

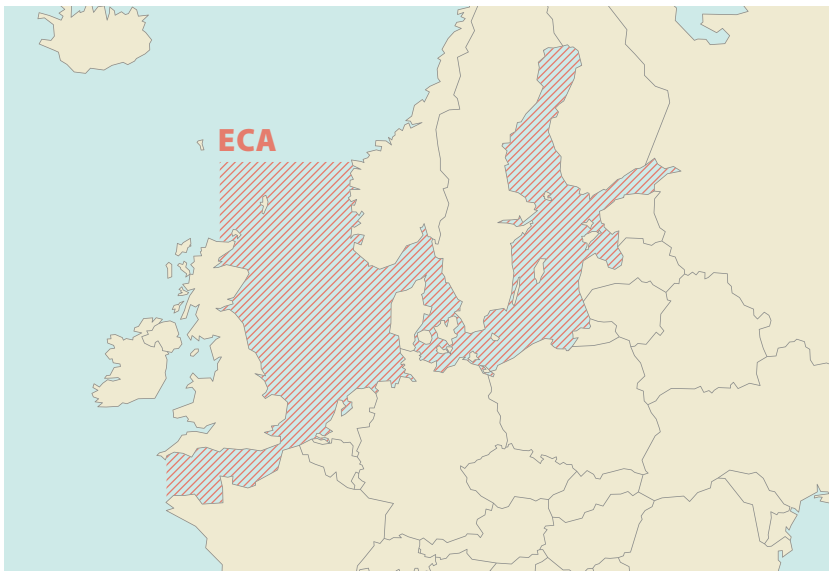
UITSTOOT VAN SCHEPEN IN DE NOORDZEE

Waar rook is, is vuur

Ward Van Roy¹ & Annelore Van Nieuwenhove¹

Wanneer men over luchtvervuiling spreekt, wordt internationale scheepvaart vaak over het hoofd gezien. Onterecht, zo blijkt. De uitstoot van schepen heeft een niet te onderschatten impact op de menselijke gezondheid. In 2017 schatten wetenschappers dat luchtvervuiling als gevolg van scheepvaartactiviteiten wereldwijd leidt tot 350.000 vroegtijdige sterfgevallen (*Sofiev et al., 2018*). Ook het marien en het terrestrische milieu hebben te lijden onder deze uitstoot. En wat meer is, als gevolg van het toenemend internationaal scheepvaartverkeer en het gebruik van “goedkope” zware stookolie, neemt dit belang van luchtvervuiling door schepen intussen nog steeds toe, al zijn er maatregelen genomen om hieraan te verhelpen.

¹ Instituut voor Natuurwetenschappen;
wvanroy@naturalsciences.be



Het emissiecontrolegebied (ECA) voor de Noordzee en de Baltische Zee. Regelgeving 14.

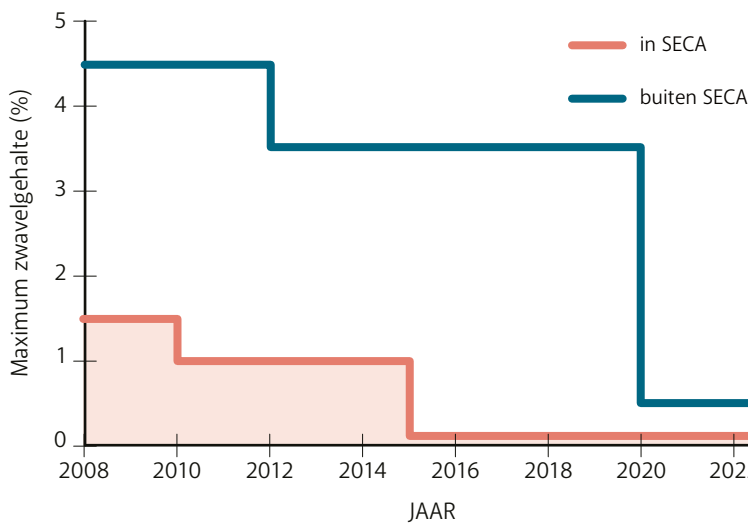
Het is vooral de verbranding van fossiele brandstoffen die wereldwijd aanleiding geeft tot menselijke uitstoot van schadelijke stoffen in de atmosfeer. Deze emissies omvatten naast koolstofdioxide (CO_2 , de voornaamste bron van klimaatopwarming), verontreinigende stoffen als zwaveldioxide (SO_2), stikstofoxiden (NO_x), fijnstof (PM2.5) en roetdeeltjes (*Black Carbon* – BC). De aanzienlijke bijdrage van de scheepvaart aan de uitstoot van broeikasgassen schuilt hem vooral in de emissie van CO_2 . De scheepvaart is, samen met de luchtvaart, de snelst groeiende bron van CO_2 -uitstoot in de Europese Unie (EU). Minder bekend is dat schepen daarnaast ook een belangrijke bron zijn van BC, welke na CO_2 de voornaamste bron zijn van klimaatopwarming. Andere belangrijke bronnen van klimaatopwarming door de scheepvaart zijn de uitstoot van NO_x (voornamelijk in gebieden met reeds hoge NO_x -concentraties), distikstofoxide (N_2O) en methaangas (CH_4) door LNG-schepen.

