Dings, 2000]

Zoals eerder is aangegeven in paragraaf 4.6.2 is de vaarsnelheid in de binnenvaart onder andere afhankelijk van de diepgang, de stroomsnelheid, de situatie rond de sluisen en bruggen en de hoogte van het water. Ook speelt het ontwerp van een schip een grote rol met betrekking tot de weerstand in het water.<sup>19</sup>

Een technische mogelijkheid voor de besparing van energie is het plaatsen van een economy-meter op binnenschepen. Door toepassing van een economy-meter kan de schipper zelf bepalen wat het meest efficiënte brandstofverbruik is per gevaren kilometer. [DGG, 1998: p45] Dit kan gebeuren met behulp van een computerprogramma op basis van gegevens over stroomsnelheid, hoogte van het water, situatie van sluisen en bruggen, enzovoorts (eventueel met behulp van satellieten). Maar het is beter

---

<sup>17</sup> Interview met dhr. P. 't Hart, projectmanager R&D bij de Vereniging Nederlandse Scheepsbouw Industrie (VNSI) op woensdag 20 juni 2001, Zoetermeer

<sup>18</sup> Interview met dhr. H.L. Baarbé van de directie KVI over scheepvaart en milieu op donderdag 7 juni 2001, Ministerie van VROM, Den Haag

<sup>19</sup> Interview met dhr. H.L. Baarbé van de directie KVI over scheepvaart en milieu op donderdag 7 juni 2001, Ministerie van VROM, Den Haag



om het brandstofverbruik te koppelen aan de vaarsnelheid dan aan gevaren kilometers, zodat afgestemd kan worden op het optimum tussen vaarsnelheid en energiegebruik. Een ander voordeel van een economy-meter is dat technische defecten eerder geconstateerd kunnen worden, wanneer het brandstofverbruik afwijkt van de normale situatie. Hierbij kan er een onderscheid gemaakt worden naar de vaarsnelheid ten opzichte van het water en ten opzichte van het land. De bijbehorende apparatuur is nog niet standaard leverbaar en vergt hoge investeringen. [Dings et al., 1997] Voor dit digitaal systeem zullen satellieten ingeschakeld worden om de positie van het binnenschip op het water te bepalen (GPS-systeem). Leveranciers menen dat de energiebesparing 4-12% bedraagt en dat gemiddeld 10% op de totale kosten bespaard kan worden. Ook zou de terugverdientijd minder dan een jaar zijn. Het is mogelijk om een subsidie (EIA) te verkrijgen voor deze voortstuwingsregeling.<sup>20</sup> [Dijkstra et al., 1999] De economy-meter met als eenheid 'liter/kilometer' wordt reeds toegepast in de binnenvaart, maar vooral door de grotere reders. Op het moment is er weinig draagvlak voor het toepassen van een economy-meter.<sup>21</sup>

Uit gegevens blijkt dat de meeste binnenvaartschepen voorzien zijn van een 'high speed' motor. Voor nieuwe schepen kan gekozen worden om in plaats van een 'high speed' motor een 'medium speed' motor te plaatsen in een binnenschip. Hiermee is een energiebesparing mogelijk van 5-10%. Dit is niet mogelijk in bestaande schepen, omdat MS-motoren meer ruimte vergen en ook vaak duurder zijn. [Dings et al., 1997]

### 6.3.3 Reductie van NO<sub>x</sub>

De emissie van NO<sub>x</sub> wordt beïnvloed door zowel de design van de motor als door het verbrandingsproces. Deze twee factoren zijn het meest relevant voor de omvang van de NO<sub>x</sub>-emissie. De samenstelling van de brandstof is hierbij minder van belang (zie paragraaf 6.2.2).

#### *Zeescheepvaart*

Zoals in paragraaf 4.4 reeds is vermeld, zijn de meeste zeeschepen uitgerust met speciale scheepsdieselmotoren die een hoge uitstoot van NO<sub>x</sub> hebben. De technologie is op dit moment zover dat de NO<sub>x</sub>-emissie gereduceerd kan worden met circa 95%.

Er zijn drie manieren om een reductie van NO<sub>x</sub> te bewerkstelligen:

1. aanpassingen aan inputfactoren en de motor,
2. 'end-of-pipe'-methodiek,
3. combinatie van beide manieren.

Bij de eerste manier worden er veranderingen gebracht aan de dieselmotor zelf en aan de inputfactoren naar de motor, zoals het maximale temperatuurniveau, de partiële druk van zuurstof en de tijdsduur van de temperatuurpieken tijdens de verbranding (zie paragraaf 4.4). De tweede manier heeft betrekking op een nabehandeling van de verbrandingsgassen. Deze manier valt onder de 'end-of-pipe'-methodiek, waardoor de eerste manier meer voorkeur verdient. De derde manier om NO<sub>x</sub> te reduceren is het combineren van beide eerder genoemde methoden. Wanneer de NO<sub>x</sub>-emissie gereduceerd wordt door maatregelen van de eerste categorie, zullen er ook minder stikstofoxiden een nabehandeling hoeven te ondergaan. [Oftedal et al., 1996]

#### *Aanpassingen aan inputfactoren en motor*

Er zijn een aantal maatregelen die in principe direct toe te passen zijn en in de eerste categorie van maatregelen vallen. Dit wordt ook wel 'motormanagement' genoemd.<sup>22</sup> Deze maatregelen zijn [Oftedal et al., 1996]:

- een reductie van de lokale temperatuurpieken van de vlam; door een betere brandstofinjectie (en

<sup>20</sup> Interview met dhr. W.J. Dijkstra van Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie op vrijdag 8 juni 2001, Delft

<sup>21</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

<sup>22</sup> Interview met dhr. W.J. Dijkstra van Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie op vrijdag 8 juni 2001, Delft

dus een goede menging van de scheepsbrandstof met de lucht) en door de ruimtelijke indeling en vorm van de verbrandingskamer kan er een betere verspreiding van het verbrandingsproces plaatsvinden.

- een verbeterde controle van het verbrandingsproces; hiermee wordt voornamelijk het spelen met de timing van de brandstofinjectie en de hoeveelheid brandstof bedoeld (een vertraging van het moment van injectie). Een nadeel van deze maatregel is een verminderde thermische efficiëntie (dus ook een toename van de brandstofconsumptie) en dus een toename van de CO<sub>2</sub>-emissie. Doordat er minder tijd is om de verbranding volledig te voltooien, zal vertraging van de brandstofinjectie leiden tot een toename van de omvang van de PM<sub>10</sub>-emissie. Deze verschuiving van NO<sub>x</sub> naar PM<sub>10</sub> kan voorkomen worden door de lucht en de brandstof beter te mengen om zo tot een meer volledige verbranding te komen. [Gale, 1989] Uit onderzoek blijkt dat deze maatregel makkelijk te implementeren is, zonder hoge installatiekosten en verder bedrijfskosten. [IMO 2000].

Veel bestaande schepen zijn uitgerust met een mechanisch motormanagement, waarmee controle op het verbrandingsproces uitgeoefend kan worden. Deze mechanisch apparatuur zou vervangen kunnen worden door een computergestuurd motormanagement <sup>22</sup>. Een voorbeeld hiervan is een elektronische brandstof/luchtregeleenheid, waarvoor in Nederland een subsidie wordt gegeven (zie ook paragraaf 8.2.2 en bijlage 6.A). In 1999 is dit systeem uitgetest in een schip van de Rijkswaterstaat. [Dijkstra et al., 1999] Met behulp van deze elektronische en hydraulische systemen is het mogelijk om met deze maatregel een NO<sub>x</sub>-reductie van circa 20-30% te realiseren zonder de thermische efficiëntie op te offeren.

Er is reeds een 'lage NO<sub>x</sub>-verbrandingssysteem' ontwikkeld voor het motortype MS (Medium Speed), waarbij onder andere de timing van de brandstofinjectie vertraagd is en de verbranding plaatsvindt met een gematigde temperatuur en onder een hoge compressiedruk (zie ook bijlage 6.A). Het gebruik van dit systeem schijnt de formatie van NO<sub>x</sub> met 50% te reduceren zonder toename van de energieconsumptie. Met behulp van deze elektronische gestuurde injectiesystemen kan ook de uitstoot van fijn stof gereduceerd worden. [Dings et al., 1997] Retrofit van dit systeem kan leiden tot een reductie van de NO<sub>x</sub>-uitstoot met 4-6 gr/kWh. [IMO, 2000]

- een reductie van de verbrandingstemperatuur door controle over de verbrandingseigenschappen van lucht en brandstof. Door water toe te voegen aan de verbrandingskamer met behulp van waterinjectie of een wateremulsie daalt het grootste gedeelte van de temperatuur in de verbrandingskamer (zie ook bijlage 6.A). Dit resulteert in een NO<sub>x</sub>-reductie. Een nadelig gevolg van een te hoge toevoeging van water is dat er een verlies van thermische efficiëntie plaatsvindt via het verdampende water in de verbrandingsgassen. Bij lagere water/brandstof ratio's kan een NO<sub>x</sub>-reductie behaald worden zonder verlies van energie-efficiëntie. Deze reductie kan 20-60% bedragen bij bestaande schepen (4-5 gr/kWh).

Voor waterinjectie is het wel noodzakelijk dat de motor aangepast wordt (dit is redelijk complex) en dat er vers water gebruikt wordt. Het toepassen van een wateremulsie vereist minder technische aanpassingen en is daardoor goedkoper dan waterinjectie. Het nadeel hiervan is een verminderde stabiliteit door de water/olie-emulsie en mogelijke problemen bij snelle stops en het manoeuvreren. Een oplossing voor deze verminderde stabiliteit is gevonden in de vorm van de brandstof PuriNO<sub>x</sub> (zie paragraaf 6.2.5). Een ander nadeel is dat de energieconsumptie stijgt bij grote hoeveelheden vermeden NO<sub>x</sub>-emissies. Uit onderzoek blijkt dat een wateremulsie effectiever is dan waterinjectie (zie ook bijlage 6.A). [NIRIA, 2000]

Er is nog een andere techniek met hetzelfde principe, namelijk de Humid Air Motor (HAM-techniek). Met behulp van deze techniek wordt er waterdamp toegevoegd aan de verbrandingslucht in de motor (in plaats van vloeibaar water bij de wateremulsie en de waterinjectie). De warme lucht koelt af door een toenemende vochtigheidsgraad van de lucht. Hiervoor kan gewoon zout zeewater gebruikt worden. De voordelen van deze motor zijn een meer soepele verbranding, een meer homogene verbrandingstemperatuur en het voorkomen van zogenaamde 'hot spots'. Daarnaast wordt ook de temperatuur van de verbrandingsgassen lager. Deze methode is niet afhankelijk van de kwaliteit van de brandstof of van de last van de motor. Ook is het HAM-systeem makkelijk te onderhouden. Een ander voordeel van deze techniek is dat restwarmte gebruikt kan worden voor de benodigde energie. Het gebruik van deze motor kan de emissie van NO<sub>x</sub> met 70-80% reduceren. De HAM-techniek heeft zich tot nu toe efficiënt, kosteneffectief en

betrouwbaar bewezen om het te testen voor meer commercieel gebruik in schepen. [Blythe, 2000; IMO, 2000]

- een reductie van de partiële druk van zuurstof. Het toevoegen van edelgassen kan de partiële zuurstofdruk verlagen en op die manier de emissie van NO<sub>x</sub> reduceren.

Met behulp van genoemde maatregelen uit de eerste categorie kan een redelijke reductie van NO<sub>x</sub> behaald worden voor zowel nieuwe als bestaande schepen. Door simpele veranderingen aan de motor en door optimalisatie van operationele parameters kan bij alleen bestaande schepen een NO<sub>x</sub>-reductie behaald worden van 10-20%. Retrofit van bestaande schepen voor het toepassen van wateremulsies en waterinjectie zijn hierbij buiten beschouwing gelaten. [Oftedal et al., 1996]

#### *'End-of-pipe'-technieken*

Naast het treffen van maatregelen aan inputfactoren en motor, kunnen er ook 'end-of-pipe'-technieken toegepast worden om aan mogelijke toekomstige emissie-eisen voor scheepsdieselmotoren te voldoen (dus maatregelen van de tweede categorie). 'End-of-pipe'-technieken zijn maatregelen die getroffen kunnen op het punt waar de verbrandingsgassen naar de lucht worden geëmitteerd. Deze technieken zullen hieronder behandeld worden.

#### SCR-systeem

Voor schepen met scheepsdieselmotoren die HFO als brandstof gebruiken, kan het SCR-systeem gebruikt worden. Dit staat voor Selective Catalytic Reduction; in het Nederlands Selectieve Katalytische Reductie oftewel katalytische rookgasreiniging. Door het toevoegen van een waterige oplossing van ammonia of ureum aan de verbrandingsgassen en door dit mengsel vervolgens door een katalytische omzetter te leiden, worden NO en NO<sub>2</sub> omgezet in stikstof (N<sub>2</sub>) en water (H<sub>2</sub>O). Met dit systeem kan een NO<sub>x</sub>-reductie behaald worden van 90-95% (1 à 2 gram/kWh). Een voordeel van de toepassing van SCR is dat de consumptie van brandstof niet verhoogd wordt. Een nadeel van het SCR-systeem is dat ureum of ammonia daadwerkelijk wordt verbruikt in tegenstelling tot wat men zou verwachten van een katalysator. Dus bij verkeerde afstelling kan er ammonia/ureum naar de lucht geëmitteerd worden. Dit is natuurlijk niet gewenst. De distributie van ureum zal geen knelpunt zijn, doordat er reeds netwerk bestaat voor stationaire SCR-systemen. Ook bij de opslag van de katalytische stoffen dient met een aantal veiligheidsaspecten rekening gehouden te worden. In bijlage 6.A is meer informatie over dit SCR-systeem te vinden.<sup>23</sup> [Oftedal et al., 1996; Kågeson, 1999; Anonymous, 1999]

Het gebruik van laag zwavelige brandstof met een goede kwaliteit is wel een vereiste voor het toepassen van het SCR-systeem. Het gebruik van brandstof met een zwavelgehalte boven de 0,5% zal de effectiviteit van het SCR-systeem verminderen. [Oftedal et al., 1996; Kågeson, 1999; Dijkstra et al., 1999] Een ander nadeel is dat er geen hoge reducties behaald kunnen worden bij een steeds veranderende motorbelasting. In havengebieden waar veel gemanoeuvereerd wordt, zal de uitstoot van NO<sub>x</sub> daarom minder sterk gereduceerd worden met het SCR-systeem, terwijl dit juist zeer gewenst is ten behoeve van de luchtkwaliteit op het land. Een ander nadeel is dat het een grote installatie betreft en dat er extra ruimte nodig is voor een tank ten behoeve van de opslag van ureum.<sup>24</sup>

Het SCR-systeem kan zowel op nieuwe schepen als op bestaande schepen toegepast worden, afhankelijk van de huidige opstelling in de machinekamer van het bestaand schip. Reducties tot circa 90% kunnen bij bestaande schepen behaald worden, wat overeenkomt met een NO<sub>x</sub>-uitstoot van circa 2 gr/kWh. Uit gegevens blijkt dat men reeds bezig is met het inbouwen van circa 70 SCR-systemen in schepen. De verwachting is dat de nabehandeling met het SCR-systeem in de toekomst goedkoper zal zijn en minder ruimte zal innemen dan nu het geval is. Ook zal de duurzaamheid van het systeem worden verhoogd en de controle van het proces worden verbeterd. [Oftedal et al., 1996; Kågeson, 1999; IMO, 2000; NIRIA, 2000] In tabel 1 van bijlage 6.A is een vergelijking gemaakt tussen de HAM-techniek en het SCR-systeem.

<sup>23</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

<sup>24</sup> Interview met dhr. W.J. Dijkstra van Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie op vrijdag 8 juni 2001, Delft

### EGR-systeem

Een andere techniek voor de nabehandeling van verbrandingsgassen is het 'Exhaust Gas Recirculation'-systeem, afgekort het EGR-systeem. Het principe is dat de gerecirculeerde uitlaatgassen de soortelijke warmte van de cilindervulling verhogen en dus de maximum temperaturen verlagen. Dit systeem leidt een deel de verbrandingsgassen weer terug naar de toevoeropening van het inlaatspruitstuk. Op deze manier wordt de vlamtemperatuur in de verbrandingsruimte verlaagd en wordt dus ook de vorming van NO<sub>x</sub> gereduceerd. De NO<sub>x</sub>-reductie kan circa 20% in bestaande schepen en circa 40% in nieuwe schepen bedragen. Een ander voordeel van het EGR-systeem is dat niet-verbrande brandstoffen die aanwezig zijn in de verbrandingsgassen opnieuw gestookt worden.<sup>25</sup>

Het nadeel is dat fijn stof opnieuw in de verbrandingskamer wordt geleid met mogelijk een beschadiging van de motor als gevolg. Door de slechtere verbrandingsomstandigheden in de verbrandingskamer en door een toename van de interne consumptie van vermogen in de motor zal het brandstofverbruik toenemen. [IMO, 2000] Een ander probleem is het positief drukverschil tussen in- en uitlaat. Er is een compressor nodig om (een deel van) de verbrandingsgassen te doen circuleren. Door de hete verbrandingsgassen zal ook de temperatuur van de inlaatlucht verhoogd worden wat niet gewenst is. Door de recirculatie van de verbrandingsgassen wordt de zuurstofconcentratie verlaagd. Om deze reden kan niet meer dan 15% van de verbrandingsgassen worden gerecirculeerd. [NIRIA, 2000]

Door toevoeging van water aan het verbrandingsproces gecombineerd met het EGR-systeem wordt de piektemperatuur van vlammen gereduceerd. Aangezien water eerder kookt dan de brandstof, zullen brandstofdeeltjes van elkaar gescheiden worden en wordt de emissie van fijn stof gereduceerd. Deze techniek is op de korte tot middellange termijn toe te passen. [SwRI, 2000; IMO, 2000] Het retrofitten van het EGR-systeem is redelijk complex en vereist een bepaalde ruimte. Ook kan dit systeem enkel toegepast worden bij gebruik van lichte dieselolie en niet van zware stookolie. [NIRIA, 2000]

### NTP

Een doorbraaktechnologie van een 'end-of-pipe'-techniek is de plasma-ondersteunde uitlaatgasnabehandeling, ook wel 'non-thermal plasma' (NTP) genoemd. Een plasma is een gedeeltelijk geïoniseerd gas waarin vrije radicalen (elektronen en positieve ionen) voorkomen. Deze radicalen zijn in staat om NO en andere verontreiniging zoals PM<sub>10</sub> om te zetten. [NIRIA, 2000; Thomas et al., 2000]

Met behulp van geschikte katalysatoren kunnen deze reactieproducten omgezet worden naar minder schadelijke en makkelijk te verwijderen stoffen (NO<sub>x</sub> wordt bijvoorbeeld geconverteerd tot N<sub>2</sub>). Er kunnen NO<sub>x</sub>-reducties behaald worden van meer dan 70% en PM<sub>10</sub>-reducties van meer dan 90%. Maar tot nog toe is het niet mogelijk om beide reducties met één systeem te behalen.

Het voordeel van dit NTP-systeem ten opzichte van het SCR-systeem is dat het NTP-systeem op veel lagere temperaturen een hoge NO<sub>x</sub>-reductie kan behalen (temperatuurbereik van 150-500°C). Ook is dit systeem minder gevoelig voor het zwavelgehalte in de brandstof. Door het combineren van het SCR-systeem met het NTP-systeem kunnen er hoge NO<sub>x</sub>-reducties behaald worden. Er worden kosten voor elektriciteit en additieven gemaakt, maar door de hoge NO<sub>x</sub>-reductie zijn de kosten vergelijkbaar met andere NO<sub>x</sub>-nabehandelingstechnieken. Op het moment wordt er nog veel onderzoek gedaan naar het plasma katalysator systeem. [Hoard, 2001]

### Overige nabehandelingstechnieken

Om de emissie van fijn stof naar de lucht te verhinderen, kunnen er roetfilters geplaatst worden op zowel bestaande, als nieuwe scheepsmotoren. Een knelpunt bij het gebruik van deze filters was dat deze roetfilters dichtslibben. Hiervoor zijn reeds oplossingen bedacht, zoals een systeem dat automatisch regenereert. De emissie van roet kan met 80-90% gereduceerd worden. Een voorwaarde is het gebruik van laagzwavelige brandstoffen. Op het moment worden deze roetfilters alleen in bussen toegepast, maar in principe zou dit systeem ook toegepast kunnen worden in de binnenvaart. [Dijkstra et al., 1999] Hier zal nog verder onderzoek naar gedaan moeten worden (met name met betrekking tot het gebruik van laagzwavelige brandstoffen).

<sup>25</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

Om emissie van CO en CH te reduceren kan gebruik gemaakt worden van ongeregelde nageschakelde katalysatoren die geen onderhoud vergen. De bijbehorende kosten zijn niet hoog. De nadelen zijn een hogere temperatuur van de uitlaatgassen en een hogere uitlaat-tegendruk. [NIRIA, 2000]

#### *Overige mogelijkheden met betrekking tot techniek*

Een andere mogelijkheid van de laatste categorie ('overige zaken') behelst het plaatsen van een intercooler voordat lucht de verbrandingsruimte in wordt geleid. Het gebruik van een intercooler is bedoeld om de lucht naar de verbrandingsruimte af te koelen. Door de lagere luchttemperatuur kan een bepaalde volume lucht meer zuurstofmolekulen bevatten dan bij een hogere temperatuur. Dit bevordert de verbranding en leidt dus tot een hogere energie-efficiëntie.<sup>26</sup> Tevens verlaagt de intercooler de temperatuur van de verbrandingslucht voordat het de motor in gaat. Dit verlaagt ook het temperatuurniveau van het totale cilinderproces en reduceert dus de vorming van NO<sub>x</sub>. Theoretisch kan een temperatuursdaling van 10 °C van de inkomende verbrandingslucht leiden tot een toename van de energie-efficiëntie van 1%. [Gale, 1998; NIRIA, 2000]

Ook is het mogelijk om alternatieve motoren in te zetten. Gasturbines kunnen ingezet worden als motor in plaats van de gebruikelijke dieselmotoren. Deze vervanging brengt een reductie van verschillende emissies met zich mee. Maar hieraan zijn twee nadelen verbonden: een lage energie-efficiëntie en de eis om schone (en dus duurere) brandstoffen te gebruiken. En juist door deze economische nadelen worden gasturbines weinig ingezet. In elektriciteitscentrales wordt reeds de combinatie gasturbine/stoomturbine gebruikt met een energie-efficiëntie tot 60% en een lage NO<sub>x</sub>-emissie. Voor schepen zal een soortgelijk systeem ook mogelijk moeten zijn, maar dit brengt veel kosten en nieuwe kennis voor de gebruikers om met de machines te werken met zich mee.

Naast gasturbines kunnen er ook gasmotoren ingezet worden als alternatief. Er bestaat een groot potentieel voor deze vervanging, omdat de gasmotoren een gelijkwaardige energie-efficiëntie hebben als de reguliere dieselmotoren, maar een veel lagere NO<sub>x</sub>-emissie. Het aardgas kan in vloeibare vorm (LNG = Liquefied Natural Gas) of in samengedrukte gasvorm (CLG = Compressed Natural Gas) opgeslagen worden op een schip. Door de infrastructurele voorwaarden voor de aanvoer van aardgas zijn met name schepen ten behoeve van Short Sea Shipping geschikt voor het gebruik van gasmotoren. Sommige bestaande dieselmotoren zullen geconverteerd kunnen worden tot gasmotoren. [Oftedal et al., 1996]

In tabel 6.3 is een overzicht gegeven van de meest gebruikte scheepsmotoren in de scheepvaart. Hierbij zijn de bijbehorende energie-efficiëntie en de NO<sub>x</sub>-emissies weergegeven.

*Tabel 6.3. De energie-efficiëntie en NO<sub>x</sub>-emissie van scheepsmotoren in de zeescheepvaart.  
[Oftedal et al., 1996; Kågeson, 1999]*

<b>Motortype</b>	<b>Rendement (%)</b>	<b>NO<sub>x</sub>-emissie (g/kWh)</b>
Slow Speed diesel (60-250 rpm)	48 - 54	11 - 21
Medium Speed diesel (250-1000 rpm)	43 - 50	8 - 12
High Speed Diesel (> 1000 rpm)	40 - 43	6 - 8
Gasturbine (>10 MW)	32 - 39	0,5 - 2
Gasturbine (< 5 MW)	26 - 34	nb
Stoomturbine <sup>1)</sup>	30 - 37	nb
Gas diesel motor, Medium Speed	43 - 50	4
Gas Otto motor, Medium Speed	46 - 47	1
Gas Otto motor, High Speed	37 - 40	1 - 2

nb = niet bekend

1) Deze type motor wordt alleen gebruikt in hele oude schepen en tegenwoordig niet meer.

<sup>26</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

Op de lange termijn zullen er andere technische mogelijkheden beschikbaar komen voor de aandrijving van zeeschepen. Hieronder zal een korte uiteenzetting van de verschillende mogelijkheden gegeven worden.

### Brandstofcel

Brandstofcellen zetten chemische bindingsenergie in brandstoffen om in elektrische energie en warmte. Deze energie komt vrij bij de totstandkoming van de chemische verbinding van waterstofmolekulen aan zuurstofmolekulen tot een watermolekuul. [Russell, 1999] Dit type motor emitteert praktisch geen NO<sub>x</sub>, maar heeft een niet veel hogere thermische efficiëntie dan de conventionele Slow Speed dieselmotoren. [Kågeson, 1999] Op het moment van totstandkoming van dit rapport is het nog niet mogelijk om commerciële brandstoffen (HFO en MDO) te gebruiken in de huidige generatie van brandstofcellen. Deze brandstoffen hebben namelijk een te hoog zwavelgehalte. Wanneer het zwavelgehalte meer dan 50 ppm bedraagt, zijn er dure aanpassingen nodig bij toepassing van deze brandstoffen in een brandstofcel [Snyder et al., 2000]. Een mogelijke oplossing hiervoor kan gevonden worden in de toepassing van synthetische brandstoffen (zie ook paragraaf 6.2.5). Door de grote mogelijkheden van deze brandstoffen zullen de introductie en de vercommercialisering van brandstofcellen versneld kunnen worden [Russell, 1999]. Waarschijnlijk zal de brandstofcel het eerst toegepast worden in de recreatievaart, zodat ook de warmte die vrijkomt, gebruikt kan worden voor bijvoorbeeld verwarming van ruimten.<sup>27</sup>

Het gebruik van brandstofcellen in de scheepvaart heeft vier knelpunten:

- Met het oog op de continue vraag naar hogere snelheden en vermogens leveren brandstofcellen nog een te laag vermogen voor de scheepvaart.<sup>28</sup>
- Waterstof-logistiek. Allereerst is er nog geen voldoende productiecapaciteit van waterstof. Daarnaast vereist de opslag en distributie van waterstof veel ruimte en lage temperaturen. Ook is de stand der techniek nog niet zo ver om aan boord waterstof commercieel te genereren [IMO, 2000]. Het maken van waterstof aan boord van het schip kan gedaan worden met behulp van een 'reformer'. Maar zo'n reformer kost op het moment nog veel geld<sup>29</sup>.
- Energieverlies in 'reformer'. De reformer gebruikt nog veel energie, waardoor er een energieverlies optreedt. Zonder reformer is het rendement van een brandstofcel circa 60%. Wanneer de reformer toegepast wordt voor de generatie van waterstof, zal het rendement van de brandstofcel even groot zijn als van een conventionele dieselmotor (circa 50%).<sup>29</sup>
- Lage dieselprijs. Door de lage prijs van de diesel zal het zeer moeilijk worden om te concurreren met bestaande technieken, aangezien de kosten voor de productie van waterstof nog hoog zijn.<sup>30</sup> Voor grote schepen kan de brandstofcel economisch concurrerend zijn met de dieselmotor. De levensduur van een brandstofcel is namelijk circa 10.000-15.000 uur. Deze levensduur komt overeen met de levensduur van een schip (onder andere de scheepscasco). Voor auto's is deze levensduur van de brandstofcel niet geschikt, aangezien auto's niet zo'n lange levensduur hebben. Daarnaast zijn de aanschafkosten van een brandstofcel hoog in vergelijking met de aanschafkosten van de auto. Hierdoor is het financieel niet aantrekkelijk om een brandstofcel in een auto te gebruiken.<sup>29</sup> Geschat wordt dat de brandstofcel over 10-15 jaar commercieel toepasbaar is voor de zeescheepvaart.<sup>31</sup>

Een nucleaire reactor splitst kernen van atomen, waarbij veel energie vrijkomt die gebruikt zou kunnen worden voor de voortstuwing van een schip. Het gebruik van kernenergie wekt vele maatschappelijke weerstanden op in verband met de vele veiligheidsaspecten omtrent het transport en

<sup>27</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

<sup>28</sup> Interview met dhr. H.L. Baarbé van de directie KVI over scheepvaart en milieu op woensdag 2 mei 2001, Ministerie van VROM, Den Haag

<sup>29</sup> Interview met dhr. H.L. Baarbé van de directie KVI over scheepvaart en milieu op woensdag 2 mei 2001, Ministerie van VROM, Den Haag

<sup>30</sup> Interview met dhr. H.L. Baarbé van de directie KVI over scheepvaart en milieu op donderdag 7 juni 2001, Ministerie van VROM, Den Haag

<sup>31</sup> Interview met dhr. W.J. Dijkstra van Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie op vrijdag 8 juni 2001, Delft

de opslag van het ontstane radioactief afval. Er is reeds een prototype gemaakt, maar dit heeft nog niet geresulteerd in verdere ontwikkelingen. [Ofstedal et al., 1996]

### ***Binnenvaart***

De meeste van bovenstaande mogelijkheden voor de zeescheepvaart zijn ook op binnenschepen toepasbaar. Door middel van grootschalige introductie van nieuwe motoren in nieuwe en bestaande schepen kan de NO<sub>x</sub>-emissie van de goederenbinnenvaart in 2010 gereduceerd worden met circa 35% ten opzichte van het jaar 1999. Hierbij speelt normstelling voor NO<sub>x</sub>-emissies door scheepsmotoren een belangrijke rol. [DGG, 1998: p44; Van den Brink, 2000]

Hierbij moet opgemerkt worden dat maatregelen die betrekking hebben op zware stookolie, niet van toepassing zijn op binnenschepen aangezien het grootste deel van deze schepen op scheepsgasolie varen. Ook kunnen sommige 'end-of-pipe'-technieken nog niet op dieselmotoren van schepen toegepast worden door de grotere variatie in motorbelasting (zie paragraaf 4.4). Het plaatsen van een uitlaatgasbehandelingssysteem is hierdoor technisch complex, maar in de toekomst zullen hiervoor waarschijnlijk wel mogelijkheden zijn. [Dings et al., 1997] Het toepassen van waterinjectie zal niet op korte termijn commercieel toepasbaar zijn voor de binnenvaart, maar onderzoek wordt reeds verricht. [Dijkstra et al., 1999]

## **6.3.4 Reductie van SO<sub>2</sub>**

De vorming van SO<sub>2</sub> is onontkoombaar wanneer de scheepsbrandstof zwavel bevat. Om de uitstoot van SO<sub>2</sub> naar de lucht te verminderen of te verwijderen zijn een aantal methoden beschikbaar. Deze methoden worden hieronder behandeld.

### ***Zeescheepvaart***

Naast verlaging van het zwavelgehalte in scheepsbrandstoffen (zie paragraaf 6.2.3) is een andere optie voor verlaging van SO<sub>2</sub>-emissie naar de lucht het toepassen van een nabehandeling van verbrandingsgassen [PVA, 2000].

In paragraaf 3.3.2 is vermeld dat SO<sub>2</sub> in zeewater geen schadelijke effecten heeft op het maritieme leven door de verdunning met zeewater. Hierop is een nieuwe methode gebaseerd waarbij de verbrandingsgassen worden 'schoongemaakt' met zeewater op het schip zelf met behulp van een zogenaamde zeewater 'scrubber' (een gaszuiveraar). Hierbij wordt er gebruik gemaakt van een reactie van kalkmelk (een suspensie van CaO, ongebluste kalk, in water) of een waterige suspensie van krijt (CaCO<sub>3</sub>) met SO<sub>2</sub>. Hierbij ontstaat er gips (CaSO<sub>2</sub>) en zwavelhoudend afvalwater. Deze methode wordt ook wel rookgasontzwaveling genoemd. Een reinigingsrendement van 90% is haalbaar. Dit ontstane zwavelhoudend afvalwater mag niet worden geloosd in havens en onzuivere wateren. Een ander nadeel is dat er ruimte nodig is voor de opslag van de gipsplaten. Deze 'scrubbers' zullen in de toekomst alleen maar verbeterd worden, als en wanneer er een vraag vanuit de markt hiernaar is. [Ofstedal et al., 1996; Anonymous, 1999; Baarbé, 2001]

Naast de drie opties, ontzwaveling, gaszuivering en inzetten van een alternatieve brandstof zal de toenemende installatie van gasmotoren en gasturbines in schepen ook meehelpen bij het verminderen van de SO<sub>2</sub>-emissie. Deze methoden van aandrijving vereisen namelijk het gebruik van schone brandstoffen (aardgas in de vorm van LNG of CNG), zodat er ook schonere verbrandingsgassen geëmitteerd worden.

Maar ook al is het totale gewicht van emissies van diesel hoger, de deeltjes van fijn stof door verbranding van aardgas zijn veel fijner en kunnen verder het lichaam binnendringen en dus ook meer gezondheidsproblemen veroorzaken. Tevens is de energie-efficiëntie van een dieselmotor hoger dan van een gasmotor. Eén liter LNG bevat ongeveer 60% van de energie van één liter diesel. CNG bevat minder energie dan LNG. Om een even groot vermogen te generen als bij verbranding van diesel zal een grotere hoeveelheid aardgas gestookt worden. Het gevolg hiervan is een hogere emissie van broeikasgassen dan bij diesel. Dit is ook afhankelijk van de C/H-verhouding in aardgas. Een ander nadeel is dat bij het tanken en opslag van aardgas methaan (CH<sub>4</sub>) vrijkomt. Uit gegevens blijkt dat methaan als broeikasgas twintig maal krachtiger is dan CO<sub>2</sub>. [PVA, 2000]

### ***Binnenvaart***

De opties 'ontzwaveling', 'inzetten van een alternatieve brandstof' en 'inzetten van een alternatieve motor' kunnen ook toegepast worden op binnenschepen. De 'scrubber' is waarschijnlijk geen geschikte maatregel voor de binnenvaart, aangezien het zwavel-houdend afvalwater niet in de binnenwateren geloosd mag worden. Er is dus een extra opslagruimte nodig voor dit afvalwater aan boord van het schip. Dit zal niet gewenst zijn door de transportonderneming aangezien hierdoor het laadvermogen gereduceerd wordt.

### **6.3.5 Reductie van CO<sub>2</sub>**

Zoals in paragraaf 6.2.4 is beschreven, is de omvang van de CO<sub>2</sub>-uitstoot direct afhankelijk van de consumptie van brandstof. Voor een CO<sub>2</sub>-reductie kunnen dus energiebesparende technische of logistieke maatregelen genomen worden. Deze maatregelen worden behandeld in paragraaf 6.3.2 en 6.5.1. De motortechniek biedt weinig toegang tot reductiemogelijkheden. [Dings et al., 1997]

### **6.3.6 Reductie van VOS**

De emissie van vluchtige organische stoffen in de scheepvaartsector is gedeeltelijk afkomstig van de scheepsbrandstoffen en gedeeltelijk van smeerolie in de motor. Door de ontwikkeling van steeds betere motoren wordt ook de VOS-emissie door motoren steeds lager.

### ***Zeescheepvaart***

Het merendeel van de VOS-emissie in de zeescheepvaart is afkomstig van oliedamp die tijdens het inladen en uitladen van de ruwe olie en olieproducten uit de olietankers ontsnapt. Om dit te voorkomen kan gebruikt gemaakt worden van zogenaamde VECS (Vapour Emission Control System). Dit systeem vangt de lucht uit de tankers op en leidt dit via een leidingsysteem naar een zuiveringsinstallatie op het land. Wanneer er geen leidingsysteem aanwezig is of wanneer schepen niet aan land aanmeren, bestaat ook de mogelijkheid om een VECS aan boord van een schip te installeren. Maar dit staat nog in de kinderschoenen. Naast het voorkomen van emissie naar de lucht kan ook geprobeerd worden om het ontstaan van VOS tegen te gaan. Een mogelijk methode is de atmosfeer boven het olie-oppervlak te verzadigen met VOS tijdens het in- en uitladen zonder mogelijkheid tot ontsnapping naar de lucht. De vorming van VOS kan ook voorkomen worden door de vervoerde olie af te koelen om op deze manier de dampspanning van de olie te verlagen. Daarnaast zijn er nog twee methoden om VOS-emissie tijdens de zeereis te reduceren, namelijk [Oftedal et al., 1996]:

- 1) verzadiging van de lucht boven het olie-oppervlak.
- 2) de tanks 100% vullen in plaats van de reguliere 98%, waarbij de aanwezigheid van een expansievat noodzakelijk is.

### ***Binnenvaart***

Ook in de binnenvaart bestaat ruim een kwart van de totaal vervoerde tonnage uit olieproducten. Bovenstaande maatregelen ter vermindering van VOS-emissie zijn ook toepasbaar bij binnenschepen. Aangezien binnenschepen een relatief kleinere afstand afleggen dan zeeschepen zal het minder noodzakelijk zijn om emissies tijdens de reis te reduceren. Voor langere afstanden zou dit wel gedaan kunnen worden.



### 6.3.7 Overzicht van maatregelen en milieu-effecten

In deze laatste subparagraaf wordt een overzicht gegeven van de maatregelen die in deze paragraaf behandeld zijn. Hierbij is er een onderscheid gemaakt naar energiebesparende en technische maatregelen, respectievelijk tabel 6.4 en 6.5. In deze overzichten zijn tevens de milieu-effecten aangegeven.

Tabel 6.4. Overzicht van de maatregelen op het gebied van energiebesparing en de bijbehorende milieu-effecten.

Energiebesparende technische maatregelen	Milieu-effecten
Efficiënt gebruik van het laadvermogen	Energiebesparing per tonkm Reductie van verschillende emissies
Verlagen van de vaarsnelheid	Energiebesparing per tonkm Reductie van verschillende emissies
Kiezen van de optimale scheepsgrootte	Energiebesparing per tonkm Reductie van verschillende emissies
Kiezen van de juiste technologische aspecten, als motor, weerstand en efficiëntie van schroef/voortstuwing	Energiebesparing bestaande schepen: 4-20% Energiebesparing nieuwe schepen: 5-30% Reductie van verschillende emissies
Onderhoud aan technisch apparaat op schip	Energiebesparing per tonkm Reductie van verschillende emissies
Optimaliseren van het laadvermogen (qua ruimte-indeling)	Energiebesparing per tonkm Reductie van verschillende emissies
Efficiënter maken en verfijnen van motor (vergroten van motorrendement)	Energiebesparing nieuw schip: 10-12% Toename motorrendement Reductie van verschillende emissies
Toepassen van common railinjectie	Energiebesparing alle technische maatregelen: 10-20% Reductie van verschillende emissies
Aanbrengen van straalbuizen	Toename schroefrendement Energiebesparing alle technische maatregelen: 10-20% Reductie van verschillende emissies
Verbeteren van schroeftunnels	Toename schroefrendement Energiebesparing: 5% Reductie van verschillende emissies
Verlengen van romp	Energiebesparing Reductie van verschillende emissies
Optimaliseren van romp	Energiebesparing: 5-20%.
Vergroten van schroefrendement (aanbrengen 0-aanstroomvereffeningsbuis)	Energiebesparing: 12-15% Reductie van verschillende emissies
Keuze van schroef	Energiebesparing van 5-10%.
Plaatsen van een economy-meter	Energiebesparing: 4-12% Reductie van verschillende emissies
Toepassen van warmtekrachtkoppeling	Energiebesparing
Installeren van een MS-motor i.p.v. een HS-motor in een binnenschip	Energiebesparing: 5-10%

Tabel 6.5. Overzicht van de maatregelen op het gebied van techniek en de bijbehorende milieu-effecten.

Maatregelen m.b.t. techniek	Milieu-effecten
Aanpassen van inputfactor: reductie van lokale temperatuurspieken van de vlam	NO <sub>x</sub> -reductie
Aanpassen van inputfactor: reductie van de partiële druk van zuurstof	NO <sub>x</sub> -reductie
Aanpassen van inputfactor: verbeterde controle van het verbrandingsproces	NO <sub>x</sub> -reductie: maximaal 20-30% Verminderde energie-efficiëntie (toename brandstofconsumptie) Toename CO <sub>2</sub> -emissie Toename PM <sub>10</sub> -emissie
Aanpassen van inputfactor: reductie van verbrandingstemperatuur door controle van het werkend medium (brandstof en lucht) met behulp van water wateremulsie, waterinjectie of HAM	NO <sub>x</sub> -reductie: 20-50% (waterinjectie), circa 30% (wateremulsie), 70-80% (HAM) Verminderde energie-efficiëntie
'End-of-pipe': Selectieve Katalytische Reductie (SCR-systeem)	NO <sub>x</sub> -reductie: 90-95% SO <sub>2</sub> -reductie door gebruik laagzwavelige brandstof.
'End-of-pipe': 'Exhaust Gas Recirculation'-systeem (EGR-systeem)	NO <sub>x</sub> -reductie bestaand schip: 20% NO <sub>x</sub> -reductie nieuw schip: 40%
'End-of-pipe': toepassen van roetfilters	Reductie van zichtbaar fijn stof met 80-90%
'End-of-pipe': zeewater 'scrubber' (gaszuiveraar)	SO <sub>2</sub> -reductie: maximaal 90%
Plaatsen van een intercooler voor de ingang van de verbrandingsruimte	NO <sub>x</sub> -reductie
Toepassen van een gasturbine voor de aandrijving	Reductie van verschillende emissies Verminderde energie-efficiëntie Toename CO <sub>2</sub> -emissie Grootte van fijn stof is kleiner
Toepassen van een gasmotor voor de aandrijving	Reductie van verschillende emissies Toename CO <sub>2</sub> -emissie Grootte van fijn stof is kleiner
Toepassen van een brandstofcel voor de aandrijving	Reductie van verschillende emissies
Toepassen van elektromagnetische hydrodynamische voortstuwing	Lagere energie-efficiëntie Reductie van verschillende emissie
Toepassen van een nucleaire reactor	Reductie van verschillende emissie Radio-actief afval
Toepassen van Vapour Emission Control System (VECS)	VOS-reductie
Verzadigen van atmosfeer boven olie-oppervlak bij laden- en lossen en tijdens zeereis	VOS-reductie
Verlagen van dampspanning door afkoeling van olie	VOS-reductie
Olietanks 100% vullen in plaats van de regulier 98%	VOS-reductie

## 6.4 Mogelijkheden met betrekking tot brandstof en techniek

### 6.4.1 Inleiding

In deze paragraaf worden de mogelijkheden behandeld met betrekking tot brandstof en techniek om reducties van emissies naar de lucht te bereiken. Er zal hier en daar een overlapping plaatsvinden met de vorige paragrafen.

