

**Emissieschattingen Emissies op Zout Water
Emissieregistratie**

**Lozingen van
scrubberwaswater in
havens en Nederlands
Continentaal Plat**

Versie augustus 2024

In opdracht van RIJKSWATERSTAAT – WVL
Uitgevoerd door DELTARES

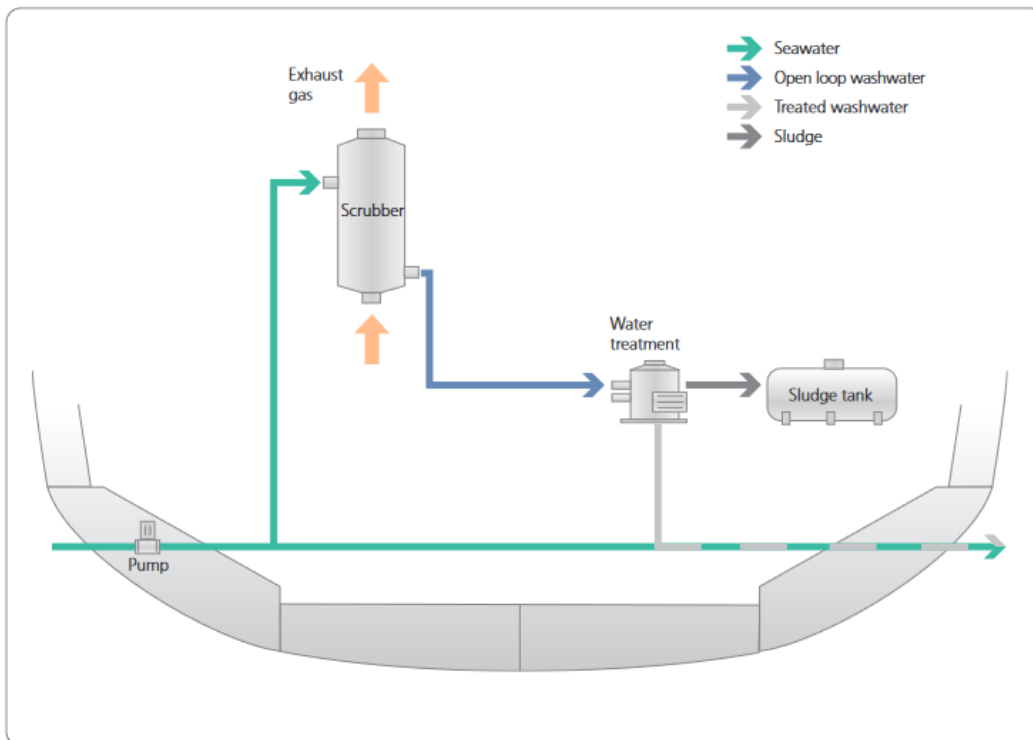
Lozingen van scrubberwaswater in havens en Nederlands Continentaal Plat

1 Omschrijving emissiebron

Sommige schepen varen met uitlaatgasreinigingssystemen om de zwaveluitstoot naar lucht te verminderen en daarmee te voldoen aan zwavelnormen die gelden in de Noordzee. Zo kunnen deze schepen blijven varen op brandstof met een hoger zwavelgehalte. Deze uitlaatgasreinigingssystemen worden ook wel scrubbers genoemd. Het algemene werkingsprincipe van de scrubbers is dat er in verschillende stappen zeewater of verzuurd water door de uitlaatgasstroom wordt gesproeid, waarbij een groot deel van o.a. de zwavel uit de uitlaatgassen wordt weggevangen door het water.

Het merendeel van de schepen dat vaart met scrubbers, vaart met zogenoemde open loop scrubbers. In 2020 was zo'n 85% van de geïnstalleerde scrubbers open loop, 14% hybride en 1% gesloten loop [1]. De hybride en gesloten loop scrubbers lozen niet altijd, of nooit, het waswater in zee. De open-loop scrubbers daarentegen hebben (optioneel) een watertreatment tank waarmee vast restafval (sludge) kan worden verzameld en afgegeven aan bij een haven. Het gebruikte waswater wordt niet afgegeven maar in het oppervlaktewater geloosd (Figuur 1). In de Nederlandse territoriale wateren is het lozen van waswater momenteel (2024) toegestaan als de scrubbers in overeenstemming zijn met de MARPOL-voorschriften.

Naast zwavel worden ook andere stoffen uit de uitlaatgassen verwijderd zoals fijnstof (NOx) en verontreinigingen zoals zware metalen en Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK's). Deze stoffen worden met het lozen van het waswater ook geloosd naar het oppervlaktewater.



Figuur 1. Een open-loop SOx scrubbing systeem [2]

Deze factsheet bevat een rekenmethode voor de emissies van zware metalen en PAKs naar oppervlaktewater door het gebruik van scrubbers. Deze emissiebron wordt toegekend aan de doelgroep Verkeer en Vervoer.

1.1 Achtergrond

In 1973 werd het Internationaal Verdrag ter voorkoming van verontreiniging door schepen (MARPOL) aangenomen. Dit verdrag gaat over de minimalisering en preventie van verontreiniging van het milieu door schepen. Bijlage VI van het verdrag richt zich op het voorkomen van luchtverontreiniging door schepen.

