

---

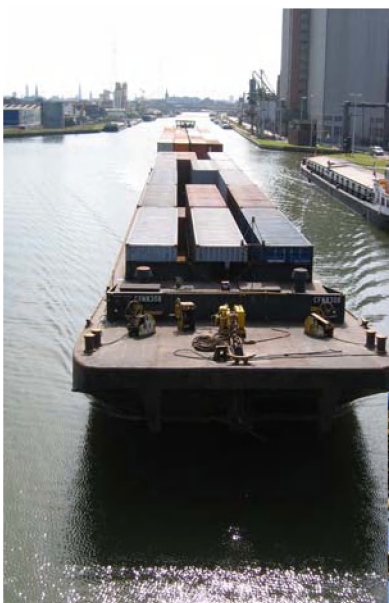
# EMISSIEMODEL VOOR SPOORVERKEER EN SCHEEPVAART IN VLAANDEREN:

# EMMOSS

rapport in opdracht van:  
**De Vlaamse Milieu Maatschappij**

30 juli 2007

---



 **TRANSPORT & MOBILITY  
LEUVEN**

**TRANSPORT & MOBILITY LEUVEN**  
VITAL DECOSTERSTRAAT 67A BUS 0001  
3000 LEUVEN  
BELGIË

TEL +32 (16) 31.77.30  
FAX +32 (16) 31.77.39  
<http://www.tmleuven.be>

*auteurs:*  
Kris Vanherle (TML)  
Bruno Van Zeebroeck (TML)  
Jan Hulskotte (TNO)

# Inhoud

Inhoud .....	2
FIGUREN .....	4
TABELLEN .....	5
1 Inleiding .....	7
2 Resultaten .....	8
2.1 Zeevaart .....	8
2.1.1 De Vlaamse zeevaartemissies in 2005 .....	9
2.1.2 De Vlaamse zeevaartemissies in het verleden en in de toekomst .....	13
2.1.3 Geografische spreiding van de emissies .....	16
2.2 Binnenvaart .....	18
2.2.1 De Vlaamse binnenvaartemissies in 2005 .....	18
2.2.2 De Vlaamse binnenvaartemissies in het verleden en in de toekomst .....	20
2.2.3 Geografische spreiding van de binnenvaartemissies .....	21
2.3 Spoorvervoer .....	22
2.3.1 De directe Vlaamse spooremissies in 2005 .....	23
2.3.2 De directe Vlaamse spooremissies in het verleden en in de toekomst .....	25
2.3.3 Indirecte emissies .....	26
2.3.4 Geografische spreiding van de directe emissies .....	27
3 Model .....	28
3.1 Zeevaart .....	28
3.1.1 Schema .....	29
3.1.2 Input .....	30
3.1.3 Emissieberekening .....	30
3.1.4 Prognose .....	35
3.1.5 Emissies van visserij, baggerschepen, sleepboten en zandwinning .....	38
3.1.6 Methode voor geografische spreiding .....	39
3.1.7 Output .....	39
3.1.8 Relevante wetgeving .....	40
3.2 Binnenvaart .....	41
3.2.1 Schema .....	41
3.2.2 Input .....	42
3.2.3 Berekeningen .....	42
3.2.4 Prognose en historische tijdreeks .....	46

3.2.5	Methode voor geografische spreiding.....	50
3.2.6	Output .....	50
3.3	Spoorvervoer.....	52
3.3.1	Schema.....	53
3.3.2	Input .....	54
3.3.3	Emissieberekening .....	54
3.3.4	Prognose.....	60
3.3.5	Methode geografische spreiding.....	62
3.3.6	Output .....	63
4	Toetsing.....	64
4.1	Spoor.....	64
4.2	Zeevaart.....	65
4.3	Binnenvaart.....	66
5	Aanbevelingen bij het gebruik van het model .....	67
	Verklarende woordenlijst.....	69
	REFERENTIES .....	71
	ANNEX.....	74
	ANNEX A: Emissiefactoren zeevaart .....	74
	ANNEX B: "Propellor law" .....	88
	ANNEX C: Emissiefactoren elektriciteitsproductie .....	89
	ANNEX D: Leeftijdsprofielen binnenvaartmotoren en overige scheepskenmerken....	91
	ANNEX E: Overzicht vaarwegkenmerken.....	94
	ANNEX F: Schatting energiegebruik binnenvaartschepen .....	97
	ANNEX G: Overzicht emissies.....	98

## FIGUREN

Figuur 1: Vlaamse zeevaartemissies per scheepstype in aantal ton (2005).....	9
Figuur 2: Vlaamse zeevaartemissies, aandelen per scheepstype in percent (2005).....	10
Figuur 3: Vlaamse zeevaartemissies, aandelen per locatie in percent (2005).....	10
Figuur 4: Vlaamse zeevaartemissies, aandelen per activiteit in percent (2005).....	12
Figuur 5: Vlaamse zeevaartemissies, aandelen per motor in percent (2005).....	13
Figuur 6: evolutie van Vlaamse zeevaartemissies, 2005 = 100%.....	14
Figuur 7: evolutie van Vlaamse zeevaartemissies in de havens, 2005 = 100%.....	15
Figuur 8: zeevaartroutes op BCP.....	16
Figuur 9: het “natte gedeelte” van de Vlaamse zeehavens waarover de emissies gelijkmatig worden gespreid. Linksboven: Antwerpen; Rechtsboven: Gent; Linksonder: Zeebrugge; Rechtsonder: Oostende.....	17
Figuur 10: emissies van binnenvaartschepen in Vlaanderen(2005).....	18
Figuur 11: Vlaamse binnenvaartemissies, aandelen per scheepstype(2005).....	19
Figuur 12: Vlaamse binnenvaartemissies, aandelen per vaarwegbeheerder (2005).....	19
Figuur 13: evolutie van de Vlaamse binnenvaartemissies (2005=1).....	20
Figuur 14: Vlaamse vaarwegen per vaarwegbeheerder met kilometerraster.....	21
Figuur 15: directe emissies van spoorverkeer in Vlaanderen (2005).....	23
Figuur 16: directe emissies van spoorverkeer in Vlaanderen, aandeel per bron (2005)...	24
Figuur 17: evolutie van de directe Vlaamse spooremmissies (2005=1).....	25
Figuur 18: evolutie van de Vlaamse spooremmissies (2005=1).....	26
Figuur 19: aantal goederentreinen, geografisch (2005).....	27
Figuur 20: voorbeelden van het verschil in ligtijden tussen de verschillende grootteklasses.....	32
Figuur 21: evolutie trafiek per schip, absoluut (links) en relatief (rechts).....	36
Figuur 22: evolutie van de verdeling over de verschillende leeftijdsklassen.....	37
Figuur 23: historie en prognose van trafiek van binnenvaartschepen in Vlaanderen.....	47
Figuur 24: aandeel van de motorbouwjaarklassen van binnenvaartschepen per jaar (invoer L).....	49
Figuur 25: aandeel van de motorbouwjaarklassen van binnenvaartschepen per jaar (invoer M).....	49
Figuur 26: aandeel van de motorbouwjaarklassen van binnenvaartschepen per jaar (invoer S).....	50
Figuur 27: vergelijking van de emissies in 2005 volgens verschillende	

berekeningsmethode .....	64
Figuur 28: vergelijk zeevaartemissies, volgens verschillende berekeningsmethode.....	65
Figuur 29: vergelijking van de emissies van binnenvaart in 2005, volgens verschillende berekeningsmethodes.....	66

## TABELLEN

Tabel 1: emissies in de Vlaamse zeehavens in ton (2005).....	16
Tabel 2: ligtijden (links) en manoeuvreertijden (rechts) gemiddeld per scheepstype per haven. ....	31
Tabel 3: vermogen hoofdmotor (links) en hulpmotor (rechts) per scheepstype en lengteklasse in kW .....	32
Tabel 4: percentage van het geïnstalleerde hoofdmotorvermogen bij varen aan gereduceerde snelheid voor de verschillende scheepstypen en grootteklassen. ....	33
Tabel 5: aantal callings per scheepstype per haven (2005).....	34
Tabel 6: jaarlijkse groeivoet trafiek per haven en goederentype .....	35
Tabel 7: emissiefactoren afhankelijk van bouwjaarklasse van scheepsmotoren (g/kWh).....	44
Tabel 8: specifiek brandstofgebruik afhankelijk van bouwjaarklasse van scheepsmotoren (g/kWh).....	44
Tabel 9: emissiefactoren gekoppeld aan het brandstofgebruik (g/kg brandstof). ....	45
Tabel 10: de evolutie van het zwavelpercentage van de brandstof in de tijd is bepalend voor de emissies van zwaveldioxide.....	45
Tabel 11: emissiefactoren gekoppeld aan de VOS-emissie (g/kg VOS). ....	46
Tabel 12: generiek scenario van voorlopig gehanteerde generieke groeipercentages(%/jaar). ....	47
Tabel 13: omzetting verhoudingen treinkilometer naar tonkilometer via gewicht per zitplaats voor het jaar 2000. ....	55
Tabel 14: bezettingsgraad per dienst (NMBS 2002).....	55
Tabel 15: verhouding MW/loco bij diesel personenvervoer 1990-2005 .....	56
Tabel 16: vergelijking verschillende bronnen voor specifiek energieverbruik personen in kJ / tkm.....	57
Tabel 17: vergelijking verschillende bronnen voor specifiek energieverbruik goederen in	

kJ / tkm.....	58
Tabel 18: emissiefactoren voor de verschillende treintypen in g/kWh.....	58
Tabel 19: S-gehalte rail-diesel in ppm .....	59
Tabel 20: groeivoeten bruto tonkilometer per type dienst.....	61
Tabel 21: aandeel Vlaamse rangeeremissies per rangeerterrein .....	62

# 1 Inleiding

Dit rapport beschrijft de resultaten en berekeningsmethode van het emissiemodel Vlaanderen betreffende de emissies van scheepvaart en spoorverkeer in Vlaanderen. De emissies werden berekend voor de tijdreeks 1990 tot 2030 met als referentiejaar 2005.

De emissieberekening en –prognose werd opgesplitst in drie aparte stukken, in functie van de modus waar er telkens voor een verschillende aanpak gekozen werd. Deze drie onderdelen zijn de emissies van:

- Zeevaart
- Binnenvaart
- Spoor

Met zeevaartemissies bedoelen we hier de emissies die geproduceerd worden door zeevarende schepen, hetzij op zee of in een haven. De binnenvaartemissies zijn uiteraard afkomstig van de binnenvaartschepen en in beperkte mate van pleziervaart. De emissieberekening van binnenvaart verschilt wezenlijk van de methode die bij zeevaart wordt toegepast, zoals in het rapport duidelijk zal worden. Om deze reden werden de emissies van scheepvaart opgedeeld in binnenvaart en zeevaart. Voor spooremisies worden de emissies afkomstig van de NMBS en enkele andere operatoren bepaald. Ook de emissies van rangeeractiviteit horen hierbij.

In dit rapport worden eerst de resultaten van de emissieberekening en –prognose per transportmodus voorgesteld en uitgelegd. Daarna wordt in detail ingegaan op de berekeningsmethode en worden de veronderstellingen, waar nodig, gestaafd.

## 2 Resultaten

De resultaten zijn onderverdeeld per modus: zeevaart, binnenvaart en spoor. Er wordt telkens eerst in detail ingegaan op de emissies in het referentiejaar 2005, waarbij opvallende elementen uitgelegd worden. Hier zal duidelijk worden tot op welke detailgraad de emissies berekend werden. Daarna worden de historische en toekomstige emissies voorgesteld en worden opvallende trends aangehaald.

### 2.1 Zeevaart

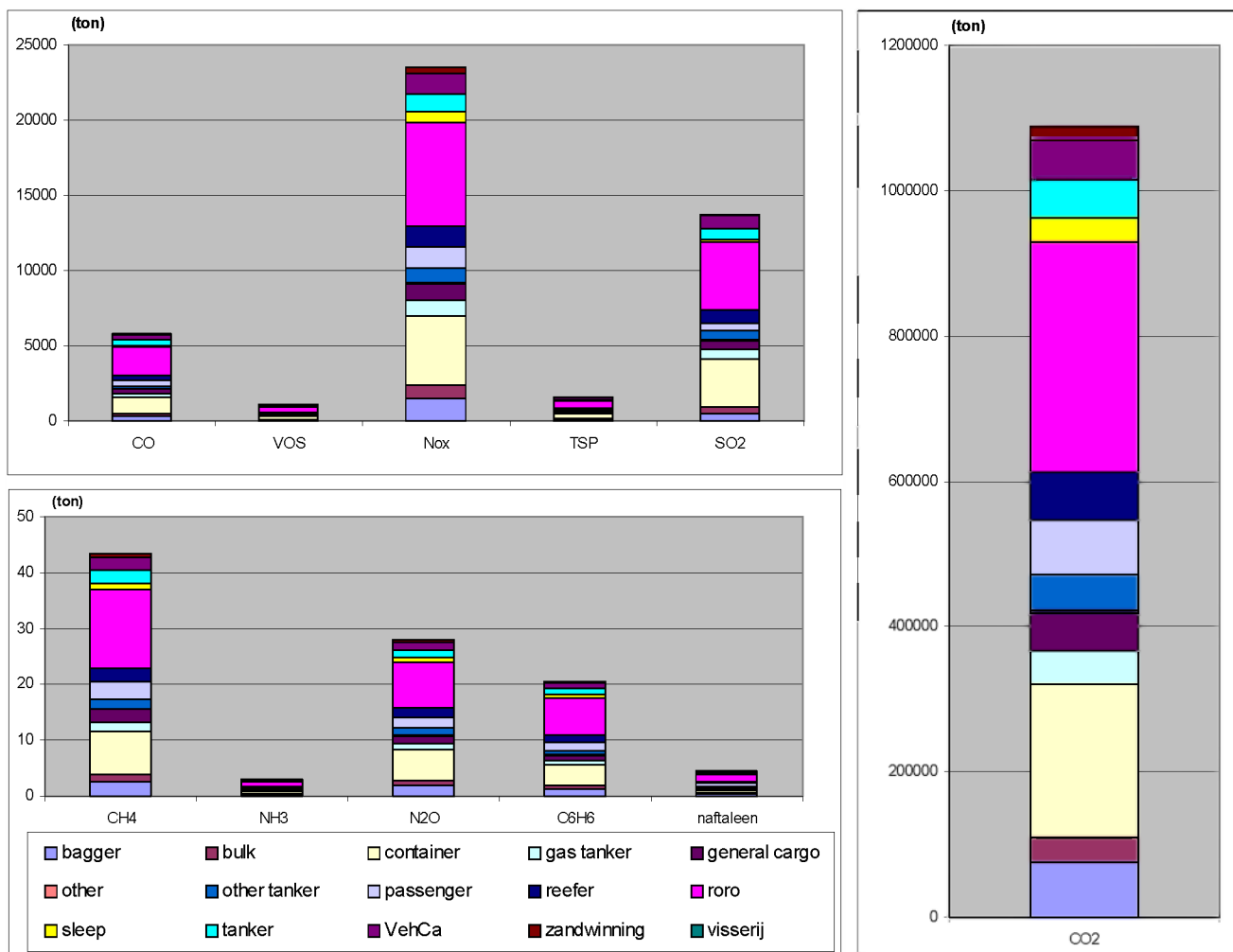
Voor we de resultaten bespreken, definiëren we eerst wat deze studie beschouwt als Vlaamse zeevaartemissies. Enerzijds verwijst dit naar de emissies die geproduceerd worden binnen Vlaanderen, namelijk in Vlaamse havens, op Vlaamse rivieren (enkel de Schelde bij de haven van Antwerpen) en op de Vlaamse territoriale wateren, dit is de twaalfmijlszone. De emissies buiten deze zone maar binnen het BCP werden ook berekend, met de bemerking dat de activiteit op de internationale Noord-Zuid zeevaartroute via Het Kanaal, die net binnen het BCP valt, niet werd meegenomen omwille van databeperkingen. Anderzijds definiëren we Vlaamse zeevaartemissies als alle emissies afkomstig van zeevarende schepen, in de haven of op zee. Dit is voornamelijk koopvaardij, maar ook militaire schepen, visserij, sleepboten, baggeractiviteit en zandwinning. Wat betreft laden en lossen worden emissies afkomstig van de schepen zelf, liggend aan de kade, meegerekend. Emissies afkomstig van andere bronnen dan de schepen (kranen, stationaire pompen, e.d.), die eigen zijn aan laad- en losactiviteiten, vallen niet onder de categorie zeevaartemissies. Enkel directe emissies worden beschouwd.

Hoewel emissies van visserij deel uitmaken van de zeevaartemissies, werden ze in dit rapport niet meegerekend. De emissies van visserij werden in de ECOSONOS-studie in detail berekend, maar gezien er op het tijdstip van het schrijven van dit rapport van de ECOSONOS-studie nog geen openbaar rapport was, konden deze resultaten niet gebruikt worden voor deze studie. De Vlaamse emissies van visserij (Vlaams, zoals hierboven gedefinieerd) stellen hoe dan ook slechts een beperkt aandeel voor ten opzichte van de totale Vlaamse zeevaartemissies (maximaal enkele procenten). De afwezigheid van deze categorie zal de totale rekening dan ook slechts weinig beïnvloeden. Verder merken we op dat militaire schepen zijn inbegrepen in de categorie 'other'.

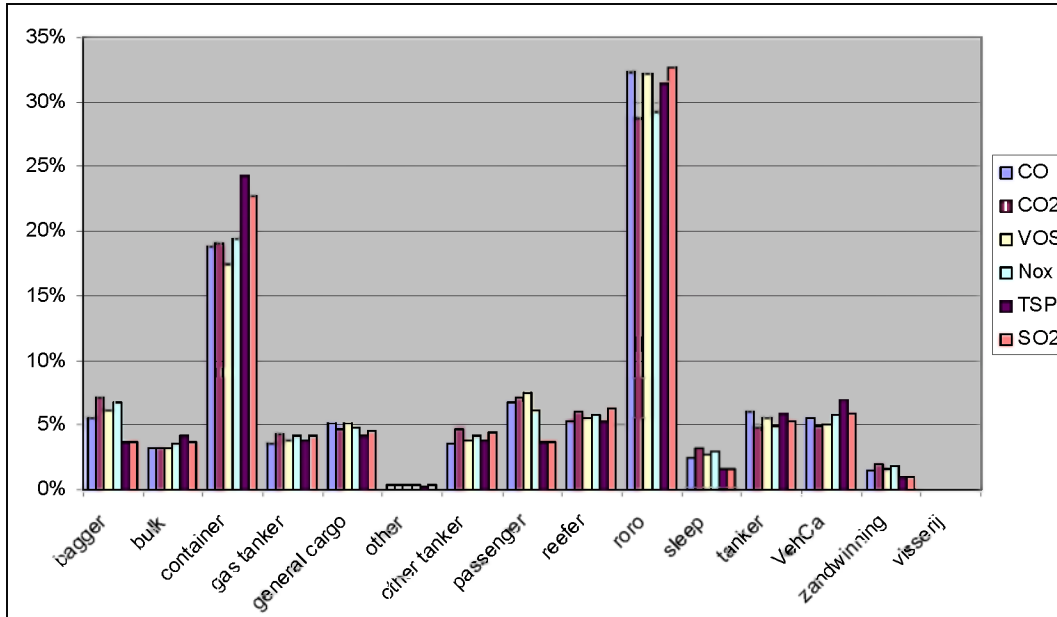


## 2.1.1 De Vlaamse zeevaartemissies in 2005

De totale zeevaartemissies (in haven en op zee) bedroegen in 2005 ongeveer 23 kton NO<sub>x</sub> en bijna 1100 kton CO<sub>2</sub>. De emissies zijn in tabelvorm terug te vinden in annex G. In figuur 1 en 2 zijn de emissies weergegeven in detail per scheepstype. Er zijn 2 scheepstypen die samen ongeveer de helft van de emissies vertegenwoordigen namelijk roro-schepen en containerschepen. Dit is niet verwonderlijk gezien het belang van deze goederentypen in de trafiek van de Vlaamse havens (containertrafiek voor Antwerpen en Zeebrugge en roro-goederen voor Oostende en Zeebrugge). De emissies van andere scheepstypen zijn ongeveer evenredig verdeeld en schommelen rond de 5% elk.

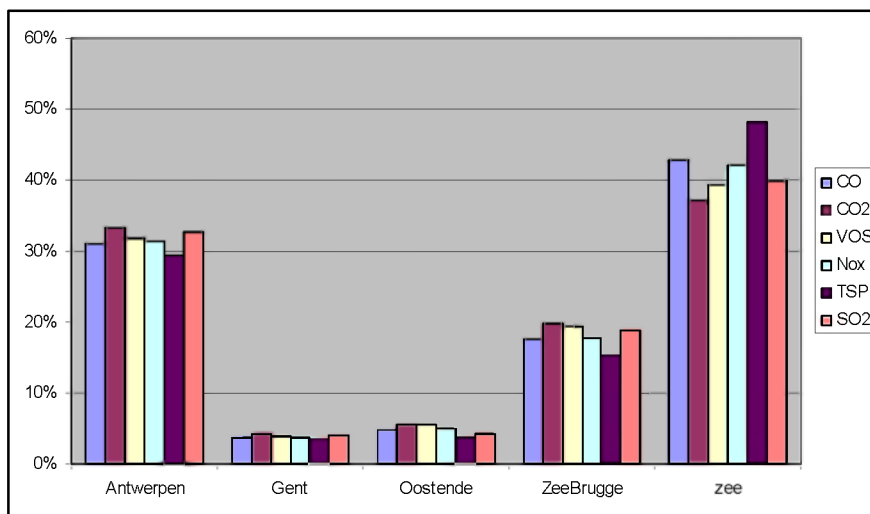


Figuur 1: Vlaamse zeevaartemissies per scheepstype in aantal ton (2005)



**Figuur 2: Vlaamse zeevaartemissies, aandelen per scheepstype in percent (2005)**

De kleine verschillen tussen de pollutanten onderling hebben vooral te maken met de leeftijd en de gemiddelde scheepsgrootte van de vloot. Voor ro-ro-schepen is het aandeel van CO-emissies hoger dan bijvoorbeeld het aandeel brandstofverbruik. Bij containerschepen is dit net andersom. De reden hiervoor is dat de ro-ro-vloot relatief oud is en de container-vloot relatief jong. Containerschepen hebben een onevenredig groot aandeel SO2 en PM emissies, dit komt omdat de containerschepen gemiddeld groter zijn en dus vaker uitgerust zijn voor aandrijving met, tot op heden, zwavelrijke zware stookolie.



**Figuur 3: Vlaamse zeevaartemissies, aandelen per locatie in percent (2005)**

In Figuur 3 zijn de emissies opgedeeld naar de plaats van voorkomen. Hieruit blijkt dat 40-50% van de emissies op de verschillende vaarroutes in territoriale wateren worden uitgestoten, de rest zijn in-haven-emissies. Dit kan tegenstrijdig lijken, maar gezien de beperkte oppervlakte van de Belgische territoriale wateren en de aanwezigheid van enkele belangrijke havens, is dit geen verrassing. Deze situatie is niet representatief voor Europese maritieme emissies, waar het grootste aandeel van de emissies uiteraard afkomstig is van op kruissnelheid varende schepen.

Van de vier zeehavens heeft Antwerpen het grootste aandeel. Dit heeft verschillende oorzaken. De belangrijkste factor is uiteraard het transportvolume, Antwerpen is de belangrijkste zeehaven van Vlaanderen. Het grote aandeel van emissies voor Antwerpen moet toch enigszins genuanceerd worden, gezien de keuzes die gemaakt werden bij de modelberekening. De aflijning van de verschillende havenlocaties is niet voor elke haven even evident. De locatie 'Antwerpen' wordt beschouwd als alle dokken achter sluis (Zandvliet/Berendrecht, Kallo en Van Cauwelaert/Boudewijn) maar ook het Vlaamse gedeelte van de Schelde, waarlangs schepen komende van of met bestemming haven Antwerpen moeten passeren. De extra tijd (en dus emissies) die hiervoor nodig is, werd toegekend aan de manoeuvreertijd van Antwerpen. Voor Oostende, Gent en Zeebrugge is dit scherper afgelijnd (zie verder).

Gezien het belang van de havenemissies, is verder detail van de bron van de emissies noodzakelijk om een goed beeld te krijgen van de problematiek.

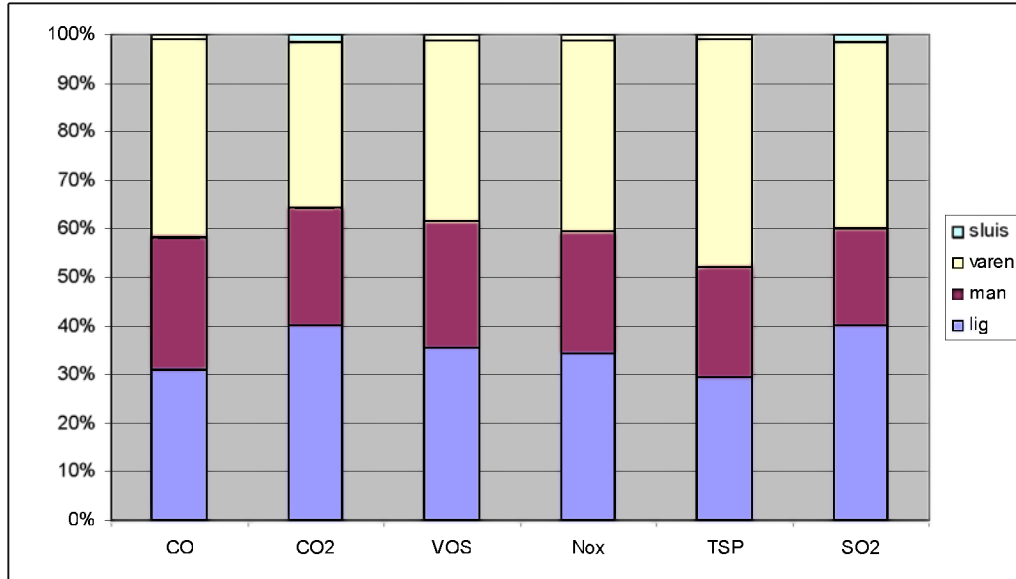
Bij de emissieberekening wordt rekening gehouden met 4 verschillende activiteiten:

- varen op zee
- manoeuvreren
- liggen aan de kade
- liggen in de sluis<sup>1</sup>

De laatste drie activiteiten zijn emissies die voorkomen in de havens. Als we de totale emissies in functie van deze vier activiteiten opdelen krijgen we volgende figuur:

---

<sup>1</sup> Deze categorie verschilt van manoeuvreren omdat in de sluis de hoofdmotor quasi altijd stilligt, waardoor de emissies zeer beperkt zijn. Indien deze toegekend werden aan manoeuvreren, zou dit een overschatting betekenen.



**Figuur 4: Vlaamse zeevaartemissies, aandelen per activiteit in percent (2005)<sup>2</sup>**

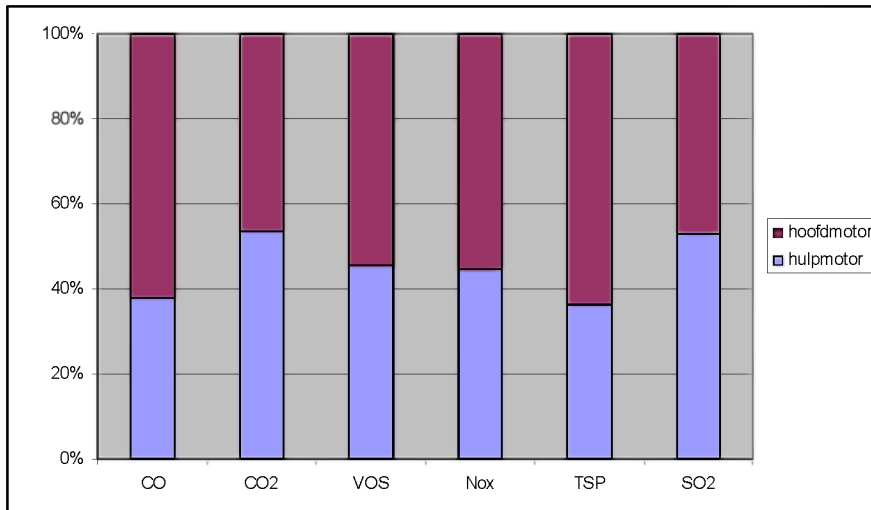
Figuur 4 hierboven toont aan dat de emissies tijdens liggen aan de kade een belangrijk aandeel hebben in de totale Vlaamse zeevaartemissies. Afhankelijk van de pollutent varieert dit tussen 30 en 45%. De Europese verplichting tot gebruik van laagzwavelbrandstof tijdens liggen aan de kade vanaf 2010 zal in de lijn hiervan een grote impact hebben op de totale SO<sub>2</sub> uitstoot, en in mindere mate op de TSP emissies. Dit zal later duidelijk worden wanneer de toekomstige emissies besproken worden.

Bij de emissieberekening wordt ook onderscheid gemaakt tussen hoofdmotoren en hulpmotoren. De hoofdmotor staat uiteraard hoofdzakelijk in voor aandrijving, de hulpmotor(en) staan in voor algemene voorzieningen zoals voorverwarmen van stookolie, apparatuur, koeling, pompen, e.d. In de haven kan daarom verwacht worden dat de emissies hoofdzakelijk afkomstig zijn van deze hulpmotoren, gezien aandrijving enkel (beperkt) noodzakelijk is bij manoeuvreren en gezien tijdens het liggen aan de kade de emissies, met uitzondering van enkele tankers die de hoofdmotor gebruiken om hun vracht over te pompen, uitsluitend afkomstig zijn van deze hulpmotoren.

