BETTER SHIPS, BLUE OCEANS

# INVENTARISEREND ONDERZOEK NAAR VERMINDERING STIKSTOFEMISSIE DOOR SNELHEIDSBEPERKING SCHEEPVAART


| | | |
|---|---|---|
| Rapport nr. | : | 32999-1-MO-rev.2 |
| Datum | : | 14 oktober 2020 |
| Versie | : | Rev. 2<br>Eindrapport |

# INVENTARISEREND ONDERZOEK NAAR VERMINDERING STIKSTOFEMISSIE DOOR SNELHEIDSBEPERKING SCHEEPVAART

Opdrachtgever : Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Postbus 20906
2500 EX Den Haag

Gerapporteerd door : D. ten Hove, Y. Koldenhof (MARIN), J.H.J. Hulskotte (TNO)

Paraaf management :



| Versie | Datum | Status | Gecontroleerd door | Opmerking |
|---|---|---|---|---|
| Rev. 0.1 | 18 september 2020 | Concept | J.H. de Jong | Ongetekend |
| Rev. 1 | 21 september 2020 | Concept | J.H. de Jong | Handtekening |
| Rev. 2 | 14 oktober 2020 | Definitief | J.H. de Jong | Handtekening |

**INHOUD** **PAGINA**

1 INLEIDING ..... 1

2 DOEL EN AFBAKENING VAN HET ONDERZOEK ..... 2

2.1 Doel van het Onderzoek ..... 2

2.2 Afbakening onderzoek ..... 2

3 EFFECTIVITEIT SNELHEIDSBEPERKING VOOR DE ZEEVAART ..... 3

3.1 Inleiding ..... 3

3.2 Snelheidsreductie scenario ..... 3

3.3 Algemene werkwijze / rekenmethode ..... 3

3.4 Aanpassingen voor het snelheidsreductie scenario ..... 4

3.5 Gebiedsdefinitie ..... 5

3.6 Resultaten NCP – 12-mijls zone ..... 8

3.6.1 Effect op de gemiddelde snelheid ..... 8

3.6.2 Effect op het totale aantal vaaruren op zee ..... 9

3.6.3 Effect op de totale uitstoot van NOx ..... 11

3.7 Resultaten Havengebieden ..... 14

3.7.1 Effect snelheden ..... 14

3.7.2 Vaaruren ..... 15

3.7.3 Uitstoot NOx ..... 16

3.8 Effecten op de veiligheid van de zeescheepvaart ..... 17

4 EFFECTIVITEIT SNELHEIDSBEPERKING VOOR DE BINNENVAART ..... 19

4.1 Inleiding ..... 19

4.2 Selectie van gebieden en scheepsklassen ..... 19

4.3 Rekenmethode ..... 20

4.4 Uitkomsten van het onderzoek ..... 22

4.4.1 Algemene beschrijving van de scenario's ..... 22

4.4.2 Te behalen emissiereductie door hoofdmotoren ..... 24

4.4.3 Verrekening van effecten van langere vaartijd ..... 27

4.4.4 Emissiereductie en vaarsnelheden ..... 28

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN ..... 32

5.1 Algemeen ..... 32

5.2 Zeevaart ..... 32

5.3 Binnenvaart ..... 33

BIJLAGE 1 RESULTATEN 12-MIJLSZONE EN NCP PER SCHEEPTYPE- SCHEEPSGROOTTE ..... 36

1.1 Vaarsnelheid ..... 36

1.2 Vaaruren ..... 37

BIJLAGE 2 RESULTATEN HAVENGEBIEDEN ..... 43

BIJLAGE 3 EMISSION FACTORS ..... 46

A1 SAILING AND MANOEUVRING ..... 47
A1.1 Main Engines ..... 47
A1.2 Multiple propulsion engines ..... 49
A1.3 Auxiliary Engines and Equipment ..... 53
A1.4 Engine Emission Factors ..... 53
A1.5 Fuel allocation ..... 57
A1.6 Correction factors of engine Emission Factors ..... 58
A2 EMISSIONS OF SHIPS AT BERTH ..... 61
A3 FISHERIES ..... 63
A3.1 Activity data ..... 63
A3.2 Emission factors ..... 63
BIJLAGE 4 EMS-PROTOCOL EMISSIES DOOR BINNENVAART: VERBRANDINGSMOTOREN ..... 66

# 1 INLEIDING

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat onderzoekt welke maatregelen bij kunnen dragen aan het verminderen van de stikstofdepositie door de scheepvaart. Maatregelen waar aan gedacht wordt zijn onder andere het verminderen van de vaarsnelheid door het instellen van een snelheidsbeperking en verandering van de routering van schepen. Belanghebbenden in de scheepvaartsector hebben in informeel overleg aangegeven dat er nogal wat haken en ogen zitten aan snelheidsbeperking om er als stikstofmaatregel effect van te verwachten. Motoren zijn immers geoptimaliseerd voor een bandbreedte in vaarsnelheden. In de buurt van havens varen schepen al relatief langzaam. Nog langzamer varen zou de stikstofemissies juist kunnen doen toenemen. Het is van belang dat over deze mening een onderbouwde beoordeling gegeven wordt. Het ministerie heeft daarom besloten een inventariserend onderzoek te starten naar de vraag of vermindering van de vaarsnelheid een effectief instrument kan zijn om de stikstofdepositie door de scheepvaart te verminderen. Het onderzoek beperkt zich hierbij niet alleen tot zeevaart, maar besteed ook aandacht aan de binnenvaart. Het ministerie heeft MARIN middels de opdrachtbrief “Onderzoek haalbaarheid snelheidsbeperking scheepvaart met kenmerk 31160496 (d.d. 5 augustus 2020)” opdracht gegeven voor het uitvoeren van dit inventariserend onderzoek.

Sinds 2008 (zie [Ref 1.] t/m [Ref 10.]) bepaalt MARIN samen met TNO de emissies vanuit de scheepvaart op de Noordzee en in enkele havengebieden. Dit gebeurt door een emissie uitstoot model van TNO te koppelen aan de waargenomen vaarbewegingen in een bepaald jaar gebaseerd op AIS-data. De laatste keer dat deze emissies bepaald zijn is over de AIS-data van 2018 ([Ref 10.]). Daarnaast heeft TNO modellen ontwikkeld voor emissieberekeningen in de binnenvaart. Het onderzoek is daarom in samenwerking met TNO uitgevoerd.

Dit rapport beschrijft de resultaten van deze haalbaarheidsstudie.

Het onderzoek en de resultaten worden beschreven in de volgende hoofdstukken:

- Hoofdstuk 2: Doel en afbakening van het onderzoek;
- Hoofdstuk 3: Effectiviteit van de snelheidsbeperking voor de zeevaart;
- Hoofdstuk 4: Effectiviteit van de snelheidsbeperking voor de binnenvaart;
- Hoofdstuk 5: Conclusies en aanbevelingen.

# 2 DOEL EN AFBAKENING VAN HET ONDERZOEK

## 2.1 Doel van het Onderzoek

Het doel van de studie is een inventariserend onderzoek uit te voeren naar de vraag of vermindering van de vaarsnelheid een effectief instrument kan zijn om de stikstofemissie door zowel de zeevaart als de binnenvaart te verminderen.

Vanwege de verschillende karakteristieken tussen binnenvaart en zeevaart, wordt aan beide modaliteiten apart aandacht besteed. Voor beide modaliteiten wordt ten minste op de volgende aspecten ingegaan:

1. Een algemene beschrijving van de relatie vaarsnelheid en stikstofuitstoot, waar relevant uitgesplitst naar verschillende scheepstypen/motoren/locatie.

2. De relatie tussen de vaarsnelheid en stikstofuitstoot afzetten tegen de operationele vaarsnelheden op de verschillende locaties voor de schepen die relevant zijn voor de stikstofdepositie in Nederland.

3. De resultaten gebruiken als eerste scan waar kansrijke opties liggen die het waard zijn in om een vervolgstudie verder verdiept te worden.

4. Identificeren van omstandigheden waarin vermindering van de vaarsnelheid juist negatief zou kunnen uitwerken op de stikstofemissie.

5. Identificeren van mogelijke veiligheidsaspecten die bij een vaarsnelheidsbeperking aan de orde moeten komen.

## 2.2 Afbakening onderzoek

Het doel van het onderzoek is het inventariseren of een snelheidsreductie voor de scheepvaart effect heeft op de emissie van NOx. Hierbij is niet gekeken naar de werkelijke depositie van de NOx in relatie tot de omgeving. Ook is de praktische uitvoerbaarheid of de handhaafbaarheid van een snelheidsmaatregel niet in detail onderzocht.

Omdat het een inventariserend overzoek is, is ook niet gekeken of de voorgestelde maatregelen (snelheidsreductiescenario's) goed aansluiten bij al geldende lokale afspraken over vaarsnelheden Zo zijn in de studie snelheidsregimes of afspraken voor vaste vaarsnelheden in de zeevaart, zoals bijvoorbeeld op de Westerschelde in verband met de tijpoorten of het Noordzeekanaal in verband met de sluisplanning, niet expliciet mee genomen. Ze zijn wel impliciet meegenomen, omdat bij het bepalen van de scenario's is uitgegaan van de huidige operationele vaarsnelheden. Als er nu al langzaam gevaren wordt in verband met een snelheidsbeperking of afspraken, dan wordt in de scenario's de snelheid niet verder gereduceerd.

Tenslotte is het doel van het onderzoek om met behulp van een rekenmethode aan te tonen of een eventuele reductie van de vaarsnelheid kan leiden tot een reductie van de uitstoot van NOx. De conclusies voor NOx kunnen niet doorgetrokken worden naar andere stoffen.

# 3 EFFECTIVITEIT SNELHEIDSBEPERKING VOOR DE ZEEVAART

## 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de effecten beschouwd van een snelheidsreductiescenario voor de zeevaart op de uitstoot van NOx. In paragraaf 3.2 wordt eerst kort het beschouwde scenario besproken. Voor het bepalen van de uitstoot is een methode gebruikt die MARIN en TNO de laatste jaren ontwikkeld hebben om de emissies van verschillende stoffen door de zeevaart te bepalen in het kader van de emissieregistratie. De gevolgde werkwijze wordt kort toegelicht in paragraaf 3.3 Een uitgebreidere beschrijving staat in BIJLAGE 3. In paragraaf 3.4 wordt ingegaan op de aanpassingen die zijn doorgevoerd om de effecten van de snelheidsreductie door te rekenen. De verschillende gebieden worden toegelicht in paragraaf 3.5. De resultaten voor het NCP (Nederlands deel van het Continentaal Plat) zijn opgenomen in 3.6, hierbij wordt gekeken naar de effecten op de gemiddelde snelheid, het totaal aantal vaaruren en tenslotte de berekende NOx uitstoot. In paragraaf 3.7 worden de resultaten weergegeven voor de verschillende havengebieden. Tenslotte wordt in paragraaf 3.8 kort ingegaan op de mogelijke effecten van de snelheidsreductie op de veiligheid van de scheepvaart.

## 3.2 Snelheidsreductie scenario

De hoeveelheid emissie naar lucht van een zeevarend schip is gerelateerd aan onder andere de snelheid die een schip vaart. Hierbij is niet (alleen) de absolute snelheid relevant, maar ook de verhouding tussen de werkelijke vaarsnelheid en de zogenoemde ontwerpsnelheid van het schip. Deze ontwerpsnelheid is voor ieder schip verschillend en is bijvoorbeeld afhankelijk van de rompvorm van de boeg. In het geval dat een schip maar een enkele motor heeft, wordt aangenomen dat een schip 85% van haar "maximum continuous rating power (MCR)" gebruikt om de ontwerpsnelheid (design speed of service speed) te halen.

Daarom is binnen de studie het snelheidsreductiescenario voor de zeevarende schepen doorgerekend waarbij alle schepen op maximaal 75% van hun ontwerpsnelheid varen. Deze 75% is gemiddeld al een significante verlaging (orde 50%) van het geïnstalleerde vermogen. Verdere verlaging is niet aan te raden i.v.m. het niet meer functioneren van de uitlaatgassen reinigingssystemen.

Binnen dit onderzoek is bovenstaand scenario doorgerekend voor alle schepen in alle verschillende gebieden, op zee en in havens. Er is daarbij geen onderscheid gemaakt naar gebied of scheepstype. Voor verschillende gebieden, zoals het Noordzeekanaal of de Westerschelde gelden al lokale regels voor vaarsnelheden. Deze hebben veelal te maken met de veiligheid in een gebied en de afhandeling van een logistiek proces, zoals een sluis of tijpoorten. Alleen als schepen al op minder dan 75% van de ontwerpsnelheid varen, dan is de vaarsnelheid niet verder gereduceerd. Binnen het onderzoek is alleen gekeken, met behulp van rekenmodellen, of een snelheidsreductie voor de zeescheepvaart tot een reductie kan lijden van de uitstoot van NOx.

## 3.3 Algemene werkwijze / rekenmethode

Deze paragraaf beschrijft kort de procedures en rekenmethode voor de emissieberekening voor de zeevaart, die is gebaseerd op AIS-gegevens. Op basis van AIS-gegevens van de schepen zijn de emissies berekend voor zowel NCP, de 12-mijlszone, het Waddengebied als de zes Nederlandse havengebieden. De methode om de emissies te berekenen is in samenwerking met TNO ontwikkeld binnen een jaarlijks onderzoek voor RIVM in het kader van de emissieregistratie.

Voor de analyse wordt gebruik gemaakt van AIS-data. Dit zijn gegevens die hoogfrequent worden uitgezonden door vrijwel alle schepen die op de Noordzee en in havens varen. Een AIS-systeem is verplicht voor zeeschepen groter dan 300GT, maar ook een groot deel van de werkvaart,

vissersschepen en recreatievaart heeft het systeem aan boord en ook een steeds groter deel van de binnenvaartschepen.

De data in een AIS-bericht kan ingedeeld worden in drie categorieën:
- schip gerelateerde data, zoals MMSI-nummer, afmetingen, scheepstype;
- Statische reis gerelateerde data, zoals de naam en ETA voor de volgende haven;
- Dynamische reis gerelateerde data, zoals de positie van het schip, de snelheid (Speed over Ground), heading.

Het AIS-bericht bevat dus informatie over het vaargedrag van de (zee)scheepvaart. In dit vaargedrag zit dus impliciet (actuele SpeedoverGround) ook de huidige geldende (lokale) snelheidsbeperkingen. Binnen het rekenmodel voor de emissie naar de lucht op basis van AIS-data wordt gebruik gemaakt van zowel de identificatie van het schip (MMSI), de positie van het schip als de snelheid van het schip.

De werkwijze bestaat uit verschillende stappen:

1. Vaststellen van een lijst van schepen die in 2018 in het analysegebied zijn waargenomen. Dit resulteert in een lijst van MMSI-nummers.

2. Voor ieder individueel schip zijn door TNO emissiefactoren bepaald, dit resulteert uiteindelijk in een emissiemodel voor ieder individueel schip, waarin de snelheid van het schip een belangrijke invoerparameter is. Meer details over de emissiefactoren en de afhankelijkheid van de snelheid staat in BIJLAGE 3. In het emissiemodel wordt op basis van het type motor en brandstof de verwachte emissie bepaald van NOx afhankelijk van de vaarsnelheid. Hierbij wordt zowel de emissie van de hoofdmotor als van de hulpmotor bepaald. Dus ook wanneer een schip stilligt, bijvoorbeeld in een haven of ankergebied wordt toch de emissie van NOx bepaald.

3. Op basis van de AIS-data wordt per gridcel (zie paragraaf 3.5) bepaald hoe vaak een bepaald schip is waargenomen en met welke snelheid. Er wordt dus geen aanname gedaan voor de vaarsnelheden of er worden geen gemiddelden bepaald, er wordt in de rekenmethode gewerkt met de werkelijk waargenomen snelheden in de analyse periode (2018). Dit betekent dat eventueel al geldende lokale snelheidsregimes impliciet al “verwerkt” zijn in de methode.

4. Vervolgens wordt voor iedere gridcel het emissiemodel van ieder individueel schip gekoppeld aan het aantal waarnemingen per snelheidsklasse van het schip in een cel. Hieruit volgt uiteindelijk de totale verwachte emissie in een bepaalde gridcel voor het specifieke schip. Deze resultaten worden uiteindelijk gesommeerd per scheepstype en scheepsgrootteklasse in de cel.

Door de gevolgde werkwijze kan uiteindelijk de totale emissie in een bepaald gebied berekend worden, maar ook kan een geografische verdeling van de emissie worden weergegeven.

Meer informatie over de gevolgde werkwijze kan ook gevonden worden in [Ref 10.] en in BIJLAGE 3 is een uitgebreide beschrijving van het emissiemodel gegeven. Dit model bevat de emissie voor meer stoffen dan alleen stikstof (NOx), maar voor de huidige studie is alleen gekeken naar de uitstoot van NOx.

### 3.4 Aanpassingen voor het snelheidsreductie scenario

Binnen de huidige studie is gekeken naar het effect van één snelheidsreductiescenario voor alle scheepstypen en in alle gebieden. Het uitganspunt is dat schepen niet harder varen dan 75% van de ontwerpsnelheid van het schip. Het effect van deze maatregel in het rekenmodel is tweeledig. Als eerste wordt per schip gekeken of het harder vaart dan 75% van haar ontwerpsnelheid, als dit het geval is

wordt deze snelheid in het model aangepast naar deze overeengekomen 75%. Dit is dus voor ieder schip een andere snelheid. Als een schip al langzamer vaart wordt er niets aangepast in de data.

Wanneer een schip langzamer gaat varen zal ze uiteindelijk langer op zee zijn (of in aanloop naar de haven) om hetzelfde aantal reizen te maken. Dit betekent dat er in het rekenmodel ook gecorrigeerd is voor deze langere aanwezigheid (extra vaaruren). Dus wanneer de snelheid naar beneden is bijgesteld om aan de max 75% ontwerpsnelheid te voldoen, is het aantal uur op zee voor dat schip gedurende de tijd dat haar snelheid hoger was naar boven bijgesteld.

Uiteindelijk heeft het reduceren van de snelheid een effect op de emissie van NOx per gevaren mijl, maar ook op het totaal aantal uren op zee. In het emissiemodel per schip wordt ook de uitstoot van Nox door de hulpmotoren meegenomen, een reductie van de snelheid heeft geen effect op de hoeveelheid uitstoot per uur van deze motoren. Wel heeft de toename van het aantal vaaruren een effect op de totale uitstoot van deze motoren tijdens de reis, als het aantal vaaruren toeneemt, neemt ook de totale uitstoot van NOx uit de hulpmotoren toe. Uiteindelijk zal het totaal effect dus een balans zijn tussen de verwachte afname van de emissie als gevolg van een verlaging van de vaarsnelheid door de hoofdmotor en een toename van de uitstoot door de toename van het aantal vaaruren en van de draaiuren van de hulpmotor.

### 3.5 Gebiedsdefinitie

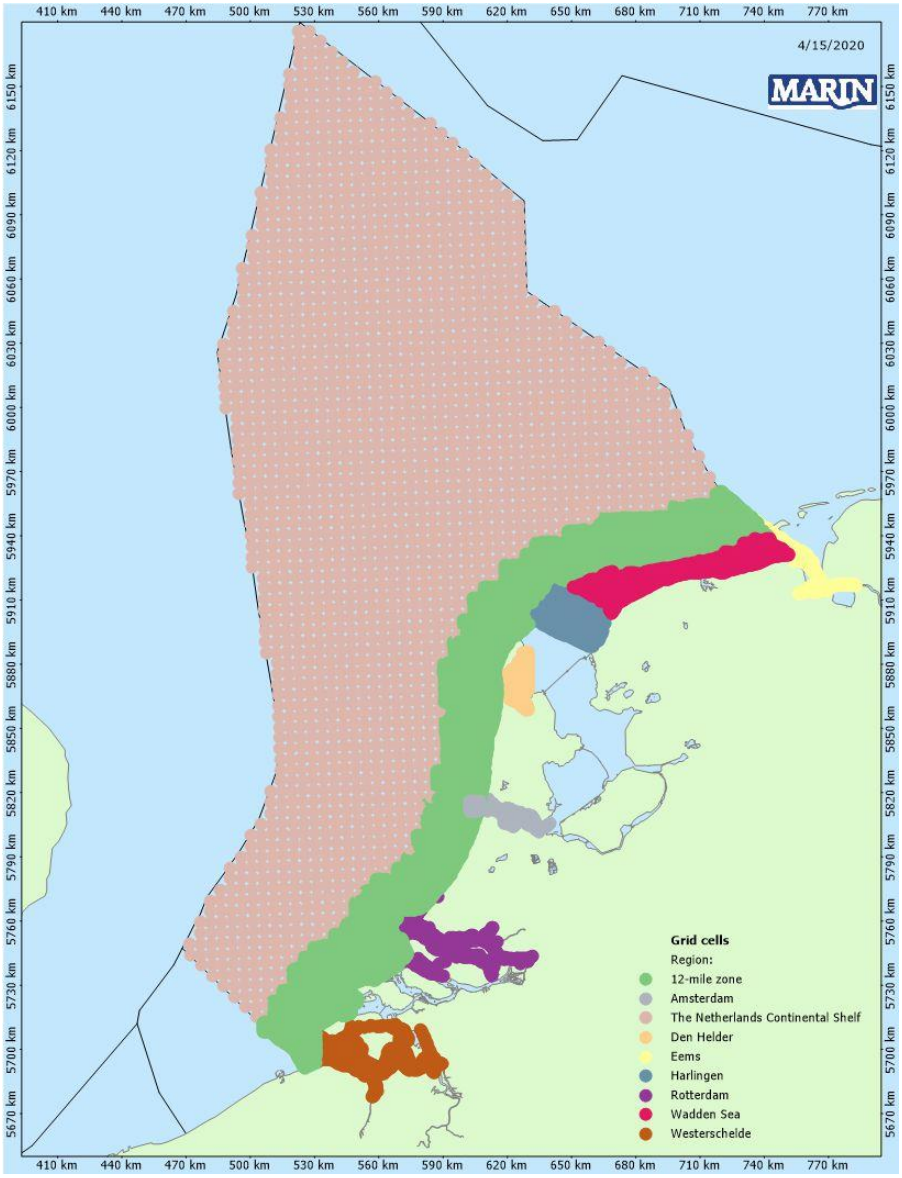
De emissies zijn berekend op een grid van 5000 x 5000 m voor het NCP en op een grid van 500 x 500m in de 12-mijlszone en in de havengebieden.

Het Nederlandse zeegebied en de havengebieden zijn weergegeven in Figuur 3-1 De verschillende gebieden zijn aangegeven door de middelpunten van de roostercellen  verschillend in te kleuren

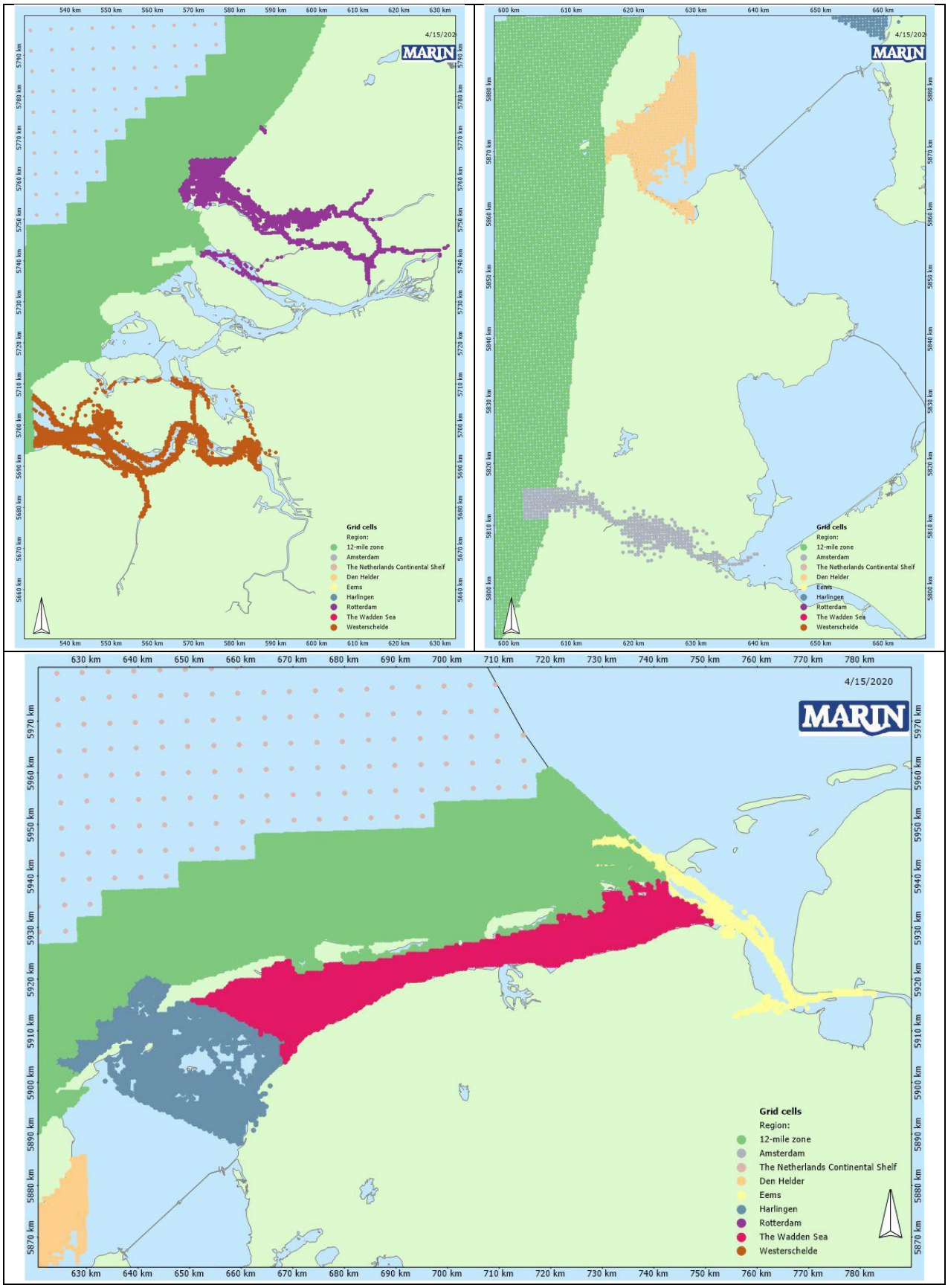
- De roze punten op zee zijn de cellen buiten de 12-mijlszone;
- De groene punten op zee zijn de cellen binnen de 12-mijlszone;
- De gele, blauwgrijze, lichtgrijze, paarse en oranje punten zijn respectievelijk de havengebieden Eems, Harlingen, Amsterdam, Rotterdam en de Westerschelde.

In Figuur 3-2 zijn de vijf havengebieden nader geïllustreerd. Op sommige plaatsen zijn er gridpunten op het land. Hiervoor zijn verschillende redenen. Over het algemeen zijn de hier gepresenteerde kaarten niet zo gedetailleerd dat alle bestaande waterwegen en / of kades zichtbaar zijn, hoewel ze wel bestaan. Ook is geconstateerd dat de bepaling van de gps-positie wordt verstoord door containerkranen, waardoor het AIS-bericht niet met de juiste positie wordt gevoed. Wanneer, om wat voor reden dan ook, AIS-signalen worden verstoord of verloren gaan, worden posities geëxtrapoleerd. Dit gebeurt voordat MARIN de gegevens ontvangt. Deze verstoring heeft geen groot effect op de resultaten van de studie.

Het onderzoek focust zich alleen op de effecten op het NCP en de verschillende haven gebieden. Effecten buiten het NCP zijn niet onderzocht.




*Figuur 3-1 Locatie van de verschillende berekende gebieden*




*Figuur 3-2 Locatie van de verschillende havengebieden.*

### 3.6 Resultaten NCP – 12-mijls zone

In deze paragraaf worden de resultaten besproken van de berekeningen voor het NCP. Dit gebied bestaat uit een deel binnen en een deel buiten de 12-mijlszone. Eerst worden de effecten op de gemiddelde vaarsnelheid besproken, vervolgens is gekeken naar de effecten op het aantal vaaruren dat schepen op zee zijn. Tenslotte worden de effecten van de beschouwde snelheidsreductie op de uitstoot van NOx gegeven.

#### 3.6.1 Effect op de gemiddelde snelheid

Voor de gebieden NCP buiten de 12-mijlszone en binnen de 12-mijlszone (exclusief de havengebieden), zoals aangegeven in Figuur 3-1 zijn de gemiddelde waargenomen vaarsnelheden per scheepstype weergegeven in Tabel 3-1. Ook is de gemiddelde vaarsnelheid in knopen bepaald nadat het snelheidsreductie scenario is toegepast. Binnen de 12-mijlszone is de gemiddelde vaarsnelheid voor het huidige scenario (2018) 10,0 kn. Wanneer de snelheidsreductie is toegepast is de gemiddelde vaarsnelheid 9,2 kn. Voor het gebied buiten de 12-mijls zone neemt de gemiddelde vaarsnelheid af van 10,9 naar 9,8. De gemiddelde vaarsnelheid varieert tussen de 8 kn voor werkvaartuigen (Tug/Supply) tot 14.4 kn voor RoRo schepen buiten de 12-mijlszone.

In Tabel 3-2 is nogmaals de gemiddelde vaarsnelheid weergegeven voor de beide gebieden en scenario's, alleen nu is de snelheid weergegeven per scheepsgrootte klasse, gebaseerd op de GT van het schip. Uit de tabel volgt dat de gemiddelde vaarsnelheid voor schepen groter dan 5000GT tussen de 11 en 12 kn ligt. De snelheid van de kleinere schepen ligt lager, dit heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat de kleinere schepen veelal werkvaartuigen zijn, welke ook soms gedurende een langere periode stil liggen op zee.

In BIJLAGE 1 zijn de absolute verschillen in vaarsnelheid per scheepstype en scheepsgrootteklasse weergegeven in twee tabellen voor beide gebieden. Hieruit volgt geen duidelijke trend voor welke scheepstype/scheepsgrootteklasse combinatie de effecten van het scenario het grootst of het kleinst zijn.

*Tabel 3-1 Gemiddelde vaarsnelheid op het NCP buiten de 12-mijlszone en binnen de 12-mijlszone, voor het huidige en aangepaste scenario - per scheepstype*

| Scheepstype | Gemiddelde snelheid voor verschillende gebieden en scenario's [kn] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Huidige scenario (2018) | | | Snelheid reductie scenario (max 75% ontwerpsnelheid) | | |
| | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | NCP + 12-mijlszone | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | NCP + 12-mijlszone |
| Oil tanker | 8,8 | 9,6 | 9,2 | 8,1 | 8,6 | 8,4 |
| Chem.+Gas tanker | 10,0 | 11,1 | 10,6 | 9,2 | 10,0 | 9,6 |
| Bulk carrier | 10,1 | 9,6 | 9,8 | 8,9 | 8,5 | 8,7 |
| Container ship | 12,9 | 13,0 | 12,9 | 11,9 | 12,1 | 12,0 |
| General Dry Cargo | 10,4 | 10,6 | 10,5 | 9,1 | 9,4 | 9,3 |
| RoRo Cargo / Vehicle | 11,6 | 14,4 | 13,0 | 10,4 | 12,0 | 11,2 |
| Reefer | 11,3 | 12,1 | 11,7 | 10,3 | 11,0 | 10,6 |
| Passenger | 10,6 | 12,7 | 11,6 | 10,0 | 11,6 | 10,8 |
| Miscellaneous | 6,8 | 8,0 | 7,4 | 6,6 | 7,5 | 7,1 |
| Tug/Supply | 8,1 | 7,9 | 8,0 | 7,7 | 7,4 | 7,6 |
| **Totaal** | **10,0** | **10,9** | **10,4** | **9,2** | **9,8** | **9,5** |

*Tabel 3-2 Gemiddelde vaarsnelheid op het NCP buitende 12-mijlszone en binnen de 12-mijlszone, voor het huidige en aangepaste scenario - per scheepsgrootte klasse*

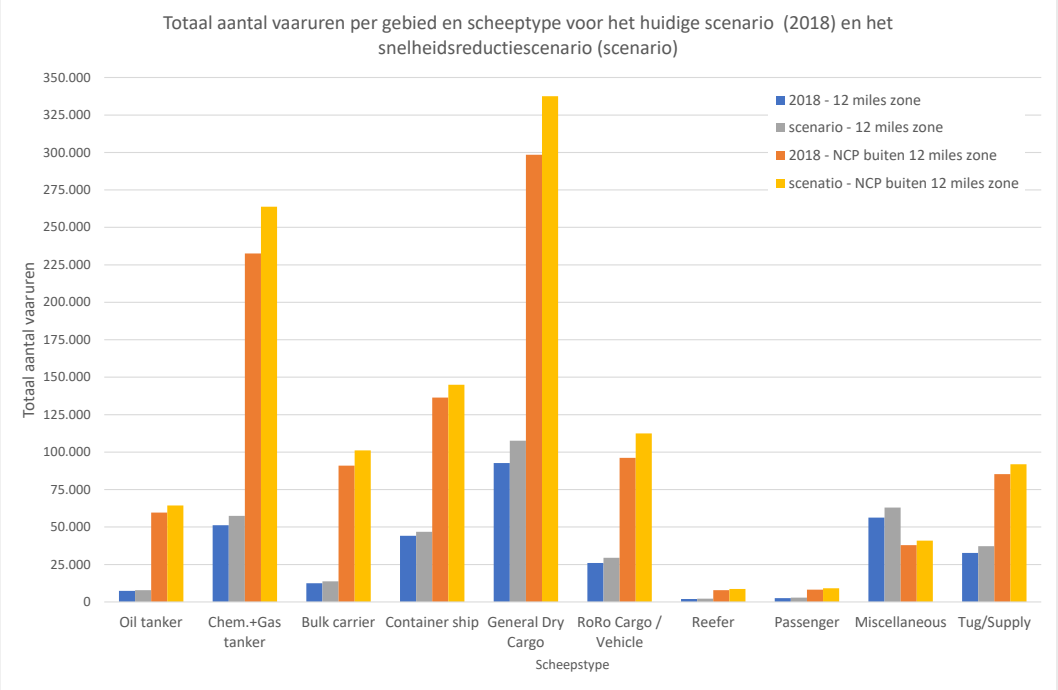
| | Gemiddelde snelheid voor verschillende gebieden en scenario's [kn] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Huidige scenario (2018) | | | Snelheid reductie scenario (max 75% ontwerpsnelheid) | | |
| Scheepsgrootte klasse | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | NCP + 12-mijlszone | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | NCP + 12-mijlszone |
| 100-1,600 GT | 7,7 | 8,8 | 8,3 | 6,9 | 7,5 | 7,2 |
| 1,600-3,000 GT | 8,8 | 9,2 | 9,0 | 7,8 | 8,1 | 8,0 |
| 3,000-5,000 GT | 9,5 | 10,5 | 10,0 | 8,4 | 9,2 | 8,8 |
| 5,000-10,000 GT | 10,7 | 11,4 | 11,0 | 9,6 | 10,2 | 9,9 |
| 10,000-30,000 GT | 11,1 | 12,3 | 11,7 | 10,3 | 11,1 | 10,7 |
| 30,000-60,000 GT | 10,3 | 11,6 | 10,9 | 9,7 | 10,7 | 10,2 |
| 60,000-100,000 GT | 11,3 | 11,4 | 11,4 | 10,9 | 10,8 | 10,8 |
| >100,000 GT | 11,2 | 12,1 | 11,7 | 10,5 | 10,9 | 10,7 |
| Totaal | **10,0** | **10,9** | **10,4** | **9,2** | **9,8** | **9,5** |

### 3.6.2 Effect op het totale aantal vaaruren op zee

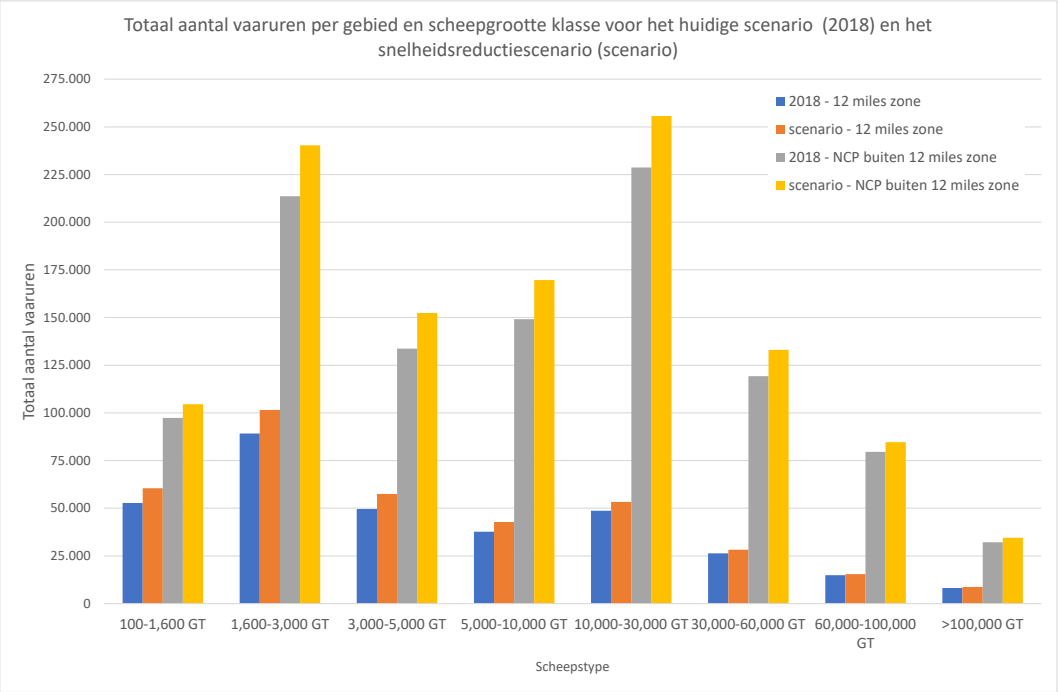
Een effect van het verlagen van de snelheid is dat een schip langer over haar reis doet en er dus meer vaaruren gemaakt worden op zee. Om dit effect te zien is het totaal aantal vaaruren per scheepstype en scheepsgrootte bepaald. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 3-3 (per scheepstype) en Figuur 3-4 (per scheepsgrootteklasse). De tabellen met de resultaten zijn opgenomen in BIJLAGE 1

In totaal zijn in 2018 1.380.795 vaaruren waargenomen op het NCP en de 12-mijlszone samen. Hiervan vond 327.246 uur plaats binnen de 12-mijlszone en 1.053.549 uur buiten de 12-mijlszone. Wanneer het snelheidsreductie scenario wordt toegepast zullen er in totaal 1.542.809 vaaruren zijn binnen het totale gebied. Dit is een toename van 11,73%. Dit percentage is vrijwel gelijk voor zowel het gebied binnen de 12-mijlszone (12.45%) als buiten de 12-mijlszone (11.51%).