Het doel van deze verordening is de vermindering van de uitstoot van zwaveloxiden (SO_x) in de lucht door schepen. Sinds Bijlage VI in 2005 van kracht werd, is de toegestane hoeveelheid zwavel in scheepsbrandstoffen beperkt. Er werd een wereldwijde grenswaarde voor het zwavelgehalte van 4,5% massa/massa (m/m) opgelegd. Daarnaast werden er voor bepaalde gebieden, zogenaamde zwavelemissiecontrolegebieden (SECA's) of emissiecontrolegebied (ECA's), een strengere zwavelimiet van 1,5% m/m opgelegd. De Noordzee is bijvoorbeeld zo'n aangewezen SECA.

In 2012 is de wereldwijde grenswaarde voor zwavel verder verlaagd tot 3,5% m/m, en op 1 januari 2020 is een nog strengere zwavelgehaltelimiet van 0,50% m/m van kracht geworden (IMO, 2020). Voor SECA's is het zwavelgehalte geleidelijk verlaagd tot 0,10% m/m in 2015 en dit is momenteel nog steeds van toepassing.

Als gevolg van deze regelgevingen zijn de kosten voor scheepvaartmaatschappijen gestegen. Brandstoffen met een laag zwavelgehalte zijn namelijk aanzienlijk duurder dan zwavelrijke brandstoffen, in begin januari 2020 (IHS Markit, 2020) waren zwavelarme brandstoffen gemiddeld zo'n 70-100% duurder.

Om de brandstoffen met een hoog zwavelgehalte te kunnen blijven gebruiken, passen scheepvaartmaatschappijen uitlaatgasreinigingssystemen (scrubbers) toe. Voorschrift 4 van bijlage VI van het Verdrag stelt namelijk dat alternatieve stookolie, apparatuur, procedures of methoden die aan de voorschriften voldoen, mogen worden gebruikt als ze ten minste even doeltreffend zijn in termen van emissiereducties als vereist in de bijlage1 (IMO, 2020). Scrubbers zijn een van de alternatieven om de vereiste emissiereducties voor SO_x te bereiken.

2 Toelichting berekeningswijze

Voor tijdreeksen van emissies is het van belang dat er consistentie is in de methodiek waarop die wordt uitgerekend. Om de emissies van de scrubbers te bepalen maakt de huidige factsheet grotendeels gebruik van de rekenmethodiek die ook is toegepast in een RIVM-rapport uit 2021 dat focust op de milieurisico's van scrubberlozingen in zeewater en sediment [3]. In dat rapport heeft het RIVM o.a. berekend en gemodelleerd (model:MAMPEC) hoeveel van deze stoffen in het water terecht komen en wat dit met de concentraties in het water doet. Dit is gedaan voor drie gebieden: een grote zeehaven zoals Rotterdam, een drukbevaren deel van de Noordzee, en de Sababank, een gebied in de Caraïben met kwetsbare natuur. Hierbij is gebruik gemaakt van scheepsdata uit 2018 afkomstig van het Maritime Research Institute Netherlands (MARIN) [14]. De huidige factsheet maakt gebruik van deze RIVM-methodiek (met enkele aanpassingen) om de emissies vanuit scrubberwaswater voor het Nederlands Continentaal Plat (NCP) + 12 mijl zone en de havengebieden (Rotterdam, Amsterdam en Den Helder, Eemshaven, Harlingen & Westerschelde) in de emissiepeiljaren vanaf 1990 tot het heden te bepalen.

De emissies worden berekend door de vermenigvuldiging van een emissieverklarende variabele (EVV), hier het totaal volume aan waswater dat in een jaar wordt geloosd per gebied, met een emissiefactor (EF) per stof, uitgedrukt in emissie per eenheid van de EVV. De effecten van de (wettelijke) maatregelen door de jaren heen zijn in de emissiefactoren verwerkt.

De op deze wijze berekende emissie wordt de bruto emissie genoemd [19]. Aangezien het hier directe lozing op het oppervlaktewater betreft, is de bruto emissie gelijk aan de netto belasting van het oppervlaktewater.

Om de hoeveelheid verontreinigende stoffen naar de ontvangende wateren door scrubbers te berekenen wordt de volgende formule gebruikt:

$$Emissie_i = EVV * EF_i$$

- Emissie_i = Totale emissie van verontreinigende stof (i) door alle schepen in het studiegebied (kg/jaar)
 EVV = Totaal volume aan waswater dat door schepen wordt geloosd per gebied in één jaar (m³/jaar)
 EF_i = Concentratie per stof (i) in waswater, genormaliseerd voor inlaatwaterconcentraties (kg/m³)

De emissieverklarende variabele kan berekend worden via:

$$EVV = Q * 365P * f$$

- Q = Geloosd volume waswater per eenheid opgewekt vermogen (m³/MWh)
 P = Opgewekt vermogen door alle scheepsmotoren in het studiegebied per dag (MWh/d)
 f = Door scrubbers gereinigde fractie brandstof (-)

Deze formules zijn gebaseerd op het RIVM rapport [3] en Teuchies et al., 2020 [20] met de aanpassing dat de emissie voor het hele jaar berekend wordt aan de hand van het daggemiddelde.

3 Emissieverklarende variabele

De emissieverklarende variabele is totaal volume aan waswater dat door schepen wordt geloosd per gebied in één jaar. Dit volume wordt berekend aan de hand van het opgewekt vermogen van het aantal schepen dat zich gemiddeld varende en stilstaand over het jaar op de Noordzee en in de havens bevindt.