### 6.4.2 Duale scheepsmotoren

Zoals in paragraaf 5.3.3 is beschreven, kan het inzetten van gasmotoren een reductie van emissies ten gevolge hebben. Omdat het vervangen van dieselmotoren door gasmotoren op bestaande schepen drastische technische ingrepen vereist en niet altijd economisch verantwoord is, is een andere optie het veranderen van dieselmotoren in duale scheepsmotoren.

Duale scheepsmotoren zijn motoren die op twee brandstoffen tegelijk kunnen werken, in dit geval een mengsel van aardgas en diesel. Er zijn reeds pilot-projecten opgezet door de Marine Design Associates Ltd. uit Canada met betrekking tot het ombouwen van dieselmotoren tot duale

scheepsmotoren, maar dit is tot nu toe alleen gedaan bij passagiersferries (zie ook bijlage 6.A). Een belangrijk veiligheidsaspect bij deze omzetting naar duale scheepsmotoren is dat de toevoer van aardgas snel afgesloten moet kunnen worden om vervolgens alleen diesel te stoken. Op deze manier wordt het explosiegevaar verkleind. [M.D.A., 2000]

Het gebruik van duale scheepsmotoren heeft een aantal positieve effecten op het milieu [M.D.A., 2000]:

- een reductie van het brandstofverbruik met 20-30%, [Acker, 1986]
- een reductie van de emissie van vervuilende stoffen naar de lucht,
- een reductie van het geluid door scheepsmotoren door het verdwijnen van de 'dieselklop' en door minder harde explosies in de cilinders zijn,
- een reductie van het risico van het morsen van brandstof, aangezien er minder diesel aan boord aanwezig is en bunkering ook veel minder frequent plaatsvindt; bunkering gebeurt nu namelijk om de 14 dagen in plaats van om de 3 dagen voor de conversie,
- een reductie van de hoeveelheid afgewerkte smeeroil ten gevolge van het minder frequent verversen; verversing is nu nodig na 700 uur in plaats van na 160 uur voor de conversie.

Voornamelijk samengedrukt aardgas (CNG) wordt tot nu toe gebruikt in het mengsel aardgas/diesel. In de toekomst zal ook vloeibaar aardgas (LNG) gebruikt kunnen worden. Het voordeel van LNG is dat er meer aardgas opgeslagen kan worden in een kleinere ruimte met een mogelijk lager gewicht. [M.D.A., 2000] Het nadeel is dat LNG op  $-260^{\circ}$  Fahrenheit ( $-160^{\circ}\text{C}$ ) opgeslagen moet worden. Er zijn dus bijkomende koelementen nodig in de opslagruimte. [Acker, 1986; PVA, 2000]

Ook is de verwachting voor de toekomst dat niet alleen passagiersschepen en -ferries, maar ook andere typen schepen uitgerust zullen worden met duale scheepsmotoren. Alle kennis is namelijk reeds beschikbaar voor conversie van dieselmotoren naar duale scheepsmotoren. [M.D.A., 2000] Wel komen er opstandige berichten uit de samenleving dat er nog te weinig kennis is over de gevolgen voor de gezondheid van emissies van aardgas. [PVA, 2000]

### 6.4.3 Overzicht van maatregelen en milieu-effecten

In deze laatste subparagraaf wordt een overzicht gegeven van de maatregelen die in deze paragraaf behandeld zijn. Dit overzicht staat in tabel 6.6, waarin tevens de milieu-effecten zijn aangegeven.

Tabel 6.6. Overzicht van de maatregelen op het gebied van brandstof en techniek en de bijbehorende milieu-effecten.

Maatregel m.b.t. brandstof en techniek	Milieu-effecten
Toepassen van duale scheepsmotoren.	Reductie van verschillende emissies Reductie geluidsoverlast Reductie afgewerkte smeeroil

## 6.5 Overige mogelijkheden

### 6.5.1 Inleiding

In deze paragraaf worden een aantal mogelijkheden behandeld die óf behoren tot de doorbraaktechnologie óf die weinig tot niets met techniek en/of brandstof te maken hebben.

### 6.5.2 Logistieke verbeteringsmogelijkheden

Zowel in de zeescheepvaart als in de binnenvaart zijn er verbeteringen mogelijk op logistiek gebied. In paragraaf 6.3.2 is reeds aandacht besteed aan het verbeteren van de brandstof-efficiëntie door technologische verbeteringen. Hieronder zullen puntsgewijs de logistieke verbeteringen kort behandeld worden. [Dings et al., 1997; Dijkstra en Dings, 2000]

- Het verhogen van de gemiddelde beladingsgraden. Op deze manier worden de transport gerelateerde specifieke emissies kleiner, aangezien de emissies gedeeld worden door de vervoerde tonnage.
- Het kiezen van de optimale scheepsgrootte bij nieuwbouw. Er vaart sinds 1998 een nieuw binnenvaartschip in Nederland met de naam Jowi (zie ook paragraaf 5.2.2). De Jowi is een mammoetschip dat 400 tot 500 containers tegelijk kan vervoeren naar het achterland over de grote rivieren in Nederland en Duitsland. Het grote containerschip heeft drie motoren van samen 2.800 pk en heeft circa 11 miljoen gulden gekost. Jowi heeft een aantal speciale eigenschappen zoals een zeer laag brandstofverbruik en een systeem om snel te laden en te lossen. Dit laad- en lossysteem zorgt ervoor dat het schip in de haven snel goederen kan overslaan en dus minder lang stationair hoeft te draaien. Dit heeft positieve emissie-effecten als gevolg. [De Gelderlander, 1998] CE schat dat de Jowi per tonkilometer maximaal 15-20% zuiniger is dan de kleinere exemplaren van de containerbinnenschepen. [TLN, 1999] Een nadeel van zo'n groot schip is dat er meer moeite gedaan moet worden om het schip gevuld te krijgen. Het is mogelijk dat schepen van zulke afmetingen meer locaties aan wal zullen moeten aandoen om genoeg lading aan boord te krijgen. Dit kan ook inhouden dat er meer manoeuvres uitgevoerd moeten worden met een groter energiegebruik als gevolg. Hierdoor kan ook het energiegebruik per tonkilometer stijgen.\* Maar wanneer men met de binnenschepen meer locaties wil bereiken, zullen kleinere schepen ingezet kunnen worden om de kleinere waterwegen te kunnen bevaren. [TLN, 1999] Een voorbeeld van zo'n schip is de Neokemp (zie ook paragraaf 8.5).
- Het optimaliseren van het scheepsontwerp bij nieuwbouw, zoals het minimaliseren van wrijving met het water en het minimaliseren van andere weerstanden aan motor, technische apparatuur en scheepscasco.
- Het kiezen van de juiste vaarsnelheid en het juiste motorvermogen zodat gevaren wordt bij het meest optimale brandstofverbruik. Wanneer bijvoorbeeld door een schip een meer constante snelheid wordt aangehouden (dus minimale variaties in toerental) gedurende een reis, kan het brandstofverbruik gereduceerd worden met 0,1-2%. Uit een case-studie blijkt dat een verlaging van de snelheid met 10% kan leiden tot een CO<sub>2</sub>-reductie van circa 18% van het totale segment van tankerscheepen wereldwijd. Voor containerscheepen kan dit percentage zelfs 22% bedragen. [IMO, 2000]
- Het veranderen van het vaargedrag, bijvoorbeeld met behulp van een economy-meter. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden met behulp van 'on board'-apparatuur zoals economy-meters, GPS-systemen en automatische stuurinrichting (zie ook paragraaf 6.3.2). Maar in de zeescheepvaart hoeft er weinig tot geen rekening gehouden te worden met diepgang, stroomsnelheid, sluisen en bruggen, waardoor het ook niet nodig is om de vaarsnelheid ver van tevoren te plannen. Daarnaast wordt er door zeescheepen in het algemeen niet zo snel gevaren.<sup>32</sup>
- Daarnaast kan het afzetten van de motor bij stilliggen en het beperken van stuurcorrecties tot aanzienlijke reducties in het brandstofverbruik leiden. Ook regelmatig onderhoud aan motor, schroef en scheepshuid kan het brandstofverbruik reduceren.
- Good housekeeping. Dit houdt in dat handelingen volgens regels worden uitgevoerd en dat de nodige voorzorgsmaatregelen genomen worden. Good housekeeping kan in de bedrijfsvoering worden opgenomen door middel van werkinstructies en/of procedures.
- Weather-routing. Schippers kunnen bekijken waar de stormen en sterke stromingen zich op zee bevinden. Hierop kunnen zij hun route over zee aanpassen. Dit wordt reeds gedaan, met uitzondering van container-lijnscheepen. Het is misschien mogelijk om de vaarroutes nog meer af te stemmen op de weersomstandigheden.<sup>33</sup> Hiermee kan een energiebesparing behaald worden van 2-4%. [IMO, 2000] Meteconsult heeft reeds een systeem voor weather-routing. Deze maatregel is alleen geschikt voor schepen die op grote routes varen (200 tot 300 km omvaren stelt

---

\* Gesprekken met dhr. D. De Jong van de directie LMV, Ministerie van VROM, Den Haag

<sup>32</sup> Interview met dhr. H.L. Baarbé van de directie KVI op donderdag 7 juni 2001, Ministerie van VROM, Den Haag

<sup>33</sup> Interview met dhr. A.C. van Holk en dhr. J.J. Kolpa van DGG op donderdag 31 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

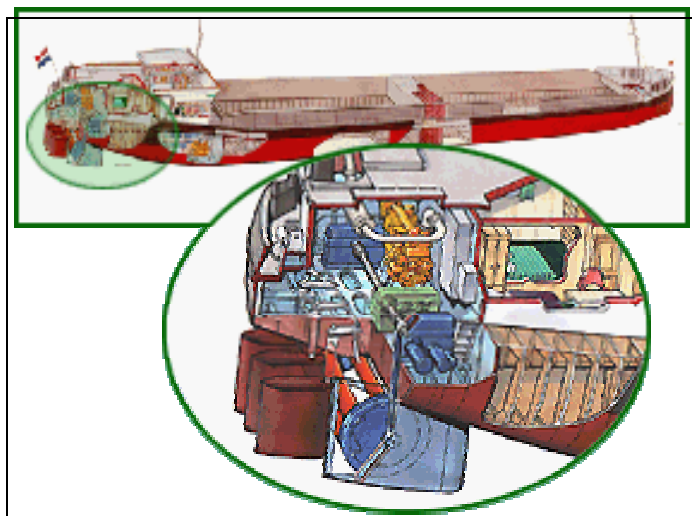
niet veel voor op routes van duizenden kilometers), opdat ook echt gepland kan worden.<sup>34</sup>

- Het verbeteren van de efficiëntie op het gebied van de te varen zeeroutes met behulp van vlootplanning. De rederijen zouden bijvoorbeeld kunnen plannen dat een schip niet met onvolledig benutte laadvermogen vaart.<sup>35</sup> De gemiddelde beladingsgraad van de binnenvaart bij grensoverschrijdend vervoer bedroeg 75% in 1998. Ter vergelijking: voor het wegvervoer en spoorvervoer was dit 85% respectievelijk 68%. [TLN, 1999] Met deze maatregel kan een energiematregel behaald worden van 5-40%. [IMO, 2000]

### 6.5.3 Alternatieve voorstuwingsmethoden

#### *Whale Tail Wheel*

Een doorbraaktechnologie is het toepassen van het Whale Tail Wheel in kleine en grote binnenschepen, waardoor er sneller, zuiniger en stiller gevaren kan worden. Het Whale Tail Wheel is een hydrodynamisch systeem bestaande uit twee onder water draaiende trommels (soort schoepenrad). Met dit systeem wordt de walvisstaartbeweging gesimuleerd. In figuur 6.1 is dit systeem grafisch weergegeven. Volgens de producenten kan dit systeem een energiebesparing opleveren van 25% tot 33% en dus een reductie van de verschillende emissies naar de lucht. Ook neemt dit systeem minder ruimte van de machinekamer in beslag, zodat het laadvermogen groter wordt. Er is reeds een proefproject van start gegaan met het motorvrachtschip 'Lidwina' dat grind en zand transporteert. [Whale Tail, 2001] Het blijkt alleen dat de 'Lidwina' vaak aan wal ligt in verband met technische problemen. Het is dus nog niet aantrekkelijk voor rederijen om het Whale Tail Wheel toe te passen op hun schepen, ook al kan het systeem aanzienlijke energiebesparingen opleveren. Ook zijn er twijfels over de betrouwbaarheid en zijn er beperkingen bij het manoeuvreren met het schip. Het schoepenrad is reeds opgenomen in verschillende fiscale regelingen van de rijksoverheid (EIA en VAMIL: zie paragraaf 8.2.2).<sup>35 36</sup> [Dijkstra et al., 1999]



Figuur 6.1. Het Whale Tail Wheel in een binnenschip. [Whale Tail, 2001]

#### *Overige 'vissenschepen'*

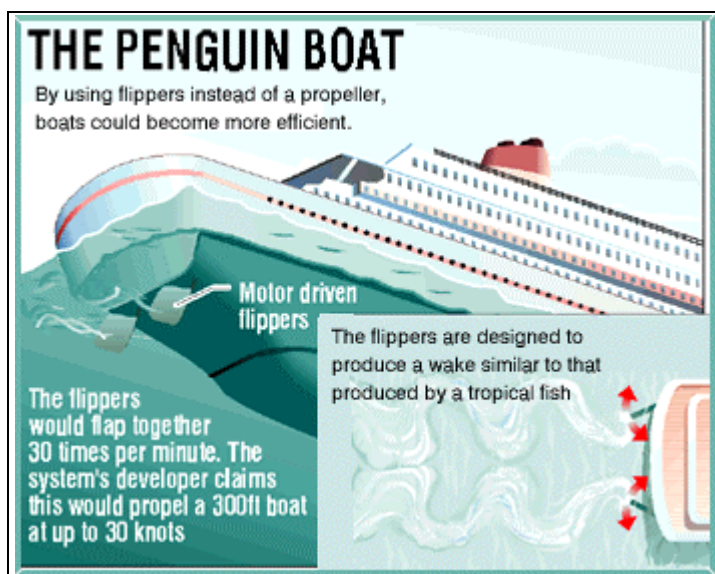
Naast het Whale Tail Wheel zijn er vele ideeën over deze zogenaamde 'vissenschepen'. In de Verenigde Staten is men met iets dergelijk bezig, namelijk het Proteus-project. Het doel van dit project is het toepassen van de zeer efficiënte natuurlijke vis-voorstuwingstechnologie in conventionele schepen. De Proteus is een boot die zich voortbeweegt met twee niet in fase oscillerende draagvleugels in plaats van een schroef (zie figuur 6.2). De boot is vergelijkbaar met het

<sup>34</sup> Interview met dhr. P. 't Hart, projectmanager R&D bij de Vereniging Nederlandse Scheepsbouw Industrie (VNSI) op woensdag 20 juni 2001, Zoetermeer

<sup>35</sup> Interview met dhr. H.L. Baarbé van de directie KVI over scheepvaart en milieu op donderdag 7 juni 2001, Ministerie van VROM, Den Haag

<sup>36</sup> Interview met dhr. W.J. Dijkstra van Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie op vrijdag 8 juni 2001, Delft

starre lichaam van een pinguïn en zijn flapperende visachtige vinnen, vandaar de naam 'pinguïnboot'. Deze 'pinguïnboot' is alleen nog met behulp van een schaalmodel getest en dus in de nabije toekomst niet commercieel toepasbaar. [MIT, 1999]



Figuur 6.2. Proteus, de pinguïnboot. [MIT, 1999]

### Zeilschepen

In de Gouden Eeuw (de 17<sup>de</sup> eeuw) maakte men reeds gebruik van zeilschepen voor goederentransport van en naar Azië en Amerika. Wanneer in de toekomst zeer strenge eisen zullen gelden voor de uitstoot van vervuilende stoffen, zullen zeilschepen misschien ook weer toegepast worden in de scheepvaartsector. Hierbij zullen moderne technieken en misschien zelfs doorbraaktechnologie aangewend kunnen worden. Wanneer er gebruik wordt gemaakt van windenergie voor de voortstuwing van het schip en niet van de verbrandingsenergie van brandstof, zal er praktisch geen uitstoot van stoffen naar de lucht zijn. Mogelijk zal de uitstoot van stoffen ten gevolge van het genereren van elektriciteit voor huishoudelijke toepassingen als licht en andere apparatuur blijven bestaan.<sup>37 38</sup>

In de 17<sup>de</sup> eeuw was een grote bemanning noodzakelijk voor het varen met een zeilschip. Maar op de motorschepen van tegenwoordig zijn weinig zeelieden nodig. Wanneer men het zeilschip nu weer zou toepassen voor het goederentransport, zal het aantal bemanningsleden niet mogen toenemen ten opzichte van de huidige situatie. De arbeidskosten zijn namelijk nu al een grote post in de uitgaven. Een ander probleem heeft te maken met de prestatie van een zeilschip. Een zeilschip kan problemen opleveren met betrekking tot de snelheid en de mogelijkheid tot plannen van een reis. Een zeilschip moet namelijk een 'bezeilde koers' volgen: er moet voldoende wind zijn, evenals een juiste windrichting. Het zeilschip moet dus een bepaalde koers volgen, wat kan leiden tot omwegen met mogelijk een langere reisduur tot gevolg.<sup>39</sup> Een mogelijkheid om deze problemen te omzeilen is om zeilen in te schakelen als extra bron naast een conventionele brandstofmotor voor de voortstuwing van een zeilschip. Containerschepen komen hiervoor niet in aanmerking door het ruimtegebrek aan dek. Voor bijvoorbeeld tankers is dit een mogelijke optie.<sup>40</sup> Wel dient er rekening gehouden te worden dat het combineren van een zeil en een motor technisch ongunstig kan zijn. Stel dat een schip circa 14 knopen moet varen. Drie knopen kunnen behaald worden met het zeil, maar de overige elf

<sup>37</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

<sup>38</sup> Interview met dhr. A.C. van Holk en dhr. J.J. Kolpa van DGG op donderdag 31 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

<sup>39</sup> Interview met dhr. H.L. Baarbé van de directie KVI donderdag 7 juni 2001, Ministerie van VROM, Den Haag

<sup>40</sup> Interview met dhr. W.J. Dijkstra van Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie op vrijdag 8 juni 2001, Delft

knopen zullen van een motor moeten komen. Dit is voor de motor energie-technisch geen gunstige situatie.<sup>41</sup>

#### 6.5.4 Overzicht van maatregelen en milieu-effecten

In deze laatste subparagraaf wordt een overzicht gegeven van de maatregelen die in deze paragraaf behandeld zijn. Dit overzicht staat in tabel 6.7, waarin tevens de milieu-effecten zijn aangegeven.

Tabel 6.7. Overzicht van de overige maatregelen en de bijbehorende milieu-effecten.

Overige maatregelen (zie ook energie-besparende maatregelen)	Milieu-effecten
Verhogen van gemiddelde beladingsgraden.	Reductie van verschillende emissies
Het kiezen van een constante vaarsnelheid.	Energiebesparing: 0,1-2% Reductie van verschillende emissies
Veranderen van vaargedrag.	Reductie van verschillende emissies
Good housekeeping.	Reductie van verschillende emissies
Weather-routing.	Energiebesparing: 2-4% Reductie van verschillende emissies
Vloot-planning.	Energiebesparing: 5-40% Reductie van verschillende emissies
Toepassen van het Whale Tail Wheel in plaats van de conventionele schroef.	Energiebesparing: 25-33% Reductie van verschillende emissies
Toepassen van andere zeer efficiënte natuurlijke visvoorstuwings-technologie in nieuwe schepen in plaats van de conventionele schroef.	Toename energie-efficiëntie Reductie van verschillende emissies
Toepassen van zeilschepen voor de goedertransport in plaats van motorschepen.	Reductie van verschillende emissies

## 6.6 Implementatiebarrières bij technische maatregelen

### 6.6.1 Inleiding

Voordat de maatregelen uit de vorige paragrafen ingevoerd kunnen worden, zal eerst gekeken moeten worden welke weerstanden er overbrugd moeten worden ter verwezenlijking van de maatregelen. Deze weerstanden kunnen betrekking hebben op maatschappelijke, juridische, economische, logistieke en technologische kwesties en worden ook wel 'implementatiebarrières' genoemd. De verschillende implementatiebarrières zullen in de volgende paragrafen behandeld worden.

### 6.6.2 Maatschappelijke implementatiebarrières

#### *Weerstand tegen alles wat nieuw is*

In het algemeen staat de samenleving sceptisch tegenover alles wat nieuw is. Men is vaak tevreden met huidige middelen en situaties en zal minder snel geneigd zijn daar verandering in te brengen, zodat de huidige transportmiddelen niet snel vervangen zullen worden door andere (alternatieve) middelen. Men is vaak bang dat men erop achteruit gaat met betrekking tot onder andere prestatie en veiligheid. Dit geldt ook voor de scheepvaartsector. Zeker met betrekking tot het toepassen van alternatieve brandstoffen en aandrijvingsmethoden zal de scheepvaartsector terughoudend zijn, aangezien vele mogelijkheden nog niet commercieel toepasbaar zijn gebleken. [Agee, 1999]

#### *Twijfels over veiligheid en betrouwbaarheid*

Daarnaast zijn er nog vele twijfels omtrent de veiligheid en betrouwbaarheid van bepaalde mogelijkheden. [Agee, 1999]

<sup>41</sup> Interview met dhr. P. 't Hart, projectmanager R&D bij de Vereniging Nederlandse Scheepsbouw Industrie (VNSI) op woensdag 20 juni 2001, Zoetermeer

### 6.6.3 Juridische implementatiebarrières

#### *Weinig regelgeving*

In tegenstelling tot het vrachtvervoer over de weg dat aan steeds strengere Europese (EU) emissienormen moet voldoen, heeft de Nederlandse overheid tot nu toe weinig beleid gevoerd om emissies naar de lucht door de scheepvaartsector te reduceren. Ook in Europees en internationaal verband is er weinig regelgeving voor de scheepvaartsector. Hierdoor is er voor de rederijen weinig stimulans om te investeren in maatregelen om emissies naar de lucht te verminderen.<sup>42</sup> <sup>43</sup> In hoofdstuk 8 wordt hier verder op ingegaan.

#### *Geen consequente inventarisatie van emissies*

Een andere barrière is het ontbreken van een consequente inventarisatie van emissies. De inventarisatie van de verschillende emissies wordt in de meeste publicaties uitgevoerd op basis van de hoeveelheid door schepen gestookte brandstoffen. Hierbij zijn er een aantal aannames gedaan waarvan niet exact bekend is of ze juist zijn. Het betreft aannames met betrekking tot de verblijftijd van emissies in de lucht, de verdeling van het type schepen in de vloot, het aantal verschillende typen schepen, de gebruikte typen brandstof en de werking van de motor. [Fiffick, 2000] Doordat er geen internationale regels zijn gesteld omtrent het bijhouden van emissies naar de lucht en omtrent de te gebruiken methoden, is er nog geen 'nul'-situatie gekozen en kan eventueel beleid niet geëvalueerd worden. Er wordt op dit moment op basis van schattingen gewerkt.

### 6.6.4 Economische implementatiebarrières

#### *Hoge investeringen*

Eén van de belangrijkste implementatiebarrières heeft betrekking op het economisch aspect van de verbeteringsmogelijkheden. Het toepassen van verbeterde of andere (alternatieve) brandstoffen, aandrijvingsmechanismen en/of technieken brengt vaak hoge investeringen met zich mee voor de scheepvaartsector. Veel van de alternatieve verbeteringsmogelijkheden met betrekking tot brandstof en techniek zijn op het moment nog niet commercieel toepasbaar door de hoge investeringen, zoals bijvoorbeeld de GTL-methode. [Agee, 1998a]

#### *Moment van vervanging*

Ook het moment van vervanging speelt een belangrijke rol. Wanneer een motor relatief jong is, kan het economisch niet rendabel zijn om de motor vervroegd te vervangen. [Dijkstra et al., 1999] Voor sommige ondernemingen zou het economisch niet verantwoord zijn om zich op dit gebied te begeven.

#### *Lage brandstofprijzen*

Ook is op het moment de prijs van brandstof laag, zodat er weinig stimulans is om zich in te zetten voor energiebesparingen. Daarnaast is het aandeel van de brandstofkosten in de totale transportkosten klein, wat ook weinig prikkelend voor het doorvoeren van energiebesparingen. [Ofstedal, et al., 1996] De intensiteit van onderzoek naar en de bereidheid tot toepassen van energiebesparende en andere alternatieve mogelijkheden zal hoger liggen wanneer de dieselprijs hoog is. Dit geldt onder andere voor de toepassing van duale scheepsmotoren.

#### *Medewerking van de olie-industrie*

Het inzetten van alternatieve brandstoffen (zoals aardgas, GTL-brandstoffen en DME) zal ook de medewerking van de olie-industrie vergen. Maar in het algemeen zullen olieraffinaderijen weinig motivatie hebben om te investeren in schonere brandstoffen. Zij hebben namelijk reeds grote investeringen gedaan in de huidige olieproductieprocessen. Daarnaast is er nu reeds een stabiele afzetmarkt voor de huidige olieproducten en (nog) geen vraag naar schone brandstoffen. Een gelijke situatie bestaat ook voor de detailhandel van brandstoffen. [Agee, 1999]

---

<sup>42</sup> Interview met dhr. A.C. van Holk en dhr. J.J. Kolpa van DGG op donderdag 31 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

<sup>43</sup> Interview met dhr. W.J. Dijkstra van Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie op vrijdag 8 juni 2001, Delft



### ***Onzekerheden in de markt***

Wanneer de olie-industrie of andere industrieën zouden overwegen om zich op de markt van schonere brandstoffen te begeven, dan zijn er nog een aantal grote onzekerheden. Zij zullen zichzelf een aantal vragen stellen zoals: zullen de vraag naar en het aanbod van alternatieve brandstoffen overeenkomen? hoeveel meer is de consument bereid te betalen voor de schonere brandstof? zal er ook in de toekomst genoeg voorraad zijn die tevens voldoet aan de juiste eisen? [Agee, 1999]

## **6.6.5 Logistieke implementatiebarrières**

### ***Faciliteiten voor distributie en opslag***

Dit type barrière heeft voornamelijk betrekking op de logistieke aspecten van andere (alternatieve) brandstoffen. Bij de distributie en opslag van een aantal van de alternatieve brandstoffen kan gebruik gemaakt worden van bestaande faciliteiten. Dit geldt bijvoorbeeld voor PuriNO<sub>x</sub>, biobrandstoffen en GTL-brandstoffen. Voor onder andere aardgas zullen nieuwe faciliteiten gebouwd moeten worden.

Het toepassen van brandstofcellen in de scheepvaart is op het moment nog niet commercieel mogelijk. De voornaamste knelpunten hebben te maken met de productie, opslag en distributie van H<sub>2</sub> (waterstof). Dit brengt nogal wat moeilijkheden met zich mee op het gebied van productie- en ruimtecapaciteit. [Agee, 1999]

### ***Verschuiving van afzetmarkt***

Wanneer de olieraffinaderijen hun residuale olieproducten niet meer kwijt kunnen aan de zeescheepvaartsector door oftewel een te lage vraag vanuit de markt of door wettelijke regelingen, zullen zij andere afnemers zoeken. Hiervoor komen voornamelijk elektriciteitscentrales voor in aanmerking. Op deze manier blijft de hoeveelheid uitgestoten stoffen naar de lucht gelijk (vooral SO<sub>2</sub>), zodat het milieu niet profiteert van het gebruik van laagzwavelige brandstoffen in de zeescheepvaartsector. [Kågeson, 1999] Het stoken van hoogzwavelige brandstoffen in elektriciteitscentrales kan door de stationaire locatie op het land leiden tot een hogere belasting op de plaatselijke milieukwaliteit. Maar op het land zal er waarschijnlijk meer en strengere regelgeving zijn omtrent emissies (BEES; zie ook paragraaf 6.2.3). Er zal bekeken moeten worden of het nuttig is om de SO<sub>2</sub>-emissie te verplaatsen van de zee naar het land.

### ***Beschikbaarheid***

Wanneer de energie-industrie besluit om een alternatieve brandstof te produceren zal eerst gekeken moet worden of er niet alleen voor de korte termijn genoeg grondstof is om alternatieve brandstoffen te produceren, maar ook voor een aantal decennia. Bij onvoldoende voorraad zal goed nagedacht moeten worden of het waard is om in de alternatieve brandstof te investeren of om dat in andere alternatieven te doen. [Agee, 1999] Op dit moment is beschikbaarheid van alternatieve brandstoffen, naast andere factoren, nog een groot knelpunt waardoor er weinig mogelijkheden zijn om alternatieve brandstoffen te gebruiken.<sup>44</sup>

## **6.6.6 Technologische implementatiebarrières**

### ***Onzekerheid omtrent emissiefactoren***

Een aantal emissiefactoren, zoals die van NO<sub>x</sub> en fijn stof, zijn afhankelijk van machinale omstandigheden. Aangezien deze omstandigheden niet altijd constant zijn, kunnen de exacte waarden van de verschillende emissiefactoren niet met grote zekerheid vastgesteld worden. Dit is onder andere het geval voor fijn stof. Om de milieu-effecten van een maatregel te bepalen is het nodig dat de emissiefactoren voor de implementatie van een maatregel vergeleken kunnen worden met de factoren na toepassing van een maatregel. En zoals eerder is gezegd is het ook noodzakelijk om een goede schatting te kunnen geven van de hogere concentraties schadelijke stoffen op locaties waar mensen en dieren verblijven. [Dijkstra, 2001a]

### ***Combinatie van nieuwe en huidige mogelijkheden***

Een andere zeer belangrijke belemmering bij de introductie van andere (alternatieve) brandstoffen en

<sup>44</sup> Interview met dhr. W.J. Dijkstra van Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie op vrijdag 8 juni 2001, Delft

technieken ligt op het gebied van de huidige technologie in de scheepvaart. Er zijn een tweetal vragen belangrijk bij het implementeren van verbeteringsmogelijkheden:

1. Kunnen alternatieve brandstoffen toegepast worden zonder aanpassingen aan de huidige motoren? [Agee, 1999]
2. Kunnen alternatieve motoren draaien op de huidige brandstoffen of moeten er ook nieuwe brandstoffen ingezet worden? [Agee, 1999]

Meestal vergt de toepassing van alternatieve brandstoffen dat er nieuwe technologieën ingezet moeten worden of dat er zeer grote aanpassingen aan de huidige motoren gedaan moeten worden. Een uitzondering hierop is bijvoorbeeld het stoken van PuriNO<sub>x</sub> (zie paragraaf 6.2.5.) en laagzwavelige brandstoffen. Het toepassen van nieuwe technieken in nieuw te bouwen schepen brengt geen technologische barrières met zich mee. Daarentegen is retrofit in bestaande schepen niet altijd mogelijk of zeer moeilijk door bijvoorbeeld ruimtegebrek, onverenigbare technieken en andere technische belemmeringen. Ook zijn nog vele alternatieve mogelijkheden in hun pilot-fase, zodat op korte termijn implementatie niet mogelijk is.

### **Lange technische levensduur van scheepsmotoren**

De motoren van de vaartuigen in de scheepvaartsector hebben een lange technische levensduur van 15-30 jaar (gemiddeld circa 25 jaar). Hierdoor zal het lang duren voordat alternatieve verbeteringsmogelijkheden door vervanging in de gehele Nederlandse vloot van zowel de zeescheepvaart als de binnenvaart zullen zijn binnengedrongen. In tabel 6.8 is de verdeling gegeven van de motorbouwjaren in de Nederlandse vloot. Ook het scheepscasco gaat vaak 30 jaar of langer mee. Technische aanpassingen aan het scheepscasco ten behoeve van de energie-efficiëntie zullen daarom op korte termijn een gering effect hebben op het vloot-gemiddelde energiegebruik. Daarnaast duurt het ontwerpen van een schip lang evenals de constructie van het schip. Het aanbrengen van modificaties aan bestaande schepen zal dan ook een lange tijd innemen omdat het een grote vloot betreft. [IMO, 2000]

Uit gegevens blijkt dat de instroom van nieuwe motoren van de Nederlandse vloot in de binnenvaart 300-400 motoren per jaar bedraagt. Dit is ongeveer 6% van het gehele Nederlandse motorenpark in de binnenvaart. Naar schatting duurt de vervanging van het grootste deel van de oude motoren circa 17 tot 20 jaar. Doordat er tegenwoordig jaarlijks meer draaiuren worden gemaakt, zal eerder bekeken kunnen worden of motoren van bepaalde scheepstypen (met name de containervaart) eerder voor vervanging in aanmerking komen. Wanneer gekozen wordt voor een vervroegde vervanging van een motor, zal bekeken moeten worden wat de absolute verbetering is ten opzichte van de bestaande motor en ook naar de andere karakteristieken van de nieuwe motor, zoals het vermogen. [Dijkstra en Dings, 1997; Dijkstra en Bekkers, 1999]

Tabel 6.8. De verdeling van motorbouwjaren in de Nederlandse vloot. [NIRIA, 2000]

Motorbouwjaren	Percentage
0-5 jaar	13%
6-10 jaar	9%
11-20 jaar	24%
> 20 jaar	53%

In eerder paragrafen is reeds gezegd dat maatregelen ter reductie van een bepaalde emissie kunnen leiden tot een toename van een andere emissie. Dit is bijvoorbeeld het geval bij het ontzwavelingsproces. Ook zal er een afweging gemaakt moeten worden tussen de energie-efficiëntie en de reductie van emissies (zoals NO<sub>x</sub>), alhoewel de techniek zich steeds verder ontwikkelt. Deze ontwikkeling zal bovenstaande afweging tussen efficiëntie en emissie steeds vaker overbodig maken.

## 6.7 Deelconclusie

In dit hoofdstuk werd een inventarisatie gemaakt van maatregelen op het gebied van techniek en brandstof, waarmee emissies naar de lucht in de scheepvaartsector gereduceerd kunnen worden. Hierbij is de nadruk gelegd op de emissie van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>. Bij de verschillende maatregelen werden tevens de positieve en negatieve effecten op het milieu behandeld.

Met name de omvang van de SO<sub>2</sub>-emissie is afhankelijk van de samenstelling van de brandstof. Er zijn een tweetal mogelijkheden bij de implementatie van brandstof-gerichte maatregelen. De eerste mogelijkheid is het toepassen van schonere brandstoffen die reeds op de markt aanwezig zijn. Hieronder vallen onder andere scheepsgasolie en aardgas. Ook laagzwavelige brandstoffen kunnen reeds toegepast worden. Laagzwavelige brandstoffen worden gemaakt met behulp van een ontzwavelingsproces, dat zeer energie-intensief is.

Een tweede mogelijkheid is het stoken van alternatieve brandstoffen, zoals biobrandstoffen, dimethyl ether, synthetische diesel (GTL) en PuriNO<sub>x</sub>. De meeste van deze brandstoffen zijn nog niet commercieel toepasbaar, vaak om economische redenen. Ook vereist het gebruik van alternatieve brandstoffen dat er nieuwe technologieën ingezet moeten worden of dat er grote aanpassingen gedaan moeten worden aan de huidige motoren. Bij het toepassen van andere (alternatieve) brandstoffen in de scheepvaart moet een evenwicht gezocht worden tussen energie-efficiëntie, emissiereducties en investeringen.

Er zijn een aantal basisvoorwaarden die kunnen zorgen voor een hogere kans op succes met betrekking tot de implementatie van een alternatieve brandstof. [Snyder et al., 2000; Agee, 1999] Dit zijn:

- Het gebruik van de alternatieve brandstof is verantwoord voor het milieu.
- De alternatieve brandstof is te gebruiken in huidige transportmiddelen.
- De benodigde infrastructuur voor de alternatieve brandstof komt overeen met de huidige infrastructuur voor de levering van brandstoffen.
- Het aanbod van een alternatieve brandstof moet aan de vraag kunnen voldoen. Dit heeft betrekking op de hoeveelheid en de beschikbaarheid van de alternatieve brandstof.
- De alternatieve brandstof moet technologie-neutraal zijn; dat wil zeggen dat de brandstof zonder grote aanpassingen aan de motor gebruikt moet kunnen worden.

Er zijn een aantal alternatieve brandstoffen die aan deze eisen voldoen en die mogelijk de hoogzwavelige brandstoffen in de scheepvaartsector zouden kunnen vervangen: laagzwavelige brandstoffen, scheepsgasolie, GTL-brandstoffen en PuriNO<sub>x</sub>.

Emissies kunnen op twee manieren gereduceerd worden. Allereerst kan het brandstofverbruik gereduceerd worden met behulp van technische ingrepen die de energie-efficiëntie verhogen. De omvang van alle emissies (onder andere NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, fijn stof en CO<sub>2</sub>) wordt door het lagere brandstofverbruik gereduceerd. Ook kunnen er technische maatregelen genomen worden die gericht zijn op het reduceren van emissies.

De omvang van de emissie van NO<sub>x</sub> wordt als eerste bepaald door het design van de motor. Ook het verbrandingsproces speelt hierbij een belangrijke rol. De NO<sub>x</sub>-uitstoot kan verminderd worden door de inputfactoren naar de motor als temperatuur, druk en verblijftijd te veranderen. Dit kan ook bewerkstelligd worden door aanpassingen te doen aan de motor zelf. Als laatste kunnen 'end-of-pipe'-maatregelen genomen worden; hierbij krijgen de verbrandingsgassen een nabehandeling. Met deze maatregelen kunnen ook andere emissies als fijn stof en SO<sub>2</sub> gereduceerd worden. De meeste zeeschepen zijn uitgerust met speciale scheepsdieselmotoren die een hoge uitstoot van NO<sub>x</sub> hebben. De technologie is op dit moment zover dat de NO<sub>x</sub>-emissie gereduceerd kan worden met circa 95%. Voor een aantal nabehandelingstechnieken is het noodzakelijk dat er gebruik gemaakt wordt van laagzwavelige brandstoffen. Naast de verlaging van de SO<sub>2</sub>-emissie is dit nog een reden om het zwavelgehalte in scheepsbrandstoffen te verlagen.

In plaats van de conventionele dieselmotoren zal het in de toekomst mogelijk zijn om schepen te voorzien van alternatieve motoren, zoals de brandstofcel, de duale motor en de gasmotor. Dit zal ook resulteren in lagere emissies.

Naast maatregelen op het gebied van brandstof en techniek kunnen er ook technologisch-logistieke maatregelen genomen worden, als verhogen van de gemiddelde beladingsgraden, het kiezen van de juiste vaarsnelheid en motorvermogen. Ook nieuwe voortstuwingssystemen, als het Whale Tail Wheel en andere visachtige voortstuwingssystemen zullen de energie-efficiëntie van schepen in de toekomst kunnen verhogen.

Bij het toepassen van genoemde maatregelen zullen implementatiebarrières op maatschappelijk, juridisch, economisch, logistiek en technologisch gebied overbrugd moeten worden. Allereerst zullen reders nieuwe verbeteringsmogelijkheden niet zo snel doorvoeren, omdat zij in het algemeen niet snel open staan voor veranderingen. Ook zijn de meeste maatregelen nog niet commercieel toepasbaar door de hoge investeringen en door logistieke belemmeringen. Door de lage brandstofprijzen zijn reders minder geneigd om zich in te zetten voor energiebesparing en om onderzoek te verrichten naar verbeteringsmogelijkheden. Een andere barrière is dat er op dit moment een markt bestaat voor hoogzwavelige brandstoffen. Zo lang die markt blijft bestaan, zal het gebruik van laagzwavelige brandstoffen niet doorbreken.

Bij vervanging van de oude motor zal rekening worden gehouden met:

- het moment van vervanging (financiële afweging),
- de absolute verbetering ten opzichte van de bestaande motor,
- andere karakteristieken van de motor.

Kort samengevat: het is niet altijd mogelijk en weker niet altijd rendabel om alternatieve brandstoffen of technische maatregelen toe te passen in schepen. Vaak vereist dit vele technische aanpassingen. Daarnaast zijn nog vele verbeteringsmogelijkheden in hun pilot-fase, wat implementatie op korte termijn niet mogelijk maakt. Door de lange technische levensduur van schepen in zowel de zeescheepvaart als de binnenvaart zal het lang duren voordat de effecten van de implementatie van verbeteringsmogelijkheden merkbaar zijn.

In tabel 6.9 is een kort overzicht gegeven van alle verbeteringsmogelijkheden op het gebied van brandstof en techniek om de emissies naar de lucht te reduceren en de samenhang tussen de verschillende mogelijkheden.

Tabel 6.9. Overzicht van de mogelijkheden op het gebied van brandstof en techniek ter reductie van emissies naar de lucht.

