

TNO-rapport**TNO 2013 R11211****Kentallen zeeschepen ten behoeve van
emissie- en verspreidingsberekeningen in
AERIUS****Earth, Environmental and Life
Sciences**Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrechtwww.tno.nl

T +31 88 866 42 56

infodesk@tno.nl

Datum	13 augustus 2013
Auteur(s)	Ir. J.H.J. Hulskotte
Oplage	Digitaal
Aantal pagina's	30 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	6
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat
Projectnaam	DVS Luchtadviesing, kentallen emissie zeescheepvaart
Projectnummer	034.24164
Postscannummer	TNO-060-UT-2013-00657

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2013 TNO

Dankwoord

De auteur wil alle deelnemers van de overleggroep danken voor hun kritische en constructieve bijdragen in de uitgebreide discussies die de totstandkoming van dit rapport mogelijk hebben gemaakt. De bruikbaarheid van het eindproduct is dankzij hun bijdragen aanzienlijk verbeterd. Dank aan Rob Houben (Havenbedrijf Rotterdam), Wilco van der Lans (Royal Haskoning DHV), Jan Aben (RIVM), Satyan Ramlal en Diederik Metz (ministerie van EZ, Aerijs-team), Riekele de Boer (RWS, Water, Verkeer en Leefomgeving).

Tevens is dank verschuldigd aan Romuald te Molder (RIVM, Emissieregistratie) die de bestanden ter beschikking heeft gesteld die de basis van dit rapport vormen.

Inhoudsopgave

	Dankwoord	2
1	Inleiding	4
2	Gebruikte invoer	6
3	Afleiding emissiekentallen	8
3.1	Emissiekentallen varende schepen	8
3.2	Emissiekentallen stilliggende schepen	9
4	Afleiding warmteoutput	11
4.1	Warmteoutput varende schepen	11
4.2	Warmteoutput stilliggende schepen	11
5	Afleiding schoorsteenhoogte	13
6	Afleiding opslagfactoren voor manoeuvreren	14
7	Afleiding van trendfactoren	17
8	Referenties	19
9	Verantwoordingspagina	20
	Bijlage(n)	
	A Emissiekentallen 2011	
	B Trendfactoren relatief t.o.v. 2011	
	C Warmte-output	
	D Schoorsteenhoogte	
	E Opslagfactor manoeuvreren bij aankomst en vertrek	
	F Gemiddelde scheepsgrootte per scheepstype	

1 Inleiding

Het rekeninstrument AERIUS is één van de pijlers van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS). AERIUS berekent de stikstofdepositie van projecten en plannen op Natura 2000-gebieden. AERIUS ondersteunt de vergunningverlening voor economische activiteiten die gepaard gaan met uitstoot van stikstof en monitort of de totale stikstofbelasting blijft dalen. Ook faciliteert AERIUS ruimtelijke planvorming in relatie tot stikstof.

Economische activiteiten kunnen consequenties hebben voor de depositiebijdrage van zeeschepen. Bijvoorbeeld industriële activiteiten in havengebieden die leiden tot extra vaarbewegingen. Met AERIUS kan de depositiebijdrage worden bepaald als gevolg van deze extra vaarbewegingen.

In opdracht van de dienst WVL van Rijkswaterstaat heeft TNO kentallen voor zeeschepen opgesteld die kunnen worden gebruikt bij de emissie- en verspreidingsberekeningen in AERIUS. Dit rapport dient als onderbouwing en documentatie van de kentallen die in AERIUS zullen worden ingebouwd.

Bij het opstellen van de kentallen zijn de kentallen voor zeeschepen die zijn vastgelegd in het rapport *Scheepvaartmodellering Fase 2: in consensus naar een nationale aanbeveling* (Erbrink et al. 2011) als basis genomen.

Voor gebruik in AERIUS is een aantal bewerkingen vereist, zoals:

- actualisatie waarden van kentallen¹,
- uitbreiding met kentallen voor varen op zee,
- uitbreiding met kentallen voor toekomstjaren.

Voor verschillende categorieën van scheepstypen en tonnageklassen zijn de volgende kentallen afgeleid:

- emissiekentallen stikstofoxiden (NO_x) en fijn stof (PM₁₀) in 2011,
- trendfactoren (voor de bepaling van emissiefactoren in de periode 2012-2030),
- opslagfactoren voor emissiefactoren bij manoeuvreren,
- warmte-output,
- schoorsteenhoogtes.

Bij de emissiefactoren, warmte-output en schoorsteenhoogtes is hierbij onderscheid gemaakt tussen:

- stilliggen,
- varen in de haven,
- varen op zee.

Voor de inhoudelijke begeleiding van de werkzaamheden om te komen tot de kentallen, is een overleggroep in het leven geroepen waarin zitting hadden: Rijkswaterstaat (WVL), ministerie van EZ (AERIUS), RIVM en Havenbedrijf Rotterdam.

¹ De kentallen in het rapport van 2011 gaan uit van AIS data over 2008. Op dit moment is AIS data over 2011 beschikbaar

Hoofdstuk 2 geeft een toelichting op de bestanden met basisgegevens die zijn gebruikt bij het opstellen van de kentallen. De wijze waarop de kentallen zijn afgeleid van de basisgegevens is toegelicht in de hoofdstukken 2 tot en met 7. In de bijlagen A tot en met E zijn tabellen met de kentallen opgenomen.

2 Gebruikte invoer

De bestanden die als invoer voor de afleiding van de kentallen zijn gebruikt hebben betrekking op het basisjaar 2011 en zijn ter beschikking gesteld door het RIVM. Het betreft hier de volgende twee bestanden:

1. "Emissies_2011_uit_AIS_MARIN_NCP.mdb" met emissiegegevens over 2011 van de zeescheepvaart (uitgezonderd vissersschepen) op het Nederlandse Continentale Plat NCP afgeleid van AIS-data;
2. "Emissions_2011_MARIN_Dutch_PortAreas.mdb" met emissiegegevens over 2011 van de belangrijkste havengebieden afgeleid van AIS-data.

Deze bestanden zijn geproduceerd in het kader van de nationale Emissieregistratie onder meer om de GCN/GDN-kaarten te produceren en als invoer voor het bestand van de Emissieregistratie dat als bron van veel nationale rapportages wordt toegepast. Het betreft hiermee cijfers die een erkende landelijke status bezitten. Een uitgebreide methodiekbeschrijving van de wijze waarop deze twee bestanden tot stand zijn gekomen staat in het desbetreffende MARIN rapport (Van der Tak et al, 2011).