INTERNATIONALE REGELGEVING

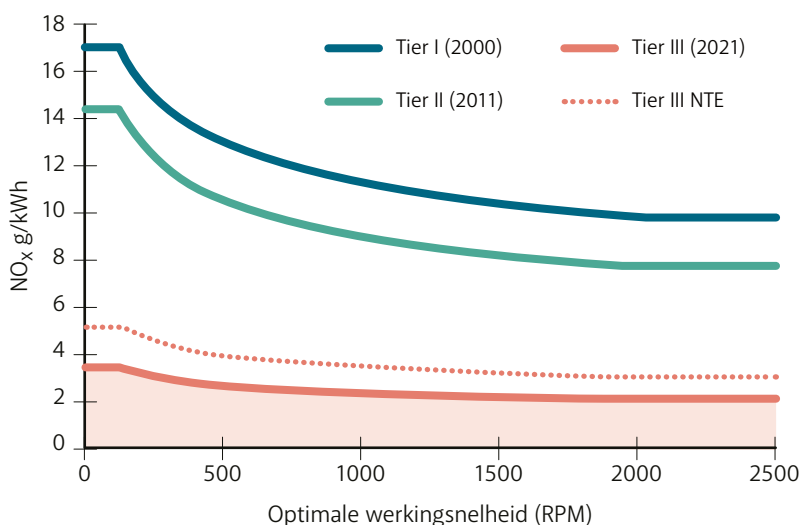
De schadelijke effecten van de uitstoot van SO_2 en NO_x zijn reeds lang gekend. In de afgelopen decennia heeft dit geleid tot steeds strengere regelgeving voor energiecentrales en voor de transportsector op het land. Maar op zee bleef de regulering voor de uitstoot van schepen lange tijd ontoereikend. In 2005 berekende men dat de zwaveluitstoot door de scheepvaart in de EU in 2020, zonder ingrepen, groter dreigde te worden dan de gecombineerde uitstoot van alle landbronnen. Om de luchtvervuiling door schepen drastisch te verminderen waren daarom dringend internationale beleidsmaatregelen noodzakelijk. De Internationale Maritieme Organisatie (IMO) nam hiertoe het initiatief en legde, in het kader van het MARPOL 73/78 Verdrag, internationale milieunormen voor schepen vast. MARPOL Annex VI, goedgekeurd in 1997 en daarna nog verschillende malen herzien, voorziet in een geleidelijke vermindering van de emissies van SO_2 en NO_x . Daarnaast introduceerde IMO ook emissiecontrolegebieden (*Emission Control Area* - ECA) in dicht bevolkte gebieden, waar strengere uitstootlimieten nodig bleken.

Zo eenvoudig als het is voor zwavel...

Tijdens het stoken van brandstof aan boord van schepen oxideert zwavel tot zwaveldioxide (SO_2). SO_2 is een van de belangrijkste componenten van smog. Bij kinderen kan het astma veroorzaken. Bij volwassenen leidt het tot hart- & vaatziekten, en tot ademhalingsproblemen. Bovendien draagt SO_2 , reagerend met water, bij aan de vorming



Normen voor maximale zwavelgehalte in scheepbrandstoffen binnen en buiten het zwavel emissiecontrolegebied (SECA) volgens MARPOL Annex VI Regelgeving 13.



De uitstootnormen voor NO_x (uitgedrukt als hoeveelheid NO_x per eenheid van motorvermogen) volgens drie emissieniveaus (de zogenaamde 'Tiers') zoals omschreven in MARPOL Annex VI Regelgeving 14. NTE = Not To Exceed limit = de absolute maximumlimiet.



Het Belgische Kustwachtvliegtuig (Instituut voor Natuurwetenschappen – OD Natuur)

HET BELGISCHE “SNUFFELVLIEGTUIG”, EEN UNICUM

Sinds 1991 spoort het Belgische Kustwachtvliegtuig (beheerd door het Instituut voor Natuurwetenschappen) naar vervuiling van het mariene milieu door de scheepvaart. Met een innovatieve sniffer-sensor kan het vliegtuig SO_2 (sinds 2015), NO_x (sinds 2020) en roetdeeltjes (BC, sinds 2021) detecteren en meten. Dit stelt het Kustwachtvliegtuig in staat grootschalige monitoring uit te voeren en de internationale regelgeving omtrent scheepsemissies op de voet te volgen. België is hiermee uniek, het zet als enig land in de wereld een dergelijk “snuffelvliegtuig” in.

van zwavelzuur (H_2SO_4). In combinatie met neerslag, geeft dit zure regen die nefast is voor mariene en terrestrische ecosystemen, maar ook schade aanbrengt aan historische bouwwerken.

