



CHALMERS

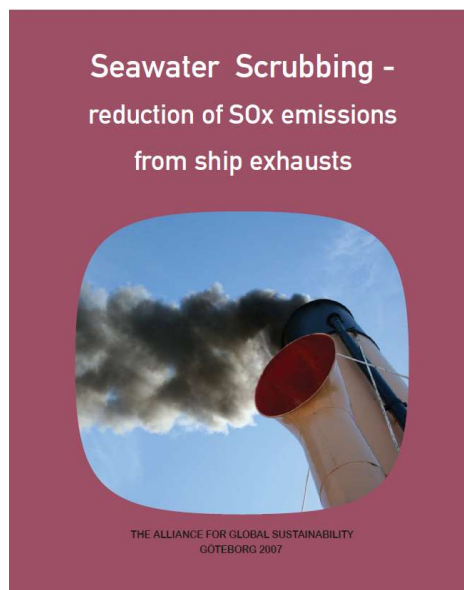
# Sjöfartens miljöpåverkan

Ida-Maja Hassellöv  
Bitr prof Maritim miljövetenskap  
Inst för mekanik och maritima vetenskaper  
Temaområdesledare Chalmers Ocean  
ida-maja@chalmers.se

2024-12-02



# Marin kemi & två förstudier 2007



Seawater scrubbing – reduktion av svavelutsläpp till luft från fartygsavgaser



Förstudie om vraksanering

# Marco Polo



- 22 okt, två grundstötningar utanför Blekinge
- 29 okt, gled av grundet, ny grundstötning
- Ca 150 m<sup>3</sup> tjockolja ut i havet
- 10 nov KBV avslutar räddningstjänst Marco Polo – haveristen eskorterades till gränsen för svensk ekonomisk zon
- Ca 50m<sup>3</sup> olja bärgad?
- Komplicerad räddningsoperation och sanering
- Sannolikt höga kostnader (hundratals miljoner?)



Foto: TT NYHETSBYRÅN



Foto: Dagens Nyheter



Foto: Ny Teknik



# Innehåll

- Sjöfart i den blå ekonomin – relationen till havsmiljöförvaltning
- Belastning på havsmiljön från fartyg
- Modellering av sjöfartens utsläpp
- Miljöpåverkan från skrubbrar
- Fartygsbränslen
- Fartygsinducerad omblandning
- Målkonflikter
- Alternativa regleringsmetoder

# DAPSIR

Drivers

Activities



Response

Pressures

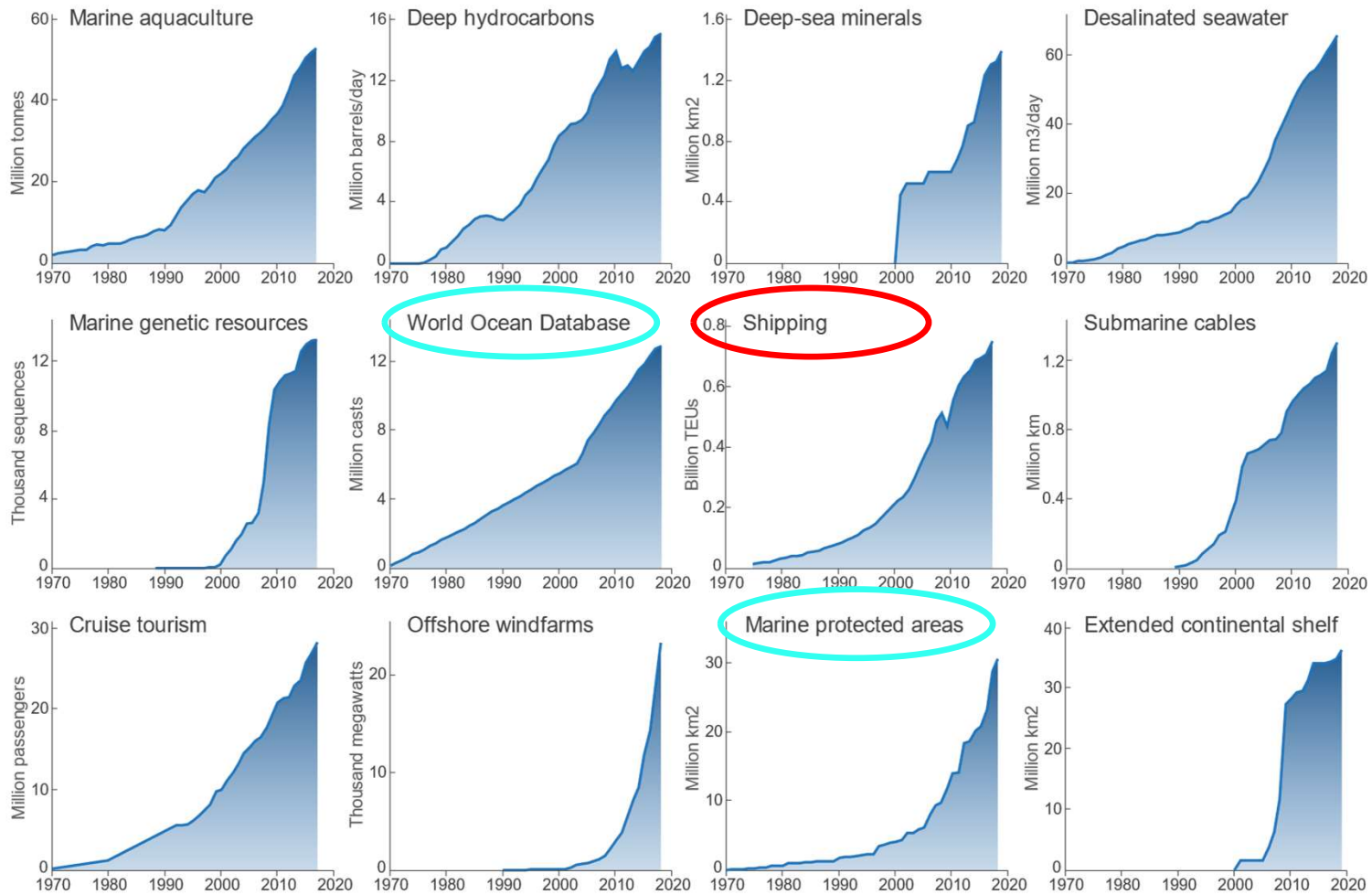
Impact

State

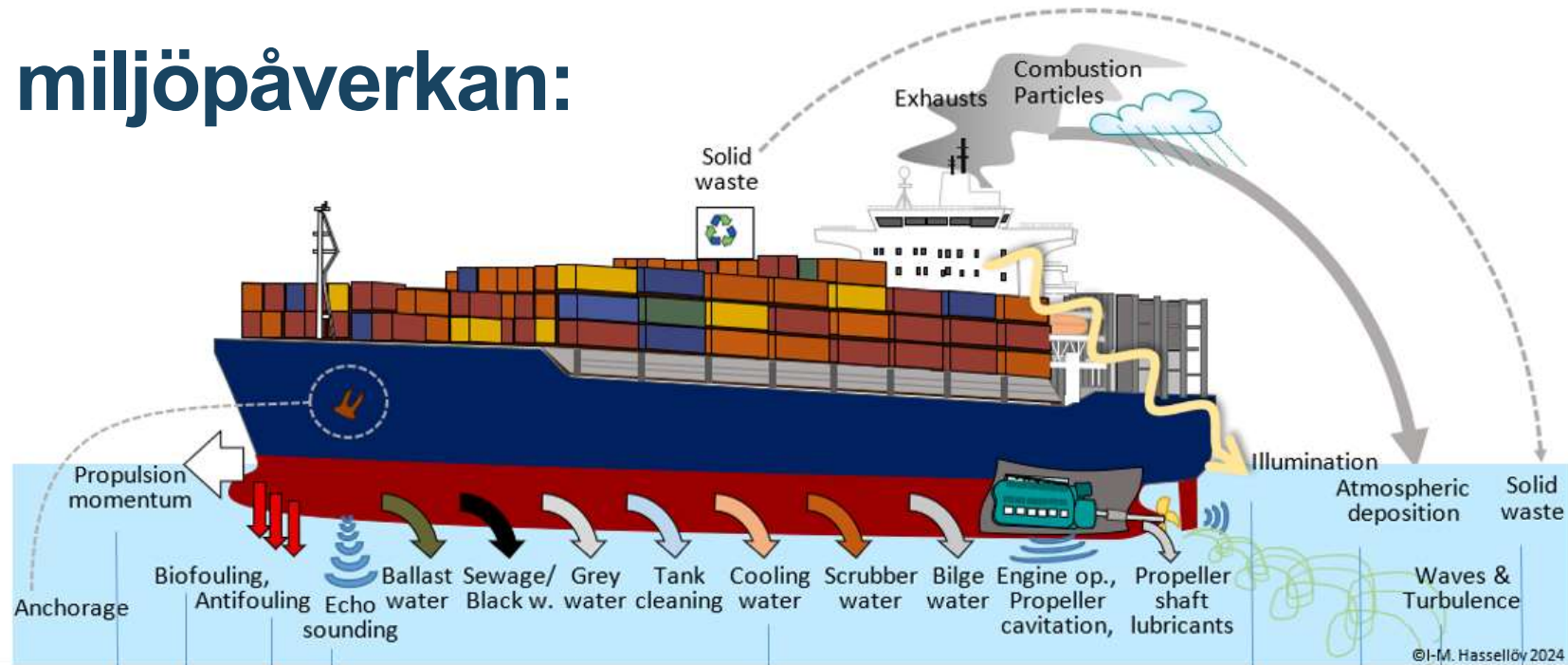




# Den blå accelerationen, 1970-2020



# Sjöfartens miljöpåverkan: CO<sub>2</sub> och...



©I.-M. Hassellöv 2024

|  | Anchorage | Biofouling, Antifouling | Echo sounding | Ballast water | Sewage/ Black w. water | Grey water cleaning | Tank cleaning water | Cooling water  | Scrubber water  | Bilge water    | Engine op., Propeller cavitation, | Propeller shaft lubricants | Illumination | Atmospheric deposition | Solid waste | Waves & Turbulence |
|--|-----------|-------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|---------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------|------------------------|-------------|--------------------|
| <b>Pressure</b>                          |           |                         |               |               |                        |                     |                     |                |                 |                |                                   |                            |              |                        |             |                    |
| Nutrient and organic enrichment          |           |                         |               |               | X                      | X                   | X                   | X              | X               |                |                                   |                            |              | X                      |             | X                  |
| Contaminating compounds                  |           | X                       |               | X             | X                      | X                   | X                   | X              | X               | X              |                                   | X                          |              | X                      |             |                    |
| Acidifying compounds                     |           |                         |               |               |                        |                     |                     | X              | X               |                |                                   |                            |              | X                      |             |                    |
| Marine litter (incl. microplastics)      |           | X                       |               |               | X                      | X                   |                     |                |                 | X              |                                   |                            |              | X                      |             | X                  |
| Non-indigenous species (NIS)             |           |                         | X             |               | X                      | X                   |                     |                |                 |                |                                   |                            |              |                        |             | X                  |
| Collision (birds, mammals, ice habitats) |           | X                       |               |               |                        |                     |                     |                |                 |                |                                   |                            |              |                        |             |                    |
| Noise and energy pollution               | X         | X                       |               | X             |                        |                     |                     |                |                 |                |                                   | X                          |              |                        |             | X                  |
| Artificial light pollution               |           |                         |               |               |                        |                     |                     |                |                 |                |                                   |                            | X            |                        |             |                    |
| Physical Seabed Disturbance              | X         |                         |               |               |                        |                     |                     |                |                 |                |                                   |                            |              |                        |             | X                  |
| <b>Shipping regulatory framework</b>     |           |                         |               | AFS           | BWMC                   | MARPOL Annex IV     | MARPOL Annex IV     | MARPOL Annex I | MARPOL Annex VI | MARPOL Annex I |                                   | MARPOL Annex I             |              | MARPOL Annex VI        |             | MARPOL Annex V     |