Het format van beide databestanden is nagenoeg identiek. Het format van "Emissies_2011_uit_AIS_MARIN_NCP.mdb" staat weergegeven in Figuur 1.

	Field Name	Data Type	Description
	Region	Text	12Mile (within 12 nautical miles from coast); OutOf12 (NCP outside 12 nautical miles from coast)
	x_rdm_lu	Number	left under position of grid cell (5000 x 5000 m) in x -direction
	y_rdm_lu	Number	left under position of grid cell (5000 x 5000 m) in y -direction
	x	Number	grid_cell_nr_x
	y	Number	grid_cell_nr_y
	Latitude	Number	Latitude in WGS84 of centre of grid cell
	Longitude	Number	Longitude in WGS84 of centre of grid cell
	EMS_type_upd	Number	EMS_type updated, see table EMS_type_decode
	size	Number	EMS size class (0 = <100 GT; 1 = 100 - <1600 GT; 2 = 1600 - <3000 GT; 3 = 3000 - <5000 GT; 4 = 5000 - <10,000 GT; 5 = 10,000 - <30,000 GT; 6 = 30,000 - >30,000 GT)
	Substance	Number	number of substance
	Moving	Number	moving =1, non-moving =1 (at anchor or speed < 1 knots)
	EU	Number	0 is non-EU-flag; 1 is EU-flag
	SumOfHours	Number	sum of hours of ships in cell
	SumOfGTHours	Number	sum of hours 8 Gross Tonnage of ships in grid cell
	SumOfEmission_ME_kg	Number	Emission of main engine in kg in the grid cell per year
	SumOfEmission_AE_kg	Number	Emission of main auxiliary engine in kg in the grid cell per year
	SumOfSpeed_AIS	Number	Sum of count * AIS speed (average speed_AIS follows from this field / (30 * SumOfHours)
	SumOfSpeed_used	Number	Sum of count * Speed_used (average speed_used follows from this field / (30 * SumOfHours)
	SumOfkW_ME_used	Number	Sum of count * kW_ME_used (average kW_ME_used follows from this field / (30 * SumOfHours)
	SumOfkW_AE_used	Number	Sum of count * kW_AE_used (average kW_AE_used follows from this field / (30 * SumOfHours)
	SumOfrpm_used	Number	Sum of count * rpm_used (average rpm_used follows from this field / (30 * SumOfHours)
	Fuel_ME	Text	Fuel of main engine
	Fuel_AE	Text	Fuel of main auxiliary engine

Figuur 1 Format van het gebruikte databestand NCP

Het enige verschil tussen de twee invoerbestanden is dat in het bestand voor de havengebieden ("Emissions_2011_MARIN_Dutch_PortAreas.mdb") in het veldRegion onderscheid wordt gemaakt naar de gebieden WS (Westerschelde), Rdam (Rotterdam), Adam (Amsterdam) en Eems (Eems). Verder zijn in de havengebieden de vierkanten (x_rdm_lu en y_rdm_lu) in vakken van 500x500 meter gegeven in plaats van in vakken van 5000x5000 meter.

De toegepaste scheepstype indeling die bij de afleiding van de kentallen is gehanteerd, is ten opzichte van de oorspronkelijke indeling (EMS_type_upd_decode) gecondenseerd. De toegepaste indeling is weergegeven in Tabel 1. In Tabel 2 zijn de grootteklassen (tonnageklassen) aangegeven waarvan per scheepstype is uitgegaan. De klassen zijn uitgedrukt in Gross Tonnage (GT).

Tabel 1 Toegepaste scheepstype indeling in dit rapport

Scheepstype	EMS_type_upd_decode
Hoofdgroep 1: Olie-tankers, overige tankers	Oil tanker
Hoofdgroep 1: Olie-tankers, overige tankers	Chemical/LNG/LPG tanker
Hoofdgroep 2: Bulkschepen	Bulk carrier
Hoofdgroep 3: Container, GDC (stukgoed), RoRo	Container ship
Hoofdgroep 3: Container, GDC (stukgoed), RoRo	General Dry Cargo
Hoofdgroep 3: Container, GDC (stukgoed), RoRo	RoRo Cargo / Vehicle
Hoofdgroep 4: Passagiersschepen	Passenger
Hoofdgroep 5: Koelschepen en Vissersschepen	Reefer
Hoofdgroep 5: Koelschepen en Vissersschepen	Fishing
Hoofdgroep 6: Sleepboten, werkschepen en overige	Miscellaneous
Hoofdgroep 6: Sleepboten, werkschepen en overige	Tug/Supply
Hoofdgroep 6: Sleepboten, werkschepen en overige	Non Merchant

Tabel 2 Tonnageklassen (GT)

1	100 – 1599
2	1600 – 2999
3	3000 – 4999
4	5000 – 9999
5	10000 – 29999
6	30000 – 59999
7	60000 – 99999
8	≥ 100000

3 Afleiding emissiekentallen

Bij de emissiekentallen in het rapport Scheepvaartmodellering Fase 2 (Erbrink et al. 2011) is uitgegaan van differentiatie in de kentallen tussen verschillende havengebieden. De verschillen in emissiekentallen tussen havengebieden blijken mede het gevolg van de verschillen in de beschikbaarheid van basisgegevens voor deze havengebieden. In de overleggroep is er daarom voor gekozen om:

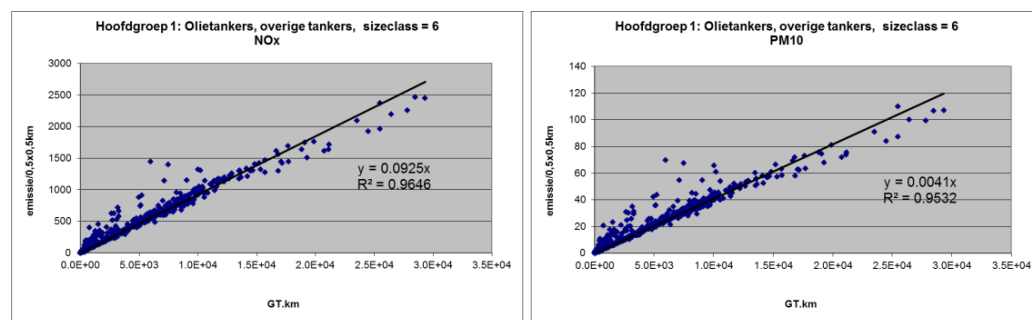
- De differentiatie per havengebied los te laten en uit te gaan van gemiddelde emissiekentallen die gelden voor elk havengebied,
- Een verder differentiatie aan te brengen in de grootteklassen (8 klassen in plaats van 4 klassen).