Het grootste absolute verschil is zichtbaar voor de General Dry Cargo. Het grootste relatieve verschil (procentuele groei) is zichtbaar bij het scheepstypes RoRo. De kleinste relatieve toename is zichtbaar voor het scheepstype containerschepen.




*Figuur 3-3 Totaal aantal vaaruren per gebied en scheepstype voor beide scenario's*




*Figuur 3-4 Totaal aantal vaaruren per gebied en scheepsgrootteklasse voor beide scenario's*

### 3.6.3 Effect op de totale uitstoot van NOx

Uiteindelijk is het effect van de afname van de snelheid en de toename van het aantal vaaruren verwerkt tot de verwachte uitstoot van NOx binnen de verschillende gebieden. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3-3 (per scheepstype) en in Tabel 3-5 (per scheepsgrootteklasse). In tabel Tabel 3-4 is zowel het absolute als het relatieve verschil weergegeven tussen het huidige scenario (2018) en het snelheidsreductie scenario (max 75% van de ontwerpsnelheid). In BIJLAGE 1 is de totale uitstoot per scheepstype en scheepgrootteklasse weergegeven voor de beide gebieden.

In totaal wordt er op het NCP en binnen de 12-mijlszone 77.537 ton NOx uitgestoten in 2018. Het grootste deel hiervan wordt uitgestoten door containerschepen (27.188 ton), daarna volgen Roro schepen (12.760) en tanker (11.762 ton). Het grootste deel (61.620 ton, 79%) wordt uitgestoten buiten de 12-mijlszone.

Wanneer een maximum snelheid van 75% van de ontwerpsnelheid wordt toegepast daalt de uitstoot van NOx naar 70.701 ton per jaar (op basis van de reizen uit 2018). Dit is een reductie van 6836 ton, 9% reductie over het gehele gebied. Binnen de 12-mijlszone is de reductie 1177 ton NOx, een afname van 7%.

De grootste absolute afname is zichtbaar voor tankers, containerschepen en Roro schepen. Echter, de grootste procentuele afname is zichtbaar voor de General Dry Cargo schepen. Hoewel absoluut de reductie voor de containerschepen relatief groot is, is de procentuele afname voor deze groep schepen 6%. Het kleinste effect is zichtbaar voor de werkvaart (Miscellaneous en Tug/Suppy), dit wordt veroorzaakt door het feit dat deze categorie schepen al met een gemiddeld lagere snelheid vaart, dus is het effect ook kleiner omdat het voor minder schepen van toepassing is.

*Tabel 3-3 Totale uitstoot van NOx per scheepstype voor beide gebieden op het NCP, voor beide scenario's*

| | Totale emissie NOx [ton] huidige scenario 2018 | | | Totale emissie NOx [ton] scenario 2018 met snelheidsreductie (75% ontwerpsnelheid) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | Totaal | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | Totaal |
| Oil tanker | 554 | 5.395 | **5.949** | 525 | 4.920 | **5.446** |
| Chem.+Gas tanker | 1.983 | 9.780 | **11.762** | 1.797 | 8.563 | **10.360** |
| Bulk carrier | 782 | 6.402 | **7.184** | 710 | 5.732 | **6.442** |
| Container ship | 6.744 | 20.444 | **27.188** | 6.375 | 19.247 | **25.622** |
| General Dry Cargo | 1.494 | 5.115 | **6.608** | 1.281 | 4.411 | **5.692** |
| RoRo Cargo / Vehicle | 2.479 | 10.281 | **12.760** | 2.203 | 9.131 | **11.334** |
| Reefer | 109 | 536 | **645** | 98 | 473 | **570** |
| Passenger | 249 | 1.596 | **1.845** | 258 | 1.455 | **1.713** |
| Miscellaneous | 988 | 535 | **1.523** | 958 | 519 | **1.477** |
| Tug/Supply | 535 | 1.536 | **2.072** | 534 | 1.512 | **2.046** |
| **Totaal** | **15.917** | **61.620** | **77.537** | **14.740** | **55.962** | **70.701** |

*Tabel 3-4 Absolute en procentuele effect van het snelheidsreductie scenario op de emissie van NOx*

| Scheeptype | Absolute verschil [ton] | | | Procentuele verschil | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | Totaal | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | Totaal |
| Oil tanker | -29 | -475 | **-504** | -5% | -9% | **-8%** |
| Chem.+Gas tanker | -185 | -1217 | **-1402** | -9% | -12% | **-12%** |
| Bulk carrier | -72 | -670 | **-742** | -9% | -10% | **-10%** |
| Container ship | -368 | -1197 | **-1566** | -5% | -6% | **-6%** |
| General Dry Cargo | -213 | -704 | **-916** | -14% | -14% | **-14%** |
| RoRo Cargo / Vehicle | -276 | -1150 | **-1426** | -11% | -11% | **-11%** |
| Reefer | -11 | -64 | **-75** | -10% | -12% | **-12%** |
| Passenger | 9 | -141 | **-132** | 4% | -9% | **-7%** |
| Miscellaneous | -30 | -16 | **-46** | -3% | -3% | **-3%** |
| Tug/Supply | -2 | -24 | **-26** | 0% | -2% | **-1%** |
| **Totaal** | **-1177** | **-5658** | **-6836** | **-7%** | **-9%** | **-9%** |

Naast de verdeling over de scheepstypen is ook de verdeling over de scheepsgrootteklasse bekeken (Tabel 3-5 en Tabel 3-6). Uit Tabel 3-5 volgt dat de grotere schepen in totaal meer NOx uitstoten dan de kleinere schepen. In totaal (voor het huidige scenario) wordt 80% van de totale uitstoot in beide gebieden bepaald door de schepen groter dan 10.000GT. In Tabel 3-6 is wederom de absolute en relatieve afname weergegeven van de uitstoot als gevolg van het snelheidsreductie scenario. De grootste absolute afname (2247 ton) is zichtbaar voor de schepen tussen 10.000GT en 30.000GT. De grootste procentuele afname is zichtbaar voor de kleinere scheepsklasse.

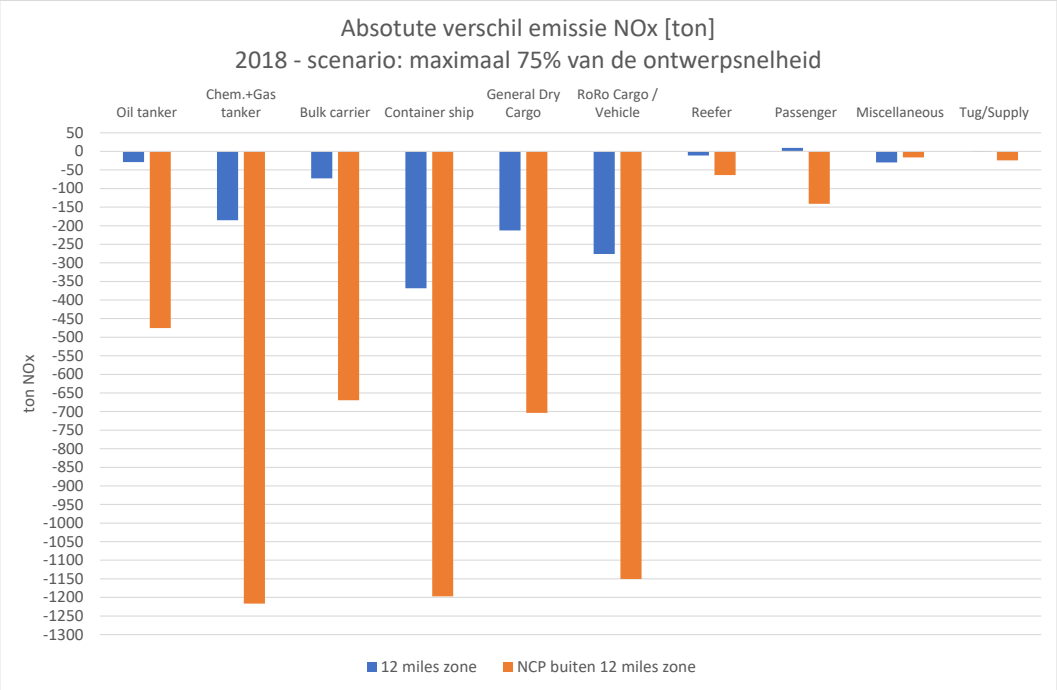
*Tabel 3-5 Totale uitstoot van NOx per scheepsgrootteklasse voor beide gebieden op het NCP, voor beide scenario's*

| Grootte klasse | Totale emissie NOx [ton] huidige scenario 2018 | | | Totale emissie NOx [ton] scenario 2018 met snelheidsreductie (75% ontwerpsnelheid) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | **Totaal** | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | **Totaal** |
| 100-1,600 GT | 360 | 579 | **939** | 336 | 545 | **881** |
| 1,600-3,000 GT | 1120 | 2505 | **3625** | 1000 | 2210 | **3210** |
| 3,000-5,000 GT | 1055 | 2807 | **3862** | 943 | 2437 | **3379** |
| 5,000-10,000 GT | 1587 | 5369 | **6956** | 1417 | 4666 | **6083** |
| 10,000-30,000 GT | 3551 | 16054 | **19605** | 3224 | 14134 | **17358** |
| 30,000-60,000 GT | 3387 | 13950 | **17337** | 3175 | 12855 | **16030** |
| 60,000-100,000 GT | 2539 | 11626 | **14165** | 2416 | 10841 | **13257** |
| >100,000 GT | 2318 | 8732 | **11050** | 2227 | 8275 | **10502** |
| **Totaal** | **15917** | **61620** | **77537** | **14740** | **55962** | **70701** |

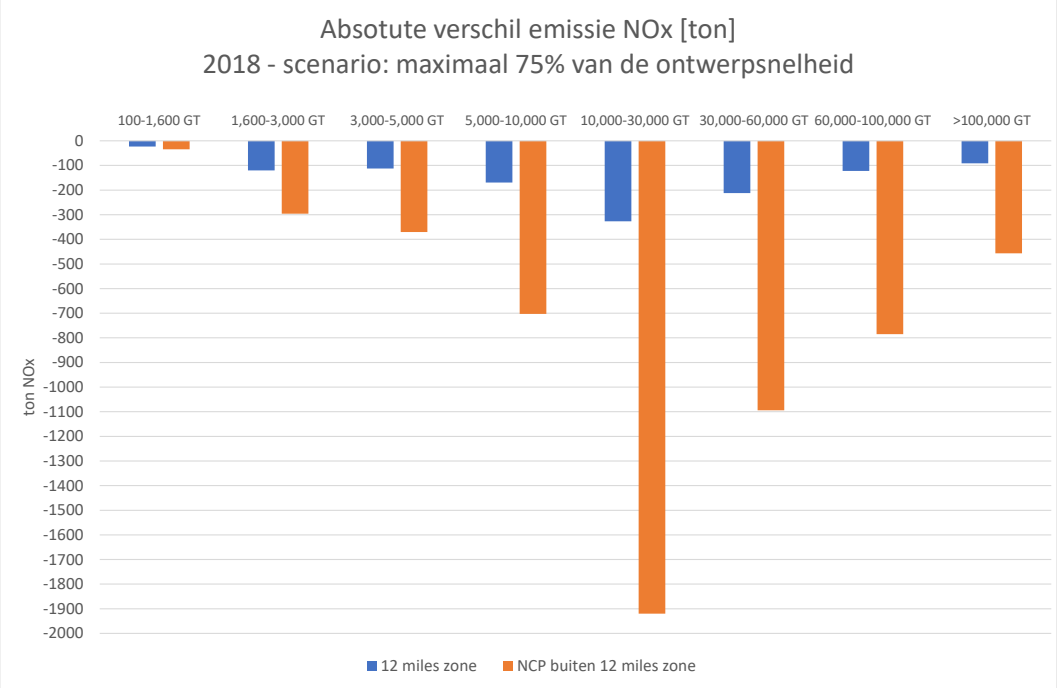
*Tabel 3-6 Absolute en procentuele effect per scheepsgrootteklasse van het snelheidsreductie scenario op de emissie van NOx*

| Grootte klasse | Absolute verschil [ton] | | | Procentuele verschil | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | **Totaal** | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | **Totaal** |
| 100-1,600 GT | -23 | -34 | **-57** | -7% | -6% | **-6%** |
| 1,600-3,000 GT | -120 | -295 | **-416** | -11% | -12% | **-11%** |
| 3,000-5,000 GT | -112 | -370 | **-482** | -11% | -13% | **-12%** |
| 5,000-10,000 GT | -170 | -703 | **-872** | -11% | -13% | **-13%** |
| 10,000-30,000 GT | -327 | -1920 | **-2247** | -9% | -12% | **-11%** |
| 30,000-60,000 GT | -212 | -1094 | **-1306** | -6% | -8% | **-8%** |
| 60,000-100,000 GT | -122 | -785 | **-907** | -5% | -7% | **-6%** |
| >100,000 GT | -91 | -457 | **-548** | -4% | -5% | **-5%** |
| | **-1177** | **-5658** | **-6836** | **-7%** | **-9%** | **-9%** |

In Figuur 3-5 en Figuur 3-6 zijn de resultaten nogmaals grafisch weergegeven. Duidelijk zichtbaar is dat de absolute afname het grootst is op het NCP buiten de 12-mijlszone. Hier wordt echter ook de meeste NOx uitgestoten. Opvallend is dat binnen de 12-mijlszone de uitstoot door passagiersschepen iets toeneemt door het snelheidsscenario, waarschijnlijk is dit het effect van de toegenomen vaaruren als gevolg van de snelheidsreductie. De afname ten gevolge van de snelheidsreductie is dan kleiner dan de toename ten gevolge van de langere vaartijd.




*Figuur 3-5 Absolute verschil in emissie van NOx per scheepstype*




*Figuur 3-6 Absolute verschil in emissie van NOx per scheepsgrootteklasse*

## 3.7 Resultaten Havengebieden

Voor verschillende havengebieden aangegeven in Figuur 3-2 zijn de analyses apart uitgevoerd, ook voor deze gebieden zijn de snelheden aangepast en ook de verblijftijd indien dit nodig was.

### 3.7.1 Effect snelheden

In Tabel 3-7 zijn de gemiddelde vaarsnelheden weergegeven voor de verschillende havengebieden, hierbij is alleen de snelheid meegenomen van het varende deel van de reis door dit gebied. De gemiddelde snelheid varieert tussen de 5.2 kn in het gebied naar Amsterdam tot 8.42 op de Westerschelde. De gemiddelde snelheid wordt uiteraard deels bepaald door het type schepen dat in een haven komt en de lay-out van het gebied. In de analyse is voor Amsterdam ook het gehele Noordzeekanaal meegenomen waar de vaarsnelheid lager ligt. Door het toepassen van het reductiescenario neemt de gemiddelde snelheid in de gebieden af met waarden variërend van 0.9 kn op de Eems tot slechts 0.08 kn voor Amsterdam. Het effect op de gemiddelde snelheid in deze havengebieden is kleiner dan het effect op het NCP.

*Tabel 3-7 Gemiddelde vaarsnelheid per havengebied voor het huidige en aangepaste scenario*

| Havengebied | Gemiddelde vaarsnelheid [kn] | | Absolute snelheidsverschil | Procentuele snelheidsverschil tov huidige scenario |
|---|---|---|---|---|
| | Huidige scenario (2018) | Snelheidsreductie scenario | | |
| Westerschelde | 9,01 | 8,42 | -0,59 | -6,5% |
| Amsterdam | 5,26 | 5,19 | -0,08 | -1,5% |
| Eems | 9,88 | 8,98 | -0,90 | -9,1% |
| Rotterdam | 7,70 | 7,36 | -0,34 | -4,4% |
| Harlingen | 8,63 | 8,05 | -0,58 | -6,7% |

### 3.7.2 Vaaruren

Als schepen langzamer gaan varen zullen ze langer over een reis doen, daarom is ook voor de havengebieden gekeken naar het totaal aantal vaaruren (verblijfuren) in de verschillende gebieden. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de stilliggende schepen en de varende schepen. In Tabel 3-8 en Tabel 3-9 zijn de effecten van het snelheidsreductie scenario op de vaaruren weergegeven, zowel het absoluut aantal uren als de procentuele groei t.o.v. het huidige scenario zijn opgenomen in de tabel.

Voornamelijk voor de gebieden waarbinnen een relatief lang varend traject zit (Westerschelde, Eems en Harlingen) laten een grote procentuele groei zien van het aantal vaaruren. De havens met een korter vaartraject (Rotterdam) laten een kleinere procentuele groet zien. De groei voor Amsterdam is slechts 1.9%, maar dit wordt veroorzaakt doordat schepen op het Noordzeekanaal nu al langzamer varen, en dus heeft het beschouwde reductiescenario een beperkte invloed.

*Tabel 3-8 Totaal aantal vaaruren/verblijfuren in de verschillende havengebieden voor de beide scenario's*

| Havengebied | Totaal aantal "vaaruren" per jaar | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Huidige scenario (2018) | | | Snelheidsreductie scenario | | |
| | Stilliggend | Varend | Totaal | Stilliggend | Varend | Totaal |
| Westerschelde | 539.706 | 127.885 | 667.591 | 539.706 | 141.312 | 681.018 |
| Amsterdam | 469.430 | 50.132 | 519.562 | 469.430 | 51.093 | 520.523 |
| Eems | 287.873 | 48.078 | 335.951 | 287.873 | 58.326 | 346.199 |
| Rotterdam | 815.224 | 169.908 | 985.132 | 815.224 | 180.692 | 995.916 |
| Harlingen | 181.795 | 21.297 | 203.093 | 181.795 | 24.321 | 206.116 |

*Tabel 3-9 Absolute en procentuele effect op de vaaruren/verblijftijd van het snelheidsreductie scenario voor de verschillende havengebieden.*

| Havengebied | Effect op het totaal aantal "vaaruren" per jaar | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Absolute verschil | | | Procentuele groei tov huidige scenario (2018) | | |
| | Stilliggend | Varend | Totaal | Stilliggend | Varend | Totaal |
| Westerschelde | 0 | 13.427 | 13.427 | 0% | 10,5% | 2,0% |
| Amsterdam | 0 | 961 | 961 | 0% | 1,9% | 0,2% |
| Eems | 0 | 10.248 | 10.248 | 0% | 21,3% | 3,1% |
| Rotterdam | 0 | 10.784 | 10.784 | 0% | 6,3% | 1,1% |
| Harlingen | 0 | 3.023 | 3.023 | 0% | 14,2% | 1,5% |

### 3.7.3 Uitstoot NOx

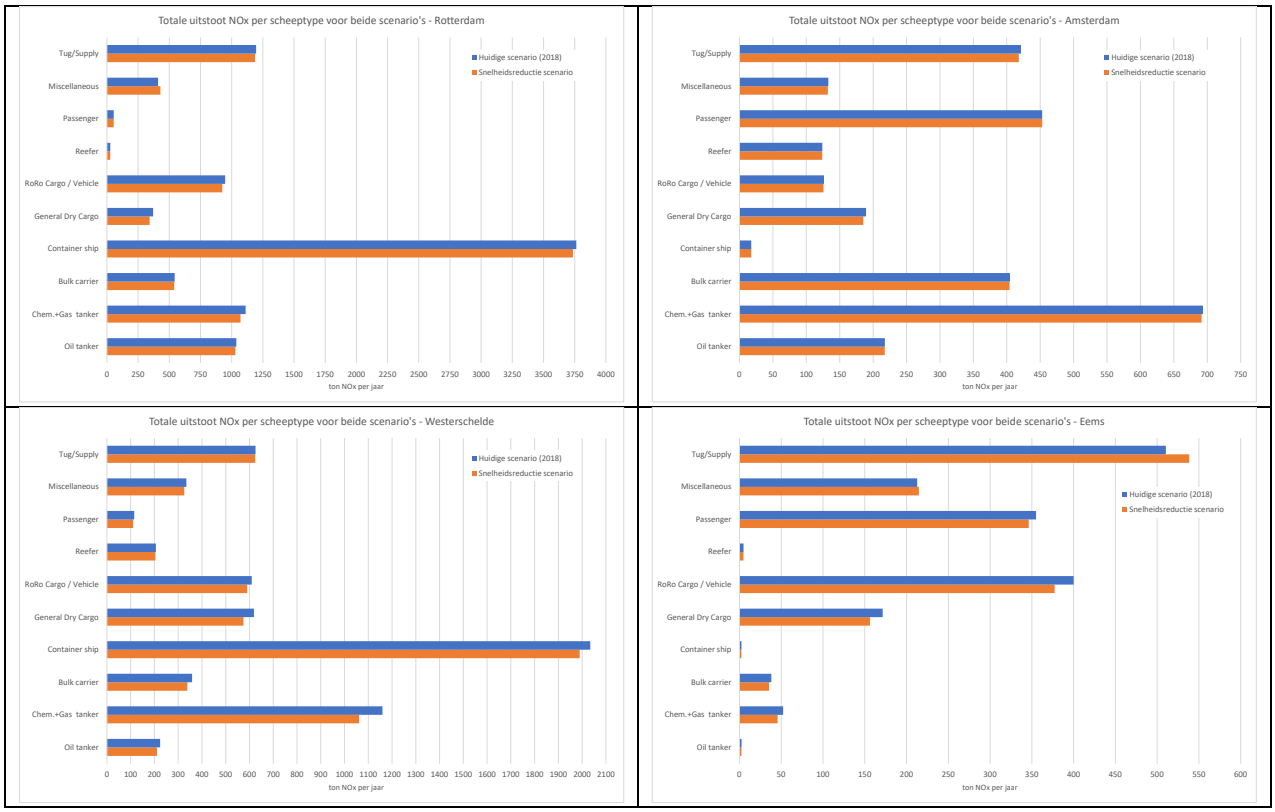
In Tabel 3-10 is de totale berekende uitstoot van NOx weergegeven per havengebied, hierbij is onderscheid gemaakt tussen de uitstoot van de varende schepen en de stilliggende schepen. De meeste uitstoot vindt plaats in Rotterdam, maar hier vinden dan ook de meeste vaaruren plaats (zie Tabel 3-8).

In Tabel 3-10 is naast de absolute reductie van de uitstoot van NOx ook de procentuele afname ten opzichte van het huidige scenario weergegeven, hierbij is gekeken naar het effect t.o.v. het varende deel van de schepen en t.o.v. de totale uitstoot De absolute afname varieert tussen de 12 ton voor Amsterdam tot 225 ton op de Westerschelde. Ten opzichte van de totale uitstoot in een gebied is de afname voor Amsterdam, de Eems en Rotterdam relatief klein (-0.4% tot 1.5%) De gebieden waar het effect procentueel het grootst is, zijn de gebieden met een lang “varend stuk” zoals de Westerschelde en naar Harlingen.

*Tabel 3-10 totale berekende emissie van NOx in de verschillende havengebieden voor de beide scenario's*

| Havengebied | Total verwachte uitstoot van NOx [ton] per jaar (2018) | | | | | | Absolute verschil [ton] | Procentuele groei tov huidige scenario (2018) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Huidige scenario (2018) | | | Snelheidsreductie scenario | | | | | |
| | Stilliggend | Varend | Totaal | Stilliggend | Varend | Totaal | Varend | Varend | Totaal |
| Amsterdam | 2005 | 775 | 2780 | 2005 | 763 | 2768 | -12 | -1,6% | -0,4% |
| Eems | 815 | 935 | 1750 | 815 | 908 | 1723 | -27 | -2,9% | -1,5% |
| Harlingen | 126 | 272 | 398 | 126 | 248 | 373 | -25 | -9,1% | -6,2% |
| Rotterdam | 5047 | 4414 | 9461 | 5047 | 4293 | 9340 | -120 | -2,7% | -1,3% |
| Westerschelde | 1522 | 4763 | 6285 | 1522 | 4508 | 6030 | -255 | -5,4% | -4,1% |

In BIJLAGE 2 zijn de resultaten verder uitgesplitst naar scheeptype. Voor de gebieden Amsterdam, Rotterdam, Westerschelde en de Eems zijn de resultaten per scheeptype ook weergegeven in Figuur 3-7 (let op: de schaal op de horizontale as is verschillend voor de vier figuren). Opvallend is dat er een lichte toename van de uitstoot zichtbaar is voor de werkvaart in het gebied Eems, hierin is het effect zichtbaar van de toename van het aantal vaaruren als gevolg van de (beperkte) afname van de snelheid.




*Figuur 3-7 Berekende totale uitstoot van NOx per scheepstype en snelheidsscenario (links boven: Amsterdam, rechtsboven: Rotterdam, links onder: Westerschelde, rechts onder: Eems)*

De grootste bijdrage in de uitstoot in zowel Rotterdam als de Westerschelde zijn containerschepen. De reductie voor dit type is het grootst op de Westerschelde.

## 3.8 Effecten op de veiligheid van de zeescheepvaart

**Statistiek**

Uit de voorgaande analyse blijkt dat de scheepvaartverkeersintensiteit op zee door deze maatregel toeneemt met ~12% veroorzaakt door het langer op zee zijn. Een eerste conclusie is dan dat het aantal ongevallen statistisch bij benadering met dit zelfde percentage zal toenemen. Dit gaat uit van eenzelfde ongevalskans bij deze lagere snelheden. Deze aanname is niet geheel juist, door een lagere vaarsnelheid heeft men wellicht meer tijd om te reageren of is men eerder alert op bepaalde situaties. In aanvulling daarop kan opgemerkt worden dat de consequenties van aanvaringen onderling of met een vast object op zee, zoals een windturbine waarschijnlijk kleiner zullen zijn vanwege verminderde schade.

In de estuaria zal deze logische gevolgtrekking ook grotendeels gelden. Voor de echte havens zal dat, gegeven de intensievere verkeersbegeleiding, beloodsing en sleepbootassistentie niet zondermeer gelden. Een detail analyse over dit effect is binnen dit onderzoek niet uitgevoerd, en zou onderwerp kunnen zijn van eventueel vervolg onderzoek.

**Individuele vaareigenschappen**

Theoretisch heeft de vaarsnelheid van een schip, binnen deze marges, weinig invloed op de manoeuvreercapaciteit van dat schip in normale weers-en vaaromstandigheden. In de praktijk wordt dat anders indien sterke (dwars) wind, golven of stroming het schip van zijn baan af bewegen. Naarmate de snelheden lager worden zal het schip een steeds grotere en meer variërende opstuurhoek en

drifthoek vertonen wat een toenemende onveiligheid creëert in het bijzonder op de smallere (aanloop)routes bijvoorbeeld in de estuaria en in de aanloop naar en in havens.

Het betekent in de praktijk ook dat kapiteins van de beperking van de vaarsnelheid af kunnen wijken omdat zij te allen tijde gehouden zijn de veiligheid van hun schip te bewaken. Ze kunnen dus op grond van goed zeemanschap hogere snelheden toepassen waar nodig. Het is op voorhand niet exact te voorspellen hoe vaak schepen van de verminderde vaarsnelheidseis zullen afwijken om deze redenen. Extreem weer en wind komen niet vaak voor, getij/rivierstromingen zijn er echter elke dag.

**Nautisch-Logistieke aspecten**
Naast directe veiligheidsoverwegingen zijn bij het varen op het getij of door de logistieke zaken rond een sluispassage soms bepaalde vaarsnelheden noodzakelijk om tijdig kritieke doorvaarten of invaarten te bereiken.

Een goed voorbeeld is de vaart op de Westerschelde waar een relatief grote reductie van uitstoot zichtbaar is, met name voor containervaart. Deze schepen hebben echter veelal de snelheid nodig omdat ze ook gebonden zijn aan een getij om naar binnen of naar buiten te varen. Daarnaast moet hier ook onderzocht worden of een reductie van de vaarsnelheid op dit complexe stuk vaarweg de veiligheid voor de schepen niet beïnvloed om de eerder genoemde meteorologisch omstandigheden. Vergelijkbare vragen kunnen rondom de vaart naar Harlingen gesteld worden.

Voor de situatie op het Noordzeekanaal gelden al lokaal snelheidsregels in verband met de sluisplanning en de veiligheid op het kanaal. Zoals uit de cijfers blijkt is een verdere aanpassing van het snelheidsregime hier dan ook minder effectief dan op andere plekken.

# 4 EFFECTIVITEIT SNELHEIDSBEPERKING VOOR DE BINNENVAART

## 4.1 Inleiding

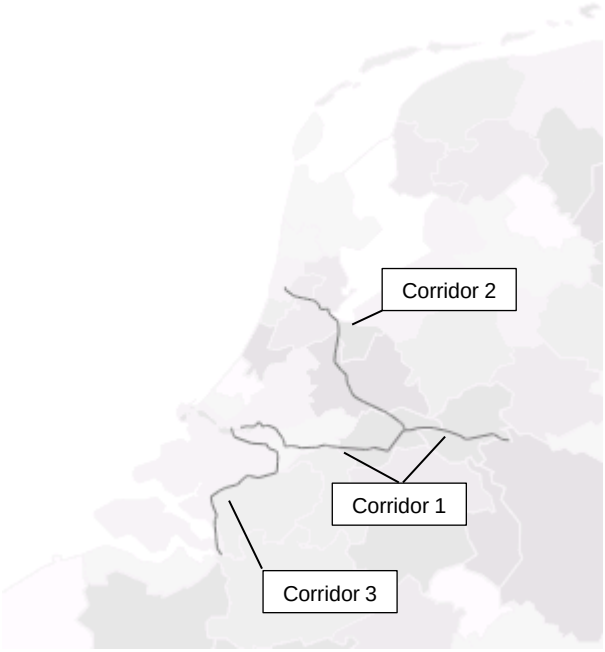
In dit hoofdstuk worden de uitkomsten besproken van de effectiviteit van een vermindering van vaarsnelheid in relatie tot de NOx-uitstoot door binnenvaartschepen. Het onderzoek is van beperkte omvang geweest en heeft daardoor het karakter van een verkenning. De verkenning beoogt in eerste instantie vooral het potentieel van een eventuele snelheidsverlaging te onderzoeken. Omdat er in de binnenvaart een brede range aan snelheden wordt gevaren door zeer verschillende scheepsklassen op vaarwegen met zeer verschillende dimensies en karakter is er niet direct een simpel advies met één maximumsnelheid af te leiden. In het onderzoek zijn verschillen kort onderzocht om deze problematiek inzichtelijk te maken ten behoeve van een juiste formulering van eventueel vervolgonderzoek. Uit mogelijk vervolgonderzoek zal moeten blijken hoe eventuele snelheidsverlaging effectief en zinvol vormgegeven kan worden.

## 4.2 Selectie van gebieden en scheepsklassen

In dit onderzoek zijn de emissies op een drietal voor de binnenvaart belangrijke corridors bestudeerd. Het betreft hier:

- De verbinding Rotterdam-Duitsland via de Nieuwe Maas – Noord - Beneden en Boven Merwede - Waal - Boven Rijn tot aan Lobith (corridor 1);
- De verbinding van het Noordzeekanaalgebied naar de Waal via het IJ en het Amsterdam-Rijnkanaal (corridor 2);
- De Schelde-Rijn verbinding via Dordtse Kil - Hollandsch Diep en Schelde-Rijnkanaal (corridor 3).

Met deze drie verbindingen worden de voor het binnenscheepvaartverkeer belangrijkste routes in beeld gebracht. Op de overige routes is veel minder verkeer en/of gelden al snelheidsbeperkingen.




*Figuur 4-1 Onderzochte corridors*

Er is voor deze drie corridors geen totaal vloot/scheepsbewegingen/emissie-analyse uitgevoerd. De focus lag bij een beperkte set van vijf scheepsklassen (van de 34 RWS scheepsklassen) geselecteerd op de mate van voorkomen. Het betreft hier de RWS-scheepsklassen M6, M8, M10, M12 en het koppelverband C3l. Met de genoemde scheepklassen is een groot aandeel van de passerende vloot afgedekt. In Tabel 4-1 staat per corridor de afgelegde afstand in 2017 van de geselecteerde scheepsklassen en de totaal afgelegde afstand van de hele vloot. De geselecteerde klassen zijn goed voor 59% van de totaal afgelegde afstand. De duweenheden die gemist worden maken slechts een gering deel van het verkeer uit.

*Tabel 4-1 Gevaren afstand door de geselecteerde scheepsklassen in 2017, km*

| Corridor_id | Selectie (M6, M8, M10, M12, C3l) | Hele vloot | Fractie |
|---|---|---|---|
| 1 | 6.820.499 | 12.148.424 | 56.1% |
| 2 | 2.677.459 | 4.998.500 | 53.4% |
| 3 | 5.080.572 | 7.852.228 | 64.7% |
| Totaal | 24.999.152 | 14.746.496 | 59.0% |

De berekeningen zijn uitgevoerd voor de gangbare operationele snelheden en één snelheidsreductieregime. Gekozen is voor een uniform snelheidsreductieregime waarbij op alle vaarwegstukken zowel in opvaart als afvaart een snelheidsvermindering van 1,5 km/uur is doorgerekend en er is niet gerekend met één absolute maximum vaarsnelheid die voor opvaart en afvaart gelijk is. In feite wordt voor alle schepen de snelheid door het water met 1,5 km/u gereduceerd. In zijn algemeenheid (bijzondere situaties daargelaten) kan worden gesteld dat hierbij voldoende rekening wordt gehouden met minimale benodigde vaarsnelheden in verband met veilig manoeuvreren.

De samenstellingen en de intensiteit van het verkeer op de drie corridors is verkregen uit de output van het BIVAS (Binnenvaart Analyse Systeem van Rijkswaterstaat). Het betreft BIVAS 4.8 scenariojaar 2017 (Reference trip set ID 9 - 2017v20200813).

### 4.3 Rekenmethode

Als rekeninstrument is gebruik gemaakt van het rekenmodel POTAMIS. Dit model wordt gebruikt om de emissie voor Emissieregistratie (RIVM) te produceren (BIJLAGE 4) [Ref 13.] en dient tevens als rekeninstrument voor het maken van emissieprognoses door PBL. Er is gebruik gemaakt van de laatste versie POTAMIS_v1.2b – ER. In deze versie van POTAMIS zijn de gemiddelde snelheden per scheepsklasse verkregen uit AIS-data komend uit een bestand dat gegevens bevat van alle vasteland receivers van RWS uit de maand juli 2015. Deze gegevens zijn verwerkt door CBS en verstrekt aan TNO ten behoeve van de modellering van scheepsemissie op landelijk niveau.

Om het effect van de snelheidsvermindering nu en in de toekomst te berekenen is gerekend met sets van emissiefactoren (in g/kWh) voor huidige en toekomstige jaren (2010, 2020, 2030 en 2040). In de gemiddelde emissiefactoren voor de verschillende jaren (2010, 2020, 2030 en 2040) zijn onder andere al de verwachte effecten van eisen met betrekking tot emissies van de motoren (CCR1, CCR2 en Stage V) meegenomen en doorberekend in de verwachte samenstelling van de vloot wat betreft bouwjaarklasse en verwachte vervanging van motoren. Het vlootmodel van POTAMIS berekent de aandelen van de verschillende normstellings-categorieën aangeduid door middel van de bouwjaarklassen. Aan iedere normstellings-categorie is een emissiefactor gekoppeld. De aandelen van de normstellings-categorieën en de gemiddelde emissiefactoren voor de verschillende jaren (2010, 2020, 2030 en 2040) staan in onderstaande tabellen. In het EMS-protocol [Ref 13.] staat uitgelegd hoe het motorvervangingsprofiel werkt. Hierin komt dus tot uitdrukking hoe de eisen met betrekking tot

emissies van de motoren over de jaren doorwerken in de gemiddelde emissiefactoren (Tabel 4-2 en Tabel 4-3).