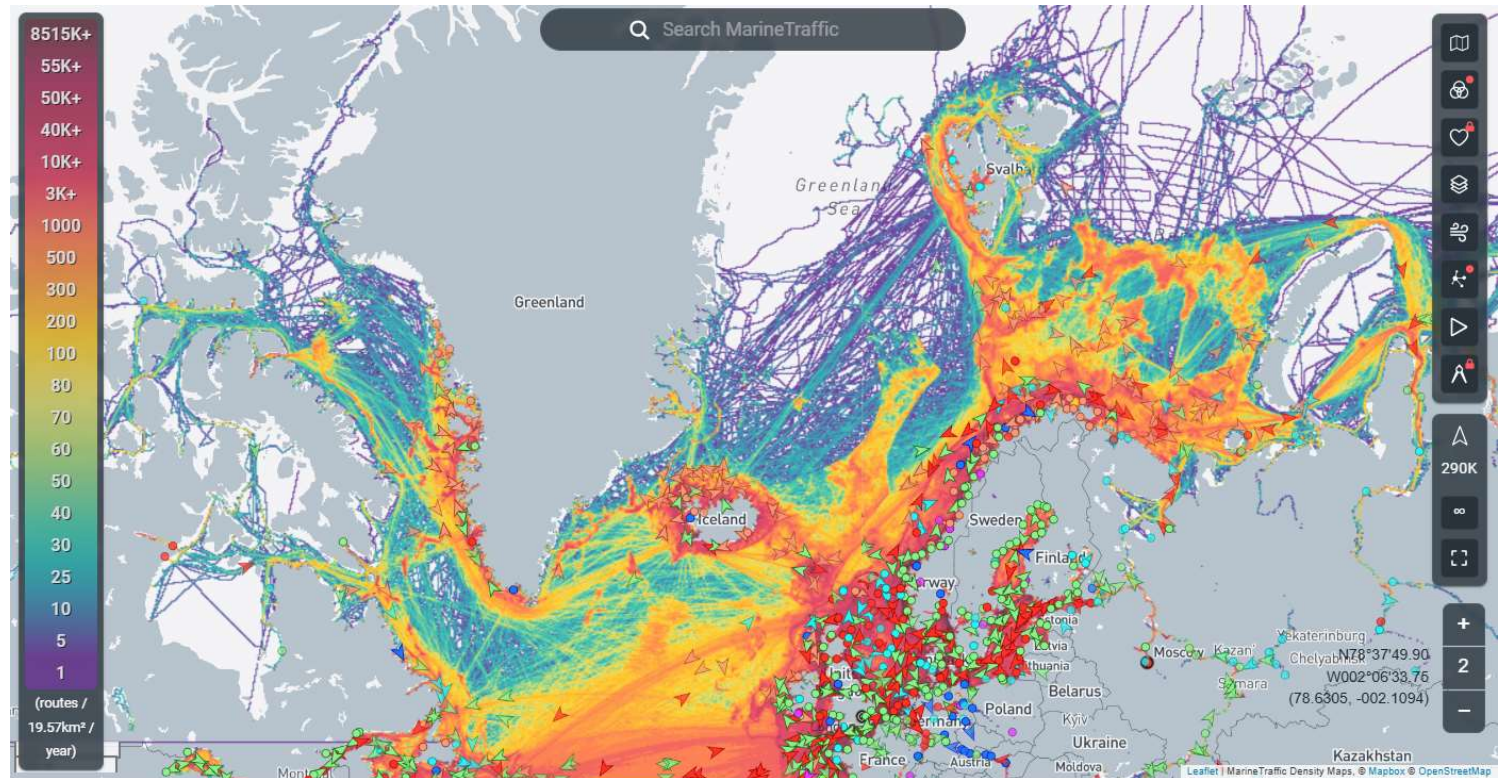
# Havsförvaltningsperspektivet



Måste beakta den samlade belastningen från sjöfart, dvs från:

- alla ombordsystem
- alla fartyg som opererar i ett det aktuella geografiska området/ vattenförekomsten

De flesta sk holistiska modeller inkluderar inte sjöfartens belastning på ett adekvat sätt!

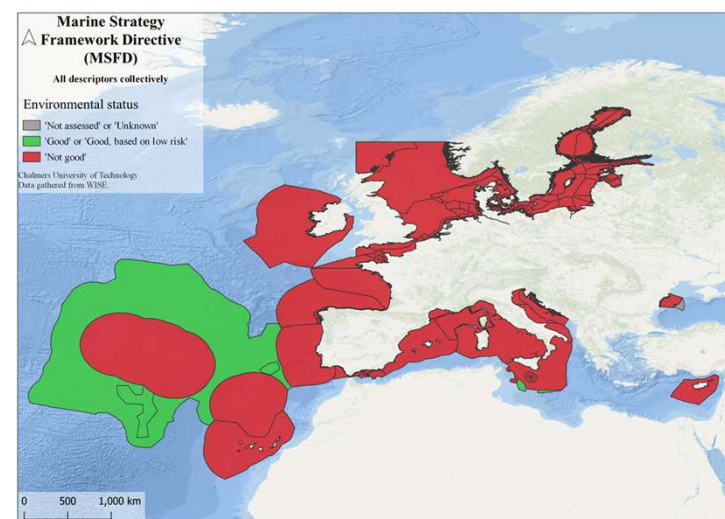




# Relevans för temaområdena i Havsmiljödirektivet



|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <p>Biological diversity</p> <p>1. </p> | <p>Non-indigenous species</p> <p>2. </p>                               | <p>Population of commercial fish/shellfish</p> <p>3. </p> | <p>Elements of marine food webs</p> <p>4. </p>                          |
| <p>Eutrophication</p> <p>5. </p>       | <p>Sea floor integrity</p> <p>6. </p>                                  | <p>Alteration of hydrographical conditions</p> <p>7. </p> | <p>Concentrations of contaminants</p> <p>8. </p>                       |
| <p>Good Environmental Status</p>  | <p>Contaminants in fish/seafood for human consumption</p> <p>9. </p> | <p>Marine litter</p> <p>10. </p>                         | <p>Introduction of energy including underwater noise</p> <p>11. </p> |



# Modellering av sjöfartens utsläpp



## Ship types

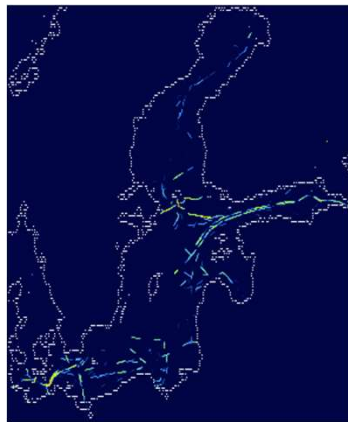


Photo: Lighthouse

Photos: Pixabay

Ship type discharge volumes or amounts:  
 Bilge  
 Ballast water  
 Antifouling, etc.

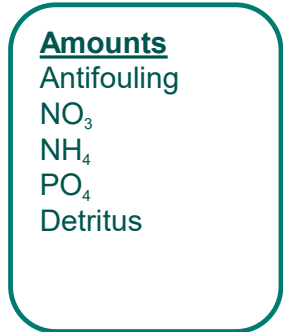
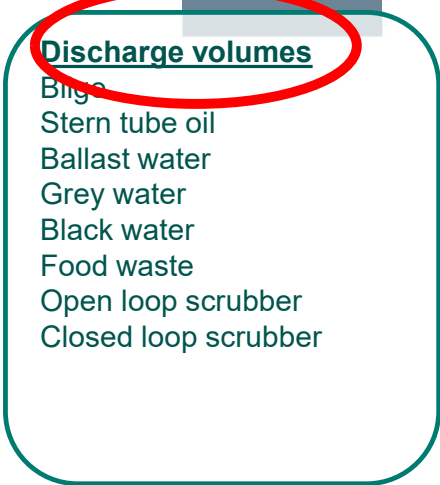
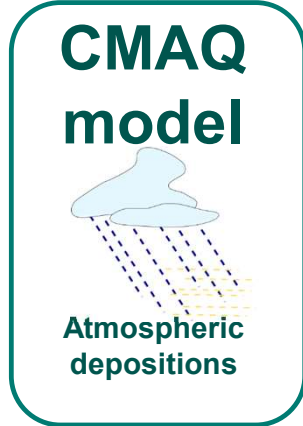
## Activity (AIS) data



