

# Möglichkeiten der Abgasnachbehandlung zur Minimierung von SO<sub>x</sub>-/NO<sub>x</sub>-Emissionen

Hamburg/Leer, February 14<sup>th</sup>/15<sup>th</sup> 2018, Ralf Jürgens



- Kurzvorstellung ERC Technik GmbH
- Was sind SOx-, NOx- und Partikel Emissionen?
- Gesetzl. Grenzwerte
- Scrubber zur SOx-Abscheidung
  - Open Loop
  - Closed Loop
  - Triloop<sup>®</sup>
  - Dry Scrubber
  - Membrane Scrubber
- SCR-Katalysatoren zur Minimierung von NOx
  - SCR für 4-Takt Motoren
  - SCR für 2-Takt Motoren
- Feinstaub in der Schifffahrt

# Kurzvorstellung ERC Technik GmbH



Hauptsitz: Buchholz i.d.N.

Ca. 170 Mitarbeiter

Produktion von Additiven in: Wahlstedt, Buchholz / Germany

Niederlassungen: ERC s. r. o. Prague / Czech Republic

ERC sp. z o.o. Szczecin / Poland

ERC Chemtrols Ltd Mumbai / India

ERC Beijing, China

Fuel Workshop, Hamburg/Leer, February 14th/15th 2018

SNCR  
Prozess

- Selektive Nicht-Catalytische Reduktion bei hohen Abgastemperaturen

SCR  
Prozess

- Selektive Catalytische Reduktion bei niedrigen Abgastemperaturen

ERC Plus  
Prozess

- Kostengünstige Kombination von SNCR und SCR

Staub-  
reduzierung

- Filternde Abscheider und Additive

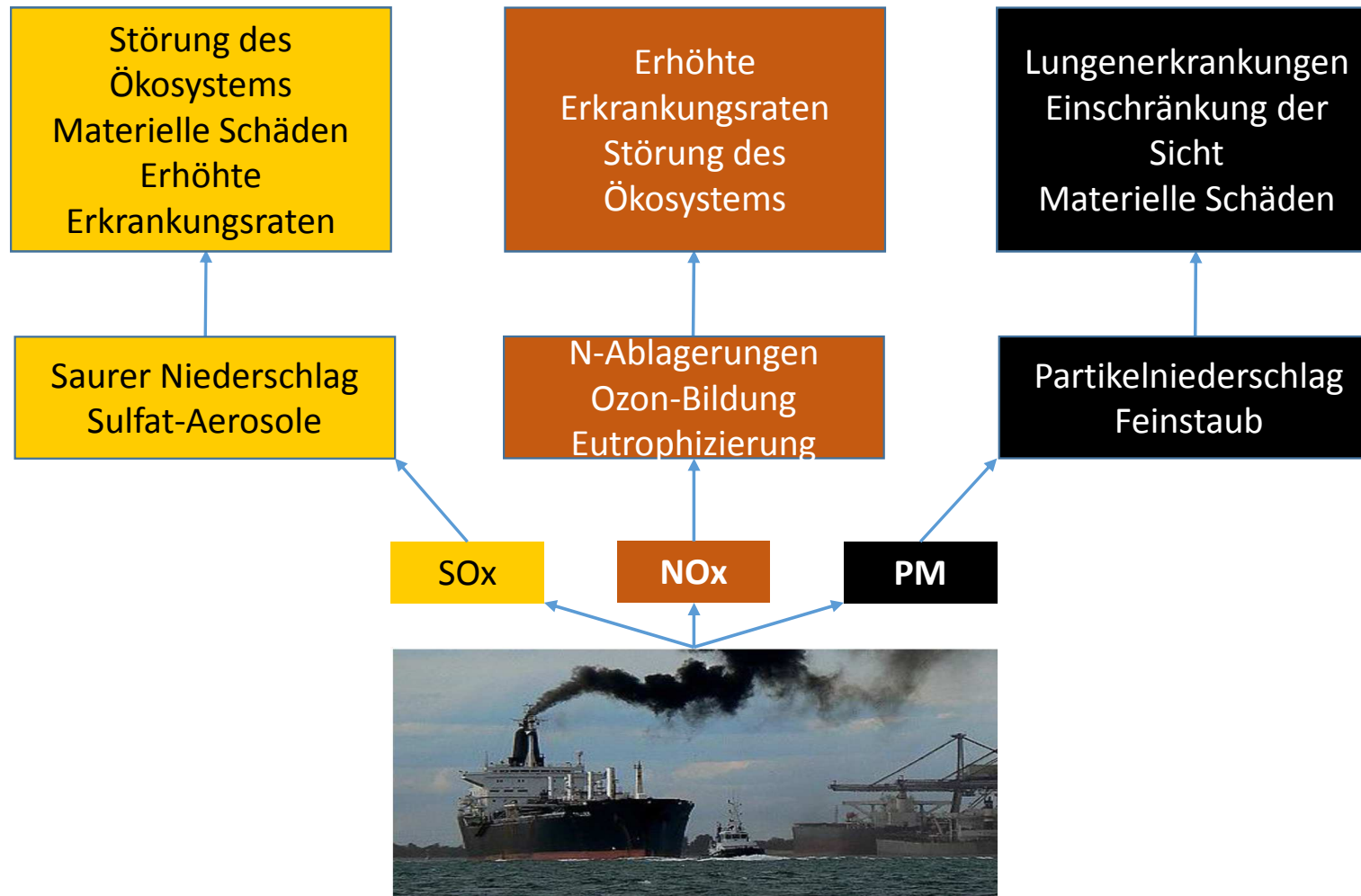
Ent-  
schwefelung

- Trockene, semi-trockene und Naßverfahren für Landkraftwerke

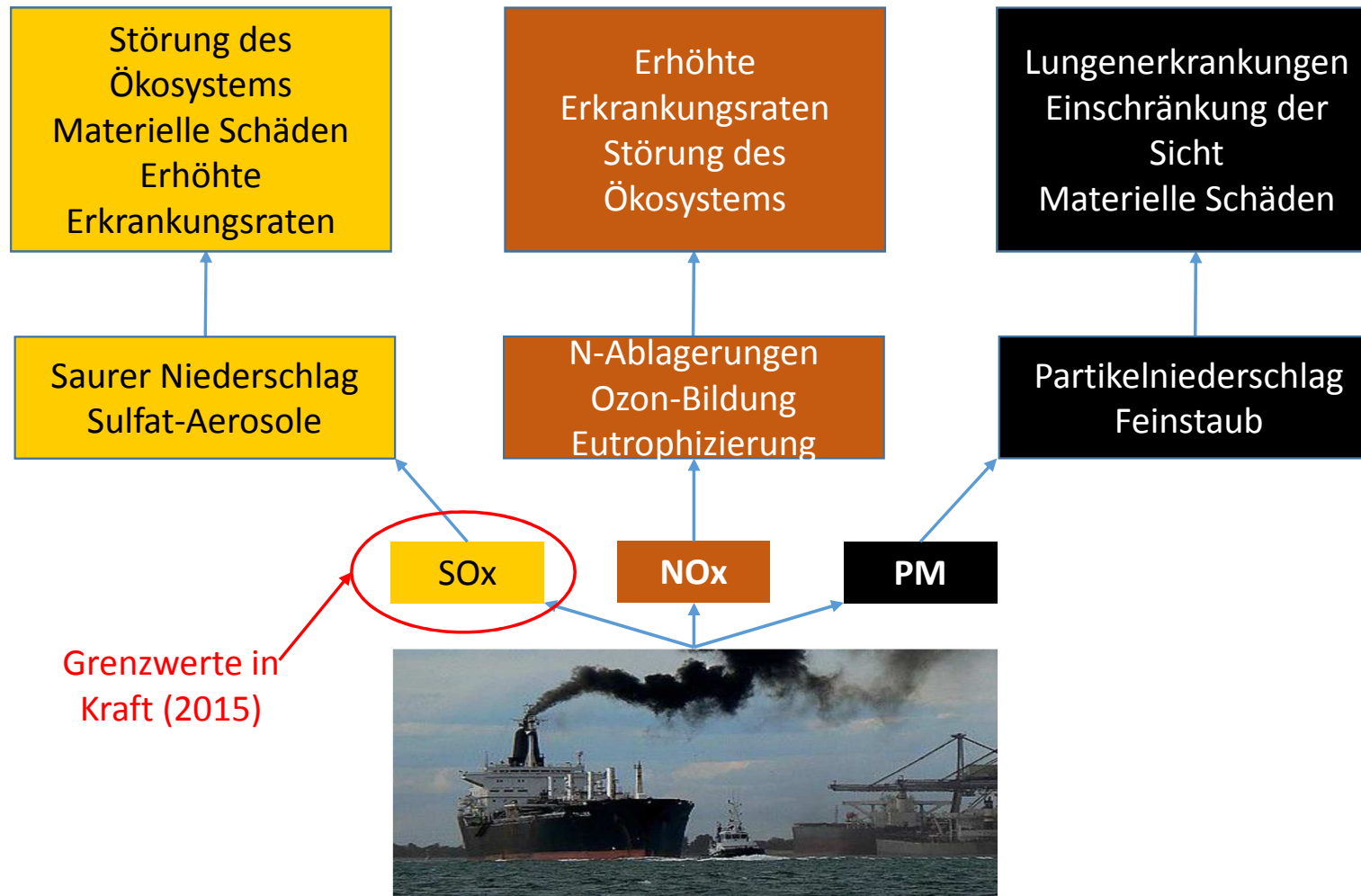
Offshore

- DeNOx, DeSOx, Kraftstoffadditive