Als we de totale emissies in functie van hulpmotor/hoofdmotor opdelen krijgen we volgende figuur:

---

<sup>2</sup> Emissies van baggerschepen, sleepboten en zandwinning werden volledig toegekend aan de categorie 'manoeuvreren'

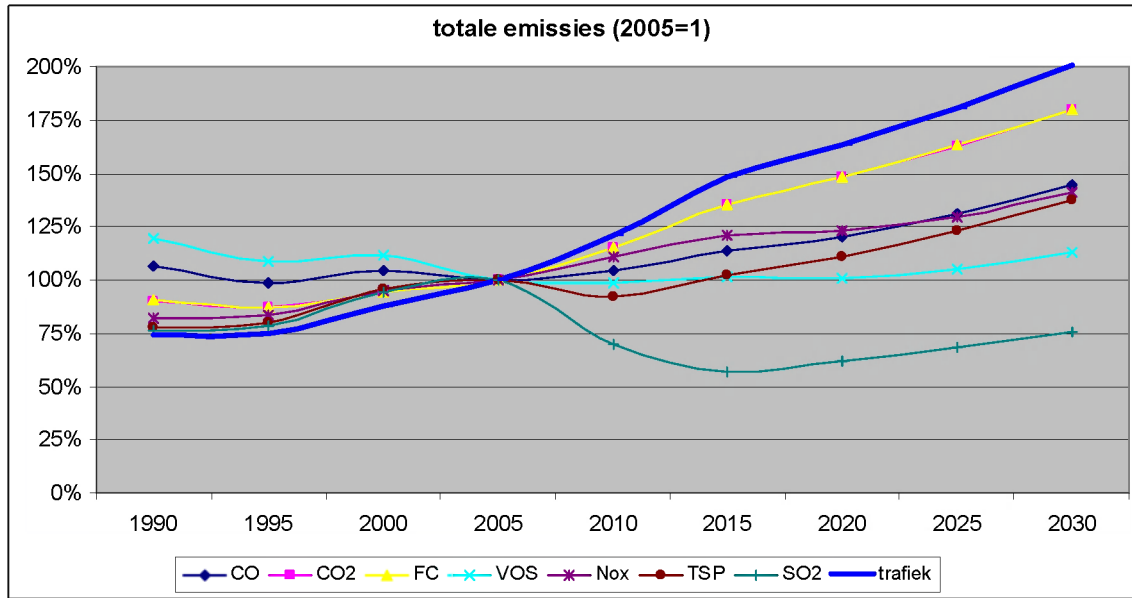


**Figuur 5: Vlaamse zeevaartemissies, aandelen per motor in percent (2005)**

Uit Figuur 5 blijkt dat de emissiebronnen voor de totale Vlaamse zeevaartemissies ongeveer 45-55% verdeeld zijn tussen respectief hulp- en hoofdmotoren, met wat verschillen tussen de polluenten. Zoals eerder aangegeven is deze verhouding niet representatief voor een volledige scheepsreis, maar wordt dit verklaard door de beperkte zeeoppervlakte en het belang van de Vlaamse zeehavens.

### **2.1.2 De Vlaamse zeevaartemissies in het verleden en in de toekomst**

We berekenden de emissies in de jaren 1990 en 2030. Op basis hiervan werd een evolutie van de emissies vastgesteld, met het jaar 2005 als referentiepunt. Om de evolutie van de specifieke emissies in functie van de trafiek in te schatten, vergelijken we de evolutie van de emissies met de evolutie van de totale trafiek.



**Figuur 6: evolutie van Vlaamse zeevaartemissies, 2005 = 100%**

- ***Zeevaartemissies in het verleden***

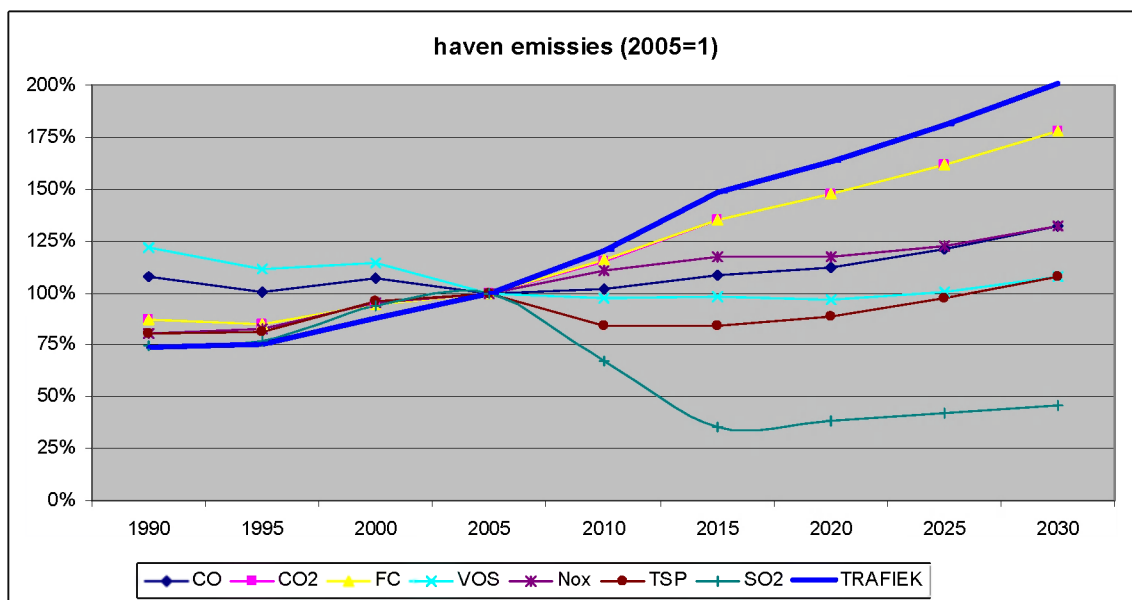
Afhankelijk van de pollutie, is er een lichte toename in de zeevaart emissies, behalve voor VOS en CO. De toename van emissies is niet evenredig met de trafiekgroei, wat resulteert in een verbetering van de gemiddelde emissieprestatie van zeevaart. Met name bij VOS en CO is er zelfs een lichte daling vast te stellen. Dit is volledig te wijten aan de continue vlootvernieuwing waarbij brandstofefficiëntie een doorslaggevende rol speelt. Dit heeft als neveneffect dat de emissies van VOS en CO afnemen. De SO2-emissies zijn lichtjes sterker gestegen dan de trafiek. Beide trends zijn te verklaren door een gestage toename in gemiddelde scheepsgrootte, waardoor efficiëntie verhoogt, maar waardoor ook meer naar zware, tot op heden ook zwavelrijke, brandstof gereikt wordt.

- ***Zeevaartemissies in de toekomst***

Als we kijken naar de emissies in de toekomst, dan blijkt dat de toename van trafiek bij de meeste pollutie een toename van de emissies veroorzaakt, doch met een lichte continue verbetering van de specifieke emissieprestatie. Oorzaak voor deze trends liggen in vlootvernieuwing en de toename van scheepsgrootte. Voor SO2 is er een eerste daling in 2007 door de introductie van de Noordzee als een SECA waardoor alle gebruikte brandstoffen in de zeevaart maximaal 1.5% zwavel mogen bevatten en is er een tweede,

grotere daling in 2010 door een Europese richtlijn die een zwavelgehalte van maximaal 0.1% oplegt voor alle brandstoffen gebruikt tijdens liggen aan de kade. Een effect van de MARPOL annex VI voor de reductie van NOx-emissies is niet zichtbaar gezien de NOx-emissies gestaag blijven toenemen. Een eventuele daling van de emissies van NOx als gevolg van deze wetgeving wordt volledig teniet gedaan door een toename van de activiteit.

Als we specifiek naar de evolutie van havenemissies kijken, zien we een gelijkaardige trend:



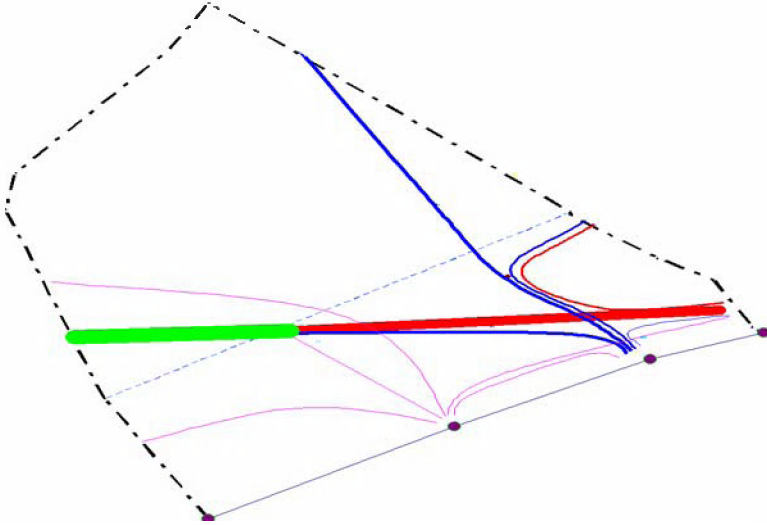
**Figuur 7: evolutie van Vlaamse zeevaartemissies in de havens, 2005 = 100%**

De evolutie van SO2-emissies zijn hier nadrukkelijker, met eerst een onevenredige sterkere toename van de SO2 emissies t.o.v. de trafiek, veroorzaakt door scheepsgroei. In 2007 en 2010 is er een sterke daling door een begrenzing van het maximaal zwavelgehalte in de brandstof. Hier is ook duidelijk een neveneffect zichtbaar op de TSP-emissies, die mee dalen bij de introductie van laagzwavelige brandstof, zij het minder uitgesproken dan bij SO2.

Daarna beginnen de SO2- en TSP-emissies terug te stijgen onder impuls van de toenemende activiteit en verdere schaalvergroting, waardoor meer HFO zal gebruikt worden in plaats van MDO. HFO heeft in vergelijking met MDO een grotere TSP emissiefactor.

### 2.1.3 Geografische spreiding van de emissies

Voor de geografische verdeling van de emissies op zee krijgen we deze verdeling:



**Figuur 8: zeevaartroutes op BCP**

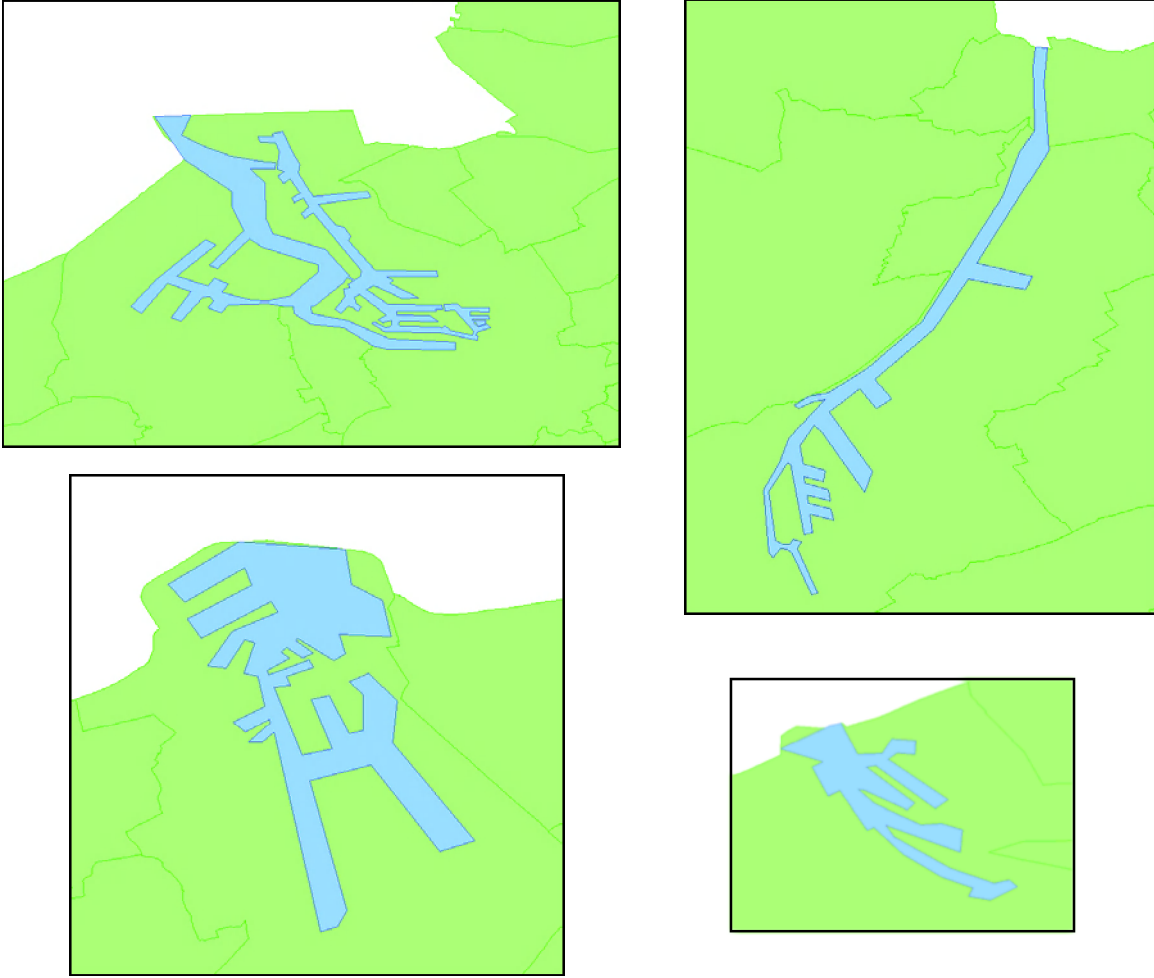
Dit is een weergave van het BCP met de belangrijkste vaarroutes. De stippellijn evenwijdig met de kustlijn is de twaalfmijlszone. De vaarroutes zijn aangegeven in kleur, de dikte geeft een indicatie van het belang van de emissies. De kleur geeft de bestemming of oorsprong per haven aan. (blauw: Zeebrugge; paars: Oostende; rood: Antwerpen en Gent). De groene vaarroute valt buiten de twaalfmijlszone en wordt niet gedekt door het IVS-SRK. De emissies op deze route werden geschat door middel van extrapolatie.

De emissies werden ook berekend per haven, de geografische resolutie is beperkt tot een emissiecijfer per haven. Geografisch gezien worden deze emissies dan ook gelijkmatig gespreid over het natte gedeelte van het havengebied.

**Tabel 1: emissies in de Vlaamse zeehavens in ton (2005)**

polluent	Antwerpen	Gent	Oostende	Zeebrugge
CO	1793.24	218.54	275.04	1011.50
CO <sub>2</sub>	362511.15	46011.56	58904.17	215415.51
VOS	344.94	42.25	58.32	209.59
Nox	7338.11	885.41	1168.39	4145.48
SO <sub>2</sub>	4507.32	567.04	579.46	2595.50
TSP	460.25	54.65	55.77	240.29





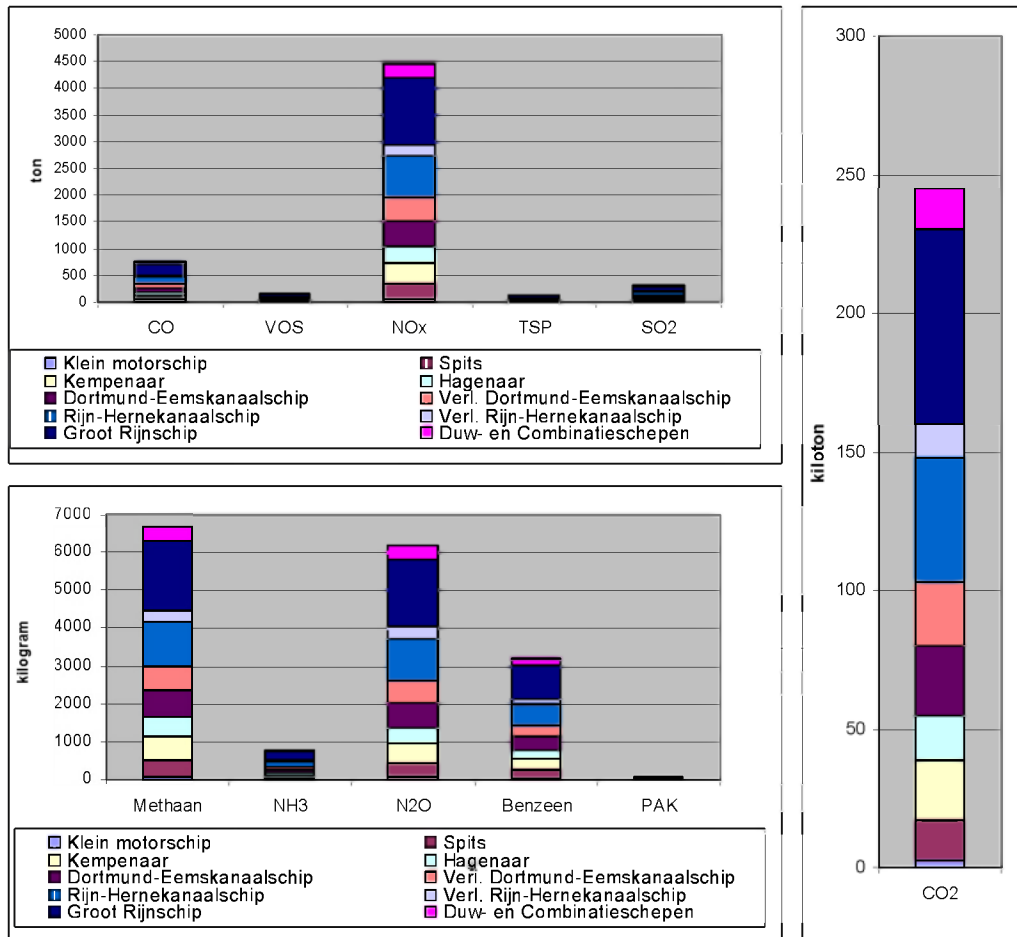
**Figuur 9: het “natte gedeelte” van de Vlaamse zeehavens waarover de emissies gelijkmatig worden gespreid. Linksboven: Antwerpen; Rechtsboven: Gent; Linksonder: Zeebrugge; Rechtsonder: Oostende.**

## 2.2 Binnenvaart

Onder de Vlaamse binnenvaartemissies worden de emissies van verbrandingsmotoren verstaan die afkomstig zijn van schepen die staan geregistreerd als binnenschip in de officiële Vlaamse en communautaire registers als gevolg van het varen en verblijven op de vaarwegen binnen het Vlaamse territorium. Enkel de directe emissies werden bepaald.

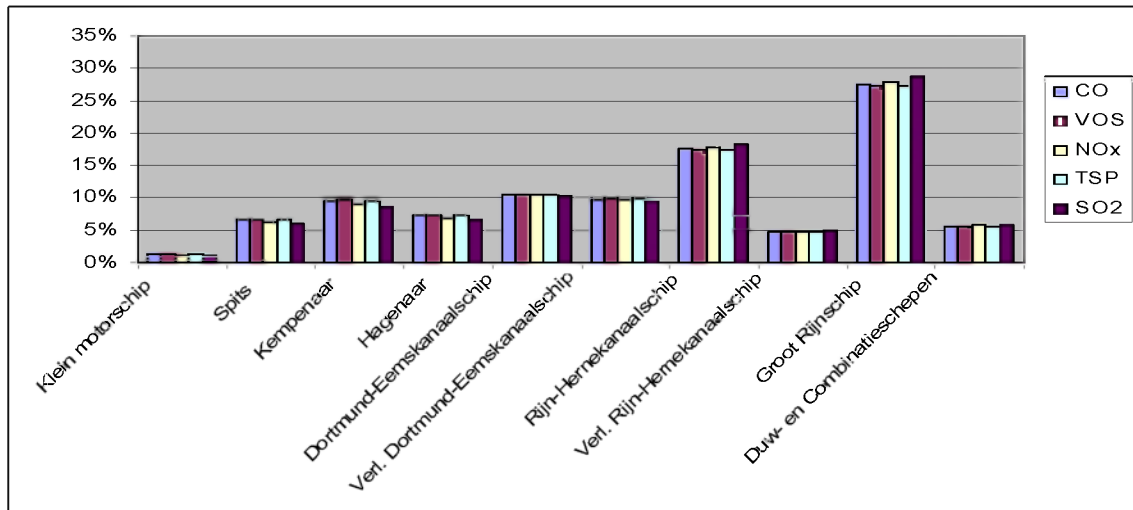
### 2.2.1 De Vlaamse binnenvaartemissies in 2005

De totale binnenvaartemissies bedroegen in 2005 ongeveer 4500 ton NOx en iets minder dan 250000 ton kooldioxide. In Figuur 10 zijn de emissies weergegeven in detail per scheepstype. De grootste schepen vanaf het Rijn-Herne schip emitteren samen meer dan de helft van de emissies. De “overige schepen” bestaan uit duwbakken en combinatieschepen.



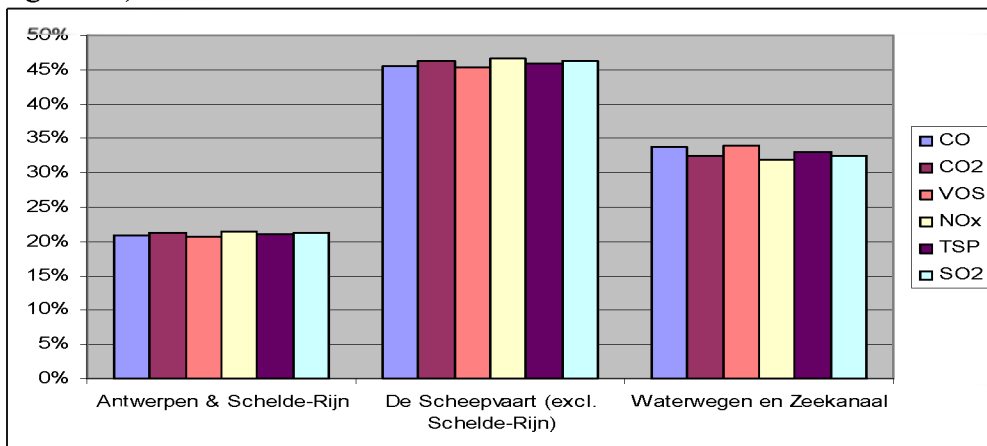
Figuur 10: emissies van binnenvaartschepen in Vlaanderen(2005)

Uit Figuur 11 blijkt dat er slechts weinig verschil is per stof in het aandeel dat door de diverse scheepstypen wordt geëmitteerd. Dit geringe verschil heeft te maken met het geringe verschil in de gemiddelde leeftijd van de scheepsmotoren. Het grootste aandeel van de emissies is afkomstig van grote rijnschepen, dit gezien hun belang in de totale vervoersprestaties.



**Figuur 11: Vlaamse binnenvaartemissies, aandelen per scheepstype(2005)**

Er bestaan slechts geringe verschillen tussen de verschillende vaarwegbeheerders ten aanzien van het aandeel van de stoffen in de totale emissies. Dit is geen verrassing aangezien er geen grote verschillen bestaan tussen de verschillende scheepstypen (zie Figuur 12).

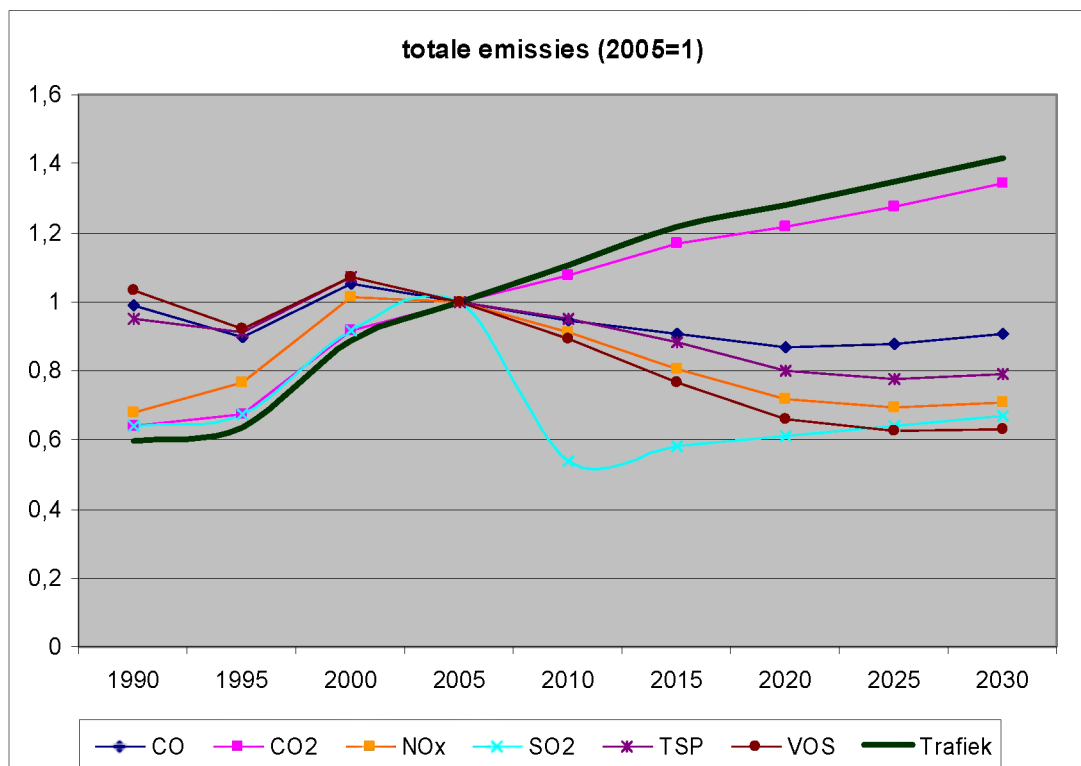


**Figuur 12: Vlaamse binnenvaartemissies, aandelen per vaarwegbeheerder (2005) <sup>3</sup>**

<sup>3</sup> Schelde-Rijn valt onder De Scheepvaart, maar werd o.w.v. het grote aandeel apart beschouwd.

## 2.2.2 De Vlaamse binnenvaartemissies in het verleden en in de toekomst

We berekenden de emissies voor de jaren 1990, 1995, 2000, 2005, 2015, 2020, 2025 en 2030. Voor de jaren 1990, 1995 en 2000 was het jaar 2001 het referentiepunt wat betreft de verkeerssamenstelling. Voor de overige jaren was het jaar 2005 het referentiepunt voor wat betreft de verkeerssamenstelling (zie figuur 13).



Figuur 13: evolutie van de Vlaamse binnenvaartemissies (2005=1)

- **Binnenvaartemissies in het verleden**

We vergelijken de evolutie van de emissies met de evolutie van de totale trafiek.

We zien dat de pollutanten CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> de ontwikkeling van de trafiek nagenoeg volgen. Bij de pollutanten CO, TSP en VOS stijgen de emissies niet evenredig mee met de trafiek door het schoner worden van de motoren.

- **Binnenvaartemissies in de toekomst**

Bij de berekening van de emissies in de toekomst, werd rekening gehouden met de CCR-normen die emissiestandaarden opleggen aan de scheepsmotoren. Eventuele andere maatregelen die momenteel onderzocht worden, zijn niet meegerekend.



## 2.3 *Spoorvervoer*

Analoog aan de zeevaartemissies, definiëren we eerst de Vlaamse spooremissies, zoals ze in deze studie beschouwd werden. Het geografische aspect is hier enigszins eenvoudiger dan bij scheepvaart het geval was, het gaat namelijk over emissies die afkomstig zijn van het spoorverkeer in Vlaanderen. Met spoorverkeer bedoelen we de activiteit op spoorwegen en rangeerterreinen. Emissies van spooractiviteit op bedrijventerreinen vallen niet onder deze berekeningen. De emissies zijn in hoofdzaak afkomstig van de NMBS en recent van enkele andere operatoren zoals DLC. Het is belangrijk hier op te merken dat voor de emissie-inventaris enkel de directe emissies opgenomen worden, gezien er anders dubbeltellingen in de totale inventaris kunnen optreden. De emissies die in deze studie beschouwd worden zijn bijgevolg enkel de directe emissies van diesel spoorverkeer. Emissies van elektrisch spoorverkeer (trein en tram) worden niet opgenomen.