*Tabel 4-2 Opbouw van emissiefactor NOx voor M6 (motorvervangingsprofiel = L2)*

| Bouwjaarklasse | Emissiefactor (g/kWh) | Aandeel per bouwjaarklasse in jaar | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 |
| 1900 - 1974 | 10,8 | 12,7% | 6,5% | 3,4% | 1,8% |
| 1975 - 1979 | 10,6 | 4,9% | 2,6% | 1,4% | 0,7% |
| 1980 - 1984 | 10,4 | 6,6% | 3,6% | 2,0% | 1,0% |
| 1985 - 1989 | 10,1 | 8,9% | 4,9% | 2,7% | 1,5% |
| 1990 - 1994 | 10,1 | 11,7% | 6,6% | 3,8% | 2,0% |
| 1995 - 2002 | 9,4 | 26,0% | 15,5% | 9,0% | 5,0% |
| 2003 - 2007ccr-1 | 9,2 | 20,7% | 13,7% | 8,3% | 4,7% |
| 2008 - 2018ccr-2 | 7 | 8,5% | 42,4% | 28,6% | 16,9% |
| 2019 - 2019ccr-2 | 7 | 0,0% | 4,1% | 3,5% | 2,1% |
| 2020 - 2025stage Va | 2,4 | 0,0% | 0,0% | 24,0% | 15,5% |
| 2026 - 2050stage Vb | 2,4 | 0,0% | 0,0% | 13,3% | 48,7% |
| Gemiddelde emissiefactor | | **9,6** | **8,5** | **6,1** | **4,5** |

*Tabel 4-3 Opbouw van emissiefactor voor M8, M10, M12 en C3l (motorvervangingsprofiel = L3)*

| Bouwjaarklasse | Emissiefactor (g/kWh) | Aandeel per bouwjaarklasse in jaar | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 |
| 1900 - 1974 | 10,8 | 10,5% | 4,6% | 1,9% | 0,8% |
| 1975 - 1979 | 10,6 | 5,1% | 2,4% | 1,1% | 0,5% |
| 1980 - 1984 | 10,4 | 7,2% | 3,5% | 1,7% | 0,7% |
| 1985 - 1989 | 10,1 | 9,8% | 5,1% | 2,5% | 1,1% |
| 1990 - 1994 | 10,1 | 13,0% | 7,2% | 3,7% | 1,7% |
| 1995 - 2002 | 9,4 | 27,9% | 17,2% | 9,4% | 4,7% |
| 2003 - 2007ccr-1 | 9,2 | 19,8% | 15,1% | 9,0% | 4,8% |
| 2008 - 2018ccr-2 | 7 | 6,7% | 41,8% | 31,4% | 18,4% |
| 2019 - 2019ccr-2 | 7 | 0,0% | 3,1% | 3,7% | 2,4% |
| 2020 - 2025stage Va | 2,4 | 0,0% | 0,0% | 24,2% | 17,4% |
| 2026 - 2050stage Vb | 2,4 | 0,0% | 0,0% | 11,3% | 47,4% |
| Gemiddelde emissiefactor | | **9,6** | **8,5** | **6,2** | **4,4** |

Onder andere afhankelijk van de vaarweg, de scheepsklasse, de beladingsgraad en de vaarsnelheid wordt de motorbelasting berekend. Een lagere vaarsnelheid betekent een lagere motorbelasting. Vervolgens wordt afhankelijk van de motorbelasting correctiefactoren toegepast op de NOx-uitstoot. De correctiefactoren staan in Tabel 4-4. Een lagere motorbelasting betekent over het algemeen een relatief hogere NOx-emissie. Hoewel de effecten pas sterk worden beneden de 25% motorbelasting.

*Tabel 4-4 Correctiefactoren voor NOx-emissiefactoren*

| Motor-belasting% | <= CCR1 | CCR2 / Stage IIIa | IWP/IWA-v/c-3 | IWP/IWA-v/c-4 |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 1.83 | 2.02 | 3.99 | 4.79 |
| 10 | 1.34 | 1.42 | 2.63 | 3.07 |
| 15 | 1.17 | 1.27 | 2.12 | 2.42 |
| 20 | 1.10 | 1.19 | 1.85 | 2.08 |
| 25 | 1.06 | 1.15 | 1.69 | 1.88 |
| 30 | 1.04 | 1.13 | 1.58 | 1.73 |
| 35 | 1.03 | 1.11 | 1.50 | 1.63 |
| 40 | 1.02 | 1.09 | 1.44 | 1.56 |
| 45 | 1.01 | 1.08 | 1.39 | 1.50 |
| 50 | 1.00 | 1.07 | 1.35 | 1.45 |
| 55 | 1.00 | 1.07 | 1.32 | 1.41 |
| 60 | 0.99 | 1.06 | 1.29 | 1.37 |
| 65 | 0.99 | 1.06 | 1.27 | 1.35 |
| 70 | 0.98 | 1.05 | 1.25 | 1.32 |
| 75 | 0.98 | 1.05 | 1.24 | 1.30 |
| 80 | 0.97 | 1.05 | 1.22 | 1.28 |
| 85 | 0.97 | 1.04 | 1.21 | 1.27 |
| 90 | 0.97 | 1.04 | 1.20 | 1.25 |
| 95 | 0.97 | 1.04 | 1.19 | 1.24 |
| 100 | 0.97 | 1.04 | 1.18 | 1.23 |

Samengevat betekent dit dus bijvoorbeeld dat bij 5% motorbelasting een CCR1 genormeerde motor een emissiefactor heeft van 9,2 x 1,83 = 16,8 g/kWh (emissiefactor 2003-2007ccr1 uit tabel 4-2/4-3, 2$^{de}$ kolom, en correctiefactor uit tabel 4-4, 2$^{de}$ kolom) en een stage V (IWP/IWA-v/c-4) een emissiefactor van 2,4 x 4,79 = 11,5 g/kWh (emissiefactor 2020-2025stageVa uit tabel 4-2/4-3, 2$^{de}$ kolom, en correctiefactor uit tabel 4-4, 5$^{de}$ kolom).

In de berekeningen met het POTAMIS-model worden de aandelen van de normstellings-categorieën in de verschillende jaren bijgehouden. Ook de motorbelastingen die optreden tijdens de reis over verschillende vaarwegstukken bij verschillende vaarsnelheden worden berekend en verrekend in de emissie. Hiermee wordt een beeld verkregen van de effectiviteit van een eventuele snelheidsvermindering in relatie tot overige emissie-eisen. Een volledige beschrijving van het model met een beschrijving van alle factoren is opgenomen in BIJLAGE 4.

## 4.4 Uitkomsten van het onderzoek

### 4.4.1 Algemene beschrijving van de scenario's

Om de referentiesituatie en de situatie met snelheidsreductie goed weer te geven worden hieronder een aantal tabellen gepresenteerd die de referentiesituatie en de situatie met snelheidsreductie weergeven. In Tabel 4-5 is te zien dat het aantal gevaren kilometers in beide scenario's gelijk is terwijl Tabel 4-6 toont dat het aantal uren dat nodig is om de betreffende afstand af te leggen na snelheidsreductie toeneemt met een bepaalde factor die enigszins verschilt per corridor en per scheepsklasse.

*Tabel 4-5 Gevaren afstand door geselecteerde scheepsklassen, km/jaar*

| Corridor_id | Scheepsklasse | Referentie | Snelheidsreductie |
|---|---|---|---|
| 1 | C3l | 537.454 | 537.454 |
| 1 | M10 | 167.965 | 167.965 |
| 1 | M12 | 413.838 | 413.838 |
| 1 | M6 | 1.672.358 | 1.672.358 |
| 1 | M8 | 4.196.849 | 4.196.849 |
| 2 | C3l | 173.026 | 173.026 |
| 2 | M10 | 97.853 | 97.853 |
| 2 | M12 | 172.317 | 172.317 |
| 2 | M6 | 779.562 | 779.562 |
| 2 | M8 | 1.454.701 | 1.454.701 |
| 3 | C3l | 237.224 | 237.224 |
| 3 | M10 | 284.803 | 284.803 |
| 3 | M12 | 413.756 | 413.756 |
| 3 | M6 | 1.155.334 | 1.155.334 |
| 3 | M8 | 2.989.455 | 2.989.455 |
| Totaal | | 14.746.496 | 14.746.496 |

*Tabel 4-6 Gevaren tijd door geselecteerde scheepsklassen, uren/jaar*

| Corridor_id | Scheepsklasse | Referentie | Snelheidsreductie | Factor |
|---|---|---|---|---|
| 1 | C3l | 39.872 | 45.166 | 1,13 |
| 1 | M10 | 11.254 | 12.553 | 1,12 |
| 1 | M12 | 28.614 | 32.109 | 1,12 |
| 1 | M6 | 113.501 | 127.059 | 1,12 |
| 1 | M8 | 282.900 | 316.434 | 1,12 |
| 2 | C3l | 15.123 | 16.792 | 1,11 |
| 2 | M10 | 7.015 | 7.820 | 1,11 |
| 2 | M12 | 12.955 | 14.516 | 1,12 |
| 2 | M6 | 61.215 | 67.677 | 1,11 |
| 2 | M8 | 113.003 | 125.315 | 1,11 |
| 3 | C3l | 21.608 | 23.774 | 1,10 |
| 3 | M10 | 23.333 | 25.446 | 1,09 |
| 3 | M12 | 33.782 | 36.836 | 1,09 |
| 3 | M6 | 97.461 | 106.048 | 1,09 |
| 3 | M8 | 243.637 | 264.645 | 1,09 |
| Totaal | | 1.105.272 | 1.222.188 | 1,11 |

In Tabel 4-7 is te zien wat de gemiddeld gewogen snelheid is van de vijf scheepsklassen gewogen over de totale afstand op de drie corridors. Uiteraard komen er verschillen voor die bijvoorbeeld afhangen van belading en vaarrichting op stromend water (op corridor 1). In de berekeningen wordt wel gedifferentieerd voor beladingscondities en in het geval van stromend water ook voor de vaarrichting.

*Tabel 4-7 Gemiddelde gewogen vaarsnelheid# door geselecteerde scheepsklassen, km/jaar*

| Corridor_id | Scheepsklasse | Referentie | Snelheidsreductie |
|---|---|---|---|
| 1 | C3l | 14,1 | 12,6 |
| 1 | M10 | 15,3 | 13,8 |
| 1 | M12 | 15,1 | 13,6 |
| 1 | M6 | 15,3 | 13,8 |
| 1 | M8 | 15,5 | 14,0 |
| 2 | C3l | 13,7 | 12,2 |
| 2 | M10 | 14,4 | 12,9 |
| 2 | M12 | 13,8 | 12,3 |
| 2 | M6 | 14,3 | 12,9 |
| 2 | M8 | 14,2 | 12,7 |
| 3 | C3l | 14,0 | 12,5 |
| 3 | M10 | 15,4 | 13,9 |
| 3 | M12 | 15,6 | 14,1 |
| 3 | M6 | 15,2 | 13,7 |
| 3 | M8 | 15,7 | 14,2 |

# vaarsnelheid is gedefinieerd als speed-over-ground (SOG)

### 4.4.2 Te behalen emissiereductie door hoofdmotoren

De hoeveelheid emissiereductie hangt af van de emissies in de referentiesituatie voor de verschillende jaren. Aangezien de bestaande emissies afnemen als gevolg van het schoner worden van de motoren in de loop der tijd als gevolg van invoering van CCR1, CCR2 en Stage V neemt ook de te behalen emissiereductie af. Om de effecten van de emissienormering te duiden zijn de emissieberekeningen daarom, zoals eerder al beschreven, uitgevoerd met emissiefactoren die van toepassing zijn op vier basisjaren: 2010, 2020, 2030 en 2040. Opgemerkt moet worden dat hierbij niet is getoetst in hoeverre de verwachte ontwikkeling zoals weergegeven in Tabel 4-2 en Tabel 4-3 overeenkomt met de huidige actuele ontwikkeling en de basisjaren moeten dan ook vooral gezien worden als mijlpalen in de overgang naar schonere motoren, uiteindelijk uitmondend in een uitrusting van alle schepen in lijn met Stage V.

Omdat een snelheidsvermindering ook effect kan hebben op de hoogte van de emissiefactoren vanwege een verminderde belasting van de motoren is het ook van belang om te zien in hoeverre de lage belasting bij een snelheidsreductie van 1,5 km/u de effectiviteit van emissiereductie vermindert.

*Tabel 4-8 Emissie NOx door hoofdmotoren berekend met emissiefactoren 2010, ton/jaar*

| Corridor_id | Scheepsklasse | Referentie | Snelheidsreductie | Factor |
|---|---|---|---|---|
| 1 | C3l | 319 | 277 | -13% |
| 1 | M10 | 86 | 75 | -13% |
| 1 | M12 | 288 | 248 | -14% |
| 1 | M6 | 482 | 426 | -12% |
| 1 | M8 | 1817 | 1576 | -13% |
| 2 | C3l | 91 | 75 | -18% |
| 2 | M10 | 47 | 38 | -19% |
| 2 | M12 | 94 | 78 | -17% |
| 2 | M6 | 214 | 176 | -18% |
| 2 | M8 | 569 | 468 | -18% |
| 3 | C3l | 149 | 122 | -18% |
| 3 | M10 | 174 | 144 | -17% |
| 3 | M12 | 323 | 270 | -16% |
| 3 | M6 | 365 | 305 | -17% |
| 3 | M8 | 1432 | 1198 | -16% |
| Totaal | | 6449 | 5478 | -15% |

*Tabel 4-9 Emissie NOx door hoofdmotoren berekend met emissiefactoren 2020, ton/jaar*

| Corridor_id | Scheepsklasse | Referentie | Snelheidsreductie | Factor |
|---|---|---|---|---|
| 1 | C3l | 288 | 250 | -13% |
| 1 | M10 | 78 | 68 | -13% |
| 1 | M12 | 260 | 224 | -14% |
| 1 | M6 | 436 | 385 | -12% |
| 1 | M8 | 1640 | 1424 | -13% |
| 2 | C3l | 82 | 68 | -17% |
| 2 | M10 | 42 | 35 | -18% |
| 2 | M12 | 85 | 71 | -17% |
| 2 | M6 | 194 | 159 | -18% |
| 2 | M8 | 514 | 423 | -18% |
| 3 | C3l | 134 | 111 | -18% |
| 3 | M10 | 157 | 130 | -17% |
| 3 | M12 | 292 | 244 | -16% |
| 3 | M6 | 331 | 276 | -17% |
| 3 | M8 | 1294 | 1083 | -16% |
| Totaal | | 5826 | 4951 | -15% |

*Tabel 4-10 Emissie NOx door hoofdmotoren berekend met emissiefactoren 2030, ton/jaar*

| Corridor_id | Scheepsklasse | Referentie | Snelheidsreductie | Factor |
|---|---|---|---|---|
| 1 | C3l | 221 | 194 | -12% |
| 1 | M10 | 59 | 52 | -12% |
| 1 | M12 | 202 | 177 | -13% |
| 1 | M6 | 330 | 295 | -11% |
| 1 | M8 | 1254 | 1102 | -12% |
| 2 | C3l | 64 | 54 | -16% |
| 2 | M10 | 33 | 27 | -17% |
| 2 | M12 | 68 | 58 | -15% |
| 2 | M6 | 148 | 124 | -16% |
| 2 | M8 | 398 | 334 | -16% |
| 3 | C3l | 104 | 87 | -16% |
| 3 | M10 | 120 | 101 | -16% |
| 3 | M12 | 227 | 193 | -15% |
| 3 | M6 | 252 | 213 | -16% |
| 3 | M8 | 995 | 844 | -15% |
| Totaal | | 4474 | 3852 | -14% |

*Tabel 4-11 Emissie NOx door hoofdmotoren berekend met emissiefactoren 2040, ton/jaar*

| Corridor_id | Scheepsklasse | Referentie | Snelheidsreductie | Factor |
|---|---|---|---|---|
| 1 | C3l | 170 | 152 | -11% |
| 1 | M10 | 45 | 41 | -11% |
| 1 | M12 | 158 | 141 | -11% |
| 1 | M6 | 257 | 232 | -10% |
| 1 | M8 | 966 | 861 | -11% |
| 2 | C3l | 50 | 44 | -14% |
| 2 | M10 | 25 | 21 | -15% |
| 2 | M12 | 55 | 48 | -13% |
| 2 | M6 | 116 | 99 | -15% |
| 2 | M8 | 312 | 268 | -14% |
| 3 | C3l | 81 | 69 | -15% |
| 3 | M10 | 92 | 79 | -15% |
| 3 | M12 | 179 | 156 | -13% |
| 3 | M6 | 198 | 170 | -14% |
| 3 | M8 | 772 | 666 | -14% |
| Totaal | | 3478 | 3046 | -12% |

Uit de lagere percentages te behalen emissiereductie in Tabel 4-11 (12% versus 15%) ten opzichte van de voorgaande Tabel 4-8, Tabel 4-9 en Tabel 4-10 is te concluderen dat de snelheidsvermindering op deze corridors inderdaad de effectiviteit van de SCR-installaties (katalysator) op de stage-V genormeerde motoren enigszins teniet zal doen. Dit effect lijkt echter op de gekozen scheepsklasse vaarwegcombinaties niet heel erg groot te gaan worden. Voorzichtigheid is echter wel geboden bij deze conclusie omdat we in Nederland nagenoeg niet over metingen beschikken betreffende de effectiviteit

van SCR onder verschillende omstandigheden. Daarnaast geldt ook nog een extra waarschuwing betreffende containerschepen. Deze schepen zijn doorgaans zeer licht beladen waardoor het effect op deze schepen wellicht groter is dan bij een gemiddelde vloot van schepen geladen met alle lading (natte of droge lading, containers en andere lading).

### 4.4.3 Verrekening van effecten van langere vaartijd

Emissiereducties in voorgaand tabellen (tabel 8, 9, 10 en 11) bevatten nog niet de emissietoename als gevolg van het langer onderweg zijn. Hierdoor zullen er wat meer emissies van generatoren ontstaan.

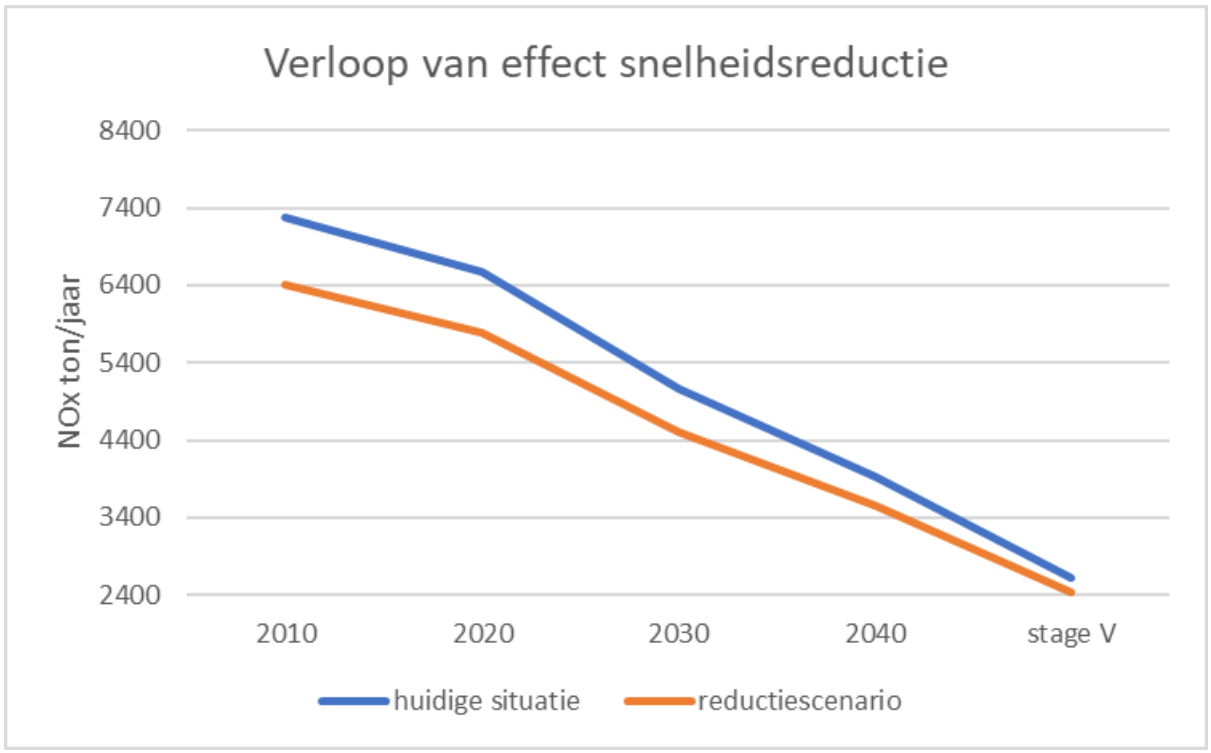
In de landelijke rekensystematiek wordt gerekend met een toeslag van 13% op de hoofdmotoren als correctie voor de emissie door generatoren e.d. Om de toegenomen vaartijd van ongeveer 11% (zie Tabel 4-6) te verrekenen zal de emissie van de hulpmotoren navenant verhoogd moeten worden. De emissies van hulpmotoren zullen hierdoor dus stijgen naar ruim 14%.

*Tabel 4-12 Emissie NOx door hoofdmotoren en hulpmotoren totaal, ton/jaar*

| Jaar | huidige situatie (ton) | reductiescenario (ton) | Verschil op corridors (ton) | Relatief verschil | Geschatte landelijke Reductie (ton) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2010 | 7287 | 6405 | 883 | -12% | **2648** |
| 2020 | 6583 | 5789 | 795 | -12% | **2384** |
| 2030 | 5056 | 4496 | 560 | -11% | **1680** |
| 2040 | 3930 | 3546 | 384 | -10% | **1152** |
| stage V | 2616 | 2439 | 177 | -7% | **530** |

In Tabel 4-12 is te zien dat de te behalen emissiereductie in dit jaar (2020) op de corridors en de onderzochte scheepsklassen samen ongeveer 800 ton zou kunnen zijn. Omdat de huidige emissies van binnenvaartschepen voor heel Nederland ongeveer 3 keer zo hoog zijn, zou een emissiereductie van ongeveer het drievoudige (2400 ton in 2020) verwacht kunnen worden bij een landelijke uitrol van een generieke snelheidsvermindering van 1,5 km/uur. De verwachting is wel dat deze schatting aan de optimistische kant is. Zo is het bijvoorbeeld onduidelijk in hoeverre de reeds bestaande snelheids-beperkingen op een aantal vaarwegen nu al worden gehandhaafd (bijvoorbeeld 12 km/u voor lege schepen en 9 km/u voor geladen schepen op een aantal kleinere vaarwegen) en wat het effect daarvan is. Er zijn diverse redenen waarom een generieke snelheidsvermindering niet zeer eenvoudig te realiseren is. De belangrijkste reden is gelegen in de omstandigheid dat er in de binnenvaart een brede range aan snelheden wordt gevaren door zeer verschillende scheepsklassen met verschillende belading op vaarwegen met zeer verschillende dimensies en stroming en is er niet direct een simpel advies met één maximumsnelheid af te leiden. Verder is als onderdeel van internationale afspraken, i.e. Akte van Mannheim, vastgelegd dat op de aktewateren (Boven-Rijn, Waal, Lek, Rijn) geen beperkende maatregelen opgelegd mogen worden en dus ook geen snelheidsbeperking [Ref 11.].

Overigens neemt de absolute effectiviteit van een snelheidsvermindering over de jaren snel af door de andere emissiereducerende maatregelen. Een belangrijke contra-indicatie voor de effectiviteit van het doorvoeren van een snelheidsvermindering kan de invoering van stage V emissienormering zijn. De SCR-katalysatoren vergen een minimale temperatuur van de uitlaatgassen om effectief te kunnen zijn. Om meer inzicht te verkrijgen in de effectiviteit van snelheidsvermindering is daarom ook een berekening uitgevoerd met uitsluitend emissiefactoren van Stage-V motoren. In Tabel 4-12 en Figuur 4-2 is te zien dat het effect van snelheidsvermindering bij uitsluitend stage-V motoren vermindert van 12 naar 7 procent reductie (nagenoeg een halvering van het effect). Hieruit kan geconcludeerd worden dat de invoering van stage-V inderdaad op gespannen voet staat met snelheidsvermindering.

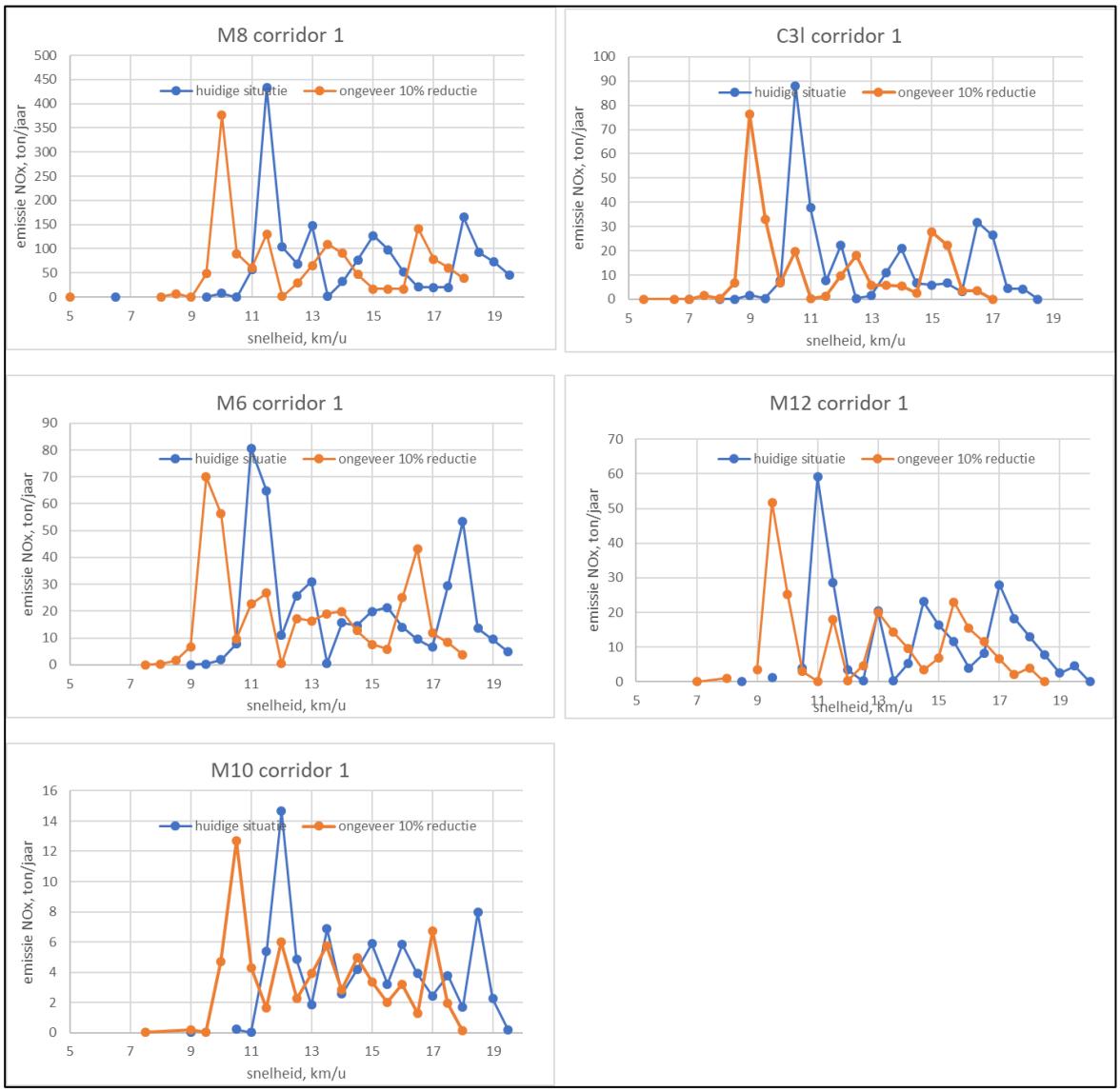



*Figuur 4-2 Verloop van emissiereductie op de corridors met verschillende emissiefactoren.*

Meer perspectief voor reductie van stikstofuitstoot is wellicht te vinden in de aanscherping van de stage-V normering waarbij er voor gezorgd wordt dat de juiste temperatuur van de katalysator nagenoeg ten allen tijde gewaarborgd wordt. Hierdoor stijgt de effectiviteit van de SCR-katalysator van 60% NOx-reductie overall naar 90% NOx-reductie. Het emissiereductie potentieel van een dergelijke maatregel wordt op langere termijn op ongeveer 6000 ton per jaar geschat. Voorzichtigheid bij deze conclusie is net als eerder ook hier geboden omdat we in Nederland nagenoeg niet over metingen beschikken betreffende de effectiviteit van SCR onder verschillende omstandigheden.

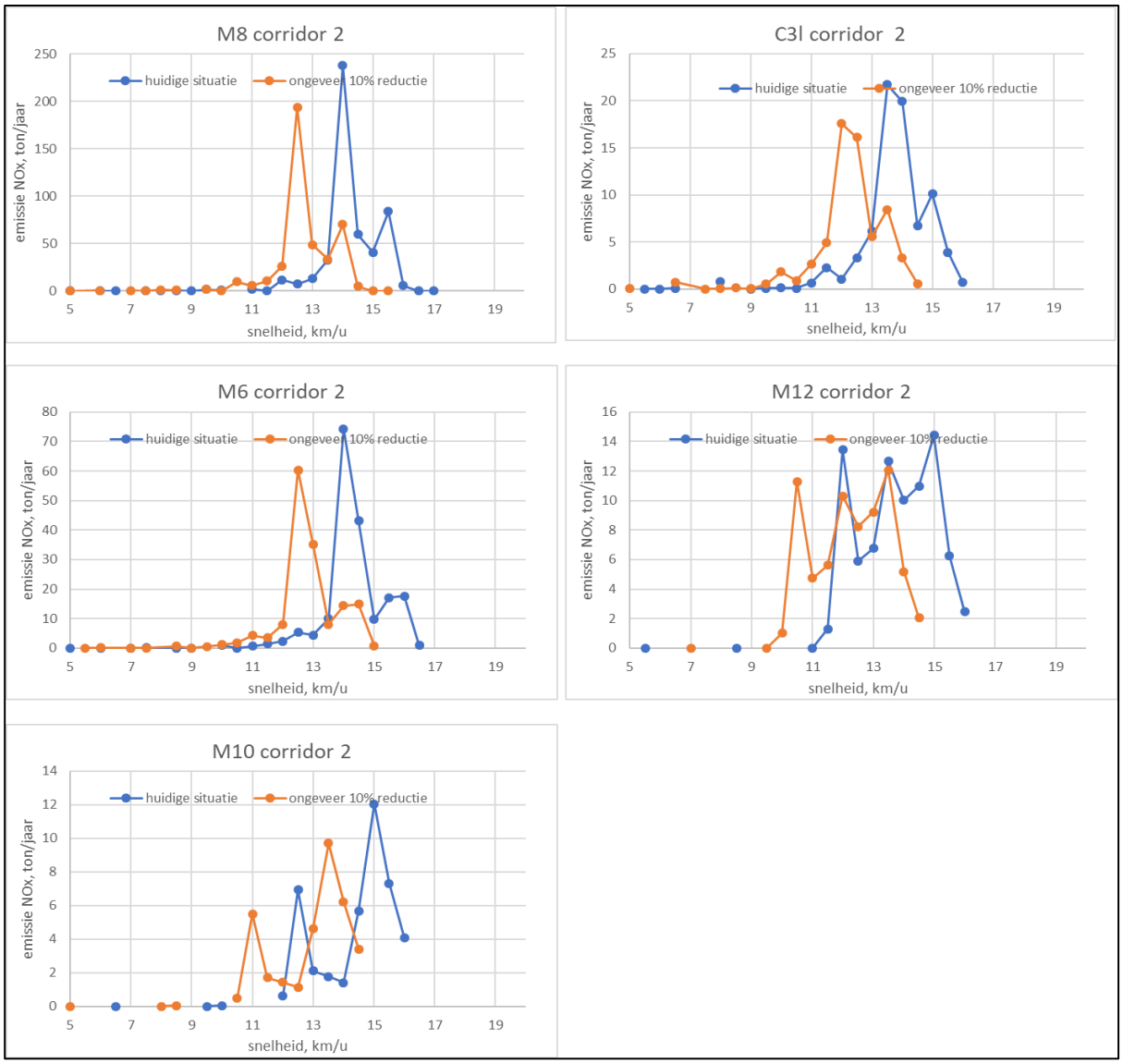
### 4.4.4 Emissiereductie en vaarsnelheden

Om inzichtelijk te maken dat er niet direct een advies met één maximumsnelheid af te leiden is, zijn een aantal grafieken gemaakt waarin emissie van de twee scenario's per scheepstype per corridor is afgezet tegen de vaarsnelheid.



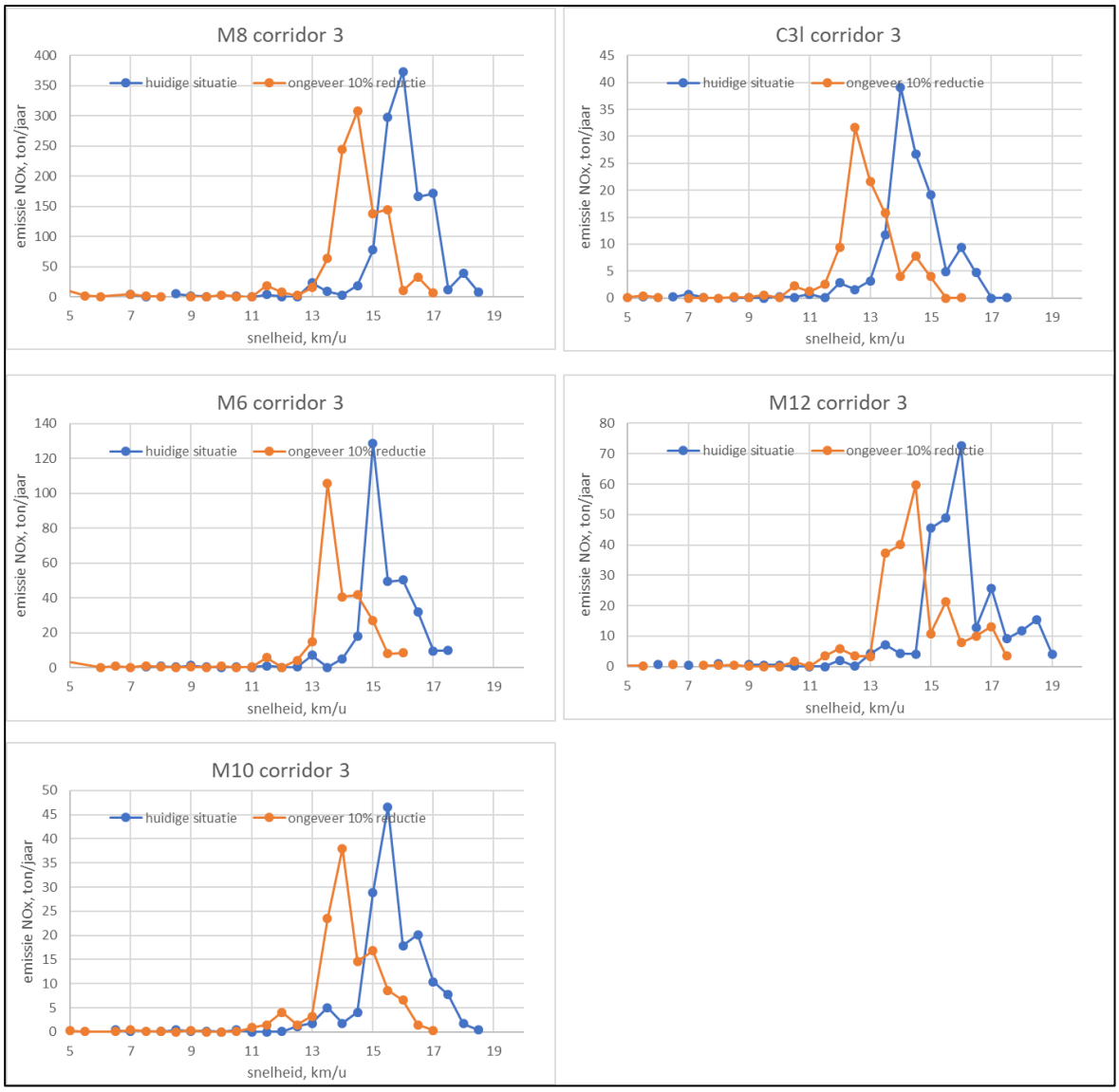

*Figuur 4-3 Emissiereductie op de verbinding Rotterdam-Duitsland huidige situatie (blauw) en met snelheidsreductie (oranje).*

In Figuur 4-3 is te zien dat er minstens vier pieken zijn waar te nemen in de emissies afgezet tegen de huidige vaarsnelheid. Door het toegepaste reductieregime, waarbij de vaarsnelheden van alle schepen met 1,5 km/u gereduceerd worden verschuiven de pieken in de huidige situatie (blauwe lijn) naar links als gevolg van het snelheidsreductieregime (oranje lijn). De pieken onderscheiden de emissie ten gevolge van geladen opvaart, de ongeladen opvaart, de geladen afvaart en de lege afvaart. Om de emissies van al deze pieken te kunnen reduceren moeten deze pieken afzonderlijk worden geadresseerd in een eventueel te nemen maatregel. Indien men slechts de piek met de hoogste snelheid treft (meest rechtste piek in de figuur; de geladen afvaart) dan zal er nauwelijks emissiereductie kunnen worden behaald en bestaat de kans dat de veiligheid in het geding komt, omdat de snelheid door het water te laag wordt [Ref 12.]. In dit geval betekent dit dat er dus onderscheid gemaakt moet worden in vaarrichting en beladingssituatie, zoals dat gebeurt in het geval van de dynamische snelheidsbeperking op de Nieuwe Maas en het Hartelkanaal. In dat geval wordt er rekening gehouden met de stroomsnelheid. Veilige ondergrenzen voor de snelheid door het water zouden door nader onderzoek vastgesteld moeten worden. De verschillen tussen de verschillende scheepsklassen blijken overigens wel mee te vallen. De vaarsnelheden van het koppelverband C3l is echter wel lager dan van de motorschepen (M6, M8, M10 en M12).




