

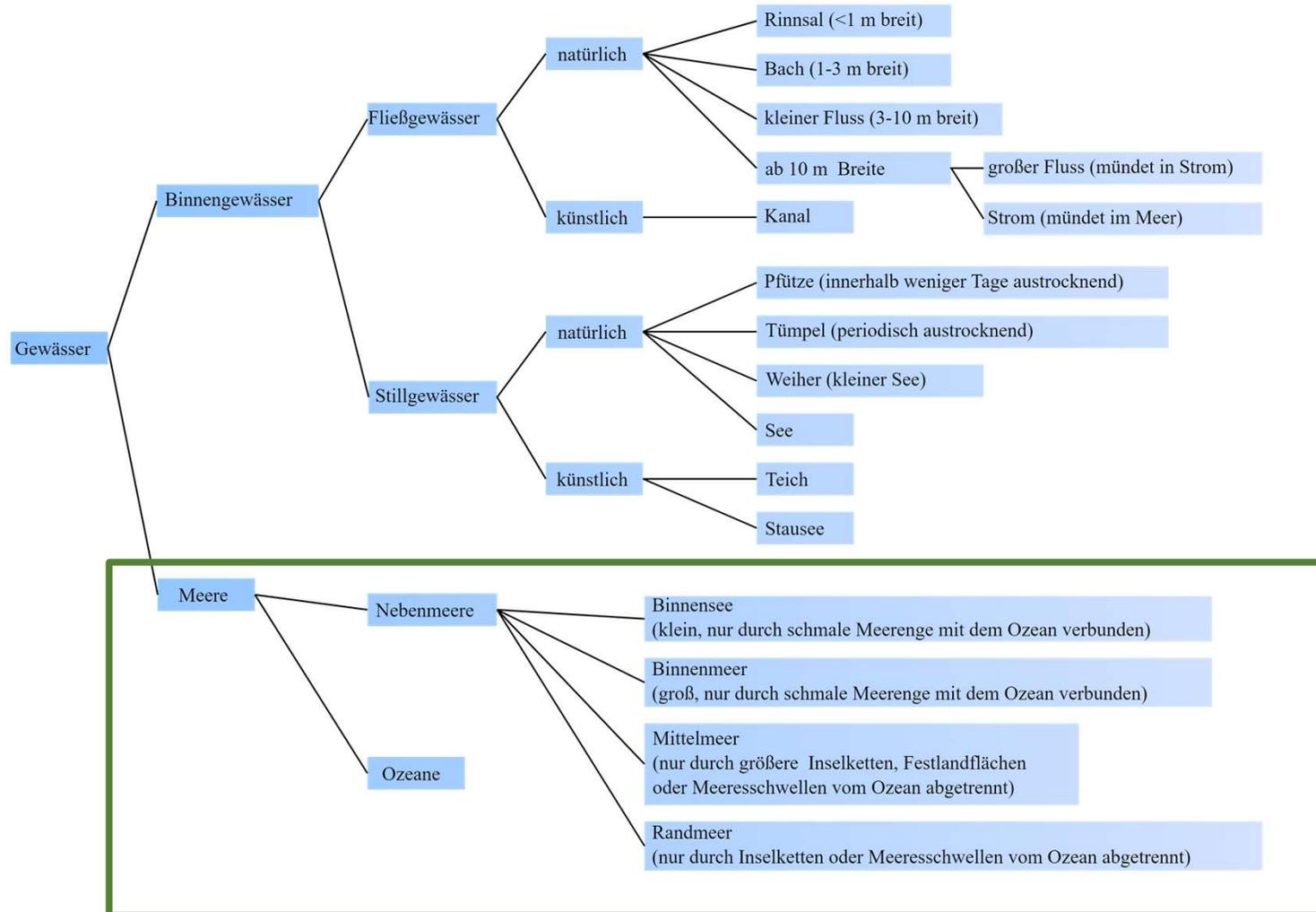
# ÖKOSYSTEME UND DEREN ANTHROPOGENE BELASTUNG