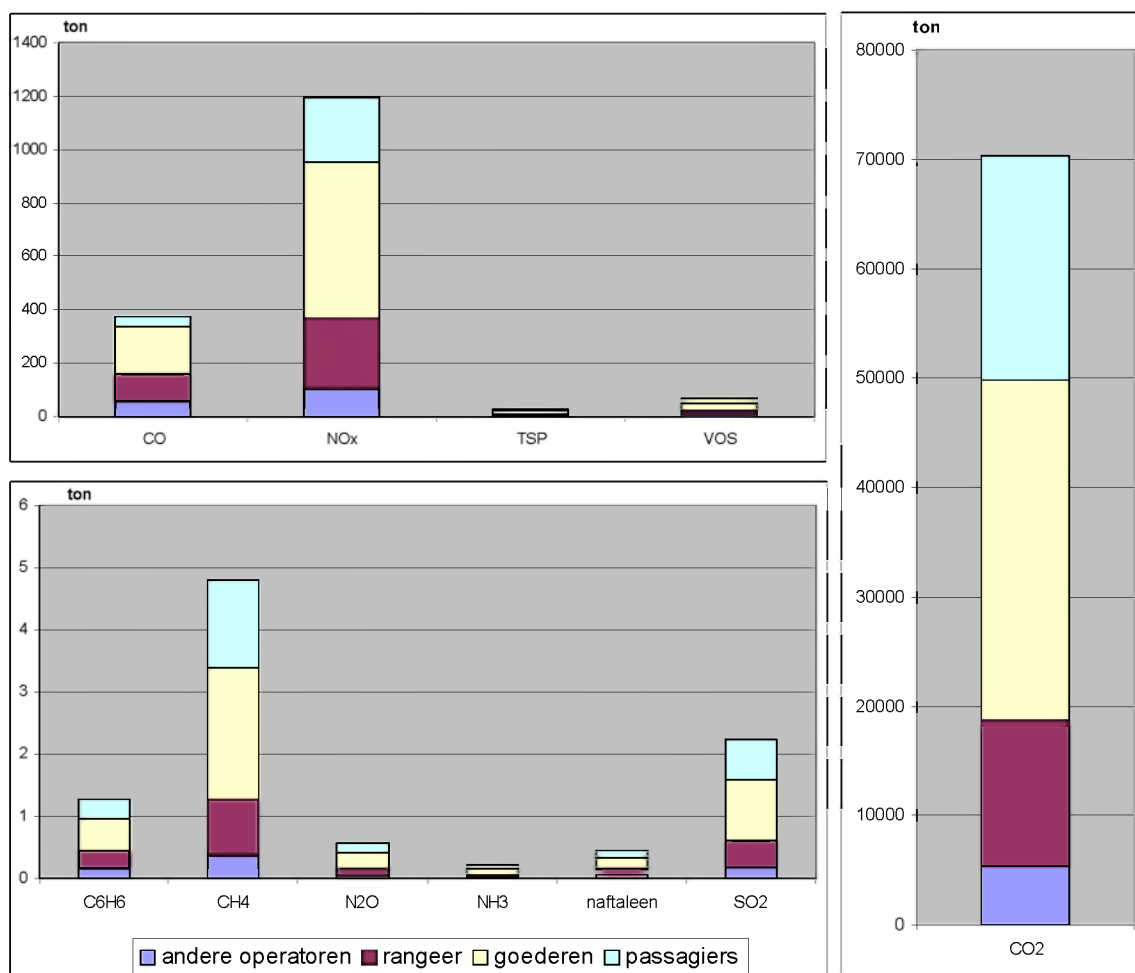
In 2005 werden 93% van de treinkilometers reizigerstreinen en 75 % van de treinkilometers goederentreinen van de NMBS elektrisch aangedreven<sup>4</sup>. Dit betekent dat slechts een klein deel van de treinen directe uitlaatemissies veroorzaken. De directe emissies van de dieseltreinen zijn dus niet representatief voor de globale spoorsector. Gezien het grote belang van elektrisch spoorvervoer, werd ook een kort stukje toegevoegd over life-cycle emissies. Tenzij expliciet vermeld in de tekst, gaat het dan ook steeds om directe emissies van diesel spoorvervoer.

---

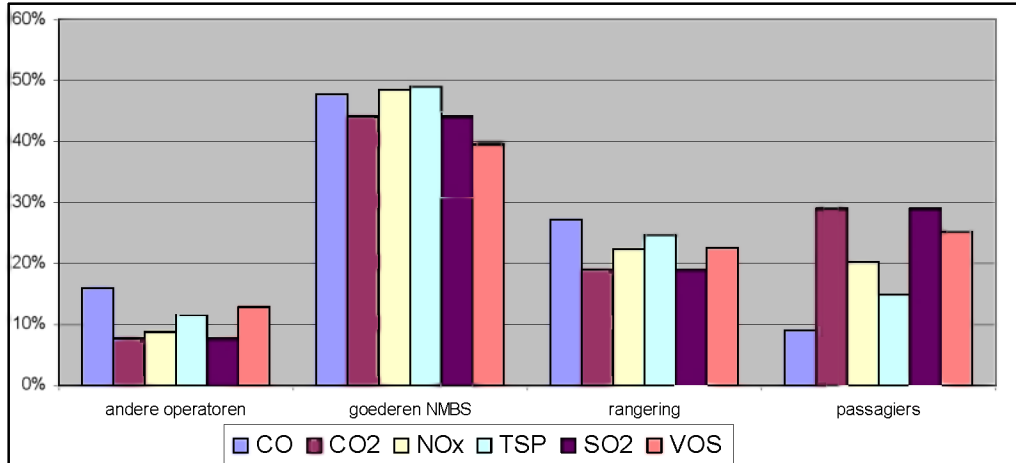
<sup>4</sup> Inschatting Mr. Bontinck B-Holding

### 2.3.1 De directe Vlaamse spooremissies in 2005

De totale directe Vlaamse spooremissies in 2005 bedroegen voor CO<sub>2</sub> ongeveer 70 kton en voor NO<sub>x</sub> ongeveer 1.2 kton. Een overzicht van de directe emissies van een tiental spoorverkeer in Vlaanderen zijn in tabelvorm terug te vinden in annex G. In de figuren beneden zijn de Vlaamse directe emissies weergegeven in functie van 4 typen emissiebronnen: goederentransport NMBS, goederentransport andere operatoren, personenvervoer en rangering .



Figuur 15: directe emissies van spoorverkeer in Vlaanderen (2005)



**Figuur 16: directe emissies van spoorverkeer in Vlaanderen, aandeel per bron (2005)**

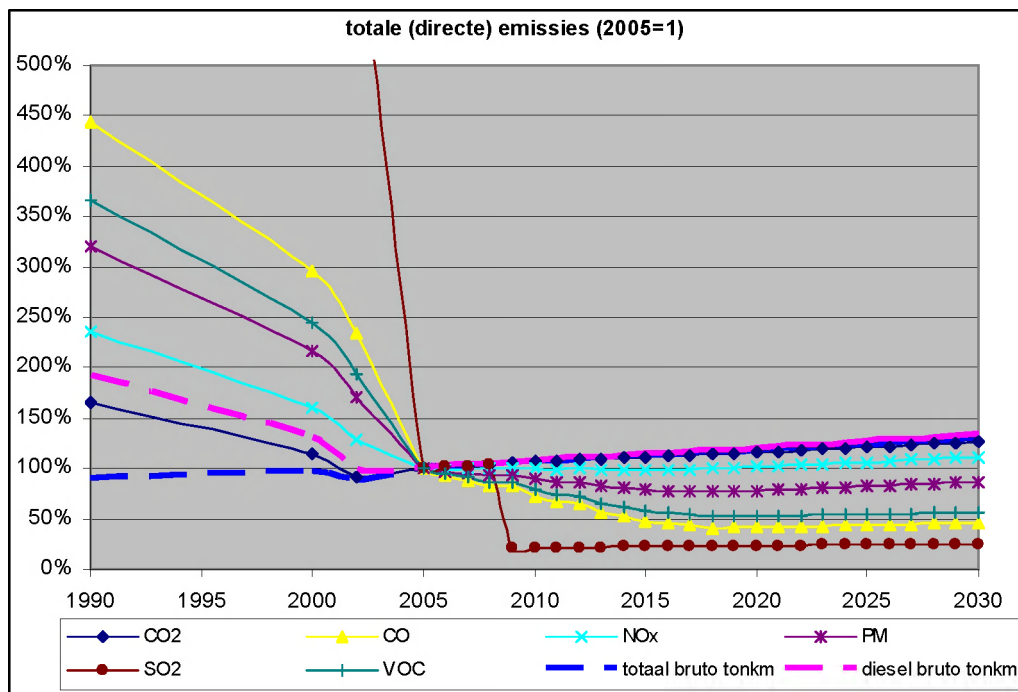
Zoals in de figuren hierboven duidelijk wordt, is een kleine 50% van de directe emissies afkomstig van goederentransport. In principe worden de rangeeremissies ook bij goederentransport gerekend. Opvallend is dat de het taal van directe rangeeremissies in dat geval één derde van de directe emissies van goederentransport vertegenwoordigt. Dit is te verklaren doordat elektrisch goederentransport ook een deel ranging vereist, wat met diesellocomotieven gebeurt.

Er zijn relatief grote verschillen tussen de directe emissies van de verschillende pollutanten. Het aandeel van de directe emissies van CO van passagiertransport is bijvoorbeeld veel lager dan het aandeel CO2. Dit komt omdat er grote verschillen zijn in de vloot voor de verschillende diensten. De directe emissies van passagierdieseltreinen zijn in 2005 bijna uitsluitend afkomstig van het nieuwe type MW41, die een veel betere emissiefactor heeft in vergelijking met de goederen- en rangeerlocomotieven op dat moment.



### 2.3.2 De directe Vlaamse spooremissies in het verleden en in de toekomst

We bekijken hoe de directe emissies zijn geëvolueerd vanaf 1990 tot nu en hoe de emissies zullen evolueren tot 2030.



Figuur 17: evolutie van de directe Vlaamse spooremissies (2005=1)

De spectaculaire daling van alle directe emissies tussen 1990 en 2005 valt meteen op. De hoofdreden hiervoor is een afname van de dieseltractie door een verdere elektrificatie van het spoorwegennet. In 1990 werd 61.5% van het goederenverkeer gerealiseerd met elektrische locomotieven, in 2005 is dit 79.1%. Verder is er ook een lichte toename van elektrificatie van personenvervoer: van 90.2% in 1990 tot 96.5% in 2005<sup>5</sup>. De NMBS verwacht echter dat aan deze trend een eind is gekomen. In de modelberekeningen is geen verdere toename van verhouding elektrische tractie tot de dieseltractie aangenomen. Behalve elektrificatie speelt ook vlootvernieuwing een grote rol. In de periode 2000-2010 gebeurt er een geleidelijke vervanging van verschillende typen oude locomotieven door één nieuw type, namelijk de HLD77. Het verschil in emissiefactor tussen de oude

<sup>5</sup> percentages op basis van bruto tonkilometer

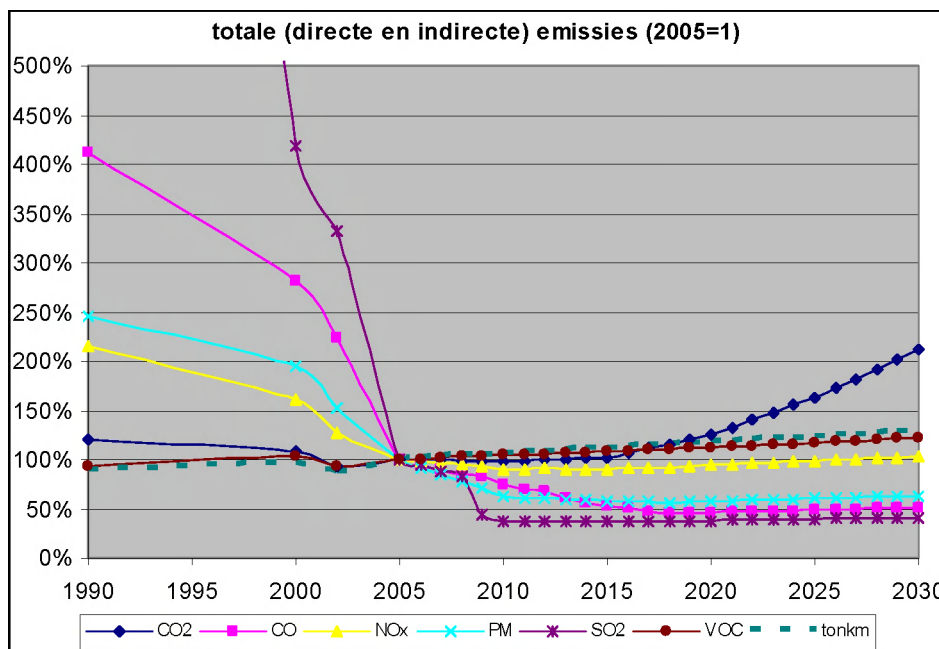
locomotieven en dit nieuwe type is aanzienlijk. De vervanging van de oude locomotieven loopt af rond 2017, waarna alle activiteit toegekend wordt aan de HLD77.

Voorts is er een opvallende daling te zien van de SO<sub>2</sub> uitstoot (ongeveer factor 50 lager in 2005 t.o.v. 1990), dit is vooral te wijten aan de verlaging van het zwavelgehalte van de brandstof, 1500 ppm in 1990 tot 50 ppm in 2005 en vanaf 2008 10 ppm. Verder speelt de afname van dieseltractie natuurlijk ook een rol.

Als we kijken naar de toekomstige directe emissies, dan zien we dat de emissies over het algemeen blijven dalen, tot enkel de HLD77 nog actief is rond 2017, waarna de emissies evenredig meestijgen met de toenemende activiteit.

### 2.3.3 Indirecte emissies

Omdat een groot deel van de activiteit per spoor gebeurt met elektrisch aangedreven locomotieven of motorwagens, werd ook de evolutie van de totale directe en indirecte emissies berekend. Dit werd enkel gedaan voor treinen, niet voor tram. Bij het berekenen van de indirecte emissies worden de emissies die vrijkomen bij elektriciteit- en dieselproductie meegerekend. De methode voor deze berekening wordt in detail uitgelegd in het volgende hoofdstuk.



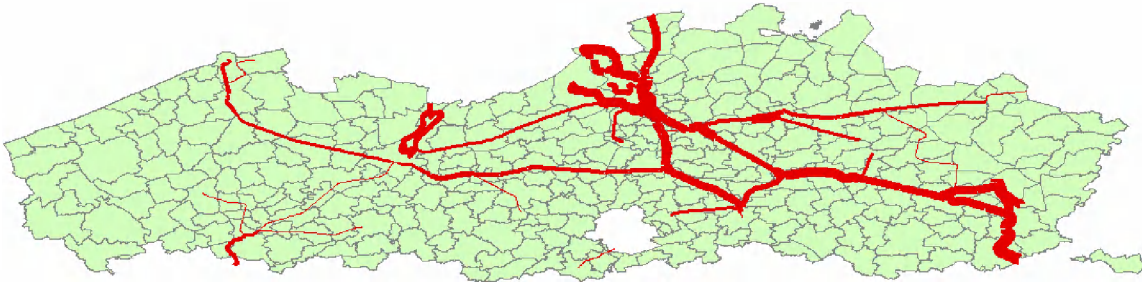
Figuur 18: evolutie van de Vlaamse spooremissies (2005=1)

Hier is voor de meeste pollutanten een gelijkaardige trend, zoals bij de directe emissies, zichtbaar hoewel de daling over het algemeen minder uitgesproken is. CO2 emissies gaan stijgen vanaf ongeveer 2020 door de uitstap uit de kernenergie.

### 2.3.4 Geografische spreiding van de directe emissies

Bij het geografisch spreiden van de directe emissies, wordt duidelijk dat de regio rond Antwerpen het grootste deel van de activiteit en bijgevolg ook emissies vertegenwoordigt. Voorts is te zien dat de activiteit op de corridors tussen de Vlaamse zeehavens en grote industriële centra het grootste aandeel op zich neemt.

In de figuur beneden zijn het aantal (diesel)goederentreinen per spoorsegment weergegeven. Dit geeft een indicatie voor de directe emissies.



**Figuur 19: aantal goederentreinen, geografisch (2005)**

## **3 Model**

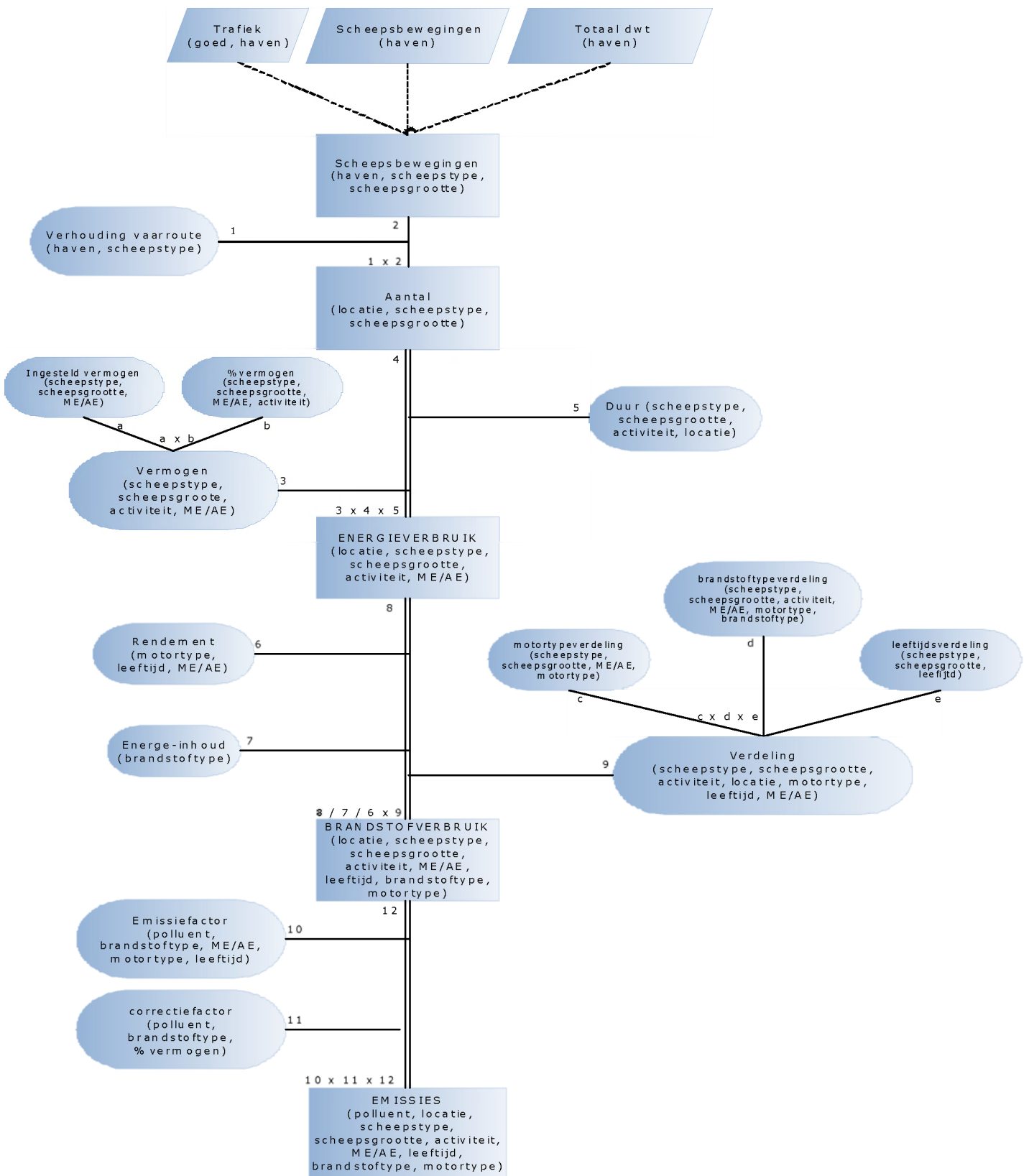
In dit hoofdstuk wordt voor de drie transportmodi het model in detail uitgewerkt, enerzijds de emissieberekening en anderzijds de prognose en backcastingmethode. Het model kan gebruikt worden om simulaties uit te voeren. We bespreken hier welke parameters een rol spelen in de emissieberekening en hoe die beïnvloed kunnen worden bij simulatieberekeningen.

### **3.1 Zeevaart**

Het zeevaartmodel berekent op basis van het aantal scheepsaanmeldingen per haven, het totale energieverbruik per haven en vaarroute. Hier kan het brandstofverbruik en met behulp van een emissiefactor de emissies bepaald worden.

De berekeningsmethode wordt eerst schematisch voorgesteld waarna de werkwijze in detail wordt besproken.

### 3.1.1 Schema



### 3.1.2 Input

Om de emissies jaarlijks te berekenen, zijn er 2 invoerparameters:

1. trafiekgegevens, de som van de hoeveelheid ladingen en lossingen in ton, per haven en per goed (bron: SERV)
2. aantal scheepsbewegingen per haven (bron: SERV)

We beschouwen de activiteit als sleutelinput voor de jaarlijkse emissieberekeningen, de andere factoren voor de berekening worden beschouwd als modelvariabelen, die gekalibreerd werden op basis van diverse bronnen. De modelvariabelen kunnen geactualiseerd worden, wat voor bepaalde parameters nodig zal zijn om in de toekomst een correcte berekening te bekomen.

### 3.1.3 Emissieberekening

De emissieberekening gebeurt via twee tussenberekeningen, waarna de emissies berekend kunnen worden:

1.  $\text{Energieverbruik (kWh)} = \text{duur(h)} \times \text{ingesteld vermogen(kW)} \times \text{\%vermogen(-)} \times \text{aantal(-)}$
2.  $\text{Brandstofverbruik(kg)} = \frac{\text{energieverbruik(kWh)}}{\text{rendement(-)} \times \text{Energieinhoud(kWh/kg)}} \times \text{verdeling}$
3.  $\text{Emissies(kg)} = \frac{\text{brandstofverbruik(kg)}}{\text{emissiefactor(kg/kg)}} \times \text{correctiefactor(-)} \times \text{reductiefactor(-)}$

We overlopen de verschillende modelvariabelen:

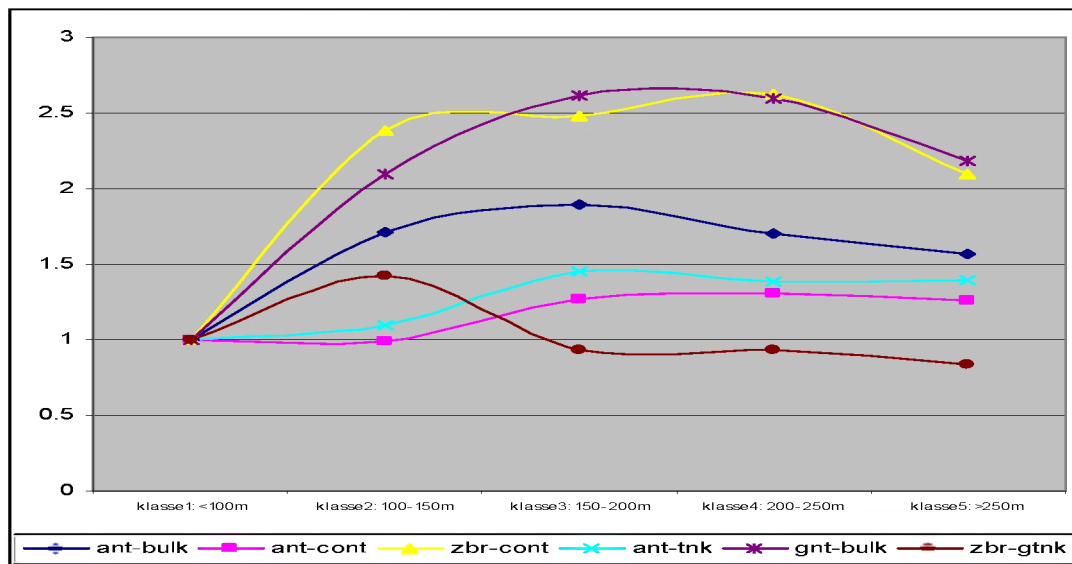
- **Duur:** De tijd die een specifiek schip nodig heeft voor een specifieke activiteit, afhankelijk van scheepstype, scheepsgrootte, activiteit en locatie. Voor de ligtijden, manoeuvreertijden en sluitijden werden gegevens uit de havenbeheersystemen gebruikt. Voor het bepalen welke duur een bepaalde vaarroute in beslag neemt, werd data van IVS-SRK gebruikt. Een overzicht van enkele waarden voor deze variabele is gegeven in Tabel 2.

**Tabel 2: ligtijden (links) en manoeuvreertijden (rechts) gemiddeld per scheepstype per haven.**

scheepstype	Antwerpen		Gent		Oostende		Zeebrugge	
bulk	90.4	4.1	65.8	2.6	28.7	4.1	41.0	0.9
container	24.4	2.9	15.1	2.6	5.7	0.8	16.8	1.4
gas tanker	27.6	3.0	25.2	1.9			25.4	1.1
general cargo	51.9	3.6	32.6	2.1	22.7	2.3	20.3	1.1
other	51.9	3.6	32.6	2.1	22.7	2.3	20.3	1.1
other tanker	34.2	3.7	18.3	1.9	20.6	3.3	13.5	0.8
passenger	18.1	2.5	17.7	3.0	9.6	0.7	11.0	0.9
reefer	39.8	3.5	100.1	3.3			27.7	1.7
roro	22.9	3.2	19.9	2.4	11.1	0.8	9.4	1.0
tanker	33.2	3.3	24.1	2.1	26.7	0.6	11.1	1.3
VehCa	25.0	2.8	19.9	2.4	11.1	0.8	13.0	1.3

De ligtijden werden gediversifieerd over de verschillende lengteklassen. Hier komt voor de meeste scheepstypen een interessante trend naar boven. Verhoudingsgewijs hebben de kleinere schepen een relatief korte ligtijd, de middelste klassen gemiddeld de hoogste, waarna er weer een lichte daling is voor de allergrootste schepen. Hier werd niet onmiddellijk een verklaring voor gevonden, maar een toename van de ligtijd in functie van de scheepsgrootte lijkt evident doordat de hoeveelheid over te laden vracht ook toeneemt. De daling voor de allergrootste schepen zou te wijten kunnen zijn aan een eventuele efficiëntieverhoging.

Deze tijden werden getoetst aan cijfers uit de ECOSONOS studie en werden gevalideerd door de stuurgroep.



**Figuur 20: voorbeelden van het verschil in ligtijden tussen de verschillende grootteklassen**

- Ingesteld vermogen:** De totale hoeveelheid vermogen aan boord van een schip, gegeven per scheepstype, scheepsgrootte en opgedeeld in hoofdmotor en hulpmotor. We vergeleken verschillende nationale en internationale bronnen. Uiteindelijk werd gekozen te werken met een algoritme dat de relatie tussen het vermogen en het DWT/GRT van het schip beschrijft. (Endresen, 1999), hierdoor kan het vermogen bepaald worden in functie van de scheepsgrootte en het scheepstype. Het geïnstalleerd hulpvermogen wordt aangenomen als 20% van het hoofdvermogen. De gemiddelde waarden per scheepstype werden getoetst aan de ECOSONOS studie, de afwijking bleek beperkt te zijn. Het ingesteld vermogen is een gevoelige parameter en er is een relatief groot onzekerheidsinterval door de grote variatie tussen individuele schepen.