Year 2012

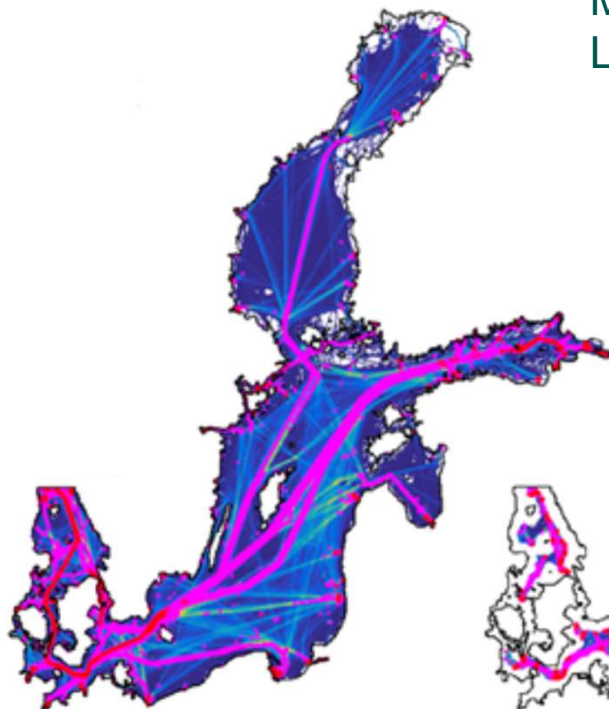


Air emissions

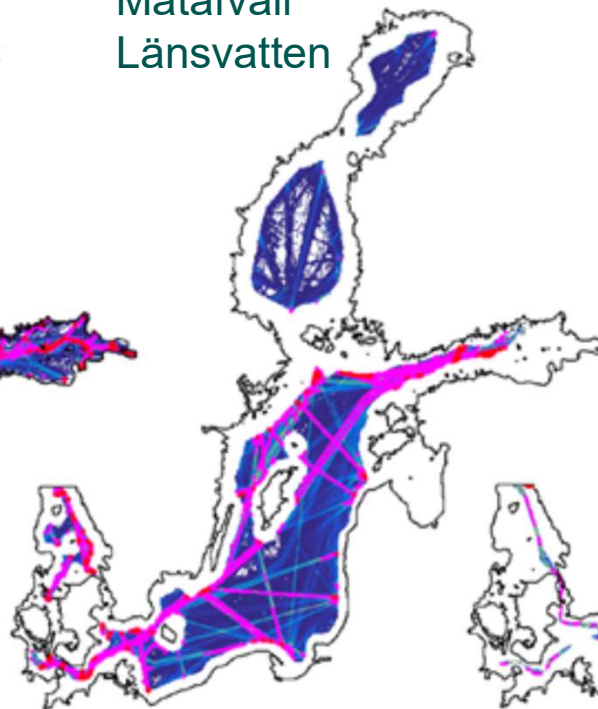


# AIS-baserad modellering av fartygens belastning på havsmiljön (FMI STEAM, 2012)

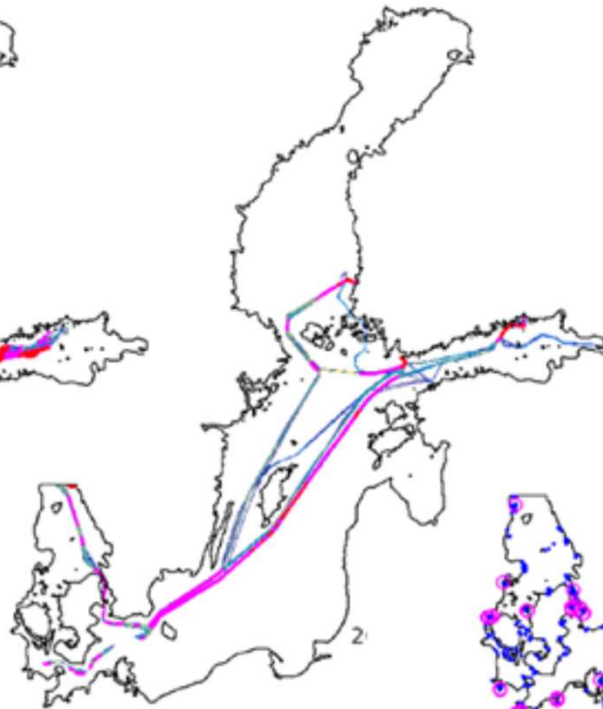
Antifouling



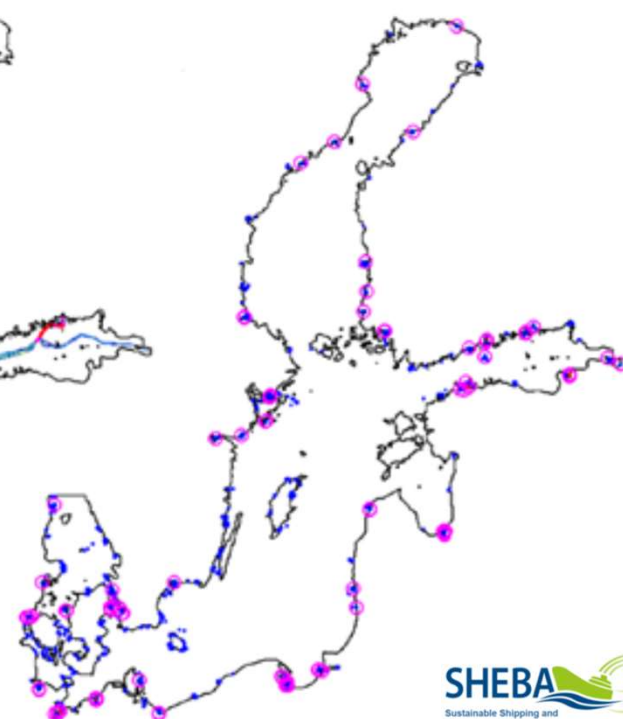
Svartvatten  
Gråvatten  
Matafvall  
Länsvatten



Öppna skrubbrar  
Stängda skrubbrar

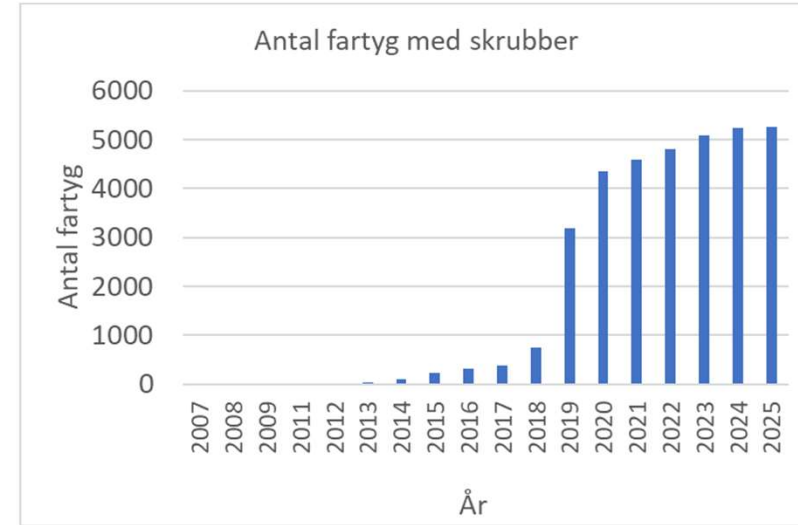
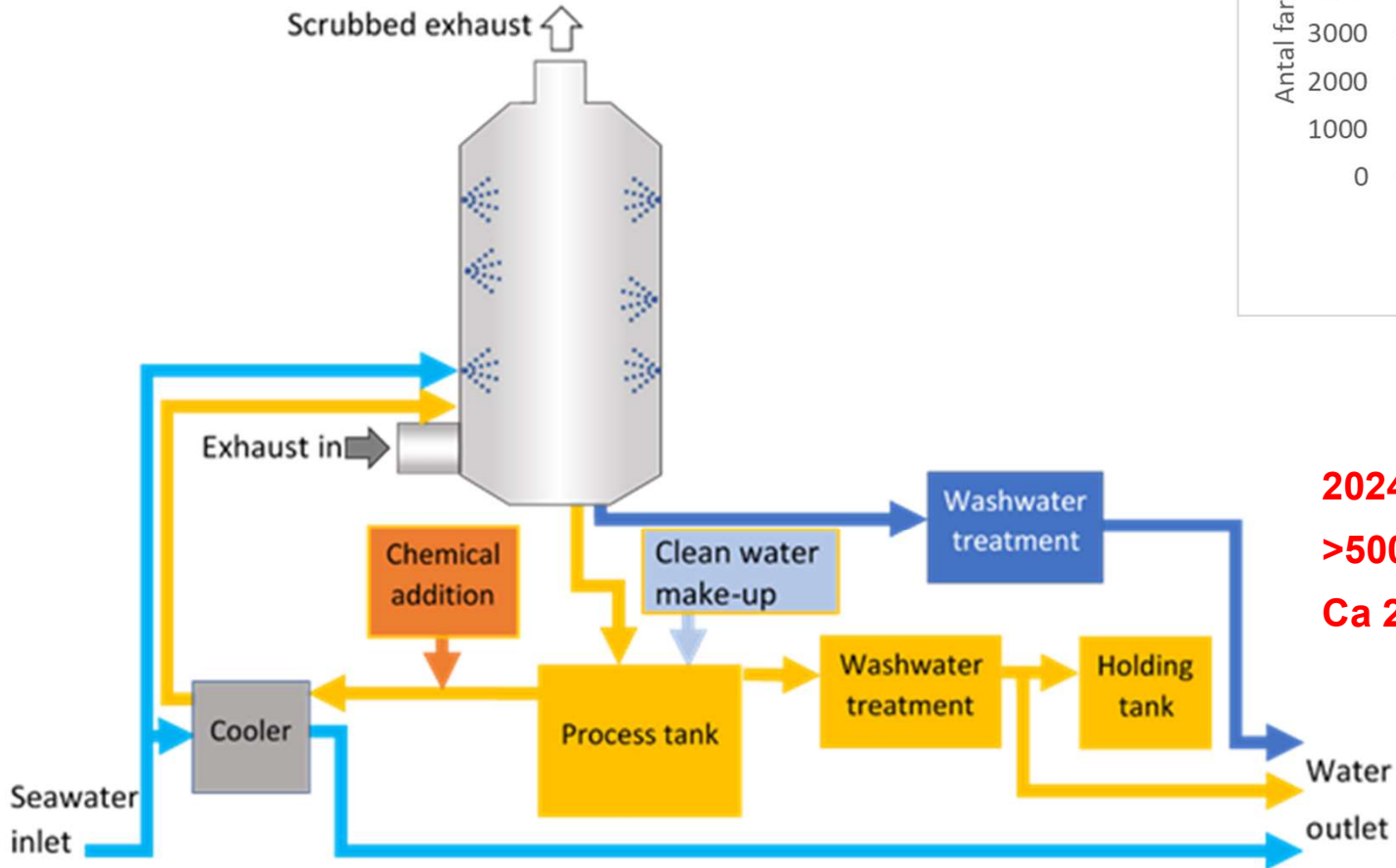


Ballastvatten



Jalkanen et al. 2021. <https://doi.org/10.5194/os-17-699-2021>

# Fartyg med skrubberteknik



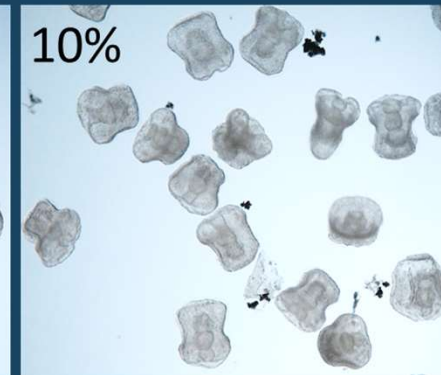
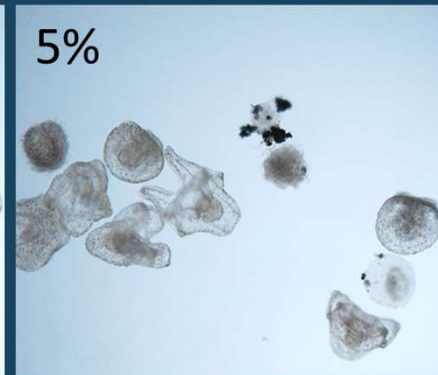
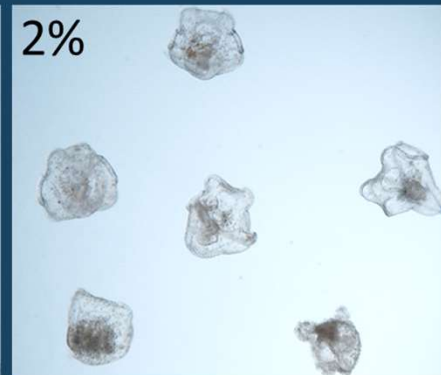
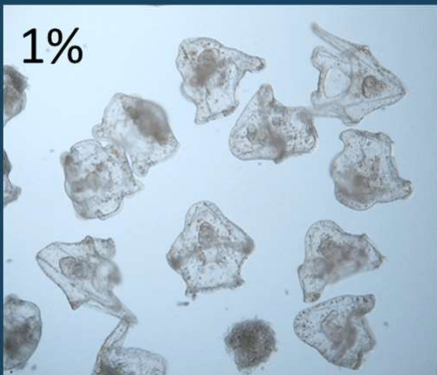
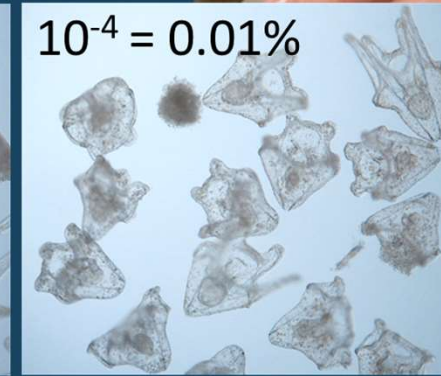
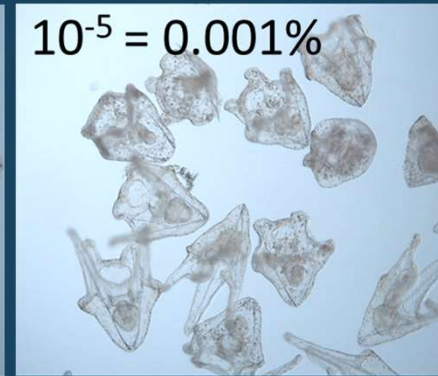
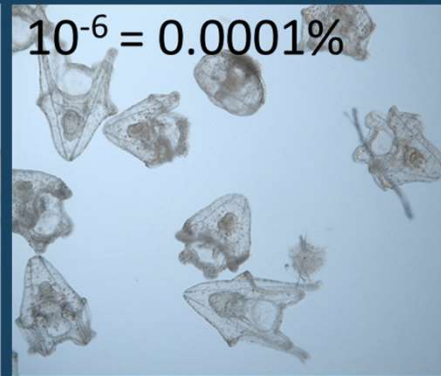
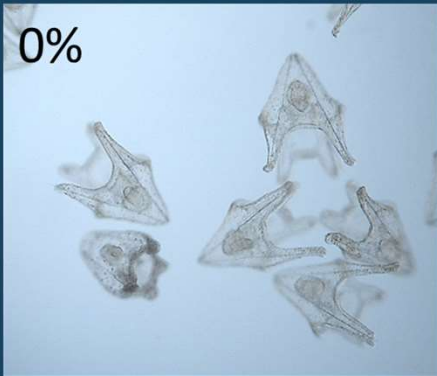
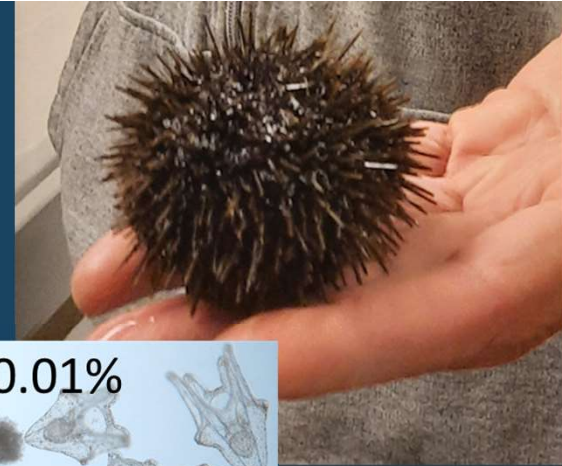
DNV Alternative Fuel Insights <https://afi.dnv.com/>