Aquatische Ökosysteme: Meere

# Inhalte:

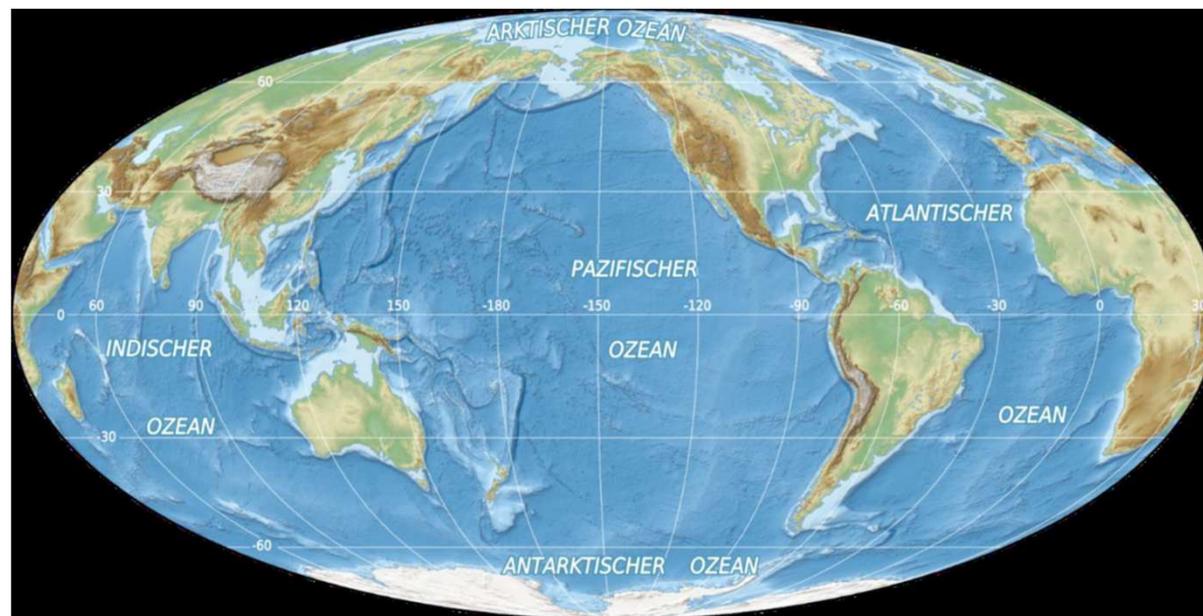
- Ökosystemare Charakteristika
- Marine Teillebensräume und deren Lebensgemeinschaften
- Nutzungen der Meere
- Verschmutzung der Meere
- Meere im Klimawandel

# Ökosystem Meer



# Ökosystem Ozean

- Ozeane sind die (3, oder 5, oder 7) größten Meere des Planeten
- 71% der Erdoberflächen von Meeren bedeckt
- Strömungen durchmischen die Weltmeere und sorgen für die Verteilung von abiotischen Faktoren
- Temperaturen von  $-1,9^{\circ}\text{C}$  bis  $>30^{\circ}\text{C}$
- Salzgehalt von 0,2–ca. 28%, im Mittel 3,5%
- Tiefe von wenigen cm bis ca. 11km



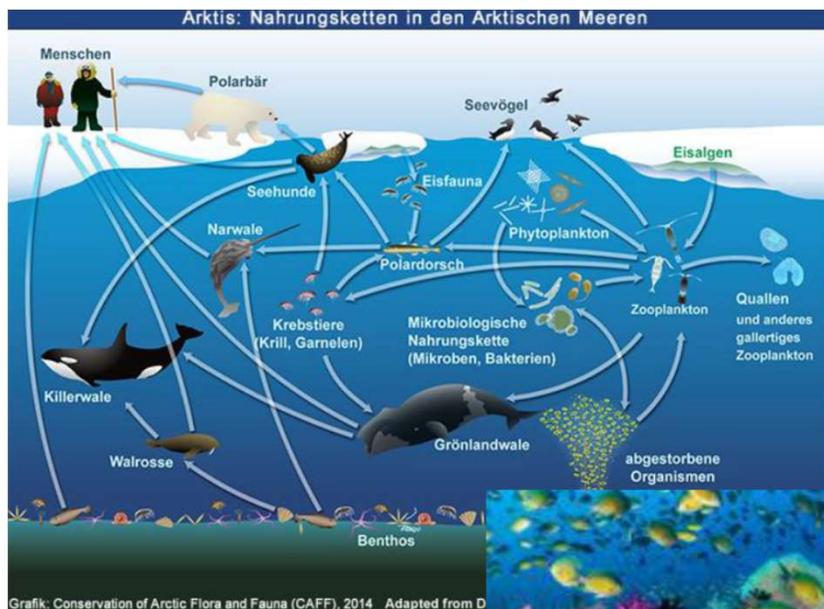
**Lebensraum von ~80% aller Organismen!**

# Nebenmeere und Meeresarten

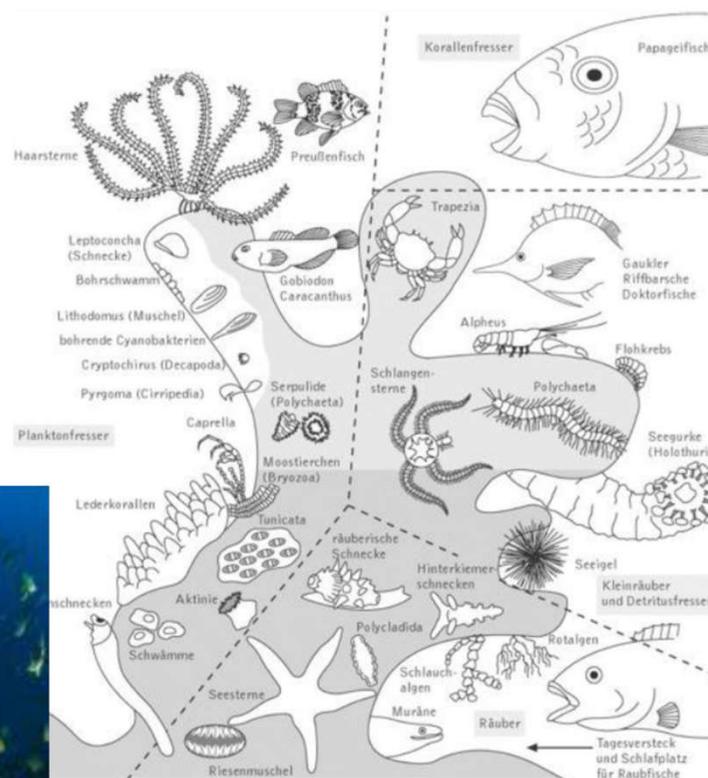
- Randmeer = nur durch Inselketten oder Meeresschwellen von Ozean abgetrennt
- Binnensee (Meerbusen) = klein und nur durch Meerenge mit Ozean verbunden
- Binnenmeer = groß und nur durch Meerenge mit Ozean verbunden
- Mittelmeer = durch größere Inselketten, Festlandmassen oder Meeresschwellen vom Ozean abgetrennt