Techniek Brandstof	Huidige techniek	Aanpassing aan huidige techniek	Nieuwe techniek	Doorbraak-technologie
<b>Huidige brandstof</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verandering raffinageproces</li> <li>• Ontzwaveling</li> <li>• Gebruik laagzwavelige brandstof</li> <li>• Gebruik biobrandstof</li> <li>• Gebruik GTL-brandstof</li> <li>• Gebruik PuriNO<sub>x</sub></li> <li>• Energiebesparende technologische-logistieke factoren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebruik DME</li> <li>• Verfijning van motoren</li> <li>• Toepassing economy-meter</li> <li>• Aanpassingen aan inputfactoren</li> <li>• Aanpassingen aan motor</li> <li>• Toepassing intercooler</li> <li>• Gebruik propaan</li> <li>• Warmtekrachtkoppeling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebruik aardgas</li> <li>• Zonne-energie</li> <li>• Gebruik van propaan</li> <li>• Energiebesparende technologische aspecten, zoals scheepsmotor, schroef en weerstand</li> <li>• Vervanging HS-motor door MS-motor</li> <li>• 'End-of-pipe'-technieken</li> <li>• Toepassen VECS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toepassing Whale Tail Wheel</li> <li>• Toepassing alternatieve voorstuwingsmethoden</li> <li>• Toepassing zeilschepen</li> </ul>
<b>Aangepaste brandstof</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toepassing duale scheepsmotoren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 'End-of-pipe'-techniek</li> <li>• Toepassing gasturbine/-motor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>
<b>Nieuwe brandstof</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toepassing nucleaire reactor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toepassing brandstofcel</li> </ul>



## 7 Kosteneffectiviteit van de verbeteringsmogelijkheden

### 7.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk is een inventarisatie gemaakt van de verschillende verbeteringsmogelijkheden op het gebied van brandstof en techniek. Deze mogelijke maatregelen zullen verschillende investeringen, kosten en opbrengsten met zich meebrengen. Daartoe wordt in dit hoofdstuk de laatste deelvraag uit hoofdstuk 1 behandeld. Deze luidt:

*Wat is de kosteneffectiviteit van de mogelijk te treffen maatregelen?*

Kosteneffectiviteit wordt in deze context gedefinieerd als de milieukosten per vermeden hoeveelheid emissie. Dit komt neer op het delen van de jaarlijkse netto kosten of opbrengsten door de jaarlijkse emissiereductie. Men spreekt van een hoge mate van kosteneffectiviteit als de kosten per vermeden hoeveelheid emissie laag zijn. De kosteneffectiviteit is een belangrijke factor bij het nemen van besluiten over te treffen maatregelen en bij het onderling prioriteren daarvan.

In de volgende paragraaf zal eerst geprobeerd worden om de verschillende kostenposten voor het transporteren van goederen per schip te specificeren. In de paragrafen 7.3 tot en met 7.6 worden de kosten en de kosteneffectiviteit van verschillende verbeteringsmogelijkheden behandeld. Dit bleek niet voor alle maatregelen mogelijk. Voor sommige verbeteringsmogelijkheden zijn slechts ruwe schattingen van kosten aangetroffen in de literatuur. Sommige kosten van maatregelen waren alleen in Amerikaanse dollars beschikbaar. Door de fluctuerende koers van de dollar is ervoor gekozen om deze bedragen niet naar euro's om te zetten. Vervolgens wordt in paragraaf 7.7 een totaal overzicht gegeven van alle verbeteringsmogelijkheden en waar mogelijk ook de bijbehorende reductiepercentages en de kosteneffectiviteit. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een deelconclusie in paragraaf 7.8.

### 7.2 Kostenposten in de scheepvaart

Het vervoeren van een hoeveelheid lading over een bepaalde afstand per binnenschip of zeeschip brengt een aantal kosten met zich mee. Deze kosten kunnen gesplitst worden in een aantal posten. [TLN, 2000] Dit zijn de posten:

- afschrijvingskosten van de schepen; een afschrijving is het in rekening brengen van verlies of waardevermindering bij het opmaken van een balans. Deze waardevermindering is afhankelijk van de initiële aanschafkosten, de economische levensduur van het schip en de afschrijvingsmethode.
- brandstofkosten; dit zijn de kosten voor brandstof die nodig zijn voor het vervoeren van een hoeveelheid lading over een bepaalde afstand.
- onderhoudskosten; dit zijn kosten voor materiaal voor het plegen van onderhoud en het vervangen van kapotte onderdelen op het schip.
- overslagkosten; dit zijn de kosten die nodig zijn bij de overslag van goederen voor onder andere opslag.
- arbeidskosten; dit zijn de kosten die gemaakt worden voor het betalen van de lonen van personeel.
- verzekeringskosten; de lading en het schip moeten verzekerd zijn in geval van verlies, beschadiging en ongeluk.
- overige bedrijfskosten, zoals rente en belastingen.
- externe kosten, zoals kosten voor infrastructuur en milieukosten voor onder andere geurhinder en geluidhinder (zie ook verderop in deze paragraaf). Deze kosten worden ook wel maatschappelijke kosten genoemd en worden niet betrokken bij de kostenberekening.

Wanneer gekeken wordt naar het gehele transport-traject in de binnenvaart van zeehaven naar bestemming of omgekeerd (500 kilometer), blijkt uit tabel 7.1 dat het aandeel in de totale kosten van transport van een container over het traject per binnenschip slechts 40% bedraagt. Het natransport over de weg heeft een aandeel van 35%, wat relatief groot is. [TLN, 1999]

*Tabel 7.1. Gemiddelde kostenaandelen in intermodale binnenvaartketen, container (500 km). [TLN, 1999]*

Overslag op zeehaventerminal	Hoofdttraject over binnenwater	Overslag op inlandterminal	Natransport over de weg
15%	40%	10%	35%

In het kader van dit rapport is het voornamelijk van belang hoe de brandstofkosten zich verhouden tot de totale transportkosten over een bepaalde afstand per eenheid vervoerde goederen. Wanneer dit aandeel klein is, zal prijsbeleid voor de scheepsbrandstoffen minder impact hebben op het brandstofverbruik dan wanneer dit aandeel groot is. Zoals uit tabel 7.2 blijkt, wordt er geen accijns geheven op de brandstoffen in de binnenvaart en de zeescheepvaart. Daarnaast is ook de bulkprijs van deze brandstoffen laag in vergelijking met het vervoer over de weg. Voor zware stookolie was de bulkprijs in 1999 nog lager dan voor scheepsgasolie, namelijk 0,07 euro (fl.0,16) per liter zware stookolie. [TLN, 1999] Naast accijns wordt er ook geen brandstoffenbelasting en REB (regulerende energiebelasting) geheven op de brandstoffen voor de scheepvaart. [Dijkstra en Janse, 2001]

*Tabel 7.2. Gemiddelde prijzen per liter van de brandstoffen voor de verschillende modaliteiten, uitgesplitst naar belasting en bulkprijs in 1999. [TLN, 1999]*

Brandstof:		Dieselolie	Scheepsgasolie	Stookolie	Kerosine
Modaliteit:	Wegvervoer	Spoorvervoer	Binnenvaart	Zeescheepvaart	Luchtvaart
Belasting	0,33 euro (fl.0,72)	0,00 euro	0,00 euro	0,00 euro	0,00 euro
Bulkprijs	0,48 euro (fl.1,05)	0,13 euro fl.0,28)	0,13 euro fl.0,28)	0,07 euro fl.0,16)	0,13 euro (fl.0,28)
Totaal	0,81 euro fl.1,77)	0,13 euro fl.0,28)	0,13 euro fl.0,28)	0,07 euro fl.0,28)	0,13 euro (fl.0,28)

Uit andere bronnen blijkt dat in 2000 de prijs voor scheepsgasolie in de binnenvaart circa 320-340 euro (fl.700-fl.750) per 1000 liter scheepsgasolie bedroeg (circa 0,32 euro c.q. fl.0,70 per liter). [Dijkstra en Janse, 2001] Voor de scheepvaartsector zijn ook andere getallen gevonden voor 2000, namelijk gemiddeld 0,15 euro (fl.0,33) per liter zware stookolie en 0,23 euro (fl.0,50) per liter scheepsgasolie voor de zeescheepvaart. Dit prijsverschil tussen het jaar 1999 en 2000 is waarschijnlijk toe te schrijven aan de hoge koers van de dollar in 2000 [Bunkerworld, 2001].

Door gebrek aan gegevens is het helaas niet mogelijk om aan te geven wat het aandeel van de brandstofkosten is in het geheel van transportkosten. Dit zou zeer interessant zijn voor het bepalen van het effect van eventuele heffingen en accijns op scheepsbrandstoffen.

In de eerste alinea van deze paragraaf zijn reeds de begrippen 'externe kosten' en 'milieukosten' naar voren gekomen. [Dings et al., 1999a] Externe kosten zijn te verdelen in drie groepen:

1. externe kosten die het gevolg zijn van het daadwerkelijk voortbewegen van de vervoermiddelen. Voorbeelden hiervan zijn geluidhinder, geurhinder en emissies van schadelijke stoffen.
2. externe kosten die veroorzaakt worden door vervoermiddelen ongeacht het niveau van gebruik, zoals gebruik van publieke ruimte en vervuiling door de productie van de vervoermiddelen.
3. externe kosten die sterk gerelateerd zijn aan het bestaan van infrastructuur. Voorbeelden hiervan zijn horizonvervuiling en versnippering van het landschap met negatieve effecten op ecosystemen.

Voor dit rapport is vooral het eerste type van de externe kosten van belang, namelijk de externe milieukosten van de emissie van schadelijke stoffen. Uit gegevens blijkt dat de milieukosten van het verstoken van één liter hoogzwavelige brandstof circa 0,41 euro (fl.0,90) bedraagt voor een binnenschip. Zonder accijns of milieuheffing blijven deze kosten ongedekt en zonder emissienormen komen deze kosten ook niet lager te liggen. [TLN, 1999] In tabel 1 van bijlage 7.A is een overzicht gegeven van de externe milieukosten van diverse emissies naar de lucht door schepen [Dings et al., 1999a].

Uit onderzoek is gebleken dat de specifieke externe kosten (kosten per tonkilometer), maar ook de absolute kosten voor zeetransport lager zijn dan voor transport over spoor en weg [ECSA, 2000].



### 7.3 Mogelijkheden met betrekking tot brandstof

In deze paragraaf zullen de verbeteringsmogelijkheden gericht op brandstoffen vanuit een economisch oogpunt bekeken worden. Hierbij zal getracht worden om de kosteneffectiviteit te bepalen.

Zoals eerder is aangegeven, brengt het ontzwavelingsproces hoge investeringen met zich mee. In 1999 bedroegen de incrementele kosten (dit zijn 'extra' kosten) voor brandstof met 1% zwavel circa US\$10 per ton brandstof en voor brandstof met 0,5% zwavel was dit US\$30 per ton brandstof. Dit komt overeen met circa 0,5 euro en 1,2 euro (respectievelijk fl.1,10 en fl.2,64) per gereduceerde kilogram zwavel. De reguliere prijs voor hoogzwavelige HFO (3%) bedroeg in 1999 circa US\$130 per ton brandstof. De extra kosten voor zware stookolie met 1% zwavel en 0,5% zwavel bedragen in de Verenigde Staten dus respectievelijk 8% en 23% van de kostprijs van hoogzwavelige stookolie. [Kågeson, 1999]

Uit bovenstaande blijkt dat het ruim twee keer zoveel geld kost om tot een halve massaprocent zwavel te verwijderen uit hoogzwavelige brandstof dan tot één massaprocent zwavel. Daarom zal het voor de zeescheepvaart financieel aantrekkelijker zijn om brandstof te gebruiken met 1% zwavel dan 0,5%, wanneer het gebruik van laagzwavelige brandstoffen verplicht wordt gesteld. Het gebruik van laagzwavelige brandstoffen kan in Nederland 20-50% duurder uitvallen voor de reders dan het gebruik van hoogzwavelige brandstoffen. [Burgel, 2000]

De extra kosten voor het verlagen van het zwavelgehalte in zware stookolie van 3,4 % naar 1,5% bedragen 45-70 euro (fl.100-150) per ton stookolie. De bijbehorende kosteneffectiviteit is circa 0,60 euro (fl.1,25) per kg vermeden SO<sub>2</sub>. [Feimann et al., 2000]

Voor de binnenvaart bestaat de maatregel uit een verlaging van het zwavelgehalte in scheepsgasolie van 0,2% naar 0,1%. De extra kosten hiervan bedragen circa 4,08 euro (fl.9,-) per ton brandstof. Uit gegevens blijkt dat deze extra kosten overeenkomen met een kosteneffectiviteit voor ontzwaveling van scheepsgasolie van de binnenvaart van circa 1,59 euro (fl.3,50) per kg NO<sub>x</sub>-equivalent bedraagt. [Dings et al., 1997] Dit komt overeen met 3,2-3,6 euro (fl.7-8) per kg vermeden SO<sub>2</sub> [Feimann et al., 2000].

Bij het verschijnen van dit rapport zijn de huidige alternatieve brandstoffen, zoals ethanol en biodiesel duurder dan de conventionele dieselbrandstoffen. [Agee, 1998b] In 1998 kostte biodiesel in Amerika circa US\$3 per gallon. Uit onderzoek blijkt dat de productie van biodiesel op grote schaal voor commercieel gebruik kan leiden tot een daling van de prijs tot US\$0,45 per liter. [Agee, 1999; PPRC, 1999]

Geschat wordt dat de bestrijdingskosten 225-450 euro (fl.500-fl.1.000) per ton vermeden CO<sub>2</sub>, bedragen. Dit is een factor tien hoger dan andere (technische) maatregelen om CO<sub>2</sub> te reduceren. Daarom is het toepassen van biobrandstoffen geen aantrekkelijke optie als maatregel voor de reductie van de CO<sub>2</sub>-emissies.<sup>45</sup>

Een andere alternatieve brandstof is PuriNO<sub>x</sub>. De kosten voor PuriNO<sub>x</sub> zijn 1-2 eurocent hoger dan voor de huidige brandstoffen. Dit is afhankelijk van de prijs voor water (inclusief belasting) en van de additieven. Ook de eventueel te betalen belastingen op het water of op PuriNO<sub>x</sub> zelf zijn van invloed op de prijs. Daarnaast zullen er volgens Lubrizol maximaal 15% extra bedrijfskosten gemaakt moeten worden om het verlies aan vermogen te compenseren. [Lubrizol, 2001] Volgens Lubrizol is het 'PuriNO<sub>x</sub> Performance System' een betaalbare methode om emissies naar de lucht te reduceren. De kosten voor additieven bedragen enkele centen per liter brandstof, maar door het mengen met water zal één liter PuriNO<sub>x</sub>-brandstof goedkoper zijn dan één liter commerciële diesel. Daarbij komen ook nog de aanschafkosten voor de mengmachine zelf, die waarschijnlijk voor rekening komen van de distributeur.

De tendens is dat de kosten voor de productie van GTL-brandstoffen (synthetische brandstoffen) steeds meer de kosten voor het maken van laagzwavelige brandstoffen zullen benaderen. [Agee, 1999]

<sup>45</sup> Interview met dhr. H.L. Baarbé van de directie KVI over scheepvaart en milieu op donderdag 7 juni 2001, Ministerie van VROM, Den Haag

## 7.4 Mogelijkheden met betrekking tot techniek

Deze paragraaf behandelt de economische aspecten van de technologische maatregelen die toegepast kunnen worden voor de reductie van emissies naar de lucht. Het betreft de verbeteringsmogelijkheden die ook in paragraaf 6.3 zijn besproken.

Het toepassen van een elektronische brandstof/luchtregelenheid kan leiden tot reducties van NO<sub>x</sub>. Leverancier Winel schat dat de kosten voor een motor van 600 pk (440 kW) circa 11.000 euro (fl.25.000) bedragen, maar dat dit lager kan worden bij grootschalige productie. [Dijkstra et al., 1999] Volgens een motorimporteur zijn de meerkosten voor de huidige generatie elektronisch geregelde motoren circa 10-15%. [NIRIA, 2000] Uit een rapport voor IMO blijkt dat de technieken om de injectie van de brandstof te vertragen geen hoge investeringen vergen. De investeringskosten van een 'lage NO<sub>x</sub>-verbrandingssysteem' zijn lager dan voor een SCR-systeem, maar hoger dan voor de apparatuur voor de vertraging van de brandstofinjectie. [IMO, 2000]

Om de emissie van NO<sub>x</sub> te reduceren kan er waterinjectie toepast worden. Uit onderzoek uit 2000 blijkt dat de installatiekosten van een waterinjectie-systeem circa US\$25 per kW bedragen. De kosten voor gebruik en onderhoud bedragen circa 4-5% van de brandstofkosten. [IMO, 2000] Een andere mogelijkheid om de emissie van NO<sub>x</sub> te reduceren is retrofit van het gebruikte aandrijvingsysteem met apparatuur voor het toepassen van directe waterinjectie. Uit gegevens blijkt dat de kosten hiervan circa 30% van een SCR-installatie bedragen. Dit komt dus neer op 8.700-14.000 euro (fl.19.000-fl.31.000) voor een retrofit. [Ofstedal et al., 1996]

Ook de HAM-techniek kan gebruikt worden voor het reduceren van de NO<sub>x</sub>-uitstoot. De verwachting is dat de investeringskosten voor nieuwe schepen ongeveer gelijk zijn aan de investeringskosten van het SCR-systeem. Voor bestaande schepen zal een retrofit van de HAM-techniek lager zijn dan een SCR-retrofit. Daarnaast zullen de bedrijfskosten veel lager liggen dan bij het SCR-systeem (zie ook verderop in deze paragraaf). [IMO, 2000] De HAM-methode kan nog niet commercieel toegepast worden. Uit enkele experimenten blijkt dat de kosteneffectiviteit van de HAM-methode ongeveer gelijk is aan die van het SCR-systeem, namelijk minder dan 0,60 euro (fl.1,30) per vermeden kilogram NO<sub>x</sub>. [Kågeson, 1999]

Door middel van grootschalige introductie van nieuwe motoren in nieuwe en bestaande schepen kan de NO<sub>x</sub>-emissie van de goederenbinnenvaart in 2010 tot onder de 23 kiloton worden teruggebracht. Dit komt overeen met een NO<sub>x</sub>-reductie van circa 35% ten opzichte van het jaar 1999 ((35,3-23)/35,3 miljoen kg NO<sub>x</sub>). Deze reductie zal behaald kunnen worden, wanneer de CCR-normstelling voor NO<sub>x</sub>-emissies door scheepsmotoren wordt toegepast. [DGG, 1998: p44; Van den Brink, 2000]

Over deze normstelling voor de binnenvaart zal in paragraaf 8.3.1 en 8.3.2 uitgebreider worden ingegaan. Op dit moment is het belangrijk om te weten dat deze normstelling uit drie verschillende fasen bestaat met steeds strengere NO<sub>x</sub>-emissionormen. Voor het behalen van de eerste fase van deze normstelling bedragen de bestrijdingskosten circa 0,32 euro (fl.0,70) per vermeden kilogram NO<sub>x</sub>-emissies. De meerkosten van een schonere motor worden 10% verondersteld. Voor de tweede fase is dit 0,41 euro (fl.0,90) per kilogram vermeden NO<sub>x</sub>-emissie, waarbij wordt aangenomen dat de meerkosten voor een schonere motor 25% bedragen. [Dings *et al.*, 1997] Uitgedrukt in guldens per vermeden kilogram NO<sub>x</sub> zijn de bestrijdingskosten voor het goederenwegvervoer een factor 10 duurder dan voor de binnenvaart (zie ook tabel 7.3) [DGG, 1998: p44]. Uit onderzoek van het RIVM blijkt dat de kosteneffectiviteit van de voorgenomen in alle sectoren (onder andere verkeer en industrie) zal in 2020 circa 6 euro (fl.13) per kilogram NO<sub>x</sub> [Van Wee et al., 2001].

Tabel 7.3. Gemiddelde kosteneffectiviteit van reductiemogelijkheden van verschillende vervoerswijzen.  
[NIRIA, 2000]

Vervoerswijze	Kosteneffectiviteit
Personenauto	circa 5 euro per kg vermeden NO <sub>x</sub>
Vrachtauto	circa 5 euro per kg vermeden NO <sub>x</sub>
Scheepsmotor	circa 0,5 euro per kg vermeden NO <sub>x</sub>

Een energiebesparende maatregel voor de binnenvaart is het toepassen van een MS-motor in plaats van een HS-motor voor de aandrijving van een binnenschip. De meerinvestering van een MS-motor bedraagt enkele honderdduizenden guldens. De aanschafkosten van een MS-motor bedragen 270-320 euro per kW (fl.600-fl.700 per kW) en van een HS-motor 70-90 euro per kW (fl.150-fl.200 per kW). Door dit grote prijsverschil zullen nieuwe schepen meestal voorzien worden van HS-motoren. Aangezien MS-motoren energiezuiniger zijn dan HS-motoren kan dit prijsnadeel terugverdiend worden via het brandstofverbruik indien er zeer veel gevaren wordt. [Dings et al., 1997]

Een andere energiebesparende maatregel die alleen geschikt is bij nieuwbouw is het optimaliseren van de romp van het schip. De extra kosten hiervoor liggen in het bereik van US\$50.000 tot US\$200.000 [IMO, 2000].

Het toepassen van de tot nu toe theoretisch mogelijk gecombineerde gasturbine/stoomturbine in zeeschepen zal hoge investeringen met zich mee brengen. Aangezien deze turbines brandstoffen van hogere kwaliteit vereisen, zullen de inkoopkosten van deze brandstof ook hoger zijn. [Ofedal et al., 1996; Dijkstra et al., 1999]

De kennis om een brandstofcel in schepen te gebruiken, is reeds aanwezig. Maar het zal moeilijk zijn om het kostenvoordeel met betrekking tot de brandstof in de scheepvaart te compenseren. Er is namelijk nog geen goedkope manier gevonden om waterstof te produceren. Ook is er nog geen infrastructuur aanwezig voor de distributie van waterstof. Er zullen ook investeringen gedaan moeten worden in de aanleg van deze infrastructuur.<sup>46</sup> Uit onderzoek is gebleken dat de kosten voor waterstof tien keer zo groot zijn vergeleken met dieselbrandstof. [Schmal, et al., 2000]. De verwachting is dat de brandstofcel pas over 10-15 jaar commercieel toe te passen zal zijn.<sup>47</sup>

Een 'end-of-pipe'-maatregel met betrekking tot de emissie van NO<sub>x</sub> is het plaatsen van een SCR-systeem (katalytische rookgasreiniging) op een schip. De kosten om dit systeem op een bestaand schip te installeren bedragen 29.000-46.500 euro (fl.63.900-fl.102.500) per geïnstalleerde MW. Bij een nieuw schip kost de installatie van deze selectieve katalytische reductie systeem circa 29.000 euro (fl.63.900) per geïnstalleerde MW. Naast deze vaste investeringskosten zijn er ook een aantal variabele kosten die afhankelijk zijn van de hoeveelheid opgewekte elektrische energie. Er worden namelijk kosten gemaakt voor de consumptie van ureum (0,14 euro of fl. 0,30 per liter) en voor slijtage en onderhoud aan het SCR-systeem. Deze kosten bedragen in totaal circa 2,07 euro (fl.4,60) per MWh. In het algemeen bedragen voor meer recente installaties de kosten per gereduceerde kilogram NO<sub>x</sub> minder dan 0,60 euro (fl.1,30). Ter vergelijking: de kosten voor de meeste SCR-systemen voor stationaire bronnen bedragen meer dan 2 euro (fl.4,40) per gereduceerde kilogram NO<sub>x</sub>. [Kågeson, 1999; Dijkstra et al., 1999]

Wanneer de huidige Nederlandse binnenvaartvloot voor 30% zou worden uitgerust met het SCR-systeem, dan zouden de kosten circa 26 miljoen euro (ruim 57 miljoen gulden) bedragen (aannee: 4.500 binnenschepen, 500 kW per schip, gemiddelde kosten 38.000 euro). Daarmee zou op dit moment ruim 9 miljoen kg NO<sub>x</sub> vermeden kunnen worden (30%\*35 miljoen kg NO<sub>x</sub>\*90%).

Het toepassen van het EGR-systeem is een andere 'end-of-pipe'-techniek. Uit gegevens blijkt dat de investeringskosten in de grootte zijn van een wateremulsie-installatie. [IMO, 2000] De

<sup>46</sup> Interview met dhr. H.L. Baarbé van de directie KVI over scheepvaart en milieu op donderdag 7 juni 2001, Ministerie van VROM, Den Haag

<sup>47</sup> Interview met dhr. W.J. Dijkstra van Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie op vrijdag 8 juni 2001, Delft

investeringskosten van roetfilters bedragen circa 10-15% van de motor. [NIRIA, 2000]

## 7.5 Mogelijkheden met betrekking tot brandstof en techniek

In paragraaf 6.4.2 zijn alleen de duale scheepsmotoren behandeld als verbeteringsmogelijkheid op het gebied van brandstof en techniek. Hierbij zijn een aantal voorbeelden gegeven van het uitvoeren van retrofit op een aantal schepen. Volgens de Marine Design Associates Ltd. (M.D.A.) kostte het ombouwen van het passagiersschip 'Klatawa' in 1985 circa US\$347.000. Dit bedrag was inclusief de kosten voor de bouw van de gasinstallatie aan wal. Uit gegevens van M.D.A. blijkt dat de gecumuleerde besparing in dollars van 1990 circa US\$541.600 bedroeg voor de periode 1990-1995. Hierin zijn de energiebesparingen en de kosten met betrekking tot inspectie/onderhoud om de 30.000 uur meegenomen. De besparing met betrekking tot het brandstofverbruik bedroeg US\$58.000 per jaar. De kosten voor het uitvoeren van een retrofit bij het passagiersschip Kulleet met betrekking tot een duaal schip bedroegen circa US\$97.000. Deze kosten zijn veel lager dan bij de retrofit van de 'Klatawa', omdat het niet nodig was om een gasinstallatie te bouwen. Er kon namelijk gebruik gemaakt worden van de gasinstallatie die gebouwd was bij de retrofit van de 'Klatawa'. Voor de periode 1990-1995 bedroeg de besparing in 1990-dollars circa US\$848.000. [M.D.A., 2000]

## 7.6 Overige mogelijkheden

In deze paragraaf worden de verschillende maatregelen uit paragraaf 6.5 bekeken vanuit een economische invalshoek.

De producenten van het Whale Tail Wheel menen dat de terugverdientijd van dit systeem neerkomt op 2-8 jaar. Dit is afhankelijk van de dieselprijs, de groene rente en 'aanschafsubsidie'. [Whale Tail, 2001] Andere vis-voorstuwingsmethoden zijn vaak pas in schaalmodel getest. Er zullen dus hoge investeringen gedaan moeten worden om een pilot-project op te zetten van deze alternatieve voortstuwingstechnieken. [MIT, 1999]

In paragraaf 6.5.2 is de maatregel 'weather-routing' aan de orde gekomen. De kosten voor een 'weather-routing'-systeem bedragen US\$5.000-US\$10.000 [IMO, 2000].

## 7.7 Totaal overzicht verbeteringsmogelijkheden en hun kosteneffectiviteit

In hoofdstuk 6 is een heel scala aan mogelijke maatregelen behandeld om emissies van de scheepvaart te reduceren. In deze paragraaf zijn alle maatregelen uit het vorig hoofdstuk opgesomd in één overzicht. Hierin zijn tevens een aantal aspecten van de maatregel bekeken. Het eerste aspect betreft de milieu-effecten van de maatregel, zoals reductie van emissies en energiebesparingen. Waar mogelijk is hier een percentage gegeven. Ook de kosten en/of de kosteneffectiviteit van de maatregel worden in dit overzicht weergegeven. Naast de omschrijving van de maatregel zelf worden er ook andere belangrijke technische aspecten in een kolom behandeld. Omdat de maatregelen in verschillende stadia van ontwikkeling zijn, is ook geprobeerd om een termijn aan deze maatregelen te koppelen met betrekking tot commerciële toepasbaarheid. Hierbij wordt er een onderscheid gemaakt tussen korte termijn (5-10 jaar), middellange termijn (10-20 jaar) en lange termijn (langer dan 20 jaar). \* Hiermee samenhangend zijn ook de implementatiebarrières aangegeven. Zie tabel 7.4 t/m tabel 7.15.

---

\* Gesprekken met dhr. D. De Jong van de directie LMV, Ministerie van VROM, Den Haag

Tabel: 7.4 Samenvattend overzicht maatregelen, milieu-effecten en kosten

Maatregelen	Milieu-effecten	Kosten (effectiviteit) in gulden en (euro)	Overige technische aspecten	Termijn	Barrières
<b>Maatregelen m.b.t. brandstof</b>					
Eerder beëindigen van olieraffinageproces: lagere concentratie van verontreinigen in HFO	Reductie van verschillende emissies	nb	Reeds uitvoerbaar	nb	Economisch onaantrekkelijk Internationale aanpak
Ontzwavelingsproces: produceren van laagzwavelige brandstoffen	SO <sub>2</sub> -reductie: 20 gram per massaprocent zwavel in MDO PM <sub>10</sub> -reductie: 0,1 gram per massaprocent zwavel in MDO CO <sub>2</sub> -toename: 6 ton CO <sub>2</sub> voor 1 ton zwavelreductie bij MDO SO <sub>2</sub> -reductie bij HFO	Zeescheepvaart: incrementele kosten brandstof met 1% m zwavel en 0,5% m zwavel: resp. 0,5 euro en 1,2 euro (resp. fl.1,10 en fl.2,64) per gereduceerde kilogram zwavel Binnenvaart: extra kosten circa 4,08 euro (fl.9,-) per ton brandstof. Dit komt overeen met circa 1,59 euro (fl.3,50) per kg NO <sub>x</sub> -equivalent	Weinig technische knelpunten m.b.t. motor	Korte termijn	Hoge investeringen Productie is energie-intensief Hogere brandstofprijs
Toepassen van MDO in plaats van HFO	Energiebesparing: 4-5% NO <sub>x</sub> -reductie SO <sub>2</sub> -reductie PM <sub>10</sub> -reductie Rookreductie	Hogere brandstofkosten, omdat MDO duurder is dan HFO	Weinig technische knelpunten m.b.t. motor	Korte termijn	HFO is goedkoper dan MDO

Tabel: 7.5 Samenvattend overzicht maatregelen, milieu-effecten en kosten

Maatregelen	Milieu-effecten	Kosten(effectiviteit) in gulden en (euro)	Overige technische aspecten	Termijn	Barrières
Toepassen van aardgas als brandstof	NO <sub>x</sub> -reductie SO <sub>2</sub> -reductie PM <sub>10</sub> -reductie Rookreductie Toename CH <sub>4</sub> -emissie Lagere energie-efficiëntie Toename CO <sub>2</sub> -emissie	Goedkoper dan hoogwaardige olieproducten, maar niet dan zware stookolie	Gebruik van andere motor Toepassing juiste techniek door niet constante eigenschappen Gebruik: zuiver of gemengd	Korte termijn	Geen constante brandstofeigenschappen Veel veiligheidsmaatregelen nodig Gezondheidseffecten zijn onzeker
Toepassen van biobrandstoffen (in dit geval biodiesel) als brandstof	CO <sub>2</sub> -reductie: tientallen procenten Gelijke NO <sub>x</sub> -emissie Geen SO <sub>2</sub> -emissie CH-reductie PM <sub>10</sub> -reductie Rookreductie Minder geurhinder	225-450 euro (fl.500-fl.1.000) per ton vermeden CO <sub>2</sub>	Weinig tot geen veranderingen aan motor Gebruik huidige opslagfaciliteiten mogelijk Meer volledige verbranding Gebruik: zuiver of gemengd Goed toe te passen met nabehandelingstechnieken Biologisch afbreekbaar	Middellange/ lange termijn	Hoge productiekosten Beperkte productiecapaciteit
Toepassen van zonne-energie als brandstof	Reductie van alle emissies	nb	Plaatsen van zonnepanelen Opzetten van opslagfaciliteiten	Middellange termijn	Zonne-energie kan enkel als extra bron toegepast worden

Tabel: 7.6 Samenvattend overzicht maatregelen, milieu-effecten en kosten

Maatregelen	Milieu-effecten	Kosten(effectiviteit) in gulden en (euro)	Overige technische aspecten	Termijn	Barrières
Toepassen van propaan als brandstof	CH-reductie: max. 33% NO <sub>x</sub> -reductie: max. 20% CO-reductie: max. 60%	nb	Toepassen van nieuwe technieken in schepen Vollediger verbranding	Op dit moment alleen toepasbaar in auto's	Retrofit is moeilijk
Toepassen van dimethyl ether (DME) als brandstof	NO <sub>x</sub> -reductie: 20-30% PM <sub>10</sub> -reductie Rookreductie PAK-reductie SO <sub>2</sub> -reductie	nb	Toepassen van conventionele brandstofpompen niet mogelijk: speciale apparatuur nodig Huidige propaan-opslagfaciliteiten bruikbaar. Snellere verbranding	Middellange/ lange termijn	Experimentele fase Bepaalde productiecapaciteit Extra veiligheidsmaatregelen
Toepassen van 'Gas-To-Liquid-brandstoffen (synthetische brandstoffen)	Geen SO <sub>2</sub> -emissie Geen emissie van metalen Geen emissie van aromaten CH-reductie: 41-46% CO-reductie: 45-47% NO <sub>x</sub> -reductie: circa 9% PM <sub>10</sub> -reductie: 27-32%	De kosten voor de productie van GTL-brandstoffen benaderen de kosten voor de productie van laagzwavelige brandstoffen	Toepasbaar in huidige motoren met toevoeging van additieven Gebruik: zuiver of mengsel	Middellange termijn	Nog weinig GTL-centrales in gebruik op de wereld

Tabel: 7.7 Samenvattend overzicht maatregelen, milieu-effecten en kosten

Maatregelen	Milieu-effecten	Kosten(effectiviteit) in gulden en (euro)	Overige technische aspecten	Termijn	Barrières
Toepassen van PuriNO <sub>x</sub> als brandstof	NO <sub>x</sub> -reductie: circa 10-25% PM <sub>10</sub> -reductie: circa 30% CO-reductie CO <sub>2</sub> -reductie: 2-8% Rookreductie: 50-80% Toename thermische efficiëntie Verlies van vermogen: 0-15%	Kosten van 1 liter PuriNO <sub>x</sub> bedragen enkele eurocenten hoger dan commerciële brandstoffen Maximaal 15% extra bedrijfskosten voor compensatie vermogensverlies	Toepasbaar in huidige en nieuwe motoren	Korte termijn	Verlies van vermogen Extra bedrijfskosten Regelgeving voor dit brandstoftype
<b>Energiebesparende technische maatregelen</b>					
Efficiënt gebruik van het laadvermogen	Energiebesparing Reductie van alle emissies	nb	Direct uit te voeren	Korte termijn	Tijd nodig voor plannen van lading in schip
Verlagen van de vaarsnelheid	Energiebesparing Reductie van alle emissies	nb	Direct uit te voeren	Korte termijn	Mogelijk een iets langere transportduur
Kiezen van de optimale scheepsgrootte	Energiebesparing: 5-20% Reductie van alle emissies	Optimaliseren romp: US\$50.000-US\$200.000	Direct uit te voeren	Korte termijn	Alleen toepasbaar bij aanschaf van een nieuwe schip

Tabel: 7.8 Samenvattend overzicht maatregelen, milieu-effecten en kosten

Maatregelen	Milieu-effecten	Kosten(effectiviteit) in gulden en (euro)	Overige technische aspecten	Termijn	Barrières
Kiezen van de juiste technologische aspecten, als motor, weerstand en efficiëntie van schroef/voorstuwning, optimaliseren romp	Energiebesparing bestaande schepen: 4-20% Energiebesparing nieuwe schepen: 5-30% Reductie van alle emissies	nb	Vele verbeteringen zijn mogelijk	Korte termijn	Vereist vaak hogere investeringen
Consequent onderhoud aan technisch apparaat op schip	Energiebesparing bij schroef en romp: 3-8% Reductie van alle emissies	Arbeidskosten	Geen	Korte termijn	Mensen moeten ingezet worden voor dit werk
Optimaliseren van het laadvermogen (qua ruimte-indeling)	Energiebesparing Reductie van alle emissies	nb	Reeds rekening houden bij scheepsbouw Dit gebeurt reeds	Korte termijn	Motor neem altijd veel ruimte in
Efficiënter maken en verfijnen van motor (vergroten van motorrendement)	Energiebesparing nieuw schip: 10-12% Toename motorrendement Reductie van alle emissies	Geen extra kosten bij gebruik van 'state-of art-techniek'	Dit gebeurt reeds	Korte termijn	Afweging maken tussen energie-efficiëntie en NO <sub>x</sub> -emissie
Toepassen van common railinjectie	Energiebesparing Reductie van alle emissies	nb	Alleen bij nieuwe motoren	Korte/middel-lange termijn	Hogere investeringen

Tabel: 7.9 Samenvattend overzicht maatregelen, milieu-effecten en kosten

Maatregelen	Milieu-effecten	Kosten(effectiviteit) in gulden en (euro)	Overige technische aspecten	Termijn	Barrières
Aanbrengen van straalbuizen	Toename schroefrendement Energiebesparing alle technische maatregelen: 10-20% Reductie van alle emissies	nb	Bij nieuwbouw	Korte termijn	Rekening houden met bouw van schip
Verbeteren van schroeftunnels	Toename schroefrendement Energiebesparing: 5% Reductie van alle emissies	nb	Bij nieuwbouw	Korte termijn	Rekening houden met bouw van schip
Verlengen van romp	Energiebesparing alle technische maatregelen: 10-20% Reductie van alle emissies	nb	Bij nieuwbouw	Korte termijn	Rekening houden met bouw van schip
Optimaliseren van romp	Energiebesparing: 5-20%	nb	Bij nieuwbouw	Korte termijn	Rekening houden met bouw van schip
Vergroten van schroefrendement (aanbrengen 0-aanstroomvereffeningsbuis)	Energiebesparing: 12-15% Reductie van alle emissies	23.000-45.000 euro (fl.50.000-fl.100.000)	Bij nieuwbouw	Korte termijn	Door de hoge investering alleen voor grote schepen aantrekkelijk
Keuze van schroef	Energiebesparing van 5-10%	nb	Bij nieuwbouw	Korte termijn	Rekening houden met bouw van schip



Tabel: 7.10 Samenvattend overzicht maatregelen, milieu-effecten en kosten

Maatregelen	Milieu-effecten	Kosten(effectiviteit) in gulden en (euro)	Overige technische aspecten	Termijn	Barrières
Plaatsen van een economy-meter	Energiebesparing: 4-12% Reductie van verschillende emissies	Hoge investeringen Kostenbesparing: gemiddeld 10% op totale kosten Terugverdientijd: minder dan een jaar	Systeem m.b.v. satellieten	Korte termijn	Door de hoge investering alleen voor grote reders aantrekkelijk
Installeren van een MS-motor i.p.v. een HS-motor in een binnenschip	Energiebesparing: 5-10%	Meerinvestering van enkele tonnen Aanschafkosten 270-320 euro (fl.600-700) per kW i.p.v. 70-90 euro (fl.150-200) per kW	Middensnellopers worden alleen bij nieuwbouw toegepast	Korte termijn	Hoge investeringen: veel varen om het prijsnadeel terug te verdienen MS-motoren vergen meer ruimte
<b>Maatregelen m.b.t. techniek</b>					
Aanpassen van inputfactoren: reductie van lokale temperatuurspieken van de vlam	NO <sub>x</sub> -reductie	nb	Betere brandstofinjectie Betere ruimtelijke indeling	Korte termijn	Verrichten van technische aanpassingen
Aanpassen van inputfactoren: reductie van de partiële druk van zuurstof	NO <sub>x</sub> -reductie	nb	nb	Korte termijn	Verrichten van technische aanpassingen
Aanpassen van inputfactoren: verbeterde controle van het verbrandingsproces	NO <sub>x</sub> -reductie: maximaal 20-30% Lagere energie-efficiëntie Toename CO <sub>2</sub> -emissie Toename PM <sub>10</sub> -emissie	'Lage NO <sub>x</sub> -verbrandings-systeem': kosten ongeveer gelijk als voor waterjectie (zie hieronder) Huidige generatie elektronisch geregelde motoren: circa 10-15% meerkosten	Het 'lage NO <sub>x</sub> -verbrandings-systeem' kan de NO <sub>x</sub> -uitstoot met 50% reduceren zonder toename van de brandstofconsumptie en PM <sub>10</sub> -emissie Betere brandstofinjectie Motormanagement	Korte termijn	Verrichten van technische aanpassingen

Tabel: 7.11 Samenvattend overzicht maatregelen, milieu-effecten en kosten

Maatregelen	Milieu-effecten	Kosten(effectiviteit) in gulden en (euro)	Overige technische aspecten	Termijn	Barrières
Aanpassen van inputfactor: reductie van verbrandingstemperatuur door controle van het werkend medium (brandstof en lucht) met behulp van water wateremulsie, waterinjectie of HAM	NO <sub>x</sub> -reductie: 20-50% (waterinjectie), circa 30% (wateremulsie), 70-80% (HAM) Lagere energie-efficiëntie	Kosten waterinjectie: installatie circa 25 US\$/kW, gebruik en onderhoud circa 4-5% van de brandstofkosten Directe waterinjectie: circa 30% van SCR-installatie, dus 8.700-14.000 euro (fl.19.000-fl.31.000) voor retrofit HAM nieuw schip: kosten ongeveer gelijk aan SCR-systeem (zie hieronder) HAM bestaand schip: lager dan van SCR-systeem HAM bedrijfskosten: veel lager dan SCR	Technieken vergen technische aanpassingen aan motor en zelfs extra apparatuur	Zeescheepvaart: korte tot middellange termijn Binnenvaart: middellange termijn	Technieken vaak nog in kinderschoenen Technieken vergen technische aanpassingen aan motor