*Figuur 4-4 Emissiereductie op de verbinding Noordzeekanaalgebied naar de Waal huidige situatie (blauw) en met snelheidsreductie (oranje).*

In Figuur 4-4 is te zien dat er op de vaarwegen met beperkt of geen stroom meestal twee pieken zijn waar te nemen in het snelheid-emissieprofiel. De eerste piek ligt meestal bij een wat lagere snelheid en betreft emissie van geladen schepen en de tweede piek ligt ongeveer 1 km/u hoger bij ongeladen schepen. Onduidelijk is waar de hogere piek van de M10 en M12-schepen bij hogere snelheid vandaan komt, mogelijk zijn dit misschien riviercruiseschepen die met een hogere snelheid over het Amsterdam Rijnkanaal passeren. Indien men op deze corridor een snelheidsmaximum van 13 km/uur (nu geldt er een snelheidsbeperking van 18 km/u) zou aanleggen dan zou hiermee een flink deel van de emissies kunnen worden beperkt. Wel is te zien dat daarmee wellicht nog niet de emissiebeperking kan worden gehaald die met een algehele snelheidsreductie van 1,5 km/uur haalbaar is. Overigens is hier dan geen rekening mee gehouden dat bijvoorbeeld ten gevolge van wind een hogere vaarsnelheid noodzakelijk is in verband met veiligheid. Zo werd in het onderzoek naar de haalbaarheid van een snelheidsbeperking op de Nieuwe Maas, Oude Maas en Hartelkanaal al aanbevolen om geen snelheidsbeperking toe te passen bij Bft7 en hoger [Ref 12.]. Dit aspect zou nader onderzocht moeten worden. Dit maakt duidelijk dat effectieve snelheidsreductie in het algemeen maatwerk is die niet zonder nadere bestudering van snelheden op vaarweg-scheepsklasse combinatie tot een effectieve maatregel kan leiden.




*Figuur 4-5 Emissiereductie op de Schelde-Rijn verbinding huidige situatie (blauw) en met snelheidsreductie (oranje).*

In Figuur 4-5 is te zien dat er ook op de Schelde Rijn verbinding (corridor 3) meestal twee pieken zijn waar te nemen in het snelheid-emissieprofiel. De eerste piek ligt meestal bij een wat lagere snelheid en betreft emissie van geladen schepen en de tweede piek ligt ongeveer 1 tot 3 km/u hoger bij ongeladen schepen. Bij het treffen van een maatregel die de hoogste piek van ongeladen schepen betreft zal men een maatregel moeten treffen die de snelheid beperkt tot 13 á 14 km/uur. Te zien is dat de scheepsklasse C3l een snelheid van 13 kilometer vraagt voor effectieve emissiebeperking, echter niet de motorschepen (M6, M8, M10 en M12) die met een beperking 14 km/uur voldoende snelheidsreductie halen. Met zo'n generieke maatregel worden dan de leegvarende schepen onevenredig hard getroffen. De vraag wordt dan of een aparte maatregel voor leegvarende schepen niet beter zou zijn voor zowel de effectiviteit als de maatschappelijke acceptatie.

# 5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Op basis van het onderzoek kunnen de volgende conclusies en aanbevelingen geformuleerd worden:

## 5.1 Algemeen

- Het doel van het onderzoek was het inventariseren of een snelheidsreductie voor de scheepvaart effect heeft op de emissie van NOx. Hierbij is niet gekeken naar de werkelijke depositie van de NOx in relatie tot de omgeving. Ook is de praktische uitvoerbaarheid of de handhaafbaarheid van een snelheidsmaatregel niet in detail onderzocht. De schattingen van de totale reductie van de NOx-emissie door een snelheidsreductie zijn dan ook slechts een indicatie van de maximale effectiviteit.

- Omdat het een inventariserend overzoek is, is ook niet gekeken of de voorgestelde maatregelen (snelheidsreductiescenario's) goed aansluiten bij al geldende lokale afspraken over vaarsnelheden Zo zijn in de studie snelheidsregimes of afspraken voor vaste vaarsnelheden in de zeevaart niet expliciet mee genomen. Ze zijn wel impliciet meegenomen, omdat in het bepalen van de scenario's is uitgegaan van de huidige operationele vaarsnelheden. Als er nu al langzaam gevaren wordt in verband met een snelheidsbeperking of afspraken, dan is in de scenario's de snelheid niet verder gereduceerd.

## 5.2 Zeevaart

***Zeegebieden (12-mijlszone en NCP)***

- In totaal wordt er op het NCP en binnen de 12-mijlszone ongeveer 77 kton NOx uitgestoten in 2018. Het grootste deel hiervan wordt uitgestoten door containerschepen (27kton), daarna volgen Roro schepen (13kton) en tankers (12 kton). Het grootste deel (62 kton, 79%) wordt uitgestoten buiten de 12-mijlszone.

- Wanneer een maximum snelheid van 75% van de ontwerpsnelheid wordt toegepast, daalt de uitstoot van NOx naar 71 kton per jaar (op basis van de reizen uit 2018). Dit is een reductie van 6 kton, 9% reductie over het gehele gebied. Binnen de 12-mijlszone is de reductie 1.2 kton NOx, een afname van 7%. De grootste absolute afname is zichtbaar voor tankers, containerschepen en Roro schepen. Binnen de scheepsgrootte klasse zijn het vooral de schepen tussen 10.000-60.000 GRT die de meeste uitstoot reduceren van het totaal (52%).

***Havens en Estuaria***

- In totaal wordt er op in de **estuaria** ruim 8.4 kton NOx uitgestoten in 2018. Het grootste deel hiervan wordt uitgestoten door containerschepen (2 kton, Westerschelde), daarna volgen non-oil tankers (1.2 kton, Westerschelde) en werkschepen (0.5 kton, Eems). Wanneer een reductie van de ontwerpsnelheid wordt toegepast daalt de uitstoot van NOx naar 8.1 kton per jaar. Dit is een totale reductie van 0.3 kton, een 1.5/4.1/6.2 % reductie voor respectievelijk de Eems, de Westerschelde en Harlingen.

- In totaal wordt er in de **havens** 12.2 kton NOx uitgestoten in 2018. Het grootste deel hiervan wordt uitgestoten door containerschepen (3.8 kton, R'dam), daarna volgen Tankers (3.1 kton) en werkschepen (1.5 kton). Wanneer een reductie van de ontwerpsnelheid wordt toegepast daalt de uitstoot van NOx naar 12.1 kton per jaar. Dit is een totale reductie van 0.1 kton, een 0,4/1.3 % reductie voor respectievelijk Amsterdam en R'dam.

**Veiligheid**

- Doordat de verkeersintensiteit op zee zal toenemen (+12%) zal statistisch gezien de aantallen ongevallen met ongeveer hetzelfde percentage stijgen.

- In de praktijk zijn kapiteins te allen tijde gehouden de veiligheid van hun schip te bewaken en op grond van goed zeemanschap hogere snelheden toe te passen als extreme weers-en stroomomstandigheden daarom vragen.

- Naast directe veiligheidsoverwegingen zijn bij het varen op het getij soms bepaalde vaarsnelheden noodzakelijk zijn om tijdig kritieke doorvaarten of invaarten te bereiken.

## 5.3 Binnenvaart

- In totaal wordt er in Nederland door de binnenvaart 20kton NOx uitgestoten. Een generieke vermindering van vaarsnelheid van binnenvaartschepen met 1,5 kilometer/uur kan de komende jaren landelijk potentieel ongeveer 2 kiloton/jaar aan NOx-emissiereductie opleveren.

- De individuele scheepsmanoeuvreer veiligheid is door deze generieke maatregel niet, dan alleen in uitzonderlijke situaties, in het geding. Wel zal door de gewenste toename van de scheepvaartintensiteit het aantal ongevallen mogelijk toenemen.

- Een generieke vermindering van de vaarsnelheid met 1,5 kilometer/uur is geen direct uitvoerbare maatregel. Maatwerk per scheepstype-vaarweg combinatie is daarom noodzakelijk om effectieve maatregelen af te kunnen leiden. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig naar minimale vaarsnelheden voor veilig manoeuvreren.

- Er dient in een eventuele vervolgstudie rekening gehouden te worden met het soort belading van schepen (containers en overige ladingsoorten) omdat beladingsgraden en motorbelastingen verschillen.

- Meer actuele data over vaarsnelheden en intensiteit van scheepvaartverkeer kunnen de betrouwbaarheid (en daarmee ook van de acceptatie) van de conclusies versterken. Recente AIS-data en gekoppelde scheepsidentificatie zijn daarbij noodzakelijke gegevens.

- Een gericht meetprogramma op schepen met verschillende technologie kan de betrouwbaarheid (en daarmee ook van de acceptatie) van de conclusies versterken.

## REFERENTIES

[Ref 1.] J. Saladas, C. van der Tak, J.H.J. Hulskotte

Emissions 2008: Netherlands Continental Shelf, Port areas and OSPAR Region II
MARIN, nr 23502.620_B/3, juni 2010

[Ref 2.] A. Cotteleer, C. van der Tak

Emissions 2009: Netherlands Continental Shelf, Port areas and OSPAR Region II
MARIN, nr 24762-1-MSCN-rev. 3, april 2011

[Ref 3.] A. Cotteleer, J.H.J. Hulskotte

Sea Shipping emissions 2010: Netherlands Continental Shelf, Port Areas and OSPAR region II
MARIN, nr 25185-1-MSCN-rev. 4, februari 2012

[Ref 4.] C. van der Tak

Sea Shipping emissions 2011: Netherlands Continental Shelf, Port areas and OSPAR region II
MARIN, nr 26437-1-MSCN-rev. 2, juli 2013

[Ref 5.] A. Cotteleer

Sea Shipping emissions 2012: Netherlands Continental Shelf, 12-mile zone, Port areas and OSPAR region II
MARIN, nr 27230-1-MSCN-rev.3, augustus 2014

[Ref 6.] D. Looije

Sea Shipping emissions 2013: Netherlands Continental Shelf, 12-mile zone, Port areas and OSPAR region II
MARIN, nr 28130-1-MSCN-rev.1, mei 2016

[Ref 7.] D. Looije, A. Cotteleer

Sea Shipping emissions 2014: Netherlands Continental Shelf, 12-mile zone, Port areas and OSPAR region II
MARIN, nr 28771-1-MSCN-rev.2, februari 2017

[Ref 8.] M.C. ter Brake, J. Hulskotte

Sea Shipping emissions 2016: Netherlands Continental Shelf, 12-mile zone and Port areas.
MARIN, nr 29555-1-MSCN-rev.2, juni 2017

[Ref 9.] M.C. ter Brake, K.F. Kauffman, J. Hulskotte

Sea Shipping emissions 2017: Netherlands Continental Shelf, 12-mile zone and Port areas.

MARIN, nr 31270-1-MSCN-rev.1, 6 may 2019

[Ref 10.] K.F. Kauffman, J. Hulskotte

Sea Shipping emissions 2018: Netherlands Continental Shelf, 12 Mile Zone and Port areas
MARIN, no: 32410-1-MSCN-rev.2, June 2020

[Ref 11.] Team EICB

NOx-uitstoot binnenvaart – Provincie Gelderland
Juni 2020

[Ref 12.] I.G.L. Bron,

Snelheidsbeperking Binnenvaart Rotterdam
MARIN, nr 24056.600/4, June 2010

[Ref 13.] J.H.J. Hulskotte,

EMS-protocol Emissies voor de binnenvaart, verbrandingsmotoren, versie 5
20 november 2018

# BIJLAGE 1 RESULTATEN 12-MIJLSZONE EN NCP PER SCHEEPTYPE-SCHEEPSGROOTTE

## 1.1 Vaarsnelheid

*Tabel 5-1 Gemiddelde absolute snelheidsreductie [kn] binnen de 12-mijlszone*

| Scheepstype | Gemiddelde snelheid reductie [kn] (Snelheidsreductie scenario - huidige scenario 2018) **Binnen 12-mijlszone** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100-1,600 GT | 1,600-3,000 GT | 3,000-5,000 GT | 5,000-10,000 GT | 10,000-30,000 GT | 30,000-60,000 GT | 60,000-100,000 GT | >100,000 GT | **totaal** |
| Oil tanker | -0,9 | -1,1 | -1,3 | -1,1 | -0,5 | -0,3 | -0,3 | -0,1 | **-0,7** |
| Chem.+Gas tanker | -1,5 | -1,0 | -1,4 | -1,1 | -0,7 | -0,5 | 0,0 | 0,0 | **-0,8** |
| Bulk carrier | -2,0 | -2,8 | -1,3 | -1,0 | -1,0 | -0,8 | -0,5 | -0,2 | **-1,2** |
| Container ship | | -1,9 | -1,9 | -1,2 | -0,7 | -0,4 | -0,2 | -0,5 | **-1,0** |
| General Dry Cargo | -1,2 | -1,3 | -1,3 | -1,4 | -1,1 | -1,5 | | | **-1,3** |
| RoRo Cargo / Vehicle | 0,0 | -0,2 | -0,9 | -2,1 | -1,8 | -1,2 | -1,1 | -2,4 | **-1,2** |
| Reefer | -1,0 | -1,0 | -1,4 | -0,6 | -0,9 | | | | **-1,0** |
| Passenger | -0,1 | -0,1 | -0,4 | -0,7 | -0,7 | -0,6 | -0,4 | -1,5 | **-0,6** |
| Miscellaneous | -0,6 | -0,2 | -0,2 | -0,6 | -0,3 | 0,0 | -0,1 | | **-0,3** |
| Tug/Supply | 0,0 | -0,3 | -0,4 | -0,6 | -0,4 | -0,2 | -1,1 | -0,2 | **-0,4** |
| Totaal | **-0,8** | **-1,0** | **-1,0** | **-1,0** | **-0,8** | **-0,6** | **-0,5** | **-0,7** | **-0,8** |

*Tabel 5-2 Gemiddelde absolute snelheidsreductie [kn] op het NCP buiten de 12-mijlszone*

| Scheepstype | Gemiddelde snelheid reductie [kn] (Snelheidsreductie scenario - huidige scenario 2018) **NCP buiten 12-mijlszone** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100-1,600 GT | 1,600-3,000 GT | 3,000-5,000 GT | 5,000-10,000 GT | 10,000-30,000 GT | 30,000-60,000 GT | 60,000-100,000 GT | >100,000 GT | **totaal** |
| Oil tanker | -1,1 | -1,1 | -1,5 | -1,5 | -0,8 | -0,6 | -0,6 | -0,2 | **-0,9** |
| Chem.+Gas tanker | -1,3 | -1,0 | -1,4 | -1,4 | -1,2 | -1,2 | -0,4 | -1,2 | **-1,2** |
| Bulk carrier | -1,8 | -1,7 | -1,2 | -0,8 | -1,3 | -1,0 | -0,5 | -0,2 | **-1,1** |
| Container ship | | -1,5 | -1,7 | -1,3 | -0,6 | -0,5 | -0,3 | -0,6 | **-0,9** |
| General Dry Cargo | -0,9 | -1,1 | -1,1 | -1,3 | -1,3 | -1,6 | | | **-1,2** |
| RoRo Cargo / Vehicle | -5,6 | -1,9 | -1,9 | -2,1 | -2,0 | -1,9 | -1,3 | -2,6 | **-2,4** |
| Reefer | -0,8 | -0,6 | -1,4 | -1,4 | -1,4 | | | | **-1,1** |
| Passenger | -0,4 | -1,2 | -1,1 | -1,3 | -1,1 | -0,9 | -0,9 | -2,2 | **-1,1** |
| Miscellaneous | -0,1 | 0,0 | -1,1 | -1,2 | -0,7 | -0,2 | 0,0 | | **-0,5** |
| Tug/Supply | 0,0 | -0,3 | -0,3 | -0,3 | -0,6 | -0,4 | -0,7 | -1,3 | **-0,5** |
| | **-1,3** | **-1,0** | **-1,3** | **-1,3** | **-1,1** | **-0,9** | **-0,6** | **-1,2** | **-1,1** |

## 1.2 Vaaruren

| | Totaal aantal vaaruren voor verschillende gebieden en scenario's [kn] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Huidige scenario | | | Snelheid reductie scenario | | |
| | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | NCP + 12-mijlszone | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | NCP + 12-mijlszone |
| Oil tanker | 7.351 | 59.679 | 67.029 | 7.858 | 64.404 | 72.262 |
| Chem.+Gas tanker | 51.194 | 232.601 | 283.796 | 57.414 | 263.762 | 321.176 |
| Bulk carrier | 12.413 | 90.964 | 103.378 | 13.728 | 101.146 | 114.874 |
| Container ship | 44.136 | 136.423 | 180.559 | 46.779 | 144.919 | 191.699 |
| General Dry Cargo | 92.661 | 298.520 | 391.181 | 107.570 | 337.522 | 445.091 |
| RoRo Cargo / Vehicle | 25.939 | 96.145 | 122.084 | 29.422 | 112.462 | 141.884 |
| Reefer | 1.978 | 7.844 | 9.822 | 2.169 | 8.673 | 10.842 |
| Passenger | 2.561 | 8.138 | 10.699 | 2.836 | 9.127 | 11.962 |
| Miscellaneous | 56.286 | 37.900 | 94.186 | 63.022 | 40.916 | 103.938 |
| Tug/Supply | 32.727 | 85.334 | 118.062 | 37.200 | 91.880 | 129.080 |
| | **327.247** | **1.053.549** | **1.380.795** | **367.998** | **1.174.812** | **1.542.809** |

| | Totaal aantal vaaruren voor verschillende gebieden en scenario's [kn] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Huidige scenario | | | Snelheid reductie scenario | | |
| Scheepsgrootte klasse | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | NCP + 12-mijlszone | 12-mijlszone | NCP buiten 12-mijlszone | NCP + 12-mijlszone |
| 100-1,600 GT | 52.740 | 97.403 | 150.143 | 60.457 | 104.538 | 164.995 |
| 1,600-3,000 GT | 89.177 | 213.589 | 302.766 | 101.577 | 240.372 | 341.948 |
| 3,000-5,000 GT | 49.603 | 133.709 | 183.312 | 57.464 | 152.424 | 209.888 |
| 5,000-10,000 GT | 37.721 | 149.135 | 186.856 | 42.812 | 169.638 | 212.450 |
| 10,000-30,000 GT | 48.637 | 228.740 | 277.377 | 53.293 | 255.650 | 308.943 |
| 30,000-60,000 GT | 26.357 | 119.256 | 145.613 | 28.272 | 133.041 | 161.313 |
| 60,000-100,000 GT | 14.861 | 79.566 | 94.427 | 15.449 | 84.627 | 100.076 |
| >100,000 GT | 8.151 | 32.150 | 40.301 | 8.674 | 34.522 | 43.196 |
| | **327.247** | **1.053.549** | **1.380.795** | **367.998** | **1.174.812** | **1.542.809** |

| | Totale emissie Nox [ton] (huidige scenario 2018) 12-mijlszone | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | **totaal** |
| Oil tanker | 0 | 8 | 12 | 14 | 107 | 101 | 283 | 30 | **554** |
| Chem.+Gas tanker | 6 | 126 | 526 | 367 | 861 | 83 | 1 | 11 | **1983** |
| Bulk carrier | 1 | 10 | 7 | 17 | 273 | 377 | 90 | 8 | **782** |
| Container ship | 0 | 5 | 46 | 642 | 929 | 1424 | 1547 | 2151 | **6744** |
| General Dry Cargo | 66 | 591 | 267 | 309 | 203 | 58 | 0 | 0 | **1494** |
| RoRo Cargo / Vehicle | 4 | 26 | 1 | 103 | 769 | 1027 | 492 | 56 | **2479** |
| Reefer | 0 | 4 | 17 | 20 | 68 | 0 | 0 | 0 | **109** |
| Passenger | 2 | 0 | 0 | 4 | 26 | 31 | 125 | 61 | **249** |
| Miscellaneous | 151 | 157 | 119 | 57 | 236 | 268 | 0 | 0 | **988** |
| Tug/Supply | 130 | 193 | 60 | 54 | 78 | 18 | 1 | 1 | **535** |
| | **360** | **1120** | **1055** | **1587** | **3551** | **3387** | **2539** | **2318** | **15917** |

| | Totale emissie Nox [ton] (snelheidsreductie scenario 2018) 12-mijlszone | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | totaal |
| Oil tanker | 0 | 7 | 10 | 12 | 100 | 95 | 271 | 29 | 525 |
| Chem.+Gas tanker | 5 | 113 | 463 | 331 | 795 | 77 | 1 | 11 | 1797 |
| Bulk carrier | 0 | 8 | 6 | 15 | 244 | 345 | 84 | 8 | 710 |
| Container ship | | 4 | 38 | 575 | 864 | 1351 | 1496 | 2048 | 6375 |
| General Dry Cargo | 54 | 501 | 227 | 269 | 179 | 51 | | | 1281 |
| RoRo Cargo / Vehicle | 4 | 26 | 1 | 83 | 654 | 940 | 445 | 50 | 2203 |
| Reefer | 0 | 3 | 14 | 18 | 62 | | | | 98 |
| Passenger | 2 | 0 | 0 | 4 | 24 | 30 | 118 | 80 | 258 |
| Miscellaneous | 138 | 150 | 122 | 54 | 226 | 268 | 0 | | 958 |
| Tug/Supply | 132 | 188 | 63 | 56 | 75 | 18 | 1 | 1 | 534 |
| | 336 | 1000 | 943 | 1417 | 3224 | 3175 | 2416 | 2227 | 14740 |

| | Absolute verschil emissie Nox [ton] (Snelheidsreductie scenario - huidige scenario 2018) 12-mijlszone | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | totaal |
| Oil tanker | 0 | -1 | -1 | -2 | -7 | -5 | -12 | -1 | -29 |
| Chem.+Gas tanker | -1 | -13 | -63 | -36 | -66 | -6 | 0 | 0 | -185 |
| Bulk carrier | 0 | -2 | -1 | -2 | -30 | -32 | -6 | 0 | -72 |
| Container ship | 0 | -1 | -9 | -67 | -65 | -73 | -51 | -103 | -368 |
| General Dry Cargo | -11 | -90 | -40 | -40 | -24 | -7 | 0 | 0 | -213 |
| RoRo Cargo / Vehicle | 0 | 0 | 0 | -20 | -116 | -87 | -47 | -6 | -276 |
| Reefer | 0 | -1 | -3 | -2 | -6 | 0 | 0 | 0 | -11 |
| Passenger | 0 | 0 | 0 | 0 | -2 | -2 | -7 | 19 | 9 |
| Miscellaneous | -13 | -7 | 2 | -2 | -10 | 0 | 0 | 0 | -30 |
| Tug/Supply | 2 | -5 | 2 | 2 | -2 | -1 | 0 | 0 | -2 |
| | -23 | -120 | -112 | -170 | -327 | -212 | -122 | -91 | -1177 |

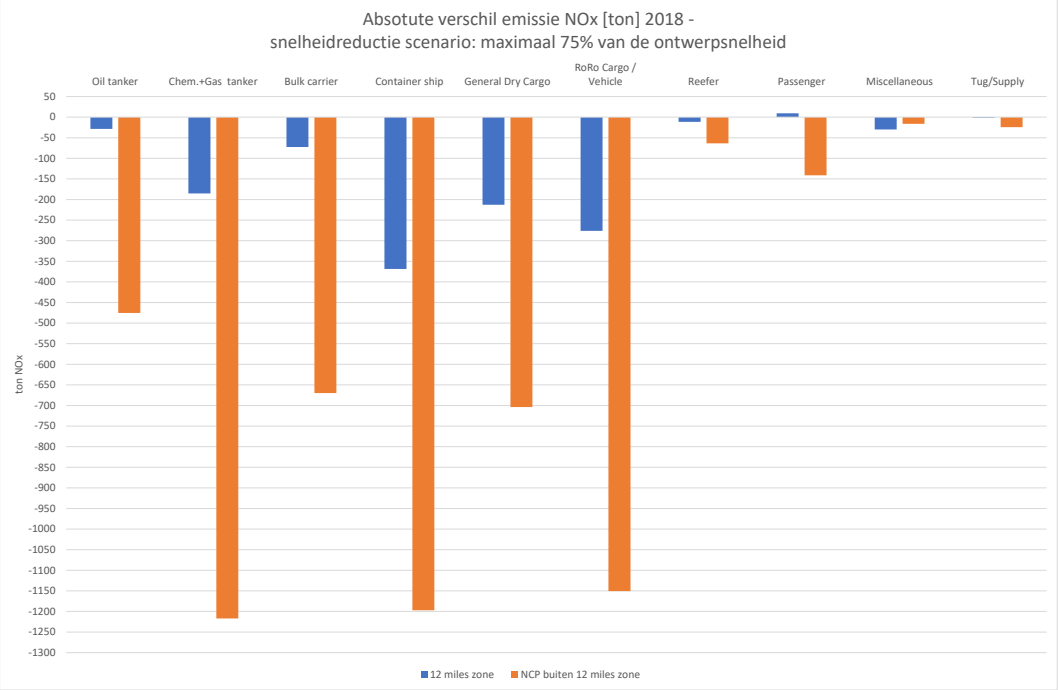
| | Procentuele verschil emissie Nox [ton] (groei tov huidige scenario 2018) 12-mijlszone | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | totaal |
| Oil tanker | -15% | -8% | -12% | -12% | -6% | -5% | -4% | -2% | -5% |
| Chem.+Gas tanker | -17% | -10% | -12% | -10% | -8% | -7% | 0% | 0% | -9% |
| Bulk carrier | -21% | -23% | -11% | -12% | -11% | -8% | -6% | -4% | -9% |
| Container ship | -- | -19% | -18% | -10% | -7% | -5% | -3% | -5% | -5% |
| General Dry Cargo | -17% | -15% | -15% | -13% | -12% | -13% | -- | -- | -14% |
| RoRo Cargo / Vehicle | -1% | -2% | -8% | -20% | -15% | -8% | -10% | -11% | -11% |
| Reefer | -13% | -13% | -16% | -11% | -9% | -- | -- | -- | -10% |
| Passenger | 1% | -3% | -8% | -1% | -7% | -5% | -5% | 32% | 4% |
| Miscellaneous | -9% | -5% | 2% | -4% | -4% | 0% | -1% | -- | -3% |
| Tug/Supply | 2% | -2% | 4% | 3% | -3% | -4% | -8% | -1% | 0% |
| | -7% | -11% | -11% | -11% | -9% | -6% | -5% | -4% | -7% |

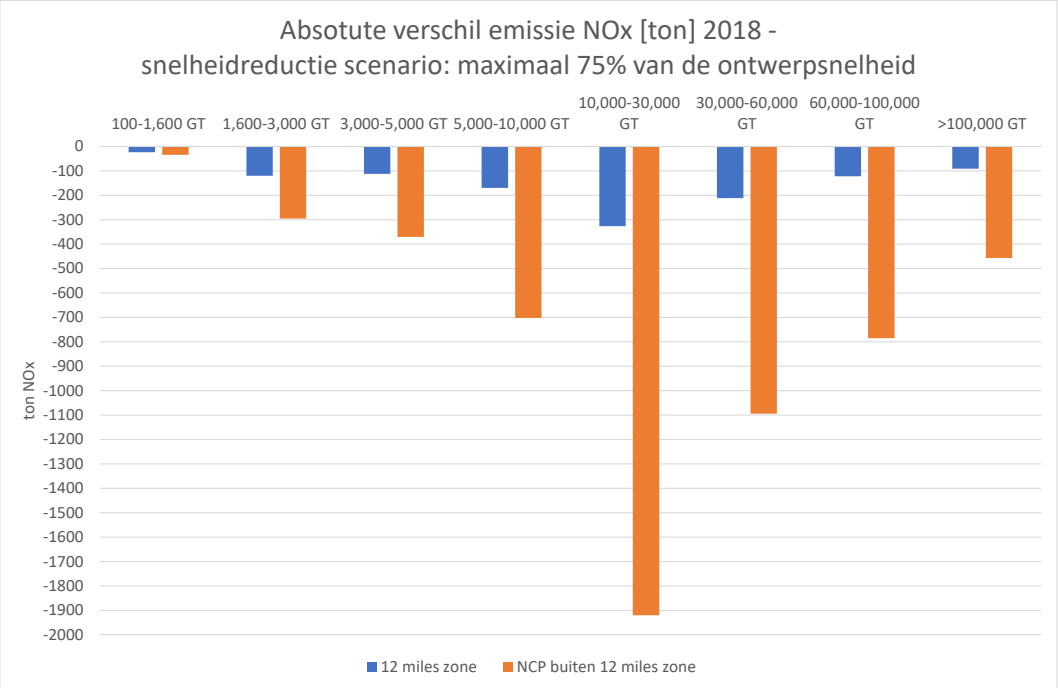
| | Totale emissie Nox [ton] (huidige scenario 2018) NCP buiten 12-mijlszone | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | **totaal** |
| Oil tanker | 1 | 14 | 35 | 38 | 536 | 876 | 3687 | 209 | 5395 |
| Chem.+Gas tanker | 18 | 317 | 1403 | 1444 | 5535 | 706 | 8 | 349 | 9780 |
| Bulk carrier | 5 | 38 | 21 | 54 | 2102 | 3204 | 906 | 73 | 6402 |
| Container ship | | 16 | 138 | 1610 | 2651 | 4229 | 4472 | 7328 | 20444 |
| General Dry Cargo | 160 | 1575 | 914 | 1312 | 988 | 165 | | | 5115 |
| RoRo Cargo / Vehicle | 0 | 5 | 2 | 437 | 3381 | 4450 | 1818 | 188 | 10281 |
| Reefer | 0 | 15 | 48 | 118 | 355 | | | | 536 |
| Passenger | 1 | 1 | 2 | 12 | 118 | 171 | 732 | 560 | 1596 |
| Miscellaneous | 113 | 74 | 35 | 142 | 110 | 60 | 1 | | 535 |
| Tug/Supply | 280 | 450 | 208 | 202 | 279 | 89 | 3 | 26 | 1536 |
| | **579** | **2505** | **2807** | **5369** | **16054** | **13950** | **11626** | **8732** | **61620** |

| | Totale emissie Nox [ton] (snelheidsreductie scenario 2018) NCP buiten 12-mijlszone | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | totaal |
| Oil tanker | 1 | 12 | 30 | 31 | 480 | 795 | 3372 | 199 | 4920 |
| Chem.+Gas tanker | 15 | 279 | 1195 | 1234 | 4876 | 615 | 7 | 342 | 8563 |
| Bulk carrier | 4 | 31 | 19 | 48 | 1833 | 2890 | 839 | 69 | 5732 |
| Container ship | | 14 | 114 | 1406 | 2469 | 3954 | 4318 | 6972 | 19247 |
| General Dry Cargo | 136 | 1343 | 788 | 1145 | 854 | 145 | | | 4411 |
| RoRo Cargo / Vehicle | 0 | 4 | 2 | 352 | 2821 | 4151 | 1634 | 166 | 9131 |
| Reefer | 0 | 14 | 41 | 101 | 317 | | | | 473 |
| Passenger | 1 | 1 | 2 | 12 | 106 | 164 | 666 | 502 | 1455 |
| Miscellaneous | 110 | 74 | 36 | 132 | 107 | 58 | 1 | | 519 |
| Tug/Supply | 277 | 439 | 210 | 205 | 270 | 82 | 3 | 25 | 1512 |
| | **545** | **2210** | **2437** | **4666** | **14134** | **12855** | **10841** | **8275** | **55962** |

| | Absolute verschil emissie Nox [ton] (Snelheidsreductie scenario - huidige scenario 2018) NCP buiten 12-mijlszone | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | totaal |
| Oil tanker | 0 | -2 | -6 | -7 | -56 | -80 | -315 | -9 | -475 |
| Chem.+Gas tanker | -3 | -38 | -208 | -210 | -658 | -91 | 0 | -8 | -1217 |
| Bulk carrier | -1 | -7 | -2 | -6 | -268 | -314 | -67 | -4 | -670 |
| Container ship | 0 | -3 | -24 | -204 | -182 | -275 | -154 | -356 | -1197 |
| General Dry Cargo | -24 | -233 | -125 | -167 | -134 | -20 | 0 | 0 | -704 |
| RoRo Cargo / Vehicle | 0 | -1 | 0 | -85 | -560 | -299 | -183 | -22 | -1150 |
| Reefer | 0 | -1 | -7 | -17 | -38 | 0 | 0 | 0 | -64 |
| Passenger | 0 | 0 | 0 | 0 | -11 | -7 | -65 | -57 | -141 |
| Miscellaneous | -2 | 0 | 0 | -10 | -3 | -1 | 0 | 0 | -16 |
| Tug/Supply | -3 | -11 | 3 | 3 | -8 | -7 | 0 | -1 | -24 |
| | -34 | -295 | -370 | -703 | -1920 | -1094 | -785 | -457 | -5658 |

| | Procentuele verschil emissie Nox [ton] (groei tov huidige scenario 2018) NCP buiten 12-mijlszone | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | totaal |
| Oil tanker | -11% | -14% | -16% | -18% | -10% | -9% | -9% | -5% | -9% |
| Chem.+Gas tanker | -16% | -12% | -15% | -15% | -12% | -13% | -4% | -2% | -12% |
| Bulk carrier | -20% | -19% | -11% | -11% | -13% | -10% | -7% | -5% | -10% |
| Container ship | -- | -16% | -17% | -13% | -7% | -7% | -3% | -5% | -6% |
| General Dry Cargo | -15% | -15% | -14% | -13% | -14% | -12% | -- | -- | -14% |
| RoRo Cargo / Vehicle | 14% | -26% | -19% | -20% | -17% | -7% | -10% | -12% | -11% |
| Reefer | -14% | -9% | -15% | -14% | -11% | -- | -- | -- | -12% |
| Passenger | -5% | -12% | -10% | 1% | -10% | -4% | -9% | -10% | -9% |
| Miscellaneous | -2% | 0% | 1% | -7% | -3% | -2% | 0% | -- | -3% |
| Tug/Supply | -1% | -2% | 1% | 2% | -3% | -8% | -6% | -3% | -2% |
| | -6% | -12% | -13% | -13% | -12% | -8% | -7% | -5% | -9% |


Absotute verschil emissie NOx [ton] 2018 -
snelheidreductie scenario: maximaal 75% van de ontwerpsnelheid
Oil tanker
Chem.+Gas tanker
Bulk carrier
Container ship
General Dry Cargo
RoRo Cargo / Vehicle
Reefer
Passenger
Miscellaneous
Tug/Supply
ton NOx
12 miles zone
NCP buiten 12 miles zone


Absotute verschil emissie NOx [ton] 2018 -
snelheidreductie scenario: maximaal 75% van de ontwerpsnelheid
100-1,600 GT
1,600-3,000 GT
3,000-5,000 GT
5,000-10,000 GT
10,000-30,000 GT
30,000-60,000 GT
60,000-100,000 GT
>100,000 GT
ton NOx
12 miles zone
NCP buiten 12 miles zone

# BIJLAGE 2 RESULTATEN HAVENGEBIEDEN

| Havengebied | Scheepstype | Totale verwachte uitstoot NOx in 2018 [ton] | | Absolute verschil | % toename tov huidige scenario |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Huidige scenario (2018) | Snelheidsreductie scenario | | |
| **Amsterdam** | Oil tanker | 218 | 217 | 0 | -0,10% |
| | Chem.+Gas tanker | 694 | 692 | -2 | -0,29% |
| | Bulk carrier | 405 | 404 | -1 | -0,17% |
| | Container ship | 18 | 18 | 0 | -0,62% |
| | General Dry Cargo | 189 | 185 | -4 | -2,20% |
| | RoRo Cargo / Vehicle | 126 | 126 | -1 | -0,56% |
| | Reefer | 124 | 124 | 0 | -0,09% |
| | Passenger | 453 | 453 | 0 | -0,01% |
| | Miscellaneous | 133 | 132 | -1 | -0,50% |
| | Tug/Supply | 421 | 418 | -3 | -0,80% |
| **Totaal Amsterdam** | | **2780** | **2768** | -12 | -0,44% |
| **Rotterdam** | Oil tanker | 1037 | 1030 | -7 | -0,72% |
| | Chem.+Gas tanker | 1112 | 1071 | -41 | -3,69% |
| | Bulk carrier | 543 | 539 | -4 | -0,77% |
| | Container ship | 3763 | 3736 | -27 | -0,72% |
| | General Dry Cargo | 370 | 342 | -28 | -7,60% |
| | RoRo Cargo / Vehicle | 948 | 925 | -23 | -2,39% |
| | Reefer | 27 | 27 | 0 | -0,05% |
| | Passenger | 55 | 54 | -1 | -0,94% |
| | Miscellaneous | 410 | 429 | 19 | 4,73% |
| | Tug/Supply | 1196 | 1187 | -9 | -0,72% |
| **Totaal Rotterdam** | | **9461** | **9340** | -120 | -1,27% |
| **Wester-schelde** | Oil tanker | 224 | 211 | -13 | -5,99% |
| | Chem.+Gas tanker | 1160 | 1061 | -98 | -8,48% |
| | Bulk carrier | 358 | 339 | -20 | -5,48% |
| | Container ship | 2034 | 1990 | -44 | -2,17% |
| | General Dry Cargo | 619 | 574 | -44 | -7,15% |
| | RoRo Cargo / Vehicle | 609 | 591 | -19 | -3,08% |
| | Reefer | 206 | 204 | -2 | -0,87% |
| | Passenger | 115 | 110 | -4 | -3,85% |
| | Miscellaneous | 334 | 326 | -9 | -2,61% |
| | Tug/Supply | 625 | 624 | -1 | -0,22% |
| **Totaal Westerschelde** | | **6285** | **6030** | -255 | -4,06% |

| Havengebied | Scheepstype | Totale verwachte uitstoot NOx in 2018 [ton] | | Absolute verschil | % toename tov huidige scenario |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Huidige scenario (2018) | Snelheidsreductie scenario | | |
| **Eems** | Oil tanker | 3 | 2 | 0 | -7,95% |
| | Chem.+Gas tanker | 52 | 46 | -7 | -12,76% |
| | Bulk carrier | 38 | 35 | -3 | -7,13% |
| | Container ship | 2 | 2 | 0 | -3,97% |
| | General Dry Cargo | 171 | 156 | -15 | -8,85% |
| | RoRo Cargo / Vehicle | 400 | 377 | -23 | -5,71% |
| | Reefer | 5 | 5 | 0 | -3,73% |
| | Passenger | 355 | 346 | -9 | -2,47% |
| | Miscellaneous | 213 | 215 | 2 | 0,92% |
| | Tug/Supply | 510 | 538 | 28 | 5,49% |
| **Totaal Eems** | | **1750** | **1723** | -27 | -1,52% |
| **Harl** | Oil tanker | 0 | 0 | 0 | 0,00% |
| | Chem.+Gas tanker | 1 | 1 | 0 | -1,37% |
| | Bulk carrier | 0 | 0 | 0 | -1,46% |
| | Container ship | 17 | 17 | 0 | 0,00% |
| | General Dry Cargo | 40 | 38 | -2 | -4,19% |
| | RoRo Cargo / Vehicle | 158 | 147 | -11 | -6,89% |
| | Reefer | 16 | 15 | 0 | -1,11% |
| | Passenger | 55 | 45 | -9 | -17,37% |
| | Miscellaneous | 88 | 86 | -3 | -2,92% |
| | Tug/Supply | 24 | 24 | 0 | 0,46% |
| **Totaal Harlingen** | | **398** | **373** | -25 | -6,21% |

# BIJLAGE 3 EMISSION FACTORS

Written by Jan Hulskotte of TNO

# A1 SAILING AND MANOEUVRING

## A1.1 Main Engines

During sailing and manoeuvring, the main engine(s) are used to propel/manoeuvre the ship. Their emission factors per ship, in g per kWh, were determined by TNO according to the EMS protocols [1, 2]. An English language report [5] is available, which covers the emission calculations in accordance with the EMS protocols. In the emission factor calculation, the nominal engine power and speed are used. For this study these parameters were taken from the using ship characteristics provided by IHS Maritime World Register of Ships to The Port of Rotterdam. In the case that only one single main engine is present, it is assumed that a vessel requires 85% of its maximum continuous rating power (MCR) to attain the design speed (its service speed). When multiple main engines are present some more assumptions have to be made in order to calculate the required power of the main engines. This is described in the next paragraph 0.