Q - Geloosd volume waswater per eenheid opgewekt vermogen (m³/MWh)

Voor Q wordt een waarde van 45 m³/MWh aangehouden. Dit is het gemiddelde watergebruik dat een openloop scrubber per MWh produceert [24]. In 2020 was zo'n 85% van de geïnstalleerde scrubbers open loop, 14% hybride en 1% gesloten loop [1]. Zowel openloop als hybride lozen waswater naar het oppervlaktewater. In deze berekening wordt verder geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende scrubber-systemen en wordt de waarde van 45 m³/MWh aangehouden voor alle systemen.

P - Opgewekt vermogen door schepen voor een gebied in een jaar

Om het opgewekte vermogen (P) door schepen voor een gebied te berekenen, wordt de volgende formule gebruikt. Hierbij wordt rekening gehouden met het verschil in vermogen door lagere in belasting van de motoren van schepen die stilstaan t.o.v. varende schepen in havens en op de Noordzee.

$$P_j = (Nb_j * Ea * Lm + Nb_j * Ea * Las + Ns_j * Em * Lms + Ns_j * Ea * Las) * 24$$

- P_j = opgewekt vermogen van alle schepen aanwezig in gebied (j) per dag (MWh/d)
 Nb_j = aantal schepen dat doorlopend stilstaand (berth) aanwezig is in gebied (j) (schepen/dag).
 Ns_j = aantal schepen dat doorlopend varende (sailing) aanwezig is in gebied (j) (schepen/dag).
 Ea = gemiddeld vermogen extra motor(en) (MW)
 Em = gemiddeld vermogen hoofdmotor (MW)
 Lab = Belastingsfactor extra motor(en) tijdens stilstaan (-)
 Lmb = Belastingsfactor hoofdmotor tijdens stilstaan (-)
 Las = Belastingsfactor extra motor(en) tijdens varen (-)
 Lms = Load factor main engine during sailing (-)

Voor het bepalen van Nb_j en Ns_j (het aantal schepen dat doorlopend stilstaand (berth) of varend (sailing) aanwezig is in Nederland per jaar) is gebruik gemaakt van de door het MARIN bewerkte AIS gegevens [4 - 18]. Sinds 2005 hebben alle zeeschepen met een tonnage groter dan 300 ton namelijk een AIS transponder (AIS = Automatic Identification System) aan boord die een aantal malen per minuut automatisch berichten uitzendt met gegevens van het schip, waaronder de exacte positie. Dit levert per geografische gridcel (ruimtelijke geografische eenheid) gegevens op over de aanwezigheid van schepen.

Momenteel heeft een schip gemiddeld 5,05 MW [18] aan geïnstalleerd vermogen. Dit gemiddelde vermogen is door de jaren heen toegenomen, zie Tabel 1.

Tabel 1 Vermogen hoofdmotor van wereldwijde zeevloot [4-18, bijlage A-1 in deze rapporten]

Jaar	Gemiddeld geïnstalleerd vermogen (MW) van de hele vloot	Bron
2008 – 2013	4,68	Marin 2013,2015
2014 - 2016	4,84	Marin 2016 - 2018
2017 - 2022	5,05	Marin 2019 - 2024

De huidige wereldwijde zeevloot bestaat volgens MARIN uit schepen met één tot acht motoren, waarvan de meeste schepen echter één of twee hoofdmotoren hebben. Naast de hoofdmotoren zijn er ook extra motoren voor o.a het manoeuvreren en voor faciliteiten aan boord. Het gemiddelde vermogen van de extra motoren (**Ea**) wordt berekend op basis van het gemiddeld geïnstalleerde vermogen en het aandeel van het vermogen van de extra motoren ten opzichte van het totale geïnstalleerde vermogen. Dit laatste werd afgeleid op basis van scheepsdata in de haven van Los Angeles in 2019 [23]. Gemiddeld is het vermogen van de hulpmotor bijna 20% (19,5%) van het totale motorvermogen, terwijl het vermogen van de hoofdmotor 80% bedraagt. Voor 2017 – 2022 betekent dit dat de hoofdmotor een gemiddeld vermogen (**Em**) heeft van 4,07 MW en de extra motoren een gemiddeld vermogen (**Ea**) van 0,98 MW.

Tabel 2 Het gemiddelde motorvermogen per type schip (kW) en het percentage van het vermogen van de hulpmotor als percentage van het totale motorvermogen in de Port of Los Angels 2019 [23]

Scheepstype	Gemiddeld vermogen hoofdmotor (Kw)	Gemiddeld vermogen extra motor(en) (kW)	% extra motor vermogen t.o.v totaal vermogen
Auto carrier	13.261	3.125	19,1%
Bulk	7.613	2.035	21,1%
Bulk heavy level	8.734	n.a.	n.a.
Container 2000	21.166	6.585	23,7%
Container 4000	45.011	7.234	13,8%
Container 5000	49.887	6.706	11,8%
Container 6000	57.194	10.878	16,0%
Container 7000	60.382	11.575	16,1%
Container 8000	64.318	13.312	17,1%
Container 9000	54.543	14.079	20,5%
Container 10000	57.600	12.916	18,3%
Container 11000	57.579	13.712	19,2%
Container 13000	66.157	14.711	18,2%
Container 14000	60.409	14.833	19,7%
Container 17000	71.466	18.470	20,5%
Cruise	41.558	9.051	17,9%
General Cargo	9.381	2.662	22,1%

Ocean tugboat	5.932	285	4,6%
Miscellaneous	1.285	600	31,8%
Reefer	11.441	4.683	29,0%
RoRo	19.040	n.a.	n.a.
Tanker - Chemical	8.159	2.810	25,6%
Tanker - Handysize	9.066	2.918	24,3%
Tanker - Panamax	11.435	2.728	19,3%
Tanker - Afamax	12.486	2.674	17,6%
Gemiddeld			19,5%

De scheepsmotoren werken niet constant op vol vermogen. Het gebruik van de hoofdmotor en de extra motoren verschilt afhankelijk van de activiteit van het schip en zijn locatie (op open zee kan er harder gevaren worden dan in de havens). Om het opgewekte vermogen de schepen te bepalen, is het belangrijk om te weten welk deel van het motorvermogen (belastingsfactor) wordt gebruikt tijdens het aanmeren en varen.