Vanaf 2006 vond – onder MARPOL Annex VI – een stapsgewijze invoering plaats van strengere normen voor het maximale toegelaten zwavelgehalte in scheepsbrandstoffen. Met strengere normen binnen de zwaveluitstootcontrolegebieden (*Sulphur Emission Control Area* - SECA). In 2006 verkregen de Noordzee en het Kanaal de striktere bescherming die geldt voor een dergelijk SECA-gebied, iets later gevolgd door de Baltische Zee. Sinds 1 januari 2015 mogen schepen in deze SECA-gebieden alleen brandstof gebruiken met een zwavelgehalte van maximaal 0,1%. Ook buiten de SECA-gebieden ging het maximaal toegelaten

zwavelgehalte op 1 januari 2020 wereldwijd omlaag van 3,5% naar 0,5%.

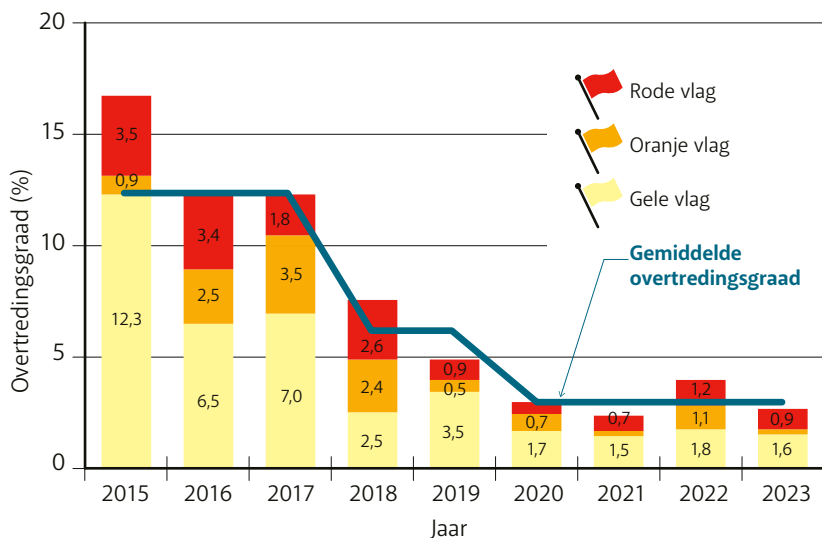
Binnen de Europese Unie scherpte de Europese Zwavelrichtlijn (Richtlijn (EU) 2016/802) de SO_2 -emissieregels nog verder aan. Deze zwavelrichtlijnen verplichten de lidstaten om schepen doelgericht te inspecteren en legt ook quota op voor uit te voeren inspecties. Daarnaast volgden strengere normen voor de uitstoot van schepen in EU-havens welke zich buiten de SECA bevinden. Om aan de voorschriften te voldoen, moeten schepen in SECA-gebieden en EU-havens overschakelen op brandstoffen met een lager zwavelgehalte. Ze mogen ook gebruik maken van aardgas (meestal LNG) in plaats van zware fuel, of van een goedgekeurd uitlaatgasreinigingssysteem, bekend als ‘scrubbers’.