The following formula is used to calculate the emission factor per nautical mile.

Formula 1:

$$EF' = EF * CEF * \frac{P * fMCR}{V}$$

where:

| | |
|---|---|
| EF' | Actual emission factor expressed as kg per nautical mile |
| EF | Basic engine emission factor expressed as kg per KWh (Table A-3/Table A-10) |
| CEF | Correction factors of basic engine emission factors (Table A-12/Table A-14)) |
| P | Engine power [KiloWatts] |
| fMCR | Actual fraction of the MCR |
| V | Actual vessel speed [knots] |

The correction factors of basic engine emission factors (CEF) reflect the phenomena that cause the emission factors to change when engines are active in sub-optimal power ranges.

Besides this change in emission factors, ships do not always sail at their designed speed. As such, the actual power use has to be corrected for the actual speed. The power requirements are approximately proportional to the ship's speed to the power of three. For very low speeds this approximation would underestimate the required power, since manoeuvring in restricted waters increases the required power. Furthermore, engines are not capable of running below a certain load (minimal fuel consumption of 10% compared to full load). To account for this, the cubed relationship between speed and power is adjusted slightly to:

Formula 2:

$fMCR = CRScor * (1\text{-Sea margin}) = ([(V_{actual}/V_{design})^n + c] / (1+c)) * (1\text{-Sea margin})$

Following values are used in calculations that are reported:
Sea margin = 15%
n = 3.2 (value was 3.0 in previous reports)
c = 0.1 (value was 0.2 in previous reports)

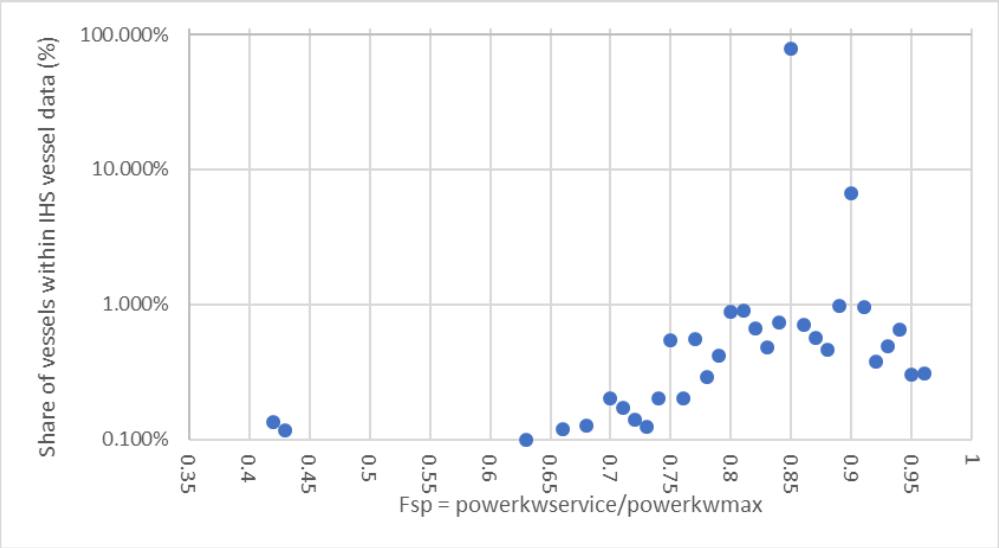



*Figure A- 1 Statistics of the Sea-margin*

Figure A-1 shows that of the majority of this vessels (about 80%) the power of reaching the service speed is exact 85% of the maximum rated power (Sea Margin = 15%) and for about 7% of the vessels the power of reaching the service speed is exact 90% of the maximum rated power (Sea margin = 10%). These data justify the application of 15% Sea margin within Formula 2.
Using data of sea trials MARIN (D.R. Schouten & T.W.F. Hasselaar [4]) has advised a value of 3.2 for n in Formula 2. Concerning the choice of a proper value of c no clear data were found in the literature. However it is obvious that the value of zero (used in many studies) will deliver far too low emission data in the low speed range. I a service letter concerning “low load operation” MAN diesel (Jensen and Jacobsen, 2009) show fuel usage of just below 20% of maximum usage around 55% of the service speed. The result of the parameters chosen in formula 2 confirm this number for the fuel usage around 55% of the service speed.
Note that the Correction Reduced Speed factor $CRS_{cor}$ has to be capped at a maximum of 1.176, since this is the value for which 100% engine power is reached. In Figure A-2 the relationship is shown between the speed relative to the service speed and the power relative to the rated power of the ships single propulsion engine as implied in formula 2.

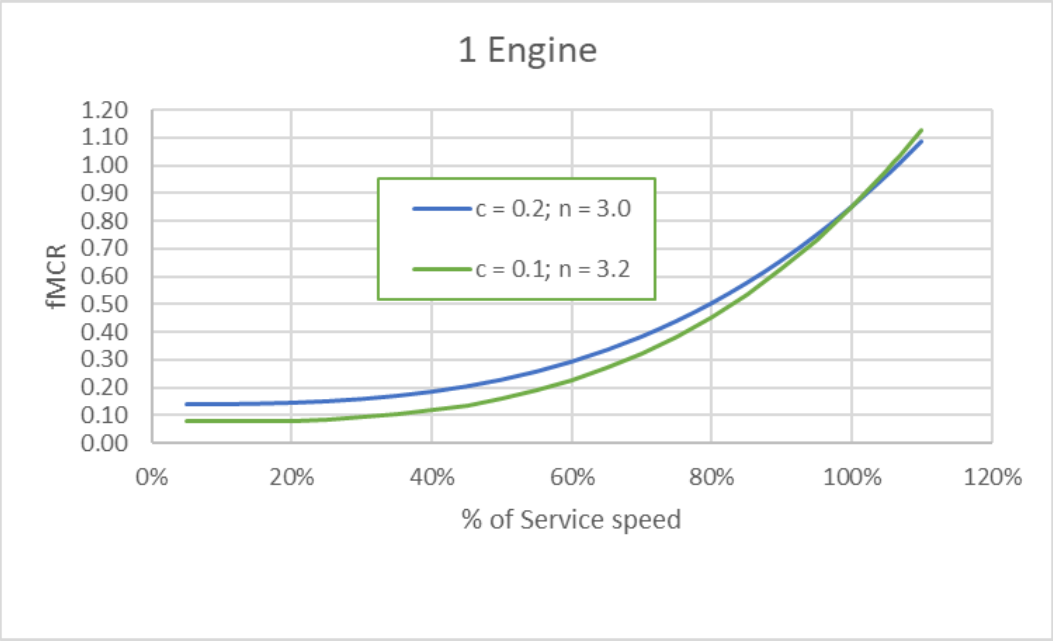



*Figure A- 2 The relationship between service speed and fMCR at ships with one single propulsion engine used in emission calculations*

### A1.2 Multiple propulsion engines

When a ship has multiple main propulsion engines, probably not all of these engines will be used in all situations. For instance, many specialised ships have specialised installations that are only used when these ships are performing their specialised tasks (dredgers, supply ships, icebreakers, tugs etc.). Other ships may have redundant engine capacity for safety and other reasons (passenger ships, roro-ships). It is rather difficult to account for the usage of multiple engines within emission calculations, since many differences will exist between individual ship designs. All kinds of possible situations which are not known from the AIS-data may have different influence on emissions from different ships types. Nevertheless, ignoring the existence of multiple engines is not realistic. The presence of multiple engines on some ship types (i.e. passenger and roro-ships) could lead to serious underestimation of total emissions because only the power of the largest engine was taken into account until the emission calculation for 2010.

Before going into an analysis of the usage of main engines when multiple engines are present, it is interesting to analyse which number of engines occurs so often that it has a significant influence on total emissions. In table A-1 it is shown that at ships with multiple engines, only ships with 2 and 4 engines contribute significantly to the total installed power of the whole seagoing fleet. The same conclusion will probably hold with respect to the contribution to total emissions. Therefore, it can be justified to concentrate the analysis on ships with 2 and 4 propulsion engines.

*Table A- 1 World seagoing fleet with number of installed main engines and their total installed power and average installed power per ship*

| Main Engine count | Ships count | Total power installed MW | Average power installed per ship MW | % of total power installed |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 76,135 | 445,834 | 5.9 | 735% |
| 2 | 40,709 | 139,118 | 3.4 | 22.9% |
| 3 | 1,866 | 10,100 | 5.4 | 1.7% |
| 4 | 1,256 | 8,211 | 6.5 | 1.4% |
| 5 | 56 | 265 | 4.7 | 0.04% |
| 6 | 84 | 3,099 | 36.9 | 0.5% |
| 8 | 3 | 149 | 49.8 | 0.02% |
| | 120,109 | 606,777 | 5.1 | 100.0% |

As a data source for daily fuel usage the ship characteristic database-item FUEL_CONSUMPTION of the LLI database was analysed. Daily fuel consumption is given for only about 10.000 ships. By far, most of these 10.000 ships are ships with a single main engine. In order to perform a check on the emission calculation, a check on the fuel consumption serves as a very good proxy. When fuel consumption is modelled properly, emission calculation probably will give results with comparable accuracy.

To estimate the daily fuel consumption of a ship (ton/day) we applied a very simple formula:

FC = Active_Engines * MCRss * Power * SFOC * 24/1000.

FC : Daily fuel oil consumption (ton/day)
Active_Engines : number of active engines involved in normal propulsion (-)
MCRss : fraction of power to reach service speed (0.85 for single engine ships, for more engines see table **A-2**)
Power : power of a single engine (MW)
SFOC : specific fuel oil consumption (kg/MWh)
24/1000 : 24 hours/day;1000 kg/ton

Note that the calculation of fuel consumptions is completely parallel to the calculation of emissions. Instead of EF, approximate values of the SFOC are used. Because (in the LLI database) the service speed is assumed, the values of CEF in the calculation can be ignored because the values will be very close to 1.

The SFOC (specific fuel oil consumption) applied is 0.175 (kg/kWh) for engines above 3 MW and 0.200 (kg/kWh) for engines equal to and below 3 MW. As a reference for these values, see for instance the tables A-3 to A-6.

As a reference for ships with multiple engines, the fuel consumption of ships with 1 main engine is shown. So far, a power setting of 85% MCR is assumed in modelling ship's emissions. It can be seen in Figure A2 that this assumption gives rather accurate results for the majority of ships (but not all ships) with one main engine. The 7918 ships of which data on fuel consumption was available had an average *calculated* fuel consumption of 24.8 ton/day by the main engine while the average *specified* fuel consumption was 26.1 ton/day. This implies that calculated fuel consumption (on average) on the service speed seems to be 5% lower than the specified fuel consumption. Given the number of possible uncertainties this does not seem to be a major difference.

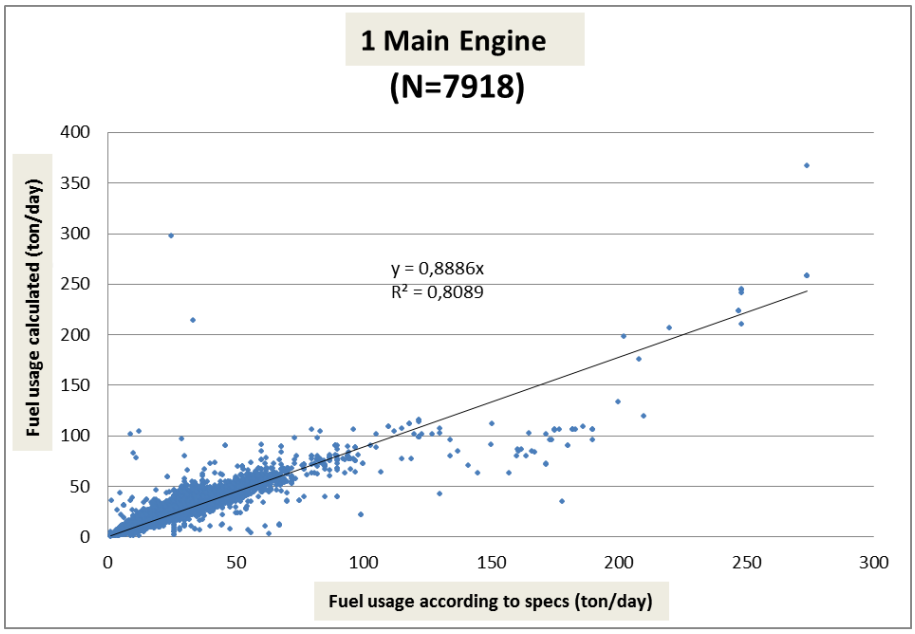



*Figure A- 3 Calculated daily fuel usage of one engine ships compared with specifications*

For ships with two main engines two active engines were assumed and 75% MCR (instead of the standard of 85% [13]) to reach the service speed. It can be seen in Figure A-3 that these assumptions give rather accurate results for the majority of ships with two main engines. The 546 ships of which data on fuel consumption are available show an average calculated fuel consumption of 35.7 ton/day while the average specified fuel consumption is 35.6 ton/day.

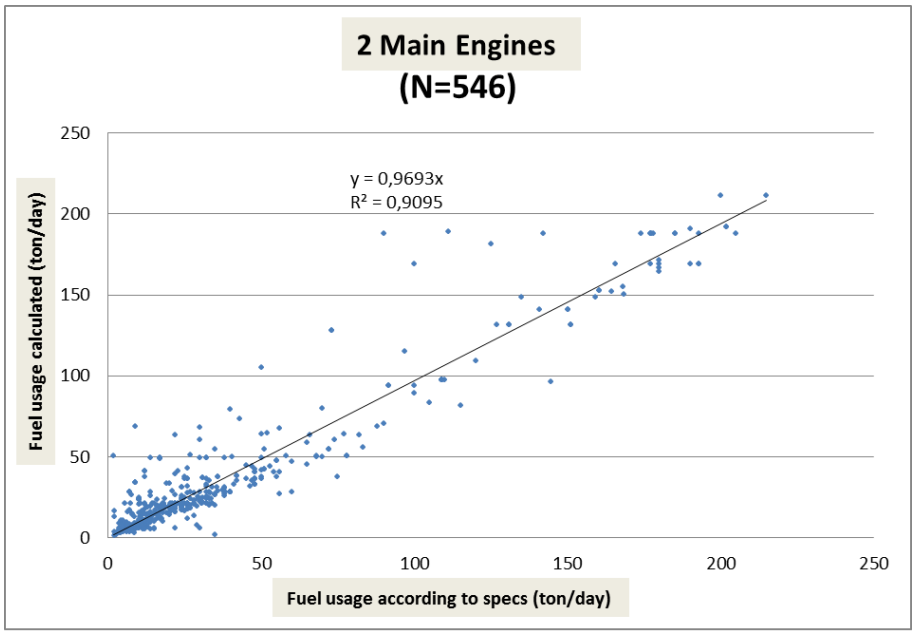



*Figure A- 4 Calculated daily fuel usage of two engine ships compared with specifications*

For ships with four main engines four active engines were assumed and also 75% MCR (instead of the standard of 85%) to reach the service speed. As can be seen in Figure A-4 much less data is available for four engine ships which causes more scatter in the data. The 29 ships of which data are available show an average *calculated* fuel consumption of 39.2 ton/day while the average *specified* fuel consumption is 32.8 ton/day.
It has to be mentioned that some data filtering was applied to four engine ships. Excluded in the analysis are special cases such as high speed ferries, supply and service vessels, tugs and fishing ships and one ship mainly propelled by LNG.

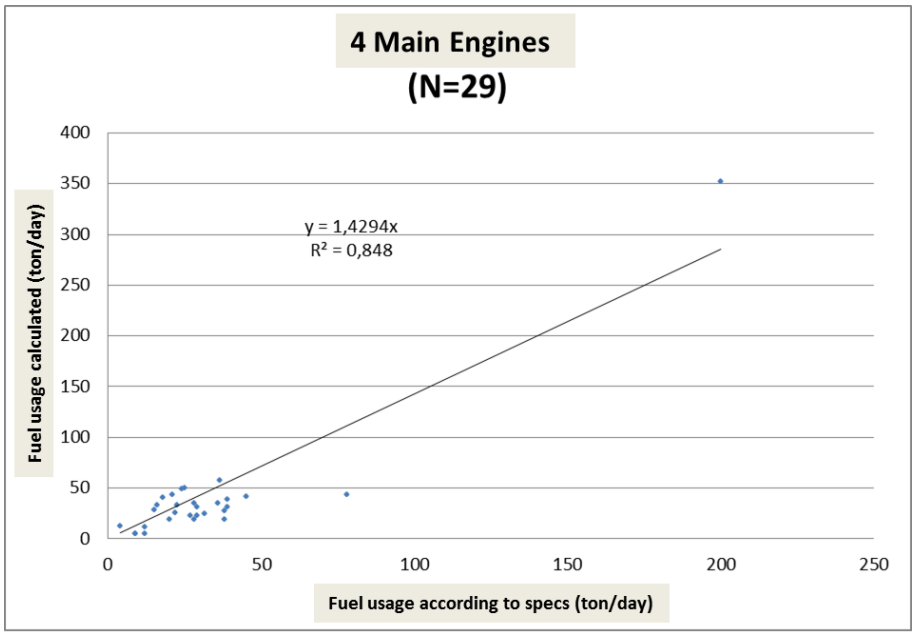



*Figure A- 5 Calculated daily fuel usage of four engine ships compared with specifications*

It can be argued that energy consumption of four engine ships seems to be overestimated by the assumptions that are applied, but with such a small dataset it is hard to determine whether the assumptions on ships with four main engines are correct or not. Even if there is an overestimation, this

will probably not lead to big differences in total emissions, since the contribution of four engine ships in total installed power is below 4% (Table A- 1).

For ships with other numbers of main engines the available data did not allow any check of possible assumptions on the fuel consumption.

Apart from the check of fuel consumption of two and four engine ships as presented above, for ships with three or five to twelve engines additional assumptions had to made in order to enable calculation of emissions of these ships. These assumptions are shown in Table A-2 and are rather uncertain. However, the total installed power is only 2% and therefore, the influence on total emissions will be minimal.

*Table A- 2 Maximum number of engines assumed to be operational for propulsion with multiple engines present and the fraction of MCR assumed ($MCR_{ss}$) to attain the service speed*

| Ship type | Engines Present → / Engines Operational ↓ | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Oil tanker | 2 | 0.75 | 0.85 | | | | | | | | |
| | 4 | | | 0.75 | | | | | | | |
| Chemical/LNG/LPG tanker | 2 | 0.75 | 0.85 | | | | | | | | |
| | 4 | | | 0.75 | | 0.75 | | | | | |
| | 6 | | | | | | | | 0.75 | | |
| Bulk carrier | 2 | 0.75 | 0.85 | | | | | | | | |
| | 4 | | | 0.75 | 0.75 | 0.75 | | | | | |
| Container ship | 2 | 0.75 | 0.85 | | | | | | | | |
| | 4 | | | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | | | |
| | 6 | | | | | | | | 0.75 | 0.75 | |
| General Dry Cargo | 2 | 0.75 | 0.85 | | | | | | | | |
| | 4 | | | 0.75 | 0.75 | 0.75 | | 0.75 | | | |
| RoRo Cargo / Vehicle | 2 | 0.75 | 0.85 | | | | | | | | |
| | 4 | | | 0.75 | 0.75 | 0.75 | | 0.75 | | | |
| Reefer | 2 | 0.75 | 0.85 | | | | | | | | |
| | 4 | | | 0.75 | 0.75 | | | | | | |
| Passenger | 2 | 0.75 | 0.85 | 0.75 | | 0.75 | | | 0.75 | | |
| Miscellaneous | 2 | 0.75 | | | | | | | | | |
| | 4 | | | 0.75 | | | | | | | |
| Tug/Supply | 2 | 0.65 | 0.85 | 0.8 | 0.75 | 0.85 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | | 0.75 |
| Fishing | 2 | 0.75 | 0.85 | | | | | | | | |
| Non Merchant | 2 | 0.5 | 0.85 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | | | 0.75 |

The calculation of emissions with multiple engines becomes more complicated because the number of active engines has to be calculated separately. For this reason the calculation of EF' is slightly different from formula 1.

Formula 3:

$$EF' = EF * CEF * \frac{NoEA * P * fMCR}{V}$$

EF' Actual emission factor expressed as kg per nautical mile
EF Basic engine emission factor expressed as kg per KWh (Table A-3/Table A-10)
CEF Correction factors of basic engine emission factors (Table A12/Table A-14)
NoEA Number of active engines (engines that actually are working on a certain moment)
P Engine power of one single engine [Watts]
*f*MCR Actual fraction the MCR of active engines
V Actual vessel speed [knots]

Formula 4:

NoEA =
minimum (Engines Operational, round ($CRS_{cor}$ * Engines Operational * $MCR_{ss}$)+1)

(Note that the Number of active engines depends on the level of CRScor, which depends on the ships speed, and that the maximum number of active engines is equal to Engines Operational).

Formula 5:

*f*MCR= [Engines Operational]/NoEA * CRScor * MCRss

The *f*MCR for individual ship engines is linear inversely related to the Number of active engines (more engines active give lighter work for individual engines). In essence Formula 3 is the same as Formula 1 except the accounting of Engines Active in the available total Engine power and the application of modified *f*MCR in the selection of the CEF-values (Formula 5).

### A1.3 Auxiliary Engines and Equipment

Aside from the main engines, most vessels have auxiliary engines and equipment that provide (electrical) power to the ship's systems. There is very little information available on the use of auxiliary engines. Perhaps the best estimate to date has been made in the *Updated 2000 Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships* report (Buhaug et al., 2008, [3]), to which many ship experts contributed. The percentage of the auxiliary power compared to the main engine power as presented in Table 14 of the Buhaug et al report [3] was used in this study. The percentage taken from Buhaug was multiplied with the main power of each individual ship of which no details of auxiliary power are included in the LLI-database. For those ships of which the auxiliary power was included in the LLI-database, the loadfactor of auxiliary engines given by Buhaug specified per ship type was applied on the biggest auxiliary engine of the individual ship as inferred from the LLI-database.

### A1.4 Engine Emission Factors

Table A-3 to Table A-10 show the engine emission factors [1], [2] per engine type and fuel type expressed in grams per unit of mechanical energy delivered by ships engines (g/kWh).
Linear relations exist between SFOC and SO2 and CO2 depending on fuel quality. SFOC values as such are not used in emission calculations.

*Effect of sulphur in calculation of PM-emission factors*
PM-reduction is associated with sulphur reduction because a certain fraction of oxidised sulphur is emitted as sulphuric acid which easily condenses to sulphuric acid particles (PM) in exhaust gases. Based on the sulphur reductions, additional PM reductions were estimated applying a linear relationship between sulphur and PM as demonstrated in [12].

Partial implementation of the SECA according to the MARPOL Annex VI in 2016 has been assumed. Combined surveillance results of EU competent authorities are shared on a website of EMSA. The results are presented in Table A-3.

*Table A- 3 Percentage of fuel samples from ships oils services systems with a sulphur content beyond legal limits*

| Region | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---|---|---|---|---|---|
| North sea regions | 5.34 | 6.1 | 7.23 | 5.72 | 3.25 |
| Baltic sea | 2 | 3.8 | 3.46 | 3.1 | 2.13 |
| Calculated average S% North sea regions | 0.15 | 0.15 | 0.17 | 0.15 | 0.13 |

Source: https://portal.emsa.europa.eu/web/thetis-eu/compliance

The calculated average S% in North sea regions is calculated by assuming 0.1 %S for compliant fuel samples and 1% S for non-compliant fuel samples. This results in an estimated sulphur percentage of 0.15% for all areas. It can be concluded that compliance of sulphur legislation is very high since 2015. Surveillance by competent authorities seems to be important as numbers of non-compliance show considerable fluctuation over the years and structural differences between areas.

A sulphur% of 0.15% of HFO and MDO was assumed in all areas in 2018 (see table A-3). According to [12] the contribution of PM from sulphur was calculated as 8% of SO2 (calculated from S%): 0.08 * 0.15 * 20 = 0.24 g/kg fuel. For instance having a SFOC value of 210 g/kWh results in PM from sulphur alone in 210/1000 * 0.24 = 0.067 g/kWh. The PM emission factors in the tables below (table A3 – A10) are the result of the addition part of PM from sulphur and the part produced by the engines.

*Table A- 4 Emission factors and specific fuel oil consumption (SFOC) applied on slow speed engines (SP) operated on heavy fuel oil (HFO), (g/kWh)*

| Year of build | $NO_x$ | PM-HFO NCP[1] | PM-HFO Other[2] | $SO_2$ NCP | $SO_2$ Other | VOC | CO | $CO_2$ | SFOC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1900 – 1973 | 16 | 0,45 | 0,45 | 0.63 | 0.63 | 0.6 | 0.75 | 666 | 210 |
| 1974 – 1979 | 18 | 0,45 | 0,45 | 0.60 | 0.60 | 0.6 | 0.75 | 635 | 200 |
| 1980 – 1984 | 19 | 0,45 | 0,45 | 0.57 | 0.57 | 0.6 | 0.75 | 603 | 190 |
| 1985 – 1989 | 20 | 0,44 | 0,44 | 0.54 | 0.54 | 0.6 | 0.63 | 571 | 180 |
| 1990 – 1994 | 18 | 0,44 | 0,44 | 0.53 | 0.53 | 0.5 | 0.5 | 555 | 175 |
| 1995 – 1999 | 15 | 0,34 | 0,34 | 0.51 | 0.51 | 0.4 | 0.5 | 539 | 170 |
| 2000 – 2010 | ~rpm[3] | 0,34 | 0,34 | 0.50 | 0.50 | 0.3 | 0.5 | 533 | 168 |
| 2011 – 2018 | | 0,24 | 0,24 | 0.50 | 0.50 | 0.3 | 0.5 | 524 | 165 |

*Table A- 5 Emission factors and specific fuel oil consumption (SFOC) applied on slow speed engines (SP) operated on marine diesel oil (MDO), (g/kWh)*

| Year of build | $NO_x$ | PM-MDO NCP | PM-MDO Other | $SO_2$ NCP | $SO_2$ Other | VOC | CO | $CO_2$ | SFOC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1900 - 1973 | 16 | 0,35 | 0,35 | 0.63 | 0.63 | 0.6 | 0.75 | 666 | 210 |
| 1974 - 1979 | 18 | 0,35 | 0,35 | 0.60 | 0.60 | 0.6 | 0.75 | 635 | 200 |
| 1980 - 1984 | 19 | 0,35 | 0,35 | 0.57 | 0.57 | 0.6 | 0.75 | 603 | 190 |
| 1985 – 1989 | 20 | 0,34 | 0,34 | 0.54 | 0.54 | 0.6 | 0.63 | 571 | 180 |
| 1990 – 1994 | 18 | 0,34 | 0,34 | 0.53 | 0.53 | 0.5 | 0.5 | 555 | 175 |
| 1995 – 1999 | 15 | 0,24 | 0,24 | 0.51 | 0.51 | 0.4 | 0.5 | 539 | 170 |
| 2000 – 2010 | ~rpm[1] | 0,24 | 0,24 | 0.50 | 0.50 | 0.3 | 0.5 | 533 | 168 |
| 2011 – 2018 | | 0,24 | 0,24 | 0.50 | 0.50 | 0.3 | 0.5 | 523 | 165 |

[1] NCP: Dutch Continental Shelf
[2] Other areas: Include harbours areas
[3] Dependant on revolutions per minute (Table A-8)

*Table A- 6 Emission factors and specific fuel oil consumption (SFOC) applied on medium/high speed engines (MS) operated on Heavy fuel oil (HFO), (g/kWh)*

| Year of build | $NO_x$ | PM-HFO NCP | PM-HFO Other | $SO_2$ NCP | $SO_2$ Other | VOC | CO | $CO_2$ | SFOC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1900 – 1973 | 12 | 0,65 | 0,65 | 0.68 | 0.68 | 0.6 | 0.75 | 714 | 225 |
| 1974 – 1979 | 14 | 0,65 | 0,65 | 0.65 | 0.65 | 0.6 | 0.75 | 682 | 215 |
| 1980 – 1984 | 15 | 0,65 | 0,65 | 0.62 | 0.62 | 0.6 | 0.75 | 651 | 205 |
| 1985 – 1989 | 16 | 0,65 | 0,65 | 0.59 | 0.59 | 0.6 | 0.63 | 619 | 195 |
| 1990 – 1994 | 14 | 0,65 | 0,65 | 0.57 | 0.57 | 0.5 | 0.5 | 603 | 190 |
| 1995 – 1999 | 11 | 0,54 | 0,54 | 0.56 | 0.56 | 0.4 | 0.5 | 587 | 185 |
| 2000 – 2010 | ~rpm[1] 9[2] | 0,54 | 0,54 | 0.55 | 0.55 | 0.3 | 0.5 | 581 | 183 |
| 2011 - 2018 | ~rpm 7[2] | 0,54 | 0,54 | 0.54 | 0.54 | 0.3 | 0.5 | 571 | 180 |

[2] applied on auxiliary engines only

*Table A- 7 Emission factors and specific fuel oil consumption (SFOC) applied on medium/high speed engines (MS) operated on marine diesel oil (MDO), (g/kWh)*

| Year of build | $NO_X$ | PM-MDO NCP | PM-MDO Other | $SO_2$ NCP | $SO_2$ Other | VOC | CO | $CO_2$ | SFOC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1900 - 1973 | 12 | 0,35 | 0,35 | 0.68 | 0.68 | 0.6 | 0.75 | 714 | 225 |
| 1974 - 1979 | 14 | 0,35 | 0,35 | 0.65 | 0.65 | 0.6 | 0.75 | 682 | 215 |
| 1980 - 1984 | 15 | 0,35 | 0,35 | 0.62 | 0.62 | 0.6 | 0.75 | 650 | 205 |
| 1985 - 1989 | 16 | 0,35 | 0,35 | 0.59 | 0.59 | 0.6 | 0.63 | 619 | 195 |
| 1990 - 1994 | 14 | 0,30 | 0,30 | 0.57 | 0.57 | 0.5 | 0.5 | 603 | 190 |
| 1995 - 1999 | 11 | 0,24 | 0,24 | 0.56 | 0.56 | 0.4 | 0.5 | 587 | 185 |
| 2000 - 2010 | ~rpm[1] 9[2] | 0,24 | 0,24 | 0.55 | 0.55 | 0.3 | 0.5 | 581 | 183 |
| 2011 - 2018 | ~rpm[1] 7[2] | 0,24 | 0,24 | 0.54 | 0.54 | 0.3 | 0.5 | 571 | 180 |

[2] applied on auxiliary engines only

Emission factors of CO were reduced by a factor of 4 according to [16]. Emission factors of PM and SO2 at NCP were lowered based on observations of Chalmers University in commission of the Danish Ministry of Environment and Food concerning the enforcement of IMO SECA [17] .

*Table A- 8 Emission factors of $NO_X$ dependant on engines RPM*

| Year of build | RPM range | IMO-limits (g/kWh) | Emission factor $NO_X$ (g/kWh) |
|---|---|---|---|
| 2000 – 2010 (Tier I) | < 130 RPM | 17.0 | 0.87 x 17.0 |
| | Between 130 and 2000 RPM | 45 x $n^{-0.2}$ | 0.87 x 45 x $n^{-0.2}$ |
| | > 2000 RPM | 9.8 | 0.87 x 9.8 |
| 2011 – 2018 (Tier II) | < 130 RPM | 14.4 | 0.93 x 17.0 |
| | Between 130 and 2000 RPM | 44 x $n^{-0.23}$ | 0.93 x 44 x $n^{-0.23}$ |
| | > 2000 RPM | 7.7 | 0.93 x 7.7 |

The reduction factors for Tier I engines (0.87) and Tier II engines (0.93) are based on IAPP-certificate engine data obtained in a project for the Port of London Authority [24].

*Table A- 9 Emission factors and specific fuel oil consumption (SFOC) of gas turbines (TB) operated on marine diesel oil (MDO), (g/kWh)*

| Fuel | $NO_X$ | PM-MDO NCP | PM-MDO Other | $SO_2$ NCP | $SO_2$ Other | VOC | CO | $CO_2$ | SFOC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MDO | 5.7 | 0.09 | 0.09 | 0.93 | 0.93 | 0.1 | 0.32 | 984 | 310 |

Emission factors of steam turbines were partially adjusted according to Cooper [9].

*Table A- 10 Emission factors and specific fuel oil consumption (SFOC) of steam turbines (ST) operated on LNG, HFO or MDO*

| Fuel | $NO_X$ | PM NCP | PM Other | $SO_2$ NCP | $SO_2$ Other | CH4 | VOC | CO | $CO_2$ | SFOC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LNG | 1.94 | 0.01 | 0.01 | 0.0 | 0.0 | 0.045 | | 0.06 | 688 | 250 |
| HFO | 2.0 | 0.323 | 0.323 | 0.92 | 0.92 | | 0.1 | 0.15 | 971 | 306 |
| MDO | 2.0 | 0.320 | 0.320 | 0.87 | 0.87 | | 0.1 | 0.15 | 923 | 291 |

Emissions of more modern LNG tanker propelled mostly propelled by medium speed diesel engines fuelled by LNG were calculated by means of emission factors as shown in the table below.

*Table A- 11 Emission factors and specific fuel oil consumption (SFOC) of engines operated on LNG, (g/kWh)*

| Engine type | $NO_X$ | PM | $SO_2$ | CH4 | CO | $CO_2$ | SFOC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MS-DF | 2.0 | 0.02 | 0.003 | 6.90 | 1.9 | 450 | 162 |
| SP-GDI | 12.5 | 0.02 | 0.003 | 0.15 | 0.2 | 475 | 171 |

The methane (CH4) emission factor of MS-DF (medium speed dual fuel engines) was adapted according to [22]. Other emission factors were based on preliminary estimations by TNO.

### A1.5 Fuel allocation

Fuel allocation has been based on IHS-data primarily and secondly some assumptions have been applied. Table A-11 shows allocation of fuel to main and auxiliary engines depending on the indication of the IHS vessel data. Sulphur legislation introduced in 2015 may have resulted in the usage of less HFO than indicated in table A-11. As a consequence PM emission factors are possibly little to high. Sulphur emissions are calculated according to the best estimate prevalent sulphur content of fuels (table A-3).