De belastingsfactoren van de hoofd en extra motoren *Lab, Imb, Las & Lms* zijn afkomstig van RIVM-rapport 2021 [3] en weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3 RIVM Rapport tabel A3-3 Geschat belastingsfactoren (load factors) van motoren van varende en stilstaande schepen.

Type belastingsfactor vermogen	Havens	Noordzee
Belastingsfactor vermogen hoofdmotor tijdens varen ^a	0,2 ^d	0,8
Belastingsfactor vermogen extra motor(en) tijdens varen ^b	0,6	0,8 ^e
Belastingsfactor hoofdmotor tijdens stilstaan ^b	0,2	0,2
Belastingsfactor extra motor(en) tijdens stilstaan ^c	0,6	0,6

a: Schatting gebaseerd op (MARIN, 2020) & (ENTEC, 2020)

b: Schatting gebaseerd op (ENTEC, 2020) & (Knežević et al., 2018).

c: Schatting gebaseerd op (IMO, 2014).

d: Gebaseerd op het belastingsvermogen tijdens manoevreren - geldt alleen voor havens

e: Gebaseerd op het belastingsvermogen tijdens manoevreren - geldt alleen voor Noordzee

F - Door scrubbers gereinigde fractie brandstof

Het aantal geïnstalleerde scrubbers per jaar is afkomstig van de Alternative Fuel insights portaal van DNV [25]. Hierin wordt vanaf de periode 2007 (1 geïnstalleerde scrubber) tot heden het aantal geïnstalleerde scrubbers weergegeven op basis van bestellingen/installaties door scrubberleveranciers, zie Tabel 4.

Om deze aantallen om te zetten naar percentage van de totale vloot is gebruik gemaakt van EGCSA 2019 [26], hierin wordt aangegeven dat in 2020 ongeveer 15% van het totale vlootvermogen wordt gescrubd. Dit is vervolgens ge-extrapolleerd naar de andere jaren op basis van het aantal geïnstalleerde scrubbers via DNV-portaal [25] en de aanname is dat totaal vermogen ongeveer gelijk is gebleven sinds 2007 tot 2025.

Tabel 4 fractie van vloot (totale opgewekt vermogen) waarvan uitlaatgassen worden gescrubd m.b.v

uitlaatgasreinigingssystemen. Percentages zijn gebaseerd op 15% gescrubd vermogen 2020 t.o.v. totaal [26]).

Met aanname dat het totaal vermogen ongeveer gelijk is gebleven sinds 2007 tot 2025.

Jaar	totaal aantal schepen met scrubbers	f: fractie van vloot (totale opgewekt vermogen) waarvan uitlaatgassen worden gescrubd m.b.v uitlaatgasreinigingssystemen
2007	1	0,0%
2008	2	0,0%
2009	5	0,0%

2010	5	0,0%
2011	10	0,0%
2012	19	0,1%
2013	38	0,1%
2014	106	0,4%
2015	242	0,8%
2016	312	1,1%
2017	387	1,3%
2018	740	2,5%
2019	3.178	10,9%
2020	4.362	15,0%
2021	4.581	15,8%
2022	4.808	16,5%
2023	5.113	17,6%
2024	5.330	18,3%
2025	5.386	18,5%
2026	5.396	18,6%

Correctiefactor op basis van vergelijking met resultaten van ICCT 2021 studie

Tot slot is voor het bepalen van de EVV een correctiefactor toegepast. Uit een studie van het International Council on Clean Transportation in 2021 [27] waar op basis van de AIS data van alle schepen met geïnstalleerd gevolgd zijn in 2019, blijkt dat de huidige waswaterberekening de EVV voor havens overschat. Voor het Nederlands deel van de Noordzee (NCP + 12 mijl zone) komen de berekeningen in de huidige factsheet (gebaseerd op RIVM 2021 [3]) en de getallen van het ICCT 2021 rapport zeer goed overeen (97%). Voor de havens is het echter lastiger, omdat de huidige berekening uit gaat van een gemiddeld vloot vermogen en gemiddelde percentage van vloot dat geschrubd wordt. In werkelijkheid kan het zijn dat in een bepaalde haven helemaal geen boten met scrubbers zijn (blijkt uit ICCT 2021 rapport) waardoor de EVV voor die haven sterk wordt overschat als hij op basis van het aantal boten en een gemiddeld percentage scrubbers wordt gebaseerd. Om deze reden wordt er een correctiefactor toegepast om zo de berekende EVV te schalen met de in 2019 gemeten EVV, zoals weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 Correctiefactor voor EVV op basis van ICCT 2021 rapport [27]