Hiermee kan bij berekening van emissie en depositie voor plannen en projecten meer in detail rekening worden gehouden met de grootte van de schepen, en wordt voorkomen dat verschillen optreden tussen havengebieden die geen recht doen aan de praktijk en waarvoor een robuuste onderbouwing ontbreekt.

De methodiek voor het afleiden van de emissiekentallen voor de stoffen NO_x en PM_{10} is in lijn met de methodiek die is toegepast in onderzoek Scheepvaartmodellering Fase 2 (Erbrink et al, 2011).

3.1 Emissiekentallen varende schepen

De rekenmethodiek is opgebouwd uit twee stappen. In de eerste stap zijn door middel van lineaire regressie de emissiefactoren in $\text{kg}/1000\text{GT.km}$ afgeleid. Dit is gedaan door voor ieder kaartvierkant van $0,5 \times 0,5$ kilometer de emissies van een bepaald scheepstype te sommeren en uit te zetten tegen de verkeersprestatie uitgedrukt als GT.km (het product van Grosstonnage vermenigvuldigd met afgelegde kilometers). De regressielijnen werd in MS-excel bepaald waarbij een lijn door de oorsprong als uitgangspunt werd genomen en de richtingscoëfficiënt als primaire emissiefactor werd genoteerd (zie Figuur 2).



Figuur 2 Afleiding emissiefactoren door middel van lineaire regressie

In de tweede stap is de emissiefactor per scheepstype voor een bepaalde grootteklasse bepaald door de genoteerde primaire emissiefactoren te vermenigvuldigen met de gemiddelde grootteklasse die van de AIS-data werd

afgeleid. In Tekstkader 1 staat een voorbeeldberekening voor de emissiefactor van varende olietankers met grootteklasse 6.

Tekstkader 1 Rekenvoorbeeld afleiding emissiefactoren van varende zeeschepen.

Stap 1: $EF'_{1,6} = 0,0925 \text{ kg NOx}/1000\text{GT.km}$, (primaire emissiefactor EF')

$GT_{1,6} = 40.854$, (gemiddelde GT-waarde voor alle havengebieden van tankers met Tonnageklasse 6)

Stap 2: $EF_{1,6} = 0,0925 * 40,854 = 3,78 \text{ kg NOx}/\text{km}$, (toepasbare emissiefactor EF)

$_{1,6}$: Scheepstype = Hoofdgroep 1, Tonnageklasse = 6

De primaire emissiefactoren zijn afzonderlijk afgeleid voor varen binnen de havengebieden en voor varen op zee (NCP: Nederlandse Continentaal Plat). De gemiddelde GT-waarden zijn berekend op basis van de AIS data van de havengebieden en zijn toegepast voor zowel de havengebieden als het NCP.

3.2 Emissiekentallen stilliggende schepen

De rekenmethodiek is opgebouwd uit twee stappen. In de eerste stap zijn de emissiekentallen (Tabel 2) voor de 6 scheepstypen rechtstreeks afgeleid van het bestand "Emissions_2011_MARIN_Dutch_PortAreas.mdb" door sommatie van de emissies en deling door het totaal van GHours*1000.

Tabel 2 Emissiekentallen voor stilliggende zeeschepen

Scheepstype	NO _x (g/GT*1000.uur)	PM ₁₀ (g/GT*1000.uur)
Hoofdgroep 1: Olietankers, overige tankers	400	10
Hoofdgroep 2: Bulkschepen	87	2
Hoofdgroep 3: Container, GDC (stukgoed), RoRo	168	4
Hoofdgroep 4: Passagiersschepen	245	6
Hoofdgroep 5: Koelschepen en Vissereschepen	1245	25
Hoofdgroep 6: Sleepboten, werkschepen en overige	586	11

In de tweede stap is de emissiefactor per scheepstype voor een bepaalde grootteklasse bepaald door de emissiekentallen uit Tabel 2 te vermenigvuldigen met de gemiddelde grootteklasse op basis van AIS-data. In Tekstkader 2 staat een voorbeeldberekening hoe de emissiefactor van varende olietankers met grootteklasse 6 is bepaald.

Tekstkader 2 Rekenvoorbeeld afleiding emissiefactoren van stilliggende zeeschepen

Stap 1: $EF'_{1,6} = 400 \text{ g NOx}/1000\text{GT.uur}$, (emissiekental tankers)

$GT_{1,6} = 40.854$, (gemiddelde GT-waarde voor alle havengebieden van tankers met Tonnageklasse 6)

Stap 2: $EF_{1,6} = 400 * 40,854 = 16,3 \text{ kg NOx/uur}$, (toepasbare emissiefactor EF)

$_{1,6}$: Scheepstype = Hoofdgroep 1, Tonnageklasse = 6

4 Afleiding warmteoutput

De waarden voor de Warmteoutput zijn afgeleid met een methodiek die nagenoeg gelijk is aan de methodiek die is toegepast in het onderzoek Scheepvaartmodellering Fase 2 (Erbrink et al, 2011).

De warmteoutput van de schepen (in MW) is berekend op basis van de CO₂-emissie omdat de CO₂-emissie direct gerelateerd is aan de brandstofinput. Voor de berekening van de warmteoutput zijn gegevens nodig over:

- 1) Het deel van de warmteproductie (ten gevolge van het brandstofverbruik) dat uit de schoorsteen ontwijkt.
- 2) De tijdsduur per scheepscategorie waarin CO₂ in overeenstemming met het brandstofverbruik wordt geëmitteerd.

Deze tijdsduur is rechtstreeks uit de AIS-data gehaald (SumOfHours). Uit publicaties van fabrikanten van scheepsmotoren (o.m. Wärtsila) is bekend dat ongeveer 25% van de warmte-inhoud van de brandstof het schip via de schoorsteen verlaat.

De warmteoutput gerelateerd aan de CO₂-emissie is dan $0,25 \times 41,5$ (MJ/kg brandstof) / $3,17$ (CO₂-emissiefactor) = $3,3$ MJ/kg CO₂.