...zo ingewikkeld is het voor stikstofverbindingen

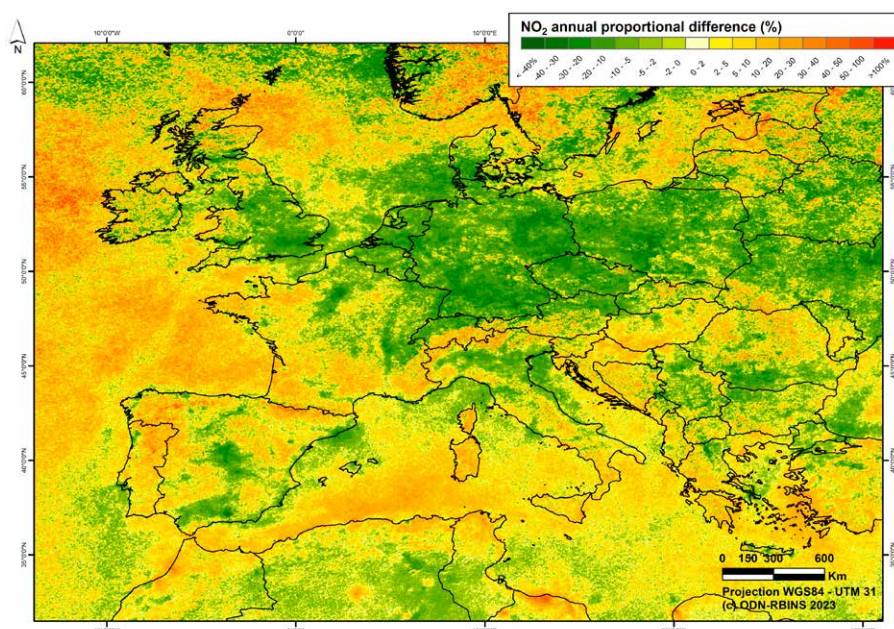
Bij de verbranding van fossiele brandstoffen komen ook aanzienlijke hoeveelheden stikstofoxides (NO_x) vrij. Net als SO_2 spelen NO_x -emissies een belangrijke rol bij de vorming van fijnstof, een grote boosdoener bij de ontwikkeling van cardiovasculaire aandoeningen en van problemen aan de luchtwegen. Daarnaast kan NO_2 de gevoeligheid voor allergieën vergroten en ademhalingsproblemen veroorzaken of verergeren. NO_x draagt bovendien bij aan de eutrofiëring of overbemesting van mariene en terrestrische ecosystemen. Sterk geëutrofiëerde regio's zoals België en Nederland, waar de stikstofbalans reeds bijzonder alarmerend is, dreigen zo de Europese doelstellingen voor de lucht- en waterkwaliteit niet te halen. Om deze reden zijn strikte internationale regels voor de uitstoot van NO_x door schepen hier van groot belang.

MARPOL Annex VI stelt grenzen aan de NO_x -uitstoot door schepen in stikstofemissiecontrolegebieden (*Nitrogen Emission Control Area* - NECA), zoals de Noordzee. De NO_x -grenswaarden zijn van toepassing op elke motor met een vermogen van meer dan 130 kW. Waar bij zwavel het gehalte in de brandstof wordt beperkt, viseert men bij de NO_x -limiet de uitstoot zelf, uitgedrukt als hoeveelheid NO_x per eenheid van motorvermogen ($\text{g NO}_x/\text{kWh}$). Bovendien geldt: hoe nieuwer de schepen, hoe strenger de normen. Er bestaan drie emissieniveaus (de zogenaamde ‘Tiers’) op basis van de datum van kiellegging (*Keel Laying Date* - KLD) van het schip. Schepen gebouwd tussen 2000 en 2011 moeten aan de Tier I-norm voldoen (9,8-17,0 g/kWh). Ook voor schepen gebouwd tussen 1990 en 2000 met een vermogen groter dan 5000 kW of met een cilindergrootte groter dan 90 liter geldt de Tier I-norm. Voor oudere schepen is geen norm vastgesteld. Schepen gebouwd na 2011 dienen zich te houden aan de Tier II-norm (7,7-14,4 g/kWh), en voor schepen gebouwd vanaf 2021 geldt in een NECA de Tier III-norm (2,0 – 3,4 g/kWh). Buiten de NECA dienen deze schepen de Tier II-norm te respecteren.

De stikstofemissiecontrolegebieden (NECA's) voor de Noordzee en de Baltische Zee zijn van kracht sinds 1 januari 2021. Sindsdien is de Tier III-norm hier verplicht voor nieuwe schepen (met een kielleggingsdatum jonger dan 1 januari 2021). Doel is om met deze regelgeving in de NECA's tussen 2021 en 2040 een afname van 80% van de NO_x -uitstoot door schepen te realiseren.



De evolutie van de overtredingsgraad van de zwavelregelgeving van 2015 tot 2024. De gele vlaggen betreffen overtredingen van 0.13-0.2% zwavelgehalte (met 68% betrouwbaarheidsinterval), oranje vlaggen zijn overtredingen van 0.2-0.3% (met 95% betrouwbaarheidsinterval) en rode vlaggen zijn overtredingen vanaf 0.3% (met 99% betrouwbaarheidsinterval).



Het verschil in NO2 concentratie sinds de introductie van de NECA.

ZWAVEL, EEN SUCCESVERHAAL MET EEN SCRUBBERLUCHTJE

Is er voor zwavel licht aan het einde van de tunnel?

Eerst het goede nieuws. Het Kustwachtvliegtuig bemonsterde tussen 2015 en 2023 meer dan 7000 rookpluimen, gespreid over het hele jaar (m.u.v. een korte winterpauze voor onderhoudstaken). Dankzij het luchttoezicht in combinatie met de strenge haveninspecties, daalde de overtredingsgraad sterk. Waar er in de beginjaren van de verstrengde regelgeving nog een overtredingsgraad was van om en bij de 10%, daalde dit cijfer recent tot minder dan 3%.