Gebiedsnaam in ICCT-rapport	ICCT Waswater (m ³)	Gebied factsheet	Totaal waswater ICCT (m ³)	Totaal waswater huidige methodiek data 2019 (m ³)	Correctiefactor
Nederlands EEZ	35.055.000	NCP + 12 mijl zone	35.055.000	36.083.203	0,97
Vlaardingen	926.563	Rotterdam	3.397.657	6.772.575	0,5
Rotterdam	796.025				
Europoort	725.439				
Hoek Van Holland	638.669				
Maassluis	183.281				
Schiedam	127.680				
Zaandam	8.024	Amsterdam	799.761	4.656.146	0,17
Ijmuiden	467.828				
Amsterdam	323.909				
Eemshaven	171.477	Eems	174.160	2.237.369	0,08
Delfzijl	2.683				

Terneuzen	299.126	Westerschelde	441.709	5.442.248	0,08
Hansweert	108.270				
Vlissingen	34.313				
Den Helder	59	Den Helder	59	1.269.858	0,00005
Harlingen	1.162	Harlingen	1.162	846.572	0,00137

Het toepassen van de correctiefactor op de EVV-formule $Q * 365P * f$ leidt uiteindelijk tot de volgende cijfers, zie Tabel 6 voor kubieke meter waswater geproduceerd door schepen met scrubbers in Nederlandse havengebied en de Noordzee (NCP + 12 mijl zone).

Tabel 6 Emissieverklarende variable (m^3 waswater) van zeeschepen op Noordzee en in havens

EVV (m^3)	Noordzee (NCP + 12mijl)		Havens	
	Stilstaande schepen	Varende schepen	Stilstaande schepen	Varende schepen
1990	0	0	0	0
1995	0	0	0	0
2000	0	0	0	0
2005	0	0	0	0
2015	395.787	2.068.842	298.899	51.579
2019	6.638.335	28.416.665	4.044.206	770.302
2020	10.079.117	39.003.616	6.794.167	1.078.322
2021	10.839.196	41.449.486	5.180.744	855.190
2022	12.790.926	44.245.458	5.203.869	859.587

4 Emissiefactoren

De relevante emissiefactoren van zeeschepen zijn hieronder weer gegeven zoals ontwikkelt in het achtergrondrapport van CE Delft uit 2019 [21]. De emissiefactoren zijn uitgedrukt in concentratie per stof (i) in waswater, genormaliseerd voor inlaatwaterconcentraties (kg/m^3). De concentraties zijn gebaseerd op chemische wateranalyse-rapporten van 291 waswatermonsters van 53 verschillende schepen; de monsters werden verzameld van cruiseschepen, bulkcarriers en veerboten. De monsters werden genomen toen de schepen in gebruik waren op verschillende locaties in het Caribisch gebied, de oostelijke Stille Oceaan, de Tasmanzee, de Straat van Malakka, de Atlantische Oceaan, de Noordzee en de Oostzee. De monsters zullen waarschijnlijk een breed scala aan brandstoforsprongen en kwaliteiten weerspiegelen

In het achtergrondrapport [21] wordt in verder detail beschreven hoe de emissiefactoren uit Tabel 7 tot stand zijn gekomen.

Tabel 7: Emissiefactoren voor scrubber waswater genormaliseerd voor concentraties in het inlaat water

Stof	Concentratie [$\mu g/L$]	Concentratie [kg/m^3]	Bron
Zwavel	177.000	0,177	MEPC, 2007 via RIVM 2021
Nitraten, Nitrieten (als N)	300	0,0003	Geschat op basis van CE Delft 2019 ¹
Arseenverb. (als As)	6,4	0,0000064	CE Delft 2019
Cadmiumverb. (als Cd)	1,9	0,0000019	CE Delft 2019

¹ In CE Delft rapportage (2019) is er bij 256 monsters stikstof gemeten. In 108 van deze monsters kwam stikstof niet boven de rapportagegrens. Bij 148 monsters werd stikstof wel aangetroffen, waarvan 95% een concentratie hadden tussen de 0-10 mg/L. In de huidige berekening is uitgegaan van een uniforme distributie tussen 0 en 10, dus gemiddelde 5 mg/L voor de metingen waar stikstof is aangetroffen (148). Als dan de metingen onder de rapportagegrens worden meegenomen als 0 waarden (108 metingen) dan is de gemiddelde concentratie afgerond $3 \text{ mg/L} = 5 * 148 / (108 + 148) * 0.95$.

Chroomverb. (als Cr)	18	0,000018	CE Delft 2019
Koperverb. (als Cu)	250	0,00025	CE Delft 2019
Kwikverb. (als Hg)	0,1	0,0000001	CE Delft 2019
Nikkelverb. (als Ni)	120	0,00012	CE Delft 2019
Loodverb. (als Pb)	0,2	0,0000002	CE Delft 2019
Seleenverb. (als Se)	15	0,000015	CE Delft 2019
Thalliumverb. (als Tl)	5,3	0,0000053	CE Delft 2019
Vanadiumverb. (als V)	140	0,00014	CE Delft 2019
Zinkverb. (als Zn)	320	0,00032	CE Delft 2019
Acenaftheen	0,2	0,0000002	CE Delft 2019
Acenafthyleen	0,12	0,00000012	CE Delft 2019
Anthraceen	1,8	0,0000018	CE Delft 2019
Benzo(a)Anthraceen	0,3	0,0000003	CE Delft 2019
Benzo(a)Pyreen	0,042	0,000000042	CE Delft 2019
Benzo(b)Fluorantheen	0,048	0,000000048	CE Delft 2019
Benzo(ghi)Peryleen	0,047	0,000000047	CE Delft 2019
Benzo(k)Fluorantheen	0,01	0,00000001	CE Delft 2019
Chryseen	0,25	0,00000025	CE Delft 2019
dibenzo(ah)anthraceen	0,019	0,000000019	CE Delft 2019
Fluorantheen	0,21	0,00000021	CE Delft 2019
fluoreen	0,57	0,00000057	CE Delft 2019
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	0,049	0,000000049	CE Delft 2019
Naftaleen	3,5	0,0000035	CE Delft 2019
Fenanthreen	2	0,000002	CE Delft 2019
pyreen	0,36	0,00000036	CE Delft 2019

Maatregelen en effecten

De relevante ontwikkelingen voor scrubbers worden hieronder globaal benoemd, gebaseerd op [22].