**Tabel 3: vermogen hoofdmotor (links) en hulpmotor (rechts) per scheepstype en lengteklasse in kW**

scheepstype	klasse1: <100m	klasse2: 100-150m	klasse3: 150-200m	klasse4: 200-250m	klasse5: >250m
bulk	2,403	481	4,307	861	7,342
container	2,686	537	5,802	1,160	13,500
gas tanker	3,842	768	6,895	1,379	13,866
general cargo	1,497	299	3,340	668	8,047
other	995	199	2,934	587	11,370
other tanker	2,047	409	3,788	758	7,546
passenger	1,518	683	7,954	3,579	14,481
reefer	3,898	780	9,063	1,813	13,891
roro	3,809	762	6,188	1,238	19,562
tanker	1,825	365	3,514	703	7,437
VehCa	3,809	762	6,188	1,238	19,562



**%vermogen:** Het percentage vermogen dat wordt gevraagd van de hoofd- en hulpmotor bij elke specifieke activiteit. Deze parameter is afhankelijk van scheepstype en scheepsgrootte. Met uitzondering van tankschepen, werd aangenomen dat de hoofdmotor niet wordt gebruikt tijdens stilliggen in de haven. Voor liggen in de sluis werd aangenomen dat de hoofdmotor een minimaal verbruik genereert van 5% van het geïnstalleerde vermogen gezien sommige schepen met verstelbare spoed hun hoofdmotor in de sluis laten draaien. De gehanteerde waardes werden afgeleid uit de ECOSONOS-studie en het Nederlandse EMS protocol (Hulskotte, 2003). Voor de percentages bij varen op zee, werd vastgesteld dat de snelheden op de zeevaartroutes niet de ontwerpsnelheid bleek te zijn, maar een gereduceerde snelheid. Dit geeft volgende percentages ingesteld vermogen voor varen op zee, in functie van scheepstype en scheepsgrootte (de bepaling van deze percentages wordt in detail verklaard in annex B):

**Tabel 4: percentage van het geïnstalleerde hoofdmotorvermogen bij varen aan gereduceerde snelheid voor de verschillende scheepstypen en grootteklassen.**

scheepstype	< 100m	100-150m	150-200m	200-250m	>250m
bulk	50%	45%	40%	40%	40%
container	40%	35%	30%	30%	30%
gas tanker	50%	45%	40%	40%	40%
general cargo	45%	40%	35%	35%	35%
other	50%	45%	40%	40%	40%
other tanker	50%	45%	40%	40%	40%
passenger	35%	30%	25%	25%	25%
reefer	40%	35%	30%	30%	30%
roro	35%	30%	25%	25%	25%
tanker	50%	45%	40%	40%	40%
VehCa	45%	40%	35%	35%	35%

- **Aantal:** Afgeleid uit data van de havens, IVS-SRK en de SERV wordt dit getal vastgesteld per haven, per scheepstype en scheepsgrootte. Om te bepalen welke scheepsroutes gevolgd werden, werd data van IVS-SRK gebruikt. Met die data werd vastgesteld wat de aankomende en vertrekkende vaarroute is per scheepstype en per haven. (De klasse 'NIET' houden baggerschepen en sleepboten in, waarvoor de emissies op basis van brandstofverbruik werden berekend)

**Tabel 5: aantal callings per scheepstype per haven (2005)**

klasse	Antwerpen	Gent	Oostende	Zeebrugge
bulk	750	544	0	13
container	3,584	62	66	634
gas tanker	1,013	0	0	132
general cargo	5,108	2,120	179	402
other	122	2	113	178
other tanker	2,293	324	3	9
passenger	62	0	309	679
reefer	579	43	0	163
roro	819	317	3,802	3,030
tanker	852	253	89	193
VehCa	525	83	0	1,355
<i>NIE T</i>	<i>199</i>	<i>74</i>	<i>175</i>	<i>685</i>

- **Rendement:** Dit is afhankelijk van het motortype en de leeftijd van het schip. Deze cijfers werden afgeleid uit het EMS protocol (Oonk 2003)
- **Energie-inhoud brandstof:** Deze parameter werd gelijkgesteld aan de waarde die in de energiebalans gebruikt wordt, namelijk de onderste verbrandingswaarde. Voor MDO is dit 42.697 MJ/kg; voor HFO 40.604 MJ/kg
- **Verdeling:** Deze verdeling heeft tot doel de berekening te verfijnen en heeft betrekking op drie aspecten:
  - *Brandstoftype:* Afhankelijk van locatie, scheepstype en scheepsgrootte worden verschillende brandstoffen gebruikt. Er wordt rekening gehouden met 2 typen: heavy fuel (HFO) en marine diesel (MDO). Grotere schepen gebruiken bijna uitsluitend HFO. Deze verdeling werd samengesteld op basis van enkele ‘expert opinions’ en werd gevalideerd door de stuurgroep.
  - *Motortype:* Deze parameter bepaalt welk motortype gebruikt wordt in functie van scheepstype en –grootte. Grotere schepen hebben veelal een tweetakt motor. Sommige grote tankers kunnen uitgerust zijn met turbinemotoren. (Endresen, 2003)
  - *Leeftijdsklasse:* Uit de verschillende databronnen (havens en IVS-SRK) kon een leeftijdsdistributie opgesteld worden in functie van scheepstype en scheepsgrootte.
- **Emissiefactor:** De emissiefactoren voor de belangrijkste pollutanten (NO<sub>x</sub>, VOS, TSP, CO, brandstofverbruik) die gebruikt werden in het Nederlandse EMS protocol (Oonk, 2003) werden overgenomen voor deze berekening. Er wordt een onderscheid gemaakt in brandstoftype (HFO/MDO), motortype (tweetakt, viertakt, turbine) en bouwjaar. De emissiefactoren zijn terug te vinden in annex A. De emissiefactoren voor de andere pollutanten (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, PAK en CH<sub>4</sub>) werden overgenomen uit een andere Nederlandse studie (Klein, 2006). Voor de

emissies van PM2.5, PM10 en TSP werd vertrokken van de emissiefactor PM10 volgens het EMS protocol. Voor PM2.5 en TSP werden herschalingsfactoren toegepast. TSP: 1; PM10: 0.95; PM2.5: 0.9 (Visschedijk et. Al)

- **Correctiefactor:** Dit is een correctiefactor voor de emissiefactor en is afhankelijk van het %vermogen dat van de hoofd- en hulpmotor gevraagd wordt. De emissiefactor verandert wanneer de motor gebruikt wordt bij belastingen die lager zijn dan de ontwerpbelasting. Vanaf 50% en lager is er een duidelijke verslechtering van de emissiefactor. Deze correctiefactor maakt in principe deel uit van de emissiefactoren uit het EMS protocol (Oonk 2003).
- **Reductiefactor:** Dit is een reductiefactor voor de emissiefactor om mogelijke toekomstige maatregelen te simuleren en is afhankelijk van de leeftijdsklasse, motortype en brandstoftype.

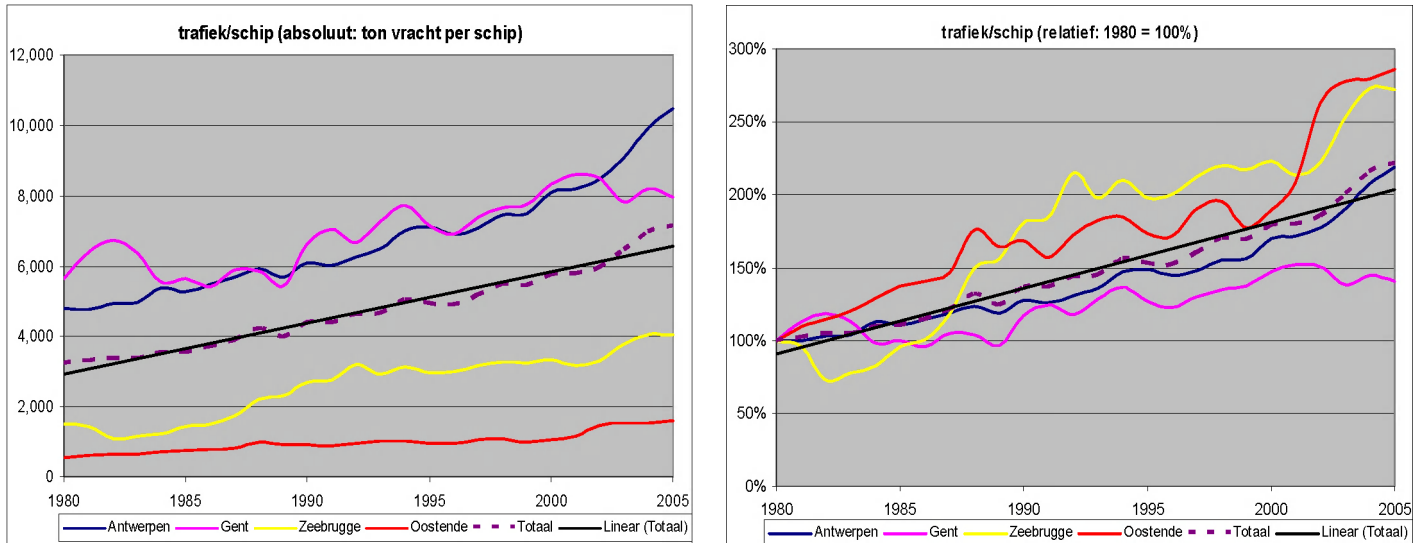
### 3.1.4 Prognose

Om de emissies in de toekomst te berekenen moet in eerste instantie de activiteit bepaald worden. Voor het model is dit het aantal scheepsbewegingen. Een schatting van het aantal aangemelde schepen per haven is echter niet zomaar voorhanden. Daarom wordt een omweg gemaakt via trafiekprognoses (som ladingen en lossingen), die wel beschikbaar zijn. Voor elke haven werd er een jaarlijks groeicijfer per type goed vastgesteld uit de strategische plannen voor de haven (met toevoegingen van de stuurgroepleden). Interval 1 is de periode 2005-2015 waarvoor data beschikbaar was, interval 2 is de periode 2015-2030, hier werd de waarde van interval 1 gehalveerd, behalve voor de haven van Antwerpen, waar trafiekprognoses tot 2030 beschikbaar waren.

**Tabel 6: jaarlijkse groeivoet trafiek per haven en goederentype**

haven	interval	CONTAINER	DRY BULK	GEN CARGO	LIQ BULK	PASS	RORO
Antwerpen	interval1	6.58%	0.00%	0.23%	0.69%	0.00%	4.05%
Antwerpen	interval2	2.50%	0.00%	1.00%	0.92%	0.00%	1.93%
Gent	interval1	6.79%	2.24%	6.79%	2.09%	0.00%	6.79%
Gent	interval2	3.39%	1.12%	3.39%	1.04%	0.00%	3.39%
Oostende	interval1	11.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.00%	3.50%
Oostende	interval2	6.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.00%	2.00%
ZeeBrugge	interval1	8.50%	2.75%	3.65%	4.50%	0.00%	4.95%
ZeeBrugge	interval2	4.25%	1.38%	1.83%	2.25%	0.00%	2.48%

Een trend die belangrijk is voor zeevaartemissies is de gestage toename van scheepsgrootte. Uit historische cijfers werd een evolutie van de hoeveelheid trafiek per schip per haven uitgezet. De trend is zichtbaar stijgend voor de alle havens, maar de snelheid van toename hangt af van haven tot haven. Hoewel de havens van Gent en Antwerpen al relatief grote schepen ontvangen, is er toch ook hier nog een trend van verdere scheepsvergroting.



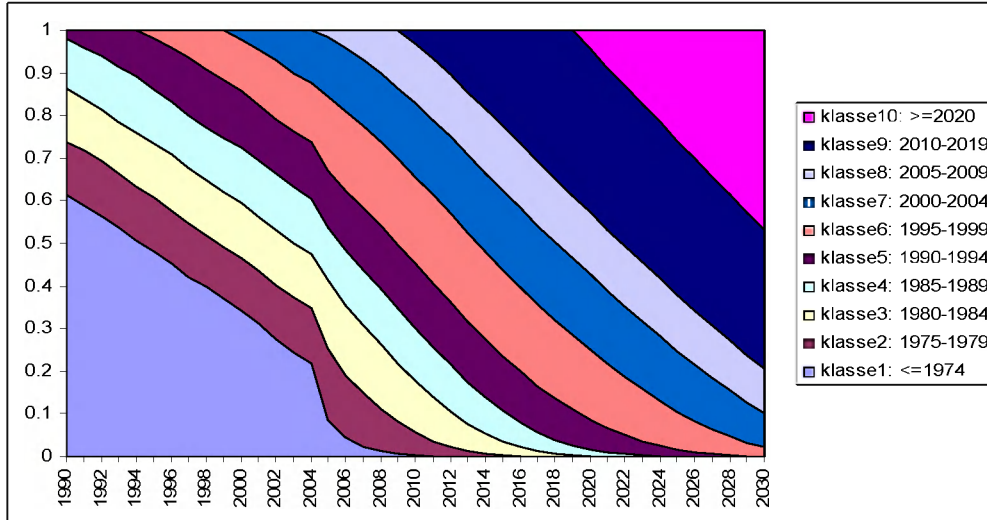
**Figuur 21: evolutie trafiek per schip, absoluut (links) en relatief (rechts)**

Deze toename van scheepsgrootte wordt in eerste instantie geëxtrapoleerd voor de toekomstige jaren, waarna correctiefactoren per haven en scheepstype toelaten deze groeisnelheid te differentiëren en corrigeren over de verschillende typen.

Op basis van trafiekprognose en prognose van vracht/schip wordt het aantal scheepsbewegingen per scheepstype en haven vastgesteld.

Behalve het aantal schepen, zijn een aantal andere variabelen voor de berekening van emissies ook tijdsafhankelijk:

- **Rendement:** Deze parameter is afhankelijk van het bouwjaar van het schip. (10 bouwjaarclassen)
- **Verdeling:** Deze verdeling houdt rekening met de leeftijdsverdeling van de vloot. De toekomstige leeftijdsverdeling werd berekend op basis van de huidige leeftijdsverdeling en een uitvalcurve die we bepaalden op basis van een tijdreeks van het Maritime Report van UNCTAD.



**Figuur 22: evolutie van de verdeling over de verschillende leeftijdsklassen**

Behalve de leeftijdsverdeling is ook de verdeling van brandstoftype en het zwavelgehalte van de brandstof afhankelijk in de tijd. Vanaf 08/2007 geldt de Noordzee als een SECA-zone, waardoor de gebruikte brandstof maximaal 1.5% zwavel mag bevatten en vanaf 2010 zal alle brandstof, verbruikt aan de kade maximaal 0.1% zwavel mogen bevatten. Dit is enkel te behalen met MDO of LFO waardoor er ook een verandering zal zijn in het gebruik van verschillende brandstoftypen.

- **Emissiefactor:** Deze is afhankelijk van het bouwjaar van het schip. De globale emissiefactor zal dus veranderen gezien de leeftijdsverdeling evolueert.
- **Reductiefactor:** Voor toekomstige technologieën zal er mogelijk een daling zijn van de emissiefactor. Gezien er op motortechnisch vlak geen toekomstige maatregelen gekend zijn, staan deze reductiefactoren standaard op één.

Bepaalde modelvariabelen werden gekalibreerd op basis van gegevens van het jaar 2005 of een historische tijdsreeks. Met name de factor ‘**duur**’ kan variëren in de tijd bijvoorbeeld door aanpassingen in de haveninfrastructuur. Deze aanpassingen zijn moeilijk te voorspellen en het effect op de duur van een activiteit zijn nog moeilijker in te schatten. Het is daarom aangewezen om deze parameter periodiek (vijfjaarlijks) te herkalibreren.

Het is ook aan te raden om periodiek het aantal scheepsbewegingen per haven ook in

detail te onderzoeken, namelijk per scheepstype en scheepsgrootte, om de aangenomen verandering in scheepsgrootte te herkalibreren.

Voor emissies in het verleden werd de historische leeftijdsverdeling geschat, naar analogie met de toekomstige leeftijdsverdeling. Het aantal scheepsbewegingen werd geschat op basis van de SERV datareeks van totaal aantal scheepsbewegingen per haven en hoeveelheid goederentrafiek per goederentype. Op basis van de verdeling van de trafiek over goederentype werd het totaal aantal scheepsbewegingen per haven verdeeld over de verschillende scheepstypen. De verdeling over de verschillende grootteklassen werd geschat via de huidige verdeling en de uit de tijdsreeks vastgestelde scheepsgroei.

### **3.1.5 Emissies van visserij, baggerschepen, sleepboten en zandwinning**

De emissies van deze scheepstypen werden op een vereenvoudigde manier berekend, namelijk op basis van brandstofverbruik. Voor de categorie visserij werden geen emissies berekend. Dit scheepstype werd toch toegevoegd in het model zodat, wanneer informatie beschikbaar is, deze emissies bepaald kunnen worden.

Het brandstofverbruik geldt hier als hoofdinvoer, hierdoor worden heel wat stappen in het model overgeslagen en is de emissieberekening eenvoudiger. We namen aan dat het brandstoftype dat gebruikt werd, uitsluitend MDO is, de leeftijdsverdeling van het scheepstype “other”, scheepsgrootte “klasse1: <100m” werd overgenomen en voor aandrijving namen we uitsluitend viertaktmotoren aan.

Bronnen voor brandstofverbruik zijn:

- Baggeractiviteit: Dredging International, Jan Denul en Gemeentelijk havenbedrijf Antwerpen
- Sleepboten: URS en Gemeentelijk havenbedrijf Antwerpen
- Zandwinning: MER-studie ECOLAS.
- Visserij: ECOSONOS<sup>6</sup>

Deze berekeningsmethode, op basis van brandstofverbruik, is een vereenvoudigde methode. Gezien het niet te verwaarlozen aandeel van deze categorie, ongeveer 10% van het totaal, lijkt het aangewezen deze emissies in een later stadium meer in detail te onderzoeken om een betere betrouwbaarheid van de emissiecijfers te behalen.

---

<sup>6</sup> De officiële publicatie van deze studie verscheen te laat, zodat het niet mogelijk was de resultaten voor visserij over te nemen in deze studie.

### 3.1.6 Methode voor geografische spreiding

De geografische spreiding van de zeevaartemissies is relatief eenvoudig. Zoals eerder aangegeven, worden 4 havenlocaties en 12 zeevaartroutes beschouwd.

Voor elke haven is er één emissiecijfer. Deze emissies worden gelijkmatig gespreid over het als haven geïdentificeerd gebied. De locatie Antwerpen houdt, zoals eerder aangegeven ook het kleine stukje Schelde stroomafwaarts in dat niet tot het havengebied behoort. De locatie Gent wordt beschouwd als het Belgische gedeelte van het kanaal Gent-Terneuzen en de Gentse havendokken. De grens tussen zee-emissies en havenemissies zijn voor Oostende en Zeebrugge respectief de uiterste havengeul en strekdam. Het is mogelijk dat hier enige overlap is.

Er zijn 12 zeevaartroutes (zie ook Figuur 8). Deze werden geïdentificeerd met IVS-SRK data. Hierin is een overzicht van enkele “way point’s” die een geografische referentie hebben. Elke scheepsreis is een aaneenkoppeling van verschillende way points waaruit de vaarroute van het schip achterhaald kan worden. We beschouwden enkel de belangrijkste vaarroutes, de exotische gevallen werden toegewezen aan de dichtstbijzijnde grote vaarroute.

### 3.1.7 Output

De output van het model zijn de emissies van zeevaart, geografisch gespreid. De pollutanten waarvoor emissies berekend worden zijn in eerste instantie CO, CO<sub>2</sub>, PM, VOC, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>. Hieruit worden de emissies van andere pollutanten afgeleid: methaan, N<sub>2</sub>O, PAK, NH<sub>3</sub>,...

Bij de uitleg over de werking van het model werden de modelvariabelen verklaard, hier bespreken we de dimensies van deze variabelen. De emissies worden gerapporteerd met dezelfde dimensies.

- **Scheepstypen:** Het model houdt rekening met 11 scheepstypen (bulk, container, gas tanker, general cargo, tanker, other tanker, passenger, reefer, roro, vehicle carrier, other) voor gedetailleerde emissieberekening. Er is enige overlap tussen de categorieën passenger en roro omdat gecombineerde ferry’s regelmatig voorkomen en deze typen ook regelmatig omgebouwd worden. Tussen (olie-) tanker en other tanker is er ook overlap, doch deze typen hebben een gelijkaardig emissieprofiel. Verder zijn er 4 scheepstypen (visserij, baggeractiviteit,

- zandwinning en sleepboten) toegevoegd waarvoor de emissies op een vereenvoudigde manier berekend worden (zie later).
- **Grootteklassen:** Er werd onderscheid gemaakt tussen 5 grootteklassen. Dit onderscheid is ingevoerd omdat het geïnstalleerde vermogen niet lineair toeneemt met de scheepsgrootte. Hierdoor is werken met gemiddelde waarden per scheepsklasse niet mogelijk. Het onderscheid gebeurt op basis van lengte omdat dit de belangrijkste invloed heeft op de manoeuvreertijden.
  - **locaties:** Er werden 4 havens beschouwd (Antwerpen, Gent, Oostende en Zeebrugge) en 12 zeevaartroutes.
  - **Activiteiten:** 4 activiteiten werden beschouwd: *liggen aan de kade*, *manoeuvreren* en *liggen in de sluis* voor havengebieden en *varen aan gereduceerde snelheid* op zeevaartroutes.
  - **Motoren:** Er werd onderscheid gemaakt tussen hoofd- en hulpmotoren, met als mogelijk hoofdmotoren: tweetakt, viertakt en turbine. Voor elk motortype zijn er emissiefactoren gegeven.
  - **Brandstoftypen:** Onderscheid tussen 2 brandstoftypen: Heavy Fuel Oil (HFO) en Marine Diesel Oil (MDO) met als belangrijkste onderscheid het zwavelgehalte, dat evolueert in de tijd en effect heeft op SO<sub>2</sub>- en PM-emissies.

### 3.1.8 Relevante wetgeving

In de bovenstaande tekst wordt regelmatig verwezen naar specifieke wetgeving die de resultaten beïnvloedt. We geven hier kort een overzicht van de wetgeving die in deze studie voor zeevaart in beschouwing werd genomen.

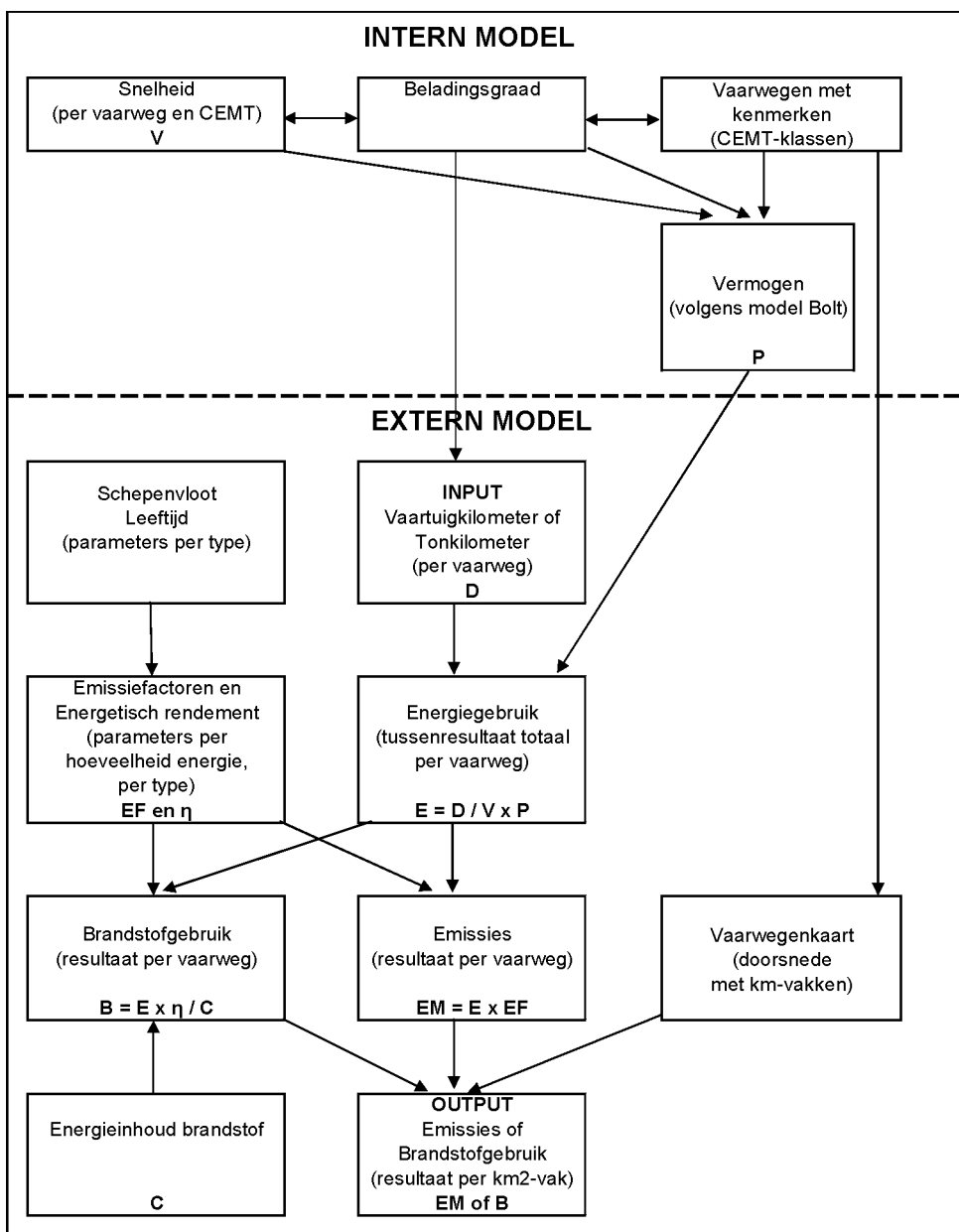
1. MARPOL annex VI: dit is een emissiestandaard voor NO<sub>x</sub>-emissies die door de IMO opgelegd wordt aan alle zeevarende schepen. De emissiestandaard is afhankelijk van het toerental van de motor. Deze standaard werd bestudeerd in Onk 2003. De afgeleide emissiefactoren worden in deze studie toegepast.
2. SECA: vanaf augustus 2007 geldt de Noordzee als een SECA-zone waardoor het zwavelgehalte van scheepsbrandstoffen in deze zones beperkt wordt tot maximaal 1.5%. Deze wetgeving wordt net als MARPOL opgelegd door de IMO.
3. Europese richtlijn 2005/33/EG betreffende het zwavelgehalte van scheepsbrandstoffen. Hierin wordt bepaald dat vanaf begin 2010 het zwavelgehalte van scheepsbrandstof, gebruikt tijdens liggen aan de kade, maximaal 0.1% mag bedragen.



### 3.2 Binnenvaart

Het binnenvaartmodel berekent het benodigde energiegebruik op basis van gedetailleerde gegevens over het aantal afgelegde kilometers door binnenvaartschepen per vaarweg. Uit het energiegebruik wordt middels het gemiddelde rendement van de scheepsmotoren het brandstofgebruik berekend en via emissiefactoren worden de emissies berekend.

#### 3.2.1 Schema



### 3.2.2 Input

Om de emissies jaarlijks te berekenen is de volgende inputparameter nodig:

1. Het totaal aantal gevaren tonkilometers per vaarweg. Voor scenarioberekeningen volstaat een reeks van groeipercentages per jaar van het totaal aantal tonkilometers

Alle andere invoergegevens zijn te beschouwen als aanpasbare parameters van het model:

2. Optioneel kan het percentage vaartuigkilometers leegvaart per vaarweg worden aangepast.
3. Het zwavelpercentage per basisjaar
4. De emissiefactoren per bouwjaarklasse
5. De invulling van de Weibull parameters voor de leeftijdsverdeling van de scheepstypen
6. Het percentage biodiesel per basisjaar
7. Groeipercentage per jaar van het totale aantal tonkilometer en een eventuele afwijking van dit percentage per vaarweg

De andere parameters voor de berekening, zoals de verdeling over de scheepstypen en de snelheid van de schepen, worden beschouwd als modelvariabelen, die gekalibreerd werden op basis van diverse bronnen.

### 3.2.3 Berekeningen

De emissieberekening vindt plaats in twee hoofdstappen. In de eerste stap wordt het benodigde energiegebruik voor de voortstuwing van de schepen berekend.

Formule 1:  $Energiegebruik(E), (Kwh) = Vermogen (P), (Kw) \times tijd (T), (h)$

waarbij :

$Vermogen = f(\text{scheepsdimensies, vaarwegdimensies, belading, snelheid})$

(Afgeleid en gekalibreerd door E. Bolt, RWS-AVV)

en tijd

$(T), (h) = \text{Afstand } (D), (Km) / \text{Snelheid } (V), (Km/h)$

De afstand (D) volgt uit het traject van de vaarweg die is gevolgd. De snelheid van de schepen is gestandaardiseerd per combinatie van vaarwegtype en scheepstype. Bij deelbelading wordt lineair geïnterpoleerd tussen de snelheid bij volledige belading en bij leegvaart. Het vermogen (P) wordt bij deellading eveneens geïnterpoleerd tussen het

vermogen bij volledige belading en leegvaart.

De oorspronkelijke berekening van het energiegebruik met behulp van gedetailleerdere invoer met het aantal vaartuigkilometers per vaartuigtype per vaarweg met alle vaarwegkenmerken is uitgevoerd met het weerstandsmodel van Bolt (2003) voor de jaren 2001 en 2005. De gebruikte parameters voor de Vlaamse Vaarwegen worden in Annex D en E opgegeven. De documentatie van het weerstandsmodel staat in Annex F.

In de tweede stap worden de emissies en het brandstofgebruik berekend:

Formule 2:

$$\text{Emissies(EM),(kg)} = \text{Energiegebruik (E),(kwh)} \times \text{Emissiefactoren(EF),(kg/kwh)}$$

Formule 3:

$$\text{Brandstofgebruik(B),(kg)} = \text{Energiegebruik(B),(Kwh)} \times \text{Rendement}(\eta) / \text{Energieinhoud (C),(Kwh/kg)}$$

Voor de berekening van het energiegebruik met het model van Bolt zijn per vaarweg veel detailgegevens nodig die wellicht niet ieder jaar beschikbaar zullen zijn: scheepstype, beladingsgraad, vaarrichting. Daarom is er voor gekozen om per vaarweg en scheepstype het energiegebruik per tonkilometer te berekenen voor richtjaren waarvoor deze gegevens volledig zijn ingevoerd (nu 2001 en 2005). Deze uitkomsten worden vervolgens vermenigvuldigd met het aantal tonkilometer per vaarweg voor andere jaren waarvoor alleen gegevens over het aantal tonkilometer beschikbaar zijn.

Formule 1 wordt dan vervangen door formule 4:

Formule 4:

$$\text{Energiegebruik(E) (Kwh)} = \text{Energiegebruik richtjaar (Kwh)} / \text{Trafiek richtjaar (Tonkm)} \times \text{Trafiek basisjaar (Tonkm)}$$

De emissiefactoren van de belangrijkste polluenten werden ontleend aan een literatuuronderzoek door Oonk et al. (2003). Vanaf 2007 werden emissiefactoren rechtstreeks afgeleid van de CCNR-normen. Daarna worden de emissiefactoren voorlopig nog als constant beschouwd.