# SOx -, NOx - und Partikelemissionen

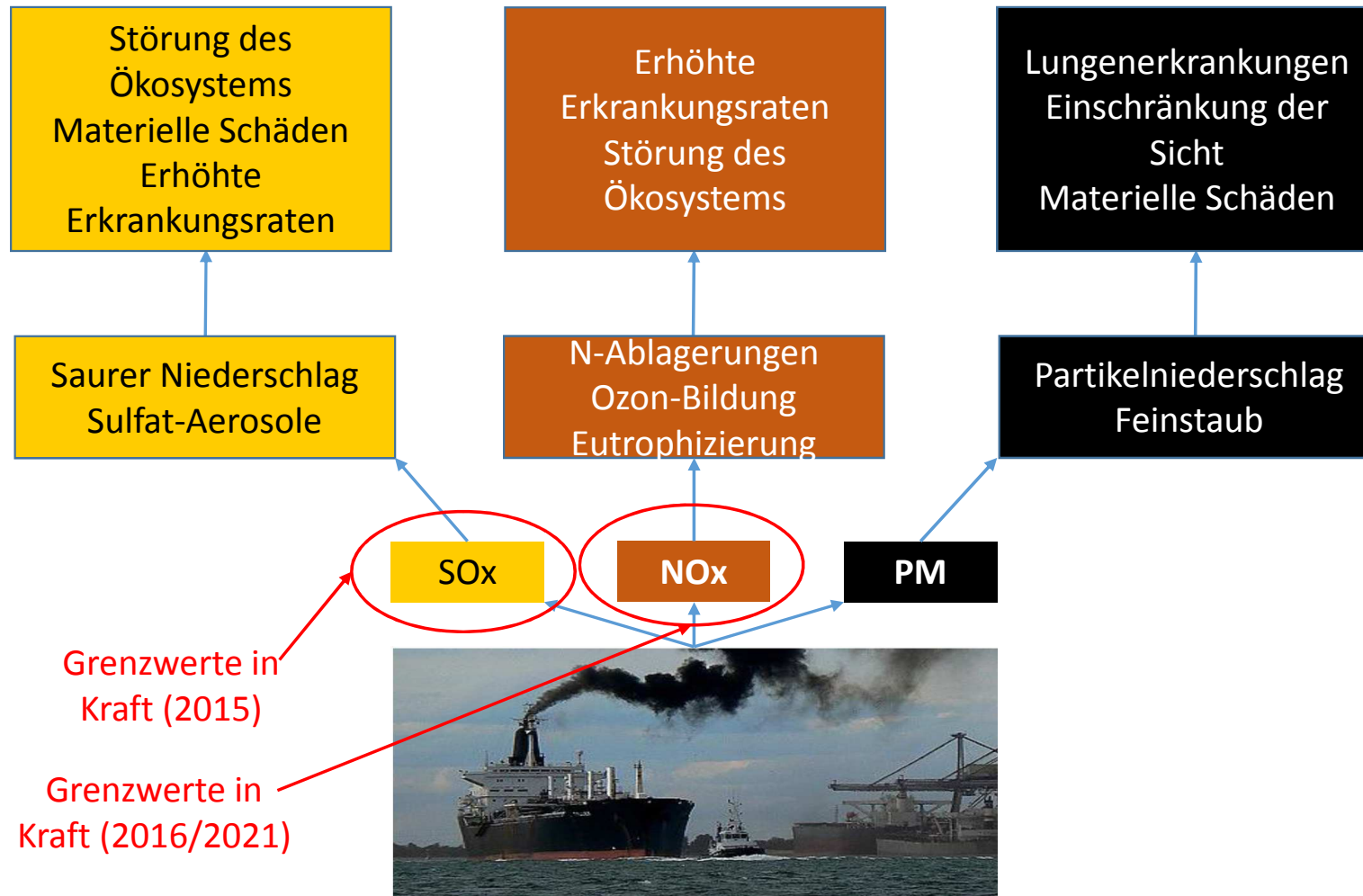


# SOx -, NOx - und Partikelemissionen

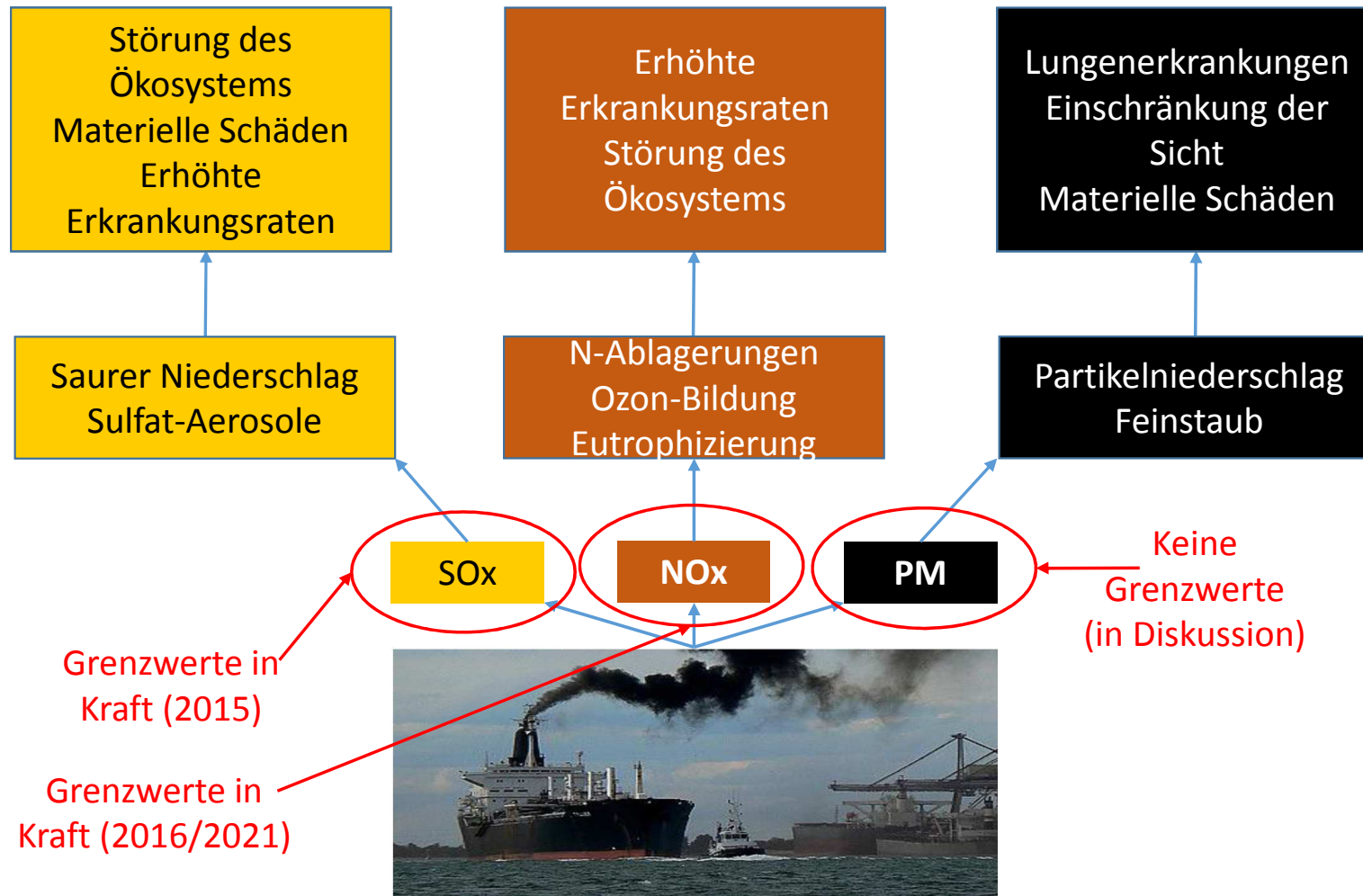




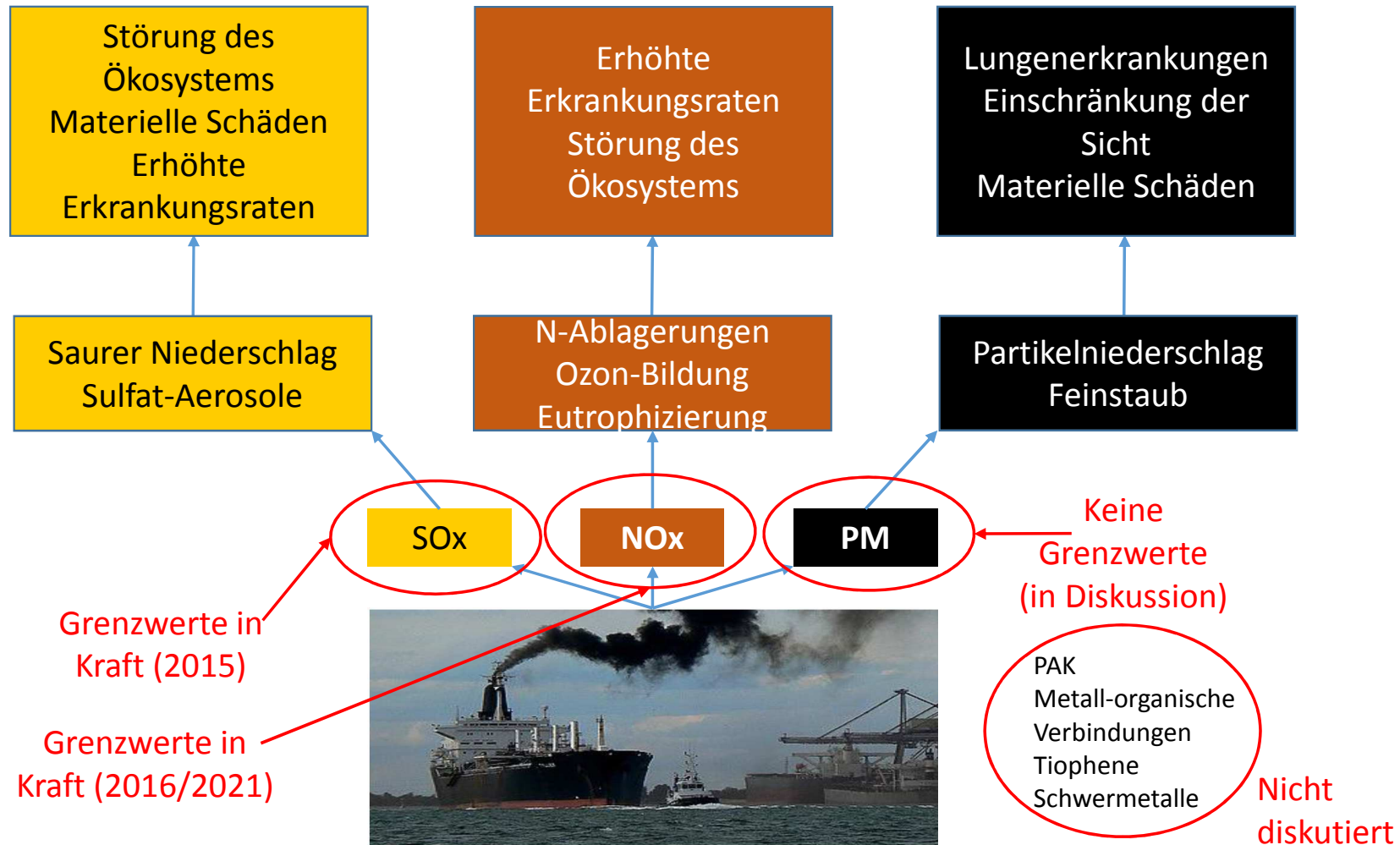
# SOx -, NOx - und Partikelemissionen



# SOx -, NOx - und Partikelemissionen



# SOx -, NOx - und Partikelemissionen





# Gesetzl. Regulierungen SOx und NOx



## IMO Marpol Annex VI

2015, 2016, 2020  
(MEPC259.68, MEPC198.62)

## Regional Regulations

Existing and upcoming ECAs  
EU directives  
EPA (North America) regulations

## Technical Solutions

**Low Sulphur Fuel**

**DF/LNG**

**HFO + Abatement Technologies**

*Marine Gas Oil*

*Methane Slip Catalyst*

*Scrubber (DeSO<sub>x</sub>), PM*

*Fuel Blends  
(i.e. HDME50)*

*SCR (DeNO<sub>x</sub>)*

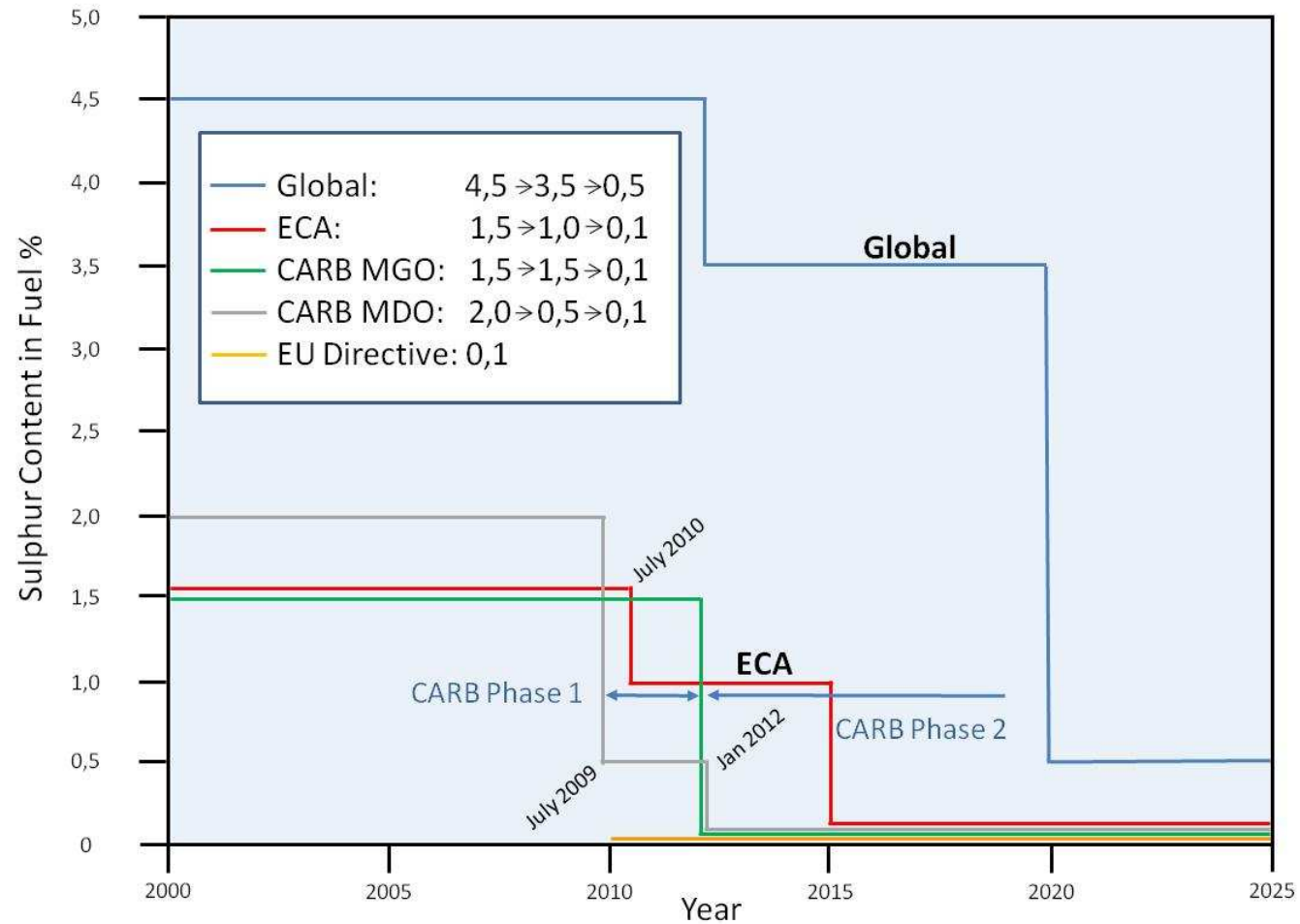
## Other Issues

PM, Black Carbon,  
Heavy Metals

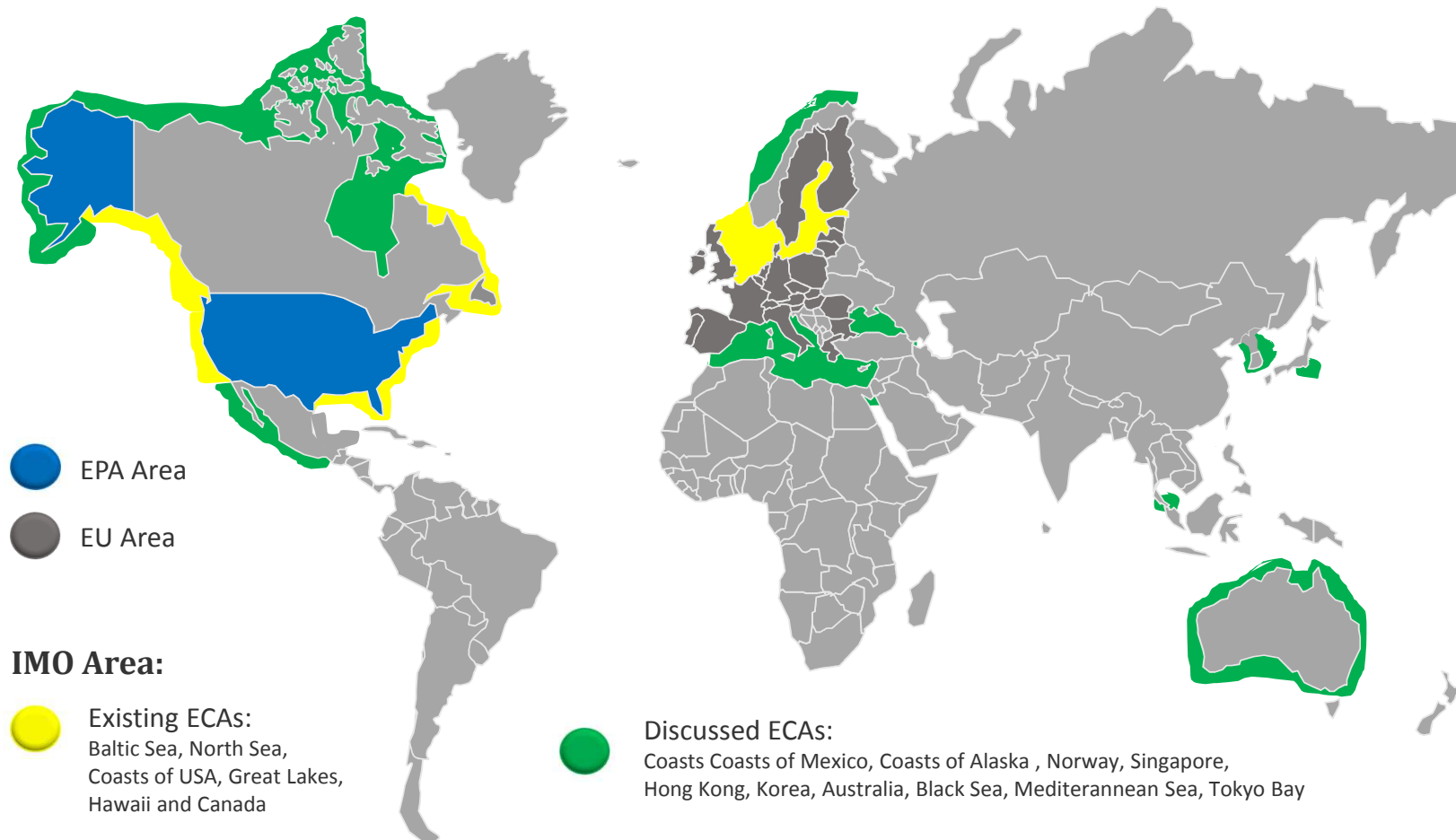
Methane Slip (LNG)

CO<sub>2</sub> Reduction

# Gesetzl. Regulierungen SOx



# Gesetzl. Regulierungen Sox, ECA Zones



# Vergleich Emissionsgrenzwerte

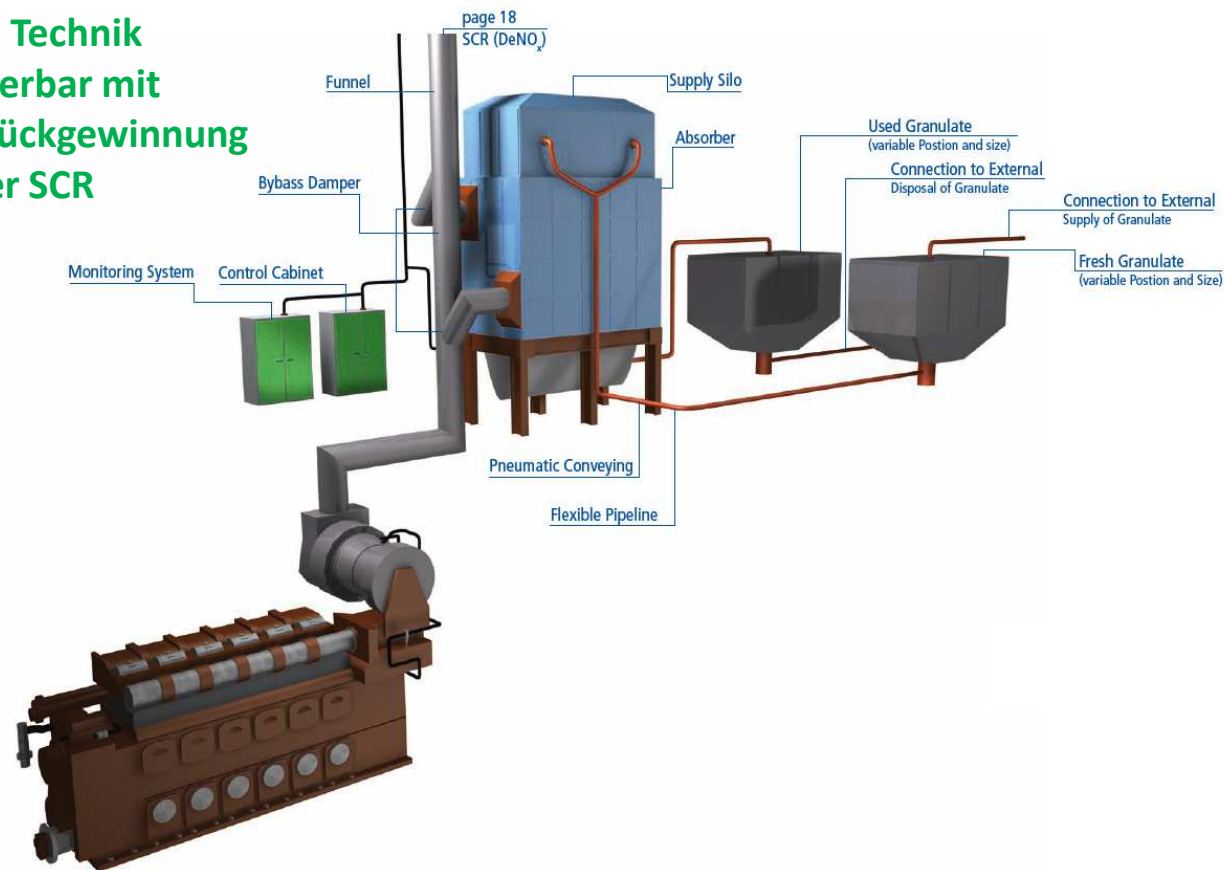


Tagesmittelwert in mg/Nm <sup>3</sup>	13. BImSchV z.B. Kraftwerk	TA-Luft z.B. Hochofen	TA-Luft z.B. Zementwerk	17. BImSchV z.B. Abfallverbrennung	IMO Schifffahrt
Staub	<50	<50	<50	<10	n.n.
SO <sub>2</sub>	<400	<500	<400	<50	<80
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> )	<800	<500	<1300	<200	<300