Tabel: 7.12 Samenvattend overzicht maatregelen, milieu-effecten en kosten

Maatregelen	Milieu-effecten	Kosten(effectiviteit) in gulden en (euro)	Overige technische aspecten	Termijn	Barrières
'End-of-pipe': Selectieve Katalytische Reductie (SCR-systeem)	NO <sub>x</sub> -reductie: 90-95% SO <sub>2</sub> -reductie door gebruik laagzwavelige brandstof	Bestaand schip: 29.000-46.500 euro (fl.63.900-fl.102.500) per geïnstalleerde MW Nieuw schip: circa 29.000 euro (fl.63.900) per geïnstalleerde MW Extra kosten: circa 2,07 euro (fl.4,60) per MWh Kosteneffectiviteit: minder dan 0,60 euro (fl.1,30) per vermeden kg NO <sub>x</sub>	Veiligheidsmaatregelen bij opslag nemen Laagzwavelige brand-stof is vereist Hoge temperatuur Toepasbaar op nieuwe en bestaande schepen Opslagfaciliteiten voor ureum Juiste ureum-instelling noodzakelijk	Korte/ middellange termijn	Bij SP-motoren extra ruimte nodig
'End-of-pipe': 'Exhaust Gas Recirculation'-systeem (EGR-systeem)	NO <sub>x</sub> -reductie bestaand schip: 20% NO <sub>x</sub> -reductie nieuw schip: 40% Toename brandstofverbruik	De kosten zijn lager dan voor SCR, circa gelijk aan waterinjectie	Zowel toepasbaar in bestaande als nieuwe schepen	Kort/ middellange termijn	Technische problemen (onder andere druk) Beperkte recirculatie (max. 15%) Retrofit is complex Alleen toepasbaar bij lichtere dieselolie's
'End-of-pipe': 'Non-thermal plasma' (NTP)	NO <sub>x</sub> -reductie: ruim 70% PM <sub>10</sub> -reductie: ruim 90%	Kosten voor elektriciteit en additieven, maar vergelijkbare met andere End-of-pipe technieken	Combinatie van plasma en katalysator	Middellange/ lange termijn	Techniek staat nog in kinderschoenen
'End-of-pipe': toepassen van roetfilters	Reductie van zichtbaar fijn stof met 80-90%	Circa 10-15% van de motor	Gebruik laagzwavelige brandstof	Middellange termijn	Dichtslibben van filters
'End-of-pipe': zeewater 'scrubber' (gaszuiveraar)	SO <sub>2</sub> -reductie: maximaal 90%	nb	Gebruik van kalkmelk	Middellange/ lange termijn	Productie van gips Zwavelhoudend afvalwater

Tabel: 7.13 *Samenvattend overzicht maatregelen, milieu-effecten en kosten*

<b>Maatregelen</b>	<b>Milieu-effecten</b>	<b>Kosten(effectiviteit) in euro en gulden</b>	<b>Overige technische aspecten</b>	<b>Termijn</b>	<b>Barrières</b>
Plaatsen van een intercooler voor de ingang van de verbrandingsruimte	NO <sub>x</sub> -reductie Energiebesparing	nb	Installatie voor de verbrandingskamer	Korte termijn	Technische aanpassingen zijn noodzakelijk
Toepassen van een gasturbine voor de aandrijving	Reductie van verschillende emissies Lagere energie-efficiëntie Toename CO <sub>2</sub> -emissie Deeltjes van fijn stof zijn kleiner	Hogere aanschafkosten Hogere brandstofkosten	Nieuw systeem met reductie van emissies, zonder verlies van energie-efficiëntie bestaat reeds: gecombineerde gasturbine/stoomturbine	Nieuwe systemen: lange termijn	Schonere (en duur-dere) brandstof is vereist Lage rendement: 26-39%, afhankelijk van motorvermogen Veiligheidsaspecten
Toepassen van een gasmotor voor de aandrijving	Reductie van verschillende emissies Toename CO <sub>2</sub> -emissie Grootte van fijn stof is kleiner Lagere energie-efficiëntie	Hogere aanschafkosten Hogere brandstofkosten	Gelijke energie-efficiëntie als dieselmotoren Geschikt voor Short sea shipping	Korte termijn	Veiligheidsaspecten
Toepassen van een brandstofcel voor de aandrijving	Reductie van verschillende emissies	Brandstofkosten 10 keer zo hoog als dieselbrandstof	Omzetting van chemische energie in elektrische energie	Middellange tot lange termijn	Te laag vermogen Waterstoflogistiek Energieverlies in reformer Lage dieselprijs
Toepassen van een nucleaire reactor	Reductie van alle emissie Radio-actief afval	nb	Opslag van radio-actief materiaal	Middellange tot lange termijn	Radio-actief afval Veiligheidsaspecten
Toepassen van Vapour Emission Control System (VECS)	VOS-reductie	nb	Nieuwe en bestaande schepen	Korte termijn	Technische aanpassingen

Tabel: 7.14 Samenvattend overzicht maatregelen, milieu-effecten en kosten

Maatregelen	Milieu-effecten	Kosten(effectiviteit) in euro en gulden	Overige technische aspecten	Termijn	Barrières
Verzadigen van atmosfeer boven olie-oppervlak bij laden- en lossen en tijdens zeereis	VOS-reductie	nb	nb	Lange termijn	nb
Dampspanning verlagen door afkoeling van olie	VOS-reductie	nb	nb	Lange termijn	nb
Olietanks 100% vullen in plaats van de regulier 98%	VOS-reductie	nb	nb	Lange termijn	nb
<b>Maatregelen m.b.t. brandstof en techniek</b>					
Toepassen van duale scheepsmotoren	Reductie van alle emissies Reductie geluidsoverlast Reductie afgewerkte smeerolie	Met installatie aan wal: US\$347.000 Alleen retrofit: US\$97.000 Energiebesparing en besparing op inspectie/onderhoud	Drastische technische ingrepen Veiligheidsaspect	Korte/ middellange termijn	Hoge investeringen
<b>Overige maatregelen (zie ook energie-besparende maatregelen)</b>					
Verhogen van gemiddelde beladingsgraden	Reductie van alle emissies	nb	Geen	Korte termijn	Betere vlootplanning noodzakelijk
Het kiezen van een constante vaarsnelheid	Energiebesparing: 0,1-2% Reductie van alle emissies	nb	Geen	Korte termijn	Afhankelijk van externe factoren
Veranderen van vaargedrag	Energiebesparing Reductie van alle emissies	nb	Geen	Korte termijn	Gedrag is moeilijk te veranderen
Good housekeeping	Reductie van alle emissies	nb	Geen	Korte termijn	Gedrag is moeilijk te veranderen

Tabel: 7.15 Samenvattend overzicht maatregelen, milieu-effecten en kosten

Maatregelen	Milieu-effecten	Kosten(effectiviteit) in euro en gulden	Overige technische aspecten	Termijn	Barrières
Weather-routing	Energiebesparing: 2-4% Reductie van alle emissies	Installatiekosten: US\$5.000- US\$10.000	Computersysteem nodig	Korte termijn	nb
Vloot-planning	Energiebesparing: 5-40% Reductie van alle emissies	nb	nb	Korte termijn	Tijd nodig voor plannen
Toepassen van het Whale Tail Wheel in plaats van de conventionele schroef	Energiebesparing: 25-33% Reductie van alle emissies	Terugverdientijd: 2-8 jaar, afhankelijk van dieselprijs en subsidies	Snel, zuinig en stik varen Simulatie walvisstaart-beweging Proefproject bezig	Korte termijn	Technische problemen bij proefproject
Toepassen van andere zeer efficiënte natuurlijke vis-voorstuwings-technologie in nieuwe schepen in plaats van de conventionele schroef	Energiebesparing Reductie van alle emissies	nb	nb	Lange termijn	Technieken staan vaak nog in kinderschoenen
Toepassen van zeilschepen voor het goedertransport in plaats van motorschepen	Reductie van alle emissies	nb	Combineren van motor en zeil niet altijd mogelijk	Lange termijn	Technieken staan vaak nog in kinderschoenen 'Bezeilde route' Afhankelijk van beschikbare ruimte op dek

Nb = niet bekend

## 7.8 Deelconclusie

In het vorige hoofdstuk zijn de mogelijke maatregelen op het gebied van brandstof en techniek behandeld om emissies naar de lucht te reduceren. Om vanuit economisch oogpunt deze maatregelen te kunnen beoordelen is in dit hoofdstuk geprobeerd om de kosten en/of de kosteneffectiviteit te bepalen van deze maatregelen. Dit is niet overal even goed gelukt. Voor sommige maatregelen was het mogelijk om de kosteneffectiviteit te bepalen. Voor andere maatregelen konden alleen de kosten achterhaald worden. In andere gevallen kon enkel een schatting gegeven worden aan de hand van een vergelijking met een andere maatregel. Ook was het bij een aantal verbeteringsmogelijkheden niet mogelijk om een schatting van de kosten te geven.

Om de kosten(effectiviteit) van deze maatregelen beter te kunnen beoordelen is eerst aangegeven wat de kostenposten zijn voor een reder, zoals voor brandstof, afschrijving, onderhoud, arbeid, overslag, verzekering. Daarnaast bestaat de tendens om ook de externe kosten (zoals voor infrastructuur en milieu) te bepalen. In tegenstelling tot het wegtransport betalen de reders van zowel de binnenvaart als de zeescheepvaart geen accijns of heffingen op de scheepsbrandstoffen. Daarnaast is de bulkprijis van brandstoffen voor de scheepvaartsector veel lager dan brandstoffen voor het wegverkeer.

Het gebruik van meer milieuvriendelijke (alternatieve) brandstoffen, zoals laagzwavelige brandstoffen, biobrandstoffen en GTL-brandstoffen brengen redelijk hoge kosten met zich mee in vergelijking met de huidige conventionele brandstoffen. Alleen de kosten van het gebruik van PuriNO<sub>x</sub> is maar in geringe mate hoger dan van het gebruik van huidige scheepsbrandstoffen.

Ook de meeste nieuwe technieken, zoals het SCR-systeem, de HAM-techniek, een elektronische brandstof/luchtregel eenheid, de vervanging van een HS-motor door een MS-motor vergen hoge investeringen, die op kunnen lopen tot (tien)duizenden euro's. Het waterinjectie/emulsie-systeem brengt minder hoge kosten met zich mee, evenals het EGR-systeem en het 'lage NO<sub>x</sub>-verbrandingssysteem'.

Nieuwe alternatieve motoren, zoals de brandstofcel en de gecombineerde gasturbine/stoomturbine zullen voorlopig economisch niet rendabel zijn voor commercieel gebruik in verband met de waterstoflogistiek. Uit experimenten met het ombouwen van bestaande dieselmotoren tot duale scheepsmotoren blijkt dat de investeringskosten snel terugverdiend kunnen worden door energiebesparingen en besparingen op kosten met betrekking tot inspectie/onderhoud.

Een andere verbeteringsmogelijkheid is het toepassen van het Whale Tail Wheel, waarvan producenten menen dat de terugverdientijd circa 2-8 jaar. Uit een IMO-rapport blijkt dat een systeem voor 'weather-routing' niet zulke hoge investeringen vergen, namelijk US\$5.000-US\$10.000.

Door middel van grootschalige introductie van nieuwe motoren in nieuwe en bestaande schepen kan de NO<sub>x</sub>-emissie van de goederenbinnenvaart in 2010 gereduceerd worden met circa 35% ten opzichte van het jaar 1999. Hierbij speelt normstelling voor NO<sub>x</sub>-emissies door scheepsmotoren een belangrijke rol. Men meent dat de normstelling voor nieuwe motoren in de binnenvaart zeer kosteneffectief is. Uit gegevens blijkt dat de bestrijdingskosten uitgedrukt in guldens per vermeden kilogram NO<sub>x</sub> voor het goederenwegvervoer een factor 10 duurder zijn dan voor de binnenvaart.

Er zijn een aantal kosteneffectieve methoden om de emissies naar de lucht te reduceren. Op korte termijn zijn dit onder andere:

- het toepassen van PuriNO<sub>x</sub>
- het ontzwavelingsproces
- toepassen van MDO in plaats HFO
- verlagen van vaarsnelheid
- Optimaliseren romp
- Plegen van onderhoud
- Gebruik van een economy-meter
- Aanpassen van inputfactoren: reductie van lokale temperatuurspieken van de vlam
- Aanpassen van inputfactoren: verbeterde controle van het verbrandingsproces
- Selectieve Katalytische Reductie (SCR-systeem)
- Het kiezen van een constante vaarsnelheid
- Veranderen van vaargedrag
- Weather-routing
- Vloot-planning
- Toepassen van het Whale Tail Wheel in plaats van de conventionele schroef

Voor de middellang/lange termijn zijn de volgende maatregelen kosteneffectief:

- toepassen van GTL-brandstoffen
- Aanpassen van inputfactor: reductie van verbrandingstemperatuur door controle van het werkend medium (brandstof en lucht) met behulp van water wateremulsie, waterinjectie of HAM
- 'Exhaust Gas Recirculation'-systeem (EGR-systeem)
- 'Non-thermal plasma' (NTP)

Hiervan staan aantal verbeteringsmogelijkheden nog in de kinderschoenen, waardoor de kosten hoog zijn. Bij commerciële toepassing van deze maatregel kunnen de investeringskosten lager worden.



## 8 Aanzet tot beleid ter vermindering van emissies

### 8.1 Inleiding

In de hoofdstukken 6 en 7 werd voornamelijk de nadruk gelegd op de technologische mogelijkheden om emissies naar de lucht te reduceren en de kosteneffectiviteit van deze mogelijk te treffen maatregelen. Dit hoofdstuk gaat over dat deel van de onderzoeksvraag, dat de beleidsmatige mogelijkheden behandelt om emissies naar de lucht in de scheepvaartsector te reduceren.

In de scenario's van hoofdstuk 5, het EC-scenario en het GC-scenario, wordt er geen rekening gehouden met zowel een eventueel bronbeleid als een volumebeleid door de Nederlandse overheid met betrekking tot emissies naar lucht. Bronbeleid is beleid gericht op het reduceren van emissies bij de bron, dus bij de zeeschepen en binnenschepen zelf. Hierbij kan gedacht worden aan beleid met betrekking tot brandstoffen en techniek. Volumebeleid heeft betrekking op beleid dat van invloed is op het aantal tonkilometers, de tonnage of het aantal vaartuigkilometers. Hiervoor zijn er mogelijkheden op het gebied van infrastructuur, ruimtelijke ordening, prijsbeleid en regelgeving. Op deze manier kunnen de emissies naar de lucht ook worden beïnvloed. [Geurs et al., 1998] Naast bron- en volumebeleid kunnen er ook maatregelen getroffen worden om invloed uit te oefenen op het vaargedrag. In tabel 8.1 is een overzicht gegeven van de instrumenten die ingezet kunnen worden om een bepaald veranderingen teweeg te brengen [Blok en Van Wee, 1994].

Tabel 8.1. Aangrijpingspunten voor en de inzet van instrumenten in verkeer en vervoer.  
[Blok en Van Wee, 1994]

Aangrijpingspunt Instrument	Gedrag	Gebruik/efficiëntie	Techniek	Keuze vervoermiddel	Volume
Infrastructuur	X	X		X	X
Informatie en organisatie		X		X	
Marketing				X	
Ruimtelijke ordening	X	X		X	X
Prijsbeleid	X	X	X	X	X
Restricties/regelgeving	X	X	X	X	X

In dit hoofdstuk zal vooral de nadruk liggen op de instrumenten 'prijsbeleid' en 're'. De redenen hiervoor zijn dat deze instrumenten de meeste mogelijkheden bieden en dat deze instrumenten ook de meeste aangrijpingspunten hebben voor de internationale discussie.

Wanneer er beleid op het gebied van zeescheepvaart en binnenvaart opgesteld moet worden, zijn er aangrijpingspunten nodig om beleid te introduceren. Er zijn drie invalshoeken hiervoor:<sup>48</sup>

- Beleid vanuit de kuststaat. Schepen van alle nationaliteiten moeten zich houden aan de beleidsmaatregelen die gelden op het grondgebied van het bezochte land.
- Beleid vanuit de vlaggestaat. Dit houdt in dat schepen die onder de Nederlandse vlag varen, zich aan het Nederlands beleid moeten houden onafhankelijk van de landen waarin de schepen zich bevinden.
- Beleid vanuit de havenstaat. Schepen van verschillende nationaliteiten moeten voldoen aan de regelgeving en de wetgeving die gelden in een bepaald havengebied.

<sup>48</sup> Interview met mevr. M. Kernkamp-Kooij van DGG op dinsdag 1 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

Voordat de overheid beslissingen neemt omtrent de te treffen beleidsmaatregelen, zal er rekening gehouden moeten worden met drie zaken:

- 1) De maatregel moet een verbetering ten gevolg hebben voor de kwaliteit van het milieu.
- 2) De kosteneffectiviteit is een belangrijke factor voor de mate van implementatie van een maatregel.
- 3) Hoe korter de terugverdientijd is, des te meer zullen de rederijen geprikkeld worden om mee te werken en hoe makkelijker de implementatie van maatregelen zal plaatsvinden.

In dit hoofdstuk wordt er een onderscheid gemaakt tussen internationaal, Europees en nationaal beleid. Binnen deze verschillende paragrafen wordt het beleid uitgesplitst naar huidige beleid en de Toekomstige ontwikkelingen van het beleid in de toekomst. Paragraaf 8.5 beschrijft de initiatieven die de scheepvaartsector zelf heeft genomen om emissies naar de lucht te reduceren. Dit hoofdstuk eindigt met een paragraaf waarin de belangrijkste conclusies van dit hoofdstuk worden gegeven.

## 8.2 Internationaal beleid

Deze paragraaf behandelt het huidige internationale beleid met betrekking tot emissies door de zeescheepvaart en de binnenvaart. Onder internationaal beleid wordt boven-Europees beleid bedoeld. Naast het huidige beleid worden ook de (mogelijke) internationale ontwikkelingen beschouwd, die zich op dit gebied afspelen.

### 8.2.1 Huidig beleid

#### *Law of the Sea*

In 1994 is het verdrag 'the Law of the Sea' afgesloten door de Verenigde Naties. Hierin staan artikelen en annexen over verschillende aspecten van de maritieme ruimte, zoals economische en commerciële activiteiten, onderzoek, kennisoverdracht met betrekking tot technologie en milieucontrole. Een belangrijke afspraak die gemaakt is, heeft betrekking op de soevereiniteit van een kuststaat. Een kuststaat mag zijn soevereiniteit uitoefenen over de territoriale zee. De invloed van de kuststaat strekt zich uit tot een maximum van twaalf zeemijlen (circa 22 kilometer) van de kust. Hier geldt wel de zogenaamde 'innocent passage'. Dit houdt in dat buitenlandse schepen over deze wateren mogen varen zonder bemoeienis van nationale staten. [UNC-LS, 2001]

#### *Kyoto-protocol*

De afgelopen half jaar staat het Kyoto-protocol weer volop in de belangstelling. In het Kyoto-protocol zijn maatregelen opgenomen ter reductie van broeikasgassen. Voor Nederland geldt bijvoorbeeld een reductie van de emissie van broeikasgassen met 6% gebaseerd op het niveau in 1990. Dit percentage moet in 2010 bereikt zijn. Deze reductie heeft betrekking op de totale emissie van broeikasgassen. Deze reductie eis heeft betrekking op het heel Nederlands grondgebied en kan van invloed zijn op de CO<sub>2</sub>-emissie van de scheepvaartsector (onder andere bij een modal shift of bij gelijke reductiedoelstellingen voor alle sectoren). [Burgel, 2000]

In het Kyoto-protocol worden de emissies van de internationale zeescheepvaart buiten beschouwing gelaten bij het toedelen van de emissies naar de verschillende landen. Deze allocatie is niet altijd even makkelijk uit te voeren. Er zijn namelijk een aantal methoden om de emissie te verdelen, die reeds in paragraaf 5.2.5 behandeld zijn. Aangezien de verkoop van bunkerbrandstoffen in Nederland hoog is (zie paragraaf 4.3.1 en 5.2.5), is het voor Nederland niet gunstig om de emissies toe te delen op basis van de brandstofverkoop.<sup>49</sup> Dit probleem geldt natuurlijk ook voor andere emissies dan CO<sub>2</sub>.

#### *IMO*

Er zijn twee belangrijke internationale organisaties voor de scheepvaartsector op het gebied van milieu. Voor de zeescheepvaart is dat de International Maritime Organization (IMO) en zoals reeds eerder is aangegeven is dat voor de binnenvaart de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR), met alleen bereik in een beperkt deel van Europa. De CCR wordt in paragraaf 9.3 behandeld.

<sup>49</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

In 1973 is het Marpol-verdrag, wat staat voor 'Marine Pollution', afgesloten (ook wel 'International Convention for the Prevention of Pollution from Ships' oftewel 'Internationaal Verdrag te Voorkoming van Verontreiniging door Schepen' genoemd). Bij dit verdrag horen zes verschillende technische annexen die in de loop van de tijd zijn toegevoegd aan het Marpol-verdrag. Deze annexen zijn weergegeven in tabel 8.2.

Tabel 8.2. Overzicht van de zes verschillende annexen. [Burgel, 2001]

Annex	Omschrijving
Annex 1	Voorschriften voor het vervoer van olie in tankschepen en regels die gelden voor olierestanten en oliehoudend water vrijkomend bij de bedrijfsvoering van het schip.
Annex 2	Regels voor het vervoer in bulk van voor het milieu schadelijke vloeistoffen
Annex 3	Regels voor het vervoer van voor het milieu schadelijke stoffen die in verpakking worden vervoerd.
Annex 4	Regels voor sanitair afval vrijkomend bij de bedrijfsvoering van het schip.
Annex 5	Regels voor huishoudelijk afval.
Annex 6	Regels ter beperking van luchtverontreiniging door schepen.

Door middel van de Wet Voorkoming Verontreiniging door Schepen wordt het Marpol-verdrag in Nederland geïmplementeerd. Vier van deze zes annexen zijn reeds in de Nederlandse wet- en regelgeving geïmplementeerd. In het kader van dit rapport is alleen Annex VI uit 1997 van belang. Annex VI heeft betrekking op regels ter beperking van luchtverontreiniging door schepen. Deze annex is (nog) niet internationaal van kracht en dus ook nog niet in de Nederlandse wetgeving vastgelegd. In annex VI zijn onder andere normen gegeven over emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, chloorfluorkoolstoffen (CFK's) en halonen en regels omtrent het zwavelgehalte in scheepsbrandstoffen. In paragraaf 8.4.2 wordt verder ingegaan op Annex VI. [Burgel, 2001]

De Marine Environment Protection Committee (MEPC) maakt deel uit van de IMO. Op het moment van totstandkoming van dit rapport hebben de emissies naar de lucht minder prioriteit bij de MEPC. De prioriteiten van het MEPC liggen op dit moment bij:<sup>50</sup> [Burgel, 2000]

- het slopen van zeeschepen,
- de uitfasering van tribuytiltin (TBT) in aangroeiwerende verfsystemen,
- het toepassen van 'quality shipping' (een bepaalde kwaliteit behalen op verschillende gebieden), ook op milieugebied

Dit betekent niet dat er geen aandacht wordt besteed aan de luchtvervuiling door zeeschepen. In het voorjaar van 2000 is er een rapport gepubliceerd in opdracht van de IMO met de naam 'Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships', waarin voorstellen werden aangeleverd voor de reductie van broeikasgassen. Dit zijn onder andere voorstellen op het gebied van techniek, regelgeving en marktwerking. [IMO, 2000]

### **Zwavelgehalte in brandstoffen**

In de EG-richtlijn 99/32 betreffende een vermindering van het zwavelgehalte van bepaalde vloeibare brandstoffen zijn voorwaarden gesteld voor de binnenvaart en de zeescheepvaart. Deze Europese richtlijn is in de Nederlandse wetgeving geïmplementeerd als 'Besluit Zwavelgehalte Brandstoffen' (zie ook paragraaf 8.2.1). Dit besluit is niet van toepassing op de residuale stookolie voor de zeeschepen, maar wel voor de binnenvaart. [EU, 1999] Wel zijn er reeds IMO-eisen voor het zwavelgehalte in zware stookolie die wereldwijd gelden. Het zwavelgehalte in stookolie mag maximaal 4,5% bedragen. Maar alle residuale brandstoffen zitten onder dit percentage; het

<sup>50</sup> Interview met mevr. M. Kernkamp-Kooij van DGG op dinsdag 1 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

gemiddeld massapercentage van zwavel bedraagt namelijk circa 2,7‰m (zie ook paragraaf 4.3.1).<sup>51</sup> [Baarbé, 2001; Dijkstra 2001a; Burgel, 2001]

## 8.2.2 Toekomstige ontwikkelingen in beleid

### *Kyoto-protocol*

In het Kyoto-protocol zijn de CO<sub>2</sub>-emissies van de internationale zeescheepvaart buiten beschouwing gelaten bij het bepalen van de kwantitatieve reductieverplichtingen voor de aangesloten landen. Uit onderzoek blijkt dat het wel mogelijk is om binnen Europa de binnenvaart en de zeescheepvaart te betrekken bij de verplichtingen om CO<sub>2</sub> te reduceren. Een mogelijke maatregel is bijvoorbeeld het invoeren van een CO<sub>2</sub>-heffing voor alle binnen Europa gemaakte verplaatsingen. [Klimbie et al., 2000]

### *Emissiehandel*

Een ander instrument dat samenhangt met het toeschrijven van emissies aan landen betreft de emissiehandel. [Corbett en Farrell, 2000] Er zijn een aantal manieren om een emissiehandel voor de internationale zeescheepvaartsector op te zetten.

Eén methode is dat een reder van een Annex I-land emissievergunningen koopt net als alle andere vervuilers en dat zij in emissies mogen handelen met reders van andere Annex I-landen. Hierbij kan ook gekozen worden voor een handel van emissievergunningen met andere landen dan de Annex I-landen, die wel onder toezicht staan van de IMO of een andere organisatie.

Een tweede methode is dat reders zogenaamde 'credits' kunnen verdienen door hun emissies te reduceren onder een bepaalde basislijn. Deze emissie 'credits' zijn de inzet voor de emissiehandel. Bij deze methode is het nodig om een basislijn op te stellen, waarbij onder andere rekening moet worden gehouden met een plausibele weergave van de emissies, die ook eenvoudig en verifieerbaar is voor een derde partij en met het aspect dat het opstellen niet te hoge kosten met zich mee mag brengen. Uit onderzoek blijkt dat deze beleidsmaatregel niet geschikt is voor het implementeren van bedrijfsmatige verbeteringsmogelijkheden, zoals vlootplanning, reduceren van de vaarsnelheid en het varen op constante snelheid. De reden is dat niet duidelijk is of deze maatregelen ook zouden worden uitgevoerd zonder emissiehandel. Emissiehandel kan wel de implementatie van technische maatregelen vergemakkelijken. [IMO, 2000]

### *Normstelling scheepsmotoren*

Er is in de jaren '90 een duidelijk signaal afgegeven door de IMO tot normstelling van nieuwe scheepsmotoren. Het gevolg hiervan was de totstandkoming van Annex VI in 1997. In tabel 8.3 zijn de normen gegeven omtrent de uitstoot van NO<sub>x</sub>, die opgenomen zijn in Annex VI (Regulation 13). [Burgel, 2000]

Tabel 8.3. Overzicht van de NO<sub>x</sub>-emissiewaarden in Annex VI van het Marpol-verdrag.<sup>52</sup> [Burgel, 2000]

Toerental n (rpm)	n < 130	130 ≤ n < 2.000	n ≥ 2.000
Emissiewaarde (gr/kWh)	17,0	45*n <sup>-0,2</sup>	9,8

Hierbij geldt er een ondergrens van 130 kW. Deze emissienormen zijn van toepassing op alle nieuwe motoren die op of na 1 januari 2000 op schepen gebouwd zijn. Bovenstaande emissiewaarden mogen ook worden gerealiseerd door 'end-of-pipe'-technieken of andere alternatieve methoden. [Burgel, 2000]

Naast NO<sub>x</sub>-normen staan er ook normen omtrent de emissie van SO<sub>2</sub> in Annex VI (Regulation 14). Het zwavelgehalte in brandstof mag maximaal 4,5‰m bedragen en zal wereldwijd worden gemonitord. Ook zal de leverancier het zwavelgehalte in de brandstof moeten vermelden. Er kunnen zogenaamde

<sup>51</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

<sup>52</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

'SO<sub>x</sub>-emission control areas' worden ingesteld. In deze gebieden zal het zwavelgehalte van de gebruikte brandstoffen maximaal 1,5% mogen bedragen of zullen er 'end-of-pipe'-technieken toegepast moeten worden die de SO<sub>2</sub>-uitstoot reduceren tot 6 gr/kWh. In Annex VI staat alleen de Oostzee vastgelegd als een 'SO<sub>x</sub>-emission control area'. Naast eisen omtrent het zwavelgehalte zijn er ook andere eisen gesteld met betrekking tot de kwaliteit van de brandstoffen, zoals over de samenstelling (Regulation 18). [Burgel, 2000]

Bovenstaande normen vallen onder het kopje 'bronbeleid', aangezien deze normen betrekking hebben op de motoren en bijbehorende apparaten. Er zijn geen beleidsmaatregelen met betrekking tot het volume geformuleerd, zodat bij toename van het gezamenlijk geïnstalleerd motorvermogen in schepen (door groei van de vloot en/of schaalvergroting) de emissies ook toe kunnen nemen. In tegenstelling tot de CCR-normstelling voor binnenschepen zijn er geen emissienormen vastgesteld voor de emissie van CO, VOS en PM<sub>10</sub> door zeeschepen. [Burgel, 2000; Burgel, 2001]

### ***Ratificatie van Annex VI***

Annex VI is nog niet internationaal bekrachtigd. Dit kan pas wanneer meer dan 15 landen Annex VI hebben geratificeerd. Een tweede voorwaarde is dat deze landen meer dan 50% van de totale wereldhandelstonnage vertegenwoordigen. Het probleem is dat alle 15 EU-lidstaten net 30% van de totale tonnage wereldwijd zullen innemen en dat is niet genoeg om Annex VI internationaal te laten doen gelden. Annex VI is pas in drie landen geratificeerd, namelijk in Noorwegen, Singapore en Zweden. Nederland (met circa 1,5% van de wereldhandelstonnage) is bezig met de voorbereidingen voor ratificatie van Annex VI.<sup>53</sup> [Burgel, 2001] In Nederland zal Annex VI worden geïmplementeerd als een algemene maatregel van bestuur (amvb) onder de Wet Voorkoming Verontreiniging door Schepen (WWS). [Burgel, 2000]

De emissie-eisen omtrent de uitstoot van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> staan dus reeds gekwantificeerd in Annex VI, maar zijn dus nog niet internationaal van kracht. Deze normstelling is direct afdwingbaar bij ratificatie van Annex VI en geldt met terugwerkende kracht. Daarom worden de scheepsmotoren reeds gebouwd conform deze eisen, opdat problemen, namelijk het niet voldoen aan deze eisen, achteraf bij de daadwerkelijke invoering van deze emissie-eisen vermeden worden.<sup>53</sup> [Burgel, 2000]

De status van de Oostzee als een 'SO<sub>x</sub> emissions control area' zal pas ingaan wanneer Annex VI geratificeerd is, omdat deze status van de Oostzee reeds is vastgelegd in Annex VI. Het instellen van de Noordzee als 'SO<sub>x</sub> emissions control area' maakt geen deel uit van Annex VI, maar is bepaald in een apart amendement dat ontstaan is uit een samenwerking van alle Noordzee-landen. Dit amendement is reeds aangenomen. Wanneer Annex VI internationaal van kracht is, zal het maximaal een jaar duren voordat de Noordzee de status van 'SO<sub>x</sub> emissions control area' krijgt.<sup>53</sup> Het gevolg voor de reders is dat zij extra laagzwavelige brandstoffen aan boord moeten hebben wanneer zij in een 'SO<sub>x</sub> emissions control area' willen varen.

In Annex VI is ook vermeld dat er een wereldwijd monitoringsysteem in het leven zal worden geroepen met betrekking tot het zwavelgehalte en de kwaliteit van de bunkerbrandstoffen. Op het moment van totstandkoming van dit rapport wordt er reeds geregistreerd wat het zwavelgehalte in bunkerbrandstoffen is. Hiervoor geven reders vrijwillig een monster van hun gebunkerde brandstof af. Op deze manier kunnen de reders zelf zien of ze waar voor hun geld krijgen. Dit registratiesysteem is opgezet door Lloyd's en Det Norske Veritas.<sup>53</sup>

### ***Standaardisatie***

Wanneer er naast de emissienormering van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> ook internationale standaarden worden vastgesteld voor de emissie van broeikasgassen, zijn er twee mogelijkheden namelijk standaardisatie op basis van technologie of standaardisatie op basis van emissies/energie-efficiëntie. Voor bestaande schepen zou een minimale standaard gedefinieerd kunnen worden en minder streng dan voor nieuwe schepen, waarbij schepen die niet aan deze standaard voldoen niet meer mogen varen. Uit

<sup>53</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

onderzoek blijkt dat circa 10-15% van de wereldvloot door deze maatregel geraakt zal worden. Voor nieuwe schepen zal het makkelijker zijn om een standaard te definiëren en te monitoren dan voor bestaande schepen. Bij standaardisatie zal rekening gehouden moeten worden met de grootte en het type van het schip. Ruw geschat zal de halve wereldvloot binnen tien jaar aan deze standaard kunnen voldoen. Daartoe dient wel een controle door de havenstaat van Annex I-landen uitgevoerd te worden, opdat deze standaarden wereldwijd te doen gelden. De havenstaat is namelijk bevoegd om ook schepen van een niet IMO-vlaggestaat te controleren. Het uitgeven van certificaten vergemakkelijkt deze controle voor de havenstaat. Deze beleidsmaatregel kan leiden tot de implementatie van verschillende technische verbeteringsmogelijkheden en dus tot reducties van emissies. [IMO, 2000]

### ***Overige internationale ontwikkelingen***

Om onderscheid te kunnen maken tussen de motoren die aan de emissie-eisen voldoen en ander motoren kan een certificeringssysteem opgezet worden. In IMO-verband heeft men reeds een opzet gemaakt voor het 'Engine International Air Pollution Prevention Certificate' (EIAPP-certificate) met betrekking tot de NO<sub>x</sub>-emissie.

In de Verenigde Staten heeft de 'Environmental Protection Agency' (EPA) ook emissienormen voor scheepsmotoren vastgesteld die van toepassing zijn op schepen in het eigen land. Deze normen hebben in tegenstelling tot de IMO-normen ook betrekking op de emissie van HC, PM<sub>10</sub> en CO. [Corbett en Farrell, 2000; NIRIA, 2000]

### ***Prijsbeleid***

Zoals in paragraaf 8.2.2 reeds is aangegeven, kunnen er ook beleidsmaatregelen getroffen worden op het gebied van prijsbeleid. Een voorbeeld van zo'n beleidsmaatregel is het heffen van accijns op bunkerbrandstoffen. Hierbij kan er een onderscheid gemaakt worden tussen accijns zonder en met aanvullende maatregelen. De introductie van accijns zonder aanvullende maatregelen zal waarschijnlijk de volgende gevolgen hebben: [Beumer et al., 1997]

- een verhoging van het energie-efficiënte beheer van schepen,
- een verhoging van de energie-efficiëntie van schepen,
- bij regionale invoering van accijns, een verschuiving naar onbelaste bronnen van bunkerbrandstoffen.

Door een verhoging van de energie-efficiëntie zal het energiegebruik lager worden. Hierdoor zullen ook de emissies naar de lucht gereduceerd worden.

Uit onderzoek van het Nederlands Economisch Instituut (NEI) blijkt dat een niet-wereldwijde implementatie van accijns op bunkerbrandstoffen zonder extra maatregelen een verschuiving oplevert weg van de belaste bronnen. Daarnaast heeft de accijns weinig effect op de totale wereldwijde bunkerbrandstofverkoop en leidt dus niet tot een vermindering van de brandstofconsumptie.

Om deze verschuiving naar onbelaste brandstoffen te vermijden, kunnen er aanvullende maatregelen worden getroffen. Dit kan bereikt worden door een compensatie aan de gebruikers van belaste bunkerbrandstoffen te geven. Deze compensatie kan de vorm hebben van monetaire voordelen, voordelen in diensten en differentiatie in havengelden. Uit het NEI-onderzoek blijkt dat het heffen van accijns met aanvullende maatregelen effectiever is in het reduceren van de totale wereldwijde bunkerverkoop. [Beumer et al., 1997]

### ***'Environmental indexing'***

Op basis van criteria op milieugebied kan aan schepen een index gegeven worden. Deze index kan gebruikt worden voor het differentiëren van accijns en heffingen. Wanneer deze gegevens gepubliceerd zouden worden, kan de verlader kiezen voor de reder die aan zijn eisen voldoet: deze indexing kan dus ook meteen het imago van een reder verhogen (of juist verlagen bij een 'slechte' index). Maar uit onderzoek van IMO is environmental indexing niet efficiënt gebleken [IMO, 2000]. Deze beleidsmaatregel valt ook wel onder voorstel drie van Japan (zie volgende alinea).

### ***Voorstel van 'Joint Action Plan' door Japan***

In januari van 2002 zal er in Tokio een Ministeriële Conferentie over milieu en transport gehouden worden. In voorbereiding op deze Conferentie heeft Japan tien voorstellen gedaan omtrent het onderwerp 'preventie van verontreinigingen door de scheepvaart'. Deze voorstellen omvatten onder andere het oprichten van een zogenaamde 'audit' programma, de promotie van een stimuleringsregeling en de harmonisatie van de bedrijfsstandaarden voor de havenstaat controle. In tabel 8.4 is een overzicht gegeven van de tien Japanse voorstellen. [Takiguchi, 2001]

*Tabel 8.4. Overzicht van de Japanse voorstellen voor de preventie van verontreinigingen door de scheepvaart. [Takiguchi, 2001]*

<b>Nr.</b>	<b>Japans voorstel voor 'preventie van verontreinigingen door de scheepvaart'</b>
1.	Oprichten van een IMO universeel audit programma voor de implementatie van internationale verdragen door de vlaggestaten
2.	Promotie van stimuleringsregelingen voor schepen die aan bepaalde eisen voldoen
3.	Evaluatie en rangschikking van schepen en de publicatie van deze resultaten
4.	Harmonisatie van de bedrijfsstandaarden voor de havenstaat controle (PSC, Port State Control)
5.	Oprichten van een fonds voor PSC versterkende maatregelen, zoals technische samenwerking en toekomstige harmonisatie van PSC-standaarden
6.	Versterking van de supervisie van inspectiedienst
7.	Ontwikkeling van (internationale) monitoring systemen waarin de havenstaat of de kuststaat de bewegingen in de gaten houden
8.	Internationale samenwerking van havenstaten voor het treffen van maatregelen tegen schepen, die mogelijk niet aan de standaard voldoen; deze maatregelen omvatten ook het afwijzen van binnenkomst in havens
9.	Versnelling van de registratie voor rechtsgeldigheid met behulp van clauses en een vervroegde implementatie en ratificatie van nieuwe verdragen
10.	Internationale onderzoeksamenwerking naar de verspreiding van verontreinigingen door de scheepvaart, gericht op de reductie van milieu verontreinigende stoffen

Met het oog op deze conferentie worden er voorbereidende vergaderingen georganiseerd waar de deelnemende landen een terugkoppeling moeten geven op deze voorstellen. De bedoeling is om tot een zogenaamde 'Joint Action Plan' (een gezamenlijk actieplan) te komen, waarover alle deelnemende landen overeenstemming kunnen bereiken op de conferentie in 2002.

Dit gezamenlijk actieplan kan ervoor zorgen dat regelgeving op milieugebied sneller rechtsgeldigheid krijgt, zoals bijvoorbeeld emissienormstelling. Voorstel twee en acht kan leiden tot een toename van schepen die aan bepaalde milieu-eisen voldoen. Ook zal de toezicht op naleving van regelgeving vergroot worden met behulp van voorstel vier en zes.

## **8.3 Europees beleid**

In deze paragraaf wordt het beleid omtrent luchtvervuiling door de scheepvaartsector in Europees verband (EU-landen) behandeld. Voor de zeescheepvaart is tot nu toe weinig Europees beleid gevoerd. Uit een studie in opdracht van de Europese commissie is gebleken dat beleid in EU-verband nodig is. De mogelijke beleidsmaatregelen voor de zeescheepvaart zullen in paragraaf 8.3.2 behandeld worden.

### **8.3.1 Huidig beleid**

#### ***Akte van Mannheim***

In de Akte van Mannheim uit 1868 is afgesproken dat er vrijheid van belasting heerst in het stroomgebied rond de Rijn. Dit houdt dus een vrij verkeer van personen en goederen in. Vanuit economische oogpunt betekent deze Akte dat er beperkingen zijn met betrekking tot het opleggen van heffingen en accijns door overheden voor binnenschepen die varen op de Rijn (geen vrachtverdeling,

geen heffing van scheepvaartrechten, gelijke behandeling van schepen). Er zijn wel afspraken gemaakt dat de binnenvaart betaalt voor het gebruik van havens, sluizen en bruggen. [TLN, 1999]

### **Normering scheepsmotoren in binnenvaart**

In 1997 is in opdracht van het Ministerie van VROM onderzoek uitgevoerd door CE. Dit heeft geleid tot een rapport met de titel 'Schoon Schip in de Nederlandse Binnenvaart' gepubliceerd en had grote gevolgen voor de binnenvaartsector. Dit rapport droeg bij aan de bewustwording dat er actie ondernomen moet worden met betrekking tot de emissies door binnenschepen. In dit rapport kwam ook normstelling voor nieuwe motoren van binnenschepen aan de orde. De hoofdconclusie was dat een stapsgewijze aanscherping van de emissienormen noodzakelijk was voor substantiële NO<sub>x</sub>-reducties. Daarnaast bleek uit het onderzoek dat het ook een kosteneffectieve maatregel was. [Dings et al., 1997; Ten Holt, 2001]

In het CE-rapport werd een driefasenbenadering aangekondigd die overeenkomt met de wetgeving omtrent emissies van vrachtwagenmotoren en mobiele werktuigen (zie ook tabel 8.4). Deze driefasenbenadering bestaat uit: [Dings et al., 1997]

- fase 1: harmonisatieslag (NO<sub>x</sub>-emissie is gemiddeld circa 25% lager dan de huidige generatie; dit komt overeen met de nieuwe generatie motoren),
- fase 2: aanscherping (NO<sub>x</sub>-emissie is gemiddeld circa 50% lager dan de huidige generatie),
- fase 3: forse aanscherping (NO<sub>x</sub>-emissie is gemiddeld circa 80% lager dan de huidige generatie).