# Marine Ökosysteme – von der Arktis bis in die Tropen



VS.



## Abiotische Faktoren:

- Temperatur
- Salzgehalt
- pH-Wert
- Sauerstoffsättigung
- Lichtintensität
- Strömungsgeschwindigkeiten

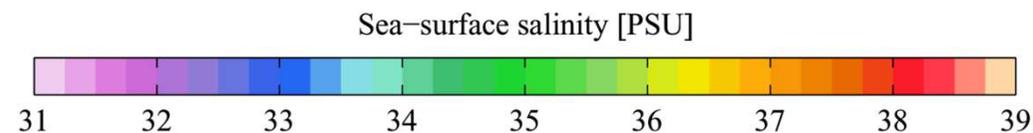
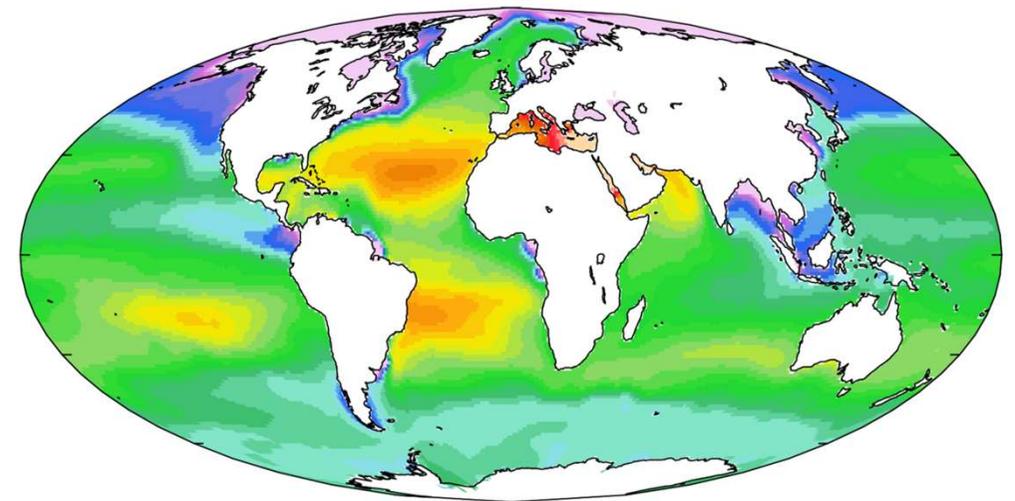
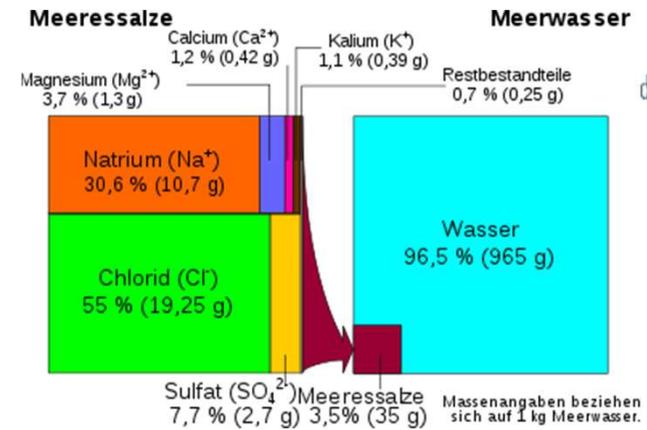