- In de jaren 1930 werd scrubbingtechnologie ingevoerd om zwaveloxiden (SO_x) en fijnstof (PM) uit gasemissies te verwijderen in industrieën op het land.
- Scrubbingtechnologieën werden aanvankelijk overgebracht naar de maritieme sector als een goedkope manier om inert gas te produceren, wat het brandgevaar in de ladingtanks van tankers tijdens het lossen verminderde.
- In de jaren 1960 werden scrubbers geïntroduceerd als methode om uitlaatgasemissies van de ketelinstallatie van tankers te reinigen.
- In 1991 werd de eerste prototype scrubber geïnstalleerd aan boord van een schip om de uitlaatgasemissies te beheersen. Hiermee kon het gas van zowel de hoofd- als hulpmotoren grondig worden gereinigd, hetzij door dezelfde eenheid of door twee afzonderlijke installaties.

- Tegen 1998 was de technologie van de zeewaterscrubber voldoende gevorderd voor een uitgebreide veldproef. Vanwege de grootte- en ruimtebeperkingen op schepen werden scrubbers verder ontwikkeld zodat één enkele eenheid zowel voor de hoofd- als hulpmotoren kon functioneren.
- Op 1 januari 2020 wordt het zwavelgehaltelimiet van 0,50% m/m van kracht (IMO, 2020). In anticipatie hierop stijgt het wereldwijde aantal opdrachten voor scrubbers sinds 2018 enorm (vertienvoudiging).
- Tot op heden (2024) zijn er binnen Nederland nog geen gebieden waar het lozingen van waswater niet is toegestaan of restricties ondervindt. In België is dit bijvoorbeeld wel het geval, daar zijn lozingen van waswater alleen toegestaan in kust- en open zeegebieden wanneer men zich minstens 3 zeemijl van de kust bevindt. Lozingen mogen de doelstellingen van de EU-Kaderrichtlijn Water niet schenden, terwijl de Vlaamse regionale wetgeving ook bevestigt dat lozingen niet zijn toegestaan in havens of binnenwateren.

6 Emissies

In onderstaande tabellen, Tabel 8 & Tabel 9, staan de emissies door lozingen van scrubberwaswater in havens en Nederlands Continentaal Plat voor 1990 – 2022.

Tabel 8 Emissies de emissies door lozingen van scrubberwaswater in de Noordzee voor 1990 – 2022 (kg/jaar)

Emissies Noordzee (NCP + 12 mijl zone) [kg]	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021	2022
Zwavel	0	0	0	0	0	436.239	6.204.735	8.687.644	9.255.097	10.095.440
Nitraten, Nitrieten (als N)	0	0	0	0	0	739	10.517	14.725	15.687	17.111
Arseenverb. (als As)	0	0	0	0	0	16	224	314	335	365
Cadmiumverb. (als Cd)	0	0	0	0	0	5	67	93	99	108
Chroomverb. (als Cr)	0	0	0	0	0	44	631	883	941	1.027
Koperverb. (als Cu)	0	0	0	0	0	616	8.764	12.271	13.072	14.259
Kwikverb. (als Hg)	0	0	0	0	0	0	4	5	5	6
Nikkelverb. (als Ni)	0	0	0	0	0	296	4.207	5.890	6.275	6.844
Loodverb. (als Pb)	0	0	0	0	0	0	7	10	10	11
Seleenverb. (als Se)	0	0	0	0	0	37	526	736	784	856
Thalliumverb. (als Tl)	0	0	0	0	0	13	186	260	277	302
Vanadiumverb. (als V)	0	0	0	0	0	345	4.908	6.872	7.320	7.985
Zinkverb. (als Zn)	0	0	0	0	0	789	11.218	15.706	16.732	18.252
Acenaftheen	0	0	0	0	0	0	7	10	10	11
Acenafthyleen	0	0	0	0	0	0	4	6	6	7
Anthraceen	0	0	0	0	0	4	63	88	94	103
Benzo(a)Anthraceen	0	0	0	0	0	1	11	15	16	17
Benzo(a)Pyreen	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2
Benzo(b)Fluorantheen	0	0	0	0	0	0	2	2	3	3
Benzo(ghi)Peryleen	0	0	0	0	0	0	2	2	2	3
Benzo(k)Fluorantheen	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Chryseen	0	0	0	0	0	1	9	12	13	14
dibenzo(ah)anthraceen	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Fluorantheen	0	0	0	0	0	1	7	10	11	12
fluoreen	0	0	0	0	0	1	20	28	30	33
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	0	0	0	0	0	0	2	2	3	3
Naftaleen	0	0	0	0	0	9	123	172	183	200
Fenanthreen	0	0	0	0	0	5	70	98	105	114
pyreen	0	0	0	0	0	1	13	18	19	21

Tabel 9 Emissies de emissies door lozingen van scrubberwaswater in de havens (1990 – 2022)