- Open Loop
- Closed Loop
- Triloop<sup>©</sup>
- Dry Scrubber
- Membrane Scrubber

# Scrubber zur SOx-Abscheidung, Dry Scrubber

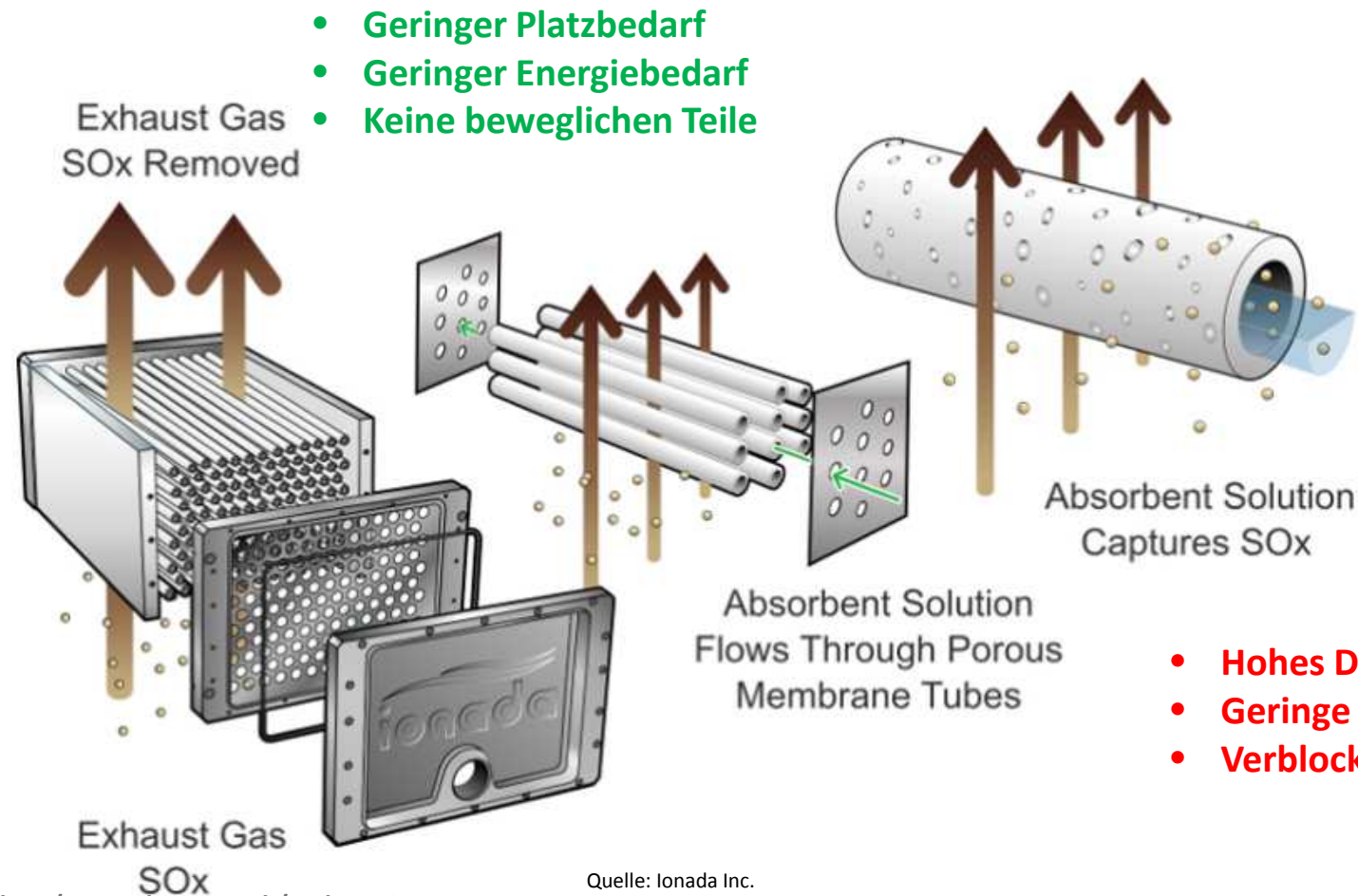
- Einfache Technik
- Kombinierbar mit Wärmerückgewinnung und/oder SCR



- Hohes Gewicht
- Platzbedarf
- Granulatversorgung
- Nur für 4-Takter

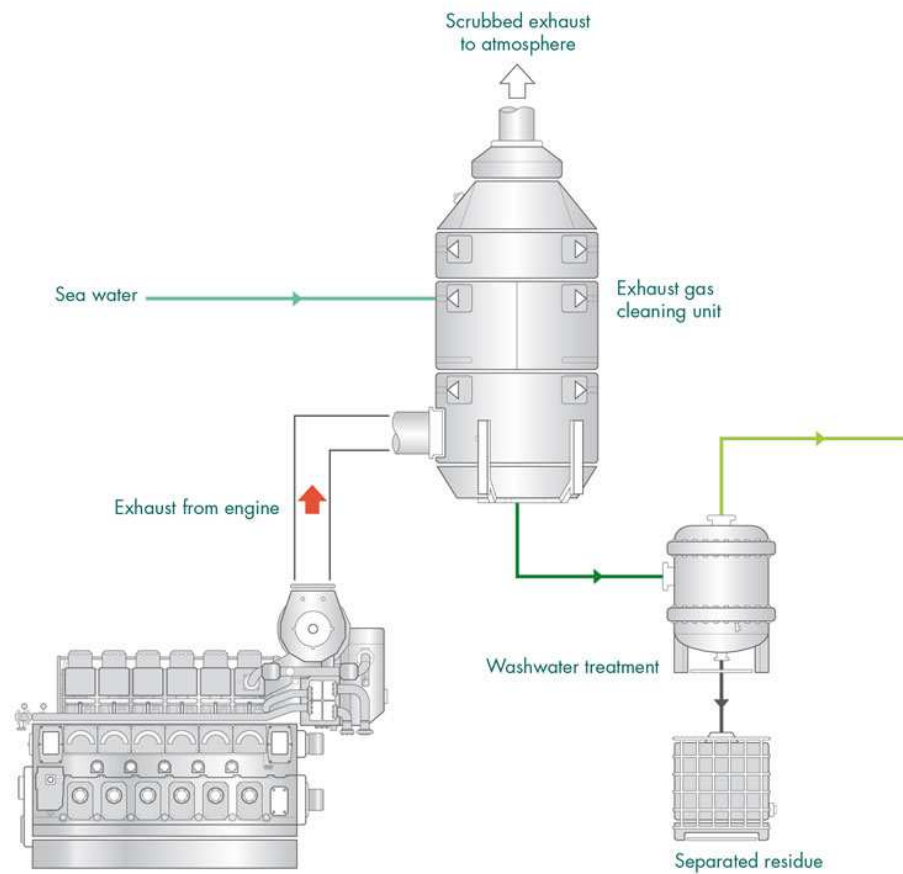


# Scrubber zur SOx-Abscheidung, Membrane Scrubber



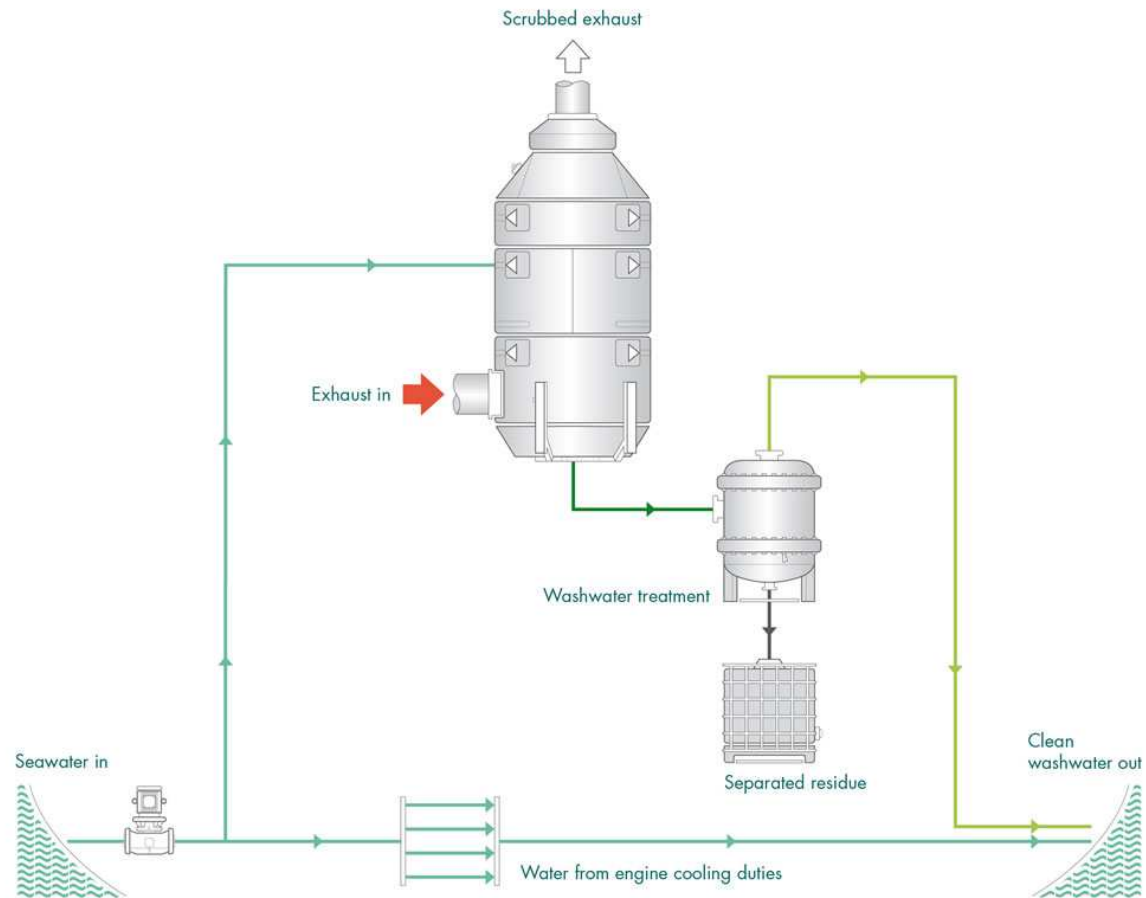
- Hohes Druckverlust
- Geringe Abscheideraten
- Verblocken der Membranen