**2024:**  
**>5000 fartyg med skrubber**  
**Ca 25% av global bunkerförbrukning**

Modified from EGCSA (2012),  
[https://www.egcsa.com/resources/technical\\_gallery/](https://www.egcsa.com/resources/technical_gallery/)



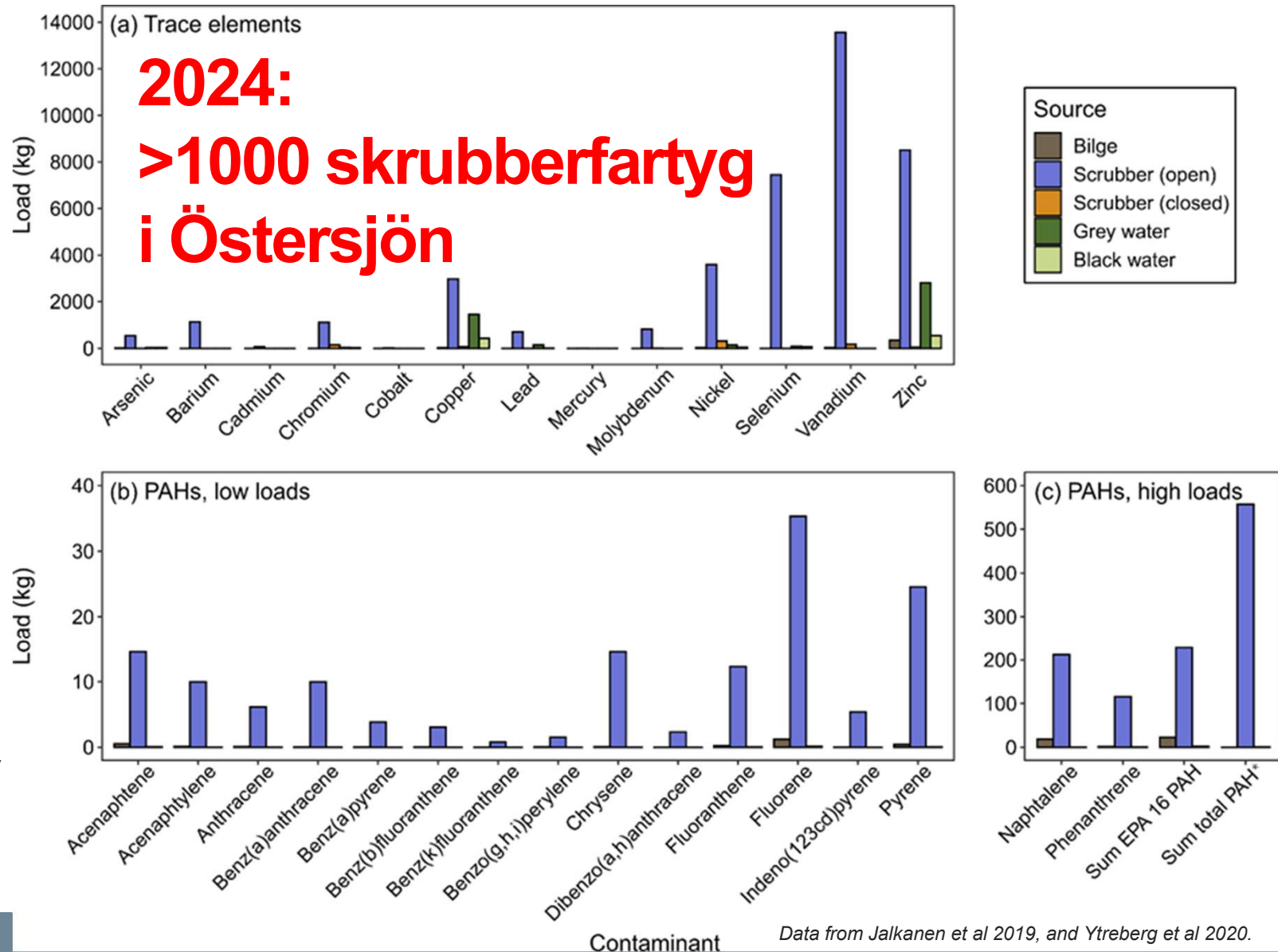
# Effekter av skrubbevatten på sjöborrelarver



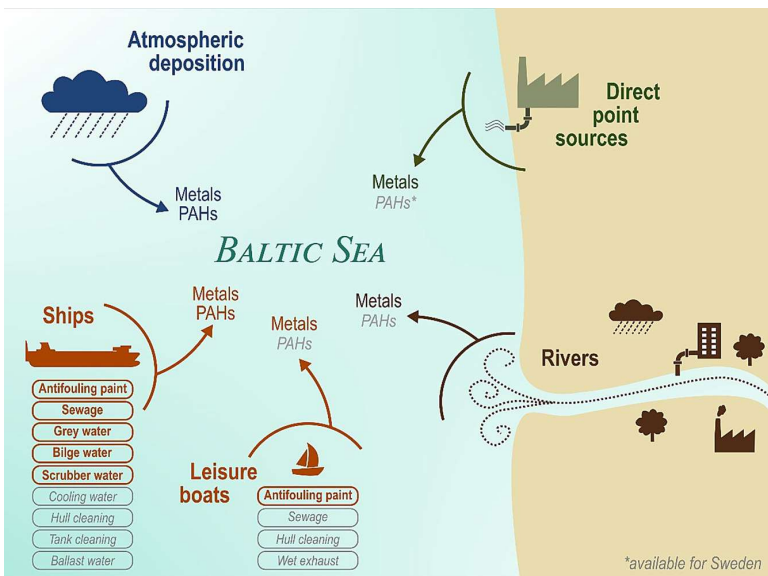
# Östersjön, 2018, 99 skrubber- fartyg

<2% av alla fartyg i Östersjön utrustade med skrubbrar

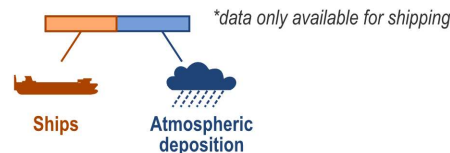
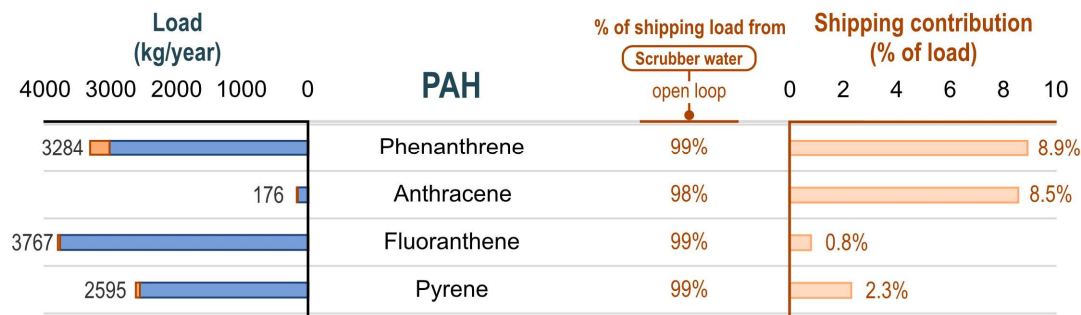
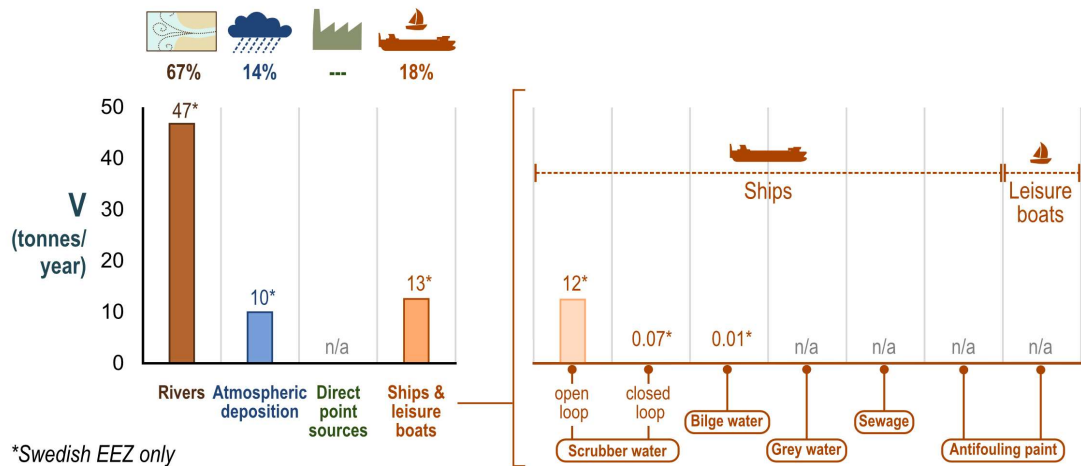
Massan föroreningar från skrubbrarna var 10-1000 gånger högre för enskilda ämnen jämfört med massan föroreningar från samtliga andra typer av utsläpp, från samtliga fartyg i området.