## Biotische Faktoren:

- Populationsdichten
- Nahrungsnetze
- inter- und intraspezifische Beziehungen

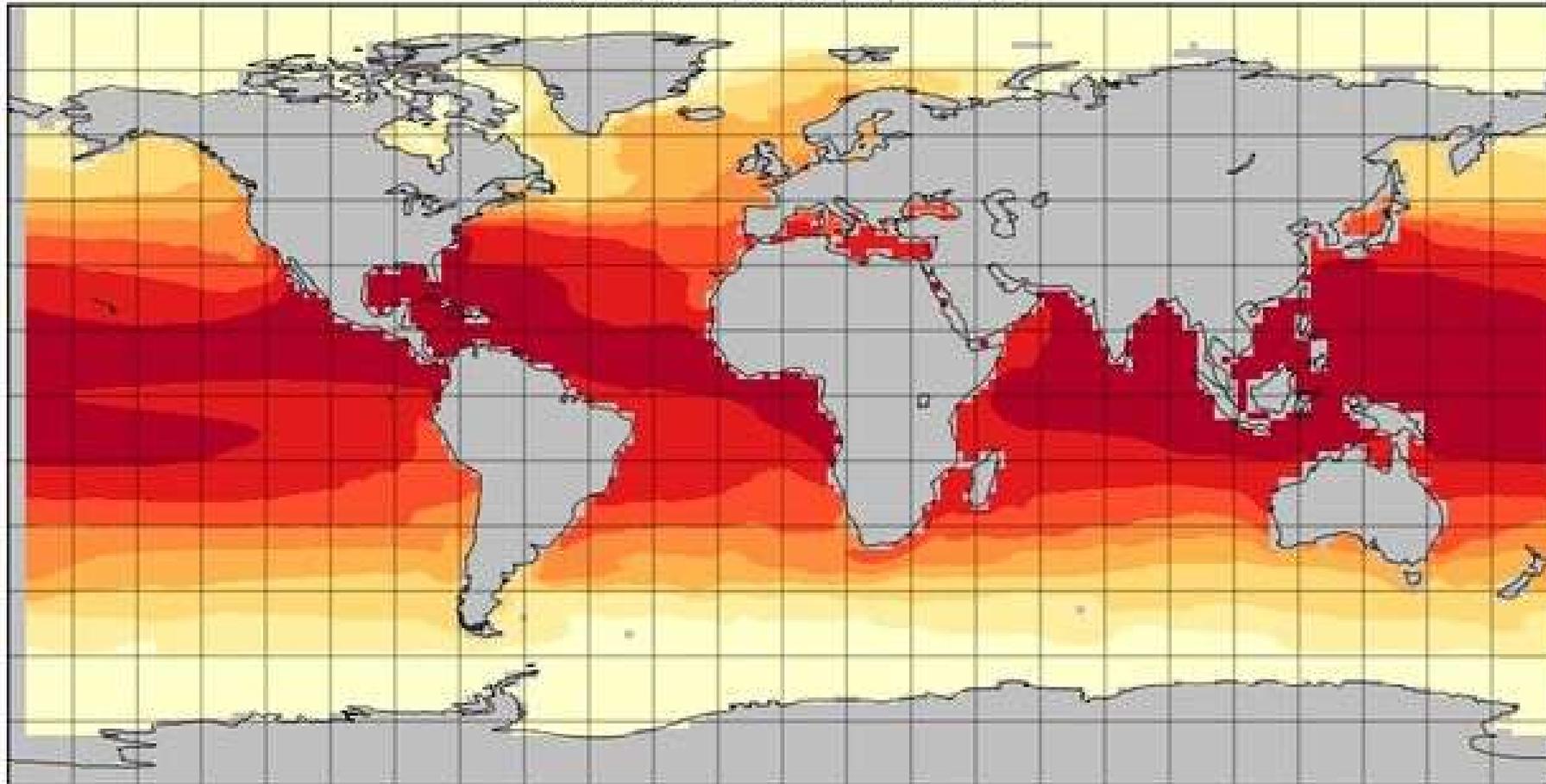
# Physikalische und chemische Eigenschaften des Meerwassers

- **Salinität:** beschreibt den Gesamtsalzgehalt des Meerwassers (im Durchschnitt rd. 35 g Salz/kg Meerwasser)
- **Dichte** von Meerwasser ist höher als jene von reinem Wasser
- Mit zunehmender Salinität sinkt der **Gefrierpunkt** von Meerwasser
- **Löslichkeit von CO<sub>2</sub>** sinkt mit steigendem Salzgehalt und Temperatur