# Wet Scrubber, basic components



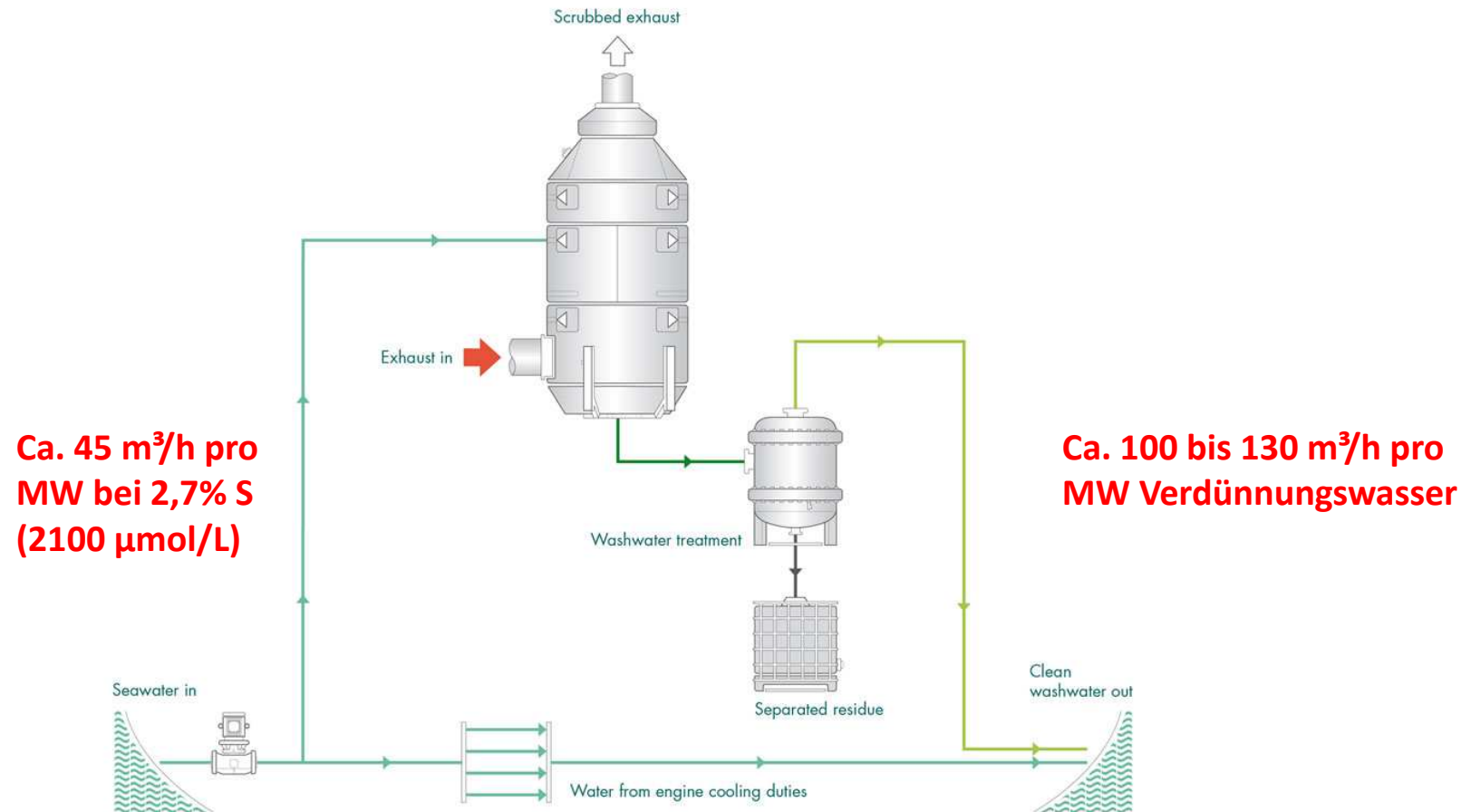
Quelle: EGCSA

# Wet Scrubber Open Loop



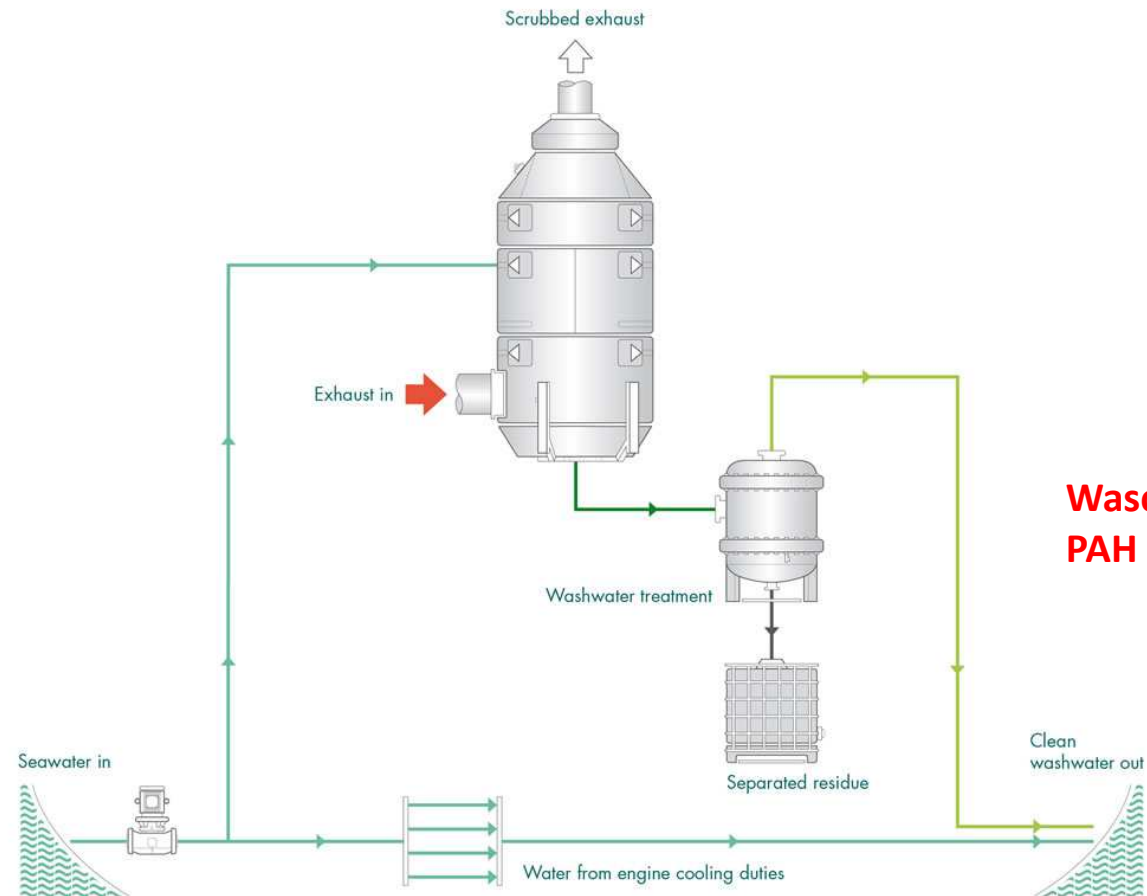
Quelle: EGCSA

# Wet Scrubber Open Loop



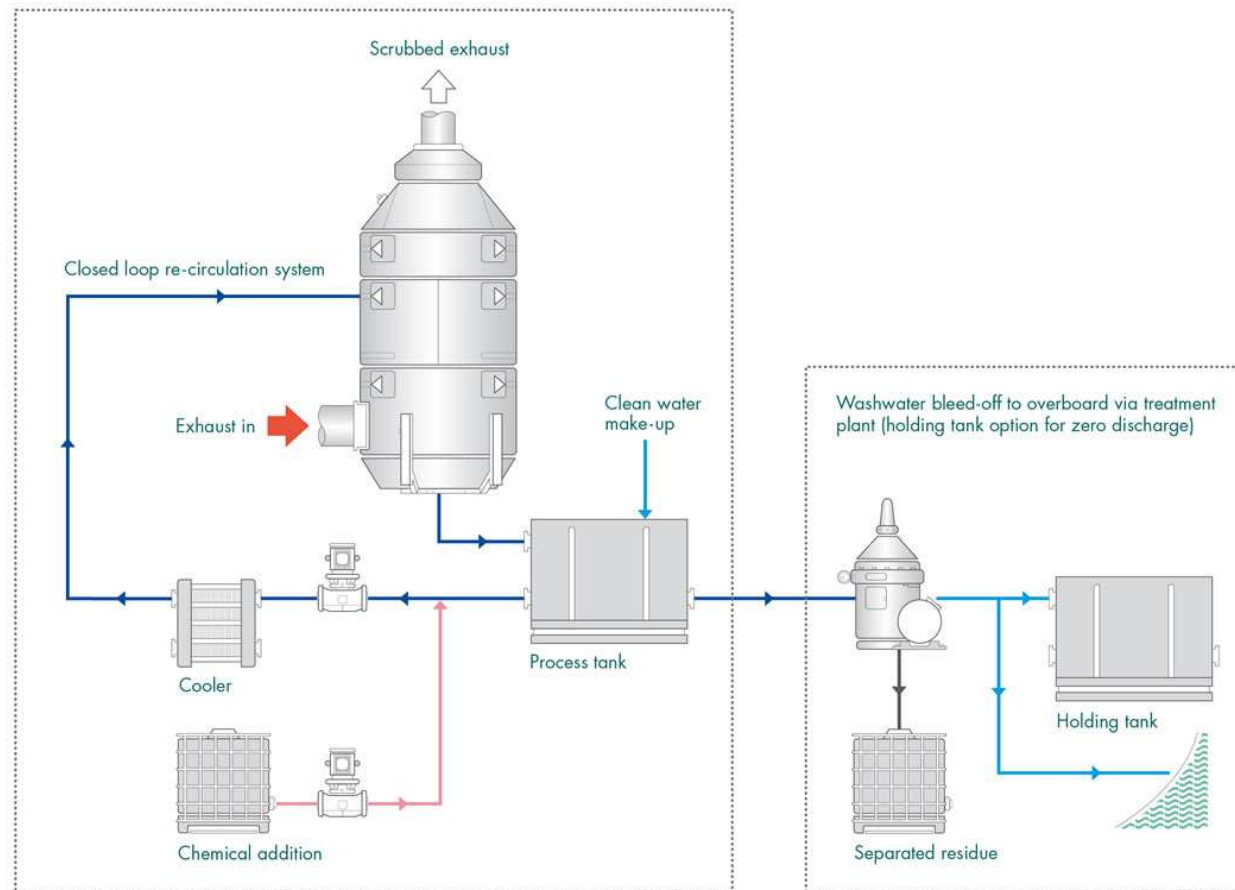
Quelle: EGCSA

# Wet Scrubber Open Loop



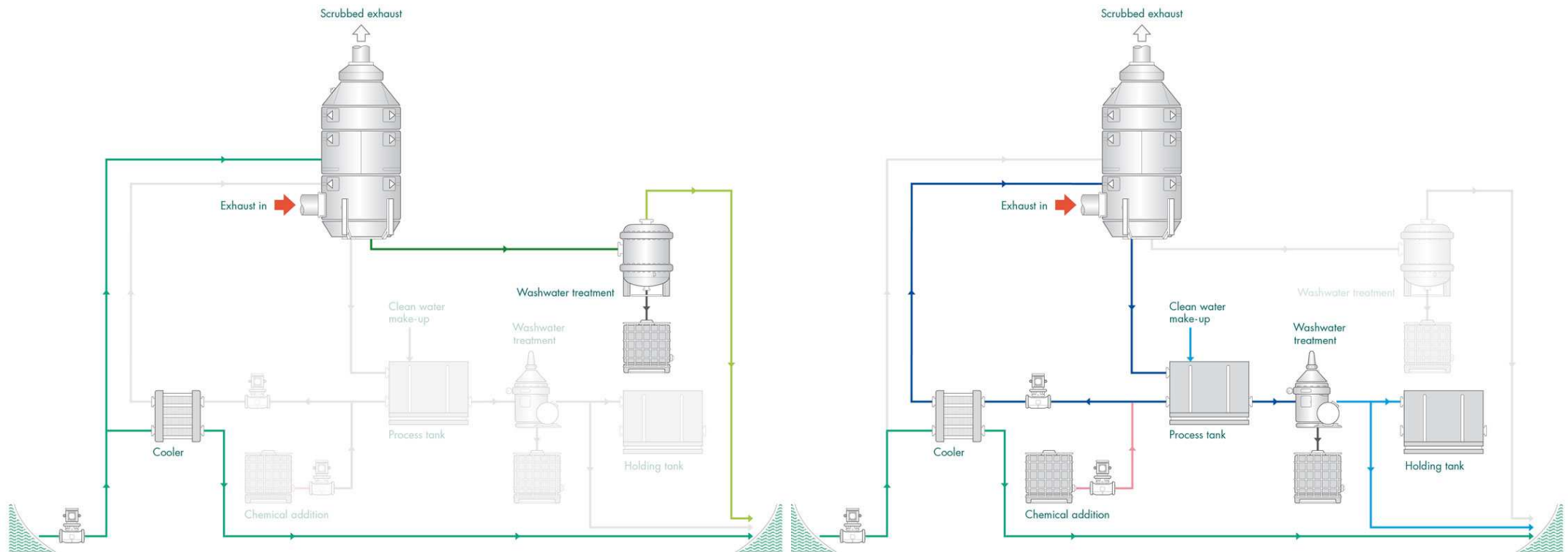
Quelle: EGCSA

# Wet Scrubber Closed Loop





# Hybrid Wet Scrubber



Quelle: EGCSA

**Open Loop Operation**

**Closed Loop Operation**

## Vorteile

## Open Loop Operation

## Nachteile

- Einfacher Prozess
- Kein Einsatz von Chemikalien erforderlich (wenn Alkalinität ausreichend)
- Geeignet auch für große Motorleistungen
- Äquivalenzwert zu 0,5% S einfach einzuhalten

- Geringe Reinigung des Prozesswasser
- Hoher Energieverbrauch der Verdünnungswasserpumpen
- Prozesswassermenge abhängig von Alkalinität des Seewassers
- Geringe Akzeptanz (Ostsee, Häfen, Flussmündungen etc.)
- Nur PAH und Partikel werden abgeschieden

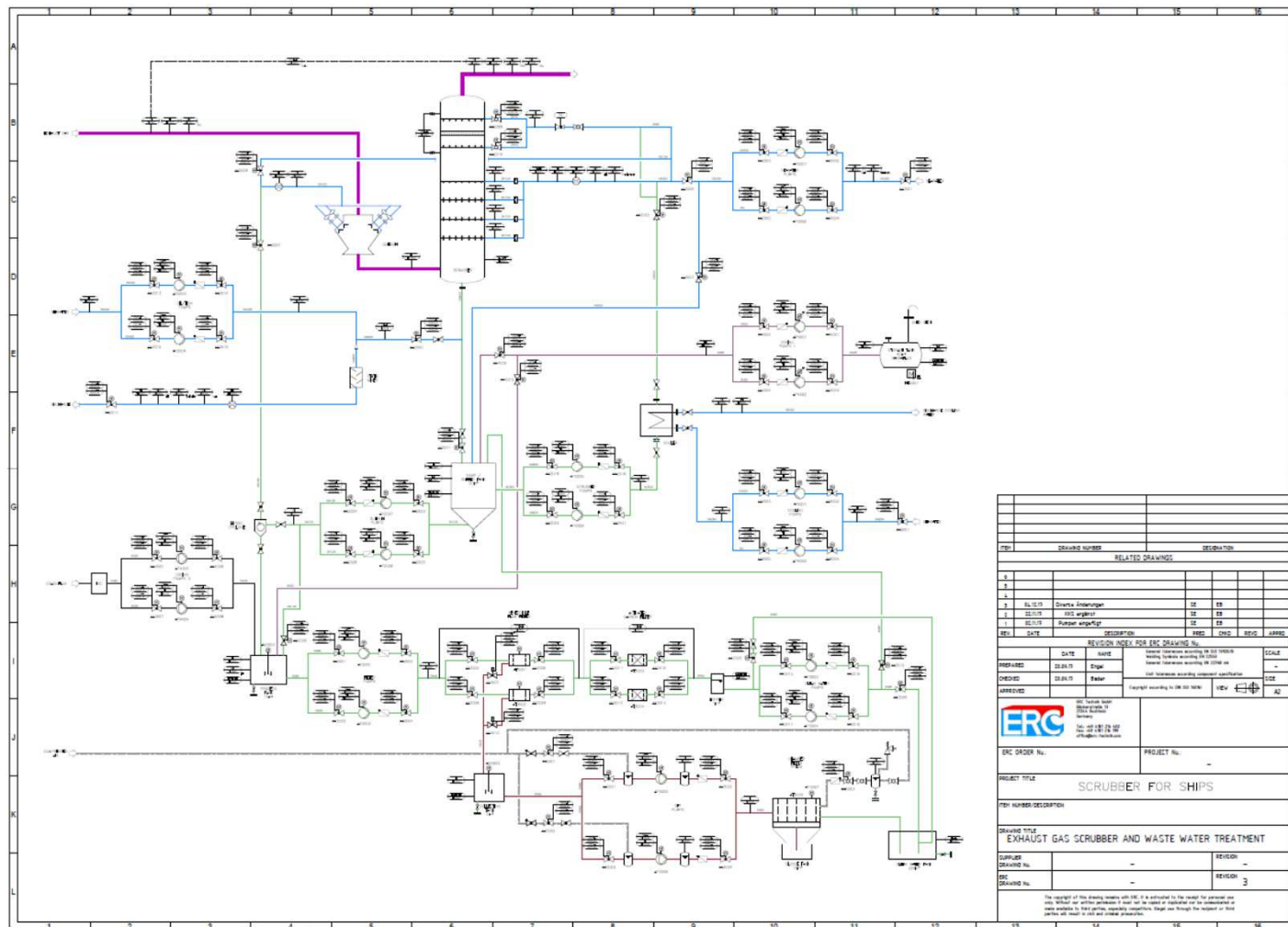
## Vorteile

## Closed Loop Operation

## Nachteile

- Hoher Flexibilität
- Geringere Pumpenleistung
- Hohe SO<sub>2</sub>-Abscheideraten durch Einsatz von Alkalien
- Äquivalenzwert zu 0,1% S problemlos einzuhalten
- Geringe Emissionen an die Umwelt

- Größere Komplexität
- Frischwasser muss an Bord erzeugt werden
- Reichweite des Schiffes durch Größe des Sludge Tanks und des Holding Tanks begrenzt
- Kosten für Chemikalien (NaOH, MgO oder NaHCO<sub>3</sub>)
- Nur PAH und Partikel werden abgeschieden

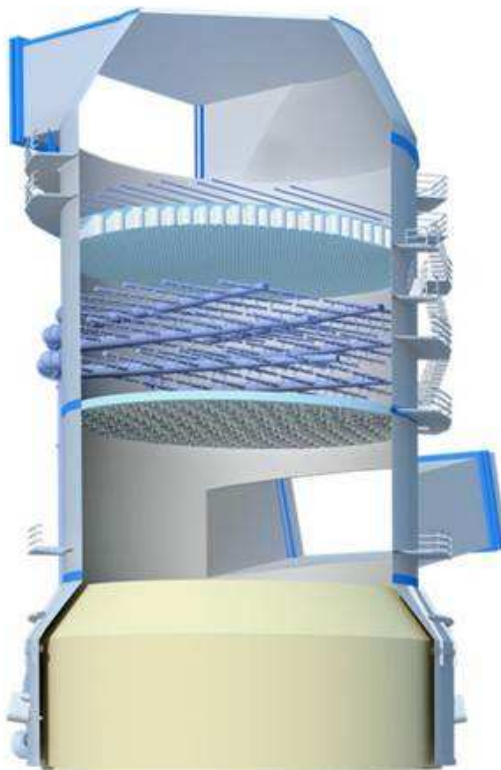


- Triloop nutzt das derzeit effizienteste Waschwasser-Aufbereitungssystem:
  - Fällung der Schwermetalle
  - Hydrocyclone und Reverse Flow Filter zur Feststoffabscheidung
  - Aktivkohlefilter zur Abscheidung der PAHs
  - Kammerfilterpresse zur Schlammmentwässerung
- Weitere Eigenschaften:
  - Rotating Turbolator zur Durchmischung von Flüssig-und Gasphasen
  - Patentierte Lanzen- und Düsensystem
  - Tröpfchenabscheider mit Partikelabscheidung

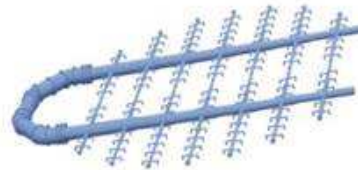
- Zur Einstellung des pH-Wertes des Prozesswassers können folgende Alkalien eingesetzt werden:
  - Natronlauge (50%, NaOH), auch bekannt als „caustic soda“
  - Magnesiumoxid (MgO, pulverförmig)
  - Natriumbicarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ , pulverförmig), auch bekannt als Backpulver