Emissies Havens [kg]	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021	2022
Zwavel	0	0	0	0	0	62.035	852.168	1.393.430	1.068.360	1.073.232
Nitraten, Nitrieten (als N)	0	0	0	0	0	105	1.444	2.362	1.811	1.819
Arseenverb. (als As)	0	0	0	0	0	2	31	50	39	39
Cadmiumverb. (als Cd)	0	0	0	0	0	1	9	15	11	12
Chroomverb. (als Cr)	0	0	0	0	0	6	87	142	109	109
Koperverb. (als Cu)	0	0	0	0	0	88	1.204	1.968	1.509	1.516
Kwikverb. (als Hg)	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Nikkelverb. (als Ni)	0	0	0	0	0	42	578	945	724	728
Loodverb. (als Pb)	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1
Seleenverb. (als Se)	0	0	0	0	0	5	72	118	91	91
Thalliumverb. (als Tl)	0	0	0	0	0	2	26	42	32	32
Vanadiumverb. (als V)	0	0	0	0	0	49	674	1.102	845	849
Zinkverb. (als Zn)	0	0	0	0	0	112	1.541	2.519	1.931	1.940
Acenaftheen	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1
Acenafthyleen	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Anthraceen	0	0	0	0	0	1	9	14	11	11
Benzo(a)Anthraceen	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2
Benzo(a)Pyreen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzo(b)Fluorantheen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzo(ghi)Peryleen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzo(k)Fluorantheen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chryseen	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2
dibenzo(ah)anthraceen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fluorantheen	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1
fluoreen	0	0	0	0	0	0	3	4	3	3
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Naftaleen	0	0	0	0	0	1	17	28	21	21
Fenanthreen	0	0	0	0	0	1	10	16	12	12
pyreen	0	0	0	0	0	0	2	3	2	2

7 Verdeling compartimenten

De primaire emissie van de besproken emissiebron vindt in zijn geheel plaats naar het oppervlaktewater. De secundaire belasting naar lucht is niet aanwezig.

8 Regionalisatie

De emissies per kaartvierkant van 5x5 kilometer zijn bepaald met behulp het aantal varende en stilstaande schepen met hulp van de Lloyds verkeersdatabase van het jaar 2022 door MARIN.

De emissie verklarende variabele voor de bronnen die zijn gerelateerd aan de zeescheepvaart is het aantal schepen dat zich gemiddeld over het jaar op de Noordzee en in de havens bevindt. Voor deze gegevens is gebruik gemaakt van de door het MARIN bewerkte AIS gegevens. Sinds 2005 hebben alle zeeschepen groter dan 300 Gross ton een AIS transponder (AIS = Automatic Identification

System) aan boord die een aantal malen per minuut automatisch berichten uitzendt met gegevens van het schip waaronder de exacte positie. Dit leverde per geografische gridcel gegevens op over aanwezigheid van schepen per jaar en aanwezigheid van bemanning en passagiers.

9 Betrouwbaarheid

Aan elk onderdeel van de emissieberekening is een betrouwbaarheid toegekend. De volgende betrouwbaarheidspercentages zijn hierbij gehanteerd: 1% 5% 10% 25% 50% 100% 200% en 400%. Een betrouwbaarheid van 1% wil zeggen dat het desbetreffende onderdeel zeer betrouwbaar is; een betrouwbaarheid van 400% betekent een grote onzekerheid in het desbetreffende onderdeel. Alle percentages ertussen geven van laag naar hoog een steeds kleinere betrouwbaarheid en een grotere onzekerheid. Voor elk van de onderdelen is de betrouwbaarheid ingeschat door een groep experts. Hierbij zijn onder andere de volgende punten in overweging genomen:

- Metingen: zijn er metingen beschikbaar? Om hoeveel metingen gaat het? Zijn ze recent realistisch en representatief? Hoe groot is de variatie?
- Als er geen metingen voorhanden zijn: is er veel literatuur of andere informatiebronnen beschikbaar?
- Als de emissie d.m.v. een model wordt verkregen: wat is de schaal van het model en is het model gevalideerd?
- Aannames: moeten er veel aannames gedaan worden en hoe groot zijn die?
- Regionalisatie: geeft de lokator een goed beeld van de ruimtelijke verdeling van de bron? Hoe groot is de variatie van de emissie in de ruimte en kan deze variatie door de lokator wel goed over Nederland verdeeld worden?

Tabel 9: Kwaliteit van gegevens

Onderdeel emissieberekening	Classificatie
Emissieverklarende variabele	100%
Emissiefactoren	25%
Verdeling compartimenten	0%
Emissieroute naar water	0%
Regionalisatie	10%

De emissiefactor wordt als redelijk betrouwbaar ingeschat omdat de concentraties in het waswater gebaseerd zijn op een relatief groot aantal monster, kanttekening hierbij is wel dat het om gemiddelde waarde voor alle type scrubbers afkomstig van verschillende locaties wereldwijd i.p.v. rondom de Noordzee. De EVV en regionalisatie worden gezien als onbetrouwbaar, de AIS data is behoorlijk precies, maar de aannames over het gemiddeld vlootvermogen en de gemiddelde fractie aan scrubbers binnen een bepaald gebied maken de EVV onbetrouwbaarder dan de EF. De verdeling compartimenten en de emissieroutes naar water worden gezien als zeer betrouwbaar omdat de emissie alleen direct naar water is.