4.1 Warmteoutput varende schepen

De warmteoutput in MW van varende zeeschepen is rechtstreeks verkregen door de volgende formule toe te passen op de varende zeeschepen (moving =1).

$$\text{CO}_2\text{-emissie} \times 3,3 / (\text{Sumofhours} \times 3600)$$

4.2 Warmteoutput stilliggende schepen

De warmteoutput van stilliggende schepen is in twee stappen afgeleid. Eerst werd de warmteoutput per scheepstype in MW/GT*1000.uur afgeleid door de volgende formule toe te passen:

$$\text{CO}_2\text{-emissie} \times 3,3 / (\text{GThours} \times 3600 / 1000)$$

Waarbij:

CO ₂ -emissie	= emissie van een bepaalde scheepscategorie (kg)
3,3	= Warmteoutput in MJ/kg CO ₂
GThours	= Totale ligtijd uit AIS (uren)*GT (rechtstreeks uit invoerbestand)
3600	= seconden/uur

De berekening met bovenstaande formule levert een tabel op met waarden die gebruikt kunnen worden om de warmteoutput per scheepstype en grootteklasse te berekenen.

Tabel 3 Warmteoutput van stilliggende zeeschepen

Scheepstype	Warmte-output (MW/GT*1000)
Hoofdgroep 1: Olietankers, overige tankers	0,054
Hoofdgroep 2: Bulkschepen	0,007
Hoofdgroep 3: Container, GDC (stukgoed), RoRo	0,016
Hoofdgroep 4: Passagiersschepen	0,020
Hoofdgroep 5: Koelschepen en Vissersschepen	0,056
Hoofdgroep 6: Sleepboten, werkschepen en overige	0,027

In Tekstkader 3 staat een voorbeeldberekening voor de warmteoutput van stilliggende olietankers in grootteklasse 6. In Bijlage F staan de gemiddelde GT-waarden per scheepstype en scheepsgrootteklasse.

Tekstkader 3 Rekenvoorbeeld afleiding warmteoutput van stilliggende schepen

Stap 1: $W_{1,6}$	= 0,054, (MW/GT*1000), (warmteoutput per scheepstype)
$GT_{1,6}$	= 40.854, (gemiddelde GT-waarde voor alle havengebieden van Olietankers in Tonnageklasse 6)
Stap 2: $W_{1,6}$	= 0,054 * 40,854 = 2,21 MW (toepasbare warmteoutput)
$_{1,6}$: Scheepstype = Hoofdgroep 1, Tonnageklasse = 6

5 Afleiding schoorsteenhoogte

De waarden voor de schoorsteenhoogte zijn afgeleid met een methodiek die geheel in lijn is met de methodiek die is toegepast in het onderzoek Scheepvaartmodellering Fase 2 (Erbrink et al, 2011). Hierbij is de verhouding van scheepslengte en schoorsteenhoogte door het inmeten van geselecteerde scheepsfoto's bepaald.

De formule voor de afleiding van de schoorsteenhoogte die is toegepast luidt:

$$H = c * X * (GT)^n$$

Waarbij:

H = Schoorsteenhoogte (meter)

c = Gemeten coëfficiënt schoorsteenhoogte H / scheepslengte L (./.)

X = Gemeten coëfficiënt voor bepaling scheepslengte uit GT

n = Macht voor bepaling scheepslengte uit GT

GT = gemiddelde scheepsgrootte in gross-ton

Tabel 4 Parameters voor de bepaling van de schoorsteenhoogte uit gross-tonnage (GT)

Scheepstype	c	X	n	Kade-correctie (meter)
Hoofdgroep 1: Olietankers, overige tankers	0,17	9,00	0,30	9
Hoofdgroep 2: Bulkschepen	0,14	8,18	0,31	10
Hoofdgroep 3: Container, GDC (stukgoed), RoRo	0,17	5,54	0,36	9
Hoofdgroep 4: Passagiersschepen	0,20	10,40	0,29	10
Hoofdgroep 5: Koelschepen en Vissersschepen	0,20	10,50	0,28	5
Hoofdgroep 6: Sleepboten, werkschepen en overige	0,21	7,50	0,31	5

De gemiddelde schoorsteenhoogtes zijn afgeleid van de gemiddelde waarden van het grosstonnage van de schepen. Om te corrigeren voor de hoogte van de kade (en de extra diepgang bij aankomst) wordt een extra correctie toegepast voor de stilliggende zeeschepen. In Bijlage F staan de gemiddelde GT-waarden van de verschillende scheepstypen en scheepsgrootteklassen.

Tekstkader 4 Rekenvoorbeeld afleiding schoorsteenhoogte van varende en stilliggende schepen

GT_{1,6} = 40.854, (gemiddelde GT-waarde voor alle havengebieden tankers in Tonnageklasse 6 (30000-59999 GT))

Varende schepen:

$$H_{1,6} = 0,17 * 9,00 * (40.854)^{0,3} = 37,0 \text{ meter}$$

Stilliggende schepen:

$$H_{1,6} = 0,17 * 9,00 * (40.854)^{0,3} - 9 = 28,0 \text{ meter}$$

_{1,6} : Scheepstype = Hoofdgroep 1, Tonnageklasse = 6

6 Afleiding opslagfactoren voor manoeuvreren

Wanneer de emissies door de zeescheepvaart in de AIS bestanden (voor vakken van 500x500 meter) worden vergeleken met de emissies die voor deze vakken worden berekend met de afgeleide emissiekentallen (paragraaf 3.1), blijken er significante verschillen te bestaan. Met name in en nabij havenbekkens. Op deze locaties liggen de emissies in AIS hoger dan de emissies op basis van de afgeleide emissiefactoren. Het is aannemelijk dat deze verschillen kunnen worden toegeschreven aan de emissies als gevolg van manoeuvreren.

Om te voorkomen dat gebruik van de afgeleide emissiefactoren leidt tot een onderschatting van de emissies, zijn zogenoemde opslagfactoren afgeleid.

Hiertoe is allereerst een selectie gemaakt van de vakken waarvoor geldt dat de emissies op basis van AIS data tenminste 10% hoger zijn dan op basis van de afgeleide emissiefactoren². In tabel 5 is voor deze vakken de relatieve meer-emissie per grootteklasse aangegeven. Daarbij is ook onderscheid gemaakt tussen de minimale totale meer-emissies per vak (500, 1000, 1500 of 2000 kg).

Tabel 5 Relatieve meer-emissie t.o.v. emissie berekend met emissiefactoren NOx bij afwijking > 10% per vierkant, (factor= emissie bestand/emissie berekend)

Grootteklasse	500 kg/vierkant	1000 kg/vierkant	1500 kg/vierkant	2000 kg/vierkant
1	1,31	1,77	1,37	
2	2,04	1,77		
3	1,61	1,77		
4	1,74	1,77	1,84	1,93
5	1,72	1,84	2,18	2,14
6	1,64	1,74	1,76	1,79
7	1,88	1,91	1,95	1,97
8	1,76	1,78	1,81	1,80
Gemiddeld gewogen	1,71	1,80	1,86	1,90

Uit Tabel 5 kan worden opgemaakt dat de relatieve meer-emissie geen sterke correlatie met de scheepsgrootteklasse vertoont. De opslagfactor kan daarom onafhankelijk van de scheepsgrootteklasse worden gekozen zonder al te grote afwijkingen te introduceren ten opzichte van de oorspronkelijk berekende emissies gebaseerd op AIS-data.