Centrifugal Tube  
Bundled De-dust  
& De-mist Device

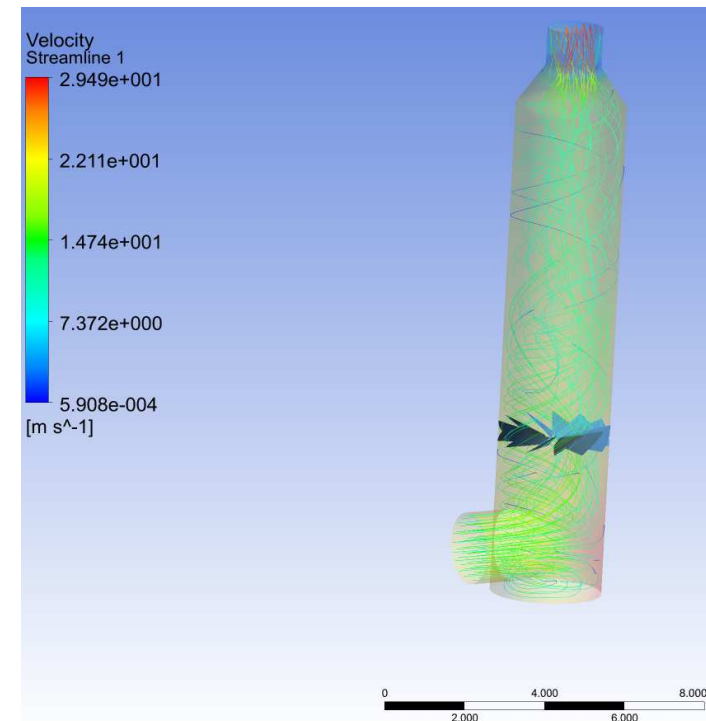


Patented Spray  
Layers

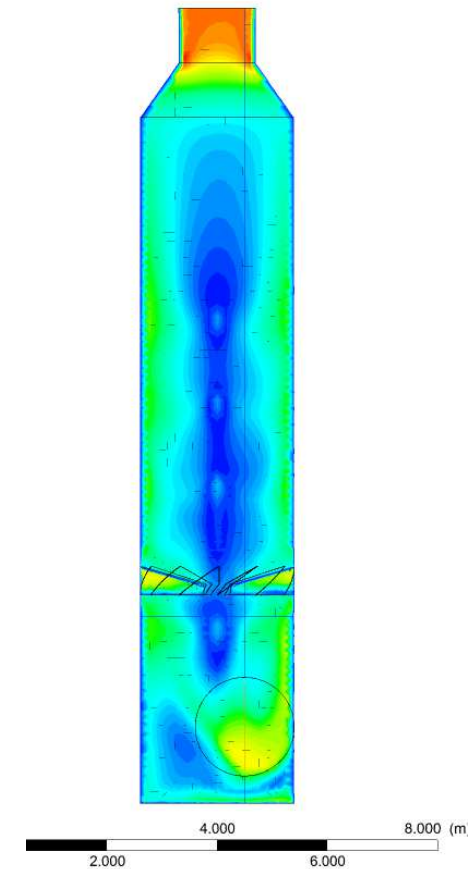
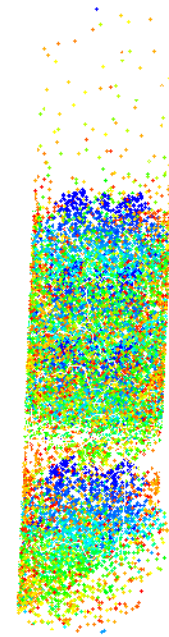
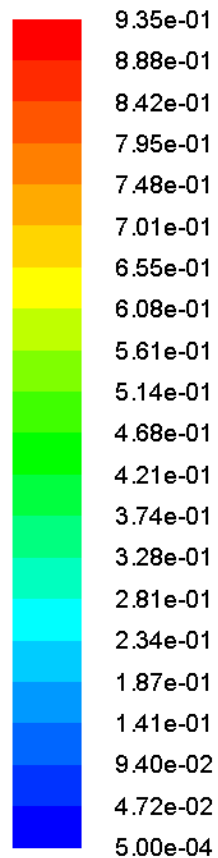


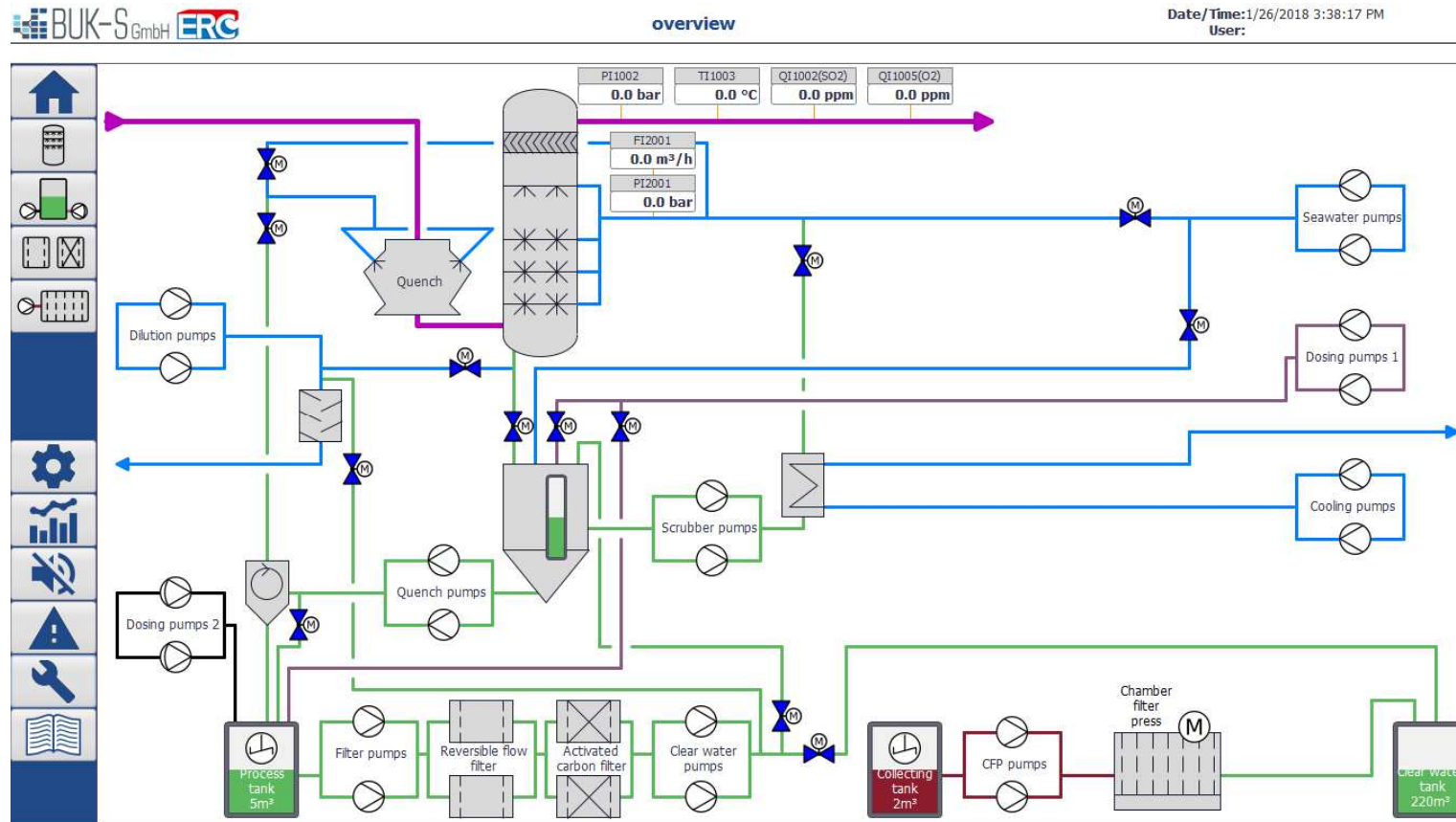
Patented Revolving  
Turbulator

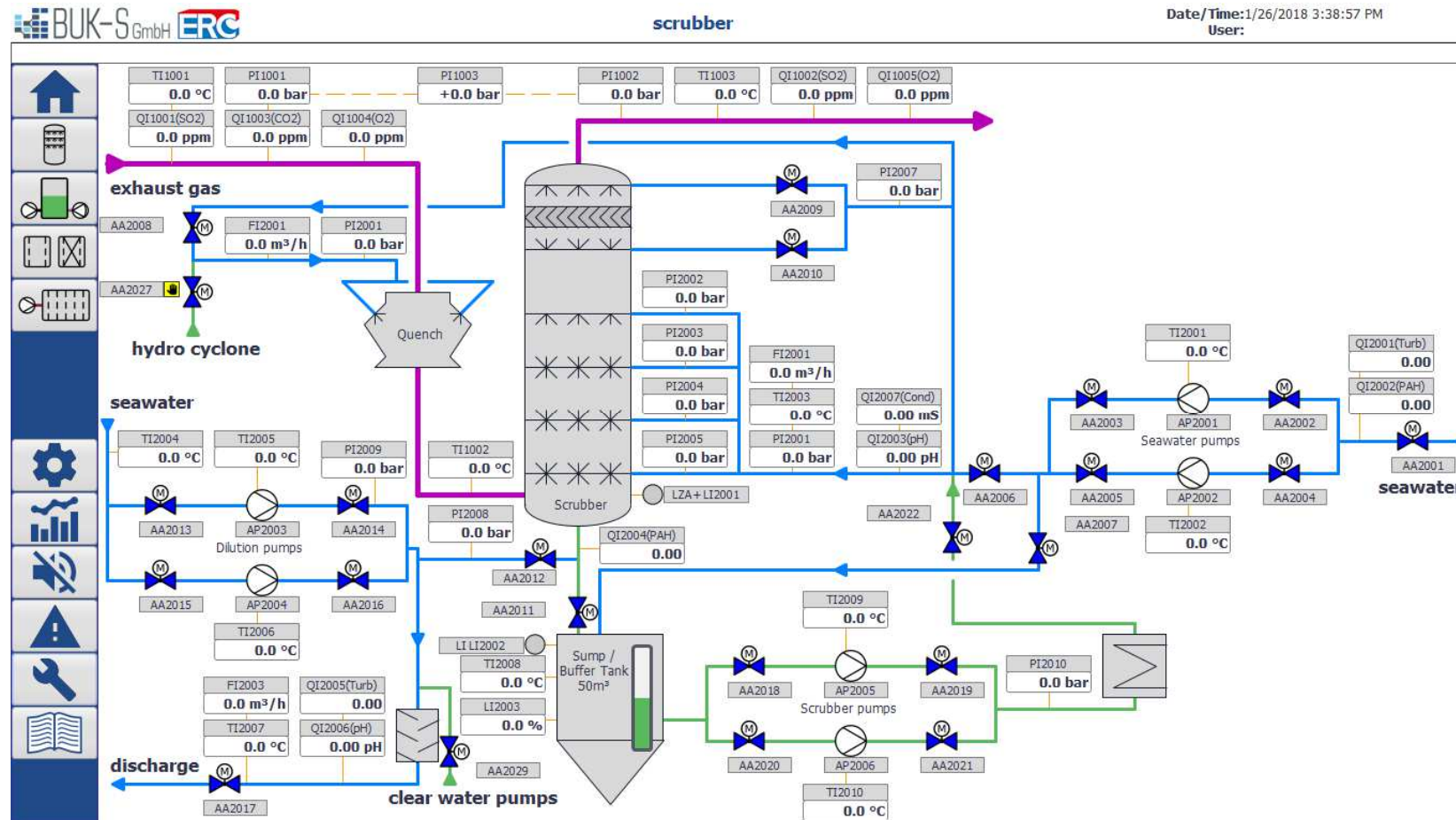
- Hohe SO<sub>2</sub>-Abscheiderate(bis zu 98%)
- Hohe Partikelabscheidung (> 95%)
- Niedrige Abgasgegendruck durch Optimierung mittels CFD-Simulation
- Kann als Bypass betrieben werden
- Kann Schalldämpfer ersetzen

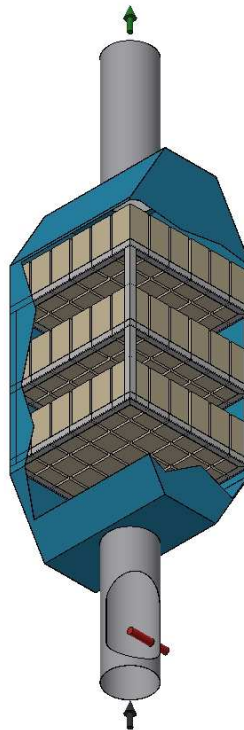


- Optimierung der Sprühdüsen
- Ideale Positionierung der Düsenlanzen
- Führt zu hoher Partikel- und SO<sub>x</sub>-Abscheidung