# Jämförelse av tillförsel av föroreningar till Östersjön

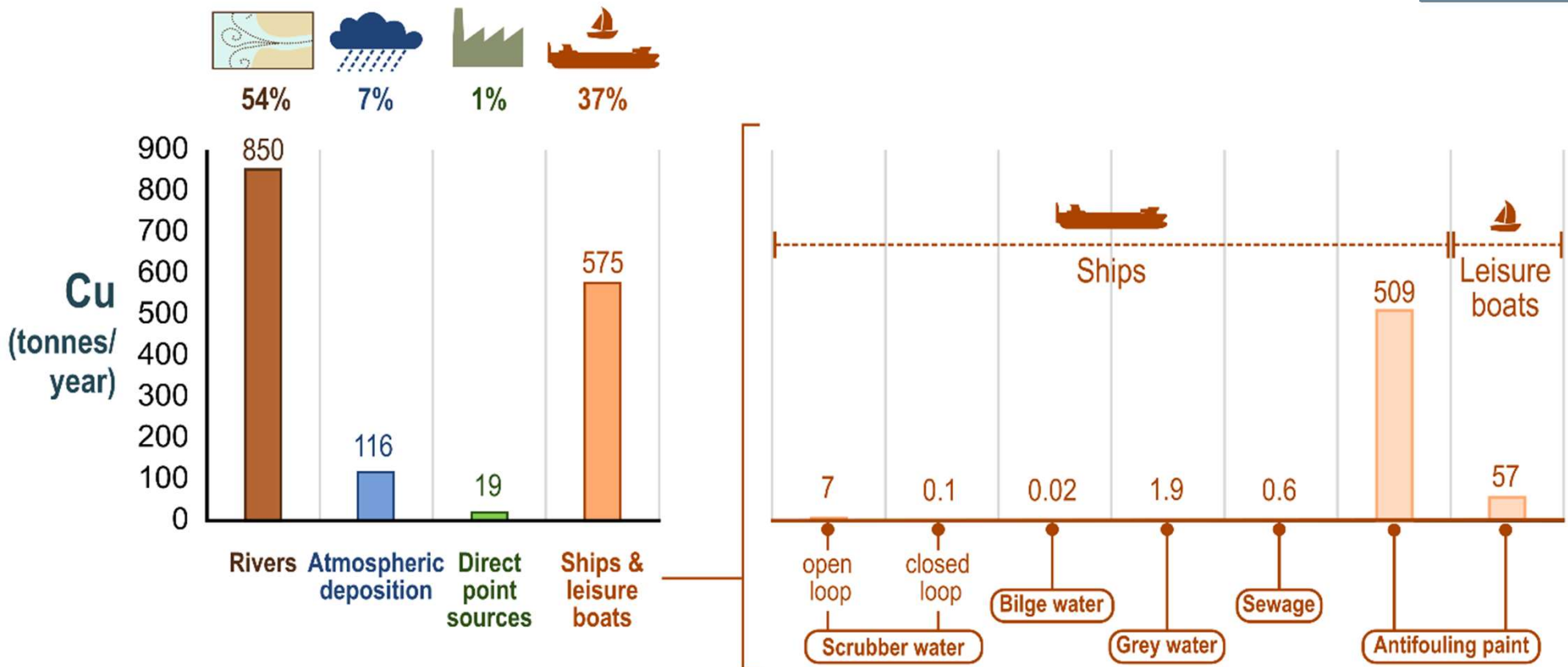


- Baserat på 2018 års data, 178 fartyg opererade med EGCS
- Öppna skrubbrar står för betydande tillförsel av organiska föroreningar (t ex PAHer) och vissa metaller



Ytberg et al (2022). Metal and PAH loads from ships and boats, relative other sources, in the Baltic Sea, MPB, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113904>.

# Sjöfart: ~40% av koppartillförsel till Östersjön

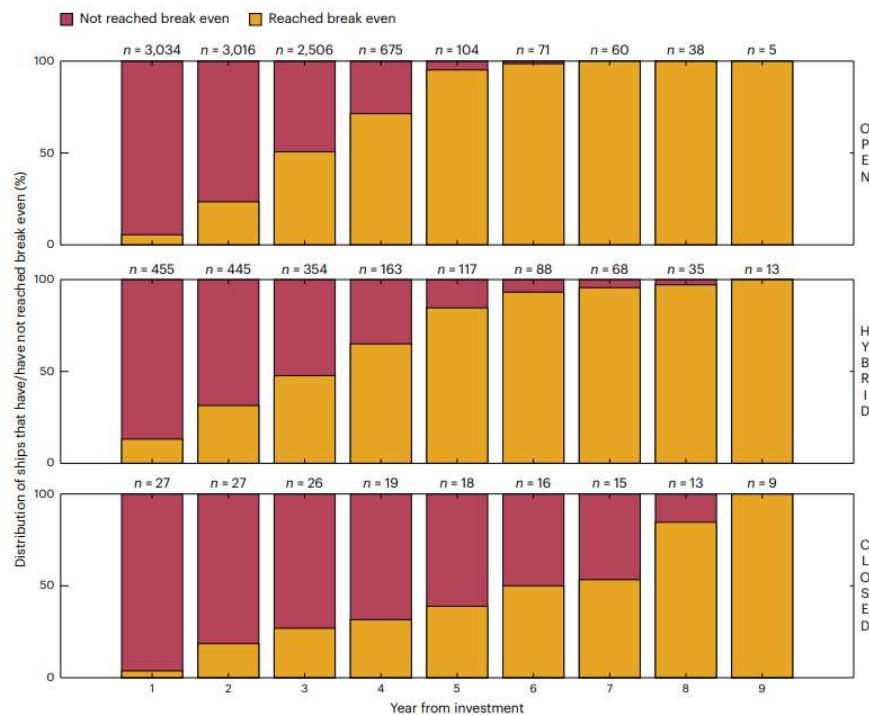




# Skrubberkostnader

## Analysis

<https://doi.org/10.1038/s41893-024-01347-1>



**Fig. 2 | Number of years it takes to reach break even from time of installation.** Distribution of vessels that have (orange, bottom part of bar)/have not (red, top part of bar) reached break even within 1–9 years after the installation of scrubber system. The ships included have had their scrubbers installed >1 year. The three

panels show the distribution for ships with open loop (upper panel), hybrid (middle panel) and closed-loop (lower panel) scrubbers. *n* = the number of ships that are included in the calculation for each year and scrubber type.



## Strong economic incentives of ship scrubbers promoting pollution

Received: 1 November 2023

Accepted: 11 April 2024

Published online: 07 May 2024

[Check for updates](#)

Anna Lunde Hermansson<sup>1</sup>, Ida-Maja Hasselöv<sup>1</sup>, Tiia Grönholm<sup>2</sup>, Jukka-Pekka Jalkanen<sup>2</sup>, Erik Fridell<sup>3</sup>, Rasmus Parmso<sup>3</sup>, Jesper Hasselöv<sup>3</sup> & Erik Ytreberg<sup>3</sup>

In response to stricter regulations on ship air emissions, many shipowners have installed exhaust gas cleaning systems, known as scrubbers, allowing for use of cheap residual heavy fuel oil. Scrubbers produce large volumes of acidic and polluted water that is discharged to the sea. Due to environmental concerns, the use of scrubbers is being discussed within the International Maritime Organization. Real-world simulations of global scrubber-vessel activity, applying actual fuel costs and expenses related to scrubber operations, show that 51% of the global scrubber-fitted fleet reached economic break even by the end of 2022, with a surplus of €4.7 billion in 2019 euros. Within five years after installation, more than 95% of the ships with the most common scrubber systems reach break even. However, the marine ecotoxicity damage cost, from scrubber water discharge in the Baltic Sea Area 2014–2022, amounts to >€680 million in 2019 euros, showing that private economic interests come at the expense of marine environmental damage.

Since the mid 1900s, the marine bunker fuel market has been dominated by residual fuels, that is, heavy fuel oils (HFOs), due to their low price and high energy content<sup>1</sup>. HFO is a residual, sulfur-containing product, and during combustion, the sulfur content of the fuel will be proportional to the emissions of sulfur oxides (SO<sub>x</sub>) and particulate matter (PM) to the atmosphere. Therefore, as of January 2020, the International Maritime Organization (IMO) implemented stricter global regulations regarding the sulfur content of marine fuels, from a maximum of 3.5% to 0.5%, with the goal to reduce the negative impacts of ship-derived SO<sub>x</sub> and PM on air quality<sup>2</sup>. Even stricter regulations apply for ships operating in designated sulfur emission control areas (SECAs), where a maximum sulfur content of 0.1% is allowed. To meet sulfur regulations, most ships have switched to the more expensive low-sulfur fuels such as distillate fuels, for example, Marine Gas Oil (MGO), or hybrid fuels, for example, very low-sulfur fuel oils (VLSFOs). Another option is to install exhaust gas cleaning systems (EGCSs), also known as scrubbers, and continue to use the less-expensive HFO with high sulfur content while still being compliant with the IMO regulations.

For more than a decade, several studies have shown that more stringent regulations, previously in SECAs and now also globally, have led to a reduction of SO<sub>x</sub> emissions<sup>3–7</sup>, that scrubbers efficiently can reduce the sulfur content in the exhaust to the required compliance levels<sup>8</sup> and that scrubbers are economically feasible, being a lucrative alternative to fuel switch<sup>9–12</sup>. In parallel, concerns have been raised regarding the impact on the marine environment from scrubber water discharge, for example, adverse effects on marine organisms, including reduced growth and increased mortality potential, eutrophication effects on phytoplankton<sup>13–15</sup> and acidification effects on local and regional levels<sup>16,17</sup>. Other concerns related to scrubbers include the difficulty in compliance monitoring<sup>18,19</sup>, the PM air emissions that are not reduced in the same way as a switch to low-sulfur fuels<sup>20</sup> and the enabling of continued use of HFO, impeding important development of alternative fuels and other low-carbon options<sup>21</sup>. Globally, scrubbers have been installed on more than 5,000 ships (<https://afr.dnv.com/statistics/>) and HFO amounts to approximately 25% of the total marine bunker fuel demand and is forecasted to continue to do so in the near future<sup>22</sup>. The

<sup>1</sup>Chalmers University of Technology, Department of Mechanics and Maritime Sciences, Gothenburg, Sweden. <sup>2</sup>Atmospheric Composition Research, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland. <sup>3</sup>IVL Swedish Environmental Research Institute, Gothenburg, Sweden. [e-mail: a.lunde@chalmers.se](mailto:a.lunde@chalmers.se)

# Goda nyheter!



## Förbud mot utsläpp från skrubbrar till vatten inom svenskt sjöterritorium

---

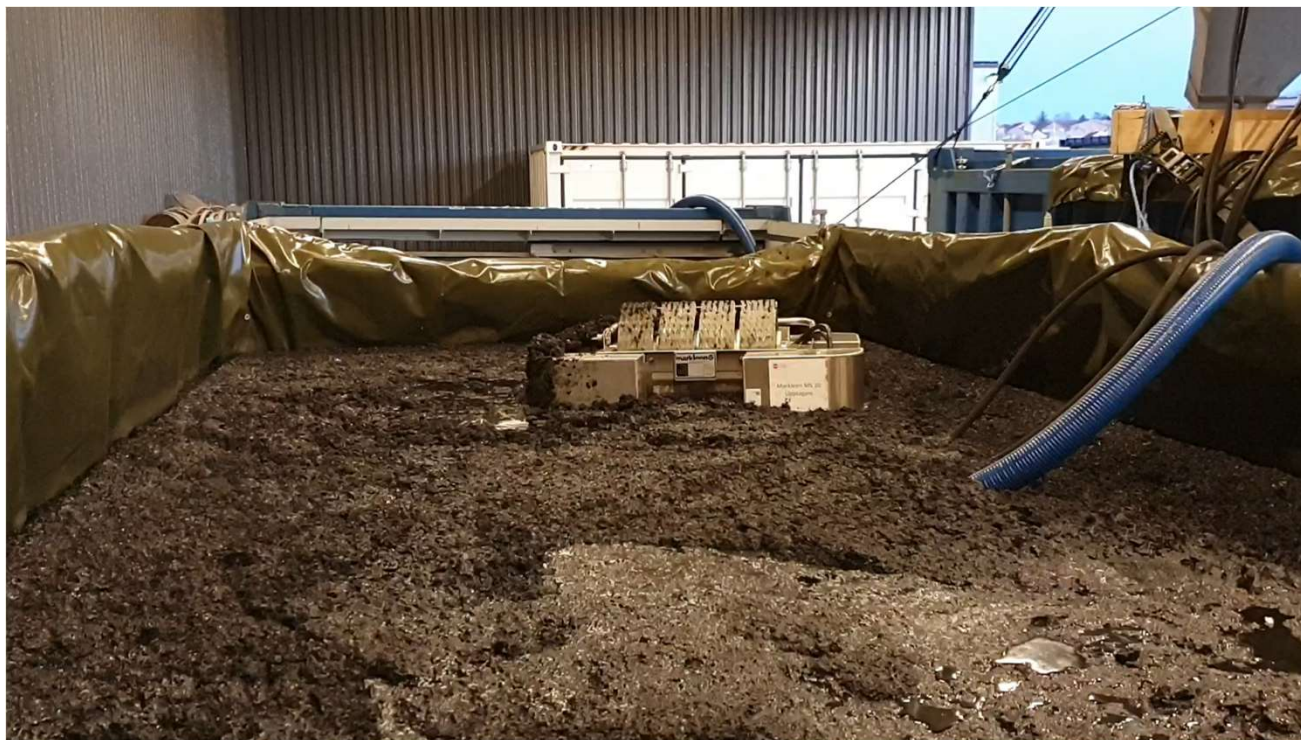
### Promemorians huvudsakliga innehåll

I denna promemoria föreslås ändringar i förordningen (1980:789) om åtgärder mot förorening från fartyg. Med anledning av det föreslås även en ändring i svavelförordningen (2014:509). Förslagen innebär att utsläpp i svenskt sjöterritorium från avgasreningssystem som tvättar rökgas, s.k. fartygsskrubbrar förbjuds.