## Meeresoberflächentemperatur im Sommer

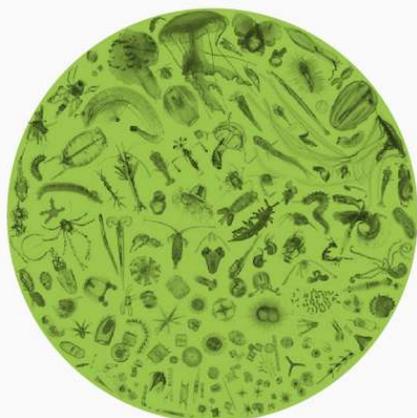
Mittel der Sommermonate (JJA) 1961-1990



Data Min = -1,89, Max = 30,47, Mean = 17,54

# Lichtverteilung und Biomasseproduktion im Meer

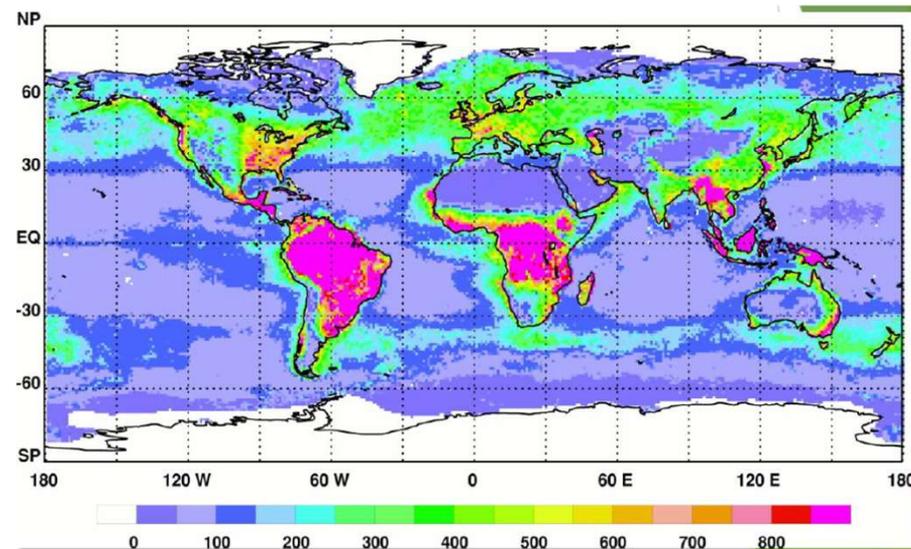
## Biomasse in den weltweiten Ozeanen



98% Plankton

2% Fisch etc.

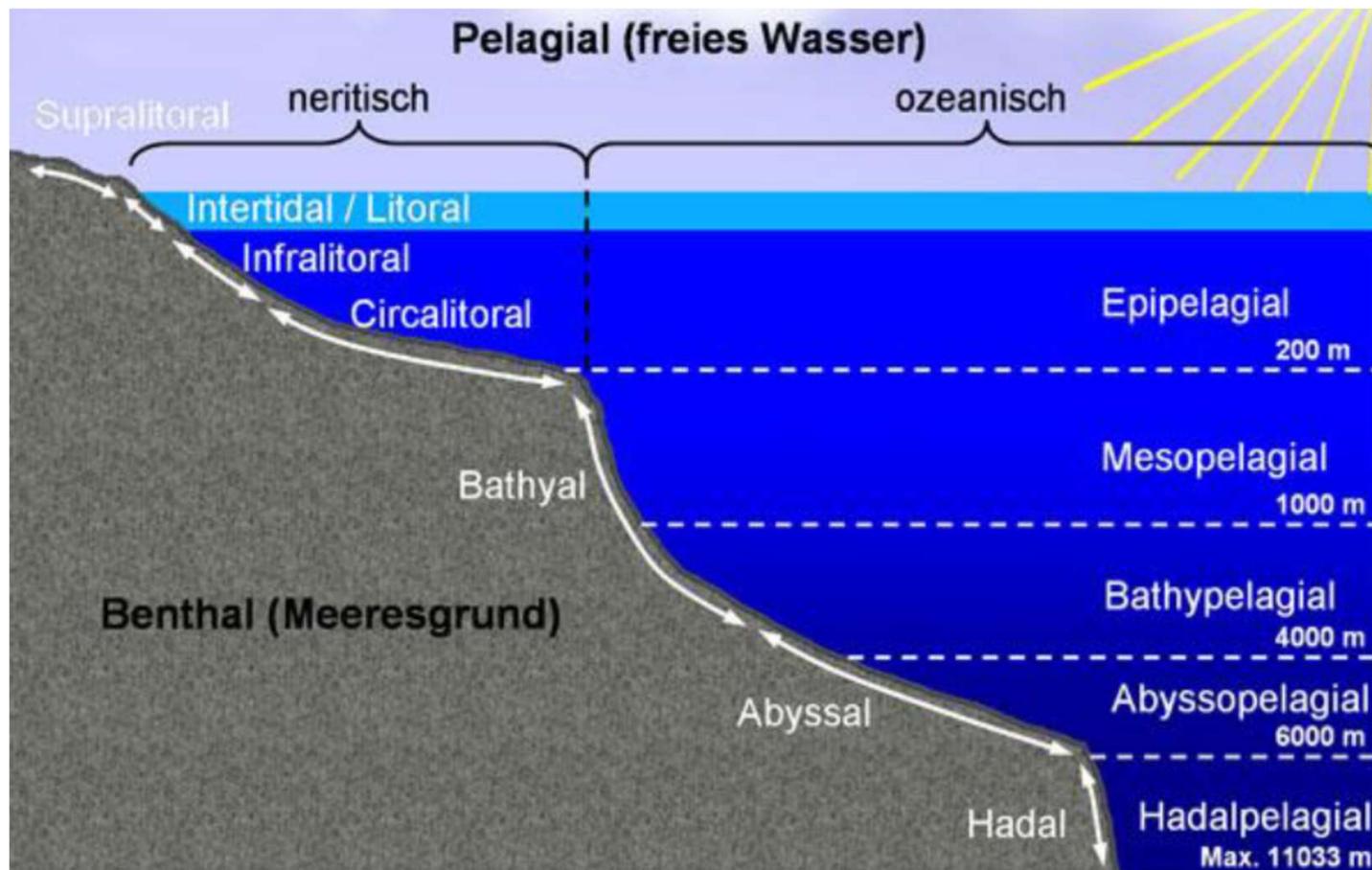
## Biomasse und Produktivität



Marine	NPP	Terrestrial	NPP
Trade Winds Domain (tropical and subtropical)	13.0	Tropical rainforests	17.8
Westerly Winds Domain (temperate)	16.3	Broadleaf deciduous forests	1.5
Polar Domain	6.4	Mixed Broadleaf and needleleaf forests	3.1
Coastal Domain	10.7	Needleleaf evergreen forests	3.1
Salt marshes, estuaries and macrophytes	1.2	Needleleaf deciduous forest	1.4
Coral Reefs	0.7	Savannas	16.8
		Perennial grasslands	2.4
		Broadleaf shrubs with bare soil	1.0
		Tundra	0.8
		Desert	0.5
		Cultivation	8.0
<b>Total</b>	<b>48.3</b>		<b>56.4</b>