**Tabel 7: emissiefactoren afhankelijk van bouwjaarklasse van scheepsmotoren (g/kWh)**

Motorbouwjaar	NOx	PM	CO	VOS <sup>1</sup>
< 1974	10	0,6	4,5	1,2
1975-1979	13	0,6	3,7	0,8
1980-1984	15	0,6	3,1	0,7
1985-1989	16	0,5	2,6	0,6
1990-1994	14	0,4	2,2	0,5
1995-2001	11	0,3	1,8	0,4
2002-2007	8	0,3	1,5	0,3
2007-2011 <sup>2</sup>	6	0,2	1,3	0,2
2011-2015 <sup>3</sup>	6	0,2	1,3	0,2
2015-2020 <sup>3</sup>	6	0,2	1,3	0,2
2020-2030 <sup>3</sup>	6	0,2	1,3	0,2

<sup>1</sup> VOS is opgebouwd uit methaan, niet methaan VOS en enkele andere micropolluenten

<sup>2</sup>Emissiefactoren zijn geschat op basis emissie-eisen volgens CCNR per 1-7-2007

<sup>3</sup>Emissiefactoren voorlopig constant gehouden als conservatieve aanname

**Tabel 8: specifiek brandstofgebruik afhankelijk van bouwjaarklasse van scheepsmotoren (g/kWh)**

Motorbouwjaar	Brandstofgebruik (η / C)
< 1974	235
1975-1979	230
1980-1984	225
1985-1989	220
1990-1994	210
1995-2001	205
vanaf 2002	200

De emissies van een aantal specifieke polluenten wordt hetzij bepaald als fractie op de totale berekende VOS-emissie of met behulp van emissiefactoren die zijn gekoppeld aan het brandstofgebruik. Hierbij wordt de volgende formule gehanteerd:

Formule 5: Emissie (g) = brandstofgebruik(kg) x emissiefactor(g/kg)

**Tabel 9: emissiefactoren gekoppeld aan het brandstofgebruik (g/kg brandstof).**

Stof	Emissiefactor	Referentie
CO2	3100	IPCC Rivised guidelines 1996
CH4	0,211395	IPCC Rivised guidelines 1996
SO2	20*S% <sup>2</sup>	Op basis van stoechiometrische omzetting
N2O	0,025367	IPCC Rivised guidelines 1996
NH3	0,007	EMEP Corinair guidebook
Cd	0,00001	EMEP Corinair guidebook
Cr	0,00005	EMEP Corinair guidebook
Cu	0,0017	EMEP Corinair guidebook
Ni	0,00007	EMEP Corinair guidebook
Pb	0,01	EMEP Corinair guidebook
Zn	0,001	EMEP Corinair guidebook

Het zwavelpercentage wordt per basisjaar als apart invoergegeven verlangd

**Tabel 10: de evolutie van het zwavelpercentage van de brandstof in de tijd is bepalend voor de emissies van zwaveldioxide.**

Jaren	Zwavelgehalte (ppm)
1990-2007	2000
2008-2015 <sup>1)</sup>	1000
2016-2020 <sup>2)</sup>	1000
2021-2030 <sup>2)</sup>	1000

1) Door de implementatie van richtlijn 1999/32/EC, zie Belgisch Staatsblad 22198-08.05.2007

2) Op advies van de begeleidingscommissie is voorlopig alleen vastgesteld beleid ingevoerd. CCNR adviseerde onlangs de invoering van 10 ppm zwavel met ingang van 2012 of 2016 (CCNR persbericht 7 mei 2007).

De polluenten die gekoppeld zijn aan de VOS-emissie staan in onderstaande tabel weergegeven. Deze gegevens zijn ontleend aan Klein et al., 2006.

**Tabel 11: emissiefactoren gekoppeld aan de VOS-emissie (g/kg VOS).**

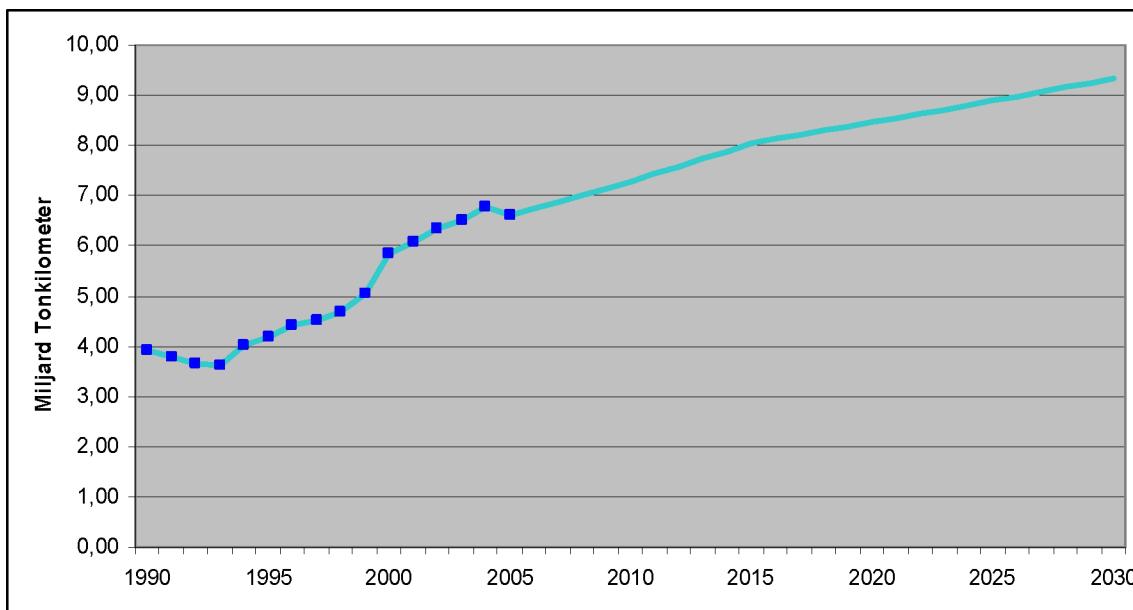
NMVOS	960
Methaan	40
Benzeen	19
Naftaleen	6,77
Antraceen	0,121
Fenantreen	0,475
Fluorantheen	0,126
Benz(a)antraceen	0,021
Chryseen	0,068
Benz(b)fluorantheen	0,017
Benz(k)fluorantheen	0,006
Benz(a)pyreen	0,017
Indeno(1,2,3-cd)-pyreen	0,000
Benz(ghi)peryleen	0,003

De emissies van specifiek PAK-verbindingen en VOS-componenten gebeurt aan de hand van onderstaande formule:

Formule 6:  $Emissie (g) = Emissie\ van\ VOS(kg) \times emissiefactor(g/kg)$

### **3.2.4 Prognose en historische tijdreeks**

In Figuur 23 is zo wel de historische tijdreeks van de trafiek (punten) als de geprognosticeerde tijdreeks (lijn) weergegeven. De prognoses zijn niet gebaseerd op een officiële publicatie aangezien deze niet beschikbaar bleek te zijn.



**Figuur 23: historie en prognose van trafiek van binnenvaartschepen in Vlaanderen**

De trafiekcijfers van 1990 zijn gebaseerd op een herschaling van het cijfer van de trafiek in Vlaanderen in 1995 met de ontwikkeling van de totaaltrafiek van België. De cijfers van 1995 en 2000 zijn gebaseerd op de trafiek in Vlaanderen. Voor alle jaren is hierop nog gecorrigeerd met een correctiefactor van 1,44 waarmee in rekening is gebracht dat tot nu toe de verkeerscijfers van de Rijn-Schelde verbinding en de tijgebonden vaarwegen ontbraken. De cijfers van 2010, 2015, 2025 en 2030 zijn gebaseerd op een generiek toegepast scenario dat in overleg met de begeleidingcommissie als voorlopig aanname is gekozen.

**Tabel 12: generiek scenario van voorlopig gehanteerde generieke groeipercentages(%/jaar).**

Jaren	Groeipercentage (%/jaar)
2006-2015	2
2016-2030	1

De prognose van de emissie wordt door het model berekend op basis van het gemiddelde groeipercentage van het transport van binnenvaartschepen per basisjaar. Als voorlopig gemiddelde groeipercentage in het model wordt 2% per jaar aangenomen tot en met het jaar 2015. Daarna wordt voorlopig uitgegaan van een gemiddeld groeipercentage van 1% per jaar. Voor specifieke vaarwegen kunnen afwijkende percentages worden ingegeven in

het model. De prognoses in het emissiemodel grijpen enkel aan op de invoer van het aantal tonkilometers van het laatste jaar waarvan waarnemingen worden aangeboden aan het model.

Formule 7:

$$\text{tonkilometer in jaar}(X+1) \text{ (tonkm)} = \text{tonkilometer in jaar } (X) \times (1 + \text{gemiddeld groeipercentage in jaar } X/100)$$

De emissieberekeningen voor de prognosejaren kunnen vervolgens opnieuw worden berekend volgens de formules 1 tot en met 4.

- **Leeftijd van de scheepsmotoren en emissiefactoren**

De leeftijd-verdeling van de scheepsmotoren is opgesteld aan de hand van Weibull-verdelingen.

Formule 8: 
$$f(x; k, \lambda) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k}$$

Hierbij is het functieresultaat keer 5 gekozen als representatieve schaling voor de leeftijd van 1 jaar.

De mediane leeftijd van de scheepsmotoren kan dan worden berekend met:

Formule 9: 
$$\lambda \ln(2)^{1/k}$$

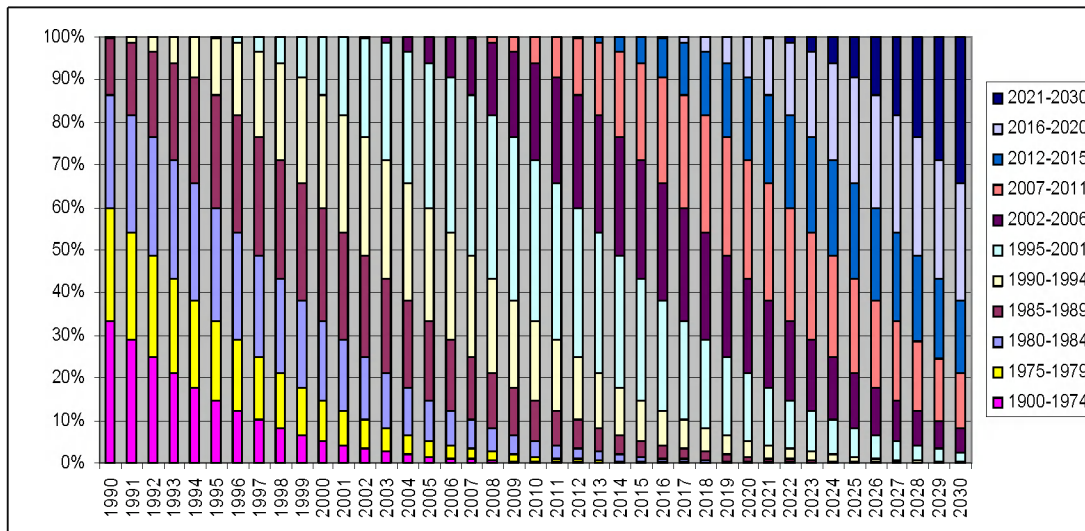
De uitkomst moet dan weer met 5 worden vermenigvuldigd om de juiste mediane leeftijd te verkrijgen.

Invoer Weibull	S	M	L
<b>K</b>	2	2	2
<b>Λ</b>	2	2,5	3
Mediane Leeftijd (jaar)	8,3	10,4	12,5

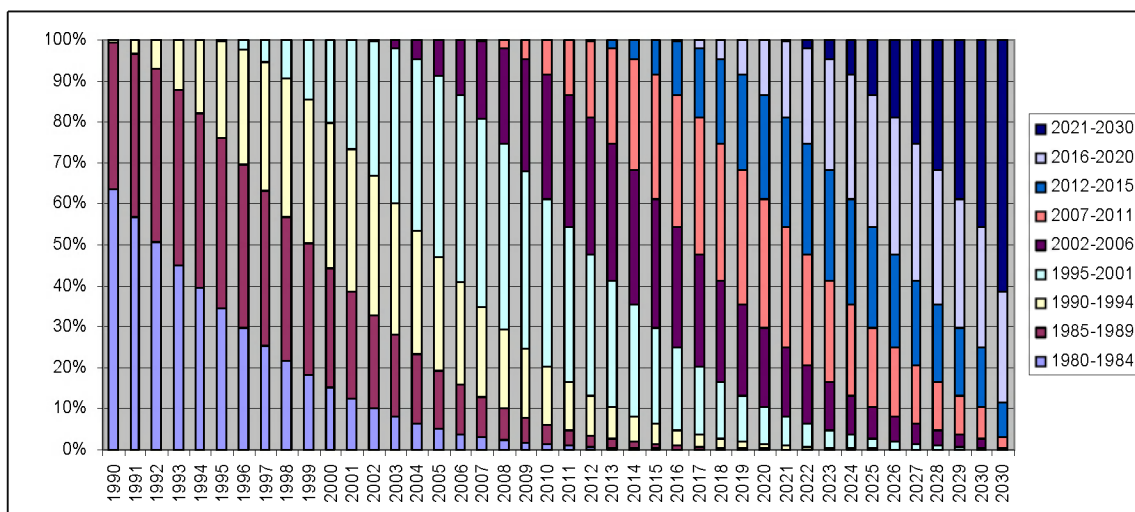
De mediane leeftijd van de schepen kan vergeleken worden met de gemiddelde leeftijd



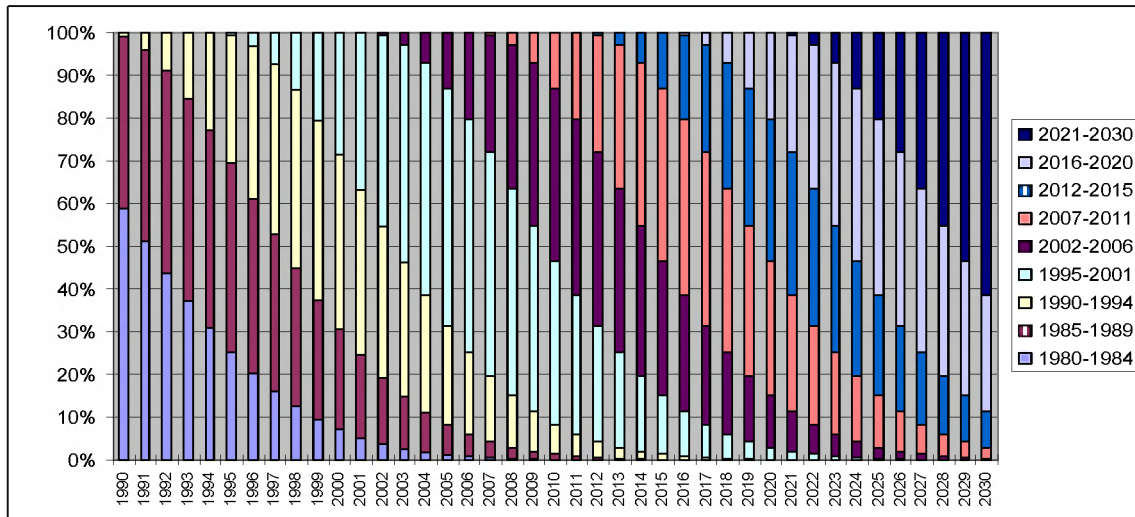
van 13 jaar van alle motoren volgens een onderzoek van VITO (2004). Deze drie leeftijdverdelingen zijn toegepast voor de afzonderlijke scheepstypen die aanwezig zijn in het emissiemodel. Verondersteld is dat de motoren van de kleinste schepen gemiddeld het oudste zullen zijn. Een overzicht kan gevonden worden in Annex D. Het is ook mogelijk om het resultaat van de Weibull-verdeling in functie van het basisjaar te presenteren op grond van de verschillende leeftijdsklassen analoog aan figuur 21. Dit levert dan drie verschillende figuren op.



**Figuur 24: aandeel van de motorbouwjaarklassen van binnenvaartschepen per jaar (invoer L)**



**Figuur 25: aandeel van de motorbouwjaarklassen van binnenvaartschepen per jaar (invoer M)**



**Figuur 26: aandeel van de motorbouwjaarklassen van binnenvaartschepen per jaar (invoer S)**

De gemiddelden emissiefactor van een jaar wordt verkregen door de emissiefactor uit Tabel 7 te nemen en het aandeel van elke afzonderlijke bouwjaarklasse te nemen uit bovenstaande drie tabellen. In Annex D is de toekenning van het leeftijdsprofiel aan de verschillende scheepstypen gegeven.

### 3.2.5 Methode voor geografische spreiding

De geografische verdeling van de scheepvaartemissie werd verkregen door de emissie per vaarweg die uit de berekening werd verkregen te verdelen over de geografische lengte van de betreffende vaarwegen binnen Vlaanderen. Een geografische doorsnijding met de kilometervakken maakten een afleiding mogelijk van een emissiedichtheid per kilometervak.

### 3.2.6 Output

De output van het model levert geografische gespreide emissies op die kunnen worden gepresenteerd op het niveau van afzonderlijke vaarwegen en van kilometervakken. De primaire emissies die worden berekend zijn CO, CO<sub>2</sub>, PM, VOS, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>. Via omrekening worden hieruit de emissies van de andere stoffen van afgeleid.

Kort overlopen we hier nog de dimensies van de verschillende variabelen van de output.

In de uitvoer zijn opgenomen:

- **Scheepstypen:** Naast de 8 meest gangbare motorschepen klein motorschip, Spits, Kempenaar, Hagenaar, Dortmund-Eemskanaalschip, Verlengde Dortmund-Eemskanaalschip, Rijn-Hernekanaalschip, Verlengd Rijn-Hernekanaalschip, Groot Rijnschip zijn er nog 12 duwbakscombinaties en 10 typen combinatieschepen opgenomen (zie Annex D)
- **Vaarwegtypen:** De vaarwegtypen volgen de CEMT-classificatie plus een drietal klassen voor stromend water
- **Belading:** De emissies van beladen en onbeladen schepen kunnen afzonderlijk worden gepresenteerd
- **Tonkilometers:** Naast de emissies wordt het aantal tonkilometers gepresenteerd
- **Vaartuigkilometers:** De afstand die de schepen afleggen wordt mee gepresenteerd
- **Hoofd- en hulpmotoren:** De emissies van de hoofd- en de hulpmotoren worden apart weergegeven. Standaard wordt gerekend met 10% emissies van hulpmotoren.
- **Brandstof:** Afhankelijk van de invoer wordt naast diesel het verbruik aan biodiesel berekend

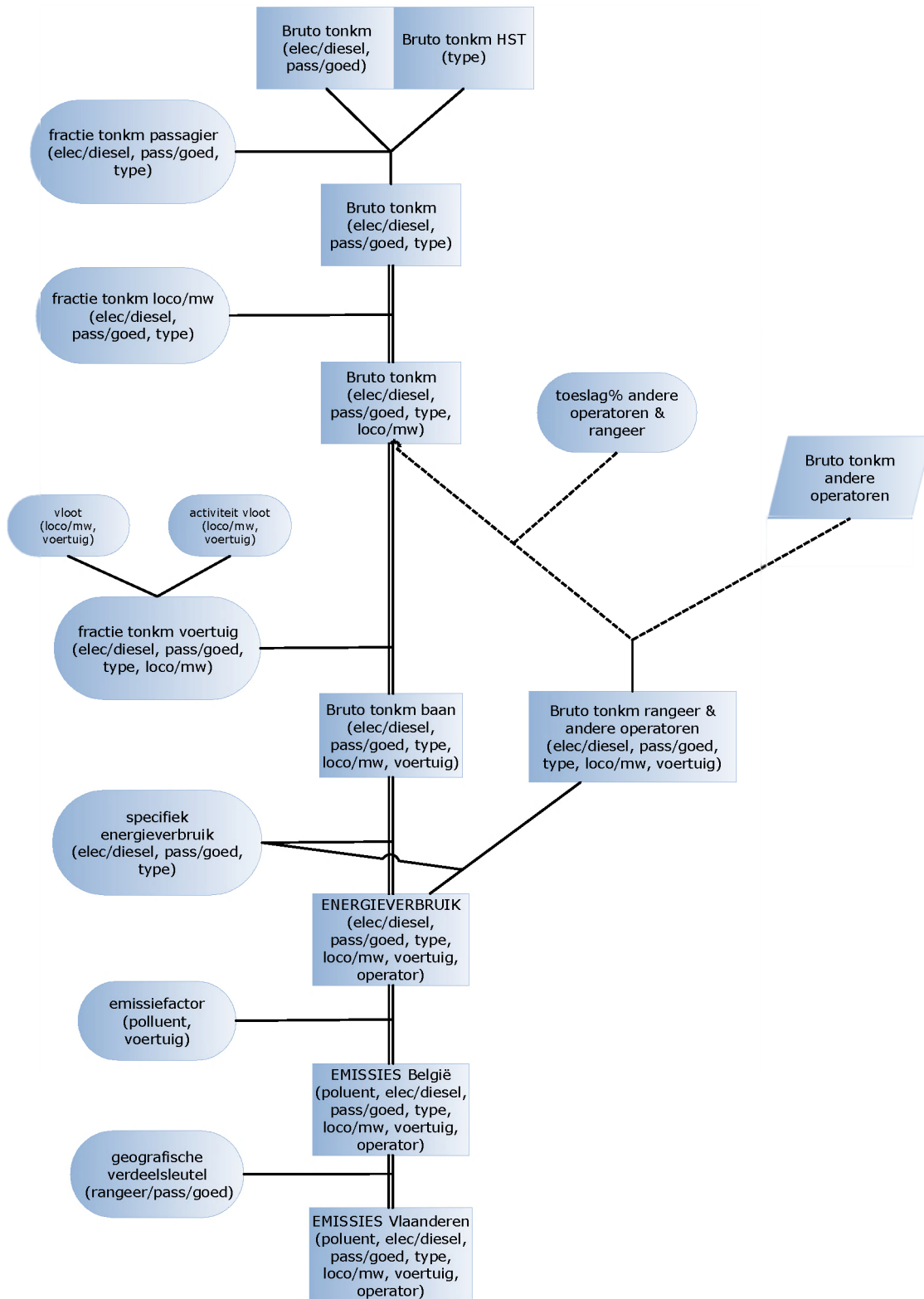
We merken hier op dat de emissies van pleziervaart slechts voor een deel werden meegerekend, gezien niet alle pleziervaartuigen geregistreerd worden door de waterwegbeheerders. De emissies van pleziervaart zitten voornamelijk in de scheepscategorie M0 (klein motorschip). De auteurs schatten, op basis van gegevens uit Nederland, dat het aandeel pleziervaart waarschijnlijk slechts enkele procenten betekent ten opzichte van de totale Vlaamse binnenvaartemissies. De emissies van pleziervaart werden niet in detail onderzocht gezien de databeperkingen (geen brandstoffenquête, zoals in Nederland).

### **3.3 Spoorvervoer**

Het spoormodel berekent de emissies op basis van bruto tonkilometers. Dit is het gewicht van de trein en de vracht samen, inclusief het gewicht van de locomotief. Met behulp van het gekende specifiek eind-energieverbruik (tank-to-wheel) wordt het energieverbruik berekend. Op basis van dit energieverbruik worden het brandstofverbruik en de directe emissies berekend.

Deze berekeningen gebeuren in eerste instantie voor directe emissies van dieseltreinen. Om een vergelijking met elektrisch aangedreven treinen te maken, werd, enkel voor treinen, de wel- to-wheelemissies berekend. Tenzij expliciet vermeld, gaat het in de tekst steeds over directe emissies.

### 3.3.1 Schema



### 3.3.2 Input

Om de emissies jaarlijks te berekenen zijn volgende inputparameters nodig:

1. bruto tonkilometer diesel aangedreven.
2. bruto tonkilometer elektrisch aangedreven.

Dit voor goederenvervoer en personenvervoer. Voor HST is een aparte invoer voorzien, gezien de activiteit van HST goed gedocumenteerd is.

We beschouwen de activiteit als sleutel input voor de jaarlijkse emissieberekeningen, de andere factoren voor de berekening worden beschouwd als modelvariabelen, die gekalibreerd werden op basis van diverse bronnen. De modelvariabelen kunnen geactualiseerd worden, wat voor bepaalde parameters nodig zal zijn om in de toekomst een correcte berekening te bekomen.

### 3.3.3 Emissieberekening

#### A. Baanlocomotieven en motorwagens

De emissieberekening gebeurt met behulp van één eenvoudige formule:

Formule 10:  $\text{Emissie (g)} = \text{bruto tonkilometer (tonkm)} \times \text{specifiek eind-energieverbruik (kWh / tonkm)} \times \text{emissiefactor (g / kWh)}$

Waarbij de input factor ‘bruto tonkilometer’ in detail is opgesplitst met behulp van 2 verdeelsleutels:

1. Per diensttype
2. Per treintype

We overlopen de twee verdeelsleutels en de formule voor emissieberekening in detail.

- **Opsplitsing per diensttype:** deze verdeelsleutel wordt toegepast om de bruto tonkilometer personenvervoer te verdelen onder de verschillende diensten, namelijk IC, IR, L en P. Voor diesel is dit vrij eenvoudig, dit is voor alle jaren ongeveer 45% L-treinen en 55% IR-treinen. Voor elektrisch personenvervoer wordt een omweg gemaakt via voertuigkilometers en het gewicht per zitplaatskilometer, om zo tot aandelen van bruto tonkilometer te komen.

**Tabel 13: omzetting verhoudingen treinkilometer naar tonkilometer via gewicht per zitplaats voor het jaar 2000.**

	% treinkm	Gemiddeld aantal zitplaatsen per trein	Massa per zitplaats (loc incl.)	Geschat gewicht (t)	% tonkm
IC-elec	44.68	580	750	<b>435</b>	62.73
IR-elec	24.47	380	600	<b>228</b>	18.01
L-elec	21.28	250	600	<b>150</b>	10.30
P-elec	9.57	580	500	<b>290</b>	8.96

Bruto tonkilometer goederenvervoer diesel of elektrisch wordt niet verder opgesplitst in verschillende diensten. Rangeeremissies worden op een andere manier berekend (zie later).

Een mogelijk andere input voor activiteit is reizigerskilometers i.p.v. bruto tonkilometer. Met de gegevens uit bovenstaande tabel en een vastgestelde bezettingsgraad, kan uit reizigerskilometer de hoeveelheid tonkilometer afgeleid worden met behulp van volgende formule:

$$\text{Formule 11: Tonkm} = (\text{reizigerkm}) \times (\text{gewicht} / \text{zitplaats}) / (\text{beladingsgraad})$$

**Tabel 14: bezettingsgraad per dienst (NMBS 2002)**

	Gew. /zitplaats (kg)	Beladings% (2002)
IC-elec	750	25%
IR-elec	600	21%
HST-elec	1021	40.5%
L-elec	600	14%
P-elec	500	29%
L-diesel	800	15%

- **Opsplitsing per treintype:** De bedoeling van deze verdeelsleutel is de activiteit (in bruto tonkilometer) toe te kennen aan verschillende treintypen, die gekoppeld kunnen worden aan een specifieke emissiefactor. Voor elektrisch vervoer, goederen zowel als personen, wordt geen verdere onderverdeling gemaakt, gezien er hier geen verschil is in emissiefactor.
  - *Dieselpersonenvervoer:* Er wordt een onderscheid gemaakt tussen

motorwagens en locomotieven. In de periode 1990-2005 is er op dit vlak enige verandering geweest, waardoor deze verdeelsleutel variabel is in de tijd.

**Tabel 15: verhouding MW/loco bij diesel personenvervoer 1990-2005**

	1990	2000	2002	2005
MW (M tonkm)	95	68	744	905
Loco (M tonkm)	1912	1166	266	18
MW (fractie)	<b>4.7%</b>	<b>5.5%</b>	<b>73.6%</b>	<b>98.1%</b>
Loco (fractie)	<b>95.3%</b>	<b>94.5%</b>	<b>26.4%</b>	<b>1.9%</b>

De verschuiving naar motorwagens rond 2002 komt door de aankoop van nieuw materieel, de MW41. Na 2005 wordt alle activiteit toegekend aan dit type. De verdeling van locomotieven is analoog aan diesel goederenvervoer (zie beneden).

- **Dieselgoederenvervoer:** De NMBS gebruikt verschillende locomotieven voor dieselvervoer. In grote lijnen zijn ze onder te verdelen in een categorie ‘oude loco’s’ en een categorie HLD77. Deze laatste is een nieuwe locomotief die vanaf 2000 in gebruik is genomen en de oude locomotieven volledig zal vervangen. Voor de HLD77 zijn emissiefactoren gekend. Voor de oude loco’s zijn er geen typische emissiefactoren gekend maar gezien hun bouwjaar varieert tussen 1960 en 1975 kan één globale emissiefactor toegepast worden. De verdeling tussen deze 2 categorieën gebeurt op basis van hun aandeel in de vloot en een activiteitsfactor, die voor 2005 gekalibreerd is op basis van gedetailleerde informatie over brandstofverbruik.

Deze twee verdeelsleutels resulteren in activiteitsgegevens per treintype en diensttype en is de eerste factor in de formule voor berekening van de emissies. We bespreken de 2<sup>e</sup> factor:

- **Specifiek eindenergieverbruik:** Elke categorie (IC-elec, IR,-elec, goed-diesel,...) heeft een specifiek eindenergieverbruik (energieverbruik tank-to-wheel per tonkm) omwille van het karakteristiek rijpatroon. Vb. een L-trein zal een hoger specifiek energieverbruik hebben dan een IC trein omdat een L-trein relatief meer stops heeft en daardoor meer energie verbruikt om telkens weer op



te trekken. Een belangrijke opmerking hierbij is dat steeds moet gerekend worden met bruto tonkilometer, gezien het energieverbruik afhangt van het totale gewicht van de trein en niet enkele het gewicht van de vracht.