Uit de relatieve meer-emissie kan nog geen conclusie worden getrokken over het belang van de eventuele opslagfactoren voor de totale emissies.

² De keuze van het minimum van 10% is iteratief bepaald. Bij 2,5 procent is de ophoogfactor 1,7 en bij 15 procent is de ophoogfactor 1,8 evenals bij 10 procent. Omdat een afwijking van 2,5 procent nagenoeg zeker als insignificant kan worden aangemerkt is gekozen voor 10 procent. Deze keuze heeft echter vrijwel geen invloed op de bepaling van de hoogte van de ophoogfactor gehad.

In Tabel 6 is daarom een overzicht gegeven van de absolute meer-emissies. Ook hierbij is uitgegaan van vakken met een extra emissie van tenminste 10 procent (uitgesplitst naar vakken met een minimum emissie van 500, 1000, 15000 en 2000 kg).

Tabel 6 Absolute meeremissie (som van emissie bestand – emissie berekend) t.o.v. emissie berekend met emissiefactoren Nox bij afwijking > 10% per vierkant, ton/jaar

Grootteklasse	500 kg/vierkant	1000 kg/vierkant	1500 kg/vierkant	2000 kg/vierkant
1	23	7	3	
2	3	1		
3	14	1		
4	73	64	52	45
5	73	49	29	24
6	135	110	88	77
7	172	161	157	150
8	78	74	69	64
Totaal	571	468	399	360

Uit Tabel 6 kan worden opgemaakt dat de meeremissie van de scheepsgrootteklasse 1 tot en met 3 gering is. Hieruit mag geconcludeerd worden dat in geval van kleinere schepen het fenomeen manoeuvreren geen meeremissies van betekenis oplevert.

Samenvattend kan uit Tabel 5 en Tabel 6 worden geconcludeerd dat de meeremissie grotendeels van toepassing is op de scheepsgrootteklassen 4 tot en met 8 met een gemiddelde meeremissie van 80% (of een ophoogfactor van ongeveer 1,8).

In de overleggroep is geconstateerd dat het toepassen van ophoogfactoren op vooraf geselecteerde (AIS-)vakken van 500x500 meter, zoals is gebeurd in het project scheepvaartmodellering fase 2 (Erbrink et al. 2011), nadelen kent:

- Er zijn projecten die plaatsvinden in gebieden die nog ontwikkeld moeten worden en daarom niet voorkomen in de bestaande ruimtelijke verdeling van de scheepsemisies. Voor deze projecten zijn dan geen opslagfactoren beschikbaar.
- De (AIS-) vakken kunnen deels samenvallen met doorgaande vaarwegen. Dit kan betekenen dat passerende schepen die niet manoeuvreren wel te maken kunnen krijgen met een opslagfactor voor manoeuvreren.

Om deze nadelen te ondervangen is ervoor gekozen om een gemiddelde manoeuvreerafstand per grootteklasse af te leiden en de opslagfactor alleen van toepassing te laten zijn op de emissies over deze manoeuvreerafstand. Deze manoeuvreerafstand is bepaald door het totale aantal vaarkilometers met meeremissie te delen door het aantal scheepsreizen (Tabel 7). Hierbij is uitgegaan van het totaal aantal scheepsreizen zoals geregistreerd door het CBS in 2010. De verdeling over de grootteklassen is afkomstig van de registratie van het CBS over 2008. Tabel 7 geeft de gemiddelde manoeuvreerafstand van een schip per grootteklasse.

Tabel 7 Berekening gemiddelde manoeuvreerafstand per grootteklasse, (km)

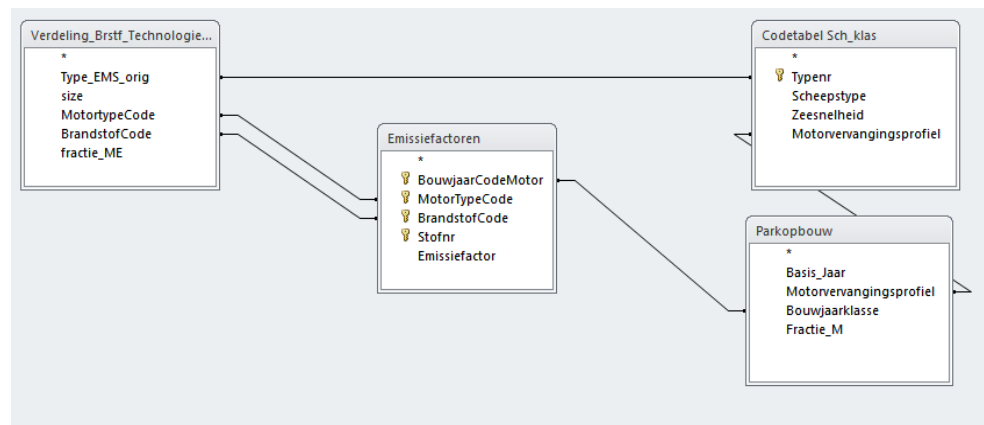
Grootteklasse	Vaarkilometers zonder meeremissie	Vaarkilometers met meeremissie	Aandeel met meeremissie	Aantal reizen	Afstand/Aantal (kilometer)
1	1668605	31179	1,9%	8092	3,9
2	1397141	509	0,0%	24912	0,0
3	965246	1570	0,2%	3476	0,5
4	1081693	40762	3,8%	38545	2,2
5	1234734	18780	1,5%		
6	657851	25816	3,9%		
7	220076	18049	8,2%	3919	4,6
8	45131	5854	13,0%	760	7,7
Totaal	7270478	142518	2,0%	79704	1,8

Omdat voor schepen in de grootteklasse 1 t/m 3 geen emissie ophoging van toepassing is, is het aannemelijk dat manoeuvreerafstanden voor deze grootteklassen niet relevant zijn. De afstand van 3,9 kilometer die voor grootteklasse 1 wordt berekend kan wellicht worden verklaard door de sleepboten binnen deze categorie.