*Table A- 12 Fuel allocation to main engines (Fuel ME) and auxiliary engines dependent on IHS fuel indication*

| Enginetype | Number of vessels | Average ME (kW) | IHS: FuelType1First | IHS: FuelType2Second | Fuel_ME_ | Fuel_AE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Slow-speed engines | 29619 | 13515 | Distillate Fuel | Residual Fuel | HFO | MDO |
| | 3738 | 1348 | Distillate Fuel | Not Applicable | MDO | MDO |
| | 354 | 3176 | Residual Fuel | Not Applicable | HFO | MDO |
| | 192 | 28170 | LNG | Distillate Fuel | LNG | MDO |
| | 53 | 955 | Distillate Fuel | Yes, But Type Not Known | MDO | MDO |
| | 15 | 5432 | Distillate Fuel | Unknown | MDO | MDO |
| | 9 | 14868 | LNG | Not Applicable | LNG | MDO |
| | 9 | 9498 | Methanol | Distillate Fuel | MDO | MDO |
| | 4 | 42766 | Distillate Fuel | LNG | LNG | MDO |
| | 3 | 1100 | Distillate Fuel | Distillate Fuel | MDO | MDO |
| | 3 | 2280 | Residual Fuel | Unknown | HFO | MDO |
| | 2 | 1618 | Residual Fuel | Distillate Fuel | HFO | MDO |
| | 2 | 9350 | Gas Boil Off | Distillate Fuel | LNG | MDO |
| | 1 | 2795 | Yes, But Type Not Known | Residual Fuel | HFO | MDO |
| | 1 | 970 | Residual Fuel | Yes, But Type Not Known | HFO | MDO |
| Medium-speed engines | 16917 | 2700 | Distillate Fuel | Not Applicable | MDO | MDO |
| | 8087 | 7404 | Distillate Fuel | Residual Fuel | HFO | MDO |
| | 668 | 4034 | Residual Fuel | Not Applicable | HFO | MDO |
| | 312 | 27182 | LNG | Distillate Fuel | LNG | MDO |
| | 187 | 1292 | Distillate Fuel | Yes, But Type Not Known | MDO | MDO |
| | 39 | 3378 | Distillate Fuel | Unknown | MDO | MDO |
| | 37 | 5526 | LNG | Not Applicable | LNG | MDO |
| | 35 | 2981 | Distillate Fuel | Distillate Fuel | MDO | MDO |
| | 7 | 1964 | Coal | Not Applicable | HFO | MDO |
| | 6 | 9731 | Residual Fuel | Yes, But Type Not Known | HFO | MDO |
| | 5 | 6472 | Yes, But Type Not Known | Residual Fuel | HFO | MDO |
| | 3 | 6557 | Residual Fuel | Distillate Fuel | HFO | MDO |
| | 2 | 3430 | Residual Fuel | Unknown | HFO | MDO |
| | 1 | 24000 | Methanol | Distillate Fuel | MDO | MDO |
| Gasturbines | 23 | 59326 | Distillate Fuel | Residual Fuel | HFO | MDO |
| | 9 | 25381 | Distillate Fuel | Not Applicable | MDO | MDO |
| | 2 | 18389 | Residual Fuel | Not Applicable | HFO | MDO |
| | 1 | 44000 | LNG | Distillate Fuel | LNG | MDO |
| | 1 | 13000 | Distillate Fuel | Unknown | MDO | MDO |
| Steamturbines | 289 | 25026 | Distillate Fuel | Residual Fuel | HFO | MDO |
| | 51 | 29469 | Residual Fuel | Not Applicable | HFO | MDO |
| | 27 | 27545 | Gas Boil Off | Distillate Fuel | LNG | MDO |
| | 8 | 19100 | LNG | Distillate Fuel | LNG | MDO |
| | 8 | 57299 | Nuclear | Not Applicable | none | MDO |
| | 3 | 47653 | Nuclear | Distillate Fuel | none | MDO |
| | 1 | 2589 | Yes, But Type Not Known | Not Applicable | HFO | MDO |

Because there are no specific emission factors for methanol available methanol is treated as marine diesel oil in the calculations.

In cases where no specific fuel type was indicated in the IHS-data it was assumed that HFO is applied in main engines in case main engine power is more than 3000 kW. In case main engine power is less than 3000 kW MDO was assumed when [Power] - 0.8*[RPM] was lower or equal to 1000 and HFO in case same formula results in a number more than 1000.

The change-over from fuels at LNG-tankers in the model calculations is assumed dependent on the speed of the ships expressed as CRScor. Below a value of CRScor of 0.2 LNG-tankers switch from

gaseous LNG to liquid fuel used by main engines according to the scheme presented in the table below. The fuels assumed to be used by auxiliary engines are also presented in the same table A-12.

*Table A- 13 Fuel switch scheme of LNG-tankers in dependence of operational speed*

| Engine Type | Main engines | | Auxiliary engines | |
|---|---|---|---|---|
| | 0.2 <= CRScor < 1.2 | 0 <= CRScor < 0.2 | 0.2 <= CRScor < 1.2 | 0 <= CRScor < 0.2 |
| MS | LNG | MDO | MDO | MDO |
| MS | LNG | HFO | HFO | MDO |
| SP | LNG | MDO | MDO | MDO |
| SP | LNG | HFO | HFO | MDO |
| ST | LNG | MDO | MDO | MDO |
| ST | LNG | HFO | HFO | MDO |

### A1.6 Correction factors of engine Emission Factors

At speeds around the design speed, the emissions are directly proportional to the engine's energy consumption. However, in light load conditions, the engine runs less efficiently. This phenomenon leads to a relative increase in emissions compared to the normal operating conditions. Depending on the engine load, correction factors specified per substance can be adopted according to the EMS protocols. The correction factors were extended by distinction of different engine types in order to get more accurate calculations. Three engine groups were discerned: reciprocating engines, steam turbines and gas turbines.
The correction factors used are shown in Table A-12 to Table A-14 The list was extended by some values provided in the documentation of the EXTREMIS model [4].

*Table A- 14 Correction factors for reciprocating diesel engines*

| Power % of MCR | $CO_2$, $SO_2$ | $CO_2$, $SO_2$ | $NO_X$ | | PM-HFO/ PM-MDO | VOC, CH4 | CO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | SP | MS | Tier 0 or I | Tier II | | | |
| 10 | 1.2 | 1.21 | 1.34 | 1,74 | 1.63 | 4.46 | 5.22 |
| 15 | 1.15 | 1.18 | 1.17 | 1,52 | 1.32 | 2.74 | 3.51 |
| 20 | 1.1 | 1.15 | 1.1 | 1,36 | 1.19 | 2.02 | 2.66 |
| 25 | 1.07 | 1.13 | 1.06 | 1,3 | 1.12 | 1.65 | 2.14 |
| 30 | 1.06 | 1.11 | 1.04 | 1,32 | 1.08 | 1.42 | 1.8 |
| 35 | 1.05 | 1.09 | 1.03 | 1,34 | 1.05 | 1.27 | 1.56 |
| 40 | 1.045 | 1.07 | 1.02 | 1,34 | 1.03 | 1.16 | 1.38 |
| 45 | 1.035 | 1.05 | 1.01 | 1,32 | 1.01 | 1.09 | 1.23 |
| 50 | 1.03 | 1.04 | 1.00 | 1,3 | 1.01 | 1.03 | 1.12 |
| 55 | 1.025 | 1.03 | 1.00 | 1,27 | 1.00 | 1.00 | 1.06 |
| 60 | 1.015 | 1.02 | 0.99 | 1,23 | 1.00 | 0.98 | 1.00 |
| 65 | 1.01 | 1.01 | 0.99 | 1,13 | 0.99 | 0.95 | 0.94 |
| 70 | 1.00 | 1.01 | 0.98 | 1,01 | 0.99 | 0.92 | 0.88 |
| 75 | 1.00 | 1.00 | 0.98 | 0,95 | 0.98 | 0.89 | 0.82 |
| 80 | 1.01 | 1.00 | 0.97 | 0,95 | 0.98 | 0.87 | 0.76 |
| 85 | 1.02 | 1.00 | 0.97 | 0,95 | 0.97 | 0.84 | 0.7 |
| 90 | 1.03 | 1.01 | 0.97 | 0,95 | 0.97 | 0.85 | 0.7 |
| 95 | 1.04 | 1.02 | 0.97 | 0,95 | 0.97 | 0.86 | 0.7 |
| 100 | 1.05 | 1.02 | 0.97 | 0,95 | 0.97 | 0.87 | 0.7 |

The correction factors for $CO_2$ en $SO_2$ are assumed to be equal. These newly added factors for $CO_2$ and $SO_2$ were derived from two recent publications [10] and [11] by taking interpolated values. A distinction was made for Slow-speed engines (referred as SP) and Medium and high-speed engines (referred as MS). Although correction factors for other substances may differ by engine type also, a numerical distinction was not possible so far.

A differentiation in NOx correction factors between Tier 0 or I versus Tier II engines was considered to be necessary because of a publication [23]. The Tier II correction factors were estimated by TNO. As a consequence NOx emissions of vessels with Tier II engines are in the same range of higher than Tier I engine vessels. This is caused by the circumstance that vessels use most energy in lower power ranges between 30 and 50 percent of MCR and even lower power ranges in some harbour areas. The correction factors can be replaced when sufficient measurement data become available.

Since steam turbines are predominantly used by LNG-carriers two types of fuels were assumed to be consumed: LNG and HFO. It was assumed that at lower engine loads (up to CRScor = 0.2) steam turbines are operated by HFO. On higher loads (from CRScor = 0.2) usage of LNG (boil-off gas) is assumed. The source of the correction factors of steam turbines was taken from the EXTREMIS model [4].

*Table A- 15 Correction factors for steam turbines*

| Power % of MCR | $CO_2$ | $SO_2$ | $NO_X$ | PM-HFO | VOC, CH4 | CO |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 1.4 | 3.04 | 0.3 | 3 | 5.44 | 11.65 |
| 15 | 1.4 | 3.04 | 0.34 | 2.8 | 5.11 | 10.83 |
| 20 | 1.4 | 3.04 | 0.37 | 2.8 | 4.72 | 9.96 |
| 25 | 1.4 | 3.04 | 0.41 | 2.8 | 4.39 | 9.09 |
| 30 | 1.2 | 2.02 | 0.44 | 1.5 | 4.00 | 8.26 |
| 35 | 1.00 | 1.00 | 0.47 | 1.00 | 3.61 | 7.39 |
| 40 | 1.00 | 1.00 | 0.51 | 1.00 | 3.28 | 6.57 |
| 45 | 1.00 | 1.00 | 0.54 | 1.00 | 2.89 | 5.7 |
| 50 | 1.00 | 1.00 | 0.57 | 1.00 | 2.56 | 4.83 |
| 55 | 1.00 | 1.00 | 0.61 | 1.00 | 2.17 | 4 |
| 60 | 1.00 | 1.00 | 0.64 | 1.00 | 1.83 | 3.13 |
| 65 | 1.00 | 1.00 | 0.68 | 1.00 | 1.44 | 2.26 |
| 70 | 1.00 | 1.00 | 0.76 | 1.00 | 1.33 | 1.96 |
| 75 | 1.00 | 1.00 | 0.84 | 1.00 | 1.22 | 1.65 |
| 80 | 1.00 | 1.00 | 0.92 | 1.00 | 1.11 | 1.30 |
| 85 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 90 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 95 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 100 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Correction factors for gas turbines were estimated with data from the ICAO Aircraft Engine Emissions Databank [7]. The emission behaviour of the GE CF6-6D (marine derivative: GE LM2500) and the Allison 501 (AN 501) was taken as representative for the two most occurring gas turbines in marine applications. CEF values in low power ranges have been changed since the 2011 calculation because an adapted interpolation scheme has been applied.

*Table A- 16 Correction factors for gas turbines*

| Power % of MCR | $CO_2$, $SO_2$ | $NO_X$ | PM-MDO | VOC | CO |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 1.26 | 0.23 | 0.98 | 48.71 | 64.4 |
| 15 | 1.17 | 0.3 | 0.95 | 37.73 | 51.15 |
| 20 | 1.04 | 0.41 | 0.9 | 22.35 | 32.6 |
| 25 | 0.96 | 0.48 | 0.88 | 13.02 | 21.34 |
| 30 | 0.87 | 0.55 | 0.85 | 2.58 | 8.75 |
| 35 | 0.88 | 0.58 | 0.84 | 2.46 | 7.98 |
| 40 | 0.89 | 0.61 | 0.84 | 2.33 | 7.2 |
| 45 | 0.91 | 0.64 | 0.83 | 2.21 | 6.42 |
| 50 | 0.92 | 0.67 | 0.82 | 2.08 | 5.65 |
| 55 | 0.93 | 0.7 | 0.81 | 1.96 | 4.88 |
| 60 | 0.94 | 0.74 | 0.8 | 1.83 | 4.1 |
| 65 | 0.95 | 0.77 | 0.8 | 1.71 | 3.32 |
| 70 | 0.96 | 0.8 | 0.79 | 1.58 | 2.55 |
| 75 | 0.97 | 0.83 | 0.78 | 1.46 | 1.77 |
| 80 | 0.98 | 0.86 | 0.78 | 1.33 | 1 |
| 85 | 0.99 | 0.93 | 0.89 | 1.17 | 1 |
| 90 | 0.99 | 0.95 | 0.92 | 1.1 | 1 |
| 95 | 1 | 0.98 | 0.96 | 1.05 | 1 |
| 100 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

## A2 EMISSIONS OF SHIPS AT BERTH

When a ship is berthed, in most cases the main engines are stopped. The auxiliary engines and equipment will be kept in service to provide (electrical) power to the ship's systems, on board cargo handling systems and accommodations.

The procedure for the calculation of emissions from ships at berth is derived from the EMS protocol with some minor modifications. The methodology was published in Atmospheric Environment [8]. In the EMS modelling system, a fixed value is assumed for the length of time at berth, for each ship type. In this study, the length of time at berth was derived for each individual event for each ship on the basis of AIS data. Ships with speeds below 1 knot were considered as ships at berth. Since the year of build of each ship was known, emission factors per amount of fuel dependant on the classification of year of build were applied. The amount of fuel used was calculated from the length of time at berth, ship type and volume in gross tonnage. The amount of fuel used at berth is more accurately determined in two reports on behalf of the CNSS project [14] , [15].

*Table A- 17 Fuel rate of ships at berth, (kg/1000 GT.hour)*

| Ship type | Fuel rate |
|---|---|
| Bulk carrier | 2.4 |
| Container ship | 6 |
| General Cargo | 6.1 |
| Passenger <=30000 GT | 8.9 |
| Passenger > 30000 GT | 32.4 |
| RoRo Cargo | 6.1 |
| Oil Tanker | 19.3 |
| Other Tanker | 14.5 |
| Reefer | 19.6 |
| Other | 9.2 |
| Tug/Supply | 15.6 |

Since January 1st 2010 the sulphur content of marine fuels used for ships at berth is regulated to a maximum of 0.1 percent. This implies that only marine gas oil with a sulphur content below 0.1 percent is allowed in harbours. The specification of fuel types at berth is adapted according to this new regulation (Table A- 16).

*Table A- 18 Specification of fuel types of ships at berth per ship type (%)*

| Ship type | HFO | MDO | MGO/ULMF |
|---|---|---|---|
| Bulk carrier | 0 | 0 | 100 |
| Container ship | 0 | 0 | 100 |
| General Cargo | 0 | 0 | 100 |
| Passenger | 0 | 0 | 100 |
| RoRo Cargo | 0 | 0 | 100 |
| Oil Tanker | 0 | 0 | 100 |
| Other Tanker | 0 | 0 | 100 |
| Fishing | 0 | 0 | 100 |
| Reefer | 0 | 0 | 100 |
| Other | 0 | 0 | 100 |
| Tug/Supply | 0 | 0 | 100 |

Table A-17 gives figures about allocation of fuel amount over engine types and apparatus during berth.

*Table A- 19 Allocation of fuels usage in engine types and apparatus per ship type (%)*

| Ship type | Power (MS) | Boiler |
|---|---|---|
| Bulk carrier | 90 | 10 |
| Container ship | 70 | 30 |
| General Cargo | 90 | 10 |
| Passenger | 70 | 30 |
| RoRo Cargo | 70 | 30 |
| Oil Tanker | 20 | 80 |
| Other Tanker | 50 | 50 |
| Reefer | 90 | 10 |
| Other | 100 | 0 |
| Tug/Supply | 100 | 0 |

In following Table A-18 to Table A- 21, the emission factors used for emissions at berth are presented.

*Table A- 20 Emission factors of medium/high speed engines (MS) at berth, (g/kg fuel)*

| Year of build | $NO_X$ | PM-MDO | VOC | CO |
|---|---|---|---|---|
| Fuel | all | MGO/ULMF | all | all |
| 1900 – 1973 | 53 | 1.4 | 2.7 | 3,25 |
| 1974 – 1979 | 65 | 1.5 | 2.8 | 3,5 |
| 1980 – 1984 | 73 | 1.6 | 2.9 | 3,75 |
| 1985 – 1989 | 82 | 1.8 | 3.1 | 3,25 |
| 1990 – 1994 | 74 | 1.3 | 2.6 | 2,75 |
| 1995 – 1999 | 59 | 0.8 | 2.2 | 2,75 |
| 2000 – 2010 | 50 | 0.8 | 1.6 | 2,75 |
| 2011 – 2016 | 43 | 0.8 | 1.6 | 2,75 |

At berth usage of medium speed engines was assumed.

*Table A- 21 Emission factors of boilers of boilers at berth, (g/kg fuel)*

| Fuel | $NO_X$ | PM-MDO | VOC | CO |
|---|---|---|---|---|
| MGO/ULMF | 3.5 | 0.7 | 0.8 | 1.6 |

*Table A- 22 Emission factors of all engines and apparatus, (g/kg fuel)*

| Fuel | $SO_2$ | $CO_2$ |
|---|---|---|
| MGO/ULMF | 3 | 3173 |

In tanker ships a reduction factor for boilers (50% for PM and 90% for $SO_2$) is applied to the emission factors, because gas scrubbers are often applied in order to protect ship internal spaces for corrosion by inert gases produced by boilers.

## A3 FISHERIES

Fisheries source category covers emissions from fishing activities in the Netherlands, including inland fishing, coastal fishing and deep-sea fishing. Diesel engines are used to propel fishing vessels such as deep-sea trawlers and cutters, and to generate electrical power on-board fishing vessels. These diesel engines can be fuelled with either diesel oil (distillate) or residual fuel oil. The combustion process that takes place in these diesel engines causes emissions of greenhouse gases and air pollutants.

### A3.1 Activity data

Two methodologies based on AIS-data are applied from 2016 onwards. For deep-sea trawlers the same AIS-based methodology as used for maritime navigation is applied (see A1 and 0) because essentially no fishing activities are performed on Dutch national territory, including the Dutch Continental Shelf. This means that these vessels essentially are only sailing towards and from remote fishing grounds. For the other fishing vessel categories (rather small vessels mostly cutters) another AIS-based methodology is described in detail by Hulskotte and ter Brake, 2017 [18]. This is essentially an energy based method whereby energy-rates of fishing vessels are split up by activity (sailing and fishing) with a distinction in available power of propulsion engine(s). For each fishery segment (combination of gear or catch method combined with power category) a fuel rate (kilogram/hour) for sailing or fishing was assessed by Turenhout et al., 2016 [19]. The distinction for each fishery segment between sailing and fishing is based on the actual speed of the fishing vessels as taken from AIS-data.

### A3.2 Emission factors

The emission factors of small vessels (other than deep-sea trawlers) are assumed to be equal to emission factors of inland navigation because the engine types that are applied in these vessels are essentially the same.

*Table A- 23Emission factors and specific fuel consumption applied on fishing vessels, (g/kWh)*

| Engine year of build From – To | VOC | NOx | CO | PM | SO2 | SFOC |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1959-1973 | 1.2 | 10.8 | 1.1 | 0.6 | 0.47 | 235 |
| 1975-1979 | 0.8 | 10.6 | 0.9 | 0.6 | 0.46 | 230 |
| 1980-1984 | 0.7 | 10.4 | 0.8 | 0.6 | 0.45 | 225 |
| 1985-1989 | 0.6 | 10.1 | 0.65 | 0.5 | 0.44 | 220 |
| 1990-1994 | 0.5 | 10.1 | 0.55 | 0.4 | 0.44 | 220 |
| 1995-2001 | 0.4 | 9.4 | 0.45 | 0.3 | 0.41 | 205 |
| 2002-2007 | 0.3 | 9.2 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 200 |
| 2008-2014 | 0.2 | 7 | 0.35 | 0.2 | 0.4 | 200 |
| 2015-2018 | 0.2 | 7 | 0.3 | 0.2 | 0.39 | 195 |

The year of build of the engines of (Dutch and former Dutch) fishing ships were initially purchased from Shipdata (http://www.shipdata.nl) in order to select the emission factors from table A-21. Part of this data concerned the engine type and model and the year of build. Data were enriched with engine changes when indicated on the website http://www.kotterfoto.nl and data of foreign fishing ships (including installing data of new engines) were added from the combined European fishing registers or the FIGIS-database managed by FAO.
As fuel marine diesel with a sulphur content of 0.1% was assumed.

**REFERENCES OF APPENDIX A**


[1] J. Hulskotte (TMO-MEP), E. Bolt (RWS-AVV), D. Broekhuizen (RWS-AVV)
EMS-protocol Emissies door verbrandingsmotoren van varende en manoeuvrerende zeeschepen op het Nederlands grondgebied
Versie 1, 22 november 2003

[2] J. Hulskotte (TMO-MEP), E. Bolt (RWS-AVV), D. Broekhuizen (RWS-AVV)
EMS-protocol Verbrandingsemissies door stilliggende zeeschepen in havens
Versie 2, 22 november 2003

[3] Buhaug, Ø., Corbett, J. J., Endresen, Ø., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D. S., Lee, D., Lindstad, H., Mjelde, A., Pålsson, C., Wanquing, W., Winebrake, J. J., Yoshida, K.
Updated Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships: Phase I Report, International Maritime Organization (IMO) London, UK, 1 September, 2008

[4] F. Chiffi, Schrooten E., De Vlieger I., EX-TREMIS - Exploring non road Transport Emissions in Europe – Final Report, IPTS - Institute for Prospective Technological Studies. DG-JRC, 2007

[5] H. Denier van der Gon, J. Hulskotte, Methodologies for estimating shipping emissions in the Netherlands; A documentation of currently used emission factors and related activity data, PBL report 500099012, ISSN: 1875-2322 (print) ISSN: 1875-2314 (on line), April 2010

[6] UK Civil Aviation Authority, ICAO Engine Emissions Databank, updated December 2010

[7] I. Grose and J. Flaherty, LNG Carrier Benchmarking, LNG15 2007, Shell Global Solutions International BV, 2007

[8] Hulskotte J.H.J, H.A.C. Denier van der Gon, Emissions From Seagoing Ships At Berth Derived From An On-Board Survey, Atmospheric Environment, Doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.10.018, 2009

[9] Cooper D., Representative emission factors for use in “Quantification of emissions from ships associated with ship movements between port in the European Community” (ENV.C.1/ETU/2001/0090), 2002

[10] Jalkanen J.-P.,Johansson L., Kukkonen J., Brink A., Kalli J., Stipa T., Extension of an assessment model of ship traffic exhaust emissions for particulate matter and carbon monoxide, Atmos.Chem.Phys.,12,2641-2659, 2012

[11] MAN Diesel&Turbo, SFOC Optimisation Methods For MAN B&W Two-stroke IMO Tier II Engines, document 5510-0099-00ppr, Augustus 2012

[12] Hulskotte J.H.J., Voorstel voor aanpassing van $PM_{2,5}$ en $PM_{10}$-fracties van emissies van de zeescheepvaart, TNO-060-UT-2011-02190, 20 december 2011

[13] J.H.J.Hulskotte, E. Bolt, D. Broekhuizen, EMS-protocol Emissies door Verbrandingsmotoren van Zeeschepen op het Nederlands Continentaal Plat, versie 2, 22 November 2003

[14] J.H.J Hulskotte, B. Wester, A.M. Snijder, V. Matthias, International survey of fuel consumption of seagoing ships at berth, TNO 2013 R10472, 18 December 2013

[15] J.H.J., Hulskotte, V. Matthias, Survey of fuel consumption of seagoing tankers at berth in Rotterdam, TNO 2013 R11287, 27 August 2013

[16] Smith, T. W. P., Jalkanen, J. P., Anderson, B. A., Raucci, C., Traut, M., Ettinger, S., Nelissen, D., Lee, D. S., Ng, S., Agrawal, A., Winebrake, J. J., Hoen, M., Chesworth, S., Pandey, A., *Third IMO GHG Study 2014*; International Maritime Organization (IMO) London, UK, June 2014

[17] Johan Mellqvist, Vladimir Conde, Jörg Beecken and Johan Ekholm, Results from airborne Sulphur compliance monitoring in the central and border of the SECA, Chalmers University of Technology in commission of MiljØ- of FØdevarenministerie

[18] Hulskotte J.H.J, Brake ter M.C., Revised calculation of emissions of fisheries on the Netherlands territory, TNO report TNO 2017 R10784, 29 June 2017

[19] Mike Turenhout, Katell Hamon, Hans van Oostenbrugge, Arie Mol en Arie Klok Emissie Nederlandse Visserij, Indicatoren brandstofverbruik voor broeikasgasemissieberekening, Wageningen Economic Research, NOTA 2016-122, Wageningen November 2016

[20] D.R. Schouten & T.W.F. Hasselaar, Ship emission model validation with noon reports, MARIN, no: 30799-1-TM, 24 August 2018

[21] Jensen M.C., Jacobsen S.B., Service Letter SL09-511/MTS, MAN Diesel, May 2009

[22] Stenersen, D., Thonstadt O., HG and $NO_x$ emissions from gas fuelled engines, Mapping, verification, reduction technologies, SINTEF Ocean AS Maritim, Report OC2017 F108, version 3.0, 13-06-2017

[23] Chih-Wen Cheng, Jian Hua & Daw-Shang Hwang (2018). Nitrogen oxide emission calculation for post-Panamax container ships by using engine operation power probability as weighting factor: A slow-steaming case, Journal of the Air & Waste Management Association, 68:6, 588-597, DOI: 10.1080/10962247.2017.1413440

[24] Tim Williamson, Jan Hulskotte, Richard German, Kirsten May, Port of London Emissions Inventory 2016, Customer Port of London Authority and Transport for London, 2017

# BIJLAGE 4 EMS-PROTOCOL EMISSIES DOOR BINNENVAART: VERBRANDINGSMOTOREN

# EMS-protocol Emissies door Binnenvaart: Verbrandingsmotoren

**Versie 5**

**20 november 2018**


Auteurs:
Versie 4
Jan Hulskotte - TNO

Versie 3
Jan Hulskotte - TNO
Ernst Bolt - RWS
Dick Broekhuizen - RWS

## Colofon


| | |
|---|---|
| **Uitgegeven door:** | Taakgroep Verkeer en Vervoer (Emissieregistratie) |
| **Informatie:** | Jan Hulskotte<br>TNO, afdeling Climate Air and Sustainability |
| Telefoon:<br>Email: | 08886-62043<br>jan.hulskotte@tno.nl |
| **Datum:** | 20 november 2018 |
| **Status:** | Concept |
| **Versienummer:** | 4 |

## Inhoudsopgave


| | | |
|---|---|---|
| **1** | **Inleiding en scope** | **1–1** |
| **2** | **Bijdrage in de totale emissie** | **2–1** |
| **3** | **Emissiebron** | **3–1** |
| 3.1 | Oorzaken | 3–1 |
| 3.2 | Maatregelen | 3–1 |
| **4** | **Berekeningswijze** | **4–1** |
| 4.1 | Methode | 4–1 |
| **5** | **Emissieverklarende variabele** | **5–1** |
| 5.1 | Bepaling van emissieverklarende variabele | 5–1 |
| 5.1.1. | Statistische gegevens | 5–1 |
| 5.1.2. | Jaarlijkse schattingen | 5–1 |
| 5.2 | Tijdreeks van 1990 tot heden | 5–4 |
| 5.3 | Jaarlijkse bepaling | 5–4 |
| **6** | **Aard van de emissiebron** | **6–1** |
| **7** | **Emissiefactoren** | **7–1** |
| 7.1 | Methodiek bepaling emissiefactoren | 7–1 |
| 7.1.1. | Leeftijdsafhankelijke emissiefactoren | 7–1 |
| 7.1.2. | Van leeftijdsafhankelijke naar parkafhankelijke emissiefactoren | 7–2 |
| 7.1.3. | Bepaling brandstofafhankelijke emissiefactoren | 7–4 |
| 7.2 | Tijdreeks 1995 tot 2011 | 7–5 |
| 7.3 | Jaarlijkse bepaling | 7–7 |
| **8** | **Emissies** | **8–1** |
| 8.1 | Nieuwe emissie cijfers | 8–1 |
| 8.2 | Verschil in methodiek | 8–1 |
| 8.3 | Verschil in cijfers | 8–2 |
| **9** | **Kwaliteit van de gegevens** | **9–1** |
| **10** | **Verbeterpunten methodiek** | **10–1** |
| 10.1 | Zwakke punten | 10–1 |
| 10.2 | Belangrijkste verbeterpunten | 10–1 |
| **11** | **Regionale opsplitsing** | **11–1** |
| **13** | **Aanvullende documenten** | Error! Bookmark not defined. |
| **14** | **Referenties** | **13–1** |

**Bijlage AEnergiegebruik hulpvermogen** **1**
A.1 Ondervraagde schepen 1
A.2 Enquête 1
A.3 Resultaten 3
A.3.1 Vrachtschepen 3
A.3.2 Passagiersschepen 5
A.4 Algemeen: 5

# 1 Inleiding en scope

Dit rapport geeft een beschrijving van de methode die wordt gevolgd voor de berekening van de emissies van koolstofdioxide ($CO_2$), stikstofoxiden ($NO_x$), koolstofmonoxide (CO), stof (PM), vluchtige organische stoffen (VOS) en zwaveldioxide ($SO_2$) door motoren van binnenvaartschepen op Nederlands grondgebied. De resultaten worden jaarlijks gebruikt voor de Nederlandse Emissieregistratie.

In dit protocol wordt onderscheid gemaakt tussen hoofdmotoren en hulpmotoren. Hoofdmotoren zijn bedoeld voor de voortstuwing van het schip. Hulpmotoren zijn nodig voor manoeuvreren (boegschroefmotoren) en het opwekken van elektriciteit voor de bedrijfsvoering en de bedrijfswoning (generatoren).

Geen onderdeel van dit protocol zijn:
- de emissies van personenvervoer, recreatievaart en visserij.
- emissies afkomstig van de lading of andere bronnen dan motoren, emissies van andere stoffen dan boven genoemd.

# 2 Bijdrage in de totale emissie

In tabel 1 staat de bijdrage weergegeven van de binnenscheepvaart (vrachtvervoer) in de nationale emissies en de bijdrage aan de emissies van de sector Verkeer en vervoer.

**tabel 1** De bijdrage van de binnenscheepvaart (vrachtvervoer) in de totale nationale emissies, (miljoenen kilogram)

| Stof | Binnenscheepvaart (vrachtvervoer) | Nationaal totaal | Verkeer en vervoer | Bijdrage Nationaal totaal % | Bijdrage Verkeer en vervoer % |
|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 1912.5 | 187900.0 | 41710.0 | 1.0% | 4.6% |
| $NO_x$ | 24.9 | 355.7 | 241.4 | 7.0% | 10.3% |
| $PM_{10}$ | 0.7 | 29.2 | 10.2 | 2.4% | 6.9% |
| $SO_2$ | 0.0 | 33.9 | 6.6 | 0.1% | 0.3% |
| CO | 5.1 | 618.2 | 408.0 | 0.8% | 1.2% |
| NMVOS | 1.0 | 149.6 | 37.2 | 0.7% | 2.6% |

Te zien is dat de relatieve bijdrage van de vooral de stoffen $NO_x$ en $PM_{10}$ zowel aan het Nationaal totaal als aan Verkeer en vervoer het grootst zijn.

# 3 Emissiebron

## 3.1 Oorzaken

De voortstuwing van binnenvaartschepen die worden ingezet voor goederen en personentransport over de binnenlandse vaarwegen in Nederland vindt plaats met behulp van dieselmotoren. De verbrandingsprocessen die plaatsvinden in deze dieselmotoren
veroorzaken emissies van luchtverontreinigende stoffen. De belangrijkste stoffen die vrijkomen zijn kooldioxide, stikstofoxiden, deeltjes (PM10), koolmonoxide, koolwaterstoffen, en zwaveldioxide.
Kooldioxide en zwaveldioxide worden veroorzaakt door de oxidatie van de in de brandstof aanwezige koolstof en zwavel. De emissies van deze stoffen zijn daardoor volledig afhankelijk van de gehaltes koolstof en zwavel van de brandstof en de hoeveelheid brandstof die wordt verbrand.
Stikstofoxiden worden voornamelijk veroorzaakt door de hoge temperaturen en drukken in de verbrandingsmotoren waardoor de in de lucht aanwezige stikstof zich verbindt met zuurstof. Koolmonoxide, koolwaterstoffen en deeltjes zijn producten van onvolledige verbranding. De emissies van laatstgenoemde stoffen zijn hiermee voornamelijk afhankelijk van de technische eigenschappen van de motoren en de wijze waarop deze motoren worden gebruikt

## 3.2 Maatregelen

De Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) heeft een begin gemaakt met de beperking van de emissies van motoren in binnenvaartschepen[1]. De normen zijn vastgelegd in §8.a van het Rijnschepen Inspectie regelement (RheinSchUO). Met ingang van 1/1/2002 gold dat nieuwe schepen alleen toestemming krijgen om op de Rijn te varen met een motor die gecertificeerd is volgens de zogenaamde fase 1 normen (zie tabel 2). Deze fase 1 normen zijn per 1/7/2007 opgevolgd door scherpere fase 2 normen (zie tabel 2). Gelijktijdig met de fase 2 van de CCR is binnen de EU een typekeuring voor binnenvaartmotoren van kracht geworden. Een verdergaande emissienormstelling zal op termijn door de EU worden uitgevoerd.

**tabel 2** Door CCR vastgestelde grenswaarden

| CCR-fase | Vermogen (kW) | Nox (g/kWh) | Deeltjes (g/kWh) | Koolwaterstoffen (g/kWh) | CO (g/Kwh) |
|---|---|---|---|---|---|
| Fase 1 1/1/2002 | 37 <= Pn <75 | 9,2 | 0,85 | 1,3 | 6,5 |
| | 75 <= Pn <130 | 9,2 | 0,70 | 1,3 | 5 |
| | Pn >= 130 | 9,2(n>= 2800)<br>$45.n^{-0,2}$<br>(500<=n<2800) | 0,54 | 1,3 | 5 |
| Fase 2 1/7/2007 | 18 <= Pn < 37 | 8 | 0,8 | 1,5 | 5,5 |
| | 37 <= Pn < 75 | 7 | 0,4 | 1,3 | 5,0 |
| | 75 <= Pn < 130 | 6 | 0,3 | 1 | 5,0 |
| | 130 <= Pn < 560 | 6 | 0,2 | 1 | 3,5 |
| | Pn >= 560 | 6 (n>= 3150)<br>$45.n^{-0,2}$<br>11 (n< 343) | 0,2 | 1 | 3,5 |

n = maximum toerental (omwentelingen/minuut)

Emissienormen voor voortstuwingsmotoren voor binnenvaartschepen op EU waterwegen (Nonroad Directive 97/68/EC, geamendeerd door 2004/26/EC) zijn eveneens van kracht. De normen en de indeling van de motoren stemt overeen met stage II (Tier 2) van US-EPA Final Rule for inland marine vessels. Echter de invoering loopt twee tot drie jaar achter hierop.

**tabel 3** Door EU vastgestelde grenswaarden Stage IIIA

| Categorie | Cylinder inhoud/Vermogen | HC+NOx | PM | CO | Datum[a] |
|---|---|---|---|---|---|
| V1:1 | Vh,z < 0.9 l<br>Pn>37 KW | 7,5 | 0,4 | 5 | 2007 |
| V1:2 | 0.9l ≤ Vh,z < 1.2 l | 7,2 | 0,3 | 5 | 2007 |
| V1:3 | 1.2 l ≤ Vh,z < 2.5 l | 7,2 | 0,2 | 5 | 2007 |
| V1:4 | 2.5l ≤ Vh,z < 5.0 l | 7,2 | 0,2 | 5 | 2009 |
| V2:1 | 5.0 l ≤ Vh,z < 15.0 l | 7,8 | 0,27 | 5 | 2009 |
| V2:2 | 15.0 l ≤ Vh,z < 20.0 l<br>Pn < 3300 kW | 8,7 | 0,5 | 5 | 2009 |
| V2:3 | 15.0 l ≤ Vh,z < 20.0 l<br>Pn ≥ 3300 kW | 9,8 | 0,5 | 5 | 2009 |
| V2:4 | 20.0 l ≤ Vh,z < 25.0 l | 9,8 | 0,5 | 5 | 2009 |
| V2:5 | 25.0 l ≤ Vh,z < 30.0 l | 11,0 | 0,5 | 5 | 2009 |

Emissienormen voor voortstuwingsmotoren voor binnenvaartschepen op EU waterwegen (Nonroad Directive 97/68/EC, geamendeerd door 2004/26/EC) zijn eveneens van kracht. De normen en de indeling van de motoren stemt overeen met stage II (Tier 2) van US-EPA Final Rule for inland marine vessels. Echter de invoering loopt twee tot drie jaar achter hierop.