- **Personenvervoer:** Om tot een waarde te komen voor specifiek energieverbruik van de verschillende diensten, werden verschillende bronnen en berekeningmethodes gebruikt. In Tabel 16 wordt een overzicht gegeven van de verschillende bronnen. Kolom 2 zijn waarden op basis van de TRENDS-studie, kolom 3 is het resultaat van metingen van enkele representatieve ritten, kolom 4 is op basis van totaal brandstofverbruik (enkel voor diesel), kolom 5 is op basis van gemiddeld energieverbruik. Uit deze verschillende bronnen maakten we een keuze (kolom 6). De definitie van de treintypen in TRENDS komt niet altijd overeen met dezelfde benaming in Vlaanderen. Waar dit wel het geval was (IC en HST) werd de TRENDS-waarde overgenomen, indien niet, werd een gemiddelde waarde genomen (IR en L-elektrisch). P-treinen zijn 50% IR en 50% L-treinen<sup>7</sup>, dus er werd een gemiddelde tussen de 2 genomen. Het energieverbruik van passagiertreinen werd gekalibreerd op basis van brandstofverbruik in 2005. Deze gekozen waarden werden voorgelegd en goedgekeurd door de stuurgroep.

**Tabel 16: vergelijking verschillende bronnen voor specifiek energieverbruik personen in kJ / tkm**

kJ/tonkm	TRENDS	empirisch	Jaarlijks verbruik	Gem verbruik	<b><u>Keuze</u></b>
IC-elec	125	115-129	-	139	<b><u>125</u></b>
IR-elec	125	137-139	-	162	<b><u>141</u></b>
HST-elec	140	-	-	141	<b><u>140</u></b>
L-elec	125-238	171-192	-	140	<b><u>171</u></b>
P-elec	125-238	137-192	-	140-162	<b><u>156</u></b>
IR/L-diesel	302-680	441-603	412-448	584	<b><u>506</u></b>

De verschillen in specifiek energieverbruik liggen vooral in de afstand tussen stops. Voor de diensten die de NMBS aanbiedt is dit voor IC: 14.1 km; IR: 7.9 km; L: 4.4 km.

- **Goederenvervoer:** Voor goederenvervoer werd een gelijkaardige tabel opgesteld. TRENDS gebruikt voor goederen volgende formule:

<sup>7</sup> Inschatting Mr. Bontinck B-Holding

**Formule 12: E-verbruik<sub>tractie</sub> = (12021 GVW<sup>-0,773</sup>)**

In kolom 1 gebruikten we een schatting van het gewicht (825t voor diesel en 1085t voor elektrisch)<sup>8</sup>, in kolom 2 werd het gewicht berekend op basis van het totaal treinkilometers en totaal bruto tonkilometers voor enkele jaren. Deze berekening is niet helemaal correct gezien aannames bij de rapportage van deze cijfers. Kolom 3 is het resultaat van metingen van enkele representatieve ritten en kolom 4 is berekend op basis van totaal energieverbruik. Uit deze verschillende bronnen maakten we een keuze (kolom 6). Het specifiek energieverbruik voor diesel werd uiteindelijk gekalibreerd a.d.h.v. brandstofverbruik in 2005. Deze gekozen waarden werden voorgelegd en goedgekeurd door de stuurgroep.

**Tabel 17: vergelijking verschillende bronnen voor specifiek energieverbruik goederen in kJ / tkm**

kJ/tonkm	TRENDS1	TRENDS2	Empirisch	Jaarlijks verbruik	<b><u>Keuze</u></b>
Diesel	191	125-166	142-173 <sup>9</sup>	158-167	<b><u>170</u></b>
Elektrisch	54	42-53	-	63-72	<b><u>66</u></b>

- **Emissiefactoren:** We bepaalden emissiefactoren voor de verschillende treintypen. Voor de 2 nieuwe typen, de MW41 en HLD77, zijn emissiefactoren gekend, specifiek voor deze typen. Deze emissiefactoren werden afgeleid met de ISO 8178/F testcyclus (60% idle, 15% partial load, 25% rated speed) die goed overeenkomt met het werkelijke gebruikspatroon. Voor oude locomotieven en motorwagens werd één gemeenschappelijke emissiefactor voorzien.

**Tabel 18: emissiefactoren voor de verschillende treintypen in g/kWh**

stof	HLD77	MW41	oude loco's	oude MW's
CO	0.73	1.07	10.70	10.70
FC	239.40	239.40	239.40	239.40
NOx	11.70	8.74	18.20	18.20
TSP	0.20	0.15	0.60	0.60

<sup>8</sup> Schatting Mr. Bontinck B-Holding.

<sup>9</sup> Waarde 142 bij bruto treingewicht van 1700 ton; waarde 173 bij bruto treingewicht van 1100 ton

VOC	0.11	0.61	1.60	1.60
-----	------	------	------	------

De emissiefactoren voor de andere pollutanten (C6H6, NH3, N2O, PAK en CH4) werden overgenomen uit een Nederlandse studie (Klein, 2006). De emissies van SO2 en CO2 zijn brandstofafhankelijk.

- De SO2-emissies zijn afhankelijk van het zwavelgehalte van de brandstof. Het zwavelgehalte is de afgelopen jaren sterk gedaald. Omwille van economische redenen gebruikt de NMBS dezelfde diesel als voor de weg bestemde diesel, die onderhevig is aan wetgeving.

**Tabel 19: S-gehalte rail-diesel in ppm**

jaar	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	> 2011
ppm	1700	1300	1300	1300	1300	1300	600	480	440	406	294	269	47	38	38	38	38	38	38	10	10	10

- De CO2-emissiefactor is 3.137592 kgCO2/kg volgens de formule:

**Formule 13:  $EF = 44.011 \times (\text{brandstofverbruik}) / (12.011 + 1.008 \times Rch)$**

Waar 'Rch' de koolstofwaterstof verhouding is van de brandstof, in dit geval 2. (Ntziachristos, 2000)

Voor treinactiviteit werden ook de indirecte emissies berekend. Daarom werden life-cycle emissies geïntroduceerd voor diesel- en elektriciteitsproductie. Deze laatste is tijdsafhankelijk en typisch voor de Belgische energieproductie en zijn opgenomen in ANNEX C (*bron: REMOVE, PRIMES & RAINS*)

De berekeningsmethode die hierboven is uiteengezet, heeft enkele betrekking op baanlocomotieven van de NMBS. Er zijn nog 2 andere activiteiten die bijdragen aan spooremissies, namelijk rangeeractiviteit en de emissies van andere operatoren dan de NMBS. We bespreken de berekeningsmethode voor deze 2 activiteiten.

## **B. Rangering**

Voor elke productieve treinrit is er een zekere rangeeractiviteit nodig. We namen aan dat er een extra energieverbruik nodig is per brutotonkilometer en dat alle rangeeractiviteiten gebeurden met diesellocomotieven.

Dit percentage extra energieverbruik werd gekalibreerd op basis van gedetailleerd

brandstofverbruik van 2005. Het brandstofverbruik in 2005 is in detail opgedeeld en cijfers zijn beschikbaar voor brandstofverbruik van baanlocomotieven en rangeerlocomotieven apart. Voor het jaar 2005 berekenden we dat er 8.8% extra energieverbruik nodig is voor rangeeractiviteit. Dit energieverbruik werd volledig toegewezen aan diesellocomotieven.

### ***C. Andere operatoren***

Met andere operatoren wordt bedoeld andere operatoren dan de NMBS. Sinds de recente vrijmaking van de markt voor goederenvervoer, zijn enkele andere operatoren actief op enkele specifieke trajecten. Dit zijn onder andere DLC, SNCF FRET, ICF, CMI Traction, TrainsporT, Rail4Chem.

Deze operatoren zijn veeleer kleinschalig en informatie over hun activiteiten is niet voorhanden. In de modelberekening wordt met een toeslagpercentage gewerkt voor activiteit (tonkilometer) gekalibreerd op basis van gegevens van Infrabel. (+/- 2% van totaal goederen bruto tonkilometer). Er werd aangenomen dat alle activiteit uitgevoerd werd met diesellocomotieven.

Over de vloot van deze operatoren is, behalve voor DLC, weinig bekend. Indien geen informatie voorhanden was, werd dezelfde emissiefactor aangenomen als voor 'oude loco's' van de NMBS, dit is in het ergste geval een overschatting van deze emissies.

Het zwavelgehalte van de gebruikte brandstof werd omwille van dezelfde reden als bij de NMBS gelijkgesteld aan het zwavelgehalte van voor de weg bestemde diesel.

### **3.3.4 Prognose**

We bekijken de verschillende modelvariabelen die afhankelijk zijn in de tijd en daardoor de toekomstige (en verleden) emissies van spoorverkeer beïnvloeden. Dit zijn de activiteit en de verdeelsleutel voor opsplitsing per treintype. Er werd aangenomen dat het specifieke energieverbruik constant blijft.

- **Activiteit:** Om de emissies in de toekomst te berekenen moet in eerste instantie de activiteit bepaald worden, voor het model is dit het aantal bruto tonkilometer. Hiervoor werd een jaarlijks groeipercentage per dienst, in detail per aandrijvingmethode toegepast. We werkten met een dubbele jaarlijkse groeivoet, waarbij het eerste interval (2005-2010) logischerwijs een grotere betrouwbaarheid inhoudt dan het tweede interval (2010-2030).

**Tabel 20: groeivoeten bruto tonkilometer per type dienst**

	goed-diesel	goed-elec	HST-elec	IC-elec	IR-diesel	IR-elec	L-diesel	L-elec	P-elec
interval1	1.75%	1.75%	1.40%	1.20%	0.40%	0.60%	0.40%	1.75%	0.60%
interval2	1.25%	1.25%	0.00%	0.90%	0.00%	0.50%	0.00%	0.80%	0.50%

Deze groeivoeten hebben enkel betrekking op de activiteit van de NMBS, exclusief rangering.

De prognose van activiteit van andere operatoren is zeer moeilijk te voorspellen omdat het moeilijk is in te schatten hoe de vrijgemaakte markt zal evolueren. In de berekening van toekomstige emissies van andere operatoren werd aangenomen dat het ‘toeslagpercentage’ waarvan sprake in vorig hoofdstuk, niet wijzigt voor de komende jaren. Deze parameter is echter hoogst onzeker en kan jaarlijks aangepast worden.

- **Verdeelsleutel vloot:** Het investeringschema voor rollend materieel van de NMBS is gekend tot 2012. Op basis van dit investeringschema en een gekalibreerde activiteitsfactor, werd een verdeelsleutel berekend voor de verdeling van de gepresteerde activiteit over de verschillende treintypen. Voor personenvervoer is dit zeer eenvoudig, gezien de recente aankoop van de MW41, wordt alle diesel personenvervoer tot 2030 toegekend aan dit type. Voor dieselgoederenvervoer is er een geleidelijke verschuiving van de oude locomotieven naar het nieuwe type HLD77. Een verdere uitfasering van de oude locomotieven na 2012 werd lineair geëxtrapoleerd tot 2017. Vanaf 2017 tot 2030 zal alle goederenverwerking uitgevoerd worden door het type HLD77.
- **Rangering:** De berekening van de emissies van rangering werd gedaan met behulp van een percentage extra energieverbruik. Dit percentage is niet constant in de tijd. De groei in goederenvervoer zal hoofdzakelijk gerealiseerd worden door nieuwe rechtstreekse treinen, waardoor er een verbetering is in efficiëntie en de nood aan rangering lager is. Daarom werd aangenomen dat de toename in rangeeractiviteit, voor alle toekomstige jaren, 75% is van de toename van baanactiviteit.

Voor emissies in het verleden werd uitgegaan van gerapporteerde activiteitscijfers van de NMBS; Activiteit van andere operatoren werd weggelaten voor alle jaren vóór 2003. De tweede verdeelsleutel (voor de vloot) werd bepaald uit vlootgegevens van de NMBS. Het toeslagpercentage voor rangering van 8.8% werd gehandhaafd voor alle historische jaren.

### 3.3.5 Methode geografische spreiding

Voor de geografische spreiding van de directe spooremissies werkten we met een spoorwegaankart die momenteel gebouwd wordt door SADL. De spoorroutes zijn opgedeeld in een aantal segmenten, gemiddeld enkele kilometers lang.

De activiteit werd toebedeeld aan deze segmenten door middel van aantal passerende treinen, apart voor goederen en voor passagiers. Bij deze geografische opdelingsmethode wordt van de activiteit van de NMBS, die voor België gelden, enkel de Vlaamse emissies gerapporteerd.

Van het totale aantal treinkilometers dieselgoederenvervoer in België werd 52% afgelegd op Vlaams grondgebied, gespreid over de verschillende spoorsegmenten. Van het totale aantal treinkilometers dieselpersonenvervoer in België werd 60% afgelegd op Vlaams grondgebied, namelijk over de volgende 4 trajecten:

- Antwerpen – Mol – Hasselt (33.5%)
- Gent – Eeklo (6.2%)
- Gent – Geraardsbergen (10.8%)
- Gent – Ronse (9.3%)

De emissies van rangering worden toegekend aan de verschillende rangeerterreinen. Van de totale rangeeremissies in België werd geschat dat 54% op Vlaams grondgebied gebeurt. Er werd een inschatting gemaakt om deze emissies te verdelen over de verschillende rangeerterreinen op basis van activiteit.

**Tabel 21: aandeel Vlaamse rangeeremissies per rangeerterrein**

rangeerterrein	aandeel
Haven Gent	15.0%
Haven Antwerpen	8.5%
Gent	6.0%
Zeebrugge	6.0%
Antwerpen	6.0%
Hasselt	6.0%
Muizen	6.0%

Voor het bepalen van Belgische spooremissies op basis van de in dit rapport gepubliceerde cijfers, dient men te delen door voor rangering 0.54, passagiers 0.6, goederen 0.52.

### 3.3.6 Output

De output van het model zijn de emissies van spoorverkeer, geografisch gespreid. De pollutanten waarvoor emissies berekend worden zijn in eerste instantie CO, CO<sub>2</sub>, PM, VOC, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>. Hieruit worden de emissies van andere pollutanten afgeleid: methaan, N<sub>2</sub>O, PAK, alkanen, zware metalen,...

De emissies worden gerapporteerd:

- per jaar (1990 – 2030)
- per dienst en aandrijfmethode (9 diensten + rangeren + 3 andere operatoren)
- per locatie (spoorsegmenten en rangeerterreinen, zie lager)
- per treintype (8 typen)

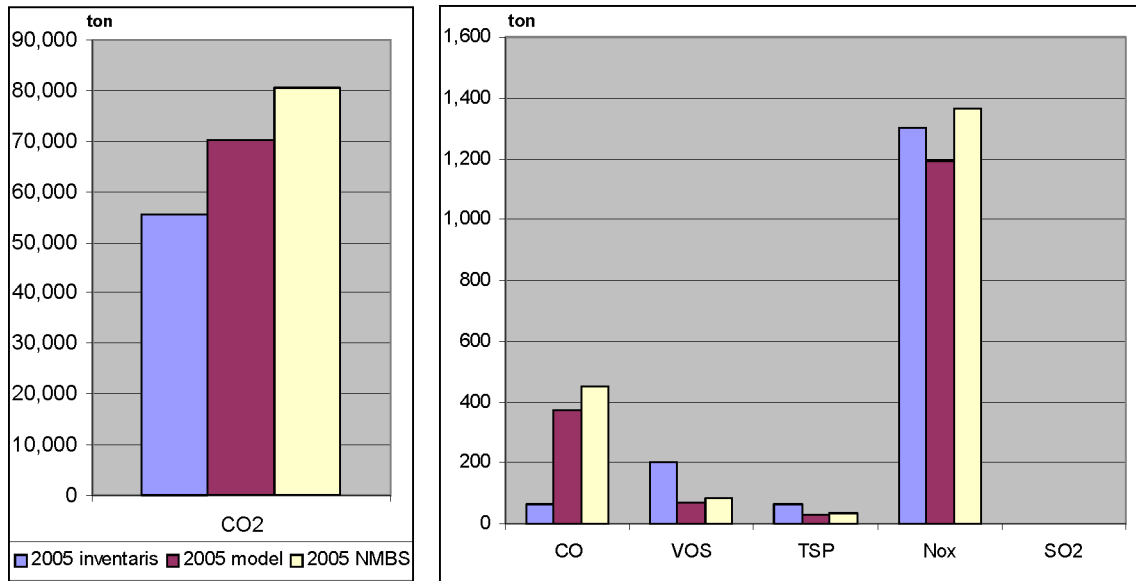
In combinatie met de inputgegevens kunnen de specifieke directe emissies per tonkm berekend worden. Hierbij moet dan de verdeelsleutel, die toegepast werd om de directe emissies te verdelen over Vlaanderen, ook toegepast worden op de activiteit. Voor het bepalen van specifieke directe emissies per netto tonkm, moet er dan nog een factor bruto-netto toegepast worden, dit is ongeveer 2.

Het berekenen van directe én indirecte specifieke emissies per tonkm kan enkel op basis van België gezien de verdeelsleutels voor activiteit en emissies van dieseltractie niet van toepassing zijn op elektrische tractie. Hier dient men dan te vertrekken van Belgische emissies door eerst de Vlaamse emissies op te schalen volgens de geografische verdeelsleutels.

## 4 Toetsing

### 4.1 Spoor

De resultaten die we berekenden met dit model, vergelijken we met de resultaten volgens andere methoden om de emissies te bereken. Voor spoor vergelijken we met de huidige emissie-inventaris van de VMM en cijfers uit het jaarrapport van de NMBS. Let wel, de cijfers van de NMBS zijn voor België en houden geen rekening met andere operatoren. Arbitrair werden de cijfers, zoals gerapporteerd in het NMBS jaarverslag, gehalveerd, om een geschatte waarde voor Vlaamse emissies te bepalen.



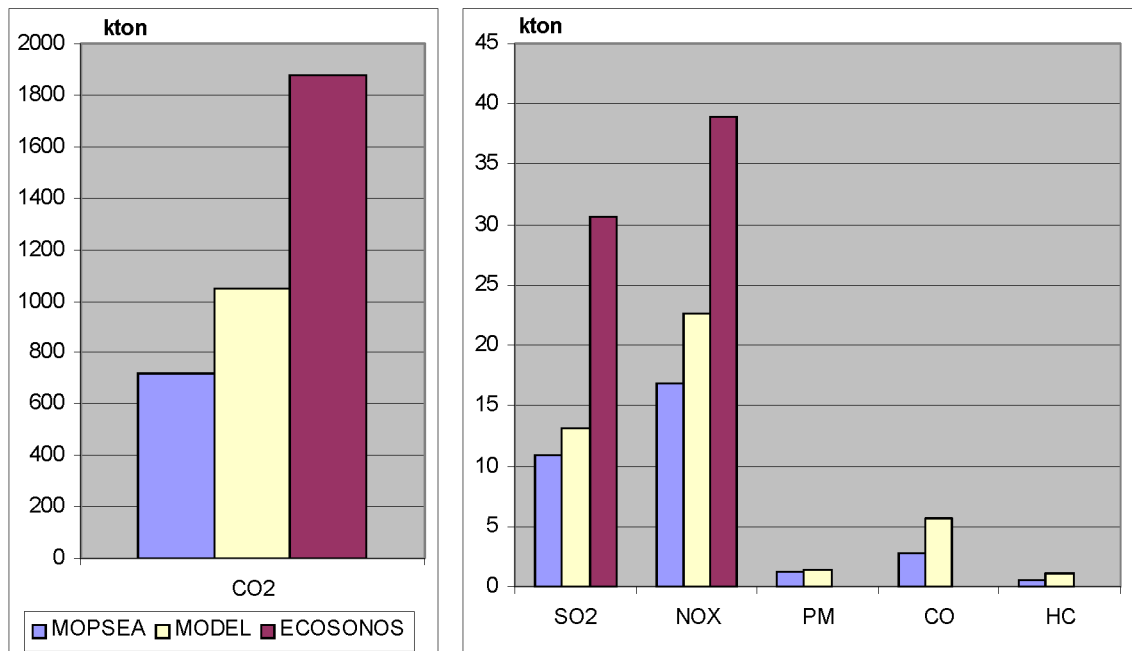
**Figuur 27: vergelijking van de emissies in 2005 volgens verschillende berekeningsmethode**

We zien dat er voor de meeste polluenten geen grote verschillen zijn tussen de methodes, behalve voor CO, waar de huidige emissie-inventaris een veel lager cijfer heeft.



## 4.2 Zeevaart

Voor zeevaart wordt een vergelijk gemaakt met de MOPSEA en ECOSONOS studie. Deze 2 studies liepen ongeveer rond dezelfde periode, over een gelijkaardig onderwerp. Toch liggen de resultaten van deze studies ver uit elkaar en is er in het verleden grote discussie geweest rond de correctheid van deze resultaten.

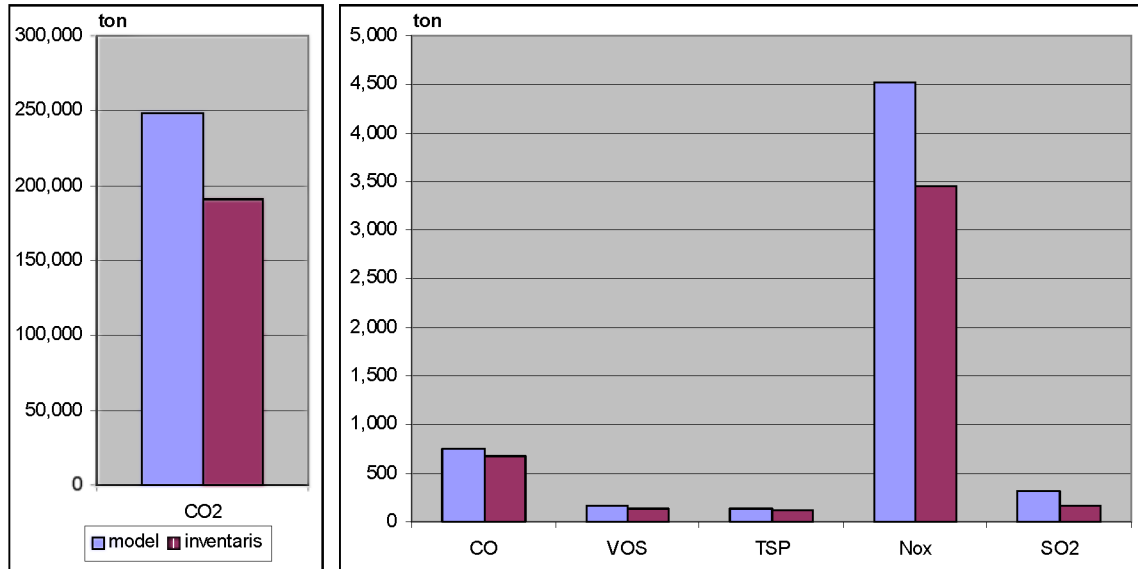


**Figuur 28: vergelijk zeevaartemissies, volgens verschillende berekeningsmethode**

De emissies van ECOSONOS zijn voor de periode tussen 31/03/03 en 1/04/04, de emissies van MOPSEA zijn voor het jaar 2004, vergeleken met de resultaten van het model voor het jaar 2005. Er zijn grote verschillen tussen de 3 methodes, voor alle pollutanten. Hiervoor zijn verschillende redenen, onder andere het al dan niet opnemen van laad- en losactiviteiten, en hoe dit wordt geïnterpreteerd. Verder werd bij MOPSEA baggeractiviteit en visserij niet meegerekend. Een correcte vergelijking is hierdoor niet mogelijk. In het algemeen blijken de resultaten van deze studie het dichtst aan te leunen bij de resultaten van MOPSEA. Als we een vergelijking met de huidige emissie-inventaris opmaken, dan zien we dat voor CO2 er een factor 23 meer emissies zijn dan volgens deze methode. De reden hiervoor is dat er momenteel gewerkt wordt met verkochte brandstof, wat niet representatief is voor de zeevaartemissies in Vlaanderen, gezien veel zeeschepen in Vlaanderen bunkeren.

### 4.3 Binnenvaart

Voor binnenvaart wordt vergeleken met de huidige emissie-inventaris.



**Figuur 29: vergelijking van de emissies van binnenvaart in 2005, volgens verschillende berekeningsmethodes**

De huidige emissieberekening komt over het algemeen wat lagere emissies uit dan de methode die we in het model toepasten, toch, de afwijking lijkt vrij klein. Een mogelijke verklaring hiervoor is de data over de activiteit in de Antwerpse dokken en de Schelde-Rijn verbinding, die werd verkregen in het kader van deze studie. Mogelijk werd deze activiteit onderschat in de huidige emissie-inventaris.

## 5 Aanbevelingen bij het gebruik van het model

EMMOSS werd ontwikkeld om de emissies van spoorverkeer en scheepvaart in Vlaanderen te berekenen en om effecten van eventuele beleidsmaatregelen op de emissies te bepalen. Het is belangrijk hierbij de beperkingen van het model toe te lichten om te vermijden dat op basis van EMMOSS-modelberekeningen verkeerde conclusies getrokken kunnen worden. We bespreken de sterktes en zwaktes per stukje:

- Zeevaart
  - Sterktes:
    - Specifieke vlootgegevens voor de vloot die de Vlaamse havens aandoet.
    - Gedetailleerde data voor ligtijden, vaartijden,...
    - Gedetailleerde, bouwjaarafhankelijke emissiefactoren.
    - Gedetailleerde methode voor in-haven emissies.
  - Zwaktes:
    - Vereenvoudigde methode voor baggeractiviteit en sleepboten.
    - Onzekerheidsinterval voor enkele parameters: duur, %vermogen, geïnstalleerd vermogen.
    - Gegrafische toedeling van havenemissies: één emissiecijfer per haven.
- Binnenvaart
  - Sterktes:
    - Gedetailleerde invoerdata
    - Gebruik energiemodel
    - Gedetailleerde emissiefactoren
  - Zwaktes
    - Onzekerheid rond gevaren snelheid.
    - Vaarwegkenmerken hebben een grote invloed op het energieverbruik. Vaarwegkenmerken zijn nu afhankelijk van de CEMT-klasse, maar zijn in feite verschillend voor elke vaarweg.
    - Onzekerheid rond leeftijdsprofiel scheidingsmotoren

- Spoor
  - Sterktes
    - Gedetailleerde vlootgegevens
    - Gekalibreerde methode voor de berekening van rangeeremissies.
    - Emissiefactoren bekend per voertuig
    - Ook indirecte emissies
  - Zwaktes:
    - Vereenvoudigde methode voor andere operatoren.
    - Grote onzekerheid voor periode na 2020 met betrekking tot vlootgegevens & activiteit.

De zwaktes van het model kunnen deels opgevangen worden door het periodiek herkalibreren van enkele modelparameters. Voor zeevaart is het aangewezen om de parameter ‘**duur**’ 5-jaarlijks te evalueren en aan te passen indien nodig. Het is ook aan te raden regelmatig data van het IVS-SRK in te laden in het model, met betrekking op de grootteklasse verdeling van aanmerende schepen. Bovendien is een periodieke kalibratie belangrijk omdat de data voor 2005 slechts een momentopname zijn waar momenteel alle toekomstige evoluties op gebaseerd zijn.

Verder onderzoek is nodig om de emissies van sleepboten en baggerschepen beter in te schatten gezien deze emissies toch een vrij grote aandeel hebben in de totale zeevaartemissies.

Om de berekening van de binnenvaart emissies nauwkeuriger te maken, is het nodig te achterhalen welke de snelheden zijn die de schippers hanteren. Een gedetailleerde enquêteering behoort hier tot de mogelijkheden.

Gezien de recente vrijmaking van de markt voor spoorverkeer, is het moeilijk de toekomstige evolutie met betrekking tot activiteit van andere operatoren te voorspellen. Een onderzoek naar de vloot en activiteit van deze operatoren kan een belangrijke verbetering zijn voor het spoormodel.

EMMOSS is een modulair model, met aparte berekeningsmethodes voor de directe emissies van spoor, binnenvaart en zeevaart. Voor spoor werd een module indirecte emissies toegevoegd, dit is ook mogelijk voor de andere modi.

## Verklarende woordenlijst

**BCP**: Belgisch Continentaal Plat: dit is de geografische afbakening van het zeegebied dat bij België hoort.

**CCR**: Centrale Commissie voor de Rijnvaart. Invloedrijke organisatie die de binnenvaart binnen Europa reguleert. <http://www.ccr-zkr.org/>

**CEMT-klasse**: “[Conférence Européenne des Ministres de Transport](#)”: klasse-indeling van de Europese binnenvaartwegen

**DWT**: Dead Weight Tonnage: de waterverplaatsing door de lading van het schip, exclusief het gewicht van het schip zelf.

**GRT**: Gross Register Tonnage: verwijst naar het totaal volume van een schip.

**GVW**: Gross Vehicle Weight: totaal gewicht van de trein, inclusief vracht, gewicht van de wagons en gewicht van de locomotief.

**HFO**: Heavy Fuel Oil: dit is zware stookolie en is een afvalproduct van olieraffinage. HFO wordt gebruikt als scheepsbrandstof voor grote schepen. Het is zeer viskeus en dient eerst opgewarmd te worden alvorens het geschikt is voor gebruik in een verbrandingsmotor.

**IMO**: International Maritime Organisation (<http://www.imo.org/>)

**IVS-SRK**: InformatieVerwerkend Systeem – ScheldeRadarKeten: dit is het informatieverwerkende systeem van het *Vessel Tracking System* van de Schelde Radar Keten. In het IVS-SRK wordt alle op de Westerschelde varende schepen geregistreerd.