Geadviseerd wordt om te rekenen met een afstand van 2,2 kilometer voor de grootteklassen 4 t/m 6, met 4,6 kilometer voor grootteklasse 7 en met 7,7 kilometer voor grootteklasse 8. Deze afstand geldt vanaf de kade waar de schepen aanmeren volgens de projectgegevens en geldt zowel voor de heenreis als voor de terugreis.

7 Afleiding van trendfactoren

De afleiding van de trendfactoren is uitgevoerd door uit te gaan van de gedetailleerde emissiefactoren per technologie en is berekend met 2 prognosemodellen voor de zeescheepvaart die door TNO aan het Planbureau voor de Leefomgeving zijn opgeleverd. Het Planbureau voor de Leefomgeving past deze modellen toe bij de berekening van de GCN-kaarten voor de toekomstige luchtkwaliteit. Er is een prognosemodel voor varende zeeschepen en een prognosemodel voor stilliggende zeeschepen opgeleverd. De prognosemodellen zijn geïmplementeerd in MS-Access. Bij de berekening van emissiefactoren worden een aantal tabellen gebruikt waartussen relaties worden toegepast die zijn weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3 Relatie tussen reketabellen in de prognosemodellen voor de zeevaart

De gemiddelde emissiefactor van een scheepstype per grootteklasse in het prognosemodel wordt berekend door te sommeren over het product van de technologiefractie (Fractie_ME), de bouwjaarfractie (Fractie_M) en de emissiefactor per bouwjaarfractie (Emissiefactor). Dit kan als volgt in formule worden weergegeven:

$$EF_{\text{gemiddelde}_{t,s}} = \text{som} (Fractie_ME_{m,f,t,s} * EF_{m,f,b} * Fractie_M_{b,t})$$

Waarbij:

$EF_{\text{gemiddelde}_{t,s}}$ = Gemiddelde emissiefactor voor scheepstype (t) en grootteklasse (s)

$Fractie_ME_{m,f,t,s}$ = Fractie energie verbruikt door scheepstype (t) en grootteklasse (s) in motortype (m) en brandstofsoort (f)

$EF_{m,f,b}$ = Emissiefactor van motortype (m), brandstofsoort (f) en bouwjaarfractie (b)

$Fractie_M_{b,t}$ = Fractie bouwjaarfractie (b) in scheepstype (t)

De trendfactoren zijn afgeleid door het gemiddelde te nemen over alle scheepstypen en scheepsgrootteklassen van de verhoudingen tussen de emissiefactoren in een toekomstig jaar en het basisjaar waarvoor de emissiekentallen zijn afgeleid. Dit kan als volgt in formule worden weergegeven:

$$TF_{r,y} = \text{gemiddelde (EF_gemiddelde}_{t,s,j}) / \text{gemiddelde (EF_gemiddelde}_{t,s,r})$$

Waarbij:

$TF_{r,j}$ = Trendfactor voor referentiejaar ($r=2011$) en basisjaar (j)

$EF_gemiddelde_{t,s,j}$ = Gemiddelde emissiefactor voor scheepstype (t) en grootteklasse (s) in basisjaar j

$EF_gemiddelde_{t,s,r}$ = Gemiddelde emissiefactor voor scheepstype (t) en grootteklasse (s) in referentiejaar $r = 2011$

In het parkmodel dat de tabel Parkopbouw genereert is onderscheid gemaakt tussen containerschepen en de overige schepen. Voor containerschepen geldt dat ze een snellere vernieuwing van het park kennen (voornamelijk door de snelle groei).

Voor emissies op zee is hierbij geïnterpoleerd tussen de basisjaren 2011 en 2016 en tussen 2016 en 2030. Voor emissies in havens is de gehele reeks emissiefactoren toegepast in de berekeningen.

8 Referenties

Erbrink J.J., Wolff de J.J., Hulskotte J.H.J., Jonkers S., Ganswijk J.W.W., Lander N., Scheepvaartmodellering Fase 2: In consensus naar een nationale aanbeveling, KEMArapportnr 50964435-TOS/HSM 10-4539, 21 april 2011

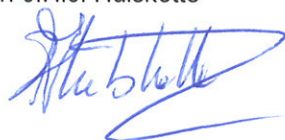
Tak van der C., Sea shipping emissions 2011: Netherlands Continental Shelf, port areas and OSPAR region II, MARIN reportno. 26437-1-MSCN-rev.0, February 15, 2013 (first draft)

Metz D., Methode berekening emissie en depositie zeescheepvaart in de AERIUS Calculator en toelichting, concept 20 juni 2013

9 Verantwoordingspagina

Naam en adres van de opdrachtgever:
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
T.a.v. de heer R. de Boer
Postbus 5044
2600 GA Delft

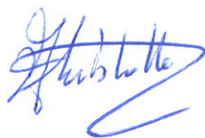
Namen van de projectmedewerkers:
Ir. J.H.J. Hulskotte



Naam en paraaf tweede lezer:
Ir. P.W.H.G. Coenen



Ondertekening:



Ir. J.H.J. Hulskotte
Projectleider

Autorisatie vrijgave:



Ir. R.A.W. Albers MPA
Research Manager

A Emissiekentallen 2011

GT-klasse	NO _x			PM ₁₀			
	Stilliggen (kg/uur)	Varen in haven (kg/km)	Varen op zee/NCP (kg/km)	Stilliggen (kg/uur)	Varen in haven (kg/km)	Varen op zee/NCP (kg/km)	
Hoofdgroep 1: Olietankers, overige tankers	100-1599	0,5	0,5	0,5	0,012	0,018	0,015
	1600-2999	0,9	0,8	0,7	0,023	0,032	0,031
	3000-4999	1,6	1,4	1,3	0,040	0,065	0,062
	5000-9999	2,8	1,7	1,7	0,070	0,082	0,084
	10000-29999	7,6	2,8	3,0	0,187	0,129	0,135
	30000-59999	16,3	3,8	4,1	0,403	0,168	0,176
	60000-99999	25,9	5,0	5,5	0,639	0,227	0,233
	≥100000	61,2	10,6	8,1	1,512	0,521	0,368
Hoofdgroep 2: Bulkschepen	100-1599	0,1	0,4	0,4	0,002	0,011	0,011
	1600-2999	0,2	0,6	0,7	0,006	0,013	0,019
	3000-4999	0,3	1,2	1,2	0,008	0,044	0,042
	5000-9999	0,6	1,5	1,4	0,013	0,057	0,061
	10000-29999	1,7	2,9	3,3	0,040	0,120	0,136
	30000-59999	3,3	4,0	4,1	0,078	0,184	0,173
	60000-99999	7,3	6,6	6,6	0,171	0,311	0,295
	≥100000	10,7	7,6	7,4	0,250	0,333	0,320
Hoofdgroep 3: Container, GDC (stukgoed), RoRo	100-1599	0,2	0,4	0,4	0,005	0,010	0,009
	1600-2999	0,4	0,8	0,7	0,011	0,031	0,028
	3000-4999	0,7	1,2	1,1	0,018	0,056	0,054
	5000-9999	1,2	2,0	1,9	0,033	0,112	0,103
	10000-29999	3,1	3,1	3,2	0,081	0,146	0,150
	30000-59999	7,5	5,7	6,1	0,196	0,245	0,258
	60000-99999	12,2	9,5	9,2	0,321	0,436	0,400
	≥100000	21,6	15,3	12,5	0,567	0,745	0,565
Hoofdgroep 4: Passagiersschepen	100-1599	0,1	0,2	0,3	0,002	0,007	0,010
	1600-2999	0,5	0,7	0,6	0,011	0,025	0,020
	3000-4999	0,9	1,1	0,9	0,020	0,046	0,041
	5000-9999	1,8	1,6	1,6	0,043	0,064	0,072
	10000-29999	6,0	3,2	3,7	0,139	0,185	0,214
	30000-59999	10,3	4,7	4,7	0,239	0,253	0,253
	60000-99999	18,6	8,5	7,4	0,429	0,524	0,448
	≥100000	28,1	11,5	7,6	0,649	0,723	0,425