Mede vanwege het internationale karakter van de binnenvaart is het noodzakelijk dat normstelling met betrekking tot emissies naar de lucht in internationaal verband geschiedt. In het kader van de Akte van Mannheim houdt de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) in Straatsburg zich bezig met maken van internationale afspraken over emissies naar de lucht. De volgende landen zijn bij de CCR aangesloten: België, Duitsland, Frankrijk, Luxemburg, Nederland en Zwitserland.

Medio 2000 is de CCR gekomen tot een eerste fase-normstelling voor nieuwe motoren in het Regelement van Onderzoek Schepen Rijn (ROS-Rijn), waarin nautische en technische eisen aan schepen worden gesteld. De emissienormen zijn van toepassing op alle motoren die vanaf 1 januari 2002 in binnenschepen zullen worden geïnstalleerd. Deze normstelling is afgeleid van Annex VI van het MARPOL-verdrag (zie ook paragraaf 8.4.1 en 8.4.2) en de EG-richtlijn 97/68 voor mobiele werktuigen en heeft betrekking op de emissie van NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, CO en CH. In tabel 8.5 is een overzicht gegeven van deze eerste fase emissienormering. Naast deze eerste fase-normstelling is ook besloten om een controle procedure op te stellen en om emissienormen voor bestaande scheepsdieselmotoren vast te stellen, die in het voorjaar van 2003 klaar moeten zijn. [DGG, 1998: p44; Dijkstra et al., 1999; NIRIA, 2000; Ten Holt, 2001]

Tabel 8.5. Eerste fase normering van de CCR voor nieuwe motoren van binnenschepen vanaf 1 januari 2001. [Dijkstra et al., 1999; RIVM, 2000c]

kW → rpm (n) →	37-75	75-130	>130	
	Alle	Alle	>2.800	500-2.800
NO <sub>x</sub> (gr/kWh)	9,2	9,2	9,2	45*n <sup>-0,2</sup>
CO (gr/kWh)	6,5	5,0	5,0	
VOS (gr/kWh)	1,3	1,3	1,3	
PM <sub>10</sub> (gr/kWh)	0,85	0,70	0,70	

## **8.3.2 Toekomstige ontwikkelingen in beleid**

### **Tweede fase normstelling binnenschepen**

In het begin van 2001 is er overeenstemming bereikt tussen de CCR en de motorindustrie over een nieuwe tweede fase normstelling met betrekking tot de emissie van NO<sub>x</sub>, die vanaf circa 2005 ingevoerd zal worden. Deze norm zal een waarde hebben van circa 6 gram/kWh. Hierbij is wel als



voorwaarde door de motorindustrie gesteld dat de CCR zich zal inzetten om te zorgen dat deze norm zal worden overgenomen door de EU-commissie in Brussel en door de VN-organisatie 'Economic Commission for Europe' (ECE) in Genève. De CCR heeft namelijk maar een beperkte geografisch reikwijdte. Het zou niet rechtvaardig zijn om alleen bepaald gebieden emissie-eisen op te leggen in verband met onderlinge concurrentie. Er wordt over gedacht om CCR-initiatieven te laten overnemen door de EU zodat regelgeving betrekking zal hebben op de gehele commerciële binnenvaart in de Europese Unie. [Dijkstra et al., 1999; Ten Holt, 2001] Er zijn nog geen gegevens bekend over de derde fase emissienormstelling, maar waarschijnlijk zal de NO<sub>x</sub>-norm liggen rond de 2,5 gram/kWh. [Dijkstra en Dings, 1997] Deze emissienorm ligt op het niveau van het wegtransport.

De eerste fase norm van de CCR is relatief soepel. De bijbehorende motoren zijn reeds beschikbaar. Deze eerste normstelling dient op het moment als richtlijn voor de motorfabrikanten en importeurs. Om te voldoen aan de tweede normstelling kunnen conventionele motortechnieken gebruikt worden, waaraan verdergaande aanpassingen aan motorconcept en motorontwerp zullen moeten worden uitgevoerd. Deze stand der techniek is nog niet bereikt. [Dijkstra et al., 1999]

Zoals in paragraaf 7.4 reeds is aangegeven bedraagt de kosteneffectiviteit voor de eerste fase-norm en de tweede fase-norm, 0,32 euro (fl.0,70) respectievelijk 0,41 euro (fl.0,90) per vermeden kg NO<sub>x</sub>-emissie. [Dings et al., 1997] De kosteneffectiviteit van de derde fase emissienormstelling is nog niet volledig bekend. Het SCR-systeem is op het moment de enige techniek die aan deze norm voldoet. In tabel 8.6 is een overzicht gegeven van de verschillende aspecten in de CCR-normstelling. In deze tabel staan alleen de NO<sub>x</sub>-normen, alhoewel ook normen voor andere emissies bestaan. Ter vergelijking is in tabel 1 van bijlage 8.A het verloop van de Europese emissienormstelling voor vrachtwagen motoren gegeven.

Tabel 8.6. Overzicht van de CCR-normstelling voor de binnenvaart op de Rijn. [Dings et al., 1997]

Fase	NO <sub>x</sub> -normstelling (gr/kWh)	Periode	Meerkosten per motor (%)	Kosteneffectiviteit (euro, fl)
Fase 1	9,2	2002-2005	Circa 10%	0,32 euro, fl.0,70
Fase 2	6	2005-2008	Circa 25%	0,41 euro, fl.0,90
Fase 3	Circa 2,5	Evt. vanaf 2008	Niet bekend	Niet bekend
Fase 4	Niet bekend	Niet bekend	Niet bekend	Niet bekend

### **Beleidsmaatregelen voor de zeescheepvaart**

Uit een EU-onderzoek is gebleken dat het mogelijk is om binnen de Europese Unie maatregelen te treffen om emissies naar de lucht te reduceren. In dit rapport is gekeken naar gedifferentieerde heffingen gerelateerd aan de emissie van SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> en naar de regulering van het zwavelgehalte in scheepsbrandstoffen. In tabel 8.7 is een overzicht gegeven van mogelijke beleidsmaatregelen voor EU-beleid. [Davies et al., 2000]

Tabel 8.7. Mogelijke Europese strategieën voor het controleren van emissies van de zeescheepvaart.  
[Davies et al., 2000]

Beleid	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
<b>Regelgeving</b>		
Controle van verontreinigingen bij brandstofverkoop	Zwavelgehalte van maritieme bunkerbrandstoffen verkocht in Europa	Niet toepasbaar
Controle van verontreinigingen bij de brandstofconsumptie	Zwavelgehalte van maritieme bunkerbrandstoffen gebruikt in Europese wateren	Niet toepasbaar
Controle van verbrandingsgassen van schepen	Vastgestelde emissienormen voor S of SO <sub>2</sub> in Europese wateren	Vastgestelde emissienormen voor N of NO <sub>x</sub> in Europese wateren
<b>Economische stimulansen</b>		
Stimulans gebaseerd op brandstof aankoop	Erkende bunkerbrandstof bonnen bekijken en testen	Niet toepasbaar
Stimulans gebaseerd op bunkers gebruikt aan boord	Consumptie documenten bijhouden	Niet toepasbaar
Stimulans gebaseerd op gecertificeerde emissie resultaten	Certificering/monitoring van de resultaten van verbrandingsgassen	Certificering/monitoring van de resultaten van verbrandingsgassen

## 8.4 Nationaal beleid

In deze paragraaf wordt aangegeven welk beleid er gevoerd wordt en kan worden door de Nederlandse overheid. Hierbij worden ook een aantal grondslagen en achterliggende gedachten behandeld.

### 8.4.1 Huidig beleid

#### *Modal shift*

In het midden van de jaren negentig had men veel aandacht voor de 'modal shift'. Dit houdt een verschuiving van goederenstromen van wegvervoer naar spoorvervoer of intermodale binnenvaart in. Onder het begrip 'intermodaal' wordt goederentransport met verschillende modaliteiten (via weg, spoor en/of water) verstaan. De overheid baseerde het beleid op deze modal shift, maar uit onderzoek bleek echter dat de binnenvaart niet zo milieuvriendelijk is, als werd verondersteld. Transport Logistiek Nederland meent dat een verschuiving van weg naar intermodale binnenvaart zal kunnen leiden tot een toename van de emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en fijn stof. [TLN, 1999] Ook is gebleken dat de zeescheepvaart niet zo'n schone manier van goederenvervoer is als werd gedacht. Daarentegen is zowel de zeescheepvaart als de binnenvaart een energie-efficiënte manier van goederentransport.

De hoofdgedachte die nu de boventoon voert, is dat er gekozen moet worden voor de meest milieuvriendelijke wijze van vervoer in termen van energiegebruik en emissies naar de lucht. [TLN, 1999]

#### *Accijns op scheepsbrandstoffen*

Zoals in paragraaf 7.2 aangegeven is, wordt er geen accijns geheven op de verschillende brandstoffen voor de zeescheepvaart en de binnenvaart. Hierdoor zijn de prijzen zeer laag in verhouding tot de brandstofprijzen voor het wegverkeer. Een andere reden voor dit grote prijsverschil is dat de brandstoffen voor het wegverkeer van hogere kwaliteit zijn, doordat er strenge eisen zijn gesteld aan de kwaliteit van deze brandstoffen mede door regelgeving van de overheid.

#### *Zwavelgehalte in scheepsbrandstoffen*

Sinds medio 2000 bestaat er een 'Besluit Zwavelgehalte Brandstoffen' in Nederland. Dit besluit is opgesteld om de EG-richtlijn 1999/32/EG betreffende een vermindering van het zwavelgehalte van bepaalde vloeibare brandstoffen te implementeren in de nationale regelgeving. In dit besluit zijn verschillende eisen gesteld aan het zwavelgehalte in zware stookolie (maximaal 1,00% zwavel),

scheepsgasolie (maximale zwavelgehalte van 0,20%<sub>m</sub> en met ingang van 1 januari 2008 0,10%<sub>m</sub>) en andere brandstoffen (maximale zwavelgehalte van 1,2%<sub>m</sub>). De eisen met betrekking tot de scheepsgasolie zijn alleen van toepassing op zeeschepen die op Europees grondgebied (dus ook Nederlands grondgebied) komen en waarvan de haven van vertrek binnen de Europese gemeenschap ligt. Schepen die uit een niet-EU land komen hoeven niet te voldoen aan deze eisen. Maar wanneer deze schepen vanuit een EU-land naar een ander EU-land vaart, zal voor dit traject wel scheepsbrandstoffen gebruikt moeten worden die voldoen aan de eisen van het Besluit Zwavelgehalte Brandstoffen. De eisen omtrent het zwavelgehalte van zware stookolie en andere brandstoffen gelden niet voor zeeschepen. [EU, 1999; BZB, 2000]

### ***Verschillende prioriteiten***

Naast prioriteiten op het gebied van milieu heeft de Nederlandse overheid ook economische prioriteiten. De tendens is dat het milieu steeds meer aandacht krijgt en ook meer betrokken wordt bij de beleidsvorming. Vanuit economisch oogpunt is het belangrijk, dat de concurrentiepositie van de Nederlandse zeehavens er niet op achteruit gaat door het volgen van bepaald milieubeleid. Wanneer er in Nederland strengere milieu-eisen gelden dan in omliggende landen, zullen schepen naar andere (buur)landen uitwijken (zoals bijvoorbeeld België). Daarom vergt beleid voor internationaal scheepvaartverkeer ook een aanpak op Europees of internationaal niveau (zie ook paragraaf 8.3 en 8.4). [V&W, 1995; Dings et al., 1997]

## **8.4.2 Toekomstige ontwikkelingen in beleid**

Door het steeds toenemende milieubesef is de overheid in grotere mate bezig met het creëren van milieubeleid voor de scheepvaartsector. Eén van de resultaten hiervan was de Voortgangsnota Scheepvaart en Milieu van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat in 1998, waarin de stand van zaken wordt gegeven in het milieubeleid voor de scheepvaartsector en een aantal acties worden aangekondigd. [DGG, 1998]

### ***Mogelijkheden voor beleid***

Voor de Nederlandse overheid zijn er een aantal mogelijkheden om beleid te voeren ter reductie van emissies naar de lucht door de scheepvaartsector:

- verlenen van financiële stimulansen aan rederijen voor het toepassen van verbeteringsmogelijkheden (onder andere vervroegde vervanging van motoren),
- verlenen van financiële stimulansen voor het uitvoeren naar onderzoek naar verbeteringsmogelijkheden,
- heffen van accijns op bepaalde brandstoffen,
- differentiatie van gelden voor vaarwater en havenrechten, [Kågeson, 1999]
- kostendoorberekening naar verlader en consument,
- het opzetten van een emissieregistratiesysteem.

Bovenstaande mogelijkheden vallen onder 'prijsbeleid' en 'regelgeving' en zullen hieronder (kort) besproken worden.

### ***Stimuleringsregelingen***

Maatregelen om emissies naar de lucht te reduceren vereisen vaak hoge investeringen voor de rederijen. Sommige maatregelen hebben een zeer lange terugverdientijd en zijn daardoor minder aantrekkelijk voor rederijen om uit te voeren. Om de implementatie van deze maatregelen te stimuleren, zou de overheid financiële voordelen kunnen verlenen aan rederijen. Dit kan gedaan worden in de vorm van subsidies of van fiscale voordelen.<sup>54</sup> Dit is wel in tegenstrijd met het milieubeginsel 'de vervuiler betaalt'. Er wordt reeds onderzoek gedaan door het Ministerie van VROM en van Verkeer en Waterstaat op welke manier een stimuleringsregeling ingevoerd kan

---

<sup>54</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

worden voor de vervanging van motoren in de binnenvaart.

Motoren die beter presteren dan de CCR-normen (zie paragraaf 8.3.1 en 8.7), kunnen worden aangeschaft met een fiscaal voordeel via de VAMIL-regeling (Willekeurige Afschrijving Milieu-investeringen). Deze regeling kan van invloed zijn op de motorkeuze én op het vervangingsmoment. Hierbij blijkt uit onderzoek dat er een sterker verband is tussen de regeling en de motorkeuze dan tussen de regeling en het vervangingsmoment. Er bestaan reeds andere soortgelijke financiële regelingen, zoals de energie-investeringsaftrek (EIA) en het DEMonstratieprogramma MObiele bronnen (DEMO). Dit zijn een aantal manieren om tot een versnelde invoering van schonere motoren in de binnenvaart te komen. [Scholten, 1998; Dijkstra et al., 1999; NIRIA, 2000; Dijkstra en Janse, 2001] Met behulp van deze regelingen kunnen retrofit standaarden worden opgesteld voor bestaande schepen. Ook kunnen op deze manier bepaalde eisen gesteld worden aan motoren. [Corbett en Farrell, 2000]

Ook het onderzoek naar mogelijkheden om emissies naar de lucht te verminderen vindt niet continu plaats. In het algemeen wordt er meer onderzoek gedaan door de reders, maritieme onderzoekscentra en de scheepsbouwindustrie, wanneer de prijs van de brandstoffen hoog is. Naarmate de dieselprijs hoger is, zal in grotere mate gezocht worden naar energiebesparende maatregelen of maatregelen met betrekking tot alternatieve brandstoffen en motoren. Dit geldt bijvoorbeeld voor het onderzoek naar de duale scheepsmotoren. Ook voor het onderzoek naar verbeteringsmogelijkheden zijn dus financiële stimulansen van de overheid nodig, zoals het verlenen van subsidies of belastingvoordelen. [M.D.A., 2000]

Uit onderzoek van CE blijkt dat het heffen van accijns op scheepsgasolie voor de binnenvaart een drietal effecten kan opleveren [Dijkstra en Janse, 2001]:

1. een reductie van het energiegebruik en de daarbij behorende emissies,
2. een betere vergelijkbare kostenstructuur met wegtransport en/of mobiele werktuigen,
3. een gedifferentieerd tarief naar zwavelgehalte is mogelijk.

### ***Accijns in de binnenvaart***

Er zijn twee alternatieven voor de binnenvaart, namelijk het invoeren van accijns en heffingen in overeenstemming met het wegverkeer of in overeenstemming met het tarief van rode diesel (voor mobiele werktuigen). De prijsstijging bedraagt 110% respectievelijk 58%. De laatste mogelijkheid leidt dus tot minder grote kosten voor de binnenvaart. De resultaten van deze maatregel zijn weergegeven in tabel 8.5 van paragraaf 8.7. De mogelijke gevolgen van het heffen van accijns zijn: [Dijkstra en Janse, 2001]

- een verhoging van de efficiency (zuiniger varen, minder leegvaart),
- een verhoging van de vrachtprijzen,
- een verlaging van de vraag,
- een verschuiving naar wegtransport/railtransport,
- een vermindering van de vaartuigkilometers
- het treffen van energiebesparende technische maatregelen.

Wanneer Nederland als enige land een accijns zou heffen, zullen reders hun brandstof ergens anders vandaan halen. Het heffen van accijns of andere heffingen op bunkerbrandstoffen voor de zeescheepvaart vereist daarom een internationale aanpak, omdat reders in de zeescheepvaart hun brandstof zullen inkopen in het land met de laagste bunkerprijs. Daarom werd deze beleidsmaatregel behandeld in paragraaf 8.4.2. Bovenstaande effecten voor de binnenvaart kunnen ook het gevolg zijn bij het invoeren van accijns en/of heffingen op bunkerbrandstoffen.

### ***Differentiatie in tarieven***

Een andere beleidsmaatregel is het aanbrenge van een differentiatie in de gelden voor vaarwater en voor havenrechten. [Kågeson, 1999] In Zweden bestaat reeds zo'n dergelijk systeem, waarvan in onderstaande tabel 8.8 een overzicht is gegeven.

Tabel 8.8. Overzicht van de normen en heffingen voor de scheepvaart in Zweden. [NIRIA, 2000]

	Zweedse havengelden-systeem	Zweedse vaarwatergelden-systeem
Laagste tarief	$\text{NO}_x < 6 \text{ gr/kWh}$	$\text{NO}_x < 2 \text{ gr/kWh}$
Gematigde tarief	$6 < \text{NO}_x < 12 \text{ gr/kWh}$	$2 < \text{NO}_x < 12 \text{ gr/kWh}$ (lineaire relatie)
Hoogste tarief	$\text{NO}_x > 12 \text{ gr/kWh}$	$\text{NO}_x > 12 \text{ gr/kWh}$

Deze maatregel neemt een neutrale positie in met betrekking tot de competitie tussen reders. De regeling is namelijk voor alle schepen van toepassing, ongeacht de nationaliteit van het schip. [Lemieszewski, 1999] Door het geven van financiële prikkels zullen reders eerder geneigd zijn om  $\text{NO}_x$ -reducerende technische maatregelen toe te passen. Tot nu toe is de enige mogelijkheid om maximale aftrek te verkrijgen het toepassen van het SCR-systeem.

Ook wordt in Zweden een  $\text{SO}_2$ -korting gegeven wanneer passagiersschepen brandstof gebruiken met een maximale zwavelgehalte van 0,5%<sub>m</sub>. Voor goederenschepen is dit maximaal 1%<sub>m</sub> zwavel. [NIRIA, 2000] Een andere aanpak is het geven van boetes voor het gebruik van bepaalde scheepsbrandstoffen. Het gevolg kan zijn dat schepen in Zweeds territoriale wateren gebruik zullen maken van laagzwavelige brandstoffen, wat leidt tot een reductie van de  $\text{SO}_2$ -emissie. Noorwegen is op het moment ook bezig met het opzetten van dergelijke systemen. [Kågeson, 1999]

### **Milieukosten**

De reders in de binnenvaart en de zeescheepvaart zouden kunnen besluiten om de milieukosten (zoals voor luchtverontreiniging), kosten voor infrastructuur en andere externe kosten door te berekenen naar de verlader c.q. consument. Wanneer de overheid zou kiezen om dit te doen, zal deze doorberekening consequent bij alle modaliteiten uitgevoerd moeten worden om de concurrentieverhouding onderling niet te veranderen. Deze doorberekening van kosten kan een prikkel opleveren om de externe effecten te reduceren, maar kan er ook toe leiden dat de groei van het goederenvervoer zal afvlakken. [Dijkstra en Janse, 2000]

### **Emissieregistratiesysteem**

Het Ministerie van VROM is op het moment van totstandkoming van dit rapport bezig met het opzetten van een emissieregistratiesysteem voor de scheepvaartsector in samenwerking met het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (onder andere het Directoraat-Generaal Goederenvervoer). Bij dit systeem is het de bedoeling dat de alle emissies worden meegenomen, dus naar de lucht, naar het water, afval, enzovoorts. Dit registratiesysteem zal van toepassing zijn op de commerciële binnenvaart en zeescheepvaart. Het opzetten van dit systeem kan bestaan uit drie verschillende fasen<sup>55</sup>:

- 1) de inventarisatie-fase: er wordt geïnventariseerd welke gegevens er op het moment zijn, welke gegevens er nog ontbreken, welke methoden toegepast kunnen worden om emissies te bepalen. De verwachting is dat deze fase aan het eind van het jaar 2001 afgerond is.
- 2) de pilot-fase: de overheid laat het registratiesysteem proefdraaien. In deze fase zullen eventuele problemen signaleerd en opgelost worden.
- 3) de fase waarin het emissieregistratiesysteem permanent in gebruik genomen wordt.

<sup>55</sup> Interview met dhr. A.C. van Holk en dhr. J.J. Kolpa van DGG op donderdag 31 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

Het registreren van emissies heeft een tweeledig doel. Allereerst maakt de registratie van emissie het mogelijk om beleid te monitoren. Daarnaast zal dit registratiesysteem het mogelijk maken om emissies aan landen toe te delen. De bedoeling is dat de mogelijkheid bestaat om met het emissieregistratiesysteem:<sup>56</sup>

- de totale emissies op het NCP te bepalen,
- een onderscheid van emissies te maken naar vlag,
- een onderscheid van emissies te maken naar type schip,
- de emissies van de totale Nederlandse vloot wereldwijd te bepalen.

## 8.5 Initiatieven vanuit de scheepvaartsector

Niet alleen de verschillende overheden treffen maatregelen om emissies naar de lucht te reduceren, maar ook de scheepvaartbranche zelf neemt initiatief tot maatregelen. Zij hebben hier een aantal drijfveren voor. Allereerst is onderzoek naar en toepassen van energiebesparende maatregelen in hun eigen belang, aangezien hierdoor het brandstofverbruik gereduceerd kan worden. Dit brengt dus ook lagere brandstofkosten met zich mee en is dus gunstig voor de bedrijfsvoering van de reders. Een ander voordeel voor de reder kan zijn dat door het treffen van milieumaatregelen zij een concurrentievoordeel verwerven ten opzichte van andere reders. Dit is met name het geval in markten waarin de verlader een gecertificeerde kwaliteit verlangt van een reder [Burgel, 2000]. Ook kunnen initiatieven op milieugebied een positief effect hebben op het imago van een reder.

### PELS

Het maritieme onderzoeksinstituut MARIN in Wageningen en de Vereniging Nederlandse Scheepsbouw Industrie (VNSI) zijn op dit moment bezig met het Project Energiebesparende Luchtgesmeerde Schepen (PELS), waarvan in mei 2001 de aftrap is gegeven. Het doel van dit project is om de weerstand tussen water en scheepsromp te verlagen, wat een energiebesparing kan opleveren. [VNSI, 2001]

### Initiatieven op het gebied van zwavel

Een voorbeeld van een initiatief is dat er in juni 1999 wereldwijd 38 schepen met in totaal 139 motoren met een SCR-systeem zijn uitgevoerd. Dit is op vrijwillige basis gebeurd. Daarnaast geven reders wereldwijd vrijwillig monsters van hun bunkerbrandstoffen ten behoeve van laboratoriumonderzoek. In 2000 zijn er 54.000 monsters getest wat correspondeert met 49 miljoen ton residuale stookolie (circa 40-50% van de jaarlijks verkochte bunkerbrandstoffen; zie ook paragraaf 4.3.1).<sup>57</sup>

### Whail Tail Wheel

Een ander initiatief vanuit de scheepvaartsector is het proefproject met het Whale tail wheel in het motorvrachtschip de 'Lidwina' (zie ook paragraaf 6.5.2). Met dit schip wordt ervaring opgedaan met het varen met een Whale Tail Wheel. Daarom zullen er op sommige momenten wetenschappelijke metingen worden gedaan. Daarnaast dient de 'Lidwina' als demonstratie voor potentiële kopers van het Whale Tail Wheel. [Whale Tail, 2001]

### Neokemp

Zoals eerder aangegeven is, is er een nieuwe generatie binnenschepen, die relatief klein van formaat zijn. Een voorbeeld van zo'n klein modern containerschip is de Neokemp. De Neokemp wordt voortgestuwd door twee roerpropellers die zorgen voor een uitstekende manoeuvreerbaarheid. Doordat de schepen klein en goed manoeuvreerbaar zijn, kunnen plaatsen bereikt worden die dat

<sup>56</sup> Interview met dhr. A.C. van Holk en dhr. J.J. Kolpa van DGG op donderdag 31 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

<sup>57</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

vroeger niet waren. Uit proefnemingen met het vervoer van 64 containers van Rotterdam naar Krefeld (Duitsland), de helft over water en de andere helft over de weg met vrachtauto's, is gebleken dat het transport over water schoner, sneller en goedkoper is. De tegenstellingen waren duidelijk: een schip met 2 motoren tegenover 16 vrachtwagens van elk 2 TEU met zware diesel motoren en minimaal 16 chauffeurs. [KNVTS, 2001]

## **Ecoship**

Een ander initiatief komt van Ecoship Engineering in Malmö (Zweden). Deze organisatie heeft een nieuw zeeschip ontwikkeld dat verbeterd is op milieugebied. De ontwikkelaars menen dat het 'Ecoship'-concept de volgende milieuvoordelen kunnen opleveren:

- een maximale energiebesparing van 15%,
- reducties van emissies (met name CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>) met 50-95%.

Volgens de ontwikkelaars kunnen deze voordelen behaald worden door het toepassen van een gecombineerde diesel-electrische voortstuwingssysteem, katalytische emissiecontrole en laagzwavelige dieselbrandstoffen. Door de ruimtelijke indeling van de motoren en de bijbehorende generatoren is er meer ruimte voor de opslag van goederen op het schip. Ook wordt er moderne informatie technologie gebruikt waarmee onder andere het energiegebruik en milieu-effecten gemonitord kunnen worden. Het is de bedoeling dat dit schip over ongeveer een jaar een operationele schip klaar te hebben. Dit schip zal voornamelijk gebruikt worden voor transport op de Baltische zee en Noordzee. [Carlsson, 2001] Er zijn reeds andere scheepswerven die schepen bouwen aan de hand van het Ecoship-concept [BISNIS, 2001].

Ecoship Engineering is ook bezig met het ontwikkelen van een shortsea tanker, die een circa 10% lagere brandstofconsumptie heeft. Uit resultaten van modelberekeningen blijkt dat de emissie van NO<sub>x</sub> met circa 97% gereduceerd kan worden ten opzichte van traditionele shortsea tankers. Voor de HC- en CO-emissies blijken deze reducties minimaal 75% te bedragen. De oplevering van deze tanker zal vermoedelijk in 2002 plaatsvinden.

## **8.6 Knelpunten**

Het toepassen van sommige beleidsinstrumenten zal niet altijd probleemloos verlopen. De mogelijke knelpunten zullen hieronder behandeld worden.

### **8.6.1 Allocatie van emissies**

Wanneer er in de toekomst allocatie van emissies door de internationale scheepvaart zal plaatsvinden in internationaal verband, zijn er een aantal knelpunten die opgelost moeten worden. Naast de gekozen aannames zijn er een aantal problemen bij het rapporteren van emissies veroorzaakt door het stoken van bunkerbrandstoffen. Voor het toedelen van emissies door de internationale zeescheepvaart aan de verschillende landen zijn er een aantal bottlenecks bij het opzetten van een dergelijk allocatiesysteem. Allereerst wordt niet in alle landen een (duidelijk) onderscheid gemaakt tussen nationaal en internationaal brandstofverbruik, waardoor de benodigde data niet in alle landen beschikbaar is. Ook vindt er geen consistent gebruik van de definities 'nationaal brandstofverbruik' en 'internationaal brandstofverbruik' plaats door de verschillende landen. Hierdoor zijn gegevens over het brandstofverbruik in verschillende landen vaak niet naast elkaar te leggen, wat het toedelen van emissies naar landen niet mogelijk maakt. Daarnaast worden er verschillende methoden gebruikt om emissies naar de lucht te bepalen. [STBA, 1998]

### **8.6.2 'Modal shift' beleid**

Het vormen van 'modal shift' beleid voor de binnenvaart heeft een aantal knelpunten. Allereerst hebben de binnenschepen in Nederland een geringe penetratiegraad door de gebondenheid aan de vaarwegen. Er is namelijk wel genoeg ruimte op de grote rivieren, maar niet op de kanalen. Maar het graven en/of verbreden van kanalen kan leiden tot een aanslag op het landschap. Daarnaast kan het kanaliseren van natuurlijke waterwegen problemen met de waterhuishouding ten gevolge hebben. Ook

al zou de overheid het gebruik van grote energiezuinige schepen willen stimuleren, dan zouden deze schepen maar op een beperkt aantal vaarwegen kunnen varen. Een andere beperkende factor voor volumebeleid kan de capaciteit van havens, kades en terminals/overslaglocaties zijn. Het plaatsen van extra terminals kost namelijk veel extra investeringen. [TLN, 1999]

### 8.6.3 Overige knelpunten

Er zijn nog een aantal overige knelpunten, zoals:

- het overbruggen van weerstand uit de scheepvaartsector,
- monitoring van beleid is niet altijd mogelijk,
- het uitstippelen van internationaal beleid vergt vele procedurele stappen en kost dus veel tijd,
- de eisen die gesteld zijn in het Marpol-verdrag, zijn niet echt vooruitstrevend,

## 8.7 Beleidsscenario's

In deze paragraaf worden de effecten behandeld van de implementatie van een aantal beleidsmaatregelen:

- Accijns op scheepsbrandstoffen in de binnenvaart.
- Stimuleringsregeling voor een vervroegde vervanging van motoren.
- IMO-normstelling voor zeeschepen.
- CCR-normstelling voor binnenschepen.
- Verlaging van het zwavelgehalte in zware stookolie voor zeeschepen.
- Verlaging van het zwavelgehalte in scheepsgasolie voor zeeschepen.

### Accijns op scheepsbrandstoffen in de binnenvaart

Uit een rapport van CE blijkt dat een brandstofaccijns in de binnenvaart ter hoogte van het niveau van de diesel van het wegverkeer effect heeft op de emissies naar de lucht ten opzichte van het EC-scenario in MV5 (zie ook paragraaf 8.2.2). Deze maatregel leidt tot een energiebesparing, CO<sub>2</sub>-reductie en een NO<sub>x</sub>-reductie van 22%. [Dijkstra en Janse, 2001]

### Stimuleringsregeling voor een vervroegde vervanging van motoren

In onderstaande tabel 8.9 zijn de mogelijke effecten gegeven van een stimuleringsregeling voor een vervroegde vervanging van scheepsmotoren in de binnenvaart (zie ook paragraaf 8.7.2). In deze tabel houdt de referentie in dat in 2002 alle binnenschepen zullen voldoen aan de NO<sub>x</sub>-emissienorm van 9,2 gr/kWh. [Dijkstra en Janse, 2001]

Tabel 8.9. *Potentieel effect van de stimuleringsregeling voor de vervanging van motoren in de binnenvaart (budget bedraagt ruim 40 miljoen euro). [Dijkstra en Janse, 2001]*

	NO <sub>x</sub> -Reductie t.o.v. referentie	Kosten van stimulering (miljoen)
Reductie in 2008 bij stimulering	-21%	40,8 euro (fl.90)
Potentiële reductie in 2008	-37%	95,3 euro (fl.210)
Potentiële reductie in 2020	-78%	Verdergaande stimulering of verplichten van NO <sub>x</sub> -emissienorm van 2 g/kWh na 2008

Uit een onderzoek voor de IMO is gebleken dat door het toepassen van technische maatregelen (onder andere het optimaliseren van de romp van een nieuwe schip en het plegen van onderhoud) een theoretische maximale energiebesparing kan worden behaald van 17,6% in 2010 en van 28,2% in 2020 ten opzichte van een basis-scenario zonder implementatie van maatregelen. Deze percentages zijn van toepassing op de gehele wereldvloot van zeeschepen. De maatregelen die in dit IMO-rapport zijn behandeld, zijn hebben realistische invalshoek. Het zijn geen onzekere maatregelen die zich nu nog in een experimentele stadium bevinden. [IMO, 2000]



## IMO-normstelling voor zeeschepen

De verwachting is dat de NO<sub>x</sub>-emissie door motoren in nieuwe schepen zal dalen door de NO<sub>x</sub>-normstelling van de IMO. Uit onderzoek blijkt echter dat in 1995 de gemiddelde NO<sub>x</sub>-emissies van SP- en MS-motoren in de praktijk reeds lager zijn dan de gestelde normen. In tabel 8.10 is een vergelijking gegeven tussen de IMO-normen en de werkelijke emissiefactoren. [Feimann et al., 2000]

Tabel 8.10. De emissiefactoren van de motoren in zeeschepen in 1995. [Feimann et al., 2000]

Type motor	NO <sub>x</sub> -norm van IMO (gr/kWh)	Werkelijke emissiefactoren (gr/kWh)
SP-motoren	17	circa 14
MS-motoren	11-13	10-11

Uit bovenstaande gegevens kan geconcludeerd worden dat de IMO-normstelling nauwelijks extra effect zal hebben op de totale omvang van de NO<sub>x</sub>-emissie door zeeschepen. Er wordt namelijk reeds aan de normen voldaan. Hierbij moet opgemerkt worden dat de werkelijke emissiefactoren gemiddelden zijn en dat er dus wel scheepsmotoren zijn die boven de IMO-norm zitten. Bij vervanging van deze scheepsmotoren door schonere motoren zal er dus wel een gering effect verkregen kunnen worden. [Feimann et al., 2000]

## CCR-normstelling voor binnenschepen

In paragraaf 8.3.1 zijn de emissienormen voor de binnenvaart behandeld. De verwachting is dat door deze normstelling de emissies zullen dalen. In tabel 8.11 zijn de effecten van de eerste fase normstelling weergegeven op de NO<sub>x</sub>-emissies naar de lucht. [RIVM, 200c]

Tabel 8.11. NO<sub>x</sub>-emissies met en zonder normering in het EC-scenario van het totale park. [Feimann et al., 2000]

NO <sub>x</sub> -emissie (in miljoen kg)	Emissies zonder normering	Emissies met normering	Effect van normering
2010	35	34	1
2020	35	32	3

CE schat dat de invoering van fase 1, 2 en 3 leidt tot een NO<sub>x</sub>-reductie van circa 8 kton in het jaar 2010, maar dat grote reducties pas op lange termijn (2020/2025) behaald kunnen worden met fase 2 en 3. [Dings et al., 1997]

## Verlaging van het zwavelgehalte in zware stookolie voor zeeschepen

De huidige norm van het zwavelgehalte in zware stookolie bedraagt maximaal 4,5%<sub>m</sub>. In de praktijk is het zwavelgehalte gemiddeld circa 2,7%<sub>m</sub>. Wanneer Annex VI geratificeerd wordt, zal de Noordzee de status krijgen van 'SO<sub>x</sub> emission control area'. Dit zal onder andere inhouden dat het zwavelgehalte in zware stookolie maximaal 1,5%<sub>m</sub> mag bedragen. Door verlaging van het zwavelgehalte in stookolie zal de uitstoot van SO<sub>2</sub> gereduceerd worden. In tabel 8.12 zijn de milieueffecten van deze verlaging van zwavelgehalte weergegeven.

Tabel 8.12. Milieu-effect van de verlaging van het zwavelgehalte in de zware stookolie ten opzicht van geen verlaging op Nederlands grondgebied. [Geurs et al., 1998; Feimann et al., 2000]

Effect (in miljoen kg)	2010	2020
SO <sub>2</sub>	-7,2	-8,2
PM <sub>10</sub>	-1,1	-1,3

## Verlaging van het zwavelgehalte in scheepsgasolie voor schepen

In het 'Besluit Zwavelgehalte Brandstoffen' zijn eisen gesteld aan het zwavelgehalte in scheepsgasolie, namelijk een maximale zwavelgehalte van 0,20%<sub>m</sub> (2.000 ppm) en met ingang van 1 januari 2008 0,10%<sub>m</sub> (1.000 ppm). Door deze regelgeving zal de emissie van SO<sub>2</sub> gereduceerd worden. In een CE-onderzoek zijn de effecten van deze beleidsmaatregel bepaald. De resultaten zijn weergegeven in tabel 8.13 en 8.14 voor respectievelijk de binnenvaart en de zeescheepvaart. [Feimann et al., 2000; Dings, 1996]

Tabel 8.13. Het milieu-effect op de verlaging van het zwavelgehalte van de scheepsgasolie voor de binnenvaart. [Feimann et al., 2000; Dings, 1996]

Situatie in 2010 (zonder zwavelnorm)			Situatie in 2020 (zonder zwavelnorm)		
Hoeveelheid brandstof (mln kg)	Zwavelgehalte (ppm)	SO <sub>2</sub> -emissie	Hoeveelheid brandstof (mln kg)	Zwavelgehalte (ppm)	SO <sub>2</sub> -emissie
587,4	1.710	2,0	594,2	1.710	2,0
Situatie in 2010 (met zwavelnorm)			Situatie in 2010 (met zwavelnorm)		
Hoeveelheid brandstof (mln kg)	Zwavelgehalte (ppm)	SO <sub>2</sub> -emissie	Hoeveelheid brandstof (mln kg)	Zwavelgehalte (ppm)	SO <sub>2</sub> -emissie
587,4	1.000	1,2	594,2	1.000	1,2
Effect in 2010 in miljoen kg SO <sub>2</sub>			Effect in 2020 in miljoen kg SO <sub>2</sub>		
	Relatief:	Absoluut:		Relatief:	Absoluut:
	-42%	-0,8		-42%	-0,8

Tabel 8.14. Het milieu-effect op de verlaging van het zwavelgehalte van de scheepsgasolie voor de zeescheepvaart. [Feimann et al., 2000; Dings, 1996]

	2010			2020		
	Hoeveelheid brandstof (mln kg)	Zwavel-gehalte (ppm)	SO <sub>2</sub> -emissie (mln kg)	Hoeveelheid brandstof (mln kg)	Zwavel-gehalte (ppm)	SO <sub>2</sub> -emissie (mln kg)
EC-2010 (zonder zwavelnorm)	151,8	1.710	0,5	173,5	1.710	0,6
2010 (met zwavelnorm)	151,8	1.000	0,3	173,5	1.000	0,3
Milieu-effect		Rel. -42%	Abs. -0,2		Rel. -42%	Abs. -0,2

Zoals uit bovenstaande tabellen mag blijken, kunnen er grote SO<sub>2</sub>-reducties behaald worden door het zwavelgehalte te verlagen. Door verlaging van het zwavelgehalte van 1.710 ppm naar 1.000 ppm kan de SO<sub>2</sub>-emissie met ruim 40% gereduceerd worden.

## 8.8 Deelconclusies

Dit hoofdstuk spitste zich toe op de beleidsmatige mogelijkheden om emissies naar de lucht te reduceren. Hiervoor zijn er drie mogelijke invalshoeken voor Nederland: als een kuststaat, een vlaggestaat of een havenstaat. Deze invalshoeken bepalen de jurisdictie van Nederland. Daarnaast werd in dit hoofdstuk een onderscheid gemaakt tussen nationaal, Europees en internationaal beleid.

Voor de zeescheepvaart is de International Maritime Organization (IMO) het belangrijkste orgaan, zoals de CCR voor de binnenvaart is. Annex VI van het Marpol-verdrag ('Internationaal Verdrag te Voorkoming van Verontreiniging door Schepen') omvat regels omtrent de beperking van luchtverontreiniging door zeeschepen.

In deze Annex staat onder andere de NO<sub>x</sub>-normstelling (afhankelijk van toerental) voor alle nieuwe motoren die op of na 1 januari 2000 op schepen gebouwd zijn. Deze maatregel is van toepassing met terugwerkende kracht. Dus bij ratificatie van Annex VI moeten alle motoren die na 1 januari 2000 geïnstalleerd zijn, voldoen aan deze normstelling. Daarom produceert de motorindustrie reeds motoren volgens deze NO<sub>x</sub>-emissienorm.

Ook staat in de annex dat het maximale zwavelgehalte 4,5m% is. Deze norm is abnormaal hoog en biedt veel ruimte voor normopvulling (zwavel toevoegen tot de norm is bereikt). Hiermee samenhangend biedt de annex ook de mogelijkheid om 'SO<sub>x</sub>-emission control areas' in te stellen, waar de SO<sub>2</sub>-uitstoot niet meer dan 6 gr/kWh mag bedragen. Dit komt overeen met het gebruik van brandstof met een maximale zwavelgehalte van 1,5%. Voor de Noordzee is reeds een amendement aangenomen voor het verkrijgen van deze status.

Annex VI is (nog) niet internationaal van kracht en dus ook nog niet in de Nederlandse wetgeving vastgelegd. De voorwaarde van internationale bekrachtiging is dat meer dan 15 landen Annex VI ratificeren en dat deze landen meer dan 50% van de totale wereldhandelstonnage vertegenwoordigen.

Op dit moment wordt er in verschillende landen de omvang van emissies geregistreerd. Maar bij het rapporteren van emissies door bunkerbrandstoffen zal aan een aantal voorwaarden voldaan moet worden om vergelijking tussen verschillende landen mogelijk te maken: [STBA, 1998]

- De beschikbaarheid van data om nationaal en internationaal gebruik te onderscheiden.
- Het consistent gebruiken van de definities "nationaal brandstofverbruik" en 'internationaal brandstofverbruik'.
- Het consistent gebruiken van de methoden om emissies te bepalen.