**tabel 4** Door EU vastgestelde grenswaarden voor binnenvaartschepen Stage V

| Categorie | Vermogen (kW) | CO | HC | NOx | PM | Deeltjes-aantal | Datum |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IWP/IWA-v/c-1 | 19 <= P < 75 | 5.0 | 4.7 | | 0.3 | - | 2019 |
| IWP/IWA-v/c-2 | 75 <= P < 130 | 5.0 | 5.4 | | 0.14 | - | 2019 |
| IWP/IWA-v/c-3 | 130 <= P < 300 | 3.5 | 1.0 | 2.1 | 0.1 | - | 2019 |
| IWP/IWA-v/c-4 | P >= 300 | 3.5 | 0.19 | 1.8 | 0.015 | $1x10^{12}$ | 2020 |

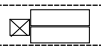
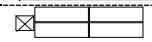
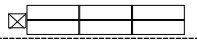
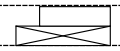
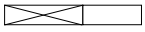
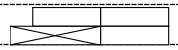
Op korte termijn zullen strengere emissiegrenswaarden (stage V) voor binnenvaartschepen van kracht worden (EU, 2016).

# 4 Berekeningswijze

## 4.1 Methode

De berekeningswijze van de emissies vindt plaats door vermenigvuldiging van emissieverklarende variabelen met emissiefactoren. De berekening vindt per basisjaar plaats in twee stappen en wordt per scheepsklasse uitgevoerd. De scheepsklassen (32 in totaal) komen overeen met de indeling die is gegeven in [3] en [6] voor de scheepsklassen M9, M10, M11 en M12.

**tabel 5** Scheepsklassen volgens de Rijkswaterstaat indeling

| Scheepsklasse | Tonnage-categorie | Type schip/combinatie | |
|---|---|---|---|
| BI | L2 | Duwstellen |  |
| BII-1 | L2 | Duwstellen | |
| BII-2b | L3 | Duwstellen |  |
| BII-2l | L3 | Duwstellen |  |
| BII-4 | L3 | Duwstellen |  |
| BII-6b | L3 | Duwstellen |  |
| BII-6l | L3 | Duwstellen |  |
| BIIL-1 | L3 | Duwstellen | |
| BO1 | L1 | Duwstellen | |
| BO2 | L1 | Duwstellen |  |
| BO3 | L1 | Duwstellen | |
| BO4 | L1 | Duwstellen | |
| C1b | L1 | Koppelverband |  |
| C1l | L1 | Koppelverband |  |
| C2b | L2 | Koppelverband |  |
| C2l | L2 | Koppelverband |  |
| C3b | L3 | Koppelverband |  |
| C3l | L3 | Koppelverband |  |
| C4 | L3 | Koppelverband |  |
| M0 | L1 | Motorvrachtschepen | (overig) |
| M1 | L1 | Motorvrachtschepen | (Spits) |
| M2 | L1 | Motorvrachtschepen | (Kempenaar) |
| M3 | L1 | Motorvrachtschepen | (Hagenaar) |
| M4 | L1 | Motorvrachtschepen | (Dortmunder) |
| M5 | L2 | Motorvrachtschepen | (Verl. Dortmunder) |
| M6 | L2 | Motorvrachtschepen | (Rijn-Herne Kan. ) |
| M7 | L2 | Motorvrachtschepen | (Verlengde RHK) |
| M8 | L3 | Motorvrachtschepen | (Groot Rijnschip) |
| M9 | L3 | Motorvrachtschepen | |
| M10 | L3 | Motorvrachtschepen | (Verlengd Groot Rijnschip) |
| M11 | L3 | Motorvrachtschepen | |
| M12 | L3 | Motorvrachtschepen | (Rijnmax-schip) |

De berekening van de emissies is gebaseerd op het energiegebruik per scheepsklasse. Voor alle 32 scheepsklassen is de vermogensvraag (kW) berekend voor de verschillende vaarwegtypen en rivieren. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen beladen en onbeladen schepen. Bij de beladen schepen wordt vanaf het jaar 2009 rekening gehouden met de beladingsgraad.

**tabel 6** Beladingsgraad per laadvermogenklasse van beladen schepen

| LVM_Klasse | LVM_omschrijving | Beladingsgraad |
|---|---|---|
| CBS_1 | 21 tot 250 ton | 58% |
| CBS_2 | 250 tot 400 ton | 77% |
| CBS_3 | 400 tot 650 ton | 79% |
| CBS_4 | 650 tot 1 000 ton | 80% |
| CBS_5 | 1 000 tot 1 500 ton | 78% |
| CBS_6 | 1 500 tot 2 000 ton | 64% |
| CBS_7 | 2 000 tot 3 000 ton | 66% |
| CBS_9 | 3 000 tot 5 000 ton | 55% |
| CBS_10 | 5 000 ton en meer | 43% |

Bron: CBS

Daarnaast is de gemiddelde snelheid, die de verschillende scheepsklassen ten opzichte van de het water hebben, vastgesteld in afhankelijkheid van de scheepsklasse en de maximale vaarsnelheid op de route die bevaren wordt. In de berekeningen wordt vanaf het jaar 2009 de gemeten snelheid ten opzichte van water gebruikt die is gemeten met behulp van CBS-data.

De algemene formule voor het berekenen van de emissies is dan de volgende.

Emissie = Aantal . Vermogen . Tijd . Emissiefactor

Specifiek voor 1 scheepsklasse (v,c), al dan niet beladen (b), op iedere afzonderlijke route (r) op de Nederlandse vaarwegen wordt de formule in onderstaand kader gehanteerd voor de berekening van de emissie van stof (s) in 1 richting (d):

Voor de doorrekening van bovenstaande formule is een rekenmodel ontworpen. Dit model staat onder beheer van TNO.

De combinatie van het aantal schepen, hun vermogen en hun vaartijd is de emissieverklarende variabele. De eenheid van de emissieverklarende variabele is “kWh”. De emissiefactor wordt uitgedrukt in “g/kWh”, dezelfde eenheid waarin emissienormen zijn uitgedrukt.

**Emissie voortstuwingsmotoren** =

*de som over scheepsklassen, beladingstoestanden, routes en richtingen van:*

{**aantal scheepspassages** *maal*
**gemiddeld gebruikt vermogen** *maal*
**gemiddelde emissiefactor** *maal*
**correctiefactor passend bij vermogen** *maal*
**lengte route** *gedeeld door* **vaarsnelheid**}

*ofwel*

$$E_{v,c,b,r,s,d} = N_{v,c,b,r,d} \cdot Pb_{v,b,r} \cdot L_r/(V_{v,r,d} + V_r) \cdot EF_{v,s} \cdot CEF_{v,b,r,s} \quad (1)$$

Waarbij:

| | |
|---|---|
| $E_{v,c,b,r,s,d}$ | = Emissie per scheepsklasse, (kg) |
| $N_{v,c,b,r,d}$ | = Aantal schepen van deze scheepsklasse op de route en deze beladingtoestand gevaren in deze richting |
| $Pb_{v,b,r}$ | = gemiddeld vermogen van deze scheepsklasse op de route (kW) |
| $EF_{v,s}$ | = Gemiddelde emissiefactor van de motoren in deze scheepsklasse (kg/kWh) |
| $L_r$ | = Lengte van de route (km) |
| $V_{v,r}$ | = Snelheid gemiddelde schip in deze scheepsklasse op deze route (km/h) |
| $V_r$ | = Stroomsnelheid van het water op deze route (km/h), (kan ook negatief zijn) |

**v,c,b,r,s,d = indices voor respectievelijk scheepsklasse, geaggregeerde laadvermogensklasse, beladingtoestand, route, stof, en vaarrichting**

# 5 Emissieverklarende variabele

## 5.1 Bepaling van emissieverklarende variabele

### 5.1.1. Statistische gegevens

De emissieverklarende variabele is de hoeveel verbruikte energie door binnenvaartschepen, uitgedrukt in kWh. Dit energieverbruik wordt bepaald door het aantal vaartuigkilometers (vtgkm) in te voeren in een rekenmodule.

Het aantal vaartuigkilometers per vaartuigklasse is voor het basisjaar 2008 (1995 t/m 2008) en 2016 (2009 t/m 2017) vastgesteld in het BIVAS-model [7] en is gelijk aan de afstand die de schepen gezamenlijk op de verschillende routes op de Nederlandse vaarwegen hebben afgelegd. Het aantal vaartuigkilometers is gelijk aan de sommering over alle vaartrajecten van het aantal schepen wat een bepaald traject aflegt maal de lengte van dat traject.

In de rekenmodule wordt het aantal vaartuigkilometers omgerekend naar de energievraag in kWh.
Een toelichting op het model staat beschreven in een aanvullend document van dit emissieprotocol [8]. Het omrekenmodel is in principe niet onderhavig aan jaarlijkse wijzigingen.
In het omrekenmodel worden onder andere de volgende aannamen gedaan:

- Indien de stroomsnelheid gelijk gesteld kan worden aan nul wordt geen onderscheid in vaarrichting gemaakt.
- Voor leegvaart wordt gerekend met aangepaste diepgang.

### 5.1.2. Jaarlijkse schattingen

Schaling van de ontbrekende vervoersgegevens

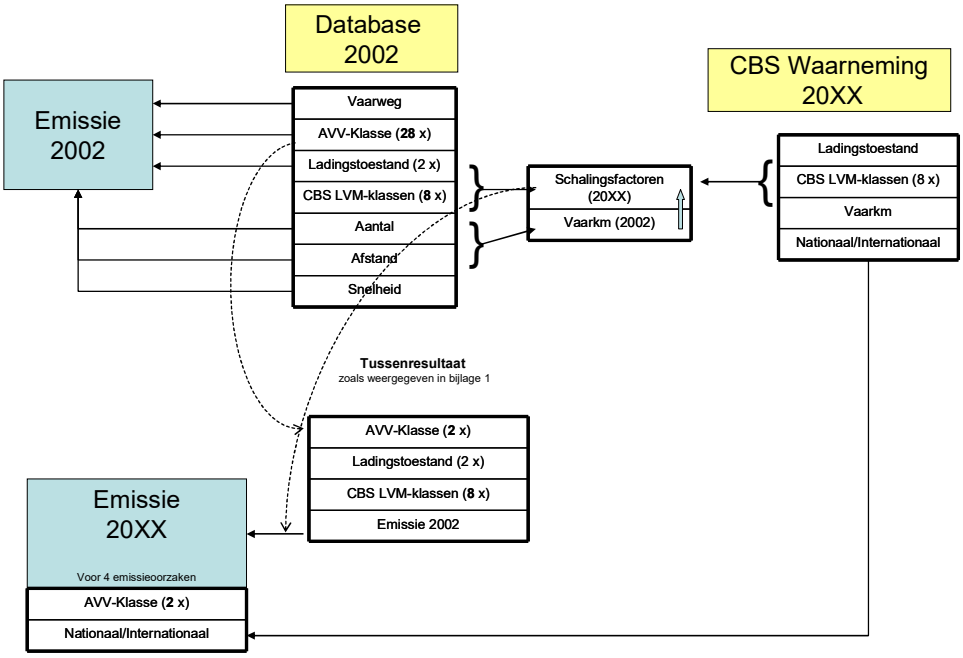
In de praktijk zal een deel van de vaartuigkilometers worden gemist in de tellingen vanuit het IVS-netwerk, namelijk op de trajecten die niet direct te maken hebben met een IVS-telpunt. Om toch op een juist landelijk totaal uit te komen wordt parallel aan vaartuigkilometers voor de scheepsklassen, ook de vaartuigkilometers voor de geaggregeerde laadvermogenklassen (9x) van CBS (tabel 7) berekend. De vaartuigkilometers per geaggregeerde laadvermogenklasse worden gelijk gemaakt met de cijfers die CBS jaarlijks op grond van reisgegevens door per overeenkomstige scheepsklasse de afgelegde kilometers op te hogen. Deze ophoging gebeurt in het zogenaamde “metamodel”.

**tabel 7** Indeling van CBS in laadvermogensklassen

| LVM_Klasse | LVM_omschrijving | Opmerking |
|---|---|---|
| CBS_1 | 21 tot 250 ton | |
| CBS_2 | 250 tot 400 ton | |
| CBS_3 | 400 tot 650 ton | |
| CBS_4 | 650 tot 1 000 ton | |
| CBS_5 | 1 000 tot 1 500 ton | |
| CBS_6 | 1 500 tot 2 000 ton | |
| CBS_7 | 2 000 tot 3 000 ton | |
| CBS_8 | 3000 ton en meer | tot 2007 |
| CBS_9 | 3 000 tot 5 000 ton | vanaf 2007 |
| CBS_10 | 5 000 ton en meer | vanaf 2007 |

De data voor de berekening zoals weergegeven in formule 1 is slechts beschikbaar voor het jaar 2008 en 2016. Voor de jaarlijkse berekening van de emissies van de beroepsbinnenvaart worden de emissies geschaald op grond van CBS-data over het aantal afgelegde vaarkilometers per CBS-scheepsgrootteklasse onderverdeeld naar nationaal en internationaal scheepvaartverkeer. In onderstaande figuur is aangegeven hoe deze schaling van de verkeersprestaties plaatsvindt.

**Figuur 1** Schaling van verkeersprestaties in emissieberekeningen




De schaalfactoren worden per CBS-scheepsgrootteklasse, naar belading en de toedeling van de nationaliteit van het verkeer berekend. De gemiddelde emissiefactoren die in deze berekening voor elk emissiejaar worden toegepast worden berekend zoals is aangegeven in paragraaf 7.1.1.

Ter illustratie staat in tabel 6 de verdeling van het scheepvaartverkeer weergegeven over de verschillende scheepstypen ingedeeld volgens Rijkswaterstaat en de bijbehorende de verkeersprestatie. In deze tabel 6 is te zien dat er in de periode 2008-2016 veel is veranderd aan de bijdrage van de verschillende scheepstypen. De bijdrage van de grotere scheepstypen (M8, M9, M10, M11 en M12) is fors toegenomen is ten koste van de kleinere scheepstypen (M1, M2, M3, M4 en M5).

**tabel 8** Verkeersprestaties van schepen ingedeeld volgens Rijkswaterstaat (basisdata voor energieberekening)

| Scheepstype | 2016 | | 2008 | | Verschil | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Absoluut | Aandeel | Absoluut | Aandeel | Absoluut | Aandeel |
| M1 | 0.38 | 0.8% | 1.43 | 2.4% | -1.05 | -1.7% |
| M2 | 3.57 | 7.1% | 8.18 | 13.8% | -4.61 | -6.6% |
| M3 | 3.68 | 7.4% | 6.10 | 10.3% | -2.42 | -2.9% |
| M4 | 3.29 | 6.6% | 5.98 | 10.1% | -2.69 | -3.5% |
| M5 | 3.28 | 6.6% | 5.38 | 9.1% | -2.10 | -2.5% |
| M6 | 7.96 | 15.9% | 9.05 | 15.3% | -1.10 | 0.6% |
| M7 | 1.61 | 3.2% | 3.29 | 5.5% | -1.68 | -2.3% |
| M8 | 15.04 | 30.1% | 11.13 | 18.7% | 3.91 | 11.3% |
| M9 | 2.68 | 5.4% | 1.17 | 2.0% | 1.51 | 3.4% |
| M10 | 0.86 | 1.7% | 1.79 | 3.0% | -0.93 | -1.3% |
| M11 | 1.10 | 2.2% | - | - | - | - |
| M12 | 1.49 | 3.0% | - | - | - | - |
| BII-1 | 1.03 | 2.1% | 1.02 | 1.7% | 0.01 | 0.3% |
| C3l | 1.30 | 2.6% | 1.14 | 1.9% | 0.16 | 0.7% |
| Overige | 2.77 | 5.5% | 3.70 | 6.2% | -0.93 | -0.7% |
| Totaal | 50.03 | 100.0% | 59.36 | 100.0% | -9.33 | -15.7% |

In tabel 7 is te zien dat de recentere BIVAS-data van verkeersprestaties ten opzichte van CBS-data lager geworden zijn. De schaalfactoren op de emissies zijn met het gebruik van BIVAS-data meer gaan afwijken van een schaalfactor 1. Aangenomen mag worden dat dit de nauwkeurigheid van de emissieberekening niet ten goede komt. Omwille van de consistentie van de emissiereeks wordt echter vastgehouden aan de CBS-data voor de verkeersprestaties.

**tabel 9** Resultaten van opschaling van verkeersprestatie en emissies vanuit EMS-data en vanuit BIVAS-data met behulp van CBS-verkeersprestaties

| Jaar | Basisdata | Vaartuig.km voor schaling (miljoen) | Vaartuig.km CBS (miljoen) | Factor op km | CBS Leegvaart % | $NO_x$* emissie voor schaling (kton) | $NO_x$* emissie na schaling (kton) | Factor op emissie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2002 | EMS | 57,61 | 66,88 | 1,16 | 37% | 19,6 | 24,0 | 1,23 |
| 2008 | BIVAS | 59,36 | 54,84 | 0,92 | 27% | 21,9 | 21,3 | 0,98 |
| 2016 | BIVAS | 50,00 | 60,31 | 1,20 | 27% | 19,0 | 20,6 | 1,08 |

*Zonder bijschatting hulpmotoren

**Hulpmotoren**

Het brandstofgebruik als gevolg van de inzet van hulpmotoren wordt op 13 procent van het gebruik door hoofdmotoren geschat (zie Bijlage A: gebruik hulpvermogen binnenvaart). De emissies van de hulpmotoren worden

berekend door een ophoging van 13 procent op het aantal vaartuigkilometers toe te passen.

## 5.2 Tijdreeks van 1990 tot heden

In tabel 8 staat de tijdreeks weergegeven van verkeersprestaties waargenomen door CBS, die de basis vormt van de tijdreeks van de emissieberekening met behulp van de opschaling.

**tabel 10** CBS-verkeersprestaties per laadvermogensklasse per jaar, (miljoen kilometer)

| Jaar | CBS_1 | CBS_2 | CBS_3 | CBS_4 | CBS_5 | CBS_6 | CBS_7 | CBS_8 | CBS_9 | CBS_10 | Totaal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,995 | 0.45 | 4.69 | 7.13 | 14.42 | 16.84 | 4.38 | 11.78 | 1.84 | | | 61.52 |
| 2,000 | 0.26 | 3.50 | 6.81 | 15.96 | 20.75 | 5.61 | 13.55 | 2.25 | | | 68.71 |
| 2,002 | 0.26 | 2.88 | 5.76 | 14.50 | 19.52 | 5.63 | 15.62 | 2.71 | | | 66.88 |
| 2,005 | 0.57 | 1.97 | 4.68 | 11.82 | 15.25 | 4.80 | 14.85 | 4.21 | | | 58.14 |
| 2,006 | 0.36 | 1.97 | 4.00 | 10.61 | 14.45 | 4.66 | 14.61 | 4.72 | | | 55.39 |
| 2,007 | 0.36 | 1.95 | 5.53 | 9.02 | 12.24 | 6.91 | 14.45 | | 5.30 | 0.56 | 56.33 |
| 2,008 | 0.36 | 1.88 | 5.25 | 8.65 | 11.74 | 6.51 | 13.88 | | 5.86 | 0.71 | 54.84 |
| 2,009 | 0.31 | 1.60 | 4.52 | 7.78 | 10.93 | 6.52 | 11.24 | | 5.95 | 0.76 | 49.62 |
| 2,010 | 0.33 | 1.40 | 4.36 | 7.64 | 10.66 | 6.86 | 13.12 | | 7.12 | 1.15 | 52.63 |
| 2,011 | 0.34 | 1.20 | 4.20 | 7.50 | 10.39 | 7.20 | 15.00 | | 8.28 | 1.55 | 55.65 |
| 2,012 | 0.39 | 2.03 | 5.71 | 9.85 | 14.06 | 8.39 | 14.62 | | 7.70 | 0.99 | 63.74 |
| 2,013 | 0.41 | 2.00 | 5.33 | 8.96 | 13.35 | 8.20 | 14.34 | | 7.92 | 1.06 | 61.57 |
| 2,014 | 0.42 | 1.89 | 5.13 | 8.88 | 13.04 | 8.14 | 14.73 | | 8.33 | 1.18 | 61.74 |
| 2,015 | 0.42 | 1.66 | 4.69 | 8.10 | 12.77 | 8.42 | 15.29 | | 8.89 | 1.26 | 61.50 |
| 2,016 | 0.40 | 1.50 | 4.21 | 7.84 | 12.48 | 8.18 | 15.61 | | 8.82 | 1.27 | 60.31 |
| 2,017 | 0.42 | 1.66 | 4.69 | 8.10 | 12.77 | 8.65 | 15.98 | | 9.04 | 1.22 | 62.54 |

## 5.3 Jaarlijkse bepaling

Voor de schaling van de verkeersgegevens is een bestand nodig met emissieverklarende variabelen. Door CBS wordt jaarlijks aan de emissieregistratie een tabel aangeleverd, met gesommeerde vaartuigkilomters door de beroepsvaart op de Nederlandse vaarwegen:

- BasisJaar
- LVMklasse
- Beladingtoestand (beladen/beladings% vanaf 2009, leeg)
- Nationaal of Internationale reizen
- GevarenAfstand

# 6 Aard van de emissiebron

De emissiebron heeft het karakter van een lijnbron: emissies vinden plaats langs de vaarwegen. De bronsterkte hangt af van de verkeersintensiteit en in havens kan lokaal een grote bronsterkte (karakter puntbron)

# 7 Emissiefactoren

Voor elke scheepsklasse wordt een emissiefactor voor elke stof worden bepaald, uitgedrukt in g/kWh. Hierbij wordt er onderscheid gemaakt in de techniekafhankelijke emissiefactoren (voor $NO_x$, PM, CO en VOS) en de brandstofafhankelijke emissiefactoren (voor $CO_2$ en $SO_2$).

## 7.1 Methodiek bepaling emissiefactoren

### 7.1.1. Leeftijdsafhankelijke emissiefactoren

Het bouwjaar van een motor is een belangrijke parameter die van invloed is op de emissiefactor. Dit heeft te maken met (1) de verandering van de voorkeur voor langzaam- naar snel draaiende motoren en (2) de voortschrijdende vordering van de techniek, waardoor het emissiepatroon van motoren is veranderd.

In TNO-rapport (R2003-437) staat de methodiek beschreven voor de afleiding van leeftijdsafhankelijke emissiefactoren alsmede het gemiddelde specifieke brandstofgebruik van de scheepsmotoren. De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel . Voor de stof NOx zijn hierin echter wijzigingen aangebracht op grond van TNO-onderzoek [7] waarbij een groot metingen werden uitgevoerd in scheepspluimen. De emissiefactoren van NOx voor CCR2-motoren werden gewijzigd ten opzichte van de vorige versie en overgenomen uit [10].

**tabel 11** Emissiefactoren voor dieselmotoren in binnenvaartschepen (g/kWh)

| Bouwjaarklasse | Gewichtsklasse | NOx | PM | PM2,5 | CO | VOS[1] | Brandstof-gebruik |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1900 - 1974 | L1 t/m L3 | 10.8 | 0.6 | 0.57 | 4.5 | 1.2 | 235 |
| 1975 - 1979 | L1 t/m L3 | 10.6 | 0.6 | 0.57 | 3.7 | 0.8 | 230 |
| 1980 - 1984 | L1 t/m L3 | 10.4 | 0.6 | 0.57 | 3.1 | 0.7 | 225 |
| 1985 - 1989 | L1 t/m L3 | 10.1 | 0.5 | 0.475 | 2.6 | 0.6 | 220 |
| 1990 - 1994 | L1 t/m L3 | 10.1 | 0.4 | 0.38 | 2.2 | 0.5 | 220 |
| 1995 - 2002 | L1 t/m L3 | 9.4 | 0.3 | 0.285 | 1.8 | 0.4 | 205 |
| 2003 - 2007 CCR-1 | L1 t/m L3 | 9.2 | 0.3 | 0.285 | 1.5 | 0.3 | 200 |
| 2008 - 2018 CCR-2 | L1 t/m L3 | 7 | 0.2 | 0.19 | 1.3 | 0.2 | 200 |
| 2019 - 2019 CCR-2 | L2 en L3 | 7 | 0.2 | 0.19 | 1.3 | 0.2 | 200 |
| 2019 – 20xx stage V | L1 | 2.9 | 0.1 | 0.09 | 1 | 0.2 | 205 |
| 2020 – 20xx stage V | L2 en L3 | 2.4 | 0.015 | 0.0143 | 0.5 | 0.2 | 190 |

[1] Samenstelling van “VOS” (vluchtige organische stoffen): zie [4]

. . . . . .

**tabel 12** Correctiefactoren voor emissiefactoren afhankelijk van motorbelasting (CEF)

| Toepassing | <= CCR1 | CCR2 / Stage IIIa | IWP/IWA-v/c-3 | IWP/IWA-v/c-4 | alle klassen | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stof<br><br>Motor-belasting% | $NO_x$ | | | | Dieselolie, $CO_2$, $SO_2$, metalen | $PM_{10}$ | VOS en methaan | CO |
| 5 | 1.83 | 2.02 | 3.99 | 4.79 | 1.25 | 2.44 | 8.00 | 4.00 |
| 10 | 1.34 | 1.42 | 2.63 | 3.07 | 1.21 | 1.63 | 4.46 | 5.22 |
| 15 | 1.17 | 1.27 | 2.12 | 2.42 | 1.18 | 1.32 | 2.74 | 3.51 |
| 20 | 1.10 | 1.19 | 1.85 | 2.08 | 1.15 | 1.19 | 2.02 | 2.66 |
| 25 | 1.06 | 1.15 | 1.69 | 1.88 | 1.13 | 1.12 | 1.65 | 2.14 |
| 30 | 1.04 | 1.13 | 1.58 | 1.73 | 1.11 | 1.08 | 1.42 | 1.80 |
| 35 | 1.03 | 1.11 | 1.50 | 1.63 | 1.09 | 1.05 | 1.27 | 1.56 |
| 40 | 1.02 | 1.09 | 1.44 | 1.56 | 1.07 | 1.03 | 1.16 | 1.38 |
| 45 | 1.01 | 1.08 | 1.39 | 1.50 | 1.05 | 1.01 | 1.09 | 1.23 |
| 50 | 1.00 | 1.07 | 1.35 | 1.45 | 1.04 | 1.01 | 1.03 | 1.12 |
| 55 | 1.00 | 1.07 | 1.32 | 1.41 | 1.03 | 1.00 | 1.00 | 1.06 |
| 60 | 0.99 | 1.06 | 1.29 | 1.37 | 1.02 | 1.00 | 0.98 | 1.00 |
| 65 | 0.99 | 1.06 | 1.27 | 1.35 | 1.01 | 0.99 | 0.95 | 0.94 |
| 70 | 0.98 | 1.05 | 1.25 | 1.32 | 1.01 | 0.99 | 0.92 | 0.88 |
| 75 | 0.98 | 1.05 | 1.24 | 1.30 | 1.00 | 0.98 | 0.89 | 0.82 |
| 80 | 0.97 | 1.05 | 1.22 | 1.28 | 1.00 | 0.98 | 0.87 | 0.76 |
| 85 | 0.97 | 1.04 | 1.21 | 1.27 | 1.00 | 0.97 | 0.84 | 0.70 |
| 90 | 0.97 | 1.04 | 1.20 | 1.25 | 1.01 | 0.97 | 0.85 | 0.70 |
| 95 | 0.97 | 1.04 | 1.19 | 1.24 | 1.02 | 0.97 | 0.86 | 0.70 |
| 100 | 0.97 | 1.04 | 1.18 | 1.23 | 1.02 | 0.97 | 0.87 | 0.70 |

De correctiefactoren voor emissiefactoren zijn merendeels overgenomen van de emissieberekening van zeeschepen (4-takt motoren). De correctiefactoren voor NOx betreffende CCR2/Stage IIIa, IWP/IWA-v/c-3 en IWP/IWA-v/c-4 zijn voorlopige inschattingen van TNO.

### 7.1.2. emissiefactoren

De gemiddelde emissiefactor wordt bepaald door een verdeling van de scheepsmotoren over de verschillende bouwjaarklassen waaraan emissiefactoren zijn gekoppeld. Deze verdeling wordt berekend middels een Weibull-functie. De algemene vorm van de Weibullfunctie is deze:

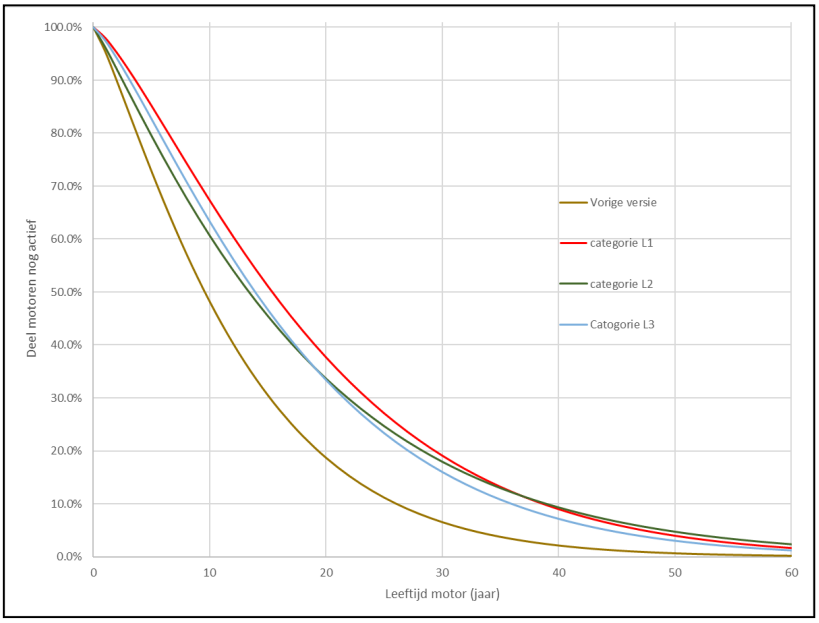
$$f(x;k,\lambda) = \frac{k}{\lambda}\left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k}$$

De waarde van de Weibull-parameters (κ en λ) is afgeleid uit een telefonische steekproef door TNO [7] onder de schippers van 146 varende binnenvaartschepen waarbij gevraagd is naar de leeftijd van het schip en de leeftijd van de scheepsmotor. In de berekeningen is voor de variabele x in de formule is de leeftijd/10 genomen en is x gevarieerd tussen 1 en 7. Door middel van een kleinste kwadratenschatting zijn de optimale waarden van κ en λ bepaald op respectievelijk 1,2 en 1,3.
De mediane leeftijd (de leeftijd waarbij 50% vervangen is) is te berekenen met de formule:

$$\lambda \ln(2)^{1/k}$$

De uitkomst moet vervolgens nog met 10 worden vermenigvuldigd omdat x als leeftijd/10 is ingevoerd in de formule. De mediane leeftijd van de schepen volgens de formule is dan 9,6 jaar. De mediane leeftijd van de motoren in de enquête was 9,0 jaar en de gemiddelde leeftijd was 14,9 jaar.

**Figuur 2** Overlevingsfuncties van scheepsmotoren




Recent is nieuw onderzoek gedaan naar de leeftijd van de scheepsmotoren waaruit bleek dat de levensduur van de motoren langer is dan eerder werd berekend. In Figuur 1 staan de nieuwe functies weergegeven voor de drie gewichtsklassen (L1, L2 en L3) alsmede de overlevingsfunctie die in de vorige versie van het emissiemodel werd gebruikt. De leeftijd waarbij de helft van de motoren was vervangen was 9,6 jaar en is nu rond de 15 jaar. Na 30 jaar is nog 15  tot 20% van de motoren in gebruik volgens de nieuwe functies. In de vorige versie van het model was ongeveer 7,5%.

**tabel 13** Koolstofgehalte en zwavelgehalte van gasolie

| Motorvervangingsprofiel | Lambda_i | Kappa_i | Mediane_levensduur (jaar) |
|---|---|---|---|
| L1 | 20.4 | 1.30 | 15.4 |
| L2 | 18.5 | 1.12 | 13.4 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| L3 | 18.6 | 1.26 | 13.9 |
| M (eerder profiel) | 13.0 | 1.2 | 9.6 |

De data waarop de functies zijn gebaseerd is een combinatie van gegevens. De gegevens betreffen een selectie van het IVR schepen-bestand [12]. Alleen schepen die nog in gebruik waren (omdat deze schepen over AIS-beschikten) op de datum dat het bestand werd uitgegeven werden geselecteerd.

### 7.1.3. Bepaling brandstofafhankelijke emissiefactoren

De emissiefactoren (in kg/kWh) voor koolstofdioxide en zwaveldioxide zijn eenvoudig te berekenen door de brandstofafhankelijke emissiefactor (in g/kg) te vermenigvuldigen met het gemiddelde brandstofverbruik (in kg/kWh). Bij de berekening van de brandstofafhankelijke emissiefactoren wordt gebruik gemaakt van het koolstofgehalte en het zwavelgehalte van de brandstof (in dit geval gasolie).

**tabel 14** Koolstofgehalte en zwavelgehalte van gasolie

| Component | Jaren | Gehalte (g/kg) | Stoechiometrische factor |
|---|---|---|---|
| Koolstof | 1990 en later | 865,4 | 44/12 |
| Zwavel | 1990 t/m 2007 | 1,7 | 2 |
| | 2008 t/m 2009 | 1,0 | |
| | 2010 | 0,5 | |
| | 2011 en later | 0,01 | |

De emissiefactoren (zie tabel ) kunnen worden berekend door het specifieke brandstofgebruik per scheepsklasse te vermenigvuldigen met het gehalte en de stoechiometrische factoren uit tabel . De stoechiometrische factoren hebben betrekking op de omzetting van koolstof en zwavel naar respectievelijk koolstofdioxide en zwaveldioxide.

**tabel 15** Emissiefactoren voor $CO_2$ en $SO_2$, $NH_3$ en $N_2O$ in g/kg brandstof

| Component | Jaren | Emissie (g/kg) |
|---|---|---|
| $CO_2$ | 1990 - nu | 3173 |
| $SO_2$ | 1990 t/m 2007 | 3,4 |
| | 2008 t/m 2009 | 2,0 |
| | 2010 | 1,0 |
| | 2011 en later | 0,02 |
| NH3 | 1990 - nu | 0,01 |
| N2O | 1990 - nu | 0,08 |

Invloed van zwavelgehalte op de PM-emissiefactor

De invloed van een lager zwavelgehalte in de dieselbrandstof word met behulp van onderstaande formule [9] in de emissiefactoren van $PM_{10}$ verrekend:

**EF_PM (S) = EF_PM (Ref) + 0.157 * FC * (S - Ref)/1 000 000**

Waarbij:
**EF_PM (S)** = Emissiefactor van PM bij het actuele zwavelgehalte
**EF_PM (Ref)** = Emissiefactor van PM bij het referentie zwavelgehalte
**Ref** = het referentie zwavelgehalte (voor rode diesel 1700 mg/kg en voor EN590 50 mg/kg)
**S** = actuele zwavelgehalte in mg/kg
**FC** = Het specifieke brandstofgebruik van de motor in g/kWh

## 7.2 Tijdreeks 1995 tot 2008

In tabel 12 staan de middels het in paragraaf 7.1.2 beschreven Weibull-model berekende jaargemiddelde park-gewogen emissiefactoren weergegeven, die worden toegepast in de emissieberekeningen op alle scheepstypen.

**tabel 16** Jaargemiddelde parkemissiefactoren, (g/kWh)

| Jaar | $NO_x$ | $PM_{10}$ | $CO_2$ | CO | VOS | $SO_2$ | $N_2O$ | $NH_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1995 | 10,3 | 0,52 | 713,6 | 3,07 | 0,73 | 0,76 | 0,0180 | 0,00225 |
| 1996 | 10,3 | 0,51 | 709,8 | 2,98 | 0,71 | 0,76 | 0,0179 | 0,00224 |
| 1997 | 10,2 | 0,49 | 705,9 | 2,89 | 0,68 | 0,76 | 0,0178 | 0,00222 |
| 1998 | 10,2 | 0,48 | 702,0 | 2,81 | 0,66 | 0,75 | 0,0177 | 0,00221 |
| 1999 | 10,1 | 0,46 | 698,2 | 2,73 | 0,64 | 0,75 | 0,0176 | 0,00220 |
| 2000 | 10,1 | 0,45 | 694,7 | 2,65 | 0,62 | 0,74 | 0,0175 | 0,00219 |
| 2001 | 10,0 | 0,44 | 691,3 | 2,58 | 0,60 | 0,74 | 0,0174 | 0,00218 |
| 2002 | 10,0 | 0,43 | 688,0 | 2,52 | 0,59 | 0,74 | 0,0173 | 0,00217 |
| 2003 | 9,9 | 0,42 | 684,2 | 2,44 | 0,57 | 0,73 | 0,0173 | 0,00216 |
| 2004 | 9,9 | 0,41 | 680,5 | 2,37 | 0,55 | 0,73 | 0,0172 | 0,00214 |
| 2005 | 9,8 | 0,40 | 677,0 | 2,30 | 0,53 | 0,73 | 0,0171 | 0,00213 |
| 2006 | 9,8 | 0,39 | 673,7 | 2,24 | 0,51 | 0,72 | 0,0170 | 0,00212 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2007 | 9,7 | 0,38 | 670,5 | 2,18 | 0,49 | 0,72 | 0,0169 | 0,00211 |
| 2008 | 9,7 | 0,35 | 667,6 | 2,13 | 0,48 | 0,42 | 0,0168 | 0,00210 |

## 7.3 Tijdreeks 2009 tot 2017

In tabel 12 staan de middels het in paragraaf 7.1.2 beschreven Weibull-model berekende jaargemiddelde park-gewogen emissiefactoren weergegeven, die worden toegepast in de emissieberekeningen op alle scheepstypen vanaf het registratiejaar 2009. Deze parkemissiefactoren worden gecorrigeerd voor de motorbelasting die optreedt ten gevolge van de snelheid en de belading van de schepen op een bepaald vaartraject.