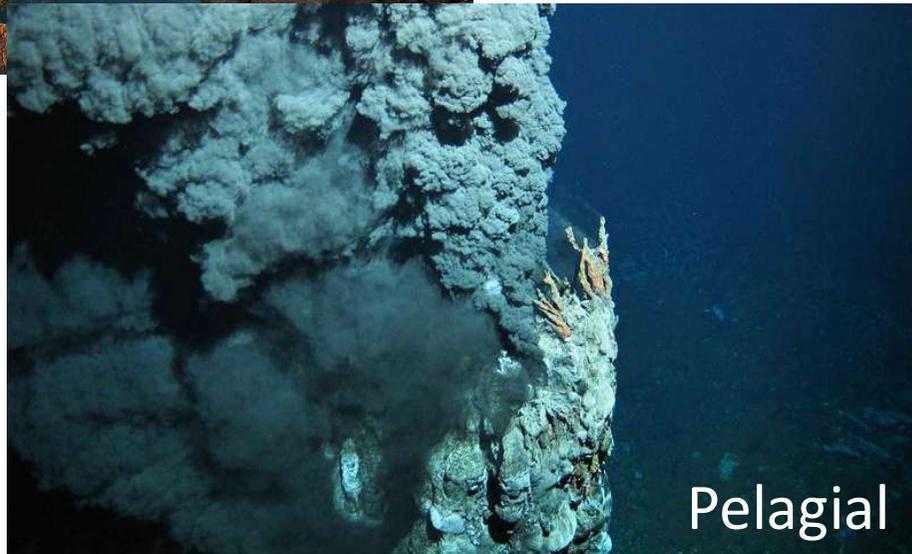
Netto-Primärproduktion in t/ha/a

# Marine Ökosysteme: Teillebensräume im Meer



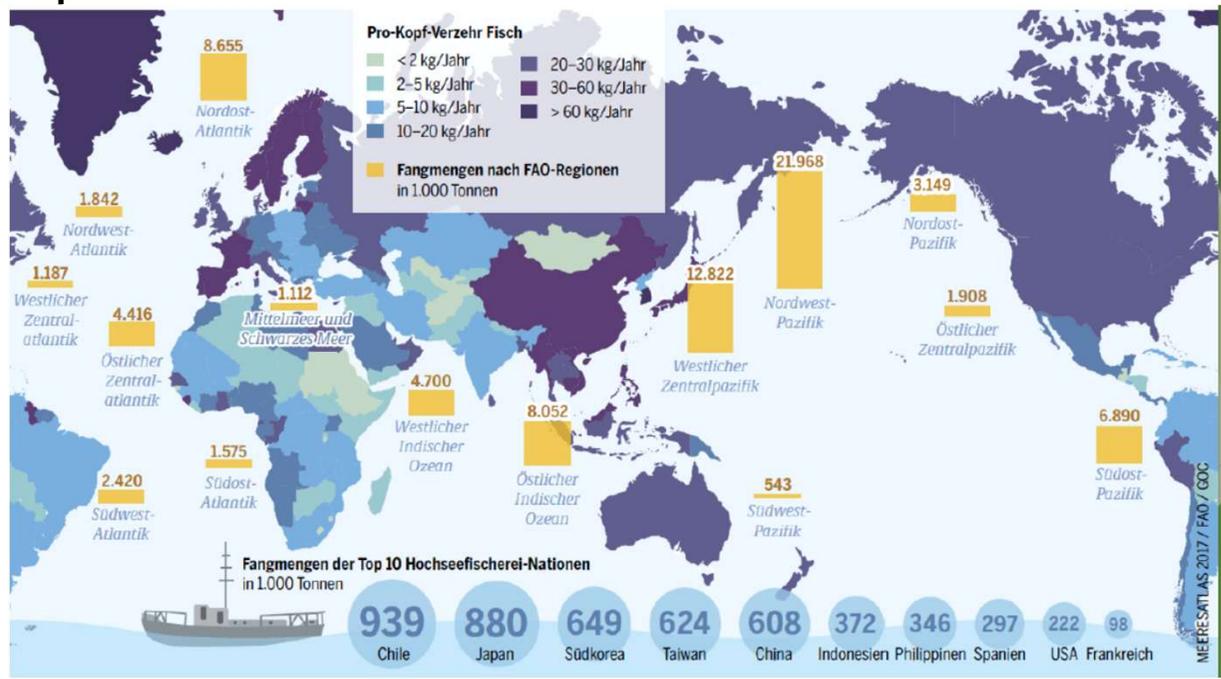
- **Litoral** = Uferzone
- **Benthal** = Lebensbereich im, am und auf dem Boden des Meeres
- **Pelagial** = Freiwasserzone