Desondanks blijft waakzaamheid en monitoring aan de orde. Zo toonde 2022 een kortstondige stijging, hoogstwaarschijnlijk te wijten aan de oorlog in Oekraïne en de daaruit voortvloeiende prijsstijgingen voor brandstof.

Luchttoezicht dat mogelijk verdachte schepen aanwijst voor havencontroles maken het werk van de inspectiediensten van FOD Mobiliteit doelgerichter. Hierdoor verhoogde de efficiëntie van haveninspecties met niet minder dan 50%. Het merendeel van de schepen die de afgelopen jaren in de haven beboet zijn door de haveninspectiediensten, zijn voorafgaand ontdekt door het kustwachtvliegtuig.

Scrubbers, groene technologie of greenwashing?

Toch is er nog een hele weg te gaan, zo lijkt het. Dit houdt verband met het alternatief dat de wetgever biedt voor laagzwavelige brandstof, namelijk het gebruik van 'scrubbers' of EGCS (*Exhaust Gas Cleaning Systems*). Deze systemen wassen als het ware de rookpluim, door de SO₂ op te lossen in een nevel van zeewater. Dit waswater wordt vervolgens ofwel opgeslagen aan boord (*closed loop*) ofwel geloosd in zee (*open loop*). Deze lozingen dragen echter rechtstreeks bij aan de verzuring van de zee, door de vorming van zwavelzuur bij het oplossen van SO₂ in water. Daarnaast bevat dit waswater belangrijke hoeveelheden aan giftige zware metalen (zoals kwik, lood, vanadium, ...) en poly-aromatische koolwaterstoffen (PAH's). Omwille van de ontoereikende waterkwaliteit (volgens de Kaderrichtlijn Water – KRW), bannen de Vlaamse havens en binnenwateren nu al deze scrubbers. En eigenlijk zou dit verbod op het gebruik van scrubbers ook best overal in de EU gelden op zee, tot aan de 12 zeemijl grens. Maar dit is op heden (nog) niet het geval.

Tot voor kort waren scrubbers een zeldzaam fenomeen, vooral gebruikt door schepen die permanent in de SECA verbleven. Sinds 2020 is echter de "Global Sulfur Cap" actief, die zorgde voor een reductie van het maximum toegelaten zwavelgehalte in scheepsbrandstof, van 3,5% naar 0,5%. Sindsdien boemt het gebruik van scrubbers wereldwijd, als alternatief voor zwavelarme brandstof. Zo stelde het Kustwachtvliegtuig in 2023 vast dat 40% van alle gecontroleerde schepen een scrubber gebruikten. Opvallend is dat de gemiddelde zwaveluitstoot en overtredingsgraad van deze scrubberschepen significant hoger is dan deze van schepen zonder scrubber. Daarbovenop komt dat, wanneer deze scrubberschepen in overtreding zijn, ze drastisch hogere uitstootwaarden vertonen. De verklaring is dat deze schepen nog steeds varen op zware stookolie met een zwavelgehalte tot 3,5%. Indien de scrubber echter niet in gebruik is of niet naar behoren werkt, dan genereren scrubbers substantieel hogere uitstootwaarden dan schepen zonder scrubber, die buiten de SECA een brandstof gebruiken van maximum 0,5% FSC.

Dat scrubberschepen de voorbije drie jaar het hoofdaandeel vormden van de waargenomen (zware) overtredingen en uitgesproken boetes, toont hoezeer ze een heikel punt vormen binnen de SO₂-wetgeving. Eerder dan kwaad opzet, lijken overtredingen het gevolg van de relatieve nieuwigheid van de systemen aan boord en van het gebrek aan ervaring bij de bemanning. Maar ook het onderhoud en technische mankementen

zijn waarschijnlijk een belangrijke oorzaak van de hogere uitstoot. Ca. 10% van de log-files van de scrubber meetinstrumenten bevatten zware meetfouten, waardoor de scrubber niet naar behoren werkt. Een meer rigoureus onderhoudsregime, maar ook de introductie van specifieke testprocedures zouden hier soelaas kunnen brengen.