**tabel 17** Jaargemiddelde parkemissiefactoren bij 100 procent motorbelasting, (g/kWh)

| Jaar | Tonnagecategorie | Nox | PM | CO2 | CO | VOS | SO2 | N2O | NH3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2009 | L1 | 9.5 | 0.38 | 696.0 | 1.73 | 0.50 | 0.439 | 0.0176 | 0.0022 |
| 2009 | L2 | 9.5 | 0.37 | 691.8 | 1.68 | 0.48 | 0.436 | 0.0174 | 0.0022 |
| 2009 | L3 | 9.5 | 0.37 | 691.9 | 1.66 | 0.47 | 0.436 | 0.0174 | 0.0022 |
| 2010 | L1 | 9.5 | 0.36 | 693.3 | 1.69 | 0.48 | 0.219 | 0.0175 | 0.0022 |
| 2010 | L2 | 9.4 | 0.34 | 689.3 | 1.64 | 0.46 | 0.217 | 0.0174 | 0.0022 |
| 2010 | L3 | 9.4 | 0.34 | 689.1 | 1.62 | 0.46 | 0.217 | 0.0174 | 0.0022 |
| 2011 | L1 | 9.4 | 0.33 | 690.6 | 1.65 | 0.47 | 0.004 | 0.0174 | 0.0022 |
| 2011 | L2 | 9.2 | 0.32 | 686.9 | 1.59 | 0.45 | 0.004 | 0.0173 | 0.0022 |
| 2011 | L3 | 9.3 | 0.32 | 686.5 | 1.57 | 0.44 | 0.004 | 0.0173 | 0.0022 |
| 2012 | L1 | 9.3 | 0.32 | 688.1 | 1.60 | 0.45 | 0.004 | 0.0174 | 0.0022 |
| 2012 | L2 | 9.1 | 0.31 | 684.6 | 1.56 | 0.43 | 0.004 | 0.0173 | 0.0022 |
| 2012 | L3 | 9.2 | 0.31 | 684.0 | 1.53 | 0.42 | 0.004 | 0.0172 | 0.0022 |
| 2013 | L1 | 9.2 | 0.31 | 685.7 | 1.56 | 0.43 | 0.004 | 0.0173 | 0.0022 |
| 2013 | L2 | 9.0 | 0.30 | 682.4 | 1.52 | 0.42 | 0.004 | 0.0172 | 0.0022 |
| 2013 | L3 | 9.1 | 0.30 | 681.7 | 1.49 | 0.41 | 0.004 | 0.0172 | 0.0021 |
| 2014 | L1 | 9.1 | 0.30 | 683.4 | 1.52 | 0.42 | 0.004 | 0.0172 | 0.0022 |
| 2014 | L2 | 9.0 | 0.29 | 680.3 | 1.48 | 0.40 | 0.004 | 0.0172 | 0.0021 |
| 2014 | L3 | 9.0 | 0.29 | 679.4 | 1.46 | 0.39 | 0.004 | 0.0171 | 0.0021 |
| 2015 | L1 | 9.0 | 0.29 | 681.2 | 1.49 | 0.41 | 0.004 | 0.0172 | 0.0021 |
| 2015 | L2 | 8.9 | 0.28 | 678.4 | 1.45 | 0.39 | 0.004 | 0.0171 | 0.0021 |
| 2015 | L3 | 8.9 | 0.28 | 677.3 | 1.42 | 0.38 | 0.004 | 0.0171 | 0.0021 |
| 2016 | L1 | 8.9 | 0.29 | 679.1 | 1.45 | 0.39 | 0.004 | 0.0171 | 0.0021 |
| 2016 | L2 | 8.8 | 0.27 | 676.5 | 1.42 | 0.38 | 0.004 | 0.0171 | 0.0021 |
| 2016 | L3 | 8.8 | 0.27 | 675.3 | 1.39 | 0.37 | 0.004 | 0.0170 | 0.0021 |
| 2017 | L1 | 8.8 | 0.28 | 677.1 | 1.42 | 0.38 | 0.004 | 0.0171 | 0.0021 |
| 2017 | L2 | 8.7 | 0.27 | 674.8 | 1.39 | 0.37 | 0.004 | 0.0170 | 0.0021 |
| 2017 | L3 | 8.7 | 0.26 | 673.4 | 1.36 | 0.36 | 0.004 | 0.0170 | 0.0021 |

De emissiefactoren die optreden bij 25 procent motorbelasting zijn typisch voor de periode na 2008 toen de snelheden van binnenschepen werden verlaagd om brandstof te besparen.

**tabel 18** Jaargemiddelde parkemissiefactoren bij 25 procent motorbelasting, (g/kWh)

| Jaar | Tonnagecategorie | Nox | PM | CO2 | CO | VOS | SO2 | N2O | NH3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2009 | L1 | 10.4 | 0.44 | 771.1 | 5.30 | 0.95 | 0.486 | 0.0194 | 0.0024 |
| 2009 | L2 | 10.3 | 0.43 | 766.4 | 5.13 | 0.91 | 0.483 | 0.0193 | 0.0024 |
| 2009 | L3 | 10.4 | 0.43 | 766.5 | 5.08 | 0.90 | 0.483 | 0.0193 | 0.0024 |
| 2010 | L1 | 10.3 | 0.41 | 768.0 | 5.16 | 0.91 | 0.242 | 0.0194 | 0.0024 |
| 2010 | L2 | 10.2 | 0.40 | 763.6 | 5.00 | 0.88 | 0.241 | 0.0193 | 0.0024 |
| 2010 | L3 | 10.3 | 0.40 | 763.5 | 4.95 | 0.87 | 0.241 | 0.0193 | 0.0024 |
| 2011 | L1 | 10.2 | 0.38 | 765.1 | 5.03 | 0.88 | 0.005 | 0.0193 | 0.0024 |
| 2011 | L2 | 10.1 | 0.37 | 760.9 | 4.87 | 0.85 | 0.005 | 0.0192 | 0.0024 |
| 2011 | L3 | 10.2 | 0.37 | 760.6 | 4.81 | 0.84 | 0.005 | 0.0192 | 0.0024 |
| 2012 | L1 | 10.2 | 0.37 | 762.3 | 4.90 | 0.85 | 0.005 | 0.0192 | 0.0024 |
| 2012 | L2 | 10.0 | 0.36 | 758.4 | 4.75 | 0.82 | 0.005 | 0.0191 | 0.0024 |
| 2012 | L3 | 10.1 | 0.36 | 757.8 | 4.69 | 0.81 | 0.005 | 0.0191 | 0.0024 |
| 2013 | L1 | 10.1 | 0.36 | 759.6 | 4.78 | 0.82 | 0.005 | 0.0192 | 0.0024 |
| 2013 | L2 | 9.9 | 0.34 | 756.0 | 4.64 | 0.79 | 0.005 | 0.0191 | 0.0024 |
| 2013 | L3 | 9.9 | 0.34 | 755.2 | 4.57 | 0.78 | 0.005 | 0.0190 | 0.0024 |
| 2014 | L1 | 10.0 | 0.35 | 757.1 | 4.66 | 0.80 | 0.005 | 0.0191 | 0.0024 |
| 2014 | L2 | 9.8 | 0.33 | 753.7 | 4.53 | 0.77 | 0.005 | 0.0190 | 0.0024 |
| 2014 | L3 | 9.8 | 0.33 | 752.7 | 4.45 | 0.75 | 0.005 | 0.0190 | 0.0024 |
| 2015 | L1 | 9.9 | 0.34 | 754.6 | 4.55 | 0.77 | 0.005 | 0.0190 | 0.0024 |
| 2015 | L2 | 9.7 | 0.33 | 751.5 | 4.43 | 0.74 | 0.005 | 0.0190 | 0.0024 |
| 2015 | L3 | 9.7 | 0.32 | 750.3 | 4.34 | 0.72 | 0.005 | 0.0189 | 0.0024 |
| 2016 | L1 | 9.8 | 0.33 | 752.3 | 4.44 | 0.74 | 0.005 | 0.0190 | 0.0024 |
| 2016 | L2 | 9.6 | 0.32 | 749.5 | 4.33 | 0.72 | 0.005 | 0.0189 | 0.0024 |
| 2016 | L3 | 9.7 | 0.31 | 748.1 | 4.24 | 0.70 | 0.005 | 0.0189 | 0.0024 |
| 2017 | L1 | 9.7 | 0.32 | 750.1 | 4.33 | 0.72 | 0.005 | 0.0189 | 0.0024 |
| 2017 | L2 | 9.5 | 0.31 | 747.5 | 4.24 | 0.69 | 0.005 | 0.0188 | 0.0024 |
| 2017 | L3 | 9.6 | 0.30 | 746.0 | 4.14 | 0.67 | 0.005 | 0.0188 | 0.0024 |

## 7.4 Jaarlijkse bepaling

Geadviseerd wordt om minimaal eens per vijf jaar een actualisatie van emissiefactoren uit te laten voeren. Hierbij dient zoveel mogelijk gebruik te worden gemaakt van recente meetrapporten. De afhankelijkheid van de emissiefactoren van de actuele motorbelasting is daarbij een belangrijk aandachtspunt. De in dit protocol geïntroduceerde correctiefactoren (voor onder meer $NO_x$) zijn slechts als voorlopige schattingen te beschouwen.

# 8 Emissies

## 8.1 Nieuwe emissie cijfers

Hieronder worden de emissies gepresenteerd voor hoofdmotoren en hulpmotoren (tabel 13). De tabellen zijn berekend volgens de werkwijze van het protocol.

**tabel 19** Emissies op Nederlands grondgebied door hoofd en hulpmotoren van binnenvaartschepen, miljoen kilogram

| Jaar | $NO_x$ | $PM_{10}$ | $CO_2$ | CO | VOS | $SO_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1995 | 23.4 | 1.17 | 1612 | 6.94 | 1.65 | 1.73 |
| 2000 | 26.0 | 1.17 | 1797 | 6.86 | 1.61 | 1.93 |
| 2002 | 26.3 | 1.13 | 1813 | 6.64 | 1.54 | 1.94 |
| 2003 | 27.1 | 1.14 | 1871 | 6.68 | 1.55 | 2.00 |
| 2004 | 25.1 | 1.04 | 1734 | 6.05 | 1.39 | 1.86 |
| 2005 | 24.1 | 0.98 | 1666 | 5.67 | 1.30 | 1.79 |
| 2006 | 23.6 | 0.94 | 1630 | 5.42 | 1.23 | 1.75 |
| 2007 | 24.0 | 0.95 | 1658 | 5.39 | 1.22 | 1.78 |
| 2008 | 23.8 | 0.87 | 1640 | 5.22 | 1.17 | 1.03 |
| 2009 | 19.0 | 0.76 | 1361 | 4.98 | 1.20 | 0.86 |
| 2010 | 20.5 | 0.77 | 1477 | 5.41 | 1.27 | 0.47 |
| 2011 | 22.0 | 0.77 | 1594 | 5.81 | 1.34 | 0.010 |
| 2012 | 23.9 | 0.82 | 1741 | 5.95 | 1.39 | 0.011 |
| 2013 | 23.2 | 0.78 | 1705 | 5.71 | 1.32 | 0.011 |
| 2014 | 23.5 | 0.77 | 1737 | 5.70 | 1.30 | 0.011 |
| 2015 | 23.7 | 0.77 | 1771 | 5.69 | 1.28 | 0.011 |
| 2016 | 23.3 | 0.74 | 1748 | 5.51 | 1.23 | 0.011 |
| 2017 | 23.7 | 0.74 | 1795 | 5.54 | 1.22 | 0.011 |

## 8.2 Verschil in methodiek

Ten opzichte van het vorige protocol zijn een aantal wijzigingen in de methodiek aangebracht. Bij de berekening van het vermogen wordt vanaf 2009 rekening gehouden met verschil in diepgang als gevolg van deelbelading van de schepen. Verder zijn vrij recent snelheden van binnenschepen beschikbaar uit AIS-data. Met behulp van het Bolt-model is het mogelijk om voor elk afzonderlijk scheepstype per BIVAS-traject (per BIVAS-arcID) het vermogen te berekenen. Omdat emissiefactoren bij lagere motorbelasting sterk kunnen oplopen zijn in het emissiemodel (net als bij zeevaart) correctiefactoren op de emissiefactoren gerelateerd aan de motorbelasting ingevoerd. De toepassing van deze correctiefactoren vindt

plaats op elke combinatie van scheepstype en BIVAS-traject afhankelijk van de berekende motorbelasting.

Verder is er opnieuw gekeken naar de levensduur van de scheepsmotoren omdat er signalen werden ontvangen dat de levensduur van de motoren in de vorige versie van het model te kort is ingeschat. Dit heeft geleid tot een bijstelling van de (Weibull-)parameters waarmee het profiel van de leeftijd van de schepen wordt berekend.

Het ingangsjaar van CCR1 en van CCR2 is in het model 1 jaar later gezet (respectievelijk 2003 en 2008).
De basis NOx-emissiefactor van CCR2 verhoogd van 6 naar 7 g/kWh.

Bij de berekening van de emissies voor de periode 1995 t/m 2008 wordt gebruik gemaakt van de BIVAS-verkeerssamenstelling van het jaar 2008.
Bij de berekening van de emissies voor de periode 2009 t/m 2017 wordt gebruik gemaakt van de BIVAS-verkeerssamenstelling van het jaar 2016.
De gemeten snelheden uit AIS-data zijn afkomstig van de vasteland receivers van Rijkwaterstaat van de maand juli 2015. Toepassing van deze snelheden op de jaren voor 2009 werd niet opportuun geacht gezien de wijzigingen die in 2009 en daarna zijn opgetreden. De snelheden van 1995 tot en met 2008 zijn gekalibreerd op het energiegebruik zoals aangeleverd met het BIVAS-bestand 2008.

## 8.3 Verschil in cijfers

In tabel 14 wordt de som van de emissies van hoofdmotoren en hulpmotoren, berekend met de oude en nieuwe methodiek (wijzigingen op emissiefactoren) met elkaar vergeleken.

**tabel 20** Emissies 2009 en 2017 volgens de EMS-versie van 2012 en het actuele model, miljoen kg

| Jaar | Methode | $NO_x$ | $PM_{10}$ | $CO_2$ | CO | VOS | $SO_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2009 | oud | 21,4 | 0,77 | 1498 | 4,65 | 1,03 | 0,95 |
| | nieuw | 19.0 | 0,76 | 1361 | 4,98 | 1,20 | 0,86 |
| Verschil% | | -11,2% | -1,1% | -9,2% | +7,1% | +16,0% | -9,2% |
| 2017 | oud | 25,3 | 0,70 | 1961 | 5,10 | 1,01 | 0,012 |
| | nieuw | 23,7 | 0,74 | 1795 | 5,54 | 1,22 | 0,011 |
| Verschil% | | -6,3% | +4,9% | -8,5% | +7,9% | +20,1% | -8,5% |

In tabel 14 is te zien dat de veranderingen zowel afnames als toenames bevat. De afnames van CO2, NOx en SO2 houden verband met de lagere belasting van de motoren als gevolg van het verrekenen van varen met gedeeltelijke belading. De verhogingen van PM10 , CO en VOS houden zowel verband met het rekenen met hogere leeftijd van de scheepsmotoren als met het varen in deellast.

# 9 Kwaliteit van de gegevens

De onzekerheden van de verschillende onderdelen van de emissieberekening kunnen worden uitgedrukt in de classificatiesystematiek die wordt gebruikt in de publicatiereeks Emissieregistratie [3]. Deze werkwijze is gebaseerd op de methodiek van CORINAIR (CORe emission INventories AIR).

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

**tabel 21** **Kwaliteit parameters**

| Onderdeel emissieberekening | Parameter | Classificatie |
|---|---|---|
| Emissieverklarende variabele | Aantal vaartuigkilometers onderverdeeld naar kenmerken | B |
| | Vermogensvraagberekening | C |
| Emissiefactoren | CO2 | A |
| | Zwaveldioxide | A |
| | NOx | B |
| | CO | C |
| | Koolwaterstoffen | C |
| | PM | D |

# 10 Verbeterpunten methodiek

## 10.1 Zwakke punten

- De module voor de berekening van het energiegebruik van de schepen waarop de emissies zijn gebaseerd is tijdens het EMS-onderzoek slechts globaal gevalideerd. Hierdoor blijft de nauwkeurigheid van de einduitkomsten onzeker.
- De opbouw van de invoertabel met de emissieverklarende variabele voor met name de vaarbewegingen op verschillende vaarwegen is gebaseerd op de uitkomsten van het BIVAS-model. Hoewel dit een verbetering is ten opzichte van de schattingen in het EMS-model blijft er onzekerheid kleven aan de modelberekening van de omvang van het scheepvaartverkeer op de verschillende vaarwegen.
- Ten slotte zijn de emissiefactoren voor $PM_{10}$ voornamelijk gebaseerd op schattingen van deskundigen omdat er nog steeds weinig (praktijk)metingen zijn gepubliceerd.

## 10.2 Belangrijkste verbeterpunten

- De berekening van het energiegebruik van de schepen zou kwantitatief gevalideerd dienen te worden met behulp van veel recentere praktijkgegevens.
- Het verdient sterke aanbeveling om zowel de omvang als de snelheid van het scheepvaartverkeer te monitoren op basis van waarnemingen die in AIS-data worden vastgelegd.
- Het verdient aanbeveling om de belading van de schepen systematisch te monitoren en in de jaarlijkse emissieberekening op te nemen.
- Het verdient aanbeveling om de emissiefactoren van PM te valideren met behulp van een voldoende aantal kwalitatief goede walmetingen.
- Temporele variatie speelt momenteel nauwelijks een rol bij de vaststelling van emissiegegevens. De grote variatie in waterstanden die in 2018 is opgetreden welke een grote rol speelt bij het energiegebruik van de binnenvaart rechtvaardigt echter veel meer aandacht voor dit fenomeen.

-

# 11 Regionale opsplitsing

Als invoer is hiervoor de export gebruikt van het BIVAS-model van Rijkswaterstaat (emissie_2016_v44.csv). De rekenkern van BIVAS-model was gelijk aan de vorige versie van het hier gepresenteerd rekenmodel (zie hiervoor de modeldocumentatie http://bivas.chartasoftware.com/Article/332).
Het reizenbestand van schepen in het BIVAS-model is een geactualiseerd bestand dat de verkeerssituatie met betrekking tot vrachtverkeer in 2016 op de Nederlandse vaarwegen beschrijft. De export van het BIVAS-model bevat de hoeveelheid energie benodigd voor voortstuwing uitgedrukt in kWh per stukje vaarweg (Vaarweg_Id) uit het NWB (bevat tevens vaarwegen), per EMS-scheepstype met een onderverdeling naar beladen en onbeladen schepen.
De export van het BIVAS-model is direct omgerekend naar emissie-oorzaken die in Emissieregistratie worden gebruikt. Voor de verdeling van de emissies in Emissieregistratie wordt de hoeveelheid primaire energie per emissie-oorzaak per stukje vaarweg als maat voor de relatieve verdeling genomen.

# 13 Referenties


[1] Centrale Commissie voor de Rijnvaart, NAJAARSZITTING 2003 AANGENOMEN BESLUITEN de bijlagen inbegrepen (2003-II), Straatburg 26 en 27 november 2003

[2] CBS en AVV, Nederland en de scheepvaart op de binnenwateren, 2001

[3] Bolt E., Nieuwe klasse-indeling van de huidige actieve binnenvaartvloot, versie 1, 15 november 2003

[4] Klein J. et al., Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands, Task Force on Transportation of the Dutch Pollutant Release and Transfer Register, April 2012

[5] Oonk et al., Methodiek voor afleiding van emissiefactoren van binnenvaartschepen, TNO-MEP R2003/437 versie 2, 1 oktober 2003

[6] Hove D. ten, Scheepskarakteristieken van nieuwe grote schepen, MARIN rapportnr. 24032.600/2, 10 februari 2010

[7] Duyzer J., Westrate H., Hensen A., Kraai A., Onderzoek naar emissiefactoren voor fijnstof en stikstofoxiden voor de binnenscheepvaart (Eindrapport), TNO-rapport 2007-A-R0791/B, juli 2007

[8] Bolt E., Schatting energiegebruik van binnenvaartschepen versie 3, 22 oktober 2003

[9] EPA, Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling-Compression-Ignition, EPA420-P-04-009 NR-009c, April 2004

[10] W. Knörr, C. Heidt, M. Schmied, B. Notter, Aktualisierung der Emissionsberechnung für die Binnenschifffahrt und Übertragung der Daten in TREMOD (Endbericht), 30 November 2013

[11] EU, VERORDENING (EU) 2016/1628 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 14 september 2016 inzake voorschriften met betrekking tot emissiegrenswaarden voor verontreinigende gassen en deeltjes en typegoedkeuring voor in niet voor de weg bestemde mobiele machines gemonteerde

interne verbrandingsmotoren, Publicatieblad van de Europese Unie, L 252/53, 16 september 2016

# Bijlage A Energiegebruik hulpvermogen

. . . . . .

Door middel van een telefonische enquête is het gebruik van hulpvermogen in de vorm van generatoren, boegschroeven en eventuele andere werktuigen in de binnenvaart geïnventariseerd. Hoewel er gezien het relatief kleine aantal ondervraagden geen sprake kan zijn van een representatieve steekproef, is wel gepoogd om van verschillende scheepstypen en scheepsklassen enkele vertegenwoordigers te ondervragen. Daarnaast zijn echter nog verschillen in bedrijfsvorm, vaargebied, dag- of (semi)continuvaart die invloed op de gevraagde zaken kunnen hebben.

## A.1 Ondervraagde schepen

In totaal zijn 96 vrachtschepen en 13 passagiersschepen geënquêteerd.
Voor de vrachtschepen waren 13 vragen met subvragen opgesteld en voor de passagiersschepen 12 vragen met subvragen. Zie bijlage 1 en 2.

Een verdeling naar AVV klassen geeft onderstaande tabel.

| AVV klasse | tank-schepen | vracht-schepen | Pass.schepen | Totaal |
|---|---|---|---|---|
| M7 + M8 (L>86 m) | 5 | 13 | 10 | 33 |
| M6 | 4 | 17 | 3 | 25 |
| M3 + M4 + M5 | 3 | 25 | | 25 |
| M1 + M2 | 4 | 21 | | 25 |
| M0 | | 2 (w.v. 1 duwstel) | | 1 |
| Totaal | | 96 | 13 | 109 |

## A.2 Enquête

De enquete is zodanig opgezet dat, naast de hoofdafmetingen, scheepstype en voortstuwingsvermogen, een goed beeld van de manier waarop het schip gebruikt wordt gevormd kan worden. De vragen betreffen daarom ook het vaargebied, de vaartvorm (continu, semi-continu of dagvaart) en het aantal personen aan boord. De vragenlijst is als bijlage bijgevoegd.
Sommige vragen blijken (zoals te verwachten) moeilijk te beantwoorden te zijn. Genoemde getallen zijn vaak vrij ruwe

schattingen 'uit het blote hoofd' en soms waagt een ondervraagde zich zelfs daar niet aan.

De medewerking van de schippers om aan de enquête deel te nemen was voortreffelijk. Drie schippers weigerden om mee te doen. Een aantal schippers van schepen die reeds over de grens naar het buitenland waren vonden de telefoonkosten een bezwaar. Als het schip weer in Nederland kwam zouden ze wel meedoen.

Voor enkele vragen zijn nog algemene opmerkingen te maken:

**Vraag 5 : Welk bouwjaar.**

Als een gedeelte van het schip verlengd of vernieuwd is worden er meerdere jaartallen genoemd.
Dit geldt ook voor de twee hoofdmotoren.

**Vraag 7 : Welk vaargebied heeft het schip voornamelijk.**

Bij veel schepen zijn meerdere mogelijkheden aangevinkt.
Waarom Rijn/Duitsland en Schelde Rijn verbinding uit de grote vaarwegen gelicht zijn is niet geheel duidelijk.

**Vraag 8 : Welke accommodatie heeft het schip.**

Hierin is vermeld welke personen voornamelijk permanent aan boord zijn.
Vaak zijn er wel meer slaapplaatsen maar die worden niet benut.

**Vraag 9 : Wat is het totale vermogen van de hoofdmotoren.**

Het aantal draaiuren en totaal brandstofverbruik worden geschat.
Bij brandstofverbruik wordt veelal ton/jaar genoemd. Hier wordt 1000 m3/jaar bedoeld.
Het totale brandstofverbruik is veel incl. het verbruik van de hulpmotoren.
Bij motor vermogen gebruiken de schippers meestal nog PK i.p.v. kW.

**Vraag 10 : Welk type hulpmotoren zijn aanwezig.**

De geschatte draaiuren en brandstofverbruik zijn moeilijk op te geven.
Bij meerdere generatoren staat een generator te draaien en de andere(n) zijn reserve. Ook wel wordt dan de een en dan de ander ingeschakeld.
Bij tankschepen komt het voor dat de lading/los pompen via de hoofdmotor worden aangedreven (niet elektrisch). Of dat een koppeling met de hulpmotor van de boegschroef wordt gemaakt. De gemaakte opmerkingen worden in de tekstblokken aangegeven.

**Vraag 11 : Worden de hoofdmotoren gebruikt voor de aandrijving van : ?**

Komt haast niet voor.

**Vraag 12 : Roeren**

Veel schippers weten niet exact wat voor type roer ze hebben en wat de uitslag is.

**Vraag 13 : Vaarsnelheid**

Attentie : De snelheden zijn niet t.o.v. de water maar t.o.v. de grond.

Het brandstofverbruik per uur wordt veelal echt geschat. Dit geldt vooral voor de oudere en kleinere schepen.

**Opmerkingen bij de (afwijkende) vragenlijst van de passagiersschepen.**

**Vraag10 : Walstroom**

Vaak wordt een paar keer per reis op walstroom aangesloten.
De verbruikte walstroom is onbekend of sterk geschat.

**Vraag 12 : Vaarsnelheid**

Als vaarsnelheid is alleen de vaarsnelheid op stilstaand water ingevuld.

De vragen over vaarsnelheden hebben niet betrekking op hulpvermogengebruik, maar dienen ter beeldvorming en ondersteuning van de voortstuwingsberekeningen.

## A.3 Resultaten

### A.3.1 Vrachtschepen

In de navolgende tabel zijn de gemiddelde waarden van de gegeven getallen vermeld, allen herleid tot de aangegeven eenheden.

| AVV-klasse | scheepstype | aantal | boegschroef vermogen | boegschroef draaiuren | generator-draaiuren | generator-brandstof | brandstof totaal | boegschroef-energoie-verbruik | brandstof boegschroef | gemiddeld generator-vermogen | brandstof (bs + gen) tov voorstst. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 1) | 2) | 3) | 4) |
| | | | kW | u/jaar | u/jaar | m3/ jaar | m3/ jaar | kWu/jaar | ton/jaar | kW | % |
| | containerschip | 1 | 707 | | 8760 | 29 | | | | 9 | |
| | motorvrachtschip | 1 | 0 | | 1560 | | 150 | | | | |
| M0 | duwstel | 1 | 0 | | 100 | 0 | 40 | | | 0 | 0% |
| M0 | motorvrachtschip | 1 | 0 | | 4380 | 13 | 190 | | | 4 | 7% |
| M1 | motorschip met bak(ken) | 1 | 0 | | 840 | 1 | 50 | | | 0 | 1% |
| M1 | motorvrachtschip | 5 | 43 | 72 | 648 | 2 | 26 | 1556 | 0 | 1 | 10% |
| M2 | motortankschip | 4 | 56 | 263 | 5651 | 15 | 125 | 7342 | 2 | 5 | 16% |
| M2 | motorvrachtschip | 15 | 135 | 485 | 2398 | 4 | 70 | 32666 | 8 | 1 | 24% |
| M3 | motorvrachtschip | 9 | 120 | 185 | 2178 | 5 | 63 | 11079 | 3 | 2 | 16% |
| M4 | motortankschip | 1 | 116 | 208 | 8760 | 51 | 485 | 12094 | 3 | 16 | 13% |
| M4 | motorvrachtschip | 9 | 165 | 314 | 4742 | 11 | 142 | 25959 | 6 | 3 | 14% |
| M5 | motortankschip | 2 | 791 | 568 | 8760 | 15 | 555 | 224701 | 52 | 5 | 16% |
| M5 | motorvrachtschip | 7 | 189 | 333 | 4545 | 16 | 144 | 31534 | 7 | 5 | 21% |
| M6 | motorschip met bak(ken) | 3 | 420 | 1048 | 7543 | 31 | 643 | 219898 | 51 | 10 | 17% |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M6 | motortankschip | 4 | 208 | 287 | 8760 | 16 | 476 | 29837 | 7 | 5 | 5% |
| M6 | motorvrachtschip | 14 | 244 | 338 | 6629 | 14 | 226 | 41270 | 9 | 4 | 13% |
| M7 | motorvrachtschip | 1 | 258 | 624 | 7300 | 18 | 220 | 80371 | 18 | 6 | 22% |
| M8 | containerschip | 2 | 431 | 965 | 8760 | 65 | 530 | 415490 | 96 | 21 | 51% |
| M8 | motorschip met bak(ken) | 1 | 331 | 400 | 8760 | 26 | 309 | 132480 | 30 | 8 | 25% |
| M8 | motortankschip | 5 | 290 | 832 | 8308 | 39 | 621 | 241151 | 55 | 12 | 21% |
| M8 | motorvrachtschip | 9 | 306 | 541 | 7386 | 26 | 409 | 165740 | 38 | 8 | 21% |

**geen onderscheid naar type**

| AVV-klasse | scheepstype | aantal | boegschroef vermogen | boegschroef draaiuren | generator-draaiuren | generator-brandstof | brandstof voortstuwing | boegschroef-vermogen | brandstof boegschroef | generatorvermogen | brandstof (bs + gen) tov voorstst. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 353 | | 5160 | 29 | 150 | | | 9 | 24% |
| M0 | alle | 2 | 0 | | 2240 | 7 | 115 | | | 2 | 6% |
| M1 | alle | 6 | 36 | 72 | 686 | 2 | 30 | 1297 | 0 | 1 | 7% |
| M2 | alle | 19 | 118 | 458 | 3121 | 6 | 81 | 27003 | 6 | 2 | 19% |
| M3 | alle | 9 | 120 | 185 | 2178 | 5 | 63 | 11079 | 3 | 2 | 16% |
| M4 | alle | 10 | 160 | 304 | 5144 | 16 | 176 | 24339 | 6 | 5 | 15% |
| M5 | alle | 9 | 323 | 386 | 5482 | 15 | 247 | 62256 | 14 | 5 | 15% |
| M6 | alle | 21 | 263 | 430 | 7166 | 17 | 333 | 56376 | 13 | 5 | 11% |
| M7 | alle | 1 | 258 | 624 | 7300 | 18 | 220 | 80371 | 18 | 6 | 22% |
| M8 | alle | 17 | 318 | 668 | 7899 | 34 | 471 | 106095 | 24 | 11 | 16% |

**alle schepen**

| AVV-klasse | scheepstype | aantal | boegschroef vermogen | boegschroef draaiuren | generator-draaiuren | generator-brandstof | brandstof voortstuwing | boegschroef-vermogen | brandstof boegschroef | generatorvermogen | brandstof (bs + gen) tov voorstst. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| alle | alle | 96 | 208 | 427 | 5179 | 14 | 228 | 44292 | 10 | 5 | 13% |

1) berekend als boegschroefvermogen * boegschroef-uren per jaar * 50% gemiddeld ingezet vermogen
2) berekend op basis van specifiek verbruik 230g/kWh en soortelijke massa 830 kg/m3
3) gemiddeld gevraagd generatorvermogen tijdens generatoruren, teruggerekend uit generator-brandstofverbruik op basis van 300g/kVA
4) toeslag verbruik voor hulpvermogen op brandstofverbruik voor voortstuwing op basis van soortelijke massa 830 kg/m3

De tabel bevat (detail)resultaten die niet erg waarschijnlijk zijn. Voor een deel komt dat door de omrekening per jaar, waardoor ogenschijnlijk kleine inschattingsfouten opgeblazen kunnen worden. Waarschijnlijk is echter dat veel ondervraagden, zoals ze vaak zelf ook al aangaven, er echt een slag naar hebben geslagen en daarbij wellicht een factor 3 verkeerd zaten. Ook zullen er hoofdrekenfouten

tussen zitten; hier en daar lijkt er een factor 10 verkeerd te zitten. Evidente fouten, zoals 600 uur per week zijn er echter uit gehaald. De fouten manifesteren zich vooral bij de detailgegevens. Over de hele linie lijkt een toeslag van zo'n 13%, gemiddelde van alle schepen, op het brandstofverbruik een redelijke schatting.

### A.3.2 Passagiersschepen

Van een 13-tal grote passagiersschepen (hotelschepen) zijn gegevens verzameld. Hoewel op deze schepen behoorlijke hoeveelheden elektrisch vermogen worden gevraagd (ook de boegschroeven zijn vaak elektrisch), blijkt hier niet veel van in de gegeven cijfers voor het jaarlijkse brandstofverbruik. Uitgaande van het aantal draaiuren van de hoofdmotoren, het voortstuwingsvermogen en een gemiddelde belasting van 80% volgt een jaarlijkse brandstofhoeveelheid die al (gemiddeld 7%) groter is dan het opgegeven totaal, inclusief hulpvermogen.

## A.4 Algemeen:

De medewerking van de schippers om aan de enquête deel te nemen was voortreffelijk. Drie schippers weigerden om mee te doen. Een aantal schippers van schepen die reeds over de grens naar het buitenland waren vonden de telefoonkosten een bezwaar. Als het schip weer in Nederland kwam zouden ze wel meedoen.

Bijlage: enquête vrachtschepen

VRAGENLIJST aanwezigheid en gebruik hulpmotoren op binnenvaartschepen

Naam schip

Naam geïnterviewde

eigenaar/rederij

1 Welk type schip is dit ? Aankruisen indien van toepassing

- motorvrachtschip
- mvs met bak(ken)
- motortankschip
- containerschip
- duwstel
- *passagiersschip* *(andere vragenlijst!)*

2 Wat is het registratienummer van het schip ? (controleer a.d.v. lijst)

3 Welke type lading vervoert dit schip ?

- droge bulk
- natte bulk/gassen
- containers

4 Welke hoofdafmetingen heeft het schip (duwstel/koppelverband: in meest gebruikelijke samenstelling)

- lengte m
- breedte m
- max. diepgang m
- laadvermogen ton

5 Welk bouwjaar romp ☐ (jaartal)
motor ☐ (jaartal) laatste revisie ☐

6 In welk type vaart zit het schip?
dagvaart ☐
semi-continuvaart ☐
continuvaart ☐

7 Welk vaargebied heeft het schip voornamelijk?
Rijn / Duitsland ☐
Schelde-Rijn verbinding ☐
Overige grote vaarwegen ☐
kleinere vaarwegen ☐

8 Welke accommodatie heeft het schip?
woning voor ☐ personen (mensen permanent aan boord)
of: dagverblijf voor ☐ personen (geen slaapplaatsen)
gezin aan boord? ☐

9 Wat is het totale vermogen van de hoofdmotor(en) ?
☐ kW / PK*
aantal draaiuren ☐ uur/jaar
aantal schroeven ☐
totaal brandstofverbruik ☐ liter/jaar Geschatte draaiuren

| 10 Welk type hulpmotoren zijn aanwezig ? | aantal | totaal vermogen | eenheid | eenheid | per |
|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Generator(en) | | | KVA | | uur | dag / week / jaar* | | | |
| | licht belast (0-25%): | gemiddeld | | uren per dag | | | | | | |
| | normaal belast (25-75%) | gemiddeld | | uren per dag | }*of:* | *gem. dieselverbruik* | | *liter per* | uur / dag / week / jaar* | |
| | zwaar belast (75-100%) | gemiddeld | | uren per dag | | | | | | |
| | Boeg en/of hekschroeven | | | kW / PK* | | uur | dag / week / jaar* | | | |
| | merk | | | | | | | | | |
| | type (2/3/4 kanaals / rooster /..) | | | | | | | | | |
| lading/ballastpompen | Pompinstallaties | | | kW / PK* | | uur | dag / week / jaar* | | | |
| | Andere nl …. | | | kW / PK* | | uur | dag / week / jaar* | | | |

11 Worden de hoofdmotoren gebruikt voor de aandrijving van: ?

| | | | totaal vermogen | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Asgenerator(en) | | | KVA | |
| (verbruikers:) | Boeg en/of hekschroeven | | | KVA | (indien electrisch aangedreven) |
| | Pompinstallaties | | | KVA | (indien electrisch aangedreven) |
| | Andere nl …. | | | KVA | (indien electrisch aangedreven) |

12 Roeren:

| | | |
|---|---|---|
| aantal | | |
| type | | |
| max. roerhoek | | graden |

13 Vaarsnelheid welke snelheid vaart u meestal (bij voorkeur, normale omstandigheden; snelheid door het water):

| | | | | | of motortoerental | | brandstofverbruik daarbij ongeveer: | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| geladen | op (ruim) stilstaand water | | km/u | | toeren | | liter/uur |
| | stroomopwaarts | | km/u | | toeren | | liter/uur |
| | stroomafwaarts | | km/u | | toeren | | liter/uur |
| leeg | op (ruim) stilstaand water | | km/u | | toeren | | liter/uur |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| stroomopwaarts | | km/u | | toeren | | liter/uur |
| stroomafwaarts | | km/u | | toeren | | liter/uur |

M A R I N
P.O. Box 28

6700 AA Wageningen
The Netherlands

**T** +31 317 49 39 11
**E** info@marin.nl

**I** www.marin.nl