Förbudet föreslås införas i två steg. Förbud mot utsläpp från fartygsskrubbrar som används i öppet läge föreslås förbjudas med ikraftträdande den 1 juli 2025. Förbud mot utsläpp från alla typer av skrubbrar, dvs. även sådana som används i stängt läge, föreslås förbjudas med ikraftträdande den 1 januari 2029. Ändringen i svavelförordningen föreslås träda i kraft den 1 juli 2025.

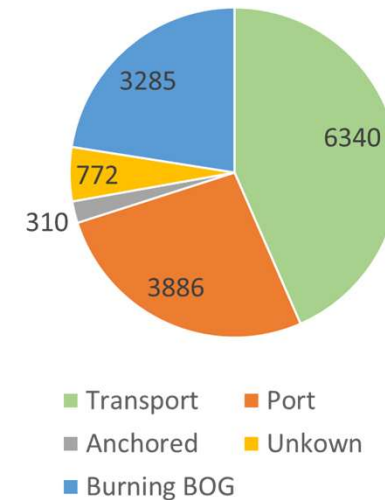
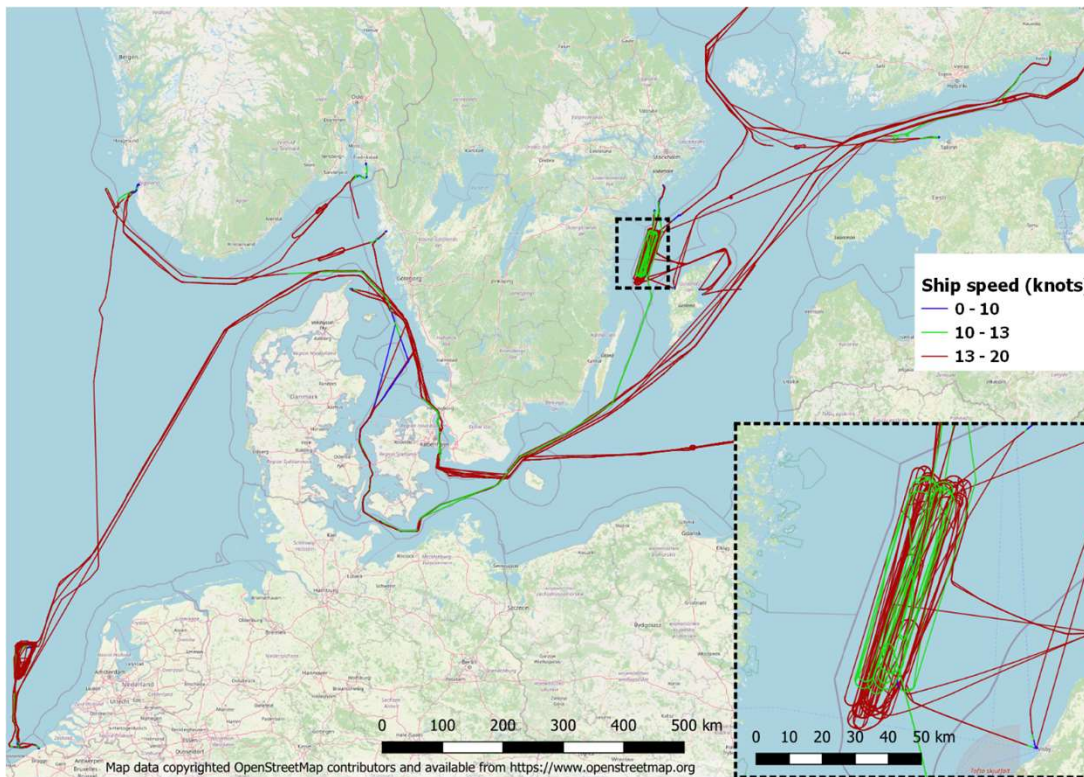
Remiss gick att besvara senast 31 oktober 2024

# Hybridoljor - vanligaste bränsletyp idag





# Exempel: ett LNG Feeder fartyg som bränner "boil-off gas" 32% av tiden till sjöss



Hörteborn A., Hassellöv I.-M., 2023. Economic incentives and technological limitations govern environmental impact of LNG feeder vessels. *J. Clean. Prod.* (pending revision)



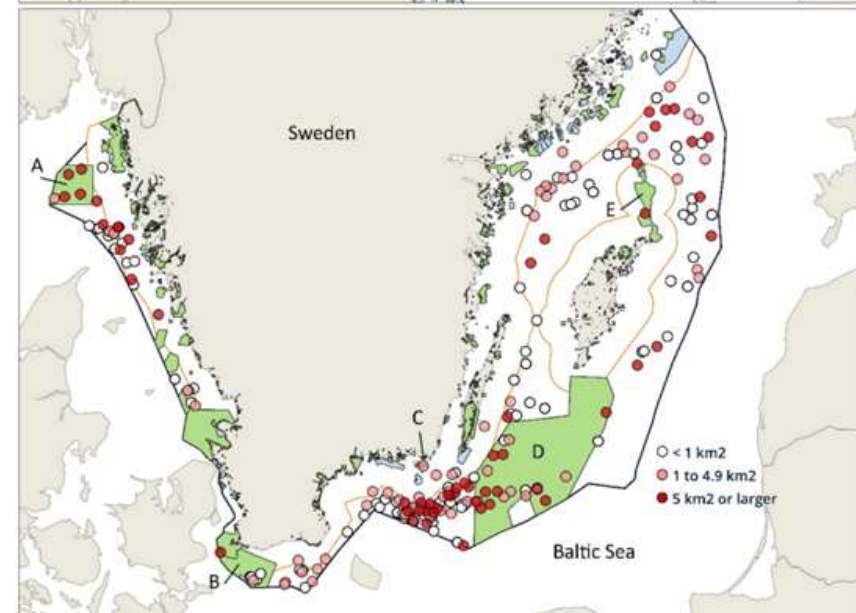
# Tankrengöring

Kustbevakningen 2020-2023, andra ämnen än mineralolja

**Ingen** officiell data om utsläpp av tankrengöringsrester görs till havs:

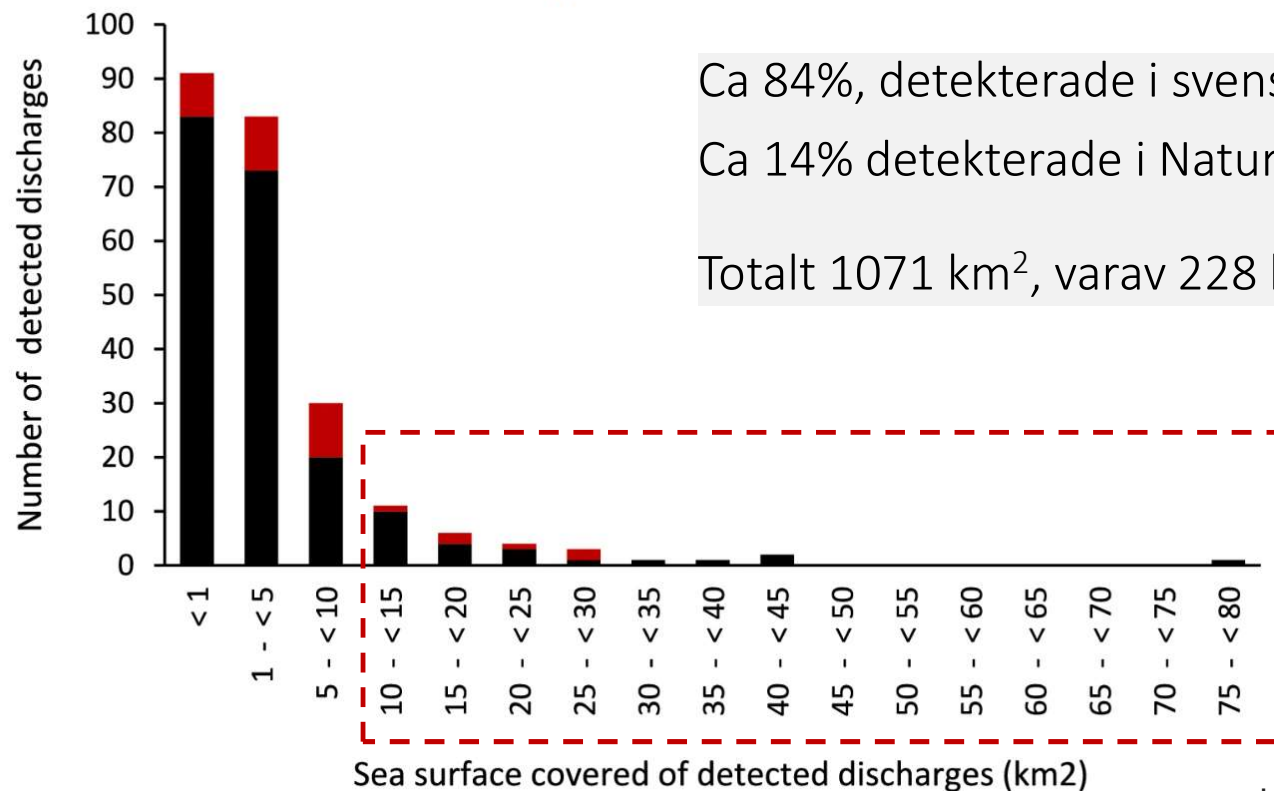
- Vad?
- Hur mycket?
- Var?
- När?