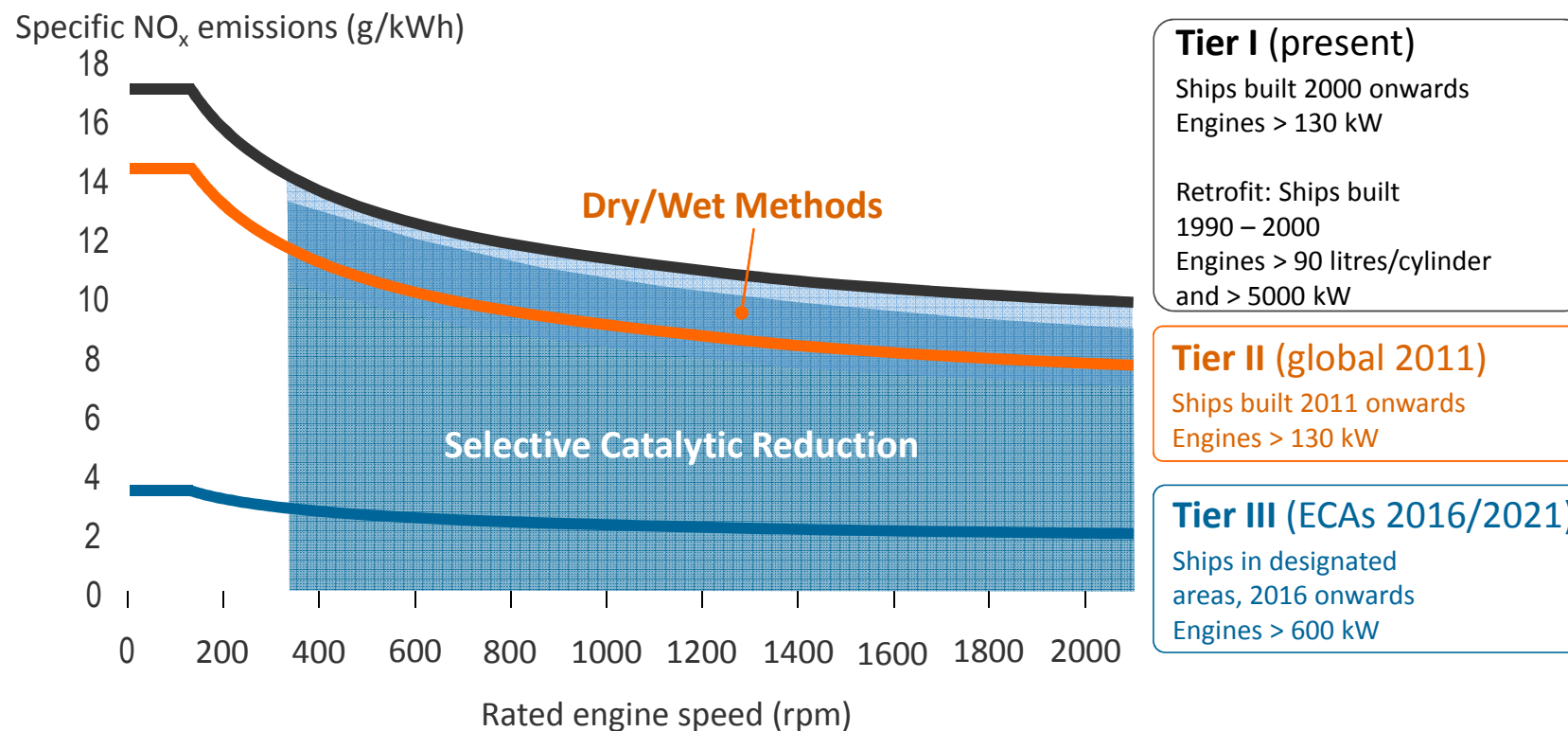






**DeNO<sub>x</sub> SCR**

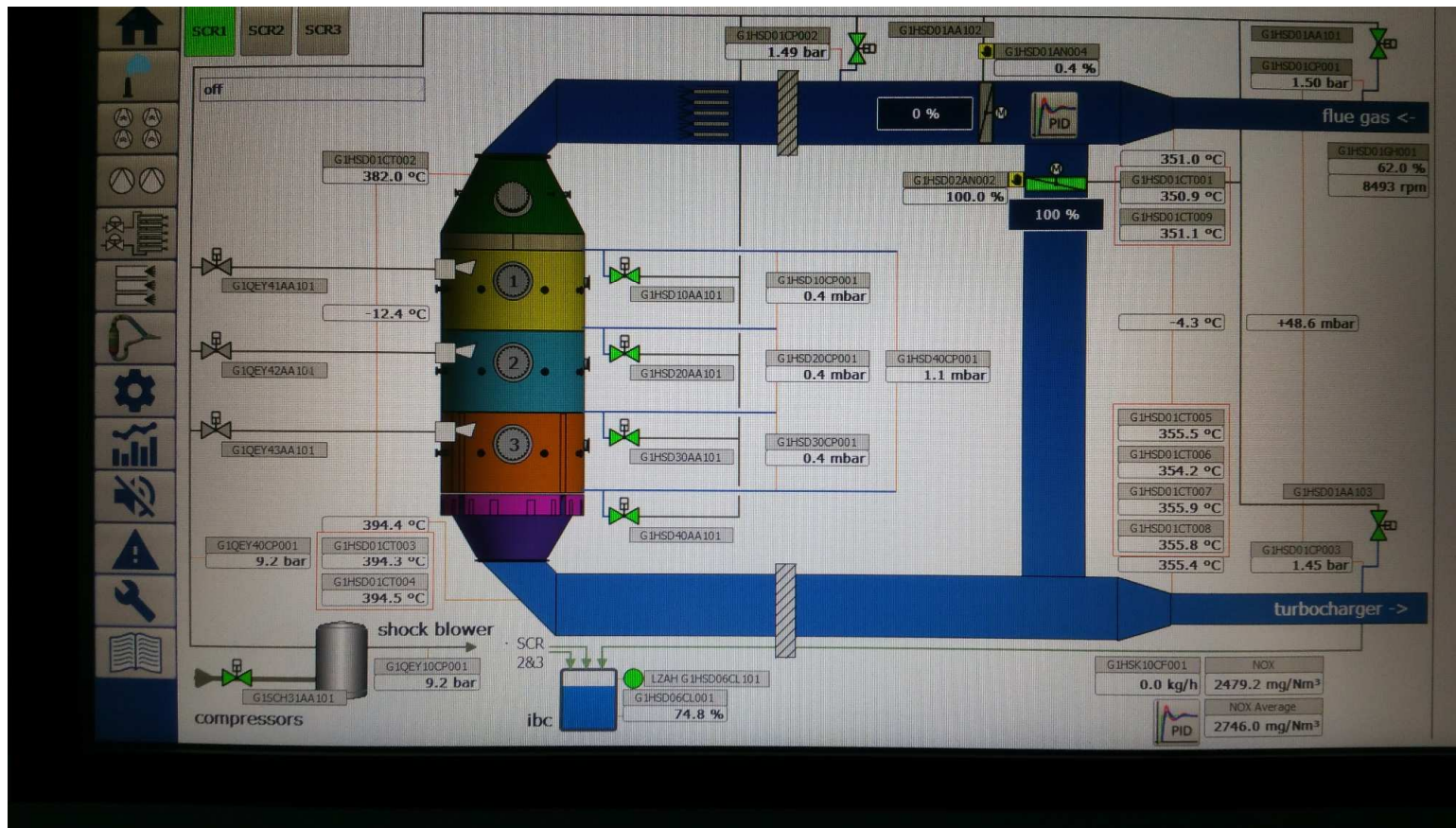


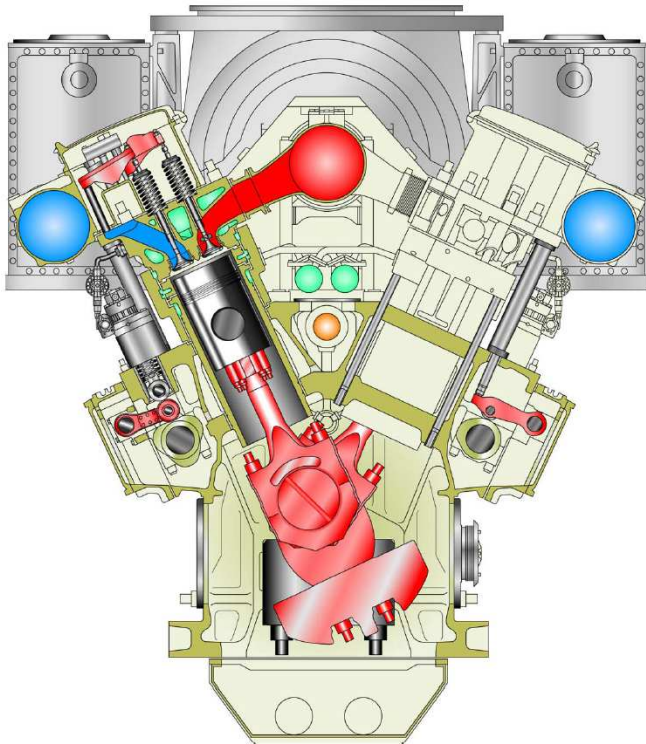




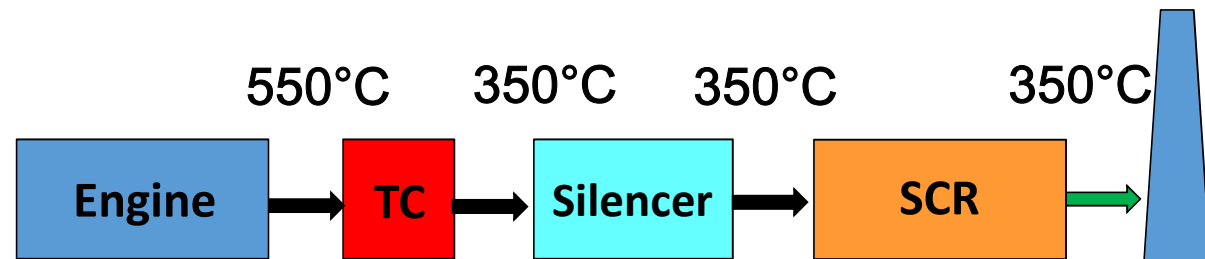
## Hochdruck-SCR vor TC einer 12K50 mit 18.000 kW, HFO-Betrieb

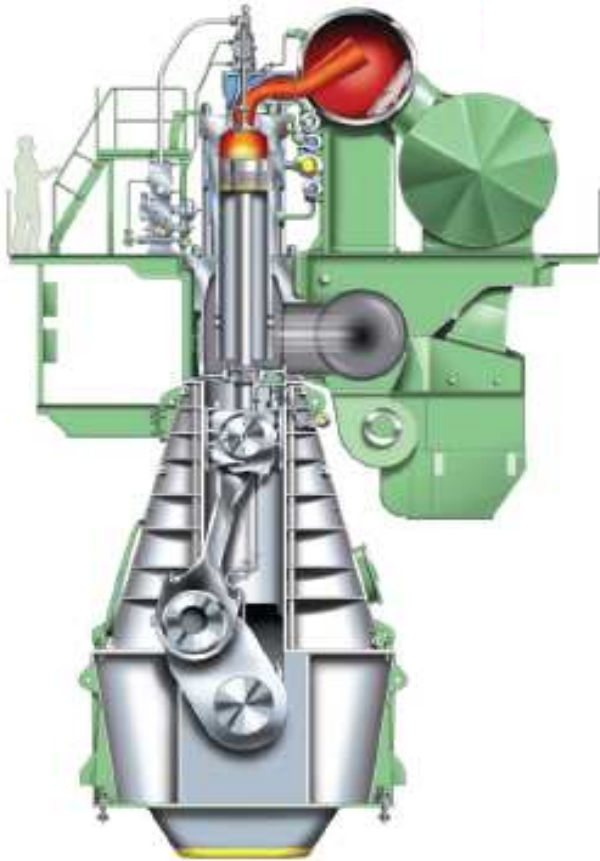




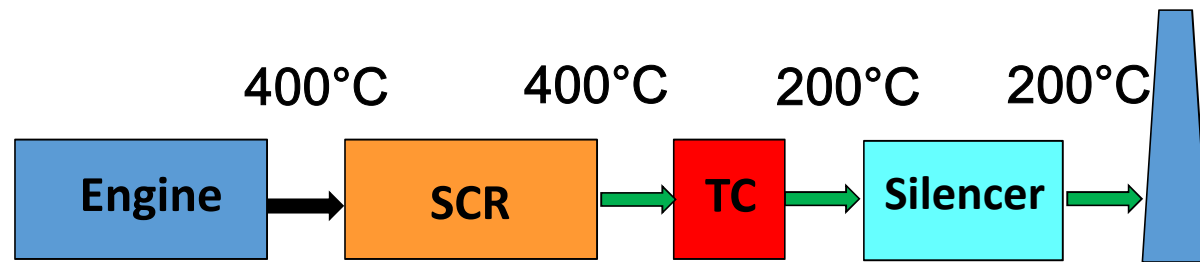


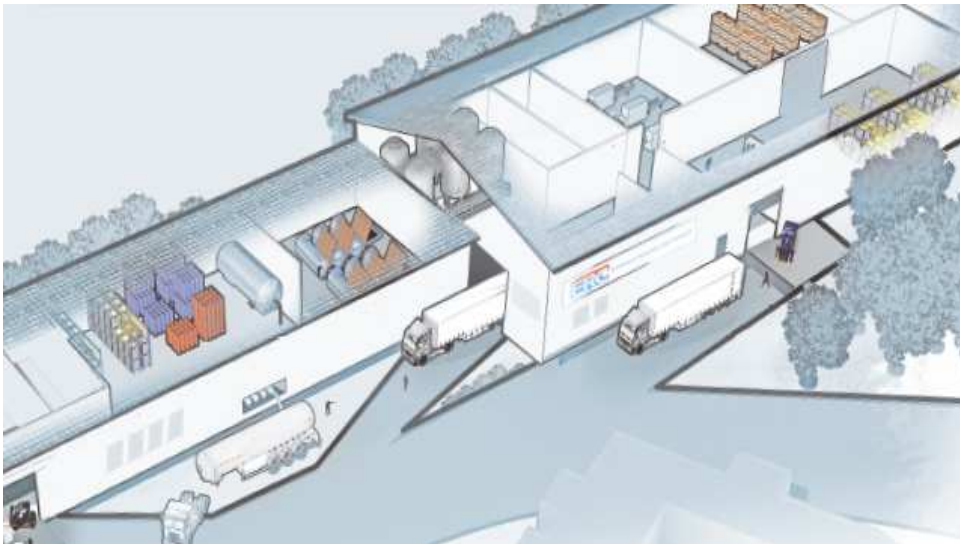
Quelle: MAN Diesel & Turbo





Quelle: MAN Diesel & Turbo





**satamin**

**Ausbrandverbesserer mit SO<sub>3</sub>-Reduzierung**

**carbamin**

**Urea-Lösung für SCR und SNCR**

**MProver**

**Ausbrandverbesserer mit Rußminderung**

**carbaflux**

**Fällungsmittel für Schwermetalle**

**carbanox**

**Harnstoff-Lösung für SCR-Katalysatoren**

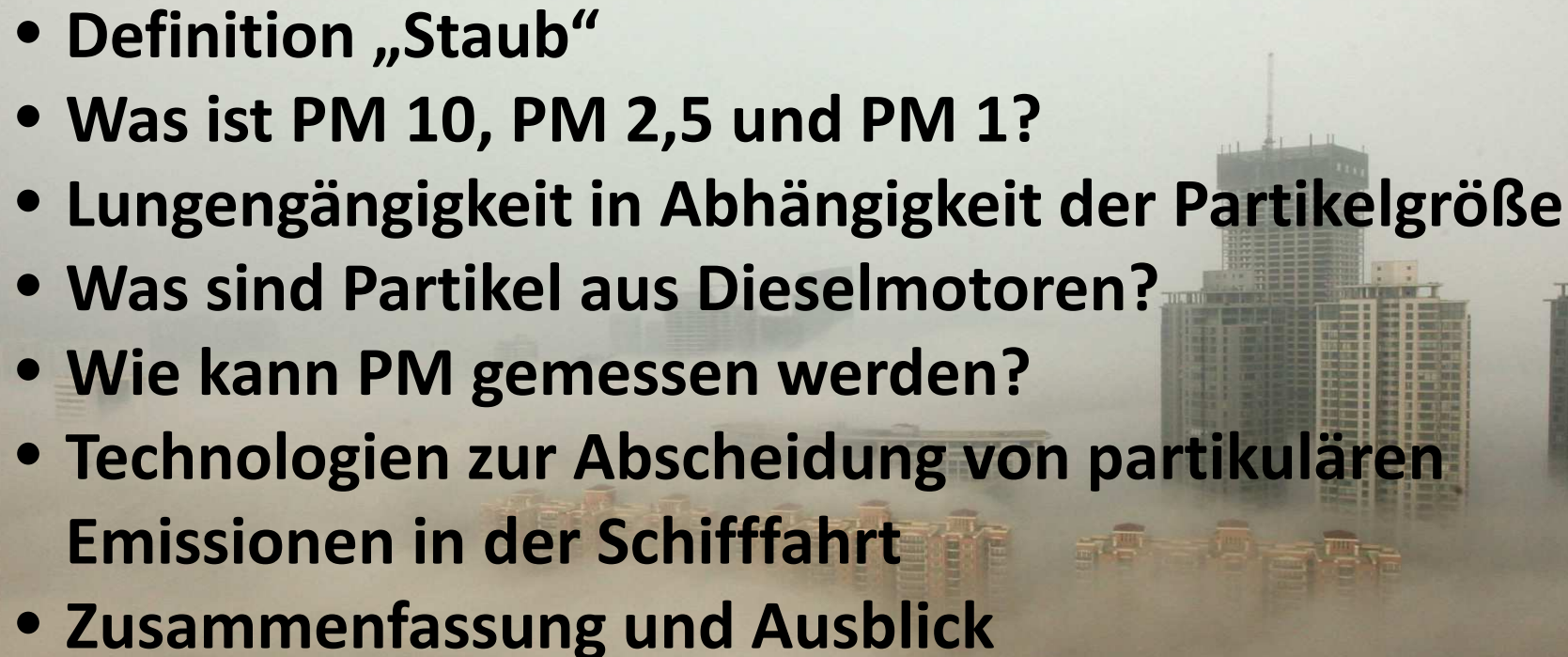
**carbasox**

**Alkalien für Wäscherbetrieb**

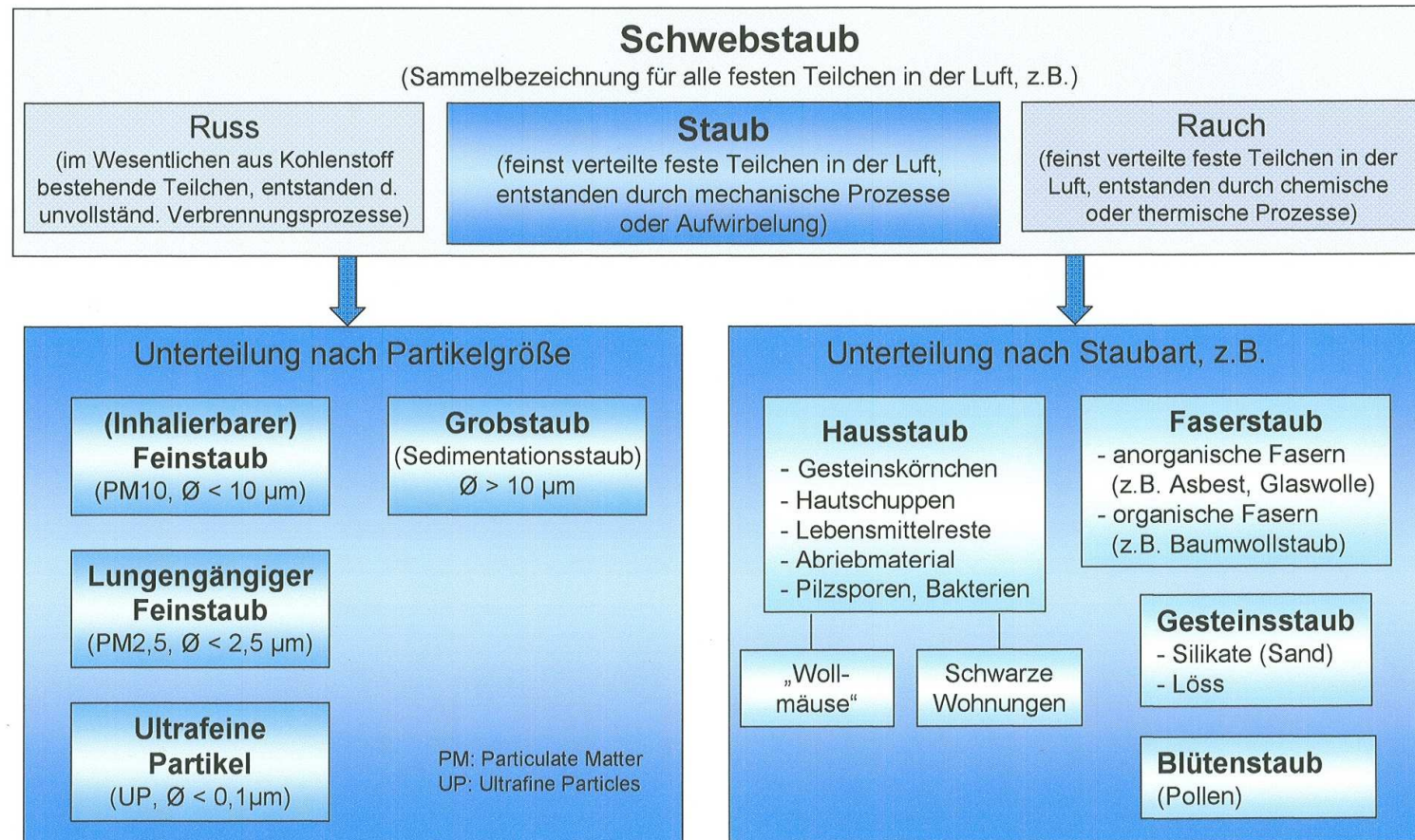


# Feinstaub in der Schifffahrt



- 
- The background of the slide is a photograph of a city skyline, likely in East Asia, completely obscured by a thick layer of grey smog or haze. Several tall, modern skyscrapers are visible, their details softened by the pollution. In the foreground, there are some lower-rise buildings and what appears to be a body of water, also shrouded in the haze.
- **Definition „Staub“**
  - **Was ist PM 10, PM 2,5 und PM 1?**
  - **Lungengängigkeit in Abhängigkeit der Partikelgröße**
  - **Was sind Partikel aus Dieselmotoren?**
  - **Wie kann PM gemessen werden?**
  - **Technologien zur Abscheidung von partikulären Emissionen in der Schifffahrt**
  - **Zusammenfassung und Ausblick**