**LFO**: Light Fuel Oil: dit is een lichte maritieme brandstof die uitsluitend uit distillaat bestaat.

**MARPOL**: MARitime POLLution: dit is een internationale conventie ivm milieuaspecten van maritiem transport. De annex VI behandelt het stuk luchtvervuiling.

MARPOL wordt opgelegd door de IMO

**MDO**: Marine Diesel Oil: dit is een mengsel van zware stookolie en dieselolie dat gebruikt wordt als maritieme brandstof. De samenstelling en eigenschappen varieert van type tot type.

**PAK**: Polycyclische aromatische koolwaterstoffen, organische verbindingen die bestaan uit gekoppelde aromatische ringen (benzeenringen) maar geen hetero-atomen of functionele groepen bevatten. Deze stoffen hebben vaak carcinogene eigenschappen. Voorbeelden zijn: naftaleen, antracene, fenantreen,...

**PM2.5**: fijnstofdeeltjes met een aërodynamische diameter kleiner dan 2.5 micrometer.

**PM10**: fijnstofdeeltjes met een aërodynamische diameter kleiner dan 10 micrometer.

**RCH**: Verhouding koolstof - waterstof in een koolwaterstof. Deze factor is bepalend voor de CO<sub>2</sub>-emissiefactor

**Ro-Ro**: Roll-on Roll-off schip, dit is een scheepstype met een laadklep of ramp van achteren. Hierdoor wordt het mogelijk allerlei rollende lading aan boord te nemen zoals auto's en busjes, vrachtwagens

**SECA**: Sulphur Emissions Control Area: gebied waarin, conform IMO-regelgeving, de gebruikte scheepsbrandstof een bepaald zwavelgehalte niet mag overschrijden, voor de Noordzee is dit 1.5%

**TSP**: totaal zwevend stof (total suspended particles), dit zijn alle vaste en vloeibare deeltjes die in de lucht rondzweven.

**Verstelbare spoed**: Schroef waarbij de bladstand gedurende de vaart versteld kan worden, zodat men de vereiste spoed kan aanpassen aan de omstandigheden.

## REFERENTIES

Endresen, Sorgard, Johnson (1999), "Reference values for ship pollution", Det Norske Veritas, Report no. 99-2034 rev.0.

R.G. Quan, K.C. Cheng, T.C. Trask, R.A. Meilleur (2002), "Marine vessel air emissions in the lower Fraser valley for the year 2000".

K. Makela, (2006) "ECOSONOS-MOPSEA technical workshop on shipping emissions", (*presentation*).

Endresen, Ø., Behrens, H.L., Garmann, C & Mjelde., A., (2003) "ENVIRONMENTAL ACCOUNTING SYSTEM FOR NORWEGIAN SHIPPING – EASNOS", Det Norske Veritas, Report no. 2002-1645.

Maes, F., J. Coene, F. Goerlandt, P. De Meyer, A. Volckaert, D. Le Roy, J.P. Van Ypersele, Ph. Marbaix (2007). "Emissions from CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> from ships – ECOSONOS". Research in the framework of the BELSPO Global Change, Ecosystems and Biodiversity – SPSD II, Brussels. *Voorlopig eindrapport*

A. Gommers, L. Verbeeck, E Van Cleemput, L. Schrooten, I De Vlioger (2007) "MONitoring Programme on air pollution from SEA-going vessels, MOPSEA" *Voorlopig eindrapport*

H. Oonk, J Huslkotte, R. Koch, G. Kuipers, J. Van Ling (2003) "Emissiefactoren van zeeschepen voor de toepassing in de jaarlijkse emissieberekeningen", TNO- rapport R 2003/438 v2.

J. Klein, A Hoen, J. Hulskotte, N. Van Duynhoven, R. Smit, A. Hensema, D. Broeckhuizen (2006) "Methoden voor de berekening van de emissies door mobiele bronnen in Nederland"

UNCTAD (1997-2006) "Review of maritime transport", <http://www.unctad.org/Templates/Page.asp?intItemID=2618&ang=1>

L. Ntziachristos and Z. Samaras (2000) "COPERT III, Computer programme to calculate emissions from road transport"

Bolt, E., "Schatting energieverbruik binnenvaartschepen", Adviesdienst Verkeer en Vervoer afdeling Scheepvaart, Versie3, 22 oktober 2003

EEA (European Environment Agency), 2006 , "EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2006", EEA Technical report No 11/2006

IPCC, 1996. "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories" .Volume 3, Inventory Reference Manual, Revised 1996 Bracknell (UK): IPCC WGI Technical Support Unit.

VITO, "Milieuprestaties van de binnenvaart in Vlaanderen", Promotie Binnenvaart Vlaanderen VZW, mei 2004

A. Visschedijk, J. Pacyna et al., (2004) "Coordinated European Particulate Matter Emission Inventory Program (CEPMEIP)" - Proceedings of the PM emission inventories scientific workshop, Lago Maggiore, Italy, 18 oktober 2004, EUR 21302 EN, JRC 2004, pp 163-174."

C. Whall et. al. (2002) "Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community"

Vlaamse havencommissie, SERV (2005) "Jaaroverzicht Vlaamse havens 2005"

MARIN, C. Van der Tak (2003) "Emissieberekening routegebonden scheepvaartverkeer op NCP, op basis van aangepaste bronbestanden en emissiefactoren", Rapport Nr.18717.620/1

A. Georgakaki et. al. (2002) "Development of a Database System for the Calculation of Indicators of Environmental Pressure Caused by Transport - Transport and Environment Database System (TRENDS) - Detailed Report 2: Maritime and Inland Shipping Modules"

A. Georgakaki et. al. (2002) „Development of a Database System for the Calculation of Indicators of Environmental Pressure Caused by Transport - Transport and Environment



Database System (TRENDS) - Detailed Report 3: Railway Module“

I. De Vlieger et. Al. (2004) “ Voorbereidende studie voor de ontwikkeling van emissiemodellen voor spoor en scheepvaart“

NMBS Holding, (2005) “Milieurapport 2005“

M. Halder et. Al. (2005) “Rail diesel study, WP1 Status and future development of the diesel fleet“

Personal communication Ir. Willy Bonticnk (B-Holding)

Personal communcation Prof. Willy Schillemans (Hogere Zeevaartschool Antwerpen.)

Personal communcation Mr. Michel Bouckaert (Exmar)

[www.vmm.be](http://www.vmm.be)

[www.tremove.org](http://www.tremove.org)

# ANNEX

## ***ANNEX A: Emissiefactoren zeevaart***

Emissiefactoren van hoofdmotoren:

<b>polluent</b>	<b>brandstoftype</b>	<b>motortype</b>	<b>bouwjaarklasse</b>	<b>waarde(kg/ton)</b>
CO	HFO	2T	klasse1: <=1974	14
CO	HFO	2T	klasse2: 1975-1979	15
CO	HFO	2T	klasse3: 1980-1984	16
CO	HFO	2T	klasse4: 1985-1989	14
CO	HFO	2T	klasse5: 1990-1994	11
CO	HFO	2T	klasse6: 1995-1999	12
CO	HFO	2T	klasse7: 2000-2004	12
CO	HFO	2T	klasse8: 2005-2009	12
CO	HFO	2T	klasse9: 2010-2019	12
CO	HFO	2T	klasse10: >=2020	12
CO	HFO	4T	klasse1: <=1974	13
CO	HFO	4T	klasse2: 1975-1979	14
CO	HFO	4T	klasse3: 1980-1984	15
CO	HFO	4T	klasse4: 1985-1989	13
CO	HFO	4T	klasse5: 1990-1994	11
CO	HFO	4T	klasse6: 1995-1999	11
CO	HFO	4T	klasse7: 2000-2004	11
CO	HFO	4T	klasse8: 2005-2009	11
CO	HFO	4T	klasse9: 2010-2019	11
CO	HFO	4T	klasse10: >=2020	11
CO	HFO	TU	klasse1: <=1974	0.5
CO	HFO	TU	klasse2: 1975-1979	0.5
CO	HFO	TU	klasse3: 1980-1984	0.5
CO	HFO	TU	klasse4: 1985-1989	0.5
CO	HFO	TU	klasse5: 1990-1994	0.5
CO	HFO	TU	klasse6: 1995-1999	0.5

CO	HFO	TU	klasse7: 2000-2004	0.5
CO	HFO	TU	klasse8: 2005-2009	0.5
CO	HFO	TU	klasse9: 2010-2019	0.5
CO	HFO	TU	klasse10: >=2020	0.5
CO	MDO	2T	klasse1: <=1974	14
CO	MDO	2T	klasse2: 1975-1979	15
CO	MDO	2T	klasse3: 1980-1984	16
CO	MDO	2T	klasse4: 1985-1989	14
CO	MDO	2T	klasse5: 1990-1994	11
CO	MDO	2T	klasse6: 1995-1999	12
CO	MDO	2T	klasse7: 2000-2004	12
CO	MDO	2T	klasse8: 2005-2009	12
CO	MDO	2T	klasse9: 2010-2019	12
CO	MDO	2T	klasse10: >=2020	12
CO	MDO	4T	klasse1: <=1974	13
CO	MDO	4T	klasse2: 1975-1979	14
CO	MDO	4T	klasse3: 1980-1984	15
CO	MDO	4T	klasse4: 1985-1989	13
CO	MDO	4T	klasse5: 1990-1994	11
CO	MDO	4T	klasse6: 1995-1999	11
CO	MDO	4T	klasse7: 2000-2004	11
CO	MDO	4T	klasse8: 2005-2009	11
CO	MDO	4T	klasse9: 2010-2019	11
CO	MDO	4T	klasse10: >=2020	11
CO	MDO	TU	klasse1: <=1974	0.5
CO	MDO	TU	klasse2: 1975-1979	0.5
CO	MDO	TU	klasse3: 1980-1984	0.5
CO	MDO	TU	klasse4: 1985-1989	0.5
CO	MDO	TU	klasse5: 1990-1994	0.5
CO	MDO	TU	klasse6: 1995-1999	0.5
CO	MDO	TU	klasse7: 2000-2004	0.5
CO	MDO	TU	klasse8: 2005-2009	0.5
CO	MDO	TU	klasse9: 2010-2019	0.5
CO	MDO	TU	klasse10: >=2020	0.5
CO2	HFO	2T	klasse1: <=1974	3110

CO2	HFO	2T	klasse2: 1975-1979	3110
CO2	HFO	2T	klasse3: 1980-1984	3110
CO2	HFO	2T	klasse4: 1985-1989	3110
CO2	HFO	2T	klasse5: 1990-1994	3110
CO2	HFO	2T	klasse6: 1995-1999	3110
CO2	HFO	2T	klasse7: 2000-2004	3110
CO2	HFO	2T	klasse8: 2005-2009	3110
CO2	HFO	2T	klasse9: 2010-2019	3110
CO2	HFO	2T	klasse10: >=2020	3110
CO2	HFO	4T	klasse1: <=1974	3110
CO2	HFO	4T	klasse2: 1975-1979	3110
CO2	HFO	4T	klasse3: 1980-1984	3110
CO2	HFO	4T	klasse4: 1985-1989	3110
CO2	HFO	4T	klasse5: 1990-1994	3110
CO2	HFO	4T	klasse6: 1995-1999	3110
CO2	HFO	4T	klasse7: 2000-2004	3110
CO2	HFO	4T	klasse8: 2005-2009	3110
CO2	HFO	4T	klasse9: 2010-2019	3110
CO2	HFO	4T	klasse10: >=2020	3110
CO2	HFO	TU	klasse1: <=1974	3110
CO2	HFO	TU	klasse2: 1975-1979	3110
CO2	HFO	TU	klasse3: 1980-1984	3110
CO2	HFO	TU	klasse4: 1985-1989	3110
CO2	HFO	TU	klasse5: 1990-1994	3110
CO2	HFO	TU	klasse6: 1995-1999	3110
CO2	HFO	TU	klasse7: 2000-2004	3110
CO2	HFO	TU	klasse8: 2005-2009	3110
CO2	HFO	TU	klasse9: 2010-2019	3110
CO2	HFO	TU	klasse10: >=2020	3110
CO2	MDO	2T	klasse1: <=1974	3100
CO2	MDO	2T	klasse2: 1975-1979	3100
CO2	MDO	2T	klasse3: 1980-1984	3100
CO2	MDO	2T	klasse4: 1985-1989	3100
CO2	MDO	2T	klasse5: 1990-1994	3100
CO2	MDO	2T	klasse6: 1995-1999	3100

CO2	MDO	2T	klasse7: 2000-2004	3100
CO2	MDO	2T	klasse8: 2005-2009	3100
CO2	MDO	2T	klasse9: 2010-2019	3100
CO2	MDO	2T	klasse10: >=2020	3100
CO2	MDO	4T	klasse1: <=1974	3100
CO2	MDO	4T	klasse2: 1975-1979	3100
CO2	MDO	4T	klasse3: 1980-1984	3100
CO2	MDO	4T	klasse4: 1985-1989	3100
CO2	MDO	4T	klasse5: 1990-1994	3100
CO2	MDO	4T	klasse6: 1995-1999	3100
CO2	MDO	4T	klasse7: 2000-2004	3100
CO2	MDO	4T	klasse8: 2005-2009	3100
CO2	MDO	4T	klasse9: 2010-2019	3100
CO2	MDO	4T	klasse10: >=2020	3100
CO2	MDO	TU	klasse1: <=1974	3100
CO2	MDO	TU	klasse2: 1975-1979	3100
CO2	MDO	TU	klasse3: 1980-1984	3100
CO2	MDO	TU	klasse4: 1985-1989	3100
CO2	MDO	TU	klasse5: 1990-1994	3100
CO2	MDO	TU	klasse6: 1995-1999	3100
CO2	MDO	TU	klasse7: 2000-2004	3100
CO2	MDO	TU	klasse8: 2005-2009	3100
CO2	MDO	TU	klasse9: 2010-2019	3100
CO2	MDO	TU	klasse10: >=2020	3100
Nox	HFO	2T	klasse1: <=1974	76
Nox	HFO	2T	klasse2: 1975-1979	90
Nox	HFO	2T	klasse3: 1980-1984	100
Nox	HFO	2T	klasse4: 1985-1989	111
Nox	HFO	2T	klasse5: 1990-1994	103
Nox	HFO	2T	klasse6: 1995-1999	88
Nox	HFO	2T	klasse7: 2000-2004	79
Nox	HFO	2T	klasse8: 2005-2009	79
Nox	HFO	2T	klasse9: 2010-2019	79
Nox	HFO	2T	klasse10: >=2020	79
Nox	HFO	4T	klasse1: <=1974	53

Nox	HFO	4T	klasse2: 1975-1979	65
Nox	HFO	4T	klasse3: 1980-1984	73
Nox	HFO	4T	klasse4: 1985-1989	82
Nox	HFO	4T	klasse5: 1990-1994	74
Nox	HFO	4T	klasse6: 1995-1999	59
Nox	HFO	4T	klasse7: 2000-2004	42
Nox	HFO	4T	klasse8: 2005-2009	42
Nox	HFO	4T	klasse9: 2010-2019	42
Nox	HFO	4T	klasse10: >=2020	42
Nox	HFO	TU	klasse1: <=1974	3.3
Nox	HFO	TU	klasse2: 1975-1979	3.3
Nox	HFO	TU	klasse3: 1980-1984	3.3
Nox	HFO	TU	klasse4: 1985-1989	3.3
Nox	HFO	TU	klasse5: 1990-1994	3.3
Nox	HFO	TU	klasse6: 1995-1999	3.3
Nox	HFO	TU	klasse7: 2000-2004	3.3
Nox	HFO	TU	klasse8: 2005-2009	3.3
Nox	HFO	TU	klasse9: 2010-2019	3.3
Nox	HFO	TU	klasse10: >=2020	3.3
Nox	MDO	2T	klasse1: <=1974	76
Nox	MDO	2T	klasse2: 1975-1979	90
Nox	MDO	2T	klasse3: 1980-1984	100
Nox	MDO	2T	klasse4: 1985-1989	111
Nox	MDO	2T	klasse5: 1990-1994	103
Nox	MDO	2T	klasse6: 1995-1999	88
Nox	MDO	2T	klasse7: 2000-2004	79
Nox	MDO	2T	klasse8: 2005-2009	79
Nox	MDO	2T	klasse9: 2010-2019	79
Nox	MDO	2T	klasse10: >=2020	79
Nox	MDO	4T	klasse1: <=1974	53
Nox	MDO	4T	klasse2: 1975-1979	65
Nox	MDO	4T	klasse3: 1980-1984	73
Nox	MDO	4T	klasse4: 1985-1989	82
Nox	MDO	4T	klasse5: 1990-1994	74
Nox	MDO	4T	klasse6: 1995-1999	59

Nox	MDO	4T	klasse7: 2000-2004	42
Nox	MDO	4T	klasse8: 2005-2009	42
Nox	MDO	4T	klasse9: 2010-2019	42
Nox	MDO	4T	klasse10: >=2020	42
Nox	MDO	TU	klasse1: <=1974	7
Nox	MDO	TU	klasse2: 1975-1979	7
Nox	MDO	TU	klasse3: 1980-1984	7
Nox	MDO	TU	klasse4: 1985-1989	7
Nox	MDO	TU	klasse5: 1990-1994	7
Nox	MDO	TU	klasse6: 1995-1999	7
Nox	MDO	TU	klasse7: 2000-2004	7
Nox	MDO	TU	klasse8: 2005-2009	7
Nox	MDO	TU	klasse9: 2010-2019	7
Nox	MDO	TU	klasse10: >=2020	7
SO2	HFO	2T	klasse1: <=1974	20
SO2	HFO	2T	klasse2: 1975-1979	20
SO2	HFO	2T	klasse3: 1980-1984	20
SO2	HFO	2T	klasse4: 1985-1989	20
SO2	HFO	2T	klasse5: 1990-1994	20
SO2	HFO	2T	klasse6: 1995-1999	20
SO2	HFO	2T	klasse7: 2000-2004	20
SO2	HFO	2T	klasse8: 2005-2009	20
SO2	HFO	2T	klasse9: 2010-2019	20
SO2	HFO	2T	klasse10: >=2020	20
SO2	HFO	4T	klasse1: <=1974	20
SO2	HFO	4T	klasse2: 1975-1979	20
SO2	HFO	4T	klasse3: 1980-1984	20
SO2	HFO	4T	klasse4: 1985-1989	20
SO2	HFO	4T	klasse5: 1990-1994	20
SO2	HFO	4T	klasse6: 1995-1999	20
SO2	HFO	4T	klasse7: 2000-2004	20
SO2	HFO	4T	klasse8: 2005-2009	20
SO2	HFO	4T	klasse9: 2010-2019	20
SO2	HFO	4T	klasse10: >=2020	20
SO2	HFO	TU	klasse1: <=1974	20

SO2	HFO	TU	klasse2: 1975-1979	20
SO2	HFO	TU	klasse3: 1980-1984	20
SO2	HFO	TU	klasse4: 1985-1989	20
SO2	HFO	TU	klasse5: 1990-1994	20
SO2	HFO	TU	klasse6: 1995-1999	20
SO2	HFO	TU	klasse7: 2000-2004	20
SO2	HFO	TU	klasse8: 2005-2009	20
SO2	HFO	TU	klasse9: 2010-2019	20
SO2	HFO	TU	klasse10: >=2020	20
SO2	MDO	2T	klasse1: <=1974	20
SO2	MDO	2T	klasse2: 1975-1979	20
SO2	MDO	2T	klasse3: 1980-1984	20
SO2	MDO	2T	klasse4: 1985-1989	20
SO2	MDO	2T	klasse5: 1990-1994	20
SO2	MDO	2T	klasse6: 1995-1999	20
SO2	MDO	2T	klasse7: 2000-2004	20
SO2	MDO	2T	klasse8: 2005-2009	20
SO2	MDO	2T	klasse9: 2010-2019	20
SO2	MDO	2T	klasse10: >=2020	20
SO2	MDO	4T	klasse1: <=1974	20
SO2	MDO	4T	klasse2: 1975-1979	20
SO2	MDO	4T	klasse3: 1980-1984	20
SO2	MDO	4T	klasse4: 1985-1989	20
SO2	MDO	4T	klasse5: 1990-1994	20
SO2	MDO	4T	klasse6: 1995-1999	20
SO2	MDO	4T	klasse7: 2000-2004	20
SO2	MDO	4T	klasse8: 2005-2009	20
SO2	MDO	4T	klasse9: 2010-2019	20
SO2	MDO	4T	klasse10: >=2020	20
SO2	MDO	TU	klasse1: <=1974	20
SO2	MDO	TU	klasse2: 1975-1979	20
SO2	MDO	TU	klasse3: 1980-1984	20
SO2	MDO	TU	klasse4: 1985-1989	20
SO2	MDO	TU	klasse5: 1990-1994	20
SO2	MDO	TU	klasse6: 1995-1999	20



SO2	MDO	TU	klasse7: 2000-2004	20
SO2	MDO	TU	klasse8: 2005-2009	20
SO2	MDO	TU	klasse9: 2010-2019	20
SO2	MDO	TU	klasse10: >=2020	20
PM10	HFO	2T	klasse1: <=1974	8.1
PM10	HFO	2T	klasse2: 1975-1979	8.5
PM10	HFO	2T	klasse3: 1980-1984	8.9
PM10	HFO	2T	klasse4: 1985-1989	9.4
PM10	HFO	2T	klasse5: 1990-1994	9.7
PM10	HFO	2T	klasse6: 1995-1999	8.8
PM10	HFO	2T	klasse7: 2000-2004	8.9
PM10	HFO	2T	klasse8: 2005-2009	8.9
PM10	HFO	2T	klasse9: 2010-2019	8.9
PM10	HFO	2T	klasse10: >=2020	8.9
PM10	HFO	4T	klasse1: <=1974	3.6
PM10	HFO	4T	klasse2: 1975-1979	3.7
PM10	HFO	4T	klasse3: 1980-1984	3.9
PM10	HFO	4T	klasse4: 1985-1989	4.1
PM10	HFO	4T	klasse5: 1990-1994	4.2
PM10	HFO	4T	klasse6: 1995-1999	3.9
PM10	HFO	4T	klasse7: 2000-2004	3.7
PM10	HFO	4T	klasse8: 2005-2009	3.7
PM10	HFO	4T	klasse9: 2010-2019	3.7
PM10	HFO	4T	klasse10: >=2020	3.7
PM10	HFO	TU	klasse1: <=1974	2.5
PM10	HFO	TU	klasse2: 1975-1979	2.5
PM10	HFO	TU	klasse3: 1980-1984	2.5
PM10	HFO	TU	klasse4: 1985-1989	2.5
PM10	HFO	TU	klasse5: 1990-1994	2.5
PM10	HFO	TU	klasse6: 1995-1999	2.5
PM10	HFO	TU	klasse7: 2000-2004	2.5
PM10	HFO	TU	klasse8: 2005-2009	2.5
PM10	HFO	TU	klasse9: 2010-2019	2.5
PM10	HFO	TU	klasse10: >=2020	2.5
PM10	MDO	2T	klasse1: <=1974	2.4

PM10	MDO	2T	klasse2: 1975-1979	2.5
PM10	MDO	2T	klasse3: 1980-1984	2.6
PM10	MDO	2T	klasse4: 1985-1989	2.8
PM10	MDO	2T	klasse5: 1990-1994	2.3
PM10	MDO	2T	klasse6: 1995-1999	1.8
PM10	MDO	2T	klasse7: 2000-2004	1.8
PM10	MDO	2T	klasse8: 2005-2009	1.8
PM10	MDO	2T	klasse9: 2010-2019	1.8
PM10	MDO	2T	klasse10: >=2020	1.8
PM10	MDO	4T	klasse1: <=1974	2.2
PM10	MDO	4T	klasse2: 1975-1979	2.3
PM10	MDO	4T	klasse3: 1980-1984	2.4
PM10	MDO	4T	klasse4: 1985-1989	2.6
PM10	MDO	4T	klasse5: 1990-1994	2.1
PM10	MDO	4T	klasse6: 1995-1999	1.6
PM10	MDO	4T	klasse7: 2000-2004	1.6
PM10	MDO	4T	klasse8: 2005-2009	1.6
PM10	MDO	4T	klasse9: 2010-2019	1.6
PM10	MDO	4T	klasse10: >=2020	1.6
PM10	MDO	TU	klasse1: <=1974	2.1
PM10	MDO	TU	klasse2: 1975-1979	2.1
PM10	MDO	TU	klasse3: 1980-1984	2.1
PM10	MDO	TU	klasse4: 1985-1989	2.1
PM10	MDO	TU	klasse5: 1990-1994	2.1
PM10	MDO	TU	klasse6: 1995-1999	2.1
PM10	MDO	TU	klasse7: 2000-2004	2.1
PM10	MDO	TU	klasse8: 2005-2009	2.1
PM10	MDO	TU	klasse9: 2010-2019	2.1
PM10	MDO	TU	klasse10: >=2020	2.1
VOS	HFO	2T	klasse1: <=1974	2.9
VOS	HFO	2T	klasse2: 1975-1979	3
VOS	HFO	2T	klasse3: 1980-1984	3.2
VOS	HFO	2T	klasse4: 1985-1989	3.3
VOS	HFO	2T	klasse5: 1990-1994	2.9
VOS	HFO	2T	klasse6: 1995-1999	2.4

VOS	HFO	2T	klasse7: 2000-2004	1.8
VOS	HFO	2T	klasse8: 2005-2009	1.8
VOS	HFO	2T	klasse9: 2010-2019	1.8
VOS	HFO	2T	klasse10: >=2020	1.8
VOS	HFO	4T	klasse1: <=1974	2.7
VOS	HFO	4T	klasse2: 1975-1979	2.8
VOS	HFO	4T	klasse3: 1980-1984	2.9
VOS	HFO	4T	klasse4: 1985-1989	3.1
VOS	HFO	4T	klasse5: 1990-1994	2.6
VOS	HFO	4T	klasse6: 1995-1999	2.2
VOS	HFO	4T	klasse7: 2000-2004	1.6
VOS	HFO	4T	klasse8: 2005-2009	1.6
VOS	HFO	4T	klasse9: 2010-2019	1.6
VOS	HFO	4T	klasse10: >=2020	1.6
VOS	HFO	TU	klasse1: <=1974	0.2
VOS	HFO	TU	klasse2: 1975-1979	0.2
VOS	HFO	TU	klasse3: 1980-1984	0.2
VOS	HFO	TU	klasse4: 1985-1989	0.2
VOS	HFO	TU	klasse5: 1990-1994	0.2
VOS	HFO	TU	klasse6: 1995-1999	0.2
VOS	HFO	TU	klasse7: 2000-2004	0.2
VOS	HFO	TU	klasse8: 2005-2009	0.2
VOS	HFO	TU	klasse9: 2010-2019	0.2
VOS	HFO	TU	klasse10: >=2020	0.2
VOS	MDO	2T	klasse1: <=1974	2.9
VOS	MDO	2T	klasse2: 1975-1979	3
VOS	MDO	2T	klasse3: 1980-1984	3.2
VOS	MDO	2T	klasse4: 1985-1989	3.3
VOS	MDO	2T	klasse5: 1990-1994	2.9
VOS	MDO	2T	klasse6: 1995-1999	2.4
VOS	MDO	2T	klasse7: 2000-2004	1.8
VOS	MDO	2T	klasse8: 2005-2009	1.8
VOS	MDO	2T	klasse9: 2010-2019	1.8
VOS	MDO	2T	klasse10: >=2020	1.8
VOS	MDO	4T	klasse1: <=1974	2.7

VOS	MDO	4T	klasse2: 1975-1979	2.8
VOS	MDO	4T	klasse3: 1980-1984	2.9
VOS	MDO	4T	klasse4: 1985-1989	3.1
VOS	MDO	4T	klasse5: 1990-1994	2.6
VOS	MDO	4T	klasse6: 1995-1999	2.2
VOS	MDO	4T	klasse7: 2000-2004	1.6
VOS	MDO	4T	klasse8: 2005-2009	1.6
VOS	MDO	4T	klasse9: 2010-2019	1.6
VOS	MDO	4T	klasse10: >=2020	1.6
VOS	MDO	TU	klasse1: <=1974	0.2
VOS	MDO	TU	klasse2: 1975-1979	0.2
VOS	MDO	TU	klasse3: 1980-1984	0.2
VOS	MDO	TU	klasse4: 1985-1989	0.2
VOS	MDO	TU	klasse5: 1990-1994	0.2
VOS	MDO	TU	klasse6: 1995-1999	0.2
VOS	MDO	TU	klasse7: 2000-2004	0.2
VOS	MDO	TU	klasse8: 2005-2009	0.2
VOS	MDO	TU	klasse9: 2010-2019	0.2
VOS	MDO	TU	klasse10: >=2020	0.2

Emissiefactoren van hulpmotoren:

<b>polluent</b>	<b>brandstoftype</b>	<b>bouwjaarklasse</b>	<b>waarde(kg/ton)</b>
CO	HFO	klasse1: <=1974	19.1
CO	HFO	klasse2: 1975-1979	16.1
CO	HFO	klasse3: 1980-1984	13.8
CO	HFO	klasse4: 1985-1989	11.8
CO	HFO	klasse5: 1990-1994	10
CO	HFO	klasse6: 1995-1999	8.8
CO	HFO	klasse7: 2000-2004	7.5
CO	HFO	klasse8: 2005-2009	7.5
CO	HFO	klasse9: 2010-2019	7.5
CO	HFO	klasse10: >=2020	7.5