Vervolg Emissiekentallen 2011

GT-klasse	NO _x			PM ₁₀			
	Stilliggen (kg/uur)	Varen in haven (kg/km)	Varen op zee/NCP (kg/km)	Stilliggen (kg/uur)	Varen in haven (kg/km)	Varen op zee/NCP (kg/km)	
Hoofdgroep 5: Koelschepen en Vissersschepen	100-1599	0,6	1,8	1,4	0,012	0,063	0,057
	1600-2999	3,0	1,7	1,5	0,061	0,077	0,074
	3000-4999	5,0	1,8	1,4	0,101	0,079	0,065
	5000-9999	9,3	2,8	2,8	0,188	0,121	0,115
	10000-29999	15,2	3,4	3,9	0,308	0,153	0,165
	30000-59999	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
	60000-99999	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
	≥100000	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
Hoofdgroep 6: Sleepboten, werkschepen en overige	100-1599	0,3	0,7	0,3	0,005	0,026	0,009
	1600-2999	1,3	0,8	0,9	0,025	0,030	0,046
	3000-4999	2,3	1,0	1,0	0,044	0,052	0,048
	5000-9999	3,7	1,5	1,7	0,071	0,060	0,073
	10000-29999	10,2	3,4	6,5	0,194	0,174	0,404
	30000-59999	25,8	11,3	6,5	0,489	0,818	0,352
	60000-99999	43,4	4,5	3,9	0,824	0,244*	0,222
	≥100000	80,1	12,5	15,0	1,521	0,547	0,738

*Dit cijfer lijkt niet logisch in de reeks te passen maar wordt voorlopig gehandhaafd

B Trendfactoren relatief t.o.v. 2011

Jaar	Stilliggen		Varen in de haven of op zee	
	NO _x [-]	PM ₁₀ [-]	NO _x [-]	PM ₁₀ [-]
2011	1	1	1	1
2012	0,98	0,99	0,99	0,99
2013	0,97	0,98	0,98	0,98
2014	0,95	0,97	0,96	0,98
2015	0,93	0,96	0,95	0,97
2016	0,92	0,95	0,94	0,47
2017	0,9	0,95	0,92	0,47
2018	0,89	0,94	0,91	0,47
2019	0,87	0,94	0,9	0,46
2020	0,86	0,93	0,88	0,46
2021	0,84	0,93	0,87	0,46
2022	0,83	0,92	0,86	0,45
2023	0,82	0,92	0,85	0,45
2024	0,81	0,92	0,84	0,44
2025	0,8	0,91	0,83	0,44
2026	0,79	0,91	0,82	0,43
2027	0,78	0,91	0,81	0,43
2028	0,77	0,91	0,8	0,42
2029	0,76	0,91	0,79	0,42
2030	0,75	0,91	0,78	0,42

[-] = dimensieloos getal

C Warmte-output

	GT-klasse	Alle zichtjaren		
		Stilliggen (MW)	Varen in haven (MW)	Varen op zee/NCP (MW)
Hoofdgroep 1: Olietankers, overige tankers	100-1599	0,07	0,41	0,35
	1600-2999	0,13	0,68	0,67
	3000-4999	0,22	1,17	1,21
	5000-9999	0,38	1,42	1,68
	10000-29999	1,02	1,90	2,53
	30000-59999	2,21	2,34	3,44
	60000-99999	3,50	2,82	4,60
	≥100000	8,28	3,66	6,01
Hoofdgroep 2: Bulkschepen	100-1599	0,01	0,31	0,31
	1600-2999	0,02	0,36	0,43
	3000-4999	0,03	0,95	0,98
	5000-9999	0,04	0,97	1,17
	10000-29999	0,14	1,74	2,53
	30000-59999	0,27	2,00	3,32
	60000-99999	0,58	2,44	3,91
	≥100000	0,85	2,79	4,14
Hoofdgroep 3: Container, GDC (stukgoed), RoRo	100-1599	0,02	0,27	0,27
	1600-2999	0,04	0,61	0,58
	3000-4999	0,06	0,96	1,04
	5000-9999	0,12	1,85	2,13
	10000-29999	0,29	2,87	4,03
	30000-59999	0,69	4,23	6,26
	60000-99999	1,14	7,03	10,43
	≥100000	2,01	8,64	13,31
Hoofdgroep 4: Passagiersschepen	100-1599	0,01	0,60	0,14
	1600-2999	0,04	0,81	0,65
	3000-4999	0,07	0,76	0,98
	5000-9999	0,15	1,12	1,61
	10000-29999	0,49	3,10	5,06
	30000-59999	0,84	3,76	6,79
	60000-99999	1,51	6,43	10,53
	≥100000	2,29	6,36	15,69