Deze voorwaarden zijn van belang wanneer men in de toekomst emissies van de internationale zeescheepvaart gaat toedelen aan de verschillende landen. In het Kyoto-protocol worden de CO<sub>2</sub>-emissies van de internationale scheepvaart buiten beschouwing gelaten bij de allocatie, maar in de toekomst zou deze allocatie kunnen plaatsvinden. Een andere beleidsmaatregel die mogelijk wordt gemaakt door het allocatiesysteem, is emissiehandel in de scheepvaart. Emissiehandel kan de implementatie van technische maatregelen vergemakkelijken. Naast emissiehandel kan het opstellen van emissienormen voor CO<sub>2</sub> in de scheepvaartsector ook een beleidsmaatregel zijn om tot een reductie van de uitgestoten CO<sub>2</sub> te komen. Maar aangezien het protocol op dit moment een verminderde stabiliteit heeft, is het nog onduidelijk in hoeverre deze ontwikkelingen zich in de toekomst zullen voordoen.

Japan is dit voorjaar gekomen met tien voorstellen die betrekking hebben op het onderwerp 'preventie van verontreinigingen door de scheepvaart'. Deze voorstellen zijn zeer vooruitstrevend. Het is de bedoeling dat tijdens de Ministeriële Conferentie over milieu en transport in januari 2002 op basis van deze voorstellen overeenstemming wordt bereikt met alle deelnemende landen over een zogenaamde 'Joint Action Plan'. De bedoeling van Japan is om het invoeren van milieubeleid te versnellen en om verdergaande stappen op milieugebied te nemen ten opzichte van de internationale milieu-organisaties van de Verenigde Naties.

Op het gebied van zeescheepvaart is er weinig Europees beleid; dit in tegenstelling tot de binnenvaart. Voor de binnenvaart is de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) in Straatsburg een belangrijk orgaan. Medio 2000 is de CCR gekomen tot een eerste fase-normstelling voor nieuwe motoren, die vanaf 1 januari 2002 in binnenschepen zullen worden geïnstalleerd. In het begin van 2001 is er overeenstemming bereikt tussen de CCR en de motorindustrie over een nieuwe tweede fase normstelling met betrekking tot de emissie van NO<sub>x</sub>, die vanaf circa 2005 ingevoerd zal worden. Er zijn nog geen gegevens bekend over de derde fase emissienormstelling, maar waarschijnlijk zal de NO<sub>x</sub>-norm liggen rond de 2,5 gram/kWh. De invoering van deze derde fase zal waarschijnlijk in 2008 plaatsvinden.

Het zwavelgehalte van scheepsgasolie in de binnenvaart bedraagt circa 2.000 ppm (0,2‰). De norm

voor diesel voor wegverkeer zal 50 ppm bedragen vanaf 2005, wat ruim een factor veertig kleiner is dan voor scheepsgasolie. Voor zware stookolie en scheepsgasolie in de zeescheepvaart zal het zwavelgehalte circa een factor duizend verschillen. Hier is te zien dat er een groot verschil is tussen regelgeving voor het wegverkeer en voor de scheepvaart. In 2008 zal de norm voor het zwavelgehalte in scheepsgasolie verlaagd worden tot 1.000 ppm. Dit kan een SO<sub>2</sub>-reductie opleveren van ruim 40% in 2010 ten opzichte van een scenario zonder verlaging van het zwavelgehalte.

De achterliggende gedachte bij het maken van beleid is de afgelopen jaren verschoven van het stimuleren van 'modal shift' naar het stimuleren van de meest milieuvriendelijke vervoerswijze. Voor de Nederlandse overheid zijn er een aantal mogelijkheden om beleid te voeren ter reductie van emissies naar de lucht door de scheepvaartsector:

- verlenen van financiële stimulansen aan rederijen voor het toepassen van verbeteringsmogelijkheden (onder andere vervroegde vervanging van motoren),
- verlenen van financiële stimulansen voor het uitvoeren naar onderzoek naar verbeteringsmogelijkheden,
- heffen van accijns op bepaalde brandstoffen,
- differentiatie van gelden voor vaarwater en havenrechten,
- kostendoorberekening naar verlader en consument,
- het opzetten van een emissieregistratiesysteem.

Naast opgelegde beleidsmaatregelen toont de scheepsbranche zelf ook initiatief om te komen tot reducties van emissies naar de lucht. Hiermee kunnen zij een concurrentievoordeel en een beter imago door krijgen.

Uit onderzoek is gebleken dat brandstofaccijns en een stimuleringsregeling in de binnenvaart kunnen leiden tot emissiereducties van CO<sub>2</sub> respectievelijk NO<sub>x</sub>. Met de implementatie van technische maatregelen in de wereldvloot van de zeescheepvaart kunnen theoretische energiebesparingen van 15 à 20% in 2010 en van 25 à 30% in 2020 worden behaald ten opzichte van een basis-scenario zonder implementatie van maatregelen.

De normstelling voor zeeschepen in het Marpol-verdrag zal geen milieu-effect hebben, omdat de zeeschepen reeds aan deze normen voldoen. Voor de binnenvaart wordt wel effect verwacht van de CCR-normstelling

Uit bovenstaande blijkt dat de komst van internationale normstelling voor zeeschepen op het niveau van het wegverkeer niet op korte termijn zal komen. Daarom is het noodzakelijk om zelf stappen te ondernemen, zoals Japan ook voorstelde. Nederland zou bijvoorbeeld in EU-verband initiatief kunnen nemen voor het treffen van verdergaande maatregelen voor de eigen wateren en voor de brandstofkwaliteit. De stand der techniek is reeds zover dat emissiereducties kosteneffectief behaald kunnen worden en er zijn in principe geen argumenten, dan financiële, om technische maatregelen niet toe te passen. In de binnenvaart is normstelling in intra-Europees verband verder gevorderd dan in de zeescheepvaart.

In tabel 8.15 is een overzicht gegeven van de mogelijke beleidsmaatregelen die in dit hoofdstuk behandeld zijn.

Tabel 8.15. Overzicht van de beleidsmaatregelen uit dit rapport.

<b>Beleidsmaatregelen</b>
<b><i>Huidig nationaal beleid</i></b>
Kiezen voor de meest milieuvriendelijke wijze van vervoer in termen van energiegebruik en emissies naar de lucht
Besluit Zwavelgehalte Brandstoffen (eisen aan het zwavelgehalte in brandstoffen)
<b><i>Toekomstige ontwikkelingen in nationaal beleid</i></b>
Verlenen van financiële stimulansen aan rederijen voor het toepassen van verbeteringsmogelijkheden
Verlenen van financiële stimulansen voor het uitvoeren naar onderzoek naar verbeteringsmogelijkheden
Heffen van accijns op bepaalde brandstoffen in de binnenvaart
Differentiatie van gelden voor vaarwater en havenrechten
Kostendoorberekening naar verlader en consument
Opzetten van een emissieregistratiesysteem
<b><i>Huidig Europees beleid</i></b>
Akte van Mannheim: vrij verkeer van personen en goederen
CCR: eerste fase normstelling voor motoren in de binnenvaart, o.a. voor NO <sub>x</sub> 9,2 gr/kWh
<b><i>Toekomstige ontwikkelingen in Europees beleid</i></b>
CCR: tweede fase normstelling voor motoren in de binnenvaart, o.a. voor NO <sub>x</sub> 6 gr/kWh
CCR: derde fase normstelling voor motoren in de binnenvaart, o.a. voor NO <sub>x</sub> mogelijk 2,5 gr/kWh
Overname van CCR-normen in EU-verband
EG-richtlijn 99/32 betreffende een vermindering van het zwavelgehalte van bepaalde vloeibare brandstoffen
<b><i>Huidig internationaal beleid</i></b>
Verdrag <b><i>Huidig Europees beleid</i></b> the Law of the Sea' afgesloten door de Verenigde Naties
Kyoto-protocol: maatregelen ter reductie van broeikasgassen (exclusief internationale scheepvaart)
Marpol-verdrag oftewel 'Internationaal Verdrag te Voorkoming van Verontreiniging door Schepen': zes annexen met voorschriften en regels omtrent verontreiniging door schepen
<b><i>Toekomstige ontwikkelingen in internationaal beleid</i></b>
Allocatie van emissies door de internationale zeescheepvaart naar de verschillende landen
Emissiehandel met behulp van emissievergunningen of zogenaamde 'credits'
Normstelling van nieuwe scheepsmotoren in de zeescheepvaart (afhankelijk van toerental) in Annex VI
Eisen omtrent de SO <sub>2</sub> -emissie: maximale zwavelgehalte, 'SO <sub>x</sub> -emission control areas' (beperking zwavelgehalte, SO <sub>2</sub> -emissionnorm), wereldwijd monitoringsysteem met betrekking tot zwavelgehalte in bunkerbrandstoffen
Ratificatie van Annex VI (Marpol-verdrag) over emissies naar de lucht
Implementeren van Annex VI in de Nederlandse wetgeving
Het bepalen van 'modal shift' beleid in de scheepvaartsector
Emissienormering voor de emissie van broeikasgassen in de scheepvaartsector
Het bepalen van volumebeleid in de scheepvaartsector
Heffen van accijns op bepaalde brandstoffen in de zeescheepvaart
Opzetten van een 'Joint Action Plan' omtrent het onderwerp 'preventie van verontreinigingen door de scheepvaart' tijdens de Ministeriële Conferentie over milieu en transport in 20002, Tokio



## 9 Discussiepunten

Zoals uit de vorige hoofdstukken mag blijken, zijn er vele mogelijkheden om emissies van schepen te reduceren. In dit hoofdstuk wordt bekeken op welke punten er mogelijk discussie zou kunnen ontstaan.

### 9.1 Beschikbaarheid van recente en betrouwbare emissiefactoren

Voor het bepalen van de omvang van emissies wordt gebruik gemaakt van emissiefactoren. Deze factoren worden vermenigvuldigd met het brandstofverbruik. Verschillende instanties (zoals het CBS en CE) gebruiken emissiefactoren die reeds in de literatuur staan. Hierbij wordt er wel een afweging gemaakt tussen de waarden in de verschillende bronnen. Maar in de meeste bronnen zijn de emissiefactoren voor de zeescheepvaart gebaseerd op gegevens uit een studie van Lloyd's (1989-1995). Voor deze studie zijn metingen verricht aan zes schepen. De vraag zou gesteld kunnen worden of deze zes schepen representatief zijn voor de gehele wereldvloot. Andere emissiefactoren zijn bepaald op basis van literatuuronderzoek. Ook hierbij kunnen vraagtekens gezet worden. Daarnaast worden vaak 'oude' emissiefactoren gebruikt, die zijn bepaald met behulp van metingen uit de jaren '80. Het is mogelijk dat de stand van de techniek met betrekking tot het meten van emissies op dit moment is verbeterd ten opzichte van de jaren '80. Ook is het mogelijk dat de emissiefactoren niet meer toepasbaar zijn op de nieuwe generatie motoren. [Dijkstra, 2001a]

### 9.2 Eenheid van emissies

Uit onderzoek is gebleken dat het verloop van de NO<sub>x</sub>-emissie in een dieselmotor in verhouding tot de belasting van de motor afhankelijk is van de eenheid waarin de NO<sub>x</sub>-emissie is uitgedrukt. Door emissies uit te drukken in gram per tonkilometer kan de invloed van energieverliezen in motor en schip, de vervoerssnelheid en de beladingsgraad tot uitdrukking worden gebracht. In dit rapport zijn de emissies voornamelijk uitgedrukt in gram per kilowattuur. Om emissies van schepen onderling te kunnen vergelijken, zouden emissies uitgedrukt moeten worden in gram per tonkilometer. [Ofstedal et al., 1996; NIRIA, 2000]

### 9.3 Bestemming van zwavel uit ontzwavelde brandstoffen

In een artikel uit het nieuwsblad 'Stromen' van maart 2001 wordt de vraag gesteld waar de zwavel blijft, die uit brandstoffen voor wegverkeer gehaald wordt met behulp van het ontzwavelingsproces. Hierin staan twee verschillende meningen. Er wordt gesproken over 'creatief zwavelmanagement'. Hiermee wordt de mogelijkheid aangeduid dat de verkregen hoeveelheid zuivere zwavel wordt toegevoegd aan brandstoffen die onder de zwavelnorm zitten: 'de normen geven ruimte om het zwavelgehalte nog te verhogen'. Onder andere bunkerbrandstoffen komen hiervoor in aanmerking, aangezien de maximale zwavelnorm 4,5%<sub>m</sub> bedraagt. Volgens Shell en BP gebeurt dit bij hen niet. De verkregen zuivere zwavel komt terecht bij de zwavelverwerkende industrie, zoals producenten van kunstmest, cosmetica en farmaceutische producten. [Ter Stege, 2001] De vraag is wat er met de zwavel zal gaan gebeuren als ook zware stookolie en scheepsgasolie het ontzwavelingsproces ondergaan. Zal hier ook sprake zijn van 'overheveling' van zwavel naar andere brandstoffen?

### 9.4 Aanvullende verbeteringsmogelijkheden

In dit rapport is geprobeerd een zo volledig mogelijke inventarisatie te geven van de mogelijkheden om emissies naar de lucht te reduceren in de scheepvaartbranche. Maar deze lijst kan nog veel verder

aangevuld worden.<sup>58</sup> [IMO, 2000] Het kan zijn dat in de nabije toekomst nieuwe verbeteringsmogelijkheden aan het licht zullen komen.

Doordat vele technische maatregelen nog in het beginstadium van ontwikkeling zijn, is het niet altijd mogelijk om de bijbehorende kosten en kosteneffectiviteit te bepalen. Dit maakt het vergelijken van verbeteringsmogelijkheden onderling moeilijk. Idealiter zou de kosteneffectiviteit van alle technische maatregelen uitgedrukt moeten zijn in euro per vermeden kilogram emissie. Ook de kosten voor de commerciële toepassing van een maatregel zijn vaak niet duidelijk. In de beginfase worden altijd relatief hoge kosten gemaakt, maar bij grotere productie-aantallen zullen de investeringskosten lager zijn.

## 9.5 Wenselijkheid van modal shift

Reeds in de inleiding is aangegeven dat de zeescheepvaart en de binnenvaart relatief schone vervoerswijzen zouden zijn. Ook is in hoofdstuk 8 het begrip 'modal shift' aan bod gekomen. Volgens Transport Logistiek Nederland is het voornamelijk interessant om goederentransport te verschuiven van de weg naar intermodaal binnenvaart of naar short sea shipping. De voornaamste voordelen van wegtransport is het 'door-to-door'-principe en de te behalen snelheden. Aangezien het transport met alleen de binnenvaart niet voldoet aan dit principe zal voor- en natransport per vrachtwagen noodzakelijk zijn. Ook de lage snelheid kan een beperking zijn bij het kiezen van transport per binnenschip. Hierbij wordt de kanttekening gemaakt dat het energiegebruik bij een binnenschip sneller stijgt met de snelheid dan bij een vrachtwagen. Bij een trein verschilt deze relatie tussen energiegebruik en snelheid niet zoveel van de vrachtwagen. [TLN, 1999]

De rederijen en andere belanghebbenden gebruiken vaak het argument dat de binnenschepen relatief schoner zijn dan vrachtwagens. Het transport per binnenschip is volgens hen daardoor beter. Het treffen van milieumaatregelen hoeft daarom niet drastisch en op korte termijn te gebeuren. [NIRIA, 2000] Deze vergelijking van emissies is te zien in tabel 9.1.

Tabel 9.1. Vergelijking van de emissies tussen vrachtauto en binnenschip. [NIRIA, 2000]

Jaar	Huidige situatie		2002		2005	
	Vrachtauto	Binnenschip	Vrachtauto	Binnenschip	Vrachtauto	Binnenschip
NO <sub>x</sub> (gram/tonkm)	8,34	1,45	5,1	1,02	4,87	0,67
CO <sub>2</sub> (gram/tonkm)	938	81	920	75	890	69

Wanneer gekeken wordt naar de emissie per tonkilometer is de binnenvaart schoner dan vervoer over de weg. Maar wanneer de totale omvang van de NO<sub>x</sub>-emissies bekeken wordt, ziet deze verhouding er toch anders uit (zie tabel 9.2).

Tabel 9.2. Vergelijking van de omvang van emissies door vrachtauto's en binnenschepen op Nederlands grondgebied in 1999 en EC-2010. [Van den Brink, 2000; Feimann et al., 2000]

Jaar	1999			EC-2010		
	Totaal verkeer en vervoer	Vrachtauto's en trekkers	Binnenschip	Totaal verkeer en vervoer	Vrachtauto's en trekkers	Binnenschip
NO <sub>x</sub> (miljoen kg)	269,1	67,2	35,3	161	40,6	34
CO <sub>2</sub> (miljard kg)	36	6,0	1,9	38,9	8,8	1,8
SO <sub>2</sub> (miljoen kg)	23,1	1,8	2	13,7	0,3	1,2
NO <sub>x</sub> (%)	100%	25,0%	13,1%	100%	25,2%	21,1%
CO <sub>2</sub> (%)	100%	16,7%	5,3%	100%	22,6%	4,7%
SO <sub>2</sub> (%)	100%	7,8%	8,7%	100%	2,1%	8,6%

<sup>58</sup> Interview met dhr. P. 't Hart, projectmanager R&D bij de Vereniging Nederlandse Scheepsbouw Industrie (VNSI) op woensdag 20 juni 2001, Zoetermeer



In tabel 9.2 is te zien dat de omvang van de NO<sub>x</sub>- en de CO<sub>2</sub>-emissie op Nederlands grondgebied voor het goederentransport over de weg groter is dan voor de binnenvaart. Opvallend is dat de emissie van SO<sub>2</sub> door de binnenvaart in 1999 ongeveer even groot is als de SO<sub>2</sub>-emissie door het goederenwegtransport. Dit is in 2010 zelfs ruim vijf keer zo groot. Dit grote verschil is toe te schrijven aan het verschil in zwavelgehalte voor het wegverkeer en binnenvaart, respectievelijk 50 ppm in 2005 en 1000 ppm in 2008.

## 9.6 Verschillende belangen

Verschillende ministeries zullen verschillende belangen hebben bij het maken van beleid omtrent emissies in de scheepvaartbranche. Zo zal het Ministerie van V&W de concurrentiepositie van Nederland en andere aspecten rond 'quality shipping' goed in de gaten houden, terwijl het Ministerie van VROM beleid meer vanuit een milieu-oogpunt zal bekijken. Ook de scheepsbouw industrie, de reders zelf en zelfs de verladers zullen hun belangen willen behartigen. Daarom zou ook rekening gehouden moeten worden met alle betrokken partijen bij het maken van beleid. Het nadeel is dat het gehele besluitvormingsproces hierdoor vertraagd kan worden.

## 9.7 SO<sub>2</sub>-problematiek

Zoals in paragraaf 3.3.2 reeds is aangegeven wordt door één bron gesteld dat zure regen door SO<sub>2</sub> schadelijk is voor het leven op land maar niet voor het leven in zee. Door verdunning van SO<sub>2</sub> in het zeewater zal de concentratie van zwaveldioxide in het zeewater zeer klein zijn. Op deze manier zou de concentratie van SO<sub>2</sub> in het zeewater op natuurlijk wijze in balans blijven. [Oftedal et al., 1996] Meer onderzoek naar dit fenomeen is gewenst.

Wanneer het stoken van hoogzwavelige brandstoffen verboden zal worden in de scheepvaartsector, bestaat de kans dat deze brandstoffen gebruikt zullen worden op locaties op het land. Het is de vraag of deze verschuiving gewenst is. Hierbij moet wel rekening gehouden worden dat er op dit moment reeds strenge regelgeving is omtrent de uitstoot van stoffen door stationaire bronnen, zoals elektriciteitscentrales (BEES).

## 10 Conclusies

### 10.1 Inleiding

Momenteel wordt de scheepvaart een relatief milieuvriendelijke vervoerswijze genoemd, maar het aandeel van scheepvaartsector in de totale emissies van verkeer en vervoer is reeds hoog. De verwachting is dat bij ongewijzigd beleid het aandeel van de emissies door de scheepvaart in de totale emissie door verkeer in vervoer zal toenemen in de toekomst. De onderzoeksvraag van dit rapport luidde daarom ook:

*Welke technische en beleidsmatige mogelijkheden bestaan er om emissies naar de lucht op Nederlands territorium in de sectoren binnenvaart en zeescheepvaart ten behoeve van het goederentransport te verminderen in de periode tot 2020?*

Dit onderzoek is voornamelijk gericht op emissies op Nederlands grondgebied door de zeescheepvaart binnengaats en door de binnenvaart. Daarnaast gaat het rapport in op de emissies door de zeescheepvaart betrokken die plaatsvinden op het Nederlands Continentaal Plat (dus buitengaats). Hierbij is voornamelijk gekeken naar de emissie van broeikasgassen, verzurende stoffen en naar overige emissies. Hierbij moet de kanttekening gemaakt worden dat de emissie van roet, ozon en fijn stof een minder grote impact heeft op de gezondheid van mens en dier, omdat de emissies op zee plaatsvinden. Maar door de lange verblijftijd van sommige stoffen in de atmosfeer kunnen emissies, uitgestoten op het water, toch het land bereiken en daar van invloed zijn op de milieubelasting.

### 10.2 Bepalende factoren

De belangrijkste factoren die de emissies door de zeescheepvaart en binnenvaart beïnvloeden zijn:

- de gebruikte brandstoffen. Scheepsgasolie (MDO) is een veel schonere brandstof dan zware stookolie (HFO).
- de gebruikte technieken.
- de volume-ontwikkelingen.
- de ruimtelijke aspecten.

Voor alle emissies door zowel de zeescheepvaart als de binnenvaart geldt dat een toename wordt verwacht voor de periode 2001-2030. Dit is overeenkomstig de stijging van het energiegebruik door beide sectoren. Deze toename is voor de zeescheepvaart sterker dan voor de binnenvaart. In IPCC-methodiek worden emissies van de internationale zeescheepvaart niet aan landen toegerekend vanwege het ontbreken van de relatie tussen plaats van brandstofverkoop en plaats van emissie. Afhankelijk van de gebruikte allocatie-methode is Nederland verantwoordelijk voor maximaal 20% van de totale mondiale CO<sub>2</sub>-emissie door de internationale zeescheepvaart. Dit komt overeen met circa 33 miljoen ton CO<sub>2</sub>.

### 10.3 Verbeteringsmogelijkheden

Er zijn een aantal mogelijkheden om emissies naar de lucht te verminderen, namelijk op het gebied van:

- huidige brandstoffen. De omvang van de SO<sub>2</sub>-emissie is afhankelijk van de samenstelling van de brandstof. Er kunnen schonere brandstoffen gebruikt worden die reeds op de markt aanwezig zijn, zoals scheepsgasolie, aardgas en laagzwavelige brandstoffen. Scheepsgasolie en laagzwavelige brandstoffen kunnen reeds zonder technische aanpassingen in schepen gebruik worden. Dit wordt echter niet gedaan, terwijl er, behalve financiële argumenten, geen plausibele argumenten, zijn om dit niet te doen.
- alternatieve brandstoffen. Het toepassen van alternatieve brandstoffen, zoals biobrandstoffen, dimethyl ether, synthetische diesel ('gas-to-liquid') en PuriNO<sub>x</sub> kan ook leiden tot reductie van

verschillende emissies. De meeste van deze brandstoffen zijn nog niet commercieel toepasbaar, vaak om economisch en technische redenen.

- energiebesparende en emissiereducerende ingrepen. Door het brandstofverbruik te reduceren met behulp van technische ingrepen die de energie-efficiëntie verhogen, kan de omvang van de verschillende emissies verkleind worden. Daarnaast kunnen technische maatregelen genomen worden die specifiek gericht zijn op het reduceren van emissies.
- aanpassingen aan motor en verbrandingsproces. De omvang van de emissie van NO<sub>x</sub> wordt bepaald door het design van de motor en het verbrandingsproces. De NO<sub>x</sub>-uitstoot kan verminderd worden door de inputfactoren naar de motor als temperatuur, druk en verblijftijd te veranderen. Dit kan ook bewerkstelligd worden door aanpassingen te doen aan de motor zelf.
- 'end-of-pipe'-technieken. Hierbij krijgen de verbrandingsgassen een nabehandeling. Met deze maatregelen kunnen emissies zoals NO<sub>x</sub>, fijn stof en SO<sub>2</sub> gereduceerd worden. Het SCR-systeem is tot nu toe de enige techniek om zeer lage NO<sub>x</sub>-emissies te verkrijgen.
- alternatieve motoren. Het zal in de toekomst mogelijk zijn om schepen te voorzien van alternatieve motoren, zoals de brandstofcel, de duale motor en de gasmotor in plaats van de conventionele dieselmotoren. Dit zal ook resulteren in lagere emissies.
- technologisch-logistieke maatregelen. Voorbeelden hiervan zijn het verhogen van de gemiddelde beladingsgraden en het kiezen van de juiste vaarsnelheid en motorvermogen. Ook nieuwe alternatieve voortstuwingssystemen, als het Whale Tail Wheel zullen de energie-efficiëntie van schepen in de toekomst verhogen.

Het is niet altijd mogelijk om alternatieve brandstoffen of technische maatregelen toe te passen in schepen. Vaak vereist dit vele technische aanpassingen. Daarnaast zijn nog vele verbeteringsmogelijkheden in pilot-fase, wat implementatie op korte termijn niet mogelijk maakt. Door de lange technische levensduur van schepen in zowel de zeescheepvaart als de binnenvaart zal het lang duren voordat de effecten van de implementatie van verbeteringsmogelijkheden merkbaar zijn. Ook andere implementatiebarrières op maatschappelijk, juridisch, economisch, logistiek en technologisch gebied zullen overbrugd moeten worden.

## 10.4 Economisch aspecten

Niet alleen de mogelijkheden op het gebied van brandstof en techniek zijn belangrijk voor de reders, maar ook de financiële consequenties van deze verbeteringsmogelijkheden. Om vanuit economisch oogpunt deze maatregelen te kunnen beoordelen, is geprobeerd om de kosten en/of de kosteneffectiviteit te bepalen van deze maatregelen. Dit is niet voor alle maatregelen gelukt. Hieronder zullen de belangrijkste economische aspecten behandeld worden.

- In tegenstelling tot het wegtransport betalen de reders van zowel de binnenvaart als de zeescheepvaart geen accijns of heffingen op de scheepsbrandstoffen. De bulkprijs van scheepsbrandstoffen is reeds laag in vergelijking met de bulkprijs van brandstof voor het wegverkeer, maar door de afwezigheid van accijns is de prijs van scheepsbrandstoffen nog lager.
- Het gebruik van meer milieuvriendelijke (alternatieve) brandstoffen, zoals laagzwavelige brandstoffen, biobrandstoffen en GTL-brandstoffen brengt redelijk hoge kosten met zich mee in vergelijking met de huidige conventionele brandstoffen. Alleen de kosten van het gebruik van PuriNO<sub>x</sub> is maar in geringe mate hoger dan van het gebruik van huidige scheepsbrandstoffen.
- Ook de meeste nieuwe technieken, zoals het SCR-systeem, de HAM-techniek, een elektronische brandstof/luchtregeleenheid en de vervanging van een HS-motor door een MS-motor vergen hoge investeringen, die op kunnen lopen tot (tien)duizenden euro's.
- Nieuwe alternatieve motoren, zoals de brandstofcel en de gecombineerde gasturbine/stoom-turbine, zullen voorlopig economisch niet rendabel zijn voor commercieel gebruik. Ook andere verbeteringsmogelijkheden vereisen vaak hoge investeringen.

## 10.5 Beleid voor de scheepvaartsector

Wanneer er beleid op het gebied van zeescheepvaart en binnenvaart opgesteld moet worden, zijn er aangrijpingspunten nodig om beleid te introduceren. Hiervoor zijn er drie mogelijke invalshoeken voor beleid: als een kuststaat, een vlaggestaat of een havenstaat. Deze invalshoeken bepalen de jurisdictie van Nederland. Hierbij kan er een onderscheid gemaakt worden tussen internationaal, Europees en nationaal beleid.

### 10.5.1 Internationaal beleid

Voor de zeescheepvaart is de International Maritime Organization (IMO) het belangrijkste orgaan. Annex VI van het Marpol-verdrag ('Internationaal Verdrag ter Voorkoming van Verontreiniging door Schepen') omvat regels omtrent de beperking van luchtverontreiniging door zeeschepen. Hierin staat onder andere:

- een NO<sub>x</sub>-normstelling (afhankelijk van toerental) voor alle nieuwe motoren die op of na 1 januari 2000 op schepen gebouwd zijn. Deze maatregel is van toepassing met terugwerkende kracht. Dus bij ratificatie van Annex VI moeten alle motoren die na 1 januari 2000 geïnstalleerd zijn, voldoen aan deze normstelling. Daarom produceert de motorindustrie reeds motoren volgens deze NO<sub>x</sub>-emissienorm.
- een maximale zwavelgehalte 4,5m% in scheepsbrandstoffen. Deze norm is abnormaal hoog en biedt veel ruimte voor normopvulling (zwavel toevoegen tot de norm is bereikt).
- de mogelijkheid voor een 'SO<sub>x</sub>-emission control areas' in te stellen, waar de SO<sub>2</sub>-uitstoot niet meer dan 6 gr/kWh mag bedragen. Dit komt overeen met het gebruik van brandstof met een maximale zwavelgehalte van 1,5%. Voor de Noordzee is reeds een amendement aangenomen voor het verkrijgen van deze status.
- het opzetten van een emissieregistratiesysteem.

Op dit moment wordt er in verschillende landen de omvang van emissies geregistreerd. Maar bij het rapporteren van emissies door bunkerbrandstoffen zal aan een aantal voorwaarden voldaan moet worden om vergelijking tussen verschillende landen mogelijk te maken:

- De beschikbaarheid van data om nationaal en internationaal gebruik te onderscheiden.
- Het consistent gebruiken van de definities 'nationaal brandstofverbruik' en 'internationaal brandstofverbruik'.
- Het consistent gebruiken van de methoden om emissies te bepalen.

Deze voorwaarden zijn van belang bij:

- het toedelen van emissies van de internationale zeescheepvaart aan de verschillende landen. In het Kyoto-protocol worden de CO<sub>2</sub>-emissies van de internationale scheepvaart buiten beschouwing gelaten bij de allocatie, maar in de toekomst zou deze allocatie kunnen plaatsvinden. Maar aangezien het protocol op dit moment een verminderde stabiliteit heeft, is het nog onduidelijk in hoeverre deze ontwikkelingen zich in de toekomst zullen voordoen.
- emissiehandel in de scheepvaart. Emissiehandel kan de implementatie van technische maatregelen vergemakkelijken.
- het opstellen van emissienormen voor CO<sub>2</sub> in de scheepvaartsector ook een beleidsmaatregel zijn om tot een reductie van de uitgestoten CO<sub>2</sub> te komen.

Annex VI is (nog) niet internationaal van kracht en dus ook nog niet in de Nederlandse wetgeving vastgelegd. De voorwaarde van internationale bekrachtiging is dat meer dan 15 landen Annex VI ratificeren en dat deze landen meer dan 50% van de totale wereldhandelstonnage vertegenwoordigen. Aangezien de vooruitzicht is dat deze ratificatie niet op korte termijn zal gebeuren, zou in EU-verband of zelfs in breder verband reeds verdergaande maatregelen getroffen moeten worden.

Japan is dit voorjaar gekomen met tien voorstellen die betrekking hebben op het onderwerp 'preventie van verontreinigingen door de scheepvaart'. Deze voorstellen zijn zeer vooruitstrevend. Het is de bedoeling dat tijdens de Ministeriële Conferentie over milieu en transport in januari 2002 op basis van

deze voorstellen overeenstemming wordt bereikt met alle deelnemende landen over een zogenaamde 'Joint Action Plan'. De bedoeling van Japan is om het invoeren van milieubeleid te versnellen en om verdergaande stappen op milieugebied te nemen ten opzichte van de internationale milieu-organisaties van de Verenigde Naties.

### 10.5.2 Europees beleid

Op het gebied van zeescheepvaart is er weinig Europees beleid; dit in tegenstelling tot de binnenvaart. Voor de binnenvaart is de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) in Straatsburg een belangrijk orgaan. De CCR heeft voorstellen gedaan voor een stapsgewijs strenger wordende normstelling.

- Medio 2000 is de CCR gekomen tot een eerste fase-normstelling voor nieuwe motoren, die vanaf 1 januari 2002 in binnenschepen zullen worden geïnstalleerd.
- In het begin van 2001 is er overeenstemming bereikt tussen de CCR en de motorindustrie over een nieuwe tweede fase normstelling met betrekking tot de emissie van NO<sub>x</sub>, die vanaf circa 2005 ingevoerd zal worden.
- Er zijn nog geen definitieve gegevens bekend over de derde fase emissienormstelling, maar waarschijnlijk zal de NO<sub>x</sub>-norm liggen rond de 2,5 gram/kWh. De invoering van deze derde fase zal waarschijnlijk in 2008 plaatsvinden.
- Verdergaande aanscherping van de normen is mogelijk, maar hierover zijn nog geen gegevens bekend.

Het zwavelgehalte van scheepsgasolie in de binnenvaart bedraagt circa 2.000 ppm (0,2‰). De norm voor diesel voor wegverkeer zal 50 ppm bedragen vanaf 2005, wat ruim een factor veertig groter is dan voor scheepsgasolie. Voor zware stookolie en scheepsgasolie in de zeescheepvaart zal het zwavelgehalte circa een factor duizend verschillen. Hier is te zien dat er een groot verschil is tussen regelgeving voor het wegverkeer en voor de scheepvaart. Europese en mogelijk internationale regelgeving is noodzakelijk om de SO<sub>2</sub>-emissie in de scheepvaartsector te reduceren. Er is reeds regelgeving om het zwavelgehalte in scheepsgasolie te verlagen naar 1.000 ppm in 2008.

### 10.5.3 Nationaal beleid

De achterliggende gedachte bij het maken van beleid inzake de keuze van vervoerswijze is de afgelopen jaren verschoven van het stimuleren van 'modal shift' van weg naar spoor en binnenvaart naar het stimuleren van de meest milieuvriendelijke vervoerswijze.

Voor de Nederlandse overheid zijn er een aantal mogelijkheden om beleid te voeren ter reductie van emissies naar de lucht door de scheepvaartsector:

- verlenen van financiële stimulansen aan rederijen voor het toepassen van verbeteringsmogelijkheden (onder andere vervroegde vervanging van motoren),
- verlenen van financiële stimulansen voor het uitvoeren naar onderzoek naar verbeteringsmogelijkheden,
- heffen van accijns op bepaalde brandstoffen,
- differentiatie van gelden voor vaarwater en havenrechten,
- kostendoorberekening naar verlader en consument,
- het opzetten van een emissieregistratiesysteem.

Naast opgelegde beleidsmaatregelen toont de scheepsbranche zelf ook initiatief om te komen tot reducties van emissies naar de lucht. Hiermee kunnen zij een concurrentievoordeel en een beter imago door krijgen.

Uit onderzoek is gebleken dat brandstofaccijns en een stimuleringsregeling in de binnenvaart kunnen leiden tot emissiereducties van CO<sub>2</sub> respectievelijk NO<sub>x</sub>. Met de implementatie van technische maatregelen in de wereldvloot van de zeescheepvaart kunnen theoretische energiebesparingen van 15 à 20% in 2010 en van 25 à 30% in 2020 worden behaald ten opzichte van een basis-scenario zonder implementatie van maatregelen. De normstelling voor zeeschepen in het Marpol-verdrag zal geen

milieu-effect hebben, omdat de zeeschepen reeds aan deze normen voldoen. Voor de binnenvaart wordt wel effect verwacht van de CCR-normstelling

## **10.6 Slotoverweging**

Uit bovenstaande gegevens kan geconcludeerd worden dat er een aantal mogelijkheden zijn om de emissies in zowel de zeescheepvaart als de binnenvaart te reduceren door gebruik te maken van technische maatregelen en beleidsmaatregelen.

De komst van internationale normstelling voor zeeschepen op het niveau van het wegverkeer zal niet op korte termijn komen. Daarom is het noodzakelijk om zelf stappen te ondernemen, zoals Japan ook voorstelde. Nederland zou bijvoorbeeld in EU-verband verdergaande maatregelen kunnen treffen voor Europese wateren en voor de brandstofkwaliteit. De stand der techniek is reeds zover dat emissiereducties behaald kunnen worden en er zijn in principe geen argumenten om deze technische maatregelen niet toe te passen.

Door het internationaal karakter van de scheepvaartsector is het vaak wel noodzakelijk om regelgeving, prijsbeleid en andere instrumenten op te stellen in een internationaal samenwerkingsverband. Dit is nodig om te voorkomen dat reders regelgeving ontwijken door onder een andere vlag te gaan varen.

## 11 Aanbevelingen tot verder onderzoek

In dit hoofdstuk zal kort een aantal aanbevelingen gegeven worden tot het doen van verder onderzoek.

- In het conceptueel model staan veertien factoren die van invloed zijn op de milieubelasting van de scheepvaartsector. In dit rapport is een afbakening gemaakt en de nadruk gelegd op zes factoren. Het verdient aanbeveling om de invloed van de overige acht factoren op de milieubelasting te onderzoeken.
- Het verdient aanbeveling om metingen verrichten voor het bepalen van de emissiefactoren van de huidige schepen in de zeescheepvaart en binnenvaart.
- Het verdient aanbeveling om te achterhalen welke producten er nu precies als zogenaamde 'cutterstock' aan zware stookolie toegevoegd worden, evenals de hoeveelheden.
- Het verdient aanbeveling om onderzoek te doen naar de bestemming van zwavel die ontstaat bij het toepassen van het ontzwavelingsproces bij scheepsbrandstoffen.
- Het verdient aanbeveling om bij het uitvoeren van verbeteringsmogelijkheden eerst verder onderzoek te verrichten voor de specifieke situatie.
- Het verdient aanbeveling om te onderzoeken wat het aandeel van de brandstofkosten is in het totaal van transportkosten voor de zeescheepvaart en binnenvaart.

Zoals in de inleiding is aangegeven, dient te worden aangetekend dat dit rapport een inventarisatie van informatiebronnen betreft, zonder dat een validatie op die bronnen heeft plaatsgevonden. Dit is vooral van belang omdat de wetenschappelijke kwaliteit van sommige bronnen niet bekend is. Het verdient daarom aanbeveling die bronnen te valideren.