CO	MDO	klasse1: <=1974	19.1
CO	MDO	klasse2: 1975-1979	16.1
CO	MDO	klasse3: 1980-1984	13.8
CO	MDO	klasse4: 1985-1989	11.8
CO	MDO	klasse5: 1990-1994	10
CO	MDO	klasse6: 1995-1999	8.8
CO	MDO	klasse7: 2000-2004	7.5
CO	MDO	klasse8: 2005-2009	7.5
CO	MDO	klasse9: 2010-2019	7.5
CO	MDO	klasse10: >=2020	7.5
CO2	HFO	klasse1: <=1974	3110
CO2	HFO	klasse2: 1975-1979	3110
CO2	HFO	klasse3: 1980-1984	3110
CO2	HFO	klasse4: 1985-1989	3110
CO2	HFO	klasse5: 1990-1994	3110
CO2	HFO	klasse6: 1995-1999	3110
CO2	HFO	klasse7: 2000-2004	3110
CO2	HFO	klasse8: 2005-2009	3110
CO2	HFO	klasse9: 2010-2019	3110
CO2	HFO	klasse10: >=2020	3110
CO2	MDO	klasse1: <=1974	3100
CO2	MDO	klasse2: 1975-1979	3100
CO2	MDO	klasse3: 1980-1984	3100
CO2	MDO	klasse4: 1985-1989	3100
CO2	MDO	klasse5: 1990-1994	3100
CO2	MDO	klasse6: 1995-1999	3100
CO2	MDO	klasse7: 2000-2004	3100
CO2	MDO	klasse8: 2005-2009	3100
CO2	MDO	klasse9: 2010-2019	3100
CO2	MDO	klasse10: >=2020	3100
Nox	HFO	klasse1: <=1974	43
Nox	HFO	klasse2: 1975-1979	57
Nox	HFO	klasse3: 1980-1984	67
Nox	HFO	klasse4: 1985-1989	73
Nox	HFO	klasse5: 1990-1994	64

Nox	HFO	klasse6: 1995-1999	54
Nox	HFO	klasse7: 2000-2004	40
Nox	HFO	klasse8: 2005-2009	40
Nox	HFO	klasse9: 2010-2019	40
Nox	HFO	klasse10: >=2020	40
Nox	MDO	klasse1: <=1974	43
Nox	MDO	klasse2: 1975-1979	57
Nox	MDO	klasse3: 1980-1984	67
Nox	MDO	klasse4: 1985-1989	73
Nox	MDO	klasse5: 1990-1994	64
Nox	MDO	klasse6: 1995-1999	54
Nox	MDO	klasse7: 2000-2004	40
Nox	MDO	klasse8: 2005-2009	40
Nox	MDO	klasse9: 2010-2019	40
Nox	MDO	klasse10: >=2020	40
SO2	HFO	klasse1: <=1974	20
SO2	HFO	klasse2: 1975-1979	20
SO2	HFO	klasse3: 1980-1984	20
SO2	HFO	klasse4: 1985-1989	20
SO2	HFO	klasse5: 1990-1994	20
SO2	HFO	klasse6: 1995-1999	20
SO2	HFO	klasse7: 2000-2004	20
SO2	HFO	klasse8: 2005-2009	20
SO2	HFO	klasse9: 2010-2019	20
SO2	HFO	klasse10: >=2020	20
SO2	MDO	klasse1: <=1974	20
SO2	MDO	klasse2: 1975-1979	20
SO2	MDO	klasse3: 1980-1984	20
SO2	MDO	klasse4: 1985-1989	20
SO2	MDO	klasse5: 1990-1994	20
SO2	MDO	klasse6: 1995-1999	20
SO2	MDO	klasse7: 2000-2004	20
SO2	MDO	klasse8: 2005-2009	20
SO2	MDO	klasse9: 2010-2019	20
SO2	MDO	klasse10: >=2020	20

PM10	HFO	klasse1: <=1974	3.4
PM10	HFO	klasse2: 1975-1979	3.5
PM10	HFO	klasse3: 1980-1984	3.6
PM10	HFO	klasse4: 1985-1989	3.6
PM10	HFO	klasse5: 1990-1994	3.6
PM10	HFO	klasse6: 1995-1999	3.4
PM10	HFO	klasse7: 2000-2004	3.5
PM10	HFO	klasse8: 2005-2009	3.5
PM10	HFO	klasse9: 2010-2019	3.5
PM10	HFO	klasse10: >=2020	3.5
PM10	MDO	klasse1: <=1974	2.6
PM10	MDO	klasse2: 1975-1979	2.6
PM10	MDO	klasse3: 1980-1984	2.7
PM10	MDO	klasse4: 1985-1989	2.3
PM10	MDO	klasse5: 1990-1994	1.8
PM10	MDO	klasse6: 1995-1999	1.5
PM10	MDO	klasse7: 2000-2004	1.5
PM10	MDO	klasse8: 2005-2009	1.5
PM10	MDO	klasse9: 2010-2019	1.5
PM10	MDO	klasse10: >=2020	1.5
VOS	HFO	klasse1: <=1974	5.1
VOS	HFO	klasse2: 1975-1979	3.5
VOS	HFO	klasse3: 1980-1984	3.1
VOS	HFO	klasse4: 1985-1989	2.7
VOS	HFO	klasse5: 1990-1994	2.3
VOS	HFO	klasse6: 1995-1999	2
VOS	HFO	klasse7: 2000-2004	1.5
VOS	HFO	klasse8: 2005-2009	1.5
VOS	HFO	klasse9: 2010-2019	1.5
VOS	HFO	klasse10: >=2020	1.5
VOS	MDO	klasse1: <=1974	5.1
VOS	MDO	klasse2: 1975-1979	3.5
VOS	MDO	klasse3: 1980-1984	3.1
VOS	MDO	klasse4: 1985-1989	2.7
VOS	MDO	klasse5: 1990-1994	2.3

VOS	MDO	klasse6: 1995-1999	2
VOS	MDO	klasse7: 2000-2004	1.5
VOS	MDO	klasse8: 2005-2009	1.5
VOS	MDO	klasse9: 2010-2019	1.5
VOS	MDO	klasse10: >=2020	1.5

## ***ANNEX B: "Propellor law"***

De propellor law legt de relatie tussen het energieverbruik en de snelheid van een schip, varende op zee:

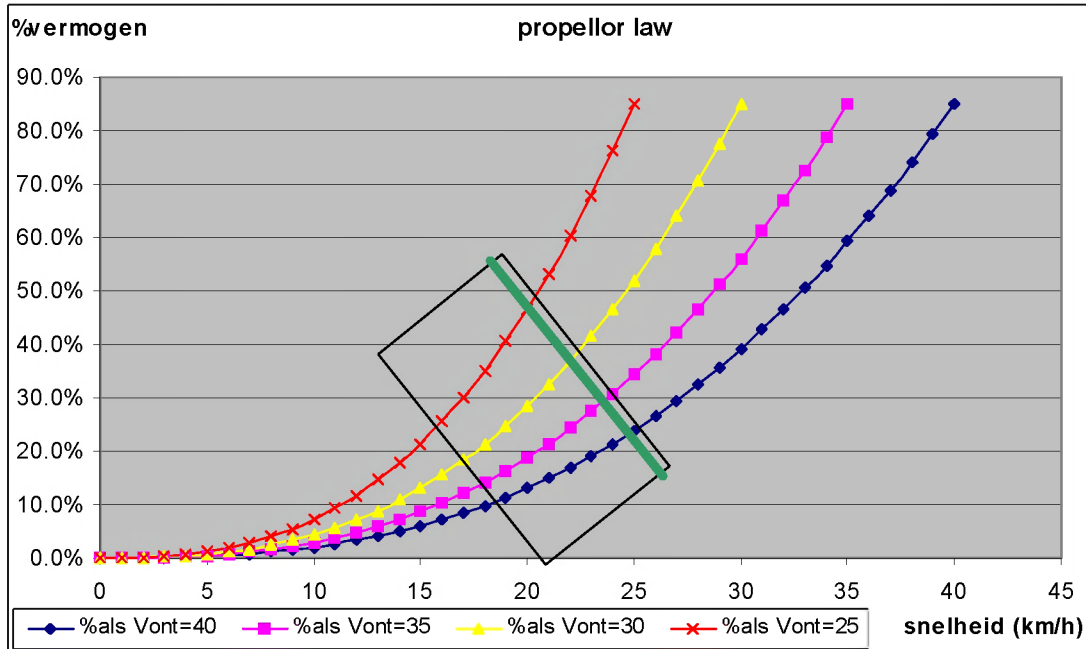
$$\text{Energie-verbruik} = \text{snelheid}^{2.7}$$

Het benodigde vermogen is een macht 2.7 van de snelheid, waardoor het vermogen sterk stijgt bij een lichte toename van de snelheid. Dit maakt deze parameter gevoelig voor afwijkingen. In het model is gekozen voor de hoogst waargenomen snelheden, zodat enkel een overschatting van de emissies mogelijk is. We illustreren dit aan de hand van een voorbeeld:

Kleine schepen hebben een relatief lage ontwerpsnelheid (vb. 25km/h). Bij deze ontwerpsnelheid wordt geacht de hoofdmotor op vol vermogen te draaien. In feite is dit niet het volle vermogen maar eerder 80-90% van het volledige geïnstalleerde vermogen (afhankelijk van de bron, kan dit variëren, deze studie koos voor 85% als ontwerpbelasting). De geobserveerde snelheden van kleine schepen op de belangrijkste vaarroute Knokke-Wandelaar varieerden tussen 15 en 20 km/h. Dit vertaalt zich naar een range van %vermogen tussen 25-50%. Waar bij snelheden het interval zich beperkt tot 5 km/h op maximaal 20 km/h (25% afwijking), is dit voor %vermogen 25% op maximaal 50% van het geïnstalleerde vermogen (50% afwijking). Hier wordt duidelijk dat een fout in de geobserveerde snelheid de fout in het aangenomen %vermogen versterkt. Om deze reden werd in deze studie gekozen voor de hogere waarden van het interval (zie groene lijn op de figuur), zodat enkel een overschatting van de emissies mogelijk is.

Het percentage ingesteld vermogen varieert hierdoor tussen 25 en 50% over de verschillende scheepstypen wat overeen stemt met resultaten in Nederland.





Geobserveerde snelheden op het BCP (rechthoek) en de relatie ontwerpsnelheid en benodigd vermogen voor 4 typische ontwerpsnelheden. De groene lijn is de keuze van %vermogen bij varen op zee, in functie van ontwerpsnelheid van het schip.

### **ANNEX C: Emissiefactoren elektriciteitsproductie**

Deze emissiefactoren werden gehaald uit het TREMOVE-model, ontwikkeld door TML. De bronnen voor deze emissiefactoren zijn het PRIMES-model (broeikasgassen) en het RAINS-model (andere pollutanten). Deze waarden zijn gebaseerd op een simulatie die specifiek werd uitgevoerd voor het TREMOVE-project om de emissies van enkel electriciteitsproductie te bepalen. Deze waarden kunnen verschillen van andere PRIMES-simulaties, zoals Energy-Outlook 2030, o.w.v. andere aannames en een combinatie emissiefactor electriciteitsproductie-warmteproductie.

De emissiefactoren van electriciteitsproductie in België in g/kWh:

jaar	CH4	CO	CO2	NMVOS	NOx	PM	SO2
1990	0.865	0.060	327.883	0.026	0.587	0.049	0.597
2000	0.865	0.060	280.420	0.026	0.587	0.049	0.597
2005	0.865	0.060	251.307	0.019	0.379	0.026	0.336
2006	0.865	0.060	245.527	0.018	0.337	0.021	0.284

<b>2007</b>	0.865	0.060	239.748	0.017	0.295	0.016	0.232
<b>2008</b>	0.865	0.060	233.968	0.015	0.253	0.011	0.180
<b>2009</b>	0.865	0.060	228.189	0.014	0.212	0.007	0.128
<b>2010</b>	0.865	0.060	222.409	0.013	0.170	0.002	0.076
<b>2011</b>	0.865	0.060	222.190	0.013	0.173	0.002	0.074
<b>2012</b>	0.865	0.060	221.971	0.013	0.177	0.002	0.072
<b>2013</b>	0.865	0.060	221.752	0.013	0.180	0.002	0.070
<b>2014</b>	0.865	0.060	221.533	0.013	0.183	0.002	0.069
<b>2015</b>	0.865	0.060	221.314	0.014	0.187	0.002	0.067
<b>2016</b>	0.865	0.060	233.291	0.014	0.190	0.002	0.065
<b>2017</b>	0.865	0.060	245.269	0.014	0.194	0.002	0.063
<b>2018</b>	0.865	0.060	257.247	0.014	0.197	0.002	0.061
<b>2019</b>	0.865	0.060	269.225	0.014	0.200	0.002	0.060
<b>2020</b>	0.865	0.060	281.202	0.014	0.204	0.002	0.058
<b>2021</b>	0.865	0.060	300.491	0.014	0.204	0.002	0.058
<b>2022</b>	0.865	0.060	319.780	0.014	0.204	0.002	0.058
<b>2023</b>	0.865	0.060	339.068	0.014	0.204	0.002	0.058
<b>2024</b>	0.865	0.060	358.357	0.014	0.204	0.002	0.058
<b>2025</b>	0.865	0.060	377.645	0.014	0.204	0.002	0.058
<b>2026</b>	0.865	0.060	401.760	0.014	0.204	0.002	0.058
<b>2027</b>	0.865	0.060	425.875	0.014	0.204	0.002	0.058
<b>2028</b>	0.865	0.060	449.989	0.014	0.204	0.002	0.058
<b>2029</b>	0.865	0.060	474.104	0.014	0.204	0.002	0.058
<b>2030</b>	0.865	0.060	498.219	0.014	0.204	0.002	0.058

## **ANNEX D: Leeflijdsprofielen binnenvaartmotoren en overige scheepskenmerken**

- Leeflijdsverdeling

De leeflijdsverdeling van de scheepsmotoren is opgesteld aan de hand van Weibull-verdelingen.

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

Hierbij is x keer 5 gekozen als representatieve schaling voor de leeflijd van 1 jaar.

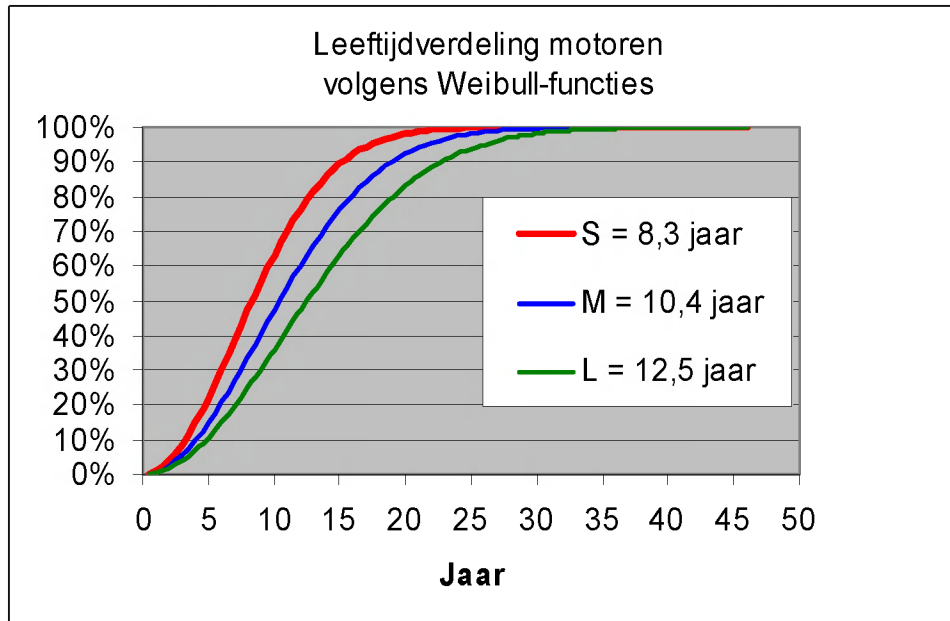
De mediane leeflijd van de scheepsmotoren kan dan worden berekend met:

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

De uitkomst moet dan weer met 5 worden vermenigvuldigd om de juiste mediane leeflijd te verkrijgen.

Invoer Weibull	S	M	L
<b>K</b>	2	2	2
<b><math>\Lambda</math></b>	2	2,5	3
Mediane Leeflijd (jaar)	8,3	10,4	12,5

De grafische weergave van de leeflijdsverdeling bij invoer van de parameters in bovenstaande tabel staat weergegeven in onderstaande grafiek. Te zien is dat de allerlaatste motoren bij de verdeling S worden vervangen bij 20 jaar, voor verdeling S bij 25 jaar en bij verdeling L bij 30 jaar.



- Toekenning van leeftijdsverdeling en overige scheepskenmerken toegepast in de vermogensberekening

Scheepstype	Naam	Verdeling (motor- leeftijd)	Lengte (m)	Breedte (m)	Onbeladen Diepgang (m)	Beladen Diepgang (m)
M0	Klein motorschip	L	35	4,5	0,4	2,2
M1	Spits	L	38,5	5,05	0,5	2,5
M2	Kempenaar	L	55	6,6	0,6	2,5
M3	Hagenaar	L	67	7,2	0,7	2,5
M4	Dortmund-Eemskanaalschip	M	67	8,2	0,7	2,7
M5	Verlengd Dortmund-Eemskanaalschip	M	80	8,2	0,7	2,7
M6	Rijn-Hernekanaalschip	S	85	9,5	0,8	2,9
M7	Verlengd Rijn-Hernekanaalschip	S	105	9,5	0,8	3
M8	Groot Rijnschip	S	110	11,4	0,8	3,5
BI	1-Baksduwstel Europa I	M	100	9,5	0,4	3
BII1	1-Baksduwstel Europa II	S	105	11,4	0,4	3,5
BII2	1-Baksduwstel Europa II of IIa	S	180	11,4	0,4	4
BII2b	2-Baksduwstel breed	S	110	22,8	0,4	4
BII2L	2-Baksduwstel lang	S	180	11,4	0,4	4

BII4	4-Baksduwstel	S	190	22,8	0,4	4
BIIa1	1-Baksduwstel Europa IIa	S	105	11,4	0,4	4
BO1	1-Baksduwstel tot 400 ton	L	70	6,6	0,4	2,6
BO2	1-Baksduwstel van 401 tot 600 ton	L	70	6,6	0,4	2,6
BO3	1-Baksduwstel van 601 tot 800 ton	L	70	6,6	0,4	2,6
BO4	1-Baksduwstel van 801-1250 ton	M	70	6,6	0,4	2,6
C1b	Koppelverband 2 spitsen breed	L	38,5	10,1	0,5	2,2
C1l	Koppelverband 2 spitsen lang	L	80	5,05	0,8	2,2
C2b	Koppelverband Klasse IV+Europa I breed	M	100	22,8	0,8	3,5
C2l	Koppelverband Klasse IV+Europa I lang	M	185	11,4	0,8	3,5
C3b	Koppelverband Klasse IV+Europa II breed	S	100	22,8	0,8	3,5
C3l	Koppelverband Klasse IV+Europa II lang	S	185	11,4	0,8	3,5
C4	Koppelverband Klasse Va+ 3 Europa II	S	195	22,8	0,8	3

## **ANNEX E: Overzicht vaarwegkenmerken**

Dimensies van vaarwegen toegepast in de vermogensberekening

CEMT_klasse	Breedte (m)	Doorsnede (m <sup>2</sup> )	Diepte (m)	Stroomsnelheid (m/s)
I	46	67	3	0
II	50	83	4	0
III	53	112	4	0
IV	70	150	4	0
V	79	196	5	0
VI	100	500	6	0
R1	100	320	3	1
R2	150	750	5	1
R3	250	1750	7	1

### Maximale snelheid van motorschepen op rivieren toegepast in de vermogensberekening

Vmax			Benedenzeeschede (km/uur)	Rupel (km/uur)	Bovenschede (km/uur)	Bovenzeeschede (km/uur)
			<b>Geen limiet</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
M0	Beladen	Afwaarts	12	12	12	12
M1	Beladen	Afwaarts	12	12	12	12
M2	Beladen	Afwaarts	13	13	13	14
M3	Beladen	Afwaarts	14	14	14	14
M4	Beladen	Afwaarts	15	15	15	14
M5	Beladen	Afwaarts	15,5	15,5	15,5	15
M6	Beladen	Afwaarts	15,5	15,5	15,5	15
M7	Beladen	Afwaarts	15,5	15,5	15,5	15
M8	Beladen	Afwaarts	15	15	15	15
M0	Beladen	Opwaarts	12	12	12	12
M1	Beladen	Opwaarts	12	12	12	12
M2	Beladen	Opwaarts	13	13	13	14
M3	Beladen	Opwaarts	14	14	14	15
M4	Beladen	Opwaarts	15	15	15	15
M5	Beladen	Opwaarts	15,5	15,5	15,5	15
M6	Beladen	Opwaarts	15,5	15,5	15,5	15,5
M7	Beladen	Opwaarts	15,5	15,5	15,5	15,5
M8	Beladen	Opwaarts	15	15	15	15,5
M0	Onbeladen	Afwaarts	15	15	15	15
M1	Onbeladen	Afwaarts	15	15	15	15
M2	Onbeladen	Afwaarts	16	16	16	16
M3	Onbeladen	Afwaarts	16	16	16	17
M4	Onbeladen	Afwaarts	16	16	16	17
M5	Onbeladen	Afwaarts	16	16	16	17
M6	Onbeladen	Afwaarts	17	17	17	18
M7	Onbeladen	Afwaarts	17	17	17	18
M8	Onbeladen	Afwaarts	17	17	17	17,5
M0	Onbeladen	Opwaarts	15	15	15	15
M1	Onbeladen	Opwaarts	15	15	15	15
M2	Onbeladen	Opwaarts	16	16	16	16
M3	Onbeladen	Opwaarts	17	17	17	17
M4	Onbeladen	Opwaarts	17	17	17	18
M5	Onbeladen	Opwaarts	17	17	17	17
M6	Onbeladen	Opwaarts	17	17	17	18
M7	Onbeladen	Opwaarts	17	17	17	18,5
M8	Onbeladen	Opwaarts	17	17	17	18

## CEMT-klasse en Maximum snelheid op kanalen

Waterweg	CEMT	Max V	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	OB	OB	OB	OB	OB	OB	OB	OB	
			A/O	A/O	A/O	A/O	A/O	A/O	A/O	A/O	A/O	A/O	A/O	A/O	A/O	A/O	A/O	A/O	A/O	A/O	A/O
			M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
Vertakking van Zulte	1	8	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Spierekanaal	1	8	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Ijzer	1	8	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Kanaal van Ieper naar de Ijzer	1	8	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Kanaal van Plassendale naar Duinkerke	1	8	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Lokanaal	1	8	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Kanaal van Brugge naar Sluis	1	8	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Mbervaart + Bovendurme	1	8	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Kanaal van Eeklo	1	8	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Dender	2	8	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Kanaal van Briegden naar Neerharen	2	10	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Zuid-Willemsvaart (Zuid)	2	10	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Kanaal van Bocholt naar Herentals	2	10	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Kanaal van Dessel naar Schoten	2	10	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Kanaal naar Beverlo	2	10	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Zuid-Willemsvaart (Noord)	2	10	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Kanaal Leuven - Dijle	2	12	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Leie	4	12	12	12	12	12	12	13	13	12	7	15	15	15	15	15	15	16	12	8	
Verbindingskanaal te Nieuwpoort	2	10	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Dijle	4	12	12	12	12	12	12	13	13	12	7	15	15	15	15	15	15	16	12	8	
Kanaal van Dessel naar Kwaadmechelen	5	15	12	12	13	13	13	14	14	13	13	15	15	15	15	15	15	16	16	16	
Kanaal van Charleroi naar Brussel	4	8	12	12	12	12	12	13	13	12	7	15	15	15	15	15	15	15	12	8	
Grensleie	4	12	12	12	12	12	12	13	13	12	7	15	15	15	15	15	15	15	12	8	
Netekanaal	5	15	12	12	13	13	13	14	14	13	13	15	15	15	15	15	15	16	16	16	
Kanaal van Gent naar Brugge	4	15	12	12	12	12	12	13	13	12	7	15	15	15	15	15	15	15	12	8	
Afleidingskanaal der Leie	5	15	12	12	13	13	13	14	14	13	13	15	15	15	15	15	15	16	16	16	
Kanaal Roeselare-Leie	5	15	12	12	13	13	13	14	14	13	13	15	15	15	15	15	15	16	16	16	
Kanaal Bossuit-Kortrijk	5	15	12	12	13	13	13	14	14	13	13	15	15	15	15	15	15	16	16	16	
Ringvaart om Gent	5	15	12	12	13	13	13	14	14	13	13	15	15	15	15	15	15	16	16	16	
Kanaal van Brugge naar Oostende	5	15	12	12	13	13	13	14	14	13	13	15	15	15	15	15	15	16	16	16	
Kanaal van Brugge naar Zeebrugge	6	7,2	12	12	13	15	15	15	16	15	16	15	15	15	15	15	15	17	17	17	
Albertkanaal	6	16	12	12	13	15	15	15	16	15	16	15	15	15	15	15	15	17	17	17	
Zeekanaal Brussel - Schelde	6	16	12	12	13	15	15	15	16	15	16	15	15	15	15	15	15	17	17	17	
Aftakking zeekanaal naar oude sluis Wintam	6	16	12	12	13	15	15	15	16	15	16	15	15	15	15	16	16	17	17	17	
Aftakking zeekanaal oude arm Klein-Willebroek	2	16	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			
Kanaal Gent - Terneuzen	6	16	12	12	13	15	15	15	16	15	16	15	15	15	15	16	16	17	17	17	
schelde-Rijn + ANT	6	16	12	12	13	15	15	15	16	15	16	15	15	15	15	16	16	17	17	17	
Benedendurme	1	8	11	11	10	10	9	9					15	15	15	8	8	8			

De aangehouden snelheid is het minimum van Vmax (de maximaal gereguleerde snelheid) en de oorspronkelijk gemodelleerde snelheid bij B (=Beladen) en OB(=Onbeladen) toestand.



## ***ANNEX F: Schatting energiegebruik binnenvaartschepen***

<http://www.rws->

[avv.nl/pls/portal30/docs/FOLDER/AVV\\_NEDERLANDS/PROJECTSITES/EMS/ACHTERGRONDEN/3\\_ENERGIEGEBR\\_BIVA.PDF](http://www.rws-avv.nl/pls/portal30/docs/FOLDER/AVV_NEDERLANDS/PROJECTSITES/EMS/ACHTERGRONDEN/3_ENERGIEGEBR_BIVA.PDF)

## **ANNEX G: Overzicht emissies.**

Directe emissies van zeevaart in Vlaanderen in 2005

polluent	emissies (ton)
CH4	43.3807
VOS	1084.5186
CO	5795.2511
CO2	1088997.4856
Nox	23486.5419
SO2	13766.5691
FC	349160.2250
NH3	3.0582
N2O	28.0884
C6H6	20.6059
TSP	1575.3925
Pb	0.0549
Cu	0.1072
Cd	0.0075
Hg	0.0115
Zn	0.2544
As	0.1072
Ni	5.9958
Se	0.1097
benz(a)antracene	0.0132
benz(k)fluoranteen	0.0043
benz(a)pyreen	0.0109
naftaleen	4.5022
chryseen	0.0411
benz(b)fluoranteen	0.0103
Indeno(1,2,3-cd)-pyreen	0.0000
antracene	0.0695
fluoranteen	0.0808
fenantreen	0.4274
benz(ghi)peryleen	0.0023
PM10	1496.6229
PM2.5	1417.8532

## Directe emissies van binnenvaart in Vlaanderen in 2005

Polluent	Emissies(ton)
Anthraceen	0,0043
Benzeen	3,2
Benzo(a)Anthraceen	0,0010
Benzo(a)Pyreen	0,0009
Benzo(b)Fluorantheen	0,0008
Benzo(ghi)Peryleen	0,0003
Benzo(k)Fluorantheen	0,0004
Cd	0,0008
Chryseen	0,0030
CO	745
CO2	244674
Cr	0,0039
Cu	0,13
Dieselvebruik	77184
Etheen	19,2
Fenanthreen	0,057
Fluorantheen	0,0067
Formaldehyde	9,59
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	0,0000
Methaan	6,67
N2O	6,17
Naftaleen	0,40
NH3	0,77
Ni	0,0054
NMVOS	159
NOx	4442
PM10	126
PM2,5	119
SO2	309
TSP	133
VOS	167
Zn	0,077

Directe emissies van spoorverkeer in Vlaanderen in 2005

polluent	emissies (ton)
C6H6	1.2803
CH4	4.7962
CO	372.8379
CO2	70319.7714
FC	22412.0190
N2O	0.5737
NH3	0.2241
NOx	1195.0768
SO2	2.2412
TSP	28.9908
VOS	67.3860
fluoranteen	0.0085
antraceen	0.0082
fenantreen	0.0320
benz(a)pyreen	0.0011
benz(ghi)peryleen	0.0002
Indeno(1,2,3-cd)-pyreen	0.0000
benz(k)fluoranteen	0.0004
benz(b)fluoranteen	0.0011
chryseen	0.0046
benz(a)antraceen	0.0014
Se	0.0002
Ni	0.0016
Cr	0.0011
Cu	0.0381
Cd	0.0002
Zn	0.0224
PM10	28.9908
PM2.5	27.5413
naftaleen	0.4562