Vervolg Warmte-output

	GT-klasse	Alle zichtjaren		
		Stilliggen (MW)	Varen in haven (MW)	Varen op zee/NCP (MW)
Hoofdgroep 5: Koelschepen en Vissersschepen	100-1599	0,03	0,32	0,36
	1600-2999	0,14	0,82	1,14
	3000-4999	0,22	0,88	1,23
	5000-9999	0,42	1,59	2,29
	10000-29999	0,68	2,85	3,57
	30000-59999	nvt	nvt	nvt
	60000-99999	nvt	nvt	nvt
	≥100000	nvt	nvt	nvt
Hoofdgroep 6: Sleepboten, werkschepen en overige	100-1599	0,01	0,32	0,24
	1600-2999	0,06	0,47	0,64
	3000-4999	0,10	0,67	0,73
	5000-9999	0,17	0,90	1,16
	10000-29999	0,46	2,01	2,64
	30000-59999	1,17	4,13	3,29
	60000-99999	1,97	2,32 [*]	4,49
	≥100000	3,63	3,38	7,43

**Dit cijfer lijkt niet logisch in de reeks te passen maar wordt voorlopig gehandhaafd*

D Schoorsteenhoogte

	GT-klasse	Alle zichtjaren		
		Stilliggen (m)	Varen in haven (m)	Varen op zee/NCP (m)
Hoofdgroep 1: Olietankers, overige tankers	100-1599	4	13	13
	1600-2999	7	16	16
	3000-4999	9	18	18
	5000-9999	13	22	22
	10000-29999	20	29	29
	30000-59999	28	37	37
	60000-99999	33	42	42
	≥100000	46	55	55
Hoofdgroep 2: Bulkschepen	100-1599	0	10	10
	1600-2999	3	13	13
	3000-4999	5	15	15
	5000-9999	7	17	17
	10000-29999	15	25	25
	30000-59999	20	30	30
	60000-99999	29	39	39
	≥100000	33	43	43
Hoofdgroep 3: Container, GDC (stukgoed), RoRo	100-1599	3	12	12
	1600-2999	7	16	16
	3000-4999	10	19	19
	5000-9999	14	23	23
	10000-29999	23	32	32
	30000-59999	35	44	44
	60000-99999	44	53	53
	≥100000	56	65	65
Hoofdgroep 4: Passagiersschepen	100-1599	2	12	12
	1600-2999	9	19	19
	3000-4999	12	22	22
	5000-9999	18	28	28
	10000-29999	29	39	39
	30000-59999	36	46	46
	60000-99999	44	54	54
	≥100000	51	61	61

Vervolg schoorsteenhoogte

	GT-klasse	Alle zichtjaren		
		Stilliggen (m)	Varen in haven (m)	Varen op zee/NCP (m)
Hoofdgroep 5: Koelschepen en Vissersschepen	100-1599	7	12	12
	1600-2999	14	19	19
	3000-4999	16	21	21
	5000-9999	21	26	26
	10000-29999	24	29	29
	30000-59999	nvt	nvt	nvt
	60000-99999	nvt	nvt	nvt
	≥100000	nvt	nvt	nvt
Hoofdgroep 6: Sleepboten, werkschepen en overige	100-1599	6	11	11
	1600-2999	12	17	17
	3000-4999	16	21	21
	5000-9999	19	24	24
	10000-29999	28	33	33
	30000-59999	38	43	43
	60000-99999	46	51	51
	≥100000	57	62	62

E Opslagfactor manoeuvreren bij aankomst en vertrek

	GT-klasse	Alle zichtjaren		
		NO _x [-]	PM ₁₀ [-]	Afstand (km)
Hoofdgroep 1: Olie tankers, overige tankers	100-1599	1	1	1
	1600-2999	1	1	1
	3000-4999	1	1	1
	5000-9999	1	1	1
	10000-29999	1,8	1,8	2,2
	30000-59999	1,8	1,8	2,2
	60000-99999	1,8	1,8	4,6
	≥100000	1,8	1,8	7,7
Hoofdgroep 2: Bulkschepen	100-1599	1	1	1
	1600-2999	1	1	1
	3000-4999	1	1	1
	5000-9999	1	1	1
	10000-29999	1,8	1,8	2,2
	30000-59999	1,8	1,8	2,2
	60000-99999	1,8	1,8	4,6
	≥100000	1,8	1,8	7,7
Hoofdgroep 3: Container, GDC (stukgoed), RoRo	100-1599	1	1	1
	1600-2999	1	1	1
	3000-4999	1	1	1
	5000-9999	1	1	1
	10000-29999	1,8	1,8	2,2
	30000-59999	1,8	1,8	2,2
	60000-99999	1,8	1,8	4,6
	≥100000	1,8	1,8	7,7
Hoofdgroep 4: Passagiersschepen	100-1599	1	1	1
	1600-2999	1	1	1
	3000-4999	1	1	1
	5000-9999	1	1	1
	10000-29999	1,8	1,8	2,2
	30000-59999	1,8	1,8	2,2
	60000-99999	1,8	1,8	4,6
	≥100000	1,8	1,8	7,7

[-] = dimensieloos getal

Vervolg Opslagfactor manoeuvreren bij aankomst en vertrek

	GT-klasse	Alle zichtjaren		
		NO _x [-]	PM ₁₀ [-]	Afstand (km)
Hoofdgroep 5: Koelschepen en Vissersschepen	100-1599	1	1	1
	1600-2999	1	1	1
	3000-4999	1	1	1
	5000-9999	1	1	1
	10000-29999	1,8	1,8	2,2
	30000-59999	nvt	nvt	nvt
	60000-99999	nvt	nvt	nvt
	≥100000	nvt	nvt	nvt
Hoofdgroep 6: Sleepboten, werkschepen en overige	100-1599	1	1	1
	1600-2999	1	1	1
	3000-4999	1	1	1
	5000-9999	1	1	1
	10000-29999	1,8	1,8	2,2
	30000-59999	1,8	1,8	2,2
	60000-99999	1,8	1,8	4,6
	≥100000	1,8	1,8	7,7

[-] = dimensieloos getal

F Gemiddelde scheepsgrootte per scheepstype

Scheepstype	Grootteklasse (GT)							
	100- 1599	1600- 2999	3000- 4999	5000- 9999	10000- 29999	30000- 59999	60000- 99999	≥100000
Hoofdgroep 1: Olie tankers, overige tankers	1230	2335	4011	7099	18971	40854	64830	153286
Hoofdgroep 2: Bulkschepen	967	2715	3862	6408	19732	38385	84177	123214
Hoofdgroep 3: Container, GDC (stukgoed), RoRo	1214	2529	4017	7389	18464	44458	72683	128460
Hoofdgroep 4: Passagiersschepen	406	2032	3608	7537	24639	42200	75882	114765
Hoofdgroep 5: Koelschepen en Vissereschepen	491	2435	4030	7473	12245	nvt	nvt	nvt
Hoofdgroep 6: Sleepboten, werkschepen en overige	491	2223	3945	6381	17416	43979	74081	136709