## Literatuur

- Acker GH (1986), *A Study of the Combustion Characteristics of the Dual Fuel Diesel Engine*, University of Alabama, website <http://nsgl.gso.uri.edu/cgi-bin/copyright.cgi?http://nsgl.gso.uri.edu/masgc/masgcx87004.pdf>, geraadpleegd in mei 2001
- Agee MA (1998a), *Gas to Liquids Technology - A New Tool for the Energy Industry*, Syntroleum Corporation, Tulsa, Oklahoma, USA, presentation at the AiC Gas to Liquids Conversion Conference in Singapore, website [http://www.syntroleum.com/sn4\\_pap.htm](http://www.syntroleum.com/sn4_pap.htm), geraadpleegd in mei 2001
- Agee MA (1998b), *GTL vs. Low Oil Prices, The Insulating Factors*, Syntroleum Corporation, Tulsa, Oklahoma, USA, at the Monetizing Stranded Gas Reserves '98 Conference, San Francisco CA USA, website [http://www.syntroleum.com/sn4\\_pap.htm](http://www.syntroleum.com/sn4_pap.htm), geraadpleegd in mei 2001
- Agee MA (1999), *Fuels for the Future*, Syntroleum Corporation, Tulsa, Oklahoma, USA, at the Energy Frontiers International Conference in San Francisco, California, USA, website [http://www.syntroleum.com/sn4\\_pap.htm](http://www.syntroleum.com/sn4_pap.htm), geraadpleegd in mei 2001
- Anonymous (1999), website <http://www1.tip.nl/~t025364/reader/aanvulling5.htm>, artikelen over brandstofontzweveling, SCR-systeem en rookgasontzweveling, geraadpleegd in juni 2001
- Bascombe A (1997), Containerisation International, Europe's 'Green' Arteries. 30/9, p.77-81
- Beumer L, Tak CM van der, Melissen P (1997), *Marine Bunker Fuel Taxes, Final Report*, Netherlands Economic Institute (NEI), Rotterdam
- BISNIS (2001), website <http://www.bisnis.doc.gov/bisnis/isa/9812SHIP.HTM> van Business Information Service for the Newly Independent States, geraadpleegd in juli 2001
- Blok P, Wee GP van (1994), Het Verkeersvraagstuk. In: Dietz F, Hafkamp W, Straaten J van der (red.), Basisboek milieu-economie, Amsterdam/Meppel: Boom
- Blythe NX (2000), *Present and Future Emission Prospects for Diesel and Natural Gas Fueled Marine Engines*, Fairbanks Morse Engine Division (MARAD Workshop)
- Boose JJEC, Saitua R, Schuylenburg M. van, Wee GP van (1994), *Geaggregeerd Model voor Volume-ontwikkelingen in de Zeescheepvaart (aggregatie van de modellen GSM6 en Progtot3)*, Rapportnr. 251701 018, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven
- Brink RMM van den (2000), *Verkeer en Vervoer in de Milieubalans 2000*, Rapportnr. 251701 044, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Bunkerworld (2001), website [www.bunkerworld.com](http://www.bunkerworld.com) en website [www.exchangerate.com](http://www.exchangerate.com) voor valutaconversies
- Burgel AP (2000), Schip en Werf, Emissies van de Zeescheepvaart naar Atmosfeer en Water, Marine Technology de Zee, Special Maritieme Milieumaatregelen 'Van Kinsbergen' (10<sup>e</sup> jaargang, februari 2000)
- Burgel AP (2001), Milieu en Recht, Milieu en Zeescheepvaart, april 2001, Den Haag
- BZB (2000), *Besluit Zwavelgehalte Brandstoffen* uitgegeven op 29 juni 2000, Stb. 261, Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, jaargang 2000, Den Haag, website [http://europa.eu.int/eur-lex/nl/lif/dat/1999/nl\\_399L0032.html](http://europa.eu.int/eur-lex/nl/lif/dat/1999/nl_399L0032.html), geraadpleegd in juni 2001
- Calstart en Weststart (2000), *Clean Marine Transit Overview*, (MARAD Workshop)



Carlsson B (2001), *Ecoship to Make Sea Transport More Sustainable*, Enviroreport, website [http://www.environ.se/enviroreport/enviro\\_frameset3.htm](http://www.environ.se/enviroreport/enviro_frameset3.htm) van Enviroreport, geraadpleegd in juli 2001

CBS (2001), website <http://www.cbs.nl> en <http://statline.cbs.nl>, geraadpleegd in mei/juni 2001

Corbett JJ, Farrell A (2000), *Trends in International, Federal and Local Marine Emission regulations*, University of Delaware, Carnegie Mellon University (MARAD Workshop)

Davies ME, Plant G, Cosslett C, Harrop O, Petts JW (2000), Rapportnummer 3623, *Study on the Economic, Legal, Environmental and Practical Implications of a European Union System to Reduce Ship Emissions of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>*, BMT Murray Fenton Edon Liddiard Vince Limited, Middlesex, England, website [http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/taxation/ship\\_emissions/mainfinal.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/taxation/ship_emissions/mainfinal.pdf), geraadpleegd in februari 2001

De Zee (2000), *Schip en Werf, Voortgangsnota Scheepvaart en Milieu (SVM), Een Samenvatting*, Marine Technology de Zee, Special Maritieme Milieumaatregelen 'Van Kinsbergen' (10<sup>e</sup> jaargang, februari 2000)

DGG (1998), *Varen onder Groene Vlag, Voortgangsnota Scheepvaart en Milieu (SVM)*, Directoraat-Generaal Goederenvervoer, Ministerie van Verkeer & Waterstaat, Den Haag

DGG (2001), website <http://waterland.net/dgg>, geraadpleegd in maart 2001

Dijkstra WJ (2001a), *Emissiefactoren Fijn Stof van de Scheepvaart*, CE Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie, Delft, website <http://www.ce.nl>, geraadpleegd in mei 2001

Dijkstra WJ, Bekkers AFP (1999), *Demonstratieprojecten in de Binnenvaart – Voorstudie en Marktverkenning-*, CE Centrum voor energiebesparing en Schone Technologie, Delft

Dijkstra WJ, Dings JMW (1997), *Specific Energy Consumption and Emissions of Freight Transport, a Comparison between Road, Water, Rail and Air*, Centre for Energy Conservation and Environmental Technology, Delft

Dijkstra WJ, Dings JMW (2000a), *Milieubelasting van Mobiele bronnen: 4 'vergeten' categorieën*, CE Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie, Delft, website <http://www.ce.nl>, geraadpleegd in maart 2001

Dijkstra WJ, Janse P (2000b), *Vijf Jaar Integratieproject Transport en Milieu -terugblikken en vooruitzien-*, CE Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie, Delft, website <http://www.ce.nl>, geraadpleegd in maart 2001

Dijkstra WJ, Janse P (2001), *Potentiële Vergroeningsmaatregelen in Verkeer en Vervoer voor het Belastingstelsel*, CE Centrum voor energiebesparing en Schone Technologie, Delft, website <http://www.ce.nl>, geraadpleegd in mei 2001

Dings JMW (1996), *Kosten en milieu-effecten van technische maatregelen in het verkeer*, CE Centrum voor energiebesparing en Schone Technologie, Delft

Dings JMW, Dijkstra WJ, Moorman SAH, Janse P (1997), *Schoon Schip in de Nederlandse Binnenvaart*, CE Centrum voor energiebesparing en Schone Technologie, Delft

Dings JMW, Janse P, Leurs BA, Davidson MD (1999a), *Efficiënte Prijzen voor het Verkeer, Raming van Maatschappelijke Kosten van het Gebruik van Verschillende vervoermiddelen*, CE Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie, Delft

- Dings JMW, Metz D, Leurs BA, Bleijenberg AN (1999b), *Beter Aanbod, Meer Goederenvervoer?*, CE Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie, Delft. website <http://www.ce.nl>, geraadpleegd in maart 2001
- ECSA (2000), *The Environmental Benefits of Maritime Transport, A Comparison Sea-road-rail on Four European Routes*, Confitarmia en European Community Shipowners Associations (ECSA)
- EU (1999), Richtlijn 1999/32/EG van de Raad van de Europese Unie van 26 april 1999 betreffende een vermindering van het zwavelgehalte van bepaalde vloeibare brandstoffen en tot wijziging van Richtlijn 93/12/EEG, Publikatieblad nr L 121 van 11/05/1999 BLZ. 0013 – 0018, website [http://europa.eu.int/eur-lex/nl/lif/dat/1999/nl\\_399L0032.html](http://europa.eu.int/eur-lex/nl/lif/dat/1999/nl_399L0032.html), geraadpleegd in juni 2001
- Faber J (2000), dictaat *Systeemtheorie 2*, Universiteit Utrecht, Natuurwetenschappen en Bedrijf & Bestuur, Utrecht
- Feimann PFL, Geurs KT, Brink RMM van den, Annema J.A., Wee GP van (2000c), *Verkeer en Vervoer in de Nationale Milieuverkenning 5 2000-2030*, Rapportnr. 408129014, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, website <http://www.rivm.nl> geraadpleegd in juni 2001
- Fiffick L (2000), *Port of Houston Authority Air Adventure: 2000 and Beyond*, Environmental Affairs Department U.S.A. (MARAD Workshop)
- Gale NF (1989) *Technology Today, Diesel Engine Design for Cleaner*, gepubliceerd door SwRI (herfst 1989), Southwest Research Institute, San Antonio, Texas, USA
- Gelder, E van (2000), Index, De Vervoerder van Europa, Centraal Bureau Statistiek, website <http://www.cbs.nl>, geraadpleegd in mei 2001
- Gelderlander (1998), *De Gelderlander, Binnenvaart geduchte concurrent Betuwelijn* van 12 maart 1998, website <http://www-eed.let.uu.nl/dia/econom/jowi.htm>, geraadpleegd in mei 2001
- Geurs KT, Brink RMM van den, Annema JA, Wee GP van (1998), *Verkeer en Vervoer in de Nationale Milieuverkenning 4 1997-2020*, Rapportnr. 773002 011, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven
- Harms L (2000), *Binnenvaart en Zeescheepvaart (Volume- en Ruimtelijke Ontwikkelingen)*, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven
- Heil GW (2000), dictaat *Ecologische Effecten van Klimaats- en Milieuvariaties*, Universiteit Utrecht, Natuurwetenschappen en Bedrijf & Bestuur, Utrecht
- Heminway MD, Goulette D, Ripley G, Thoreson T, Kupe J (Delphi Automotive Systems (1999), *Evaluation of a Non-thermal Plasma System for Remediation of NO<sub>x</sub> in Diesel Exhaust*, SAE, the Engineering Society for Advancing mobility Land, Sea, Air and Space, Warrendale U.S.A. (N.B. literatuur ontvangen van TNO Wegtransportmiddelen)
- Hoard J (2001), *Plasma-catalysis for Diesel Exhaust Treatment: Current State of the Art*, Ford Research Laboratory (N.B. literatuur ontvangen van TNO Wegtransportmiddelen)
- Holt DFGA ten (2001), meerdere e-mails over de CCR-normstelling en Tweede Fase-norm Binnenvaart, Overleg Motorfabrikanten/CCR 29-01-01, Den Haag
- Hulskotte JHJ, Koch WWR (2000), *Emissiefactoren Zeeschepen*, TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn
- IMO (2000), *Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships*, studie uitgevoerd door MARINEK, Det Norske Veritas, Econ Centre for Economic Analysis, Carnegie Mellon University in opdracht van International Maritime Organization, London

Infomil (2001), website <http://www.infomil.nl/lucht/index.htm> van Infomil, geraadpleegd in juli 2001

IPCC (2000), *IPCC Special Report on The Regional Impacts of Climate Change, An Assessment of Vulnerability*, website <http://www.ipcc.ch/pub/sarsum1.htm>, geraadpleegd in juni 2001

IPCC (2001), website <http://www.ipcc.ch/pub/sarsum1.htm>, geraadpleegd in mei 2001

Janse P, Roos JHJ (1994), *Differentiatie van de Externe Kosten van het Nederlandse Goederenvervoer, Eindrapport*, CE Centrum voor energiebesparing en schone technologie, Delft

Kågeson P (1999), T&E Report 99/7, *Economic Instruments for Reducing Emissions from Sea Transport*, The Swedish NGO Secretariat on Acid Rain, European Federation for Transport and Environment (T&E), European Environmental Bureau (EEB), Solna, Zweden, website <http://www.t-e.nu>, geraadpleegd in februari 2001

King SR (1992), *Technology Today, Understanding the effects of Variations in Natural Gas Fuel Composition on Vehicle Operation* gepubliceerd door SwRI (lente 1992), Southwest Research Institute, San Antonio, Texas, USA

Klimbie B, Leurs B, Werff T van der, (2000), *De Internationale Prijs van CO<sub>2</sub>, Determinanten en Schattingen*, CE Centrum voor energiebesparing en Schone Technologie, Delft, website <http://www.ce.nl>, geraadpleegd in maart 2001

KNVTS (2001), Website [http://www.knvts.nl/innovatie\\_2001.htm](http://www.knvts.nl/innovatie_2001.htm) van de Koninklijke Nederlandse Vereniging van Technici op Scheepvaartgebied, geraadpleegd in juli 2001

Lemieszewski S (1999), *Swedenvironment, Incentives to Boost Environmental Shipping, the Swedish Maritime Administration*, website <http://www.swedenvironment.environ.se/no9901/9901.html>, geraadpleegd in juni 2001

Lubrizol (2001), e-mail inclusief bijlagen van Mike Attfield, bedrijfsmanager PuriNO<sub>x</sub><sup>TM</sup>, Den Haag, website <http://www.lubrizol.com/PuriNOx/default.htm>, geraadpleegd in mei 2001

M.D.A. (2000), *Dual Fuel (Natural Gas/Diesel) Marine Installations*, Marine Design Associates Ltd., Victoria, British Colombia, Canada (MARAD Workshop)

MARAD (2000), Verschillende presentaties op 'Workshop on Alternative Fuels for Ferries and Other Vessels' (zie afzonderlijke presentaties), Maritime Administration, Alameda CA, USA, website [http://www.marad.dot.gov/nmrec/conferences/nmrec\\_conf.html](http://www.marad.dot.gov/nmrec/conferences/nmrec_conf.html), geraadpleegd in april 2001

Michiels FCMA (1998), *De Wet Milieubeheer*, derde druk, Deventer

Ministerie's (1998), *Nationaal Milieubeleidsplan 3*, Ministerie's van VROM, EZ, LNV en V&W, Den Haag

MIT (1999), website <http://web.mit.edu/towtank/www/flapfoil/index.html>, Massachusetts Institute of Technology, Departement of Ocean Engineering, geraadpleegd in april/mei 2001

NBB (2001), website <http://www.biodiesel.org>, National Biodiesel Board, USA, geraadpleegd in april/mei 2001

NBP (2001), website <http://www.ott.doe.gov/biofuels/biofuels.html>, National Biofuels Program from the Office of Transportation Technologies (OTT), USA, geraadpleegd in april/mei 2001

Nederveen AAJ, Konings JW, Stoop JA (1999), website <http://www.tbm.tudelft.nl/webstaf/jann/git6.htm> van de Technische Universiteit Delft, geraadpleegd in mei 2001

NIRIA (2000), *Rotterdam Maritime Symposium, NO<sub>x</sub>/CO<sub>2</sub>-uitstoot in de Scheepvaart*, georganiseerd door de Nederlandse Ingenieursvereniging op woensdag 15 november 2000, Ahoy Rotterdam

NKK (2000), website <http://www.nkk.co.jp/en/environment/dme>, NKK Group, Japan, geraadpleegd in mei 2001

Oftedal S, Martens OM, Ellingsen H, Ågren C (1996), *Air Pollution from Sea Vessels, The Need and Potential for Reductions*, T&E: European Federation for Transport and Environment, Brussel, België

PG&E (2000), *Shoreside Logistics for Natural Gas Fueling*, Pacific Gas and Electric Company ((MARAD Workshop)

PPRC (1999), website <http://www.pprc.org/pprc/pubs/topics/altfuels.html>, Pacific Northwest Pollution Prevention Resource Center, geraadpleegd in mei 2001

PVA (2000), *Vessel Operator Desire for New Technology Demonstrations*, Passenger Vessel Association, (MARAD Workshop)

Rissoden JP (1998), *The Docle & Harbour Authority, River-sea Navigation in Europe*, 78/885, p.319-332

RIVM (2000a), *Milieubalans 2000, Het Nederlandse Milieu Verklaard*, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Samson H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn

RIVM (2000b), *Nationale Milieuverkenning 5 2000-2030*, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Samson HD Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn

Russell BJ (1999), *Advantages of Gas-to-Liquids Synthetic Fuels for Use in Fuel Cells*, Syntroleum Corporation, Tulsa, Oklahoma, USA, website [http://www.syntroleum.com/sn4\\_pap.htm](http://www.syntroleum.com/sn4_pap.htm), geraadpleegd in mei 2001

SBTA (1998), *Methodological issues: Emissions Resulting from Fuel Used for International Transportation*, Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice, Bonn, Germany

Scheijgrond B (1997), *Markheim Nederland, Shortsea Shipping*, 86/8, p.11-13

Schmal D (TNO-MEP), Hengst S, Boonstra H, Wagt JC van der (TU Delft), Mallant RKAM (ECN) (2000), *Design and Development of a Prototype Inland Vessel Prototype with Fuel Cell Power Generation*

Scholten H (1998), *Nieuwsbrief van maart 1998, Dutch Initiatives to Protect the Seas and Rivers*, Den Haag

Sefer NR (1993), *Technology Today, Low-Emission Transportation Fuels*, door SwRI (zomer 1993), Southwest Research Institute, San Antonio, Texas, USA

Shell (2001), website <http://www.marineproducts.shell.com> van Shell, geraadpleegd in juli 2001

Snyder PV, Russell BJ, Schubert PF (2000), *The Case for Synthetic Fuels: Enabling Technology for Advanced Engines*, Syntroleum Corporation, at the conference Clean Fuels 2000 - The Race to Produce New Fuels and Engines in Sand Diego, California, USA, website [http://www.syntroleum.com/sn4\\_pap.htm](http://www.syntroleum.com/sn4_pap.htm), geraadpleegd in mei 2001

Stege C ter (2001), *nieuwsblad 'Stromen', Waar Blijft Zwavel uit Groene Diesel?* van 16 maart 2001 (derde jaargang, nummer 5)

STOWA (1998), *Emissies uit Scheepsmotoren, Een Verkennende Studie van Verontreinigingen uit Motoren in de Zeescheepvaart, Beroepsbinnenvaart en Recreatievaart*, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Harlingen

SwRI (2000), *Technology Today*, A Cleaner-burning Diesel van *Southwest Research Institute*, website <http://www.swri.org/3pubs/today/summer00/cdiii.htm>, geraadpleegd in mei 2001

Tagiguchi K (2001), Japanese proposal of policies for 'Prevention of Marine Pollution', Director, International Shipping Division, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Japan), The Embassy of Japan in the United Kingdom

TDC (2001), website <http://www.tc.gc.ca/TDC/summary/13400/13456e.htm>, Transport Canada, Transportation Development Centre, geraadpleegd in april 2001

Thomas SE, Martin, AR, Raybone R, Shawcross JT, NG, KL, Beech P (AEA Technology plc) Whitehead JC, (Department of Chemistry, University of Manchester) (2000), *Non Thermal Plasma Aftertreatment of Particulates- Theoretical Limits and Impact on Reactor Design*, SAE, the Engineering Society for Advancing mobility Land, Sea, Air and Space, Warrendale U.S.A. (N.B. literatuur ontvangen van TNO Wegtransportmiddelen)

TLN (1999), *Het Vergelijken van Appels met Peren, herziene editie*, Transport en Logistiek Nederland, Zoetermeer, website <http://www.tln.nl>, geraadpleegd in maart/april 2001

TLN (2000), *Transport in Cijfers: vervoersstromen, transport & milieu, bedrijfseconomie*, Transport en Logistiek Nederland, website <http://www.tln.nl>, geraadpleegd in maart/april 2001

TNO (2000), nieuwsbrieven uit de periode 1998-2000 van de website <http://www.automotive.tno.nl/smartsite.dws?id=454>, TNO Automotive

Ullmann TJ (1994), *Technology Today*, Reducing Diesel Engine Emissions by Altering Fuel Properties, SwRI (juni 1994), Southwest Research Institute, San Antonio, Texas, USA

UNC-LS (2001), website <http://www.un.org/Depts/los/index.htm>, United Nations Convention on the Law of the Sea, geraadpleegd in juni 2001

V&W (1995), *Voortgangsnota Zeehavenbeleid*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

V&W (2000), *Van A naar Beter, Nationaal Verkeers- en Vervoersplan 2001-2020, Beleidsvoornemen*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

Velzen A van, Wi, RCN (2000), *Nationale Allocation of International Aviation and marine CO<sub>2</sub>-emissions*, Resource Analysis, Centre for Energy Conservation and Environmental Technology, Delft

Venkataraman VK (2000), *Overview of Gas-to-liquids: Its Role in Ultra-clean Transportation Fuels Initiative and Commercialization Strategy*, (MARAD Workshop)

VNSI (2001), *Jaarverslag 2000, Werven en Werk* van de Vereniging Nederlandse Scheepsbouw Industrie (VNSI), Zoetermeer

Waterland (2001), website [http://www.waterland.net/dnz/t1/a1\\_onder.htm](http://www.waterland.net/dnz/t1/a1_onder.htm), geraadpleegd in april/mei 2001

Wee GP van, Kuijpers-Linde MAJ, Gerwen OJ (2001), *Emissies en Kosten tot 2030 bij het Vastgesteld Beleid, Achtergronddocument bij de Nationale Milieuverkenning 5*, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven

Whale Tail (2001), website <http://www.whaletail.nl>, Van Voorden Gieterij B.V. en Whale Tail Systems B.V., Zaltbommel, geraadpleegd in mei 2001

## Verzendlijst

1. DGM, Directie Strategie en Bestuur, Mr.ing. J.H. Enter
2. Directeur-Generaal Milieubeheer, Ir. J. van der Vlist
3. Dr. C.M. Plug - VROM/LMV/DIR
4. Drs. R. Bouman - VROM/LMV/MOVE
5. Drs. H.C.G.M. Brouwer - VROM/LMV/ MOVE
6. F.A. Deierkauf - VROM/LMV/MOVE
7. D.G. de Gruijter - VROM/LMV/MOVE
8. Ir. A. de Jong - VROM/LMV/MOVE
9. Ing. D. de Jong - VROM/LMV/MOVE
10. Ir. B.J.F. Kortbeek - VROM/LMV/MOVE
11. Mr. M.C. Kroon - VROM/LMV/MOVE
12. Mr. F.V.A. Malaihollo - VROM/LMV/MOVE
13. Drs. A.J. van Marlen - VROM/LMV/MOVE
14. Ing. E.J. L. Niehoff - VROM/LMV/MOVE
15. Drs. T.C. Welkers - VROM/LMV/MOVE
16. Ir. H.L. Baarbé - VROM/KVI/EV
17. Mr. G.W. van Luyn - VROM/KVI/I
18. Ir. E.P.J. Koekkoek - VROM/KVI/KV
19. Mr. D.F.G.A. ten Holt - V&W/DGG/Verkeersmanagement
20. Mr. ing. A.P. Burgel - V&W/DGG/Verkeersmanagement
21. K.J. Bolt - V&W/DGG/Verkeersmanagement
22. Mevr. M. Kernkamp-Kooij - V&W/DGG/Zeescheepvaart
23. Drs. J.J. Kolpa - V&W/DGG/Zeescheepvaart
24. Ir. A.C. van Holk - V&W/DGG/Zeescheepvaart
25. Ir. W.J. Dijkstra – CE
26. R. Saitua – CPB
27. Ir. M. van Schuilenburg – Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam
28. G.J. Huisink – Koninklijke Nederlandse Vereniging van Reders
29. Ir. P. 't Hart – Vereniging Nederlandse Scheepsbouw Industrie (VNSI)
30. Dr. ir. F. Willems – TNO Wegtransportmiddelen (alleen abstract/summary)
31. Bureau Natuurwetenschappen en Bedrijf & Bestuur
32. Depot Nederlandse Publikaties afdeling Aquisitie
33. Auteurs
34. Drs. J.A. Annema – RIVM

35. Ir R.M.M. van den Brink – RIVM
36. Drs. H. Eerens – RIVM
37. Prof. Dr. G.P. van Wee – RIVM
38. Hoofd Bureau Voorlichting & Public Relations
39. Bibliotheek RIVM
40. Bureau Rapportenregistratie
41. Bureau Rapportenbeheer
42. Reserve exemplaren

## Bijlage 1.A: Emissies van de scheepvaart op Nederlands grondgebied

Tabel 1. Het energiegebruik en de emissies van de sectoren binnenvaart en zeescheepvaart in verhouding tot het totaal verkeer op Nederlands grondgebied in 1995. [Van den Brink, 2000]

	Totaal verkeer en vervoer	Binnen-vaart	Zeescheep-vaart	Totale scheepvaart	Percentage totale scheepvaart (%)	Totaal wegverkeer	Percentage totaal wegverkeer (%)
Energie (PJ)	455	24	14	38	8	378	83
CO <sub>2</sub> (miljard kg)	33	2	1	3	8	27	83
NO <sub>x</sub> (miljoen kg)	314	33	21	54	17	225	72
CO (miljoen kg)	543	2	3	5	1	507	93
VOS (miljoen kg)	151	2	1	3	2	140	93
PM <sub>10</sub> (miljoen kg)	17	2	2	4	22	10	58
SO <sub>2</sub> (miljoen kg)	31	2	13	14	47	14	46
N <sub>2</sub> O (miljoen kg)	7	0	0	0	0	6	85

In onderstaande tabellen zijn de berekeningen gegeven van het percentage van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> door de scheepvaartsector in de totale uitstoot door verkeer in vervoer op Nederlands grondgebied.

Tabel 2. Emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> van de jaren 1995 en 2010 (EC-scenario) op Nederlands grondgebied. [Feimann et al., 2000; Van den Brink, 2000]

Emissie	1995 (geregistreerde cijfers)	2010 (EC-scenario)
NO <sub>x</sub>	Binnenvaart + zeescheepvaart = 32,7 + 20,8 = 53,5 miljoen kg Totaal verkeer en vervoer: 314 miljoen kg Percentage scheepvaart = (53,5/314) = 17% Percentage binnenvaart = (32,7/314) = 10% Percentage zeescheepvaart = (20,8/314) = 7%	Binnenvaart + zeescheepvaart = 34,0 + 26,8 = 60,8 miljoen kg Totaal verkeer en vervoer: 161 miljoen kg Percentage scheepvaart = (60,8/161) = 38% Percentage binnenvaart = (34,0/161) = 21% Percentage zeescheepvaart = (26,8/161) = 17%
SO <sub>2</sub>	Binnenvaart + zeescheepvaart = 1,9 + 12,5 = 14,4 miljoen kg Totaal verkeer en vervoer: 30,9 miljoen kg Percentage scheepvaart = (14,4/30,9) = 47% Percentage binnenvaart = (1,9/30,9) = 6% Percentage zeescheepvaart = (12,5/30,9) = 40%	Binnenvaart + zeescheepvaart = 1,2 + 9,3 = 10,5 miljoen kg Totaal verkeer en vervoer: 13,6 miljoen kg Percentage scheepvaart = (10,5/13,6) = 77% Percentage binnenvaart = (1,2/13,6) = 9% Percentage zeescheepvaart = (9,3/13,6) = 68%
CO <sub>2</sub>	Binnenvaart + zeescheepvaart = 1,72 + 1,05 = 2,77 miljard kg Totaal verkeer en vervoer: 32,9 miljard kg Percentage scheepvaart = (2,77/32,9) = 8,4% Percentage binnenvaart = (1,72/32,9) = 5,2% Percentage zeescheepvaart = (1,05/32,9) = 3,2%	Binnenvaart + zeescheepvaart = 1,84 + 1,40 = 3,24 miljard kg Totaal verkeer en vervoer: 32,8 miljard kg Percentage scheepvaart = (3,24/32,8) = 9,9% Percentage binnenvaart = (1,84/32,8) = 5,6% Percentage zeescheepvaart = (1,40/32,8) = 4,3%



## Bijlage 4.A: Emissiefactoren van combinaties motoren/brandstoffen in de zeescheepvaart

In deze bijlage zijn de emissiefactoren gegeven voor de verschillende combinaties van motoren en brandstoffen die in de zeescheepvaart gebruikt worden. Hierbij is er een onderscheid in emissies gemaakt naar macrocomponenten (stoffen met een hoog massagewicht), metalen, PAK's, koolwaterstofcomponenten en gechloreerde koolwaterstofcomponenten. Voor de overzichtelijkheid zullen de verschillende afkortingen hier nogmaals opgesomd worden. Brandstoftype: 1) HFO = Heavy Fuel Oil, 2) MDO = Marine Diesel Oil. Motortype: 1) MS = Medium Speed Diesel, 2) SP = Slow Speed Diesel, 3) ST = Stoomturbine 4) TB = Gasturbine.

Tabel 3. Emissiefactoren van de verschillende scheepsmotoren in de zeescheepvaart. [Hulskotte, 2000]

Naam emissie	Type emissie	MS		SP		ST		TB
		HFO	MDO	HFO	MDO	HFO	MDO	MDO
CO <sub>2</sub> (g/kg brandstof)	Macrocomponent	3.160	3.130	3.160	3.130	3.160	3.130	3.130
NO <sub>x</sub> (g/kg brandstof)	Macrocomponent	59	59	84	84	7	3,3	16
SO <sub>2</sub> (g/kg brandstof)	Macrocomponent	63	20	63	20	63	20	4,2
NMVOS (g/kg brandstof)	Macrocomponent	2,6	2,6	2,4	2,4	0,3	0,2	0,1
VOS (g/kg brandstof)	Macrocomponent	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
CO (g/kg brandstof)	Macrocomponent	8	8	9	8	0,4	0,6	0,5
PM <sub>10</sub> (g/kg brandstof)	Macrocomponent	4,5	1,4	7,6	7,6	2,5	2,1	1,1
N <sub>2</sub> O (g/kg brandstof)	Macrocomponent	0,68	0,68	0,68	0,68	0	0	0,68
CH <sub>4</sub> (g/kg brandstof)	Macrocomponent	0,11	0,11	0,11	0,11	0,004	0,02	0,01
Arseen (mg/kg brandstof)	Metaal	0,5	0,005	0,5	0,005	0,5	0,005	0,005
Cadmium (mg/kg brandstof)	Metaal	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01
Koper (mg/kg brandstof)	Metaal	0,5	0,05	0,5	0,05	0,5	0,05	0,05
Nikkel (mg/kg brandstof)	Metaal	30	0,07	30	0,07	30	0,07	0,07
Vanadium (mg/kg brandstof)	Metaal	100	0	100	0	100	0	0
Zink (mg/kg brandstof)	Metaal	0,9	1,5	0,9	1,5	0,9	1,5	1,5
Totaal PAK's VROM (mg/kg brandstof)	PAK	1,01	3,07	1,03	1,01	0,15	0,091	0,046
Nitro-PAK (mg/kg brandstof)	PAK	0,0165	0,05	0,3	0,296	0,006	0,004	0,002

Naam emissie	Type emissie	MS		SP		ST		TB
		HFO	MDO	HFO	MDO	HFO	MDO	MDO
Etheen (mg/kg brandstof)	Koolwaterstofcomponent <sup>A</sup>	0,52	0,13	0,48	0,12	0,06	0,01	0,005
m + p-Xyleen (mg/kg brandstof)	Koolwaterstofcomponent <sup>A</sup>	0,104	0,104	0,096	0,096	0,012	0,008	0,004
o-Xyleen (mg/kg brandstof)	Koolwaterstofcomponent <sup>A</sup>	0,0026	0,052	0,0024	0,048	0,0003	0,004	0,002
Tolueen (mg/kg brandstof)	Koolwaterstofcomponent <sup>A</sup>	0,39	0,13	0,366	0,12	0,045	0,01	0,005
Dioxines (i-TEQ) (mg/kg brandstof)	Gechloreerde koolwaterstofcomponent <sup>A</sup>	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
HCB (mg/kg brandstof)	Gechloreerde koolwaterstofcomponent <sup>A</sup>	0,032	0,009	0,032	0,009	0,032	0,009	0,009
PCB-totaal (mg/kg brandstof)	Gechloreerde koolwaterstofcomponent <sup>A</sup>	0,42	0,51	0,42	0,51	0,42	0,51	0,51

<sup>A</sup> Dit zijn voorlopige richtwaarden gebaseerd op een eenmalig onderzoek. Verdergaand onderzoek is gewenst.

## Bijlage 4.B: Goederengroepen in de scheepvaartsector

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de verschillende goederengroepen in zowel de zeescheepvaart als de binnenvaart.

Tabel 4. Overzicht van de goederenstromen in de scheepvaartsector. [Harms, 2000]

Type	Groep	Soort
<b>Droge bulk</b>		
	Agribulk:	Oliezaden Dierlijke en plantaardige oliën Vetten Granen Meelproducten Veevoeder
	Kolen:	Steenkool Bruinkool Cokes Turf
	IJzererts	
	Overige:	Bouwstoffen Schroot Meststoffen
<b>Natte bulk</b>		
	Ruwe olie	
	Olieproducten (vloeibaar/gas):	Benzine Kerosine LPG Gas- en dieselolie Zware stookolie
	Chemische producten:	Zwavelzuur Natriumhydroxide Natriumcarbonaat Calciumcarbide Aluminiumoxyde Benzol Pek Teer Verf-, kleur- en looistoffen
<b>Stuk goed</b>		
	Containers	

## Bijlage 4.C: Herkomst en bestemming van de goederengroepen in de scheepvaartsector

In deze bijlage wordt een opsomming gegeven van de herkomst en bestemming van de goederengroepen in de scheepvaartsector. Hierbij is er een onderscheid gemaakt tussen zeescheepvaart en binnenvaart.

### **Zeescheepvaart** [Harms, 2000]

#### *Droge bulk:*

Agribulk: afkomstig uit de Verenigde Staten, Argentinië, Brazilië en Thailand.

Bestemmingen hoofdzakelijk binnen Europa.

Kolen: afkomstig uit Zuid-Afrika, Australië, Colombia, de Verenigde Staten en Polen.

Bestemmingen hoofdzakelijk binnen Europa.

IJzererts: afkomstig uit Brazilië, Zuid-Afrika, Australië, Canada en Zweden.

Bestemmingen hoofdzakelijk binnen Europa.

Overige droge bulk: er is geen dominerende herkomst of bestemming.

#### *Natte bulk:*

Ruwe olie: afkomstig uit het Midden-Oosten, West- en Noord-Afrika en Noorwegen.

Bestemmingen hoofdzakelijk binnen Europa.

Olieproducten: afkomstig uit en bestemd voor West-Europa, Noord-Amerika, voormalig Sovjet-Unie en het Midden-Oosten.

Chemische producten: herkomst en bestemming binnen Europa

#### *Stukgoed:*

De twee belangrijkste transporten zijn binnen Europa (shortsea shipping) én van en naar het Verre Oosten. In mindere mate vindt er containervaart over zee plaats van en naar Noord- en Zuid-Amerika en Afrika.

### **Binnenvaart** [Harms, 2000]

#### *Droge bulk:*

Agribulk: transport van en naar Duitsland (voornamelijk Nordrhein-Westfalen en Hessen/Rheinland-Pfalz). Hierbij worden voornamelijk kleinere kanalen en vaarwegen gebruikt en natuurlijk de Rijnverbinding met Duitsland.

Kolen: transport van zeehavens naar elektriciteitscentrales in Nederland en in het buitenland (voornamelijk Duitsland), maar ook transport naar België en Frankrijk voor de staalindustrie.

IJzererts: transport naar Duitsland (het Ruhrgebied), Frankrijk (Elzas-Lotharingen, Saargebied) en België ten behoeve van de staalindustrie.

Overige droge bulk: transport vindt voornamelijk naar Duitsland en binnen Nederland plaats (beiden circa 40%); in mindere mate wordt er ook getransporteerd naar België en Frankrijk.

#### *Natte bulk:*

Ruwe olie: transport naar en van zeeschepen en raffinaderijen, naar depots en chemische industrieën; er wordt voornamelijk binnen Nederland getransporteerd.

Olieproducten: transport op de vaarwegen Rijnmond-Antwerpen, Rijnmond-Ruhr, Rijnmond-Hessen/Pfalz (voor alle drie de vaarwegen geldt ook de omgekeerde route); daarnaast is er ook transport binnen Nederland.

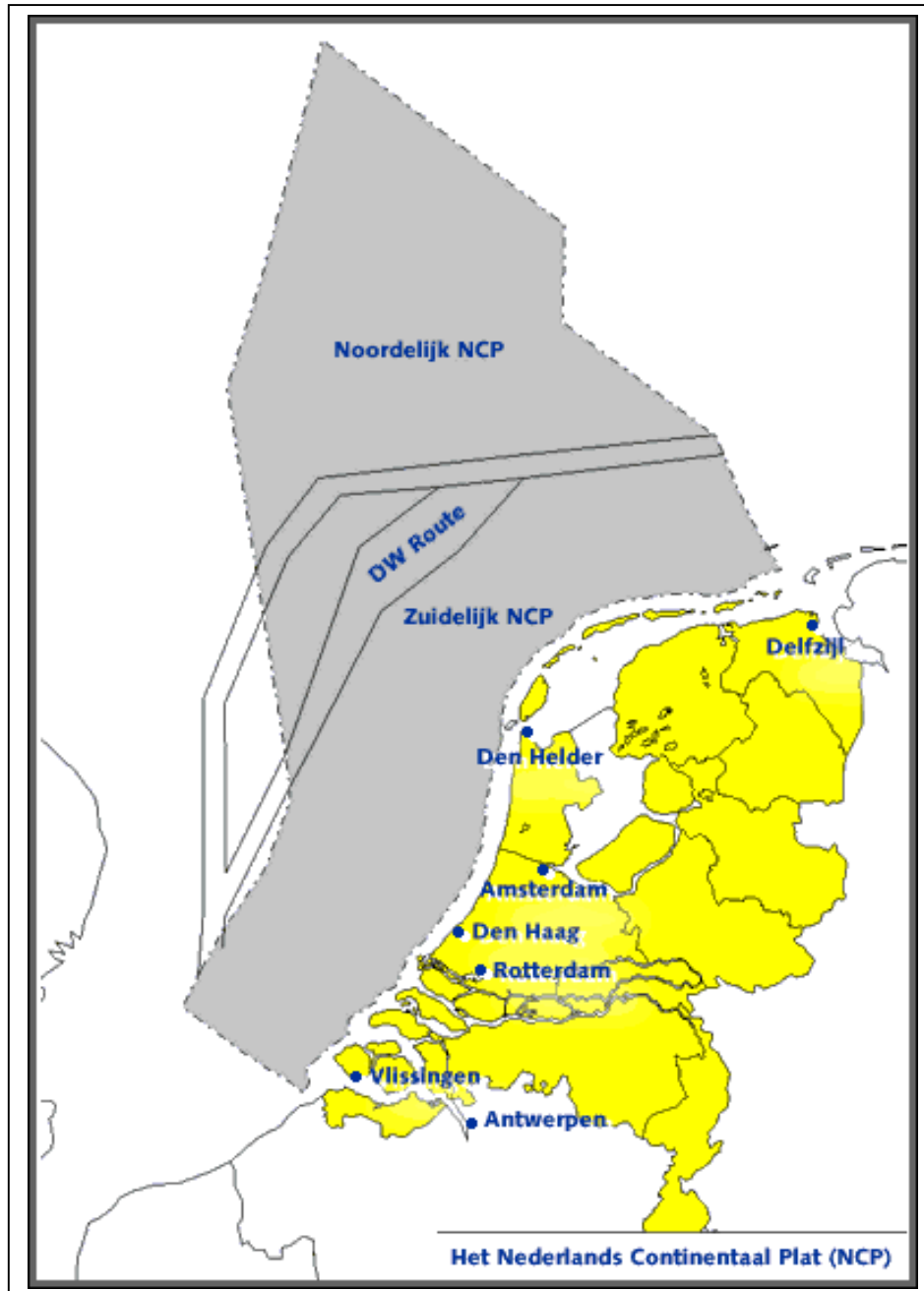
Chemische producten: transport van zeehavens/raffinaderijen naar chemische industrieën; de belangrijkste vaarroutes zijn Rijnmond-Antwerpen en Rijnmond-Ruhrgebied.

#### *Stukgoed:*

Het transport van containers concentreert zich hoofdzakelijk op de Rijnvaart en op de verbinding Rijnmond-Antwerpen. Maar in toenemende mate worden ook binnen Nederland containers vervoerd.

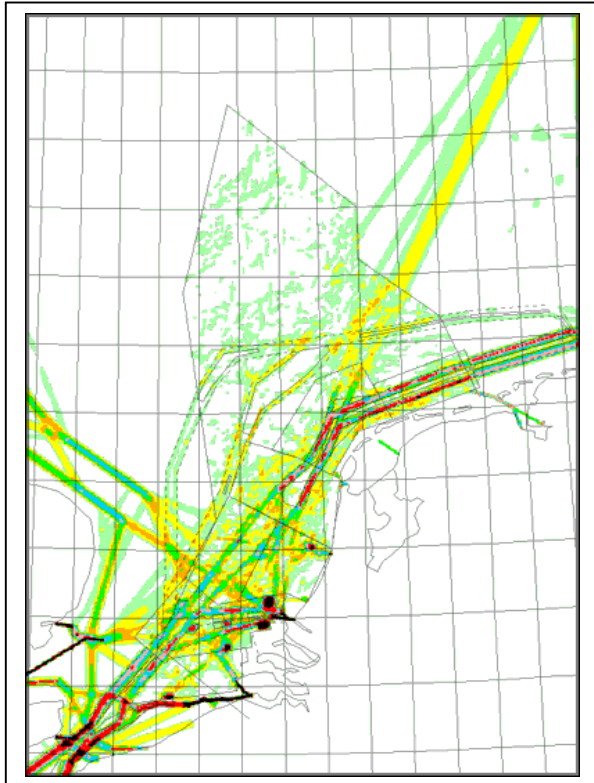
## Bijlage 4.D: Verdeling van het Nederlands Continentaal Plat (NCP)

In onderstaande figuur is de verdeling van het Nederlandse deel van de Noordzee (het Nederlands Continentaal Plat) weergegeven. In deze figuur staat DW-route voor 'Diep Water'-route.

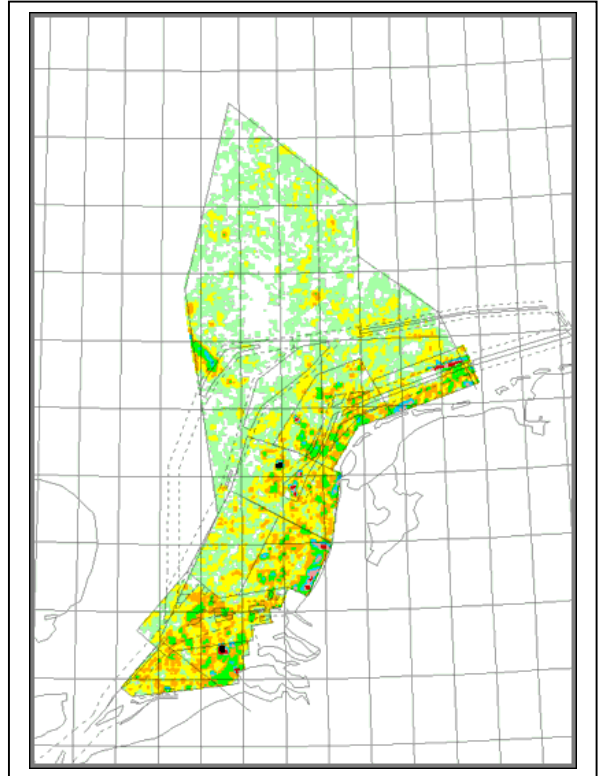


Figuur 1. De verdeling van het Nederlands Continentaal Plat [DGG, 2001].

## Bijlage 4.E: Verdeling van het Nederlands Continentaal Plat (NCP)



*Figuur 1. De verkeersdichtheid van het routegebonden scheepvaartverkeer op het NCP [DGG, 2001].*



*Figuur 2. De verkeersdichtheid van het niet-routegebonden scheepvaartverkeer op het NCP [DGG, 2001].*

Verklaring van de kleuren met betrekking tot verkeersdichtheid:

- Lichtgroen: 01-03 schepen
- Geel: 03-06 schep
- Oranje: 06-09 schepen
- Felgroen: 09-15 schepen
- Blauw: 15-21 schepen
- Roze: 21-27 schepen
- Rood: 27-45 schepen
- Zwart: meer dan 45 schepen

## Bijlage 5.A: Vervoersprestatie, energiegebruik en emissies door de zeescheepvaart in de periode 1980-2020 op Nederlands grondgebied

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de vervoersprestatie (regel 1), het energiegebruik (regels 2, 3, en 11) en de emissies in de zeescheepvaartsector (regels 4 tot en met 10 en 12 tot en met 16) voor de periode 1980-2030. Hierbij is er een onderscheid gemaakt tussen de bepaling van deze factoren op Nederlands grondgebied (regels 4 en tot met 10) en de bepaling aan de hand van de IPCC-methodiek (regels 12 tot en met 16). Bij de IPCC-methodiek worden alleen de emissies veroorzaakt door in Nederland afgezette brandstoffen betrokken bij de bepaling van de omvang van de emissies. Dus alleen emissies van deze brandstoffen worden aan Nederland toegewezen (regels 12, 14 en 16). Emissies door de in Nederland gebunkerde brandstoffen (dus ten behoeve van de internationale zeescheepvaart) worden apart weergegeven (regels 13 en 15). De onderstaande prognoses zijn gebaseerd op zowel het EC-scenario als het GC-scenario.