# Teillebensräume im Meer

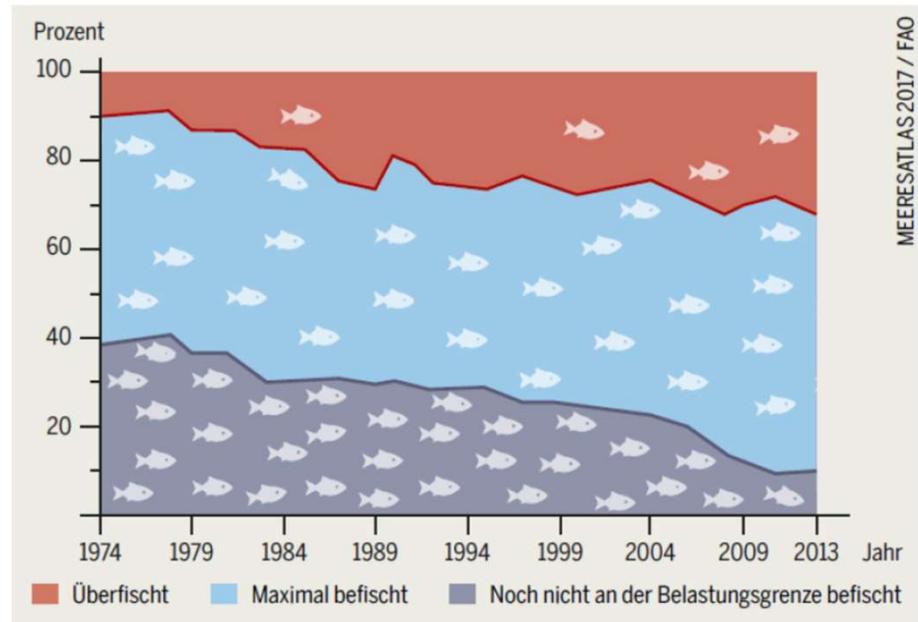
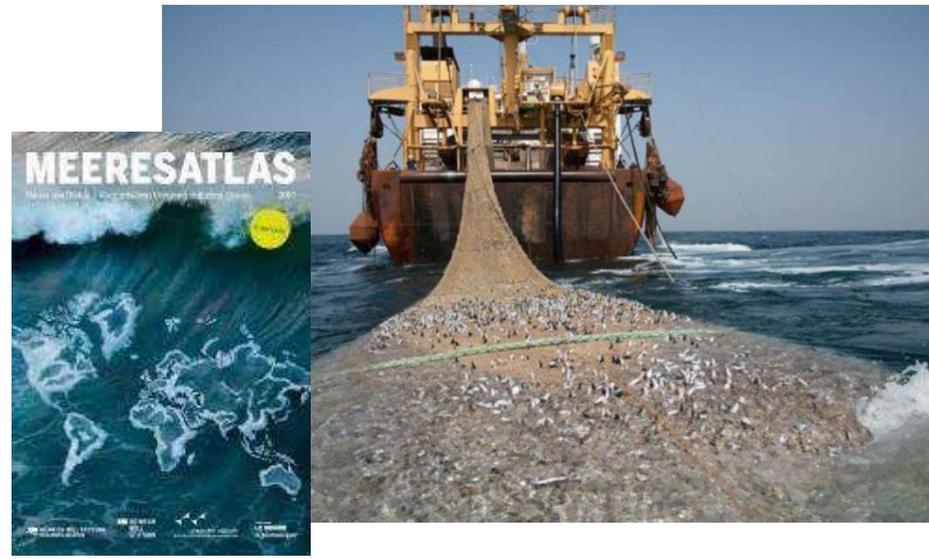