# Definition „Staub“



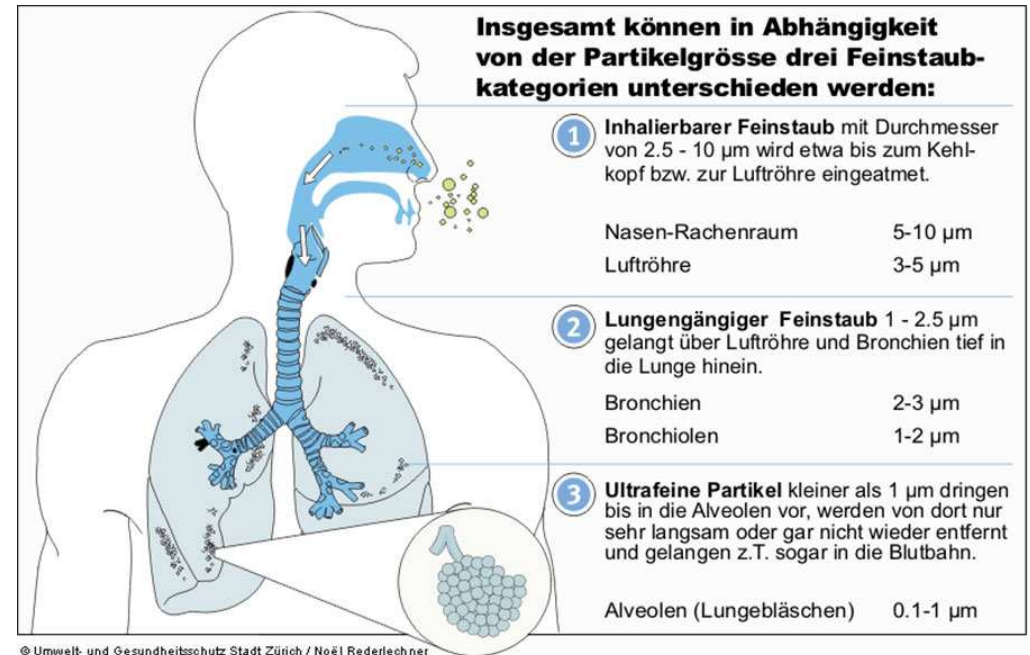
Source: deacademic.com



# Was ist PM 10, PM 2,5 und PM 1

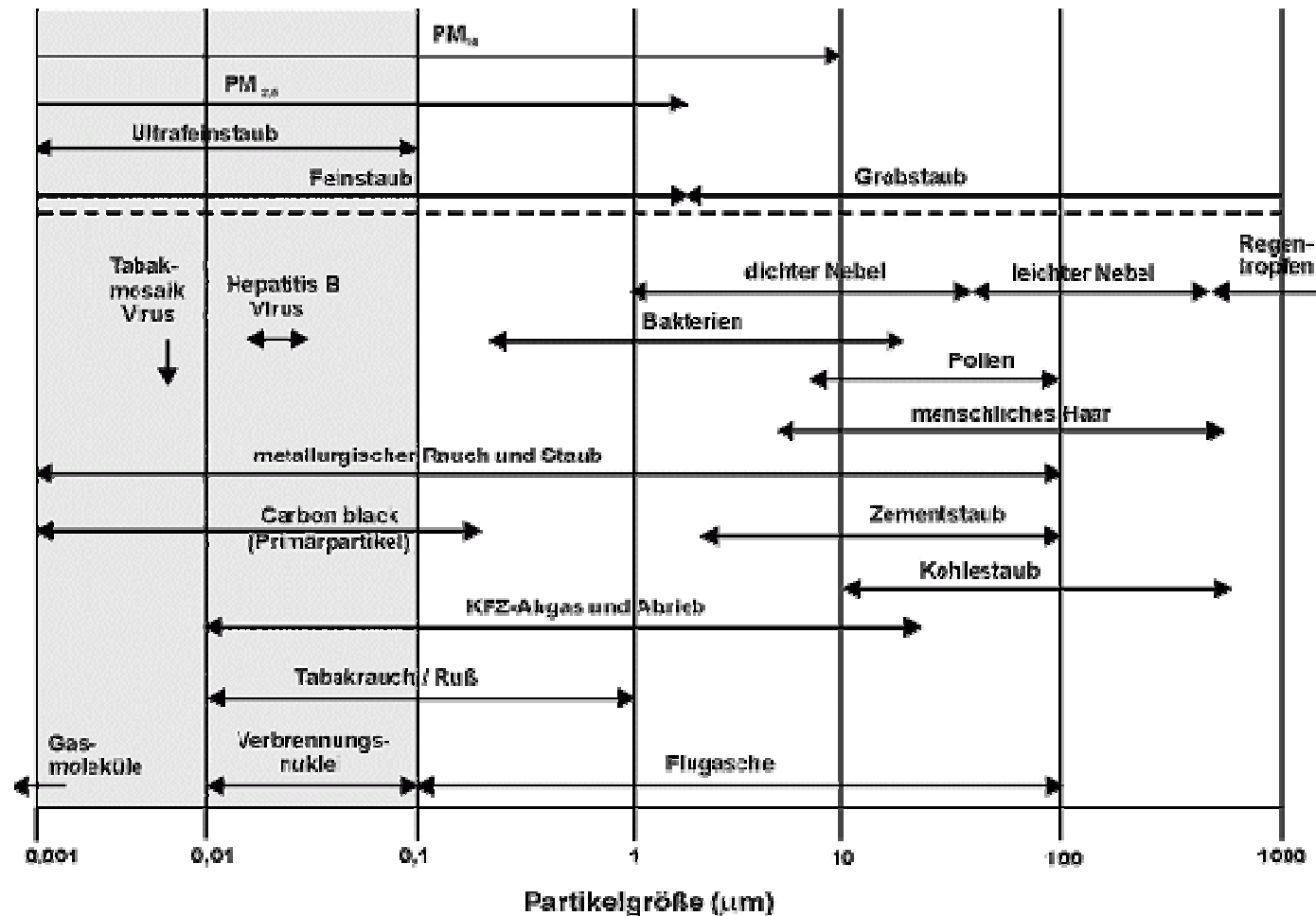


Source: micronAir





# Was ist PM 10, PM 2,5 und PM 1

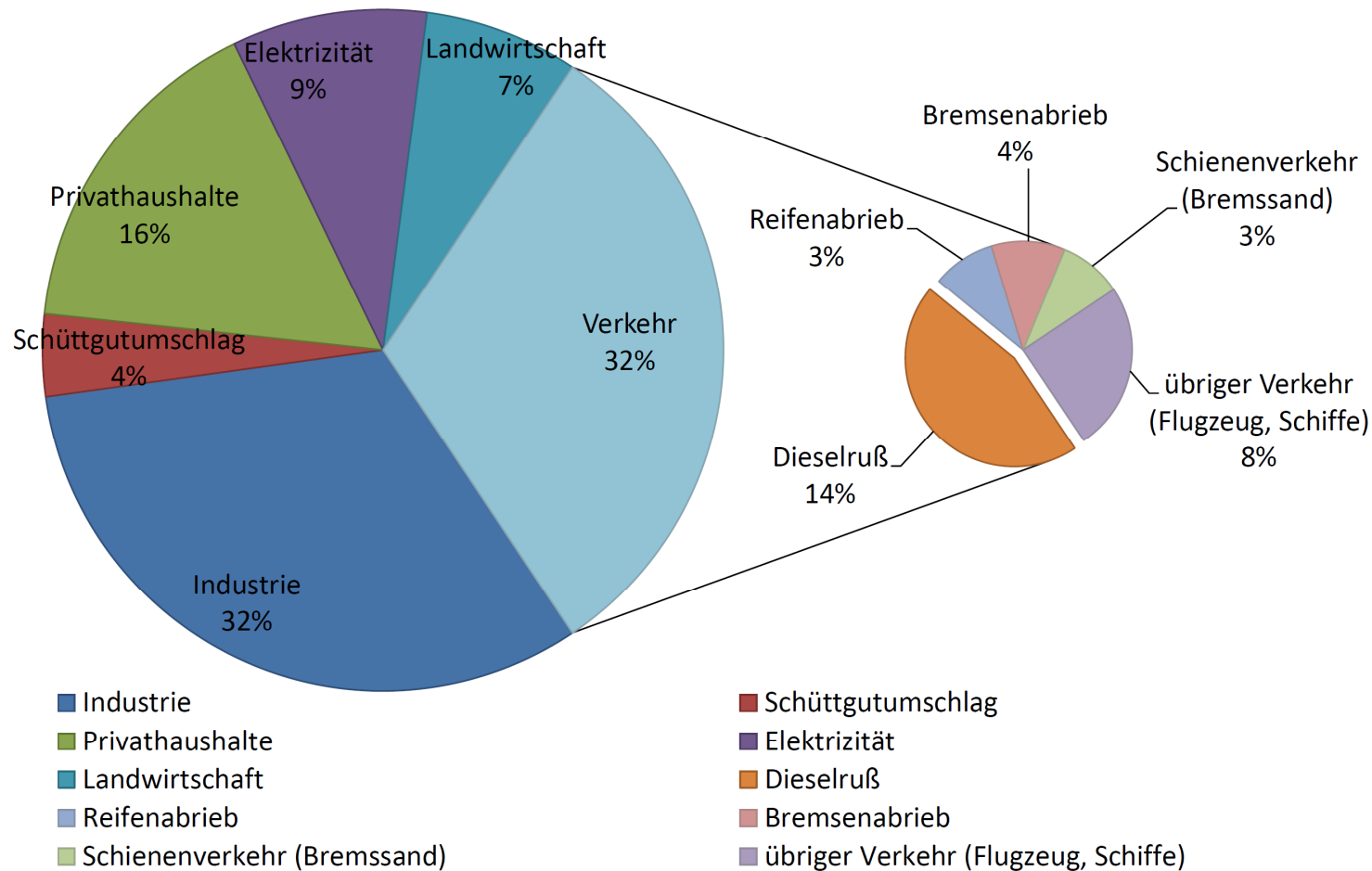


# Natürliche Quellen von Feinstaub

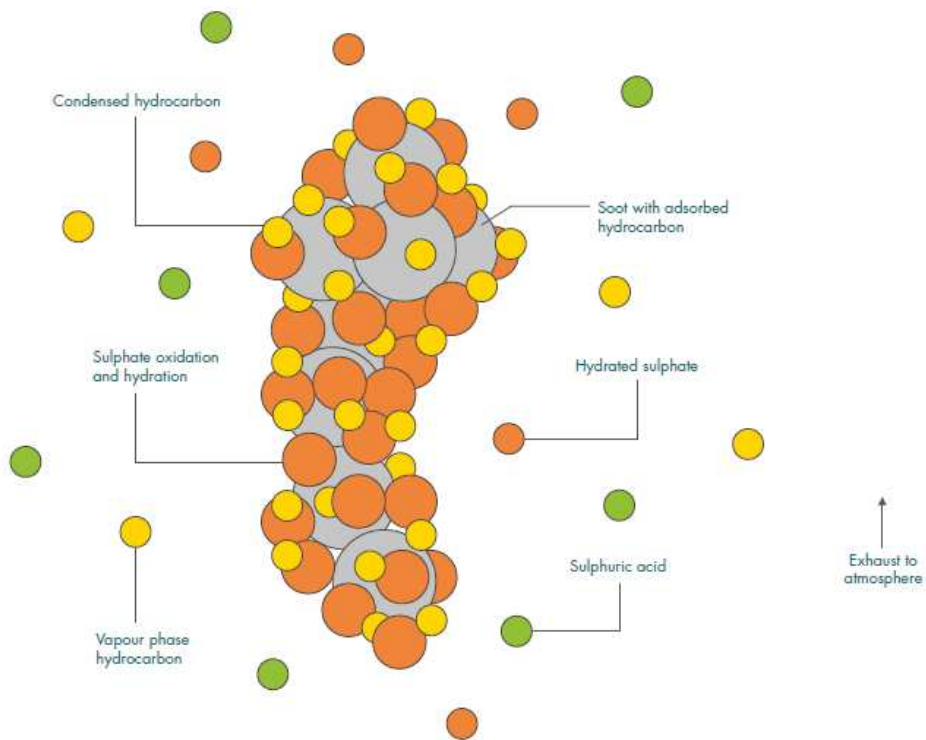
- Pollen
- Vulkane
- Bodenerosion
- Salzkristalle
- Meer
- Sahara-Staub
- Waldbrände



# Anthropogene Quellen von Feinstaub



# Partikel aus Dieselmotoren



Quelle: Fenger & Tjell Air Pollution 2009



# Messmethoden Partikel und PM

Method	Description	Notes
ISO 8178 (2006)	Weighing material collected on specified filter medium after diluting with clean air (42-52°C)	PM (mass)  Exhaust gas to atmosphere HC / SOx / H2O condensed
ISO 9069	Particulates are substantially different in composition and weight sampled from undiluted exhaust gas using a hot filter method	Effected for fuel S < 0,8%  Higher temp. = loss of sulphate due to condensation in apparat before filter
DIN 51402 smoke spot number (1986)	Filter of silica fibre material , visually or photometer, intensity of reflected light	Degree of filter blackening  Photometric measurement
EPA method 5 (1989)	Weighing material on glas fibre filter, maintain temp 120°+-14°C	PM (mass) Condenses at or above filtration temp.
ISO 9096 (similar)	Historical choice of stationary coal fired boilers HC & Sox kept in vapor phase	PM control measure (ie electrostatic precipitators) to prevent Sulfuric acid



Measurement technique				
Name of instrument	Size	Number	Size range	Temporal resolution
Engine exhaust particle sizer (EEPS) <sup>a</sup>	Electrical mobility	Electrometer	5.6-560 nm	0.1 seconds to 60 minutes
Dust monitor	Pulse height analyser	Light scatter technology	0.3-20 µm	6 seconds to 60 minutes
Condensation particle counter (CPC) <sup>b</sup>	-	Condensational growth/optical counting	Up to 3 µm	1-60 seconds
Differential mobility analyser (DMA) <sup>b</sup>	Electrical mobility	-	2.5 nm to 1 µm	16-600 seconds
Differential mobility spectrometer (DMS) <sup>c</sup>	Electrical mobility	Electrometer	5 nm to 1 µm or 5 nm to 2 µm	10-60 seconds

<sup>a</sup>Measurements under atmospheric pressure; <sup>b</sup>A combination of a CPC and a DMA are the two working components of the Scanning mobility particle sizer (SMPS); <sup>c</sup>DMS500, measurements under sub-atmospheric pressure.