Larsson et al. 2024  
DOI:10.1007/s13280-024-02103-7



# Tankrengöring – storleksfördelning av detekterade utsläpp

From: Recurrent discharges of non-petroleum substances from chemical tankers in Swedish marine Natura 2000 sites are against the aims of EU Directives



Size distribution of detected discharges. Red columns show the number and size of discharges in marine protected areas

Larsson et al. 2024  
DOI:10.1007/s13280-024-02103-7

# Effekter i havsmiljön?



# Andra typer av förorening – energi i form av buller: överlappande ljudbilder mänsklig aktivitet o marina arter

Tillförseln av mänskligt buller i havet är problematiskt då detta ljud i många fall överlappar med de frekvenser som de marina djuren använder sig av för sin omvärldsuppfattning och kommunikation

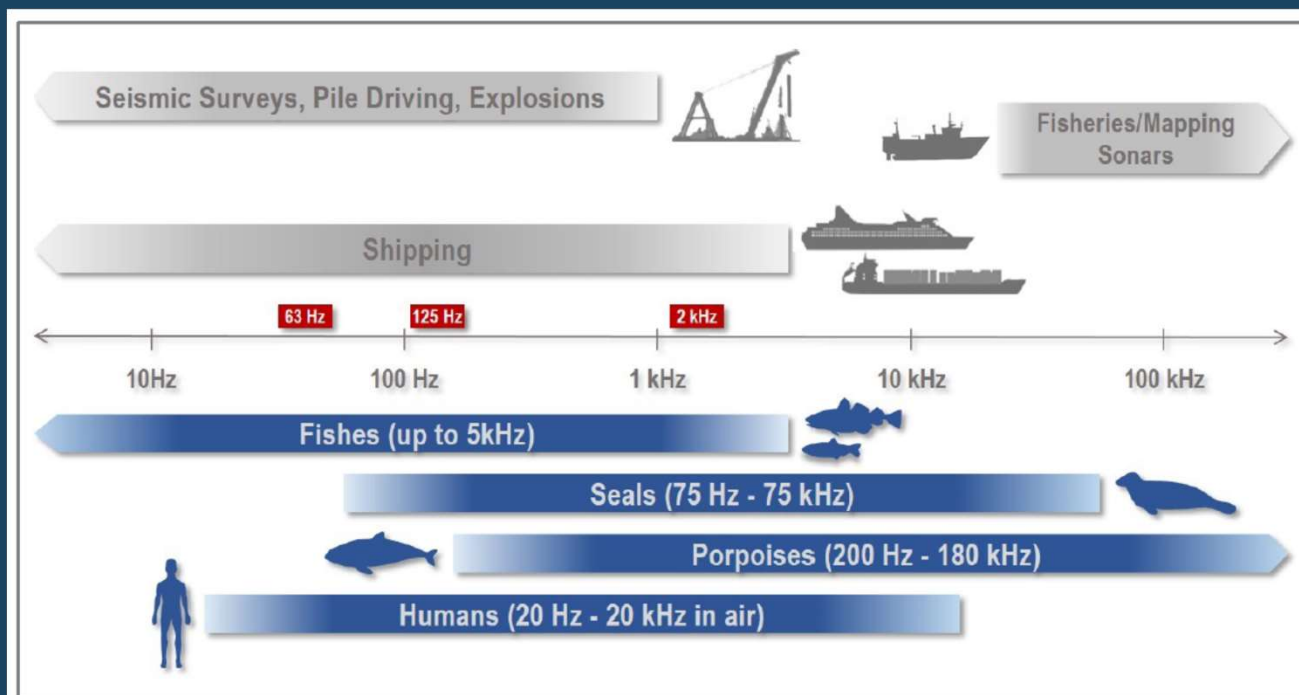


Figure 2. The auditory range of marine species present in the Baltic Sea, and noise frequencies produced by man-made underwater sound sources. Human hearing range is provided as a reference. After Scholik-Schlomer (2015), adjusted to Baltic Sea conditions. The red fields indicate the monitored frequency bands within BIAS.





CHALMERS



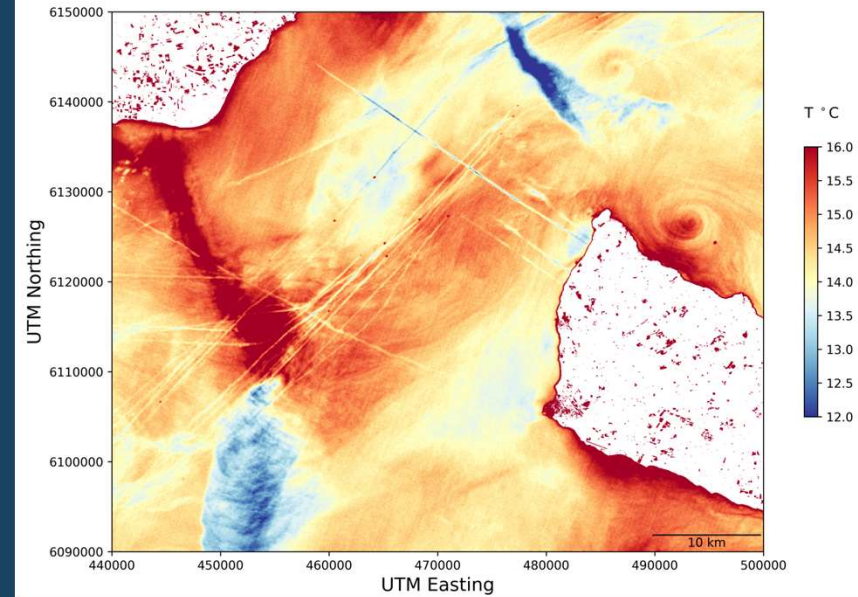
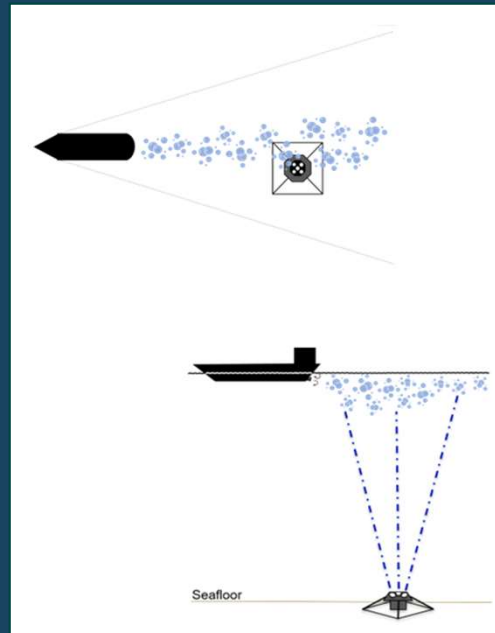
# Fartygsinducerad omblandning

Lokal/regional 'upwelling'?

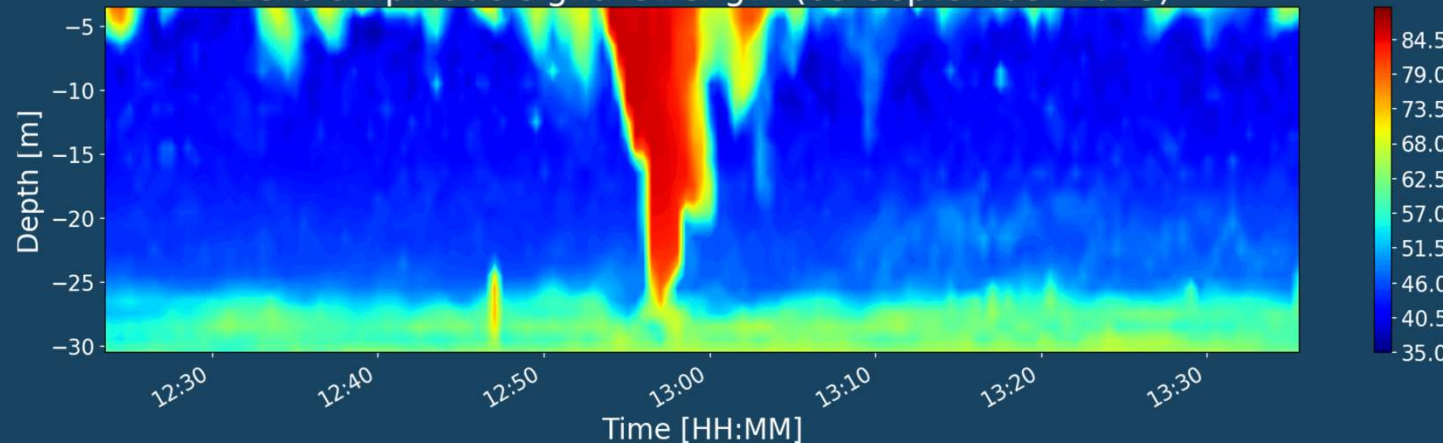
Betydelse för utsläpp av föroreningar  
från fartyg?

# Inloppet till Göteborg

Ombländning ned till botten, 30 m djup



Echo amplitude signal strength (09 September 2018)

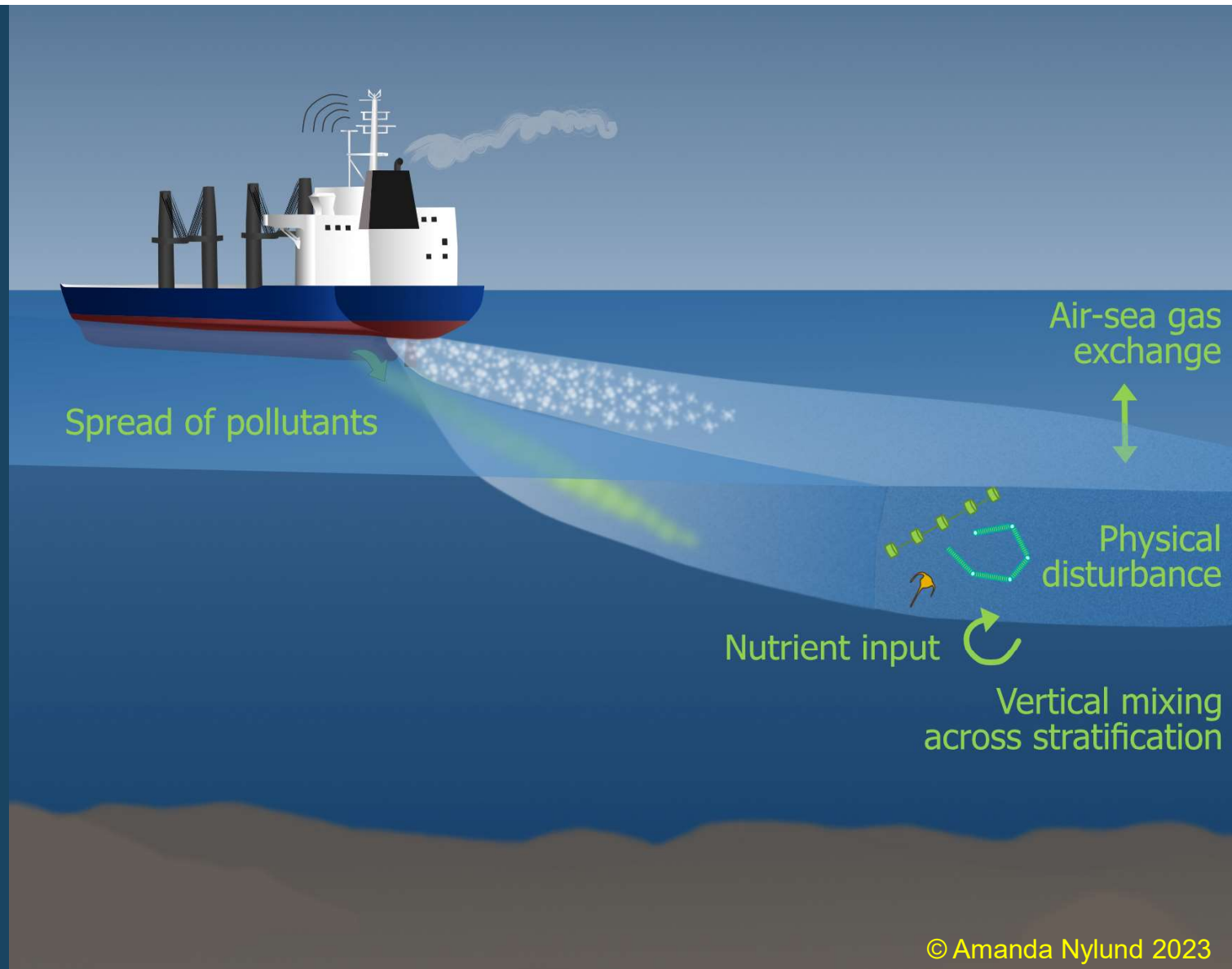


Sea surface temperature derived from a Landsat-8 image, May 2017

**Bornholmsgattet**  
Kölvattnets signatur  
kvar upp till 30 min  
efter passage

**Turbulenta  
fartygsvakar  
(kölvatten)  
påverkar  
havsmiljön på  
flera sätt.**

**Påverkan på  
konnektiviteten?**



# Målkonflikter



Lyssna English website Lättläst Teckenspråk Other languages Prenumerera via e-post Kontakt

Jobba hos oss Webb-tv Press Sverige i EU UD:s reseinformation

Sök på regeringen.se

Sök

**Sveriges regering**  
Statsråden och departementen

**Regeringens politik**  
Detta görs inom olika områden

**Så styrs Sverige**  
Om regeringen, Regeringskansliet och EU

Innehållet publicerades under perioden  
03 oktober 2014 - 20 januari 2019

Informationsmaterial från [Näringsdepartementet](#), [Infrastrukturdepartementet](#)

## Effektiva, kapacitetsstarka och hållbara godstransporter – en nationell godstransportstrategi

Publicerad 28 juni 2018



Syftet med strategin är att skapa förutsättningar för effektiva, kapacitetsstarka och hållbara godstransporter.