NO_x, VEEL REGELS, MAAR MINDER GOED GEREGLD

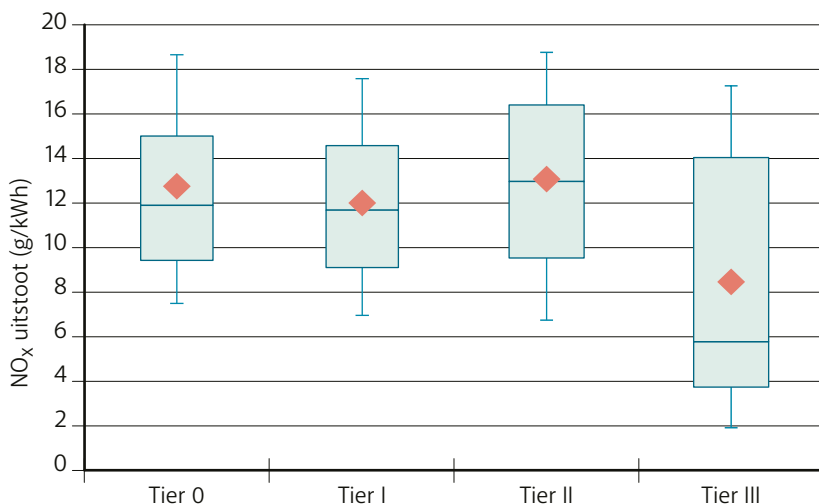
Recente schepen zijn niet de properste

De regelgeving voor NO_x is beduidend complexer dan deze voor SO₂. Dit komt doordat de NO_x-uitstoot slechts gedeeltelijk afhankelijk is van de gebruikte brandstof en voornamelijk een gevolg is van de afstelling van de scheepsmotor. Belangrijk om weten is dat de limietwaarden voor schepen geen absolute limieten zijn, maar gebaseerd zijn op een gewogen gemiddelde NO_x-uitstoot van verschillende motorvermogens. En dat, voor de hoofdmotor, de 25% kleinste motorvermogens geen onderdeel uitmaken van het gewogen gemiddelde. Dit betekent dat er geen limiet staat op de NO_x-uitstoot wanneer schepen aan een laag motorvermogen varen. Dit heeft bijzonder nadelige gevolgen, want schepen gebruiken de laatste jaren veel vaker lage motorvermogens (*slow steaming*). Zeker in de Noordzee waar navigatie- en planningsredenen een belangrijke rol spelen.

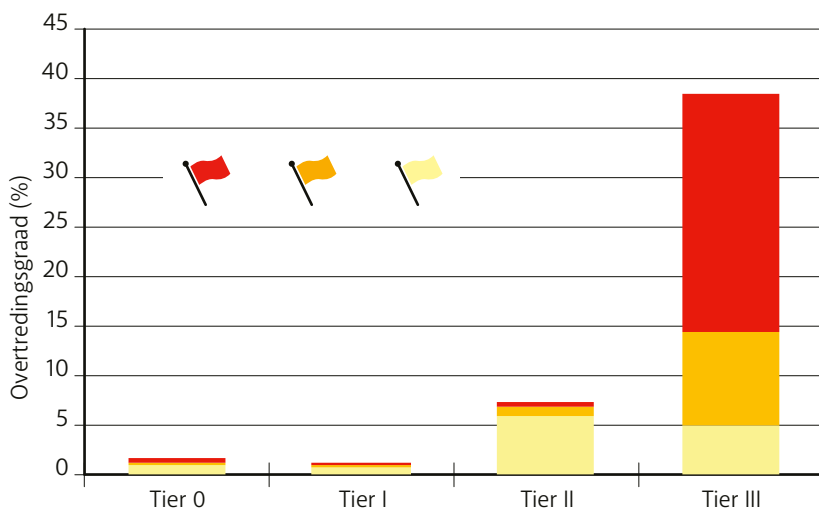
Bovendien blijkt, uit de meer dan 3000 schepen die sinds 2020 zijn gecontroleerd op hun NO_x-uitstoot, dat net deze hoge mate van complexiteit in de regelgeving schepen ertoe aanzet heel doelgericht met de regels om te springen. Zo is het opmerkelijk dat de meer recente Tier II schepen een significant hogere NO_x-uitstoot hebben dan Tier I en Tier 0 schepen, welke tot twintig jaar ouder zijn! Bovendien overtreden Tier II schepen veel vaker de uitstootlimieten. Een analyse van TROPOMI-satellietbeelden toont de impact voor de volledige Noordzee. Sinds de introductie van de NECA is de NO₂-pollutie boven zee, in tegenstelling tot deze boven land, toegenomen in plaats van afgenomen. Dit betekent dat de internationale wetgeving voor NO_x niet geleid heeft tot een reductie van de NO_x-uitstoot van de scheepvaart. De regelgeving heeft zijn doel duidelijk gemist.

Tier III, Tier wie?