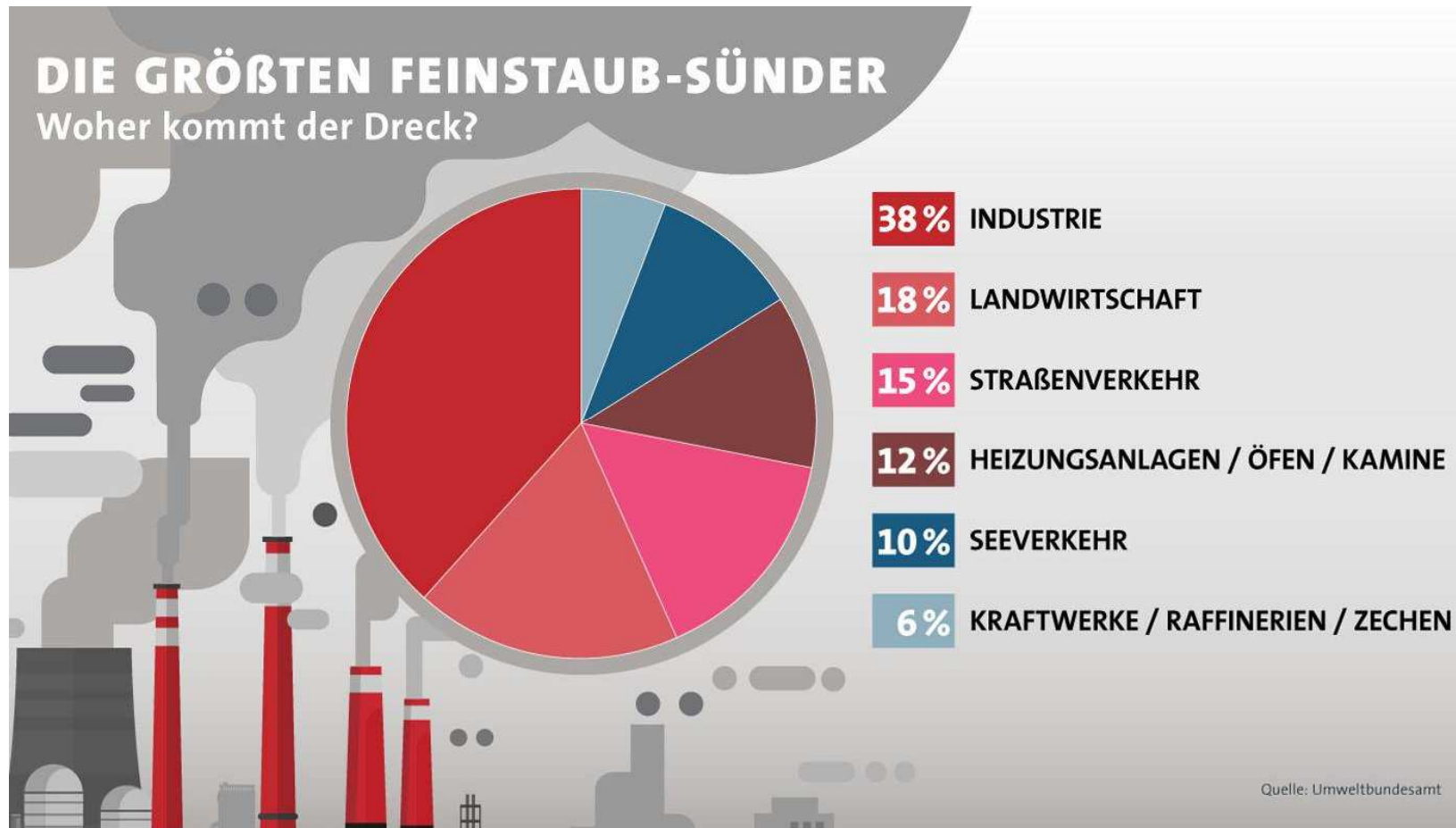
## Grenzwerte für den Schadstoff Feinstaub (PM10)

Bezeichnung	Mitteilungszeitraum	Grenzwert	Zeitpunkt, ab dem der Grenzwert einzuhalten ist
Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	24 Stunden	50 µg/m³ PM10 dürfen nicht öfter als 35mal im Jahr überschritten werden	seit 1.1.2005 einzuhalten
Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Kalenderjahr	40 µg/m³ PM10	seit 1.1.2005 einzuhalten

## Grenzwerte für den Schadstoff Feinstaub (PM2,5)

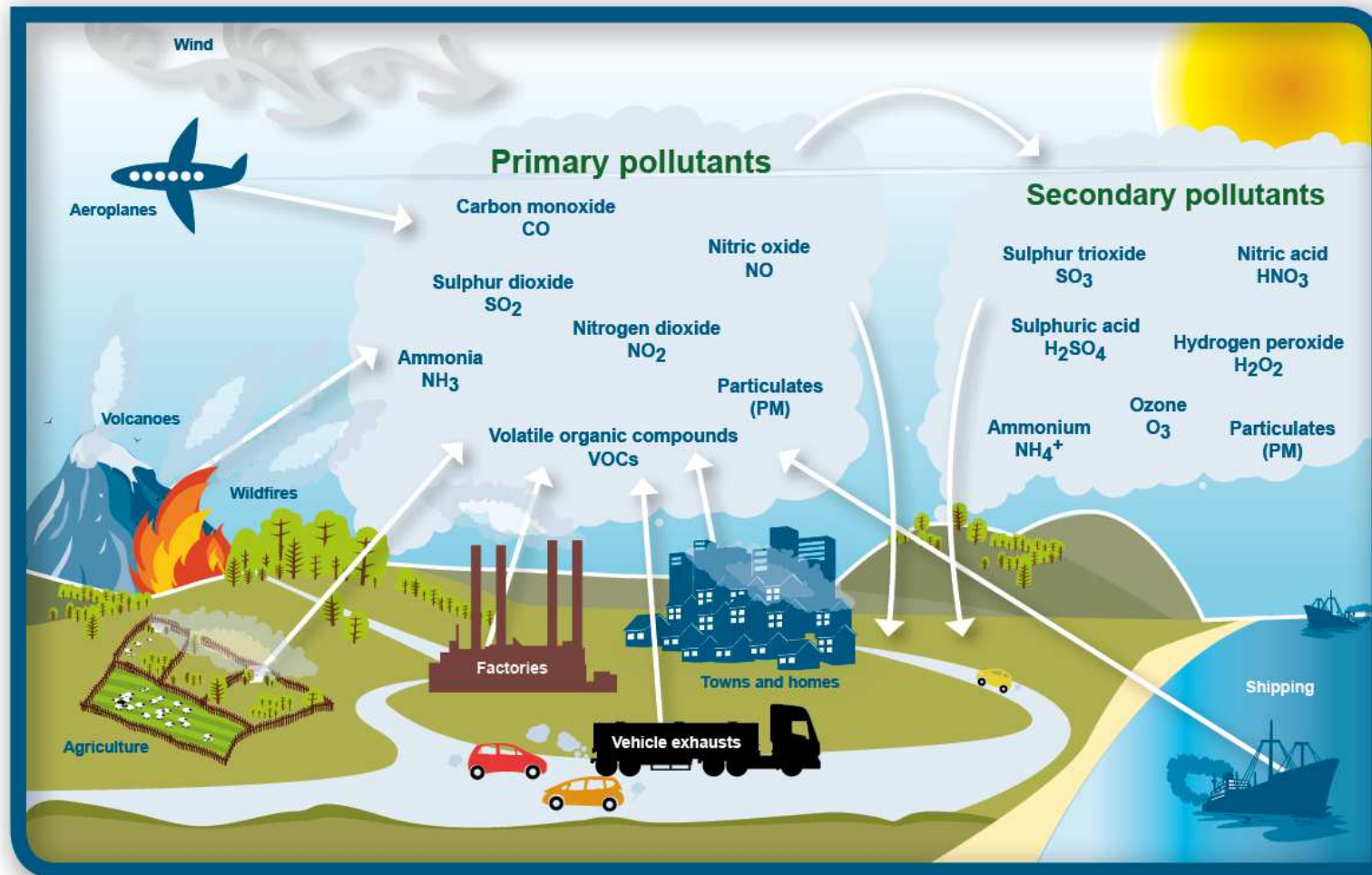
Bezeichnung	Mitteilungszeitraum	Grenzwert	Zeitpunkt, ab dem der Grenzwert einzuhalten ist
Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Kalenderjahr	25 µg/m³ PM2,5	seit 1.1.2015 einzuhalten

Source: 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG): Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen vom 02.08.2010 (BGBl. I S. 1065)





# Feinstaub in der Schifffahrt

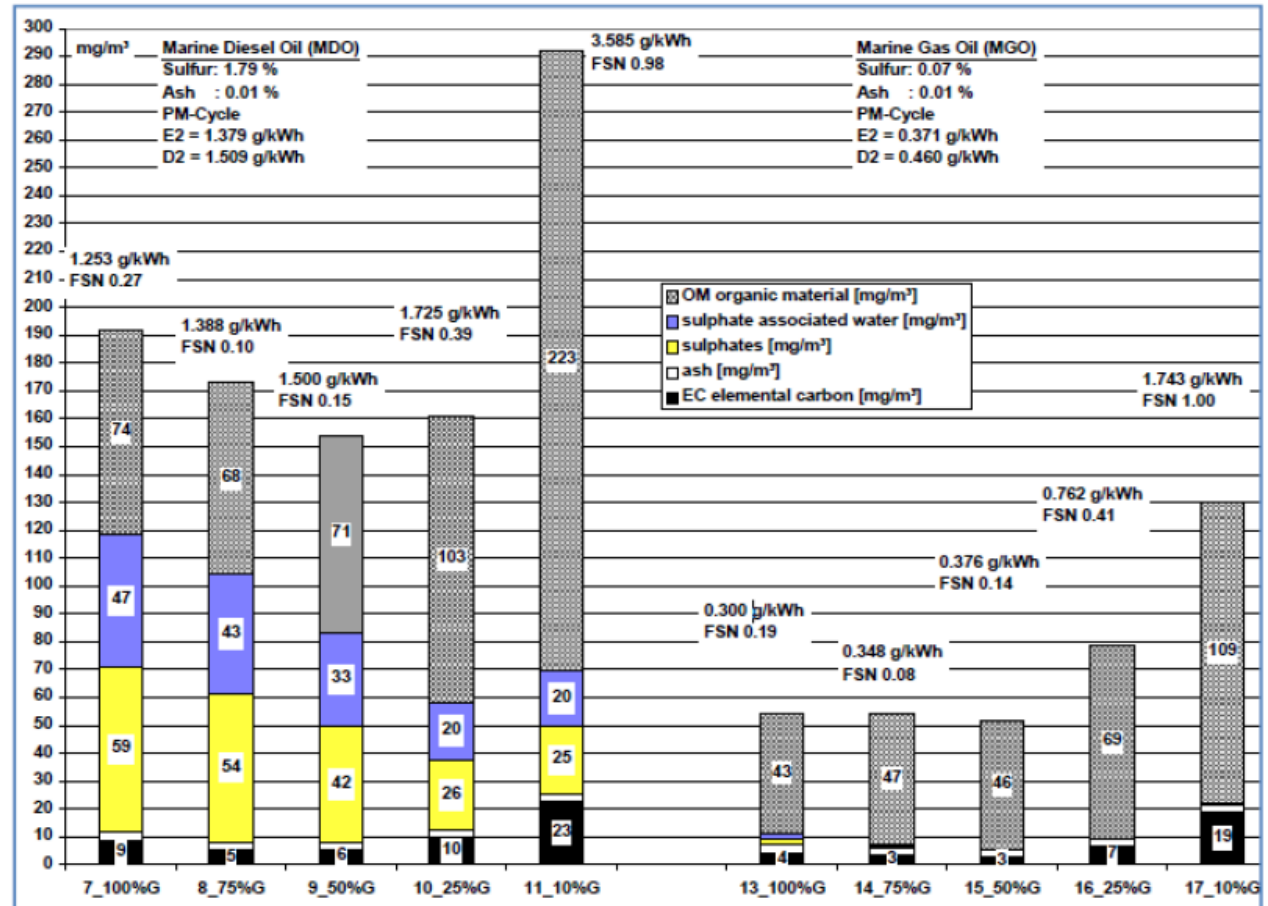


# Abscheidung von PM in der Schifffahrt

## Marine Gas Oil vs. MDO

- Sulfate fast vollständig minimiert
- Sulfate an Wasser angelagert fast vollständig minimiert
- Organische Verbindungen deutlich reduziert
- **Aber: Elementarer Kohlenstoff nur geringfügig reduziert!**

Feinstaub besteht  
überwiegend aus  
elementarem  
Kohlenstoff



Quelle: MAN Diesel & Turbo, P. Lauer, 2009

# Abscheidung von PM in der Schifffahrt

## ENVIRONMENTAL REGULATIONS

Emission component	Emission reduction with LNG as fuel	Comments
SO <sub>x</sub>	100%	Complies with ECA and global sulphur cap
NO <sub>x</sub> , Low pressure engines (Otto cycle)	85%	Complies ECA 2016 Tier III regulations
NO <sub>x</sub> , High pressure engines (Diesel cycle)	40%	Need EGR/SCR to comply with ECA 2016 Tier III regulations
CO <sub>2</sub>	25-30%	Benefit for the EEDI requirement, no other regulations (yet)
Particulate matter	95-100%	No regulations (yet)

Quelle: DNVGL Study, 2015



Quelle: DNVGL Study, 2015

# Abscheidung von PM in der Schifffahrt

	E-Filter	Gewebe- filter	Keramik- Partikelfilter	Scrubber
Aschen				
Sulfate				
Rußflocken > 1000 µm				
Rußagglomerate > 100 - 1000 µm				
Ruß 10 - 100 µm				
Ruß 1 - 10 µm				
Black Carbon < 1 µm				
Black Carbon 0,01 - 0,1 µm				



Quelle: Deutsches Museum, München



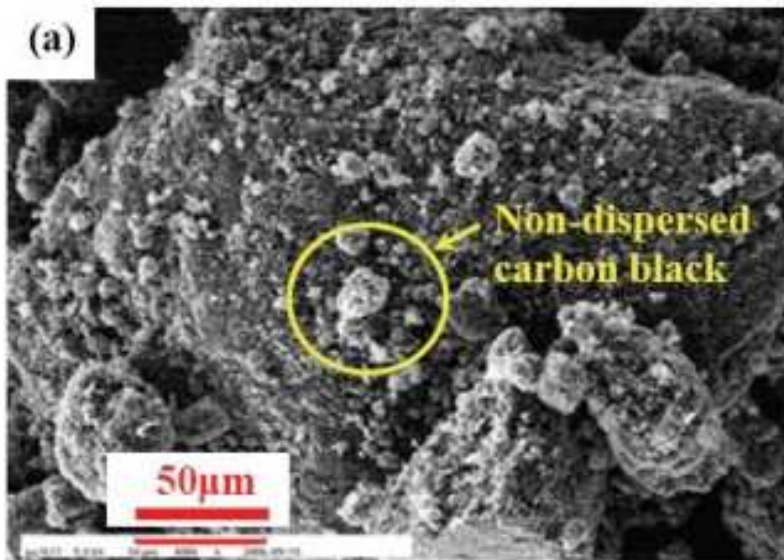
Quelle: ETB, Bremen



Quelle: Scheuch, Auroldmünster



# Black Carbon



- Elementarer Kohlenstoff
- Schmelzpunkt 3550°C
- Siedepunkt 4800°C
- Thermische Regenerierung (wie DPF) nicht möglich



- **Partikelabscheidung an Bord ist möglich**
  - Sulfate, Aschen und Ruß lassen sich in Scrubbern abscheiden
  - Abscheidegrade von über 90% möglich
- **Feinstaub, insbesondere Black Carbon ist sehr schwierig**
  - Messtechnik, Abscheidung unklar
- **Marine Gas Oil minimiert Partikelemissionen, jedoch nicht den Black Carbon Anteil**
- **LNG als Brennstoff senkt auch Feinstaub signifikant ab**
- **Empfehlung: Grenzwerte für Partikelgrößen definieren**

Vielen Dank!





Peking ist die „Hauptstadt“ der Luftverschmutzung, Boom Town

Anzahl der Todesopfer durch Luftverschmutzung steigt signifikant

Während der Olympischen Spiel 2008 mussten Industriebetriebe die Produktion einstellen

Projekt „Jing-Jin-Ji“ Megacity mit 130 Mill. Einwohnern, Beijing – Tianjin und Heibei – Industrie muss raus aus Peking