### Genvägar

- > [Artikel: En strategi som kan möta framtidens moderna godstransportsystem](#)



Havsmiljöinstitutet



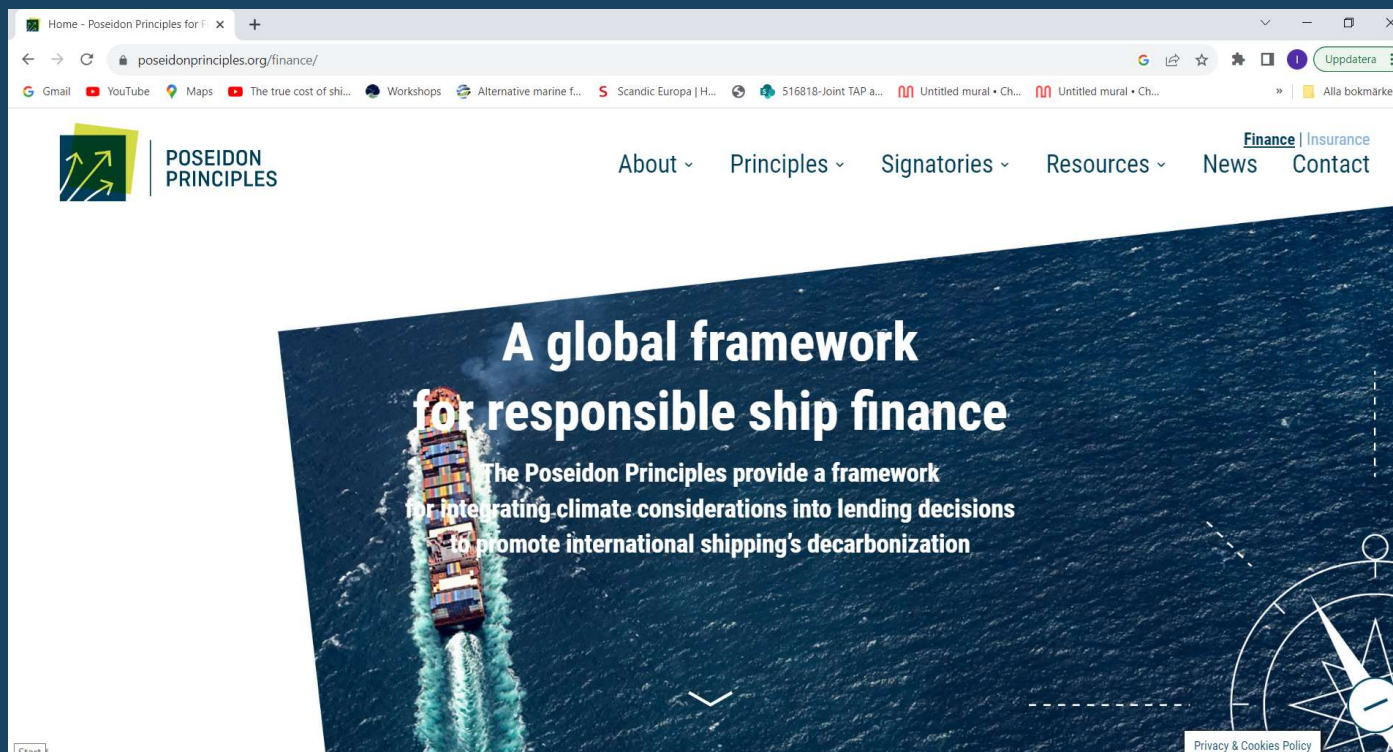
## EFFEKTER PÅ HAVSMILJÖN AV ATT FLYTTA ÖVER GODSTRANSPORTER FRÅN VÄGTRAFIK TILL SJÖFART

HAVSMILJÖINSTITUTETS RAPPORT NR 2019:5

IDA-MAJA HASSELLÖV, KJELL LARSSON OCH EVA-LOTTA SUNDBLAD



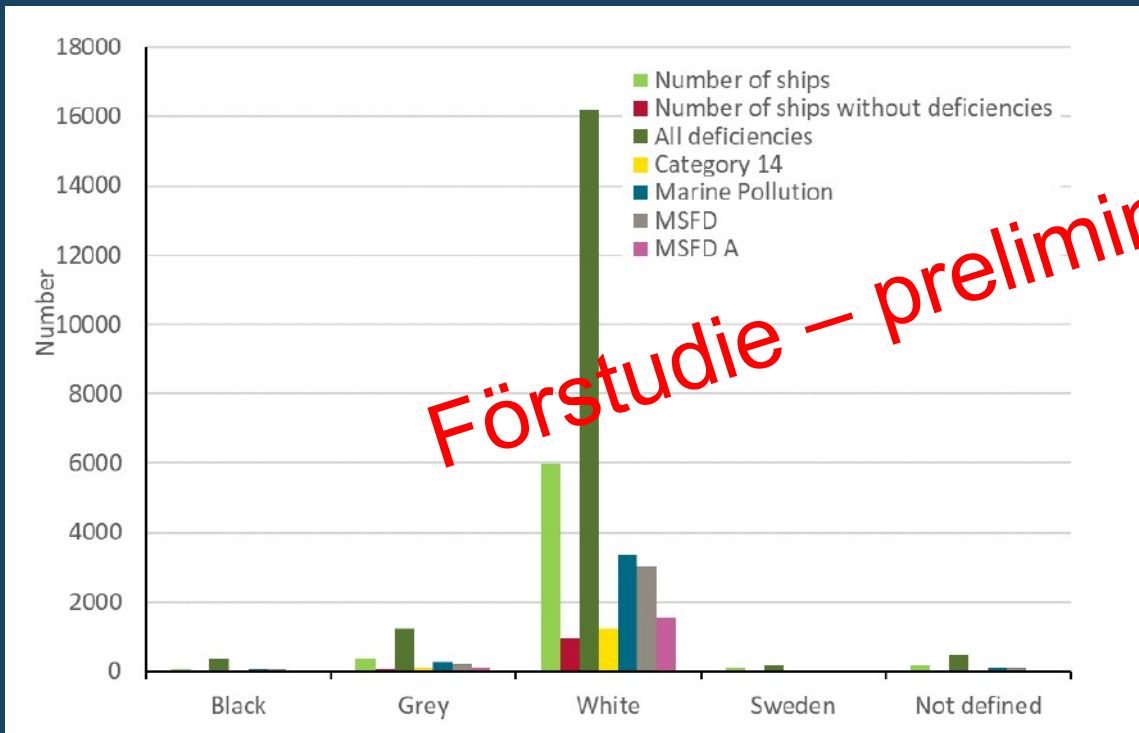
# Alternativa regleringsmodeller?



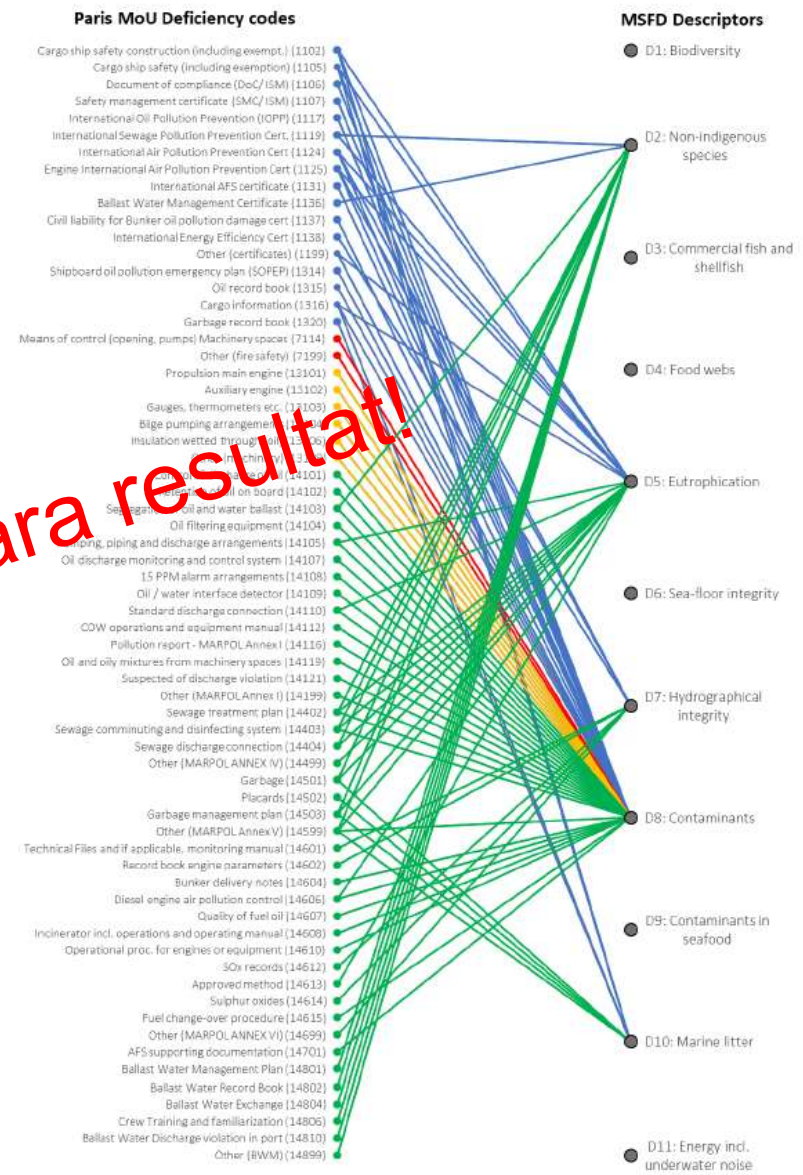
Exempelvis Poseidon Principles, idag endast inriktat på CO<sub>2</sub>, men skulle hypotetiskt kunna inkludera andra typer av belastningar

# Port State Control - Paris MoU

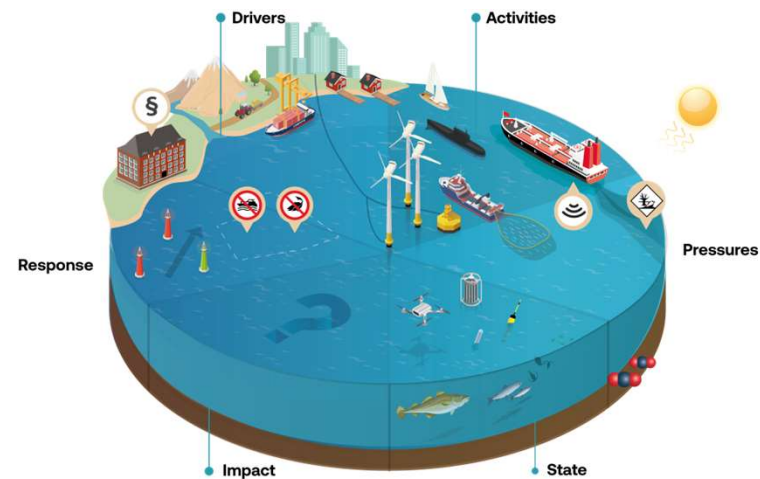
## Belastningen från alla fartyg på vita listan vs de få fartygen på den grå och svarta listan



**Förstudie – preliminära resultat!**



# Utmaningar att lösa



- System för att inkludera sjöfartens miljöpåverkan i havsförvaltningen (!), inkluderar förslagsvis även koppling till systemet för hamnstatskontroll
- Miljöpåverkan från hybridoljor (VLSFO och ULSFO)
- Farleders roll för marina ekosystem, inte minst i relation till skyddade områden



**Tack!**