12 Belangrijkste verbeterpunten

De belangrijkste verbeterpunten zijn (in volgorde van belangrijkheid):

- Gebruik i.p.v. een gemiddeld vermogen van de hele wereldvloot, het daadwerkelijke vermogen van de in de havens/noordzee gebied gebaseerde schepen op basis van GThours genoemd in marin rapporten.
- Andere correctiefactor om voor havens, bijvoorbeeld op basis van het aantal boten dat daadwerkelijk scrubbers heeft geïnstalleerd in een bepaald gebied.
- Ook kan gepoogd worden een beter beeld te verkrijgen het geloosde waswater per type scrubber (openloop, hybride of gesloten loop systeem) per MWh.

13 Reacties

Voor vragen naar aanleiding van dit werkdocument of opmerkingen kan contact worden opgenomen met emissieregistratie@deltares.nl.

14 Referenties

- [1] ICCT. International Council on Clean Transportation. (2020). Scrubbers on ships: Time to close the open loop(hole). <https://theicct.org/blog/staff/scrubbers-open-loop-hole-062020>.
- [2] Lloyd's Register (2012). Understanding exhaust gas treatment systems: Guidance for shipowners and operators. London, United Kingdom, 2012.
- [3] Faber M., Peijnenburg W., Smit C.E. (2021). Environmental risks of scrubber discharges for seawater and sediment: Preliminary risk assessment for metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. RIVM letter report 2021-0048. RIVM. Bilthoven.
- [4] MARIN 2010. Maritime Research Institute Netherlands. (2010). Emissions 2008 NCS, Port areas and OSPAR region II
- [5] MARIN 2011. Maritime Research Institute Netherlands. (2011). Emissions 2009 NCS, Port areas and OSPAR region II
- [6] MARIN 2012. Maritime Research Institute Netherlands. (2012). Sea shipping emissions 2010 NCS, Port Areas and OSPAR region II
- [7] MARIN 2013. Maritime Research Institute Netherlands. (2013). Sea shipping emissions 2011 NCS, Port Areas and OSPAR region II
- [8] MARIN 2014. Maritime Research Institute Netherlands. (2014). Sea shipping emissions 2012 NCS, Port Areas and OSPAR region II
- [9] MARIN 2015. Maritime Research Institute Netherlands. (2015). Sea shipping emissions 2013 NCS, Port Areas and OSPAR region II
- [10] MARIN 2016. Maritime Research Institute Netherlands. (2016). Sea shipping emissions 2014 NCS, Port Areas and OSPAR region II
- [11] MARIN 2017. Maritime Research Institute Netherlands. (2017). Sea Shipping emissions 2015: Netherlands Continental Shelf, 12 Mile Zone and Port Areas.
- [12] MARIN 2018. Maritime Research Institute Netherlands. (2018). Sea Shipping emissions 2016: Netherlands Continental Shelf, 12 Mile Zone and Port Areas.
- [13] MARIN 2019. Maritime Research Institute Netherlands. (2019). Sea Shipping emissions 2017: Netherlands Continental Shelf, 12 Mile Zone and Port Areas.
- [14] MARIN 2020. Maritime Research Institute Netherlands. (2020). Sea Shipping emissions 2018: Netherlands Continental Shelf, 12 Mile Zone and Port Areas.
- [15] MARIN 2021. Maritime Research Institute Netherlands. (2021). Sea Shipping emissions 2019: Netherlands Continental Shelf, 12 Mile Zone and Port Areas.
- [16] MARIN 2022. Maritime Research Institute Netherlands. (2022). Sea Shipping emissions 2020: Netherlands Continental Shelf, 12 Mile Zone and Port Areas.
- [17] MARIN 2023. Maritime Research Institute Netherlands. (2023). Sea Shipping emissions 2021: Netherlands Continental Shelf, 12 Mile Zone and Port Areas.
- [18] MARIN 2024. Maritime Research Institute Netherlands. (2017). Sea Shipping emissions 2022: Netherlands Continental Shelf, 12 Mile Zone and Port Areas.
- [19] CIW/CUWVO werkgroep VI, februari 1997. Handreiking Regionale aanpak diffuse bronnen

- [20] Teuchies J., Cox T.J., Van Itterbeeck K., Meysman F.J., Blust R. (2020). The impact of scrubber discharge on the water quality in estuaries and ports. *Environmental Sciences Europe* 32 (1): 1-11
- [21] Faber J., Nelissen D., Huigen T., Shanti H. (2019). The impacts of EGCS washwater discharges on port water and sediment. CE Delft report 19.4109.141: 1-62
- [22] Martena engineering LTD 2023. The history of scrubbers in the marine market. Website geraadpleegd op september 2023:
http://www.martenaengineering.com/martena/index.php?option=com_content&task=view&id=129&Itemid=340#
- [23] Agrawal A., Aldrete G., Anderson B., Muller R., Ray J. (2020). Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions 2019.). Starcrest Consulting Group LLC & Port of Los Angeles. 1:132
- [24] MEPC Marine Environment Protection Committee. (2008). MEPC 58/23 Annex 16. Report of the Marine Environment Protection Committee on its fifty-eighth session. 87 pp.
- [25] DNV 2024. Alternative fuel insights portal. Geraadpleegd op jun 2024.
<https://afi.dnv.com/statistics/DDF10E2B-B6E9-41D6-BE2F-C12BB5660107>
- [26] EGCSA Exhaust gas cleaning systems association 2019. Use of scrubbers to comply with 0.50%S. IMO 2020 & Alternative Fuel Symposium. 17th & 18th October 2019, IMO HQ, Albert Embankment, London
- [27] Osipova L., Georgeff E. & Comer B. (2021) Global scrubber washwater discharges under IMO's 2020 fuel sulfur limit. ICCT rapport April 2021. Pp 1: 32