Naast de in hoofdstuk 3 en 5 genoemde emissies zijn in deze tabel twee stoffen extra vermeld, namelijk distikstofoxide (N<sub>2</sub>O) en methaan (CH<sub>4</sub>). Maar zoals in de tabel gezien kan worden zijn er geen gegevens bekend over de uitstoot van methaan in de zeescheepvaartsector.

Tabel 5. De kwantitatieve ontwikkeling van de vervoersprestatie, het energiegebruik en de emissies in de zeescheepvaartsector over de periode 1980-2030.  
[Feimann et al., 2000; Van den Brink, 2000]

														EC			GC		
	1980	1985	1986	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2010	2020	2030	2010	2020	2030
1. Vervoersprestatie op NL-gg (milj. ton)	347	328	337	373	377	378	366	375	380	378	402	405	397	505	578	635	547	684	787
2. Energieverbruik op NL-gg (PJ)	12,4	11,7	12,1	13,6	13,7	13,9	13,5	14,2	14,1	14,0	14,8	15,3	14,7	19	21	24	20	25	29
3. Bunkering (PJ)	387	354	396	445	457	460	481	446	450	464	493	496	514	nb	nb	nb	nb	nb	nb
4. CO <sub>2</sub> -emissie op NL-gg (miljard kg)	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,05	1,0	1,1	1,1	1,1	1,4	1,6	1,8	1,5	1,9	2,2
5. NO <sub>x</sub> -emissie op NL-gg (miljoen kg)	18,2	17,3	17,9	20,1	20,2	20,4	19,8	20,9	20,8	20,6	21,8	22,6	21,8	26,8	30,0	33,0	28,9	35,6	40,8
6. SO <sub>2</sub> -emissie op NL-gg (miljoen kg)	11,0	10,4	10,8	12,1	12,2	12,3	12,0	12,6	12,5	12,4	13,1	13,6	13,1	9,3	10,6	11,7	10,0	12,6	14,4
7. NMVOS-emissie op NL-gg (miljoen kg)	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	1,1	1,3	1,4	1,2	1,5	1,8

														EC			GC		
	1980	1985	1986	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2010	2020	2030	2010	2020	2030
8. VOS-emissie op NL-gg (miljoen kg)	0,8	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	1,2	1,4	1,5	1,3	1,6	1,8
9. CO-emissie op NL-gg (miljoen kg)	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5
10. PM <sub>10</sub> -emissie op NL-gg (miljoen kg)	1,4	1,3	1,3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,5	1,6	1,7	1,6	0,8	0,9	1,0	0,8	1,1	1,3
11. Energie-afzet in NL (PJ)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb
12. CO <sub>2</sub> -emissie conform IPCC (miljard kg)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13. CO <sub>2</sub> -emissie uit bunkering (miljard kg)	29,5	26,9	30,1	34,0	34,9	35,1	36,7	34,1	34,3	35,5	37,7	37,9	39,3	nb	nb	nb	nb	nb	nb
14. N <sub>2</sub> O-emissie conform IPCC (miljoen kg)	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
15. N <sub>2</sub> O-emissie uit bunkering (miljoen kg)	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
16. CH <sub>4</sub> -emissie conform IPCC (miljoen kg)	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb

nb = niet bekend



## Bijlage 5.B: Vervoersprestatie, energiegebruik en emissies door de binnenvaart in de periode 1980-2020 op Nederlands grondgebied

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de vervoersprestatie (regel 1), het energiegebruik (regels 2, 3, en 11) en de emissies in de binnenvaartsector (regels 4 tot en met 10 en 12 tot en met 16) voor de periode 1980-2020. Hierbij is er een onderscheid gemaakt tussen de bepaling van deze factoren op Nederlands grondgebied (regels 4 en tot met 10) en de bepaling aan de hand van de IPCC-methodiek (regels 12 tot en met 16). Bij de IPCC-methodiek worden alleen de emissies veroorzaakt door in Nederland afgezette brandstoffen betrokken bij de bepaling van de omvang van de emissies. Dus alleen emissies van deze brandstoffen worden aan Nederland toegewezen (regels 12, 14 en 16). Emissies door de in Nederland gebunkerde brandstoffen (dus ten behoeve van de internationale binnenvaart) worden apart weergegeven (regels 13 en 15). De onderstaande prognoses zijn gebaseerd op zowel het EC-scenario als het GC-scenario. Naast de in hoofdstuk 3 en 5 genoemde emissies zijn in deze tabel twee stoffen extra vermeld, namelijk distikstofoxide (N<sub>2</sub>O) en methaan (CH<sub>4</sub>).

Tabel 1. De kwantitatieve ontwikkeling van de vervoersprestatie, het energiegebruik en de emissies in de binnenvaartsector over de periode 1980-2030.  
[Feimann et al., 2000; Van den Brink, 2000]

														EC			GC		
	1980	1985	1986	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2010	2020	2030	2010	2020	2030
1. Vervoersprestatie op NL-gg (mld tonkm)	33,5	32,8	34,5	35,7	34,8	33,6	32,1	36,0	34,6	35,5	38,0	40,7	nb	39,4	42,2	43,6	39,8	41,9	40,5
2. Energieverbruik op NL-gg (PJ)	19,9	20,8	21,2	22,6	22,6	22,4	21,4	24,4	23,5	25,4	26,7	25,4	25,4	25	25	27	25	25	25
3. Bunkering (PJ)	6,6	14,5	13,5	13,6	13,0	15,0	10,7	23,3	25,0	19,2	19,3	20,4	20,2	nb	nb	nb	nb	nb	nb
4. CO <sub>2</sub> -emissie op NL-gg (miljard kg)	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7	1,6	1,6	1,8	1,7	1,9	2,0	1,9	1,9	1,8	1,9	2,0	1,9	1,9	1,9
5. NO <sub>x</sub> -emissie op NL-gg (miljoen kg)	27,8	28,9	29,6	31,5	31,5	31,2	29,8	33,9	32,7	35,3	37,2	35,3	35,3	34,0	31,9	33,4	34,0	31,9	31,8
6. SO <sub>2</sub> -emissie op NL-gg (miljoen kg)	2,9	1,9	2,2	1,8	1,8	1,8	1,7	2,0	1,9	2,0	2,1	2,0	2,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
7. NMVOS-emissie op NL-gg (miljoen kg)	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,5	1,7	1,7	1,8	1,9	1,8	1,8	1,8	2,0	2,0	1,8	2,0	2,0
8. VOS-emissie op NL-gg (miljoen kg)	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7	1,7	1,6	1,8	1,7	1,9	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	1,9	1,9	1,9

															EC			GC		
	1980	1985	1986	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2010	2020	2030	2010	2020	2030	
9. CO-emissie op NL-gg (miljoen kg)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,0	2,1	2,1	2,0	2,1	2,0	
10. PM <sub>10</sub> -emissie op NL-gg (miljoen kg)	1,9	2,0	2,0	2,2	2,2	2,2	2,1	2,4	2,3	2,4	2,6	2,5	2,5	2,4	2,4	2,6	2,4	2,5	2,5	
11. Energie-afzet in NL (PJ)	28,2	12,5	7,3	12,0	11,5	13,2	14,2	10,6	12,6	11,0	11,6	11,2	11,1	nb	nb	nb	nb	nb	nb	
12. CO <sub>2</sub> -emissie conform IPCC (miljard kg)	2,1	0,9	0,5	0,9	0,8	1,0	1,0	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	
13. CO <sub>2</sub> -emissie uit bunkering (miljard kg)	0,5	1,1	1,0	1,0	0,9	1,1	0,8	1,7	1,8	1,4	1,4	1,5	1,5	nb	nb	nb	nb	nb	nb	
14. N <sub>2</sub> O-emissie conform IPCC (miljoen kg)	0,5	0,2	0,1	0,2	nb	nb	nb	nb	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
15. N <sub>2</sub> O-emissie uit bunkering (miljoen kg)	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	
16. CH <sub>4</sub> -emissie conform IPCC (miljoen kg)	0,1	0,0	0,0	0,0	nb	nb	nb	nb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

nb = niet bekend

## Bijlage 5.C: Energiegebruik en emissies door de binnenvaart op Nederlands grondgebied, verdeeld naar scheepstype

In onderstaande tabellen 1 tot en met 6 zijn het energiegebruik en de bijbehorende emissies op Nederlands grondgebied uitgesplitst naar type binnenschip. Hierbij is er een onderscheid gemaakt tussen motorschepen, de duwvaart en overige binnenvaart. Onder overige binnenvaart vallen de volgende vaartuigen: passagiersschepen en -veren, baggerschepen, sleepvaart en vissersschepen. Uit deze tabellen blijken de motorschepen het grootste aandeel te hebben in de emissies.

Tabel 7. Overzicht van het energiegebruik per type binnenschip op Nederlands grondgebied in de periode 1995-1998. [Van den Brink, 2000; Dijkstra en Dings, 2000]

Energiegebruik	1995	1996	1997	1998
Motorschepen (PJ)	17,4	17,5	21,6	19,9
Duwvaart (PJ)	3,1	2,8	2,5	2,6
Overige binnenvaart (PJ)	3,0	5,1	2,6	2,9
<b>Totaal binnenvaart (PJ)</b>	<b>23,5</b>	<b>25,4</b>	<b>26,7</b>	<b>25,4</b>

Tabel 8. Overzicht van de CO<sub>2</sub> per type binnenschip op Nederlands grondgebied in de periode 1995-1998. [Van den Brink, 2000; Dijkstra en Dings, 2000]

CO <sub>2</sub> -emissie	1995	1996	1997	1998
Motorschepen (miljard kg)	1,28	1,28	1,58	1,46
Duwvaart (miljard kg)	0,23	0,21	0,18	0,19
Overige binnenvaart (miljard kg)	0,22	0,41	0,23	0,25
<b>Totaal binnenvaart (miljard kg)</b>	<b>1,72</b>	<b>1,90</b>	<b>2,00</b>	<b>1,90</b>

Tabel 9. Overzicht van de NO<sub>x</sub> per type binnenschip op Nederlands grondgebied in de periode 1995-1998. [Van den Brink, 2000; Dijkstra en Dings, 2000]

NO <sub>x</sub> -emissie	1995	1996	1997	1998
Motorschepen (miljoen kg)	24,4	24,7	30,3	28,0
Duwvaart (miljoen kg)	4,4	3,8	3,4	3,7
Overige binnenvaart (miljoen kg)	3,9	6,8	3,5	3,6
<b>Totaal binnenvaart (miljoen kg)</b>	<b>32,7</b>	<b>35,3</b>	<b>37,2</b>	<b>35,3</b>

Tabel 10. Overzicht van de PM<sub>10</sub> per type binnenschip op Nederlands grondgebied in de periode 1995-1998. [Van den Brink, 2000; Dijkstra en Dings, 2000]

PM <sub>10</sub> -emissie	1995	1996	1997	1998
Motorschepen (miljoen kg)	1,6	1,6	2	1,9
Duwvaart (miljoen kg)	0,3	0,3	0,2	0,2
Overige binnenvaart (miljoen kg)	0,4	0,5	0,4	0,4
<b>Totaal binnenvaart (miljoen kg)</b>	<b>2,3</b>	<b>2,4</b>	<b>2,6</b>	<b>2,5</b>

Tabel 11. Overzicht van de CO per type binnenschip op Nederlands grondgebied in de periode 1995-1998. [Van den Brink, 2000; Dijkstra en Dings, 2000]

CO-emissie	1995	1996	1997	1998
Motorschepen (miljoen kg)	1,2	1,2	1,5	1,4
Duwvaart (miljoen kg)	0,2	0,2	0,2	0,2
Overige binnenvaart (miljoen kg)	0,6	0,6	0,3	0,4
<b>Totaal binnenvaart (miljoen kg)</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

Tabel 12. Overzicht van de SO<sub>2</sub> per type binnenschip op Nederlands grondgebied in de periode 1995-1998. [Van den Brink, 2000; Dijkstra en Dings, 2000]

SO <sub>2</sub> -emissie	1995	1996	1997	1998
Motorschepen (miljoen kg)	1,4	1,4	1,7	1,6
Duwvaart (miljoen kg)	0,2	0,2	0,2	0,2
Overige binnenvaart (miljoen kg)	0,3	0,4	0,2	0,2
<b>Totaal binnenvaart (miljoen kg)</b>	<b>1,9</b>	<b>2</b>	<b>2,1</b>	<b>2</b>

## Bijlage 5.D: Uitgangspunten van de CPB-scenario's

Het Centraal Planbureau gebruikt onderstaande scenario's voor het maken van prognoses op de lange termijn. Dit gebeurt op basis van wereldbeelden, de positie van Europa in de wereld en de positie van Nederland binnen Europa. Hier zijn enkele aannames gedaan over de mondiale economische ontwikkelingen, demografische, sociaal-culturele en technologische ontwikkelingen. Voor een uitgebreidere omschrijving van deze wereldbeelden en scenario's wordt verwezen naar respectievelijk het CPB-rapport 'Scanning the Future'.

Tabel 13. Overzicht van een aantal kenmerken van de CPB-scenario's. [Geurs et al., 1998]

Kenmerken	Divided Europe (DE)	European Coordination (EC)	Global Change (GC)
Economische zwaartepunt	VS, Japan, DAE <sup>a)</sup>	EU, Japan, DAE	Ongewijzigd
Technologische ontwikkeling	Traag	Gematigd	Snel
Olieprijs (\$ per vat)	20	25 <sup>b)</sup>	26
Volume BBP (Nederland (groei% p/j))	1,5	2,7	3,3
Bevolkingsomvang (miljoen)	16,2	17,7	16,9
Aantal huishoudens (miljoen)	7,5	7,8	8,1
Sturingsfilosofie en effect	Goede werking marktmechanisme	Effectieve overheidscoördinatie	Marktmechanisme en overheidscoördinatie werken niet goed in Europa.

<sup>a)</sup> Dynamische Aziatische Economieën

<sup>b)</sup> Inclusief Europese heffing van \$10 per vat

## Bijlage 5.E: Specificatie van prognose getransporteerde tonnage naar type goed in de binnenvaart

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van een aantal goederengroepen die door de binnenvaart getransporteerd worden. De meeste opvallende stromen zijn de landbouw, textiel en overige. De andere stromen hebben een lichte groei.

Tabel 14. Overzicht van de ontwikkeling van de verschillende goederengroepen in de binnenvaart op Nederlands grondgebied in de periode 1993-2020 van het EC-scenario. [Harms, 2000]

<b>Percentages met 1993 als basisjaar (in %)</b>				
<b>Goederenstroom</b>	<b>1993</b>	<b>EC-2000</b>	<b>EC-2010</b>	<b>EC-2020</b>
Landbouw	100	80	64	48
Delfstoffen	100	102	102	101
Voeding & genot	100	109	129	148
Textiel	100	142	213	301
Olie	100	108	115	128
Chemie	100	104	110	115
Metaal	100	106	114	121
Overige	100	142	213	301
<b>Totaal</b>	<b>100</b>	<b>106</b>	<b>115</b>	<b>125</b>

## **Bijlage 6.A: Uitgebreidere beschrijving van de maatregelen**

### **Introductie**

In deze bijlage wordt een aantal van de technische maatregelen uit hoofdstuk 6 uitgebreider behandeld. Deze aanvullingen bevatten meer detailinformatie over de verschillende maatregelen en kunnen gebruikt worden om meer inzicht te krijgen in een maatregel.

### **Toepassen van biobrandstoffen**

Biobrandstoffen bestaan uit alcoholen, ethers, esters en andere chemische bestanddelen gehaald uit cellulose van biomassa. Onder biomassa vallen de volgende producten: grasachtige en houtachtige planten, restproducten van de landbouw en de bosbouw en een groot deel bestaande uit afvalproducten van de huishoudens en de industrie. Het voordeel is dat deze rest- en afvalproducten oorspronkelijk geen nut en waarde hadden, maar nu toch nuttig ingezet kunnen worden. Er bestaan een aantal typen biobrandstoffen, zoals bioethanol, biodiesel, biomethanol en pyrolytische oliën (dit zijn oliën die ontstaan zijn door blootstelling aan zeer grote hitte).

Voor de scheepvaartsector is met name het type biodiesel een mogelijk alternatief voor de dieselbrandstoffen. Biodiesel bestaat uit vette, zure alkyl esters en wordt gemaakt van plantaardige oliën (zoals van sojabonen), dierlijke vetten en recyclede vetten. Biodiesel kan gemengd worden met conventionele dieselbrandstoffen of in pure vorm gebruikt worden. Een mengsel kan een diesel/biodiesel ratio hebben van 80% / 20%, maar ook andere verhoudingen zijn mogelijk. Naarmate er meer biodiesel door de conventionele dieselbrandstof wordt gemengd, zal de omvang van de emissies meer gereduceerd worden. [NBB, 2001; NBP, 2001]

### **Toepassen van dimethyl ether**

Dimethyl ether (DME) is een synthetische brandstof en heeft dezelfde chemische eigenschappen als propaan en butaan. De chemische formule van DME is  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ . DME heeft een hoge cetaangehalte. Een hoger cetaangehalte leidt automatisch tot een snellere verbranding, een verminderde motorslijtage en een rustigere loop van de motor. Dezelfde opslagfaciliteiten en infrastructuur als voor LPG kunnen gebruikt worden voor DME. DME is een kleurloze stabiele vloeistof met een laag kookpunt. Hierdoor is het mogelijk om bij een lage druk en een temperatuur van 25 °C DME vloeibaar te maken. DME is een synthetische brandstof, die wordt gemaakt uit de stoffen CO en  $\text{H}_2$ , meestal gehaald uit kolen, zware stookolie, aardgas of biomassa (bio-DME). Maar DME kan ook van andere gassen gemaakt worden zoals van gassen die bij de verbranding van afval en plastic vrijkomen of van methaan van dierlijk afval. De reacties ten behoeve van de productie van DME is exotherm. Dit houdt in dat er warmte vrijkomt bij deze reactie. Daarom is het nodig om de warmte uit het proces te halen. Met behulp van katalysatoren kan de opbrengst van DME verhoogd worden. [NKK, 2000; TNO, 2000]

### **Toepassen van de 'gas-to-liquid'-methode (GTL-methode)**

De 'gas-to-liquid'-methoden (ook wel Fischer-Tropsch-methoden genoemd naar de ontdekkers van de bijbehorende scheikundige processen) veranderen de fase van een brandstof (zoals aardgas) van gasvormig naar vloeibaar met behulp van chemische reacties. Aardgas wordt eerst geconverteerd naar een synthetisch gas (CO en  $\text{H}_2$ ), dat de basis is van het GTL-proces. Maar voordat dit gedaan wordt, wordt eerst al de zwavel uit de aardgas verwijderd. Door het gebruik van katalysatoren op basis van ijzer of kobalt worden deze gassen omgezet in synthetische olie en in het bijproduct water. Het gebruik van kobalt als katalysator leidt tot minder verontreinigingen in de GTL-brandstoffen dan het

gebruik van ijzer. [Snyder et al., 2000]

Er zijn wereldwijd grote gasvoorraden om de GTL-methode toe te passen, zoals bijvoorbeeld in het Midden-Oosten, Afrika, een gedeelte van Azië rond de Stille Oceaan en de voormalig Sovjet Unie. Ook de vele locaties van gasvoorraden in zee komen in aanmerking voor toepassing van de GTL-methode. [Agee, 1998a; Venkataraman, 2000; Snyder et al., 2000]

Voor alle duidelijkheid: GTL-brandstof is iets anders dan vloeibaar aardgas (LNG). LNG is gasvormig aardgas dat gekoeld wordt en een beetje samengeperst, waardoor het een vloeibare vorm krijgt. GTL-brandstoffen worden gemaakt uit gassen (onder andere aardgas maar andere gassen zijn ook mogelijk) met behulp van chemische reacties. Hierbij ontstaat er een synthetische dieselachtige substantie.<sup>59</sup>

De bouw van een 'gas-to-liquid'-centrale heeft een aantal ongewenste gevolgen. Meestal geldt dat naarmate een centrale groter is, de schaalvoordelen groter zullen zijn en de bouw van een centrale goedkoper zal zijn per eenheid gewonnen aardgas. Maar voor een GTL-centrale geldt deze situatie niet. Doordat de gasvelden een bepaalde grootte hebben, en dus een bepaalde hoeveelheid aardgas bevatten, zal de GTL-centrale alleen die beperkte hoeveelheid gas kunnen opzetten van de gasvormige fase naar vloeibare fase. Wanneer de aardgas op is, heeft de centrale geen nut meer. Aangezien er wereldwijd een heleboel kleinere gasvelden zijn, is het gunstiger om meer kleinere GTL-centrales wereldwijd te bouwen, zodat er tot de meeste gasvelden toegang is. Een tweede barrière die met bovenstaande alinea samenhangt is de noodzaak tot verplaatsbaarheid van GTL-centrales. Het is vaak zeer gewenst om verplaatsbare GTL-centrales neer te zetten op een bepaalde locatie wanneer de grootte van het gasveld onduidelijk is. Op deze manier kunnen hoge constructiekosten vermeden worden. [Agee, 1998a]

## Toepassen van PuriNO<sub>x</sub>

PuriNO<sub>x</sub> is een lage-emissie dieselbrandstof met een 'fill-and-go'-principe. Het is een stabiel wit mengsel van additieven, water, commerciële dieselbrandstof (zwarte stookolie) en seizoenscomponenten (als antivries). PuriNO<sub>x</sub> valt onder het type wateremulsie (zie ook paragraaf 6.3.3). Revolutionair aan deze brandstof is het feit dat deze wateremulsie stabiel is (zie volgende alinea voor uitleg stabiliteit). Het mengen tot een stabiel geheel gebeurt met het zogenaamde 'PuriNO<sub>x</sub> Performance System', een betaalbare mengmachine gemaakt door samenwerking van Lubrizol en Caterpillar. Dit systeem bestaat uit chemische, elektronische en mechanische componenten en de grootte van één eenheid van de mengmachine is gelijk aan één container aan boord (6,1 meter bij 1,8 meter bij 1,8 meter). Voor dit systeem is alleen elektriciteit en toevoer van diesel en water nodig. Het voordeel van dit systeem is dat er gebruik gemaakt kan worden van de huidige commerciële brandstoffen en de bestaande infrastructuur.

In deze context wordt met een stabiel mengsel een homogeen mengsel van brandstof en water bedoeld. Dit houdt in dat het water en de brandstof niet van elkaar gaan scheiden gedurende een lange periode. De stabiliteit van het mengsel wordt verkregen door het inkapselen van waterdruppels met behulp van een emulgator (additieven) met een polair en een apolair gedeelte. Het mengsel behoudt zijn stabiliteit voor een minimale tijdsduur van twee maanden, wanneer de opslag plaatsvindt in bestaande opslagfaciliteiten op kamertemperatuur.

Er is 1,25 tot 2 liter PuriNO<sub>x</sub>-additieven nodig per 100 liter PuriNO<sub>x</sub> brandstof. Dit type brandstof wordt ook wel 'water-in-fuel' genoemd. Afhankelijk van de gewenste prestatie varieert het percentage water in PuriNO<sub>x</sub> tussen de 10% en 20%. De chemische en fysische karakteristieken van PuriNO<sub>x</sub> zijn gelijk aan die van gewone diesel. In tegenstelling tot waterige brandstoffen ('fuel-in-water') is PuriNO<sub>x</sub> stabiel, efficiënt en heeft een hogere viscositeit. [Fiffick, 2000; Lubrizol, 2001; Lubrizol, 2001]

---

<sup>59</sup> Interview met dhr. H.L. Baarbé van de directie KVI over scheepvaart en milieu op donderdag 7 juni 2001, Ministerie van VROM, Den Haag



## Technologische-logistiek factoren

De energie-efficiëntie wordt onder andere bepaald door de weerstand van het onderwaterschip met het water. Hierbij kan er een onderscheid gemaakt worden tussen twee weerstanden:

- 1) de golfweerstand. Het schip creëert golven, waardoor er extra weerstand wordt opgewekt door de turbulentie van het water.
- 2) de visceuze weerstand. Dit is de weerstand tussen romp en water. Er zijn een aantal methoden om deze weerstand te verminderen:
  - toepassen van een haaiehuid als scheepshuid,
  - toepassen van luchtbelletjes op de scheepsromp,
  - toepassen van een gladde coating.

Door het aanbrengen van een zogenaamde 'haaienhuid' kunnen er turbulente stromingen gecreëerd worden, waardoor de stroom loslaat van de romp. Het gevolg hiervan is een verminderde weerstand. Niet het gehele onderwaterschip hoeft met een haaienhuid bedekt te worden, maar is afhankelijk van de vorm van de romp en de locatie. De te bedekken locaties moeten proefondervindelijke bepaald worden.

Het maritieme onderzoeksinstituut MARIN in Wageningen en de Vereniging Nederlandse Scheepsbouw Industrie (VNSI) zijn op dit moment bezig met het Project Energiebesparende Luchtgesmeerde Schepen (PELS), waarvan in mei 2001 de aftrap is gegeven. In dit project worden de mogelijkheden onderzocht voor weerstandsvermindering van de scheepshuid door het gebruik van luchtinjectie voor zowel schepen in de zeescheepvaart als in de binnenvaart. Uit andere proeven van MARIN blijkt dat bij lage snelheden (maximaal 15 km/u) een maximale energiebesparing behaald kan worden van 40%.

Een andere factor die de weerstand beïnvloedt, is de keuze van de voorkant van het schip. Deze keuze is afhankelijk van de lijn van het schip in combinatie met de motor en de schroef. De voorkant zou bijvoorbeeld scherp gemaakt kunnen worden, zodat het schip zich als het ware door het water snijdt. Maar de constructie van de voorkant zou ook een bult kunnen omvatten. Het doel van deze bult is het creëren van golven, zodat deze golven in tegen fase bewegen met de golven van het water. Op deze manier worden de golven 'uitgedoofd'. Het toepassen van deze bult-vormige voorkant is onder andere afhankelijk van de gemiddelde diepte van het vaarwater, de beladingsgraad en de diepte van het schip in het water. Dit zal per schip bekeken moeten worden. Olie tankers zijn bijvoorbeeld geschikte 'kandidaten' voor deze bult-vormige voorkanten door de redelijk constante beladingsgraad.

<sup>60</sup> [VNSI, 2001]

## Toepassen van een elektronische brandstof/luchtregeleenheid

De elektronische brandstof/luchtregeleenheid is gebaseerd op een optimale inspuitstip en inspuithoeveelheid. Dit gebeurt per cilinder en wordt elektronisch geregeld. Met behulp van sensoren wordt hiervoor de druk en verbrandingsgegevens gemeten. Dit regelsysteem is in de regel in alle gangbare motoren in de binnenvaart toe te passen. Deze elektronische brandstof/luchtregeleenheid wordt geplaatst naast het bestaande mechanisch systeem, zodat bij uitval van elektronica de motor blijft draaien. Een leverancier van dit systeem is Winel. Het schip waar dit systeem van Winel is uitgetest is 'De Blauwe Slenk'. De uitkomsten van dit project zijn niet bekend. [Dijkstra et al., 1999]

---

<sup>60</sup> Interview met dhr. P. 't Hart, projectmanager R&D bij de Vereniging Nederlandse Scheepsbouw Industrie (VNSI) op woensdag 20 juni 2001, Zoetermeer

## Reductie van de verbrandingstemperatuur

Om de NO<sub>x</sub>-emissie te verminderen, is een reductie van de verbrandingstemperatuur nodig. Dit kan bewerkstelligd worden door controle over de verbrandingseigenschappen van lucht en brandstof uit te oefenen. Zowel de lucht als de brandstof worden geconverteerd in verbrandingsgassen. Het percentage water in de brandstof is één van de bepalende factoren voor de omvang van de emissie. De stabiliteit van het water/brandstof mengsel bepaalt op welke manier de verbranding verloopt. Door water toe te voegen aan de verbrandingskamer, wordt er energie (dus warmte) gebruikt voor de verdamping van het water, waardoor de temperatuur in de verbrandingskamer gereduceerd wordt. Deze methode kan toegepast worden door middel van een emulsie van water en brandstof of door middel van waterinjectie. Een emulsie is stof waarin niet-oplosbare stoffen, namelijk de brandstof, in uiterst fijne druppeltjes verdeeld blijven zweven in het water (zie ook alinea hierboven over PuriNO<sub>x</sub>). Er zijn een aantal nadelen van dit systeem: [NIRIA, 2000]

- de productie van een wateremulsie vergt een omvangrijk en gecompliceerd apparaat,
- ontmenging is steeds mogelijk,
- het kan nodig zijn om de brandstofpomp te vergroten,
- corrosie van de brandstofpomp kan plaatsvinden,
- de motor moet op zuiver brandstof draaien alvorens te stoppen.

Bij waterinjectie wordt er water aan het verbrandingsproces toegevoegd. Deze waterinjectie kan in het inlaatspruitstuk gebeuren waarbij rekening wordt gehouden met de luchtstroom naar de verbrandingskamer. Bij het systeem voor directe waterinjectie bevinden de injectienaalden van het water en de brandstof zich in dezelfde injector. Het water wordt dus tegelijkertijd met de brandstof in de verbrandingskamer gespoten. Met dit specifiek systeem kunnen reducties behaald worden van 50-60%. Dit systeem is toepasbaar voor alle brandstoffen en zowel op nieuwe als op bestaande installaties. Uit gegevens blijkt dat in september 2000 ongeveer 310 cilinders voorzien waren van een directe waterinjectie-systeem. Ook is het mogelijk om directe waterinjectie toe te passen met een aparte waterverstuiver. [Blythe, 2000; NIRIA, 2000] Een nieuw systeem is de 'gelaagde waterinjectie'. Mitsubishi beweert dit systeem te hebben met een gecombineerde brandstof/water verstuiver waarbij de brandstof en het water hoogfrequent afgewisseld worden en het water dus in 'laagjes' in de verbrandingskamer wordt gespoten. De te behalen reducties zijn ongeveer even groot als bij een wateremulsie. Dit systeem is getest met dieselolie en zware stookolie. [NIRIA, 2000]

## Het toepassen van een 'lage NO<sub>x</sub>- verbrandingssysteem'

Dit systeem omvat afstellingen en aanpassingen aan het bestaande motordesign met een reductie van NO<sub>x</sub> als doel, zonder opoffering van de energie-efficiëntie. Hieronder valt niet alleen een vertraging van de brandstofinjectie, maar ook andere aspecten zoals aanpassingen aan de snelheid van de brandstofinjectie, het spuitstuk, de drukratio, de verneveling en de verhouding van brandstof en lucht. [IMO, 2000]

## Toepassen van het SCR-systeem

In het SCR-systeem wordt er een waterige oplossing van ammonia of ureum aan de verbrandingsgassen toegevoegd en vervolgens door een katalytische omzetter geleid. Het ureum wordt geïnjecteerd met behulp van perslucht. Met behulp van mengende elementen in de uitlaat worden de verbrandingsgassen en het ureum vermengd. Wanneer ureum gebruikt wordt bij dit systeem, is een hoeveelheid ureum nodig met een volume van 2-8% van de hoeveelheid brandstof. Bij het gebruik van ammonia kan het nodig zijn om een oxiderende katalysator te plaatsen in de motor ter voorkoming van de emissie van grote hoeveelheden ammonia. Door deze oxiderende katalysator kan ook de emissie van HC en CO gereduceerd worden met respectievelijk 75-90% en 50-90%. Een deel van de ammoniak zal uit het SCR-systeem ontsnappen zonder gereageerd te hebben. Dit wordt ook wel ammoniakslib genoemd. Er zal dus een evenwicht gezocht moeten worden tussen de effectiviteit van de ammoniak/ureum en de omvang van de ammoniakslib door een juiste ammoniak-dosering te kiezen. Om de dosering van de ammoniak/ureum op de actuele NO<sub>x</sub>-emissie af te stemmen kan er een meet- en regelsysteem worden toegepast. Hier wordt nog onderzoek naar verricht. Ureum is corrosief

en er dienen dus veiligheidsmaatregelen genomen te worden bij de opslag van ureum. Er zou een beschermingslaagje op het oppervlak van de opslagtanks gedaan kunnen worden of de opslag zou kunnen plaatsvinden in tanks van kunststof of roestvrij staal. <sup>61</sup> [Oftedal et al., 1996; Kågeson, 1999; Anonymous, 1999; NIRIA, 2000]

De katalysator verliest met de tijd langzaam zijn werking door de thermische belasting en door de fysische afdekking van het oppervlak van de katalysator door stof. Wanneer het resultaat niet meer voldoet, zal de katalysator vervangen moeten worden. Na drie tot vijf jaar zal het katalysatormateriaal vernieuwd moeten worden. [IMO, 2000] Door de zwavel in de brandstof zal er op de katalysatoren gips in poedervorm ontstaan, zodat de omzetter wordt geblokkeerd en het SCR-systeem niet meer werkt. Met behulp van een intern systeem wordt het poeder periodiek laag voor laag van de katalysatoren geblazen. Dit systeem wordt automatisch geactiveerd door het SCR-controlesysteem. [NIRIA, 2000]

Ook dient er rekening te worden gehouden met de temperatuur van de verbrandingsgassen. Een te lage temperatuur (onder de 270°C) kan leiden tot de ongewenste vorming van ammoniumsulfaat. Deze temperatuur is afhankelijk van het zwavelgehalte in de brandstof. [NIRIA, 2000] Het gewenste temperatuurbereik van de verbrandingsgassen voor deze reactie (ongeveer boven de 300°C) voldoet voor de MS-motoren, maar is te hoog voor de SP-motoren (met uitzondering van de grote SP-motoren die op vollast draaien). De verbrandingsgassen van de slow speed-motoren hebben namelijk een te lage temperatuur. Om het SCR-systeem toe te passen op SP-motoren moet er extra ruimte in de machinekamer vrijgemaakt worden op een locatie in de motor waar de temperatuur van de verbrandingsgassen wel voldoet (in dit geval tussen de cilinders en de turbocompressor). Een andere oplossing is de ontwikkeling van een soortgelijk proces dat op lagere temperaturen werkt, maar ten tijde van het schrijven van dit rapport is het nog onduidelijk of dit technisch haalbaar is. [Kågeson, 1999] In onderstaande tabel 1 worden het SCR-systeem en de HAM-techniek met elkaar vergeleken.

Tabel 15. Vergelijking van HAM-techniek en SCR-systeem. [Blythe, 2000]

Factoren	SCR-systeem	HAM-techniek
Dimensie apparatuur	Groot en zwaar.	Minder groot en zwaar
Bedrijfskosten	\$0,29/kg NO <sub>x</sub>	\$0,01/kg NO <sub>x</sub>
Secundaire emissies	Secundaire emissies (ammoniakslib of ureum)	Geen secundaire emissies
Motorbelasting	Minder grote NO <sub>x</sub> -reductie bij niet-constante belasting	Grote NO <sub>x</sub> -reductie bij lage belasting
Zwavelgehalte brandstof	Werking afhankelijk van zwavelgehalte brandstof	Werking niet afhankelijk van zwavelgehalte brandstof
Kwaliteit brandstof	Gevoelig voor kwaliteit brandstof	Ongevoelig voor kwaliteit brandstof
Opslagfaciliteiten	Extra opslagfaciliteiten nodig	Geen extra opslagfaciliteiten nodig
Installatiekosten	Installatiekosten \$55/kW	Installatiekosten \$80/kW

Het blijkt dat in februari 2000 wereldwijd circa 40 SCR-systemen zijn geïnstalleerd in schepen, waarvan de meeste schepen in Noord-Europa varen en een enkeling in Noord-Amerika. [NIRIA, 2000]

## Brandstofcel

Brandstofcellen zijn apparaten die elektrochemische energie converteren. De chemische energie komt vrij met behulp van een redox-reactie en direct geconverteerd naar elektrische vermogen. Om het totale vermogen en voltage te verhogen kunnen individuele brandstofcellen opgestapeld worden. Brandstofcellen gebruiken alleen waterstof en zijn daarmee emissieloos. De productie van waterstof vergt wel energie, maar dit is energie-efficiënter dan het gebruik van brandstof in conventionele motoren. Andere voordelen zijn een reductie in geluid en milieubelasting. In Nederland worden op bussen en vrachtwagens proeven uitgevoerd met brandstofcellen. [V&W, 2000; Schmal et al., 2000]

<sup>61</sup> Interview met dhr. A.P. Burgel en dhr. D.F.G.A. ten Holt van DGG op woensdag 9 mei 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

## Duale scheepsmotoren

Voor de aanpassing van duale scheepsmotoren in bestaande schepen zijn er drie te volgen stappen [M.D.A., 2000]:

1. het ombouwen van de motoren, met toevoeging van carburatoren (onderdeel van een motor waarin de brandstof vergast wordt en met lucht wordt gemengd) en een bedieningspaneel.
2. het installeren van voorraadtanks voor aardgas op het schip, inclusief pijpleidingen en bijbehorende veiligheidsaspecten (zoals plaatsing van gasdetectoren en verschillende regelaars, scheiding van gasopslag en gastoevoer, installatie van een sprinklersysteem in de ruimte van gasopslag, het opstellen van een periodiek inspectieprotocol).
3. het bouwen van een compressiestation voor aardgas aan wal. Dit station omvat een compressor, intercoolers, een op zichzelf staande radiator voor de intercoolers en een opslag voor gasflessen.

In 1985 kreeg het motorschip 'Klatawa' als eerste wereldwijd een vergunning om zowel op aardgas als op diesel te varen. Dit schip had MS-motoren (medium speed) en behoeftte alleen een toevoeging van gasregulators, een aangepaste Woodward toerenregeelaar en een carburator aan de motoren.

Dit schip kon op een mengsel van aardgas en diesel varen of op diesel alleen. Bij een motorlast van 85% was de verhouding van het oorspronkelijke mengsel aardgas/diesel 80% / 20%, maar tegenwoordig is de verhouding van dit mengsel 91% / 9%. Wanneer de motor stationair draait (750 toeren per minuut), bedraagt de aardgas/diesel ratio 35% / 65%.

Aangezien de temperatuur in de motor te laag was voor spontane ontbranding van aardgas, werd dieselinjectie gebruikt voor de ontbranding. Het was noodzakelijk dat er periodiek bijgetankt werd (om de 4,5 uur), waardoor verre zeereizen niet mogelijk zijn. De inspectie en het onderhoud vonden plaats na 30.000 draaiuren van de motoren.

Een ander passagiersschip dat omgebouwd is, is de 'Kulleet'. Door een verbeterde versie van de duale scheepsmotor zijn inspectie en onderhoud pas na 60.000 draaiuren noodzakelijk. Ook hier is het gebruikte aardgas/diesel ratio 91% / 9%.

Het motorschip 'Osprey 2000' is ook omgebouwd en mag in tegenstelling tot de Kulleet en de Klatawa tijdens het inschepen van goederen, auto's en passagiers getankt worden. Dit is mogelijk door de locatie en de hoogte van het tankstation op het schip.

Naast de pilot-projecten met betrekking tot bovenstaande drie schepen is de Marine Design Associates Ltd. ook nog bezig met het omzetten naar duale scheepsmotoren bij vier andere passagiersschepen. [M.D.A., 2000]

## Bijlage 7.A: Externe milieukosten, scheepvaartsector op Nederlands grondgebied in 1999

In deze bijlage is een overzicht gegeven van de milieukosten met betrekking tot emissies naar de lucht. Hierbij zijn de volgende emissies bekeken: CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC, PM<sub>10</sub> en SO<sub>2</sub>. De financiële waardering van deze emissies naar de lucht is te vinden in de tweede en derde kolom van onderstaande tabel 1. Hierbij is er een onderscheid gemaakt naar 'binnen de bebouwde kom' en 'buiten de bebouwde kom', afhankelijk van de milieu-effecten en gezondheidseffecten van de betreffende emissie. Uit de tabel blijkt dat er geen onderscheid gemaakt wordt bij de emissie van CO<sub>2</sub> en SO<sub>2</sub>. In het eerste geval is dit gedaan vanwege het mondiale milieu-effect (versterking van het broeikas-effect) en voor SO<sub>2</sub> vanwege de geringe schadelijke gezondheidseffecten door de lage concentratie in de lucht). [Dings *et al.*, 1999a]

Bij deze tabel moeten er een aantal kanttekeningen gemaakt worden. Allereerst zijn de emissies van de binnenvaart en de zeescheepvaart samengenomen, omdat er bij de waardering geen onderscheid gemaakt wordt naar binnenschip of zeeschip. Daarnaast zijn de gegevens over de HC-uitstoot niet bekend, waardoor de externe milieukosten hiervan niet berekend kunnen worden. Er is gekozen om de milieukosten te baseren op de waardering buiten de bebouwde kom, omdat de meeste emissies van zowel de zeescheepvaart als de binnenvaart plaatsvinden buiten de bebouwde kom. Maar uiteindelijk heeft deze keuze een verwaarloosbaar effect op de milieukosten, omdat de kosten bepaald worden door de CO<sub>2</sub>-emissie. In onderstaande tabel zijn maar een beperkt aantal emissies opgenomen, terwijl ook andere emissies zoals CO, PAK's en VOS ook milieukosten met zich meebrengen. De werkelijke milieukosten van de emissies naar de lucht zullen dus hoger liggen dan de totalen in tabel 1.

Tabel 16. De externe milieukosten van de emissies naar de lucht door de scheepvaartsector op Nederlands grondgebied in 1999. [Dings *et al.*, 1999a; Van den Brink, 2000]

Emissie	Binnen bebouwde kom (euro)	Buiten bebouwde kom (euro)	Emissies door binnenvaart en zeescheepvaart in 1999 (kg)	Milieukosten buiten bebouwde kom (euro)	Milieukosten buiten bebouwde kom (fl.)
CO <sub>2</sub> per ton	50	50	3.000.000.000	150.000.000	330.557.000
NO <sub>x</sub> per kg	7	5	57.100.000	286.000	629.000
HC per kg	7	5	PM	PM	PM
PM <sub>10</sub> per kg	150	20	4.100.000	82.000	181.000
SO <sub>2</sub> per kg	3	3	15.100.000	45.000	100.000
<b>Totaal</b>				<b>150.413.000 + PM</b>	<b>331.467.000 + PM</b>