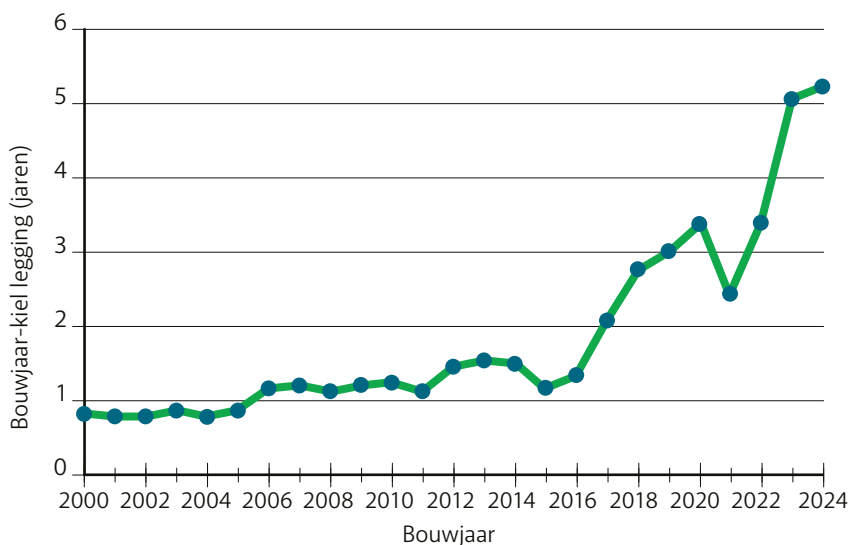
Een ander groot probleem met de NO_x-regelgeving is de introductie van Tier III schepen, de meest recente Tier. Voor deze categorie zijn drastisch lagere NO_x-limieten gedefinieerd (-80%), evenals een absolute maximum limiet (*Not To Exceed limit* - NTE). Om deze bijkomende emissiereductie te garanderen zijn extra reductiesystemen nodig. Eén ervan is selectieve katalytische reductie (*Selective Catalytic Reduction* - SCR), een technologie die reeds



Boxplots met 10%, 25%, 50%, 75% en 90% percentielen en de gemiddelde NO_x uitstoot per tier.



De overtredingsgraad per tier volgens de kleurenvlaggen (68%, 95% en 99% betrouwbaarheidsintervallen).



Evolutie in het verschil tussen het bouwjaar en het kielleggingsjaar.

decennia in gebruik is bij (vracht)wagens (onder de merknaam AdBlue). Het Tier III regime geldt voor alle schepen met een kiellegingsdatum vanaf 2021. En daar wringt net het schoentje...

Het aandeel Tier III schepen blijkt immers extreem laag te liggen (0,9%). Dit komt omdat scheepseigenaars duizenden kielen lieten registreren voor 2021 en de schepen pas effectief lieten bouwen erna. Dit maakt ze onderhevig aan de minder strenge Tier II uitstootlimieten. Verwacht wordt dat Tier III schepen pas tegen 2030 een echte doorbraak gaan kennen. Hierdoor is de broodnodige verstrenging van de NO_x-uitstoot voor schepen met 10 jaar vertraagd. Daarbij komt dat er geen gedetailleerde regels ingevoerd zijn voor het loggen van de emissiewaarden en voor de status van de SCR bij Tier III schepen (wat standaard is voor vrachtwagens). Hierdoor blijft het voor de haveninspectiediensten haast onmogelijk om effectieve controles uit te voeren.

BLACK CARBON, DE KLIMAAT KILLER

Zwarte koolstof of roetdeeltjes (*Black Carbon* - BC), mag dan veel minder gekend zijn, het is daarom niet minder schadelijk voor onze gezondheid en onze planeet. Door het gebruik van zware brandstoffen stoten schepen hoge hoeveelheden BC uit. 20% van de impact van de scheepvaart op de klimaatopwarming is te wijten aan dit soort roetdeeltjes. Hoewel op internationale niveau nog geen algemene regelgeving van kracht is voor de uitstoot van BC door schepen, vormt BC reeds jaren het onderwerp van verschillende discussies op internationaal niveau. Zo bestaat er reeds een vrijwillige ban voor het gebruik van zware stookolie in Arctische wateren en heeft de IMO zijn leden gevraagd om gegevens van de BC-uitstoot van schepen te verzamelen.

Sinds 2021 meet het Belgische Kustwachtvliegtuig daarom ook de BC-uitstoot van schepen. De eerste, nog ongepubliceerde resultaten tonen dat scrubberschepen significant meer BC uitstoten dan andere schepen, doordat ze nog steeds zware stookolie gebruiken. De scrubber mag dan wel een deel van de BC uitwassen, de netto-uitstoot blijft desalniettemin hoger dan deze van schepen die op gedestilleerde brandstoffen varen. Bij scrubberschepen die in overtreding zijn met de zwaveluitstoot, wordt het verschil pas echt duidelijk. Dit komt doordat de scrubber van deze schepen ofwel niet operationeel is of minder efficiënt werkt, met een hogere BC-uitstoot als gevolg.

NOG HEEL WAT GOLVEN TE TROTSEREN, MAAR WE ZIJN NIET ALLEEN

De resultaten van het snuffelvliegtuig tonen zowel het succes als de tekortkomingen in de regelgeving. Ondanks de duidelijke afname van de SO₂-uitstoot van de scheepvaart sinds de invoering van MARPOL annex VI, vormt het toegenomen gebruik van scrubbers reden voor bezorgdheid. Het gebruik van scrubbers leidt namelijk tot een verhoging van de SO₂- en BC-uitstoot in vergelijking met conventionele schepen. Bovendien is ook de NO_x-uitstoot van scrubberschepen (beperkt) hoger, aangezien NO_x niet oplosbaar is in water en het gebruik van zware stookolie met een hoog stikstofgehalte de NO_x-uitstoot verhoogt. Dit betekent dat restricties op het gebruik van scrubberschepen positieve gevolgen zou hebben voor zowel de SO₂, NO_x als de BC-uitstoot. Samen met andere Noordzeelanden participeert België in onderzoek naar de impact van het gebruik van scrubbers. Op deze manier streeft het ernaar beleidsmakers van de juiste informatie te voorzien voor het opstellen van regels in zake het gebruik van scrubbers in territoriale wateren.

Tussen de landen rond de Noordzee, de Baltische zee en Noord-Amerika bestaat er een consensus dat de NO_x-regelgeving onvoldoende zorgt voor de reductie van de NO_x-uitstoot door schepen. België is, samen met de andere Noordzeelanden, lid van het regionaal Akkoord van Bonn. Daarin werkt het op regionaal niveau samen om vervuiling van de Noordzee door schepen te bestrijden. België heeft samen met Nederland, Frankrijk en Duitsland de leiding genomen in het uitwerken van een regionale monitorings- en handavingsstrategie voor scheepsemissies voor het volledige Noordzeegebied. Daarnaast is er samenwerking bij het opstellen van aanbevelingen voor de IMO om de huidige regelgeving te verbeteren en de luchtvervuiling door schepen te verminderen.

“ HET MERENDEEL VAN DE SCHEPEN DIE DE AFGELOPEN JAREN IN DE HAVEN BEBOET ZIJN DOOR DE HAVEN-INSPECTIEDIENSTEN, ZIJN VOORAFGAAND ONTDEKT DOOR HET KUSTWACHT-VLIEGTUIG. ”

BRONNEN

- Comer, B., Beecken, J., Vermeulen, R., Sturup, E., Paschinger, P., Osipova, L., Gore, K., Delahaye, A., Verhagen, V., Knudsen, B., Knudsen, J., Verbeek, R. (2024). Fugitive and unburned methane emissions from ships (FUMES). International Council on Clean Transport (ICCT).
- Comer, B., Olmer, N., Mao, X., Roy, B., Rutherford, D. (2017). Black Carbon Emissions and Fuel Use in Global Shipping 2015.
- Corbett, J.J., Fischbeck, P.S. (1997). Emissions from Ships. *Science* (1979) 278, 823–824: <https://doi.org/10.1126/science.278.5339.823>
- Dulière, V., Baetens, K., Lacroix, G. (2020). Potential impact of wash water effluents from scrubbers on water acidification in the southern North Sea.
- Knudsen, B., Lallana, A.L., Ledermann, L. (2022). Evaluating NO_x Emission Inventories For Ocean-Going Vessels Using Real Emissions Data. Kongens Lyngby, Denmark.
- Lasek, J.A., Lajmert, R. (2022). On the Issues of NO_x as Greenhouse Gases: An Ongoing Discussion... *Applied Sciences* 12, 10429: <https://doi.org/10.3390/app122010429>
- Matthias, V., Bewersdorff, I., Aulinger, A., Quante, M. (2010). The contribution of ship emissions to air pollution in the North Sea regions. *Environmental Pollution* 158, 2241–2250: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.02.013>
- Sofiev, M., Winebrake, J.J., Johansson, L., Carr, E.W., Prank, M., Soares, J., Vira, J., Kouznetsov, R., Jalkanen, J.P., Corbett, J.J. (2018). Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs. *Nat Commun* 9: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02774-9>
- Van Nieuwenhove, A., Van Roozendaal, B., Scheldeman, K., Merveille, J.-B., Haelters, J., Van Roy, W., Schallier, R. (2023). 30 years of Belgian North Sea aerial surveillance : evolution, trends and developments. Brussels.
- Winnes, H., Fridell, E., Moldanová, J. (2020). Effects of marine exhaust gas scrubbers on gas and particle emissions. *J Mar Sci Eng* 8: <https://doi.org/10.3390/JMSE8040299>
- Zhang, Y., Feng, J., Liu, A.P., Zhao, J., Ma, W., Huang, C., An, J., Shen, Y., Fu, Q., Wang, S., Ding, D., Ge, W., Fung, F., Manokaran, K., Patton, C., Walker, K.D., Kan, H. (2019). Impacts of Shipping on Air Pollutant Emissions, Air Quality, and Health in the Yangtze River Delta and Shanghai, China.



© Instituut voor Natuurwetenschappen – OD Natuur