# Anthropogene Einflüsse auf das Ökosystem Ozean

## Beispiel Fischerei



<https://www.boell.de/de/meeresatlas>



# Beispiel Fischerei

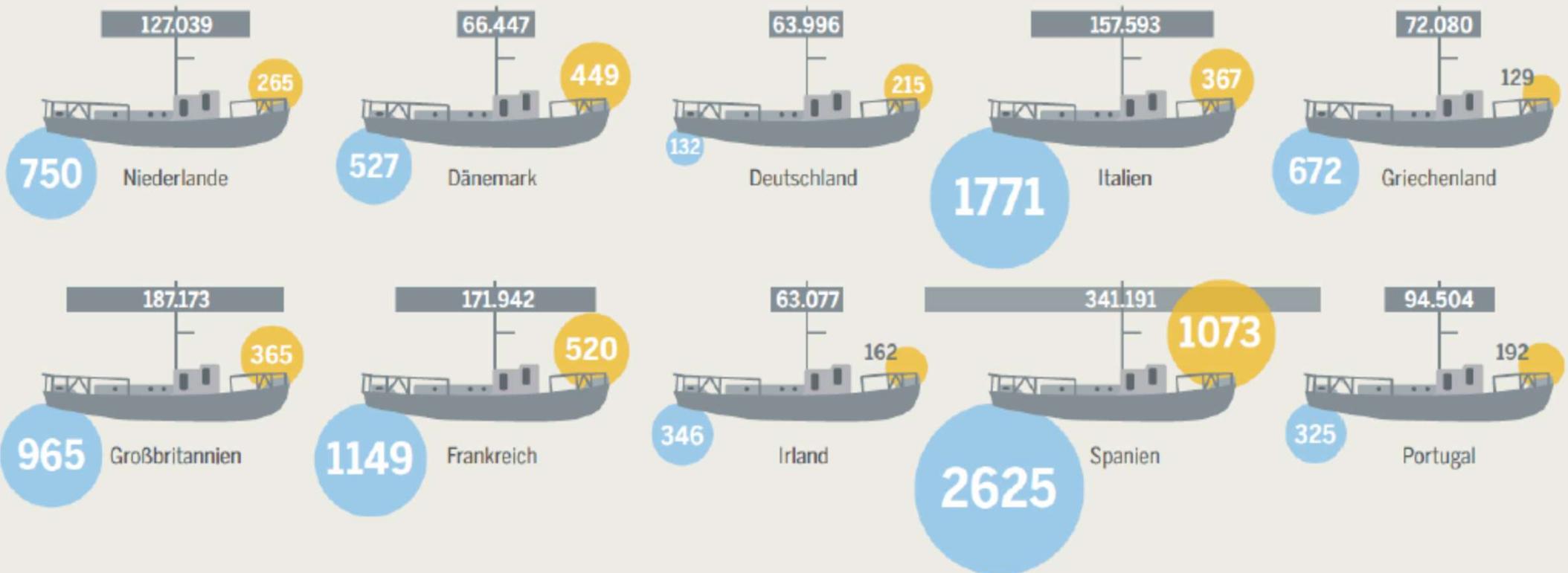
■ **Flotten-Gesamtvolumen (Hochsee- und Küstenfischerei)**  
in Bruttoreaumzahl (BRZ)



● **Summe Subventionen\***

● **Wert gefangener Fisch\***

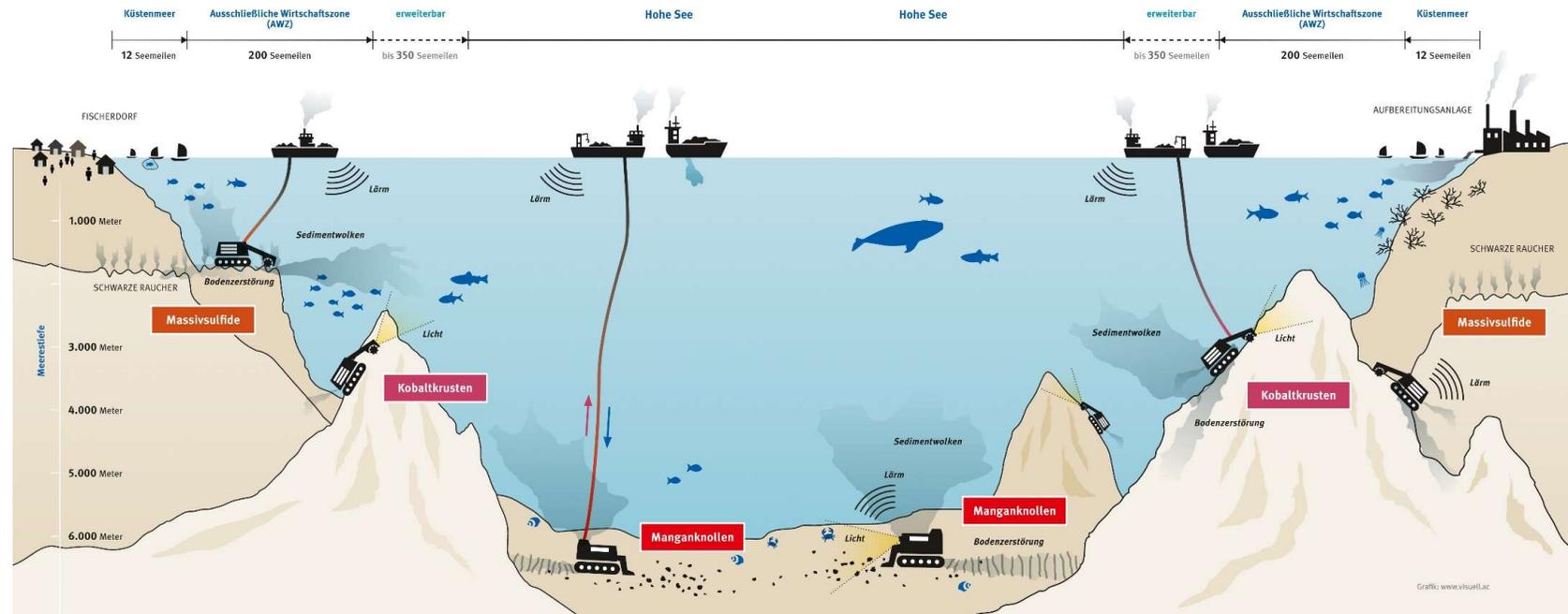
\* in Millionen US-Dollar





# Beispiel Rohstoffgewinnung

- Erdöl, Erdgas
- Schwefel
- Pottasche (aus Seetang)
- Metallerze (Mangan, Eisen, Nickel, Kupfer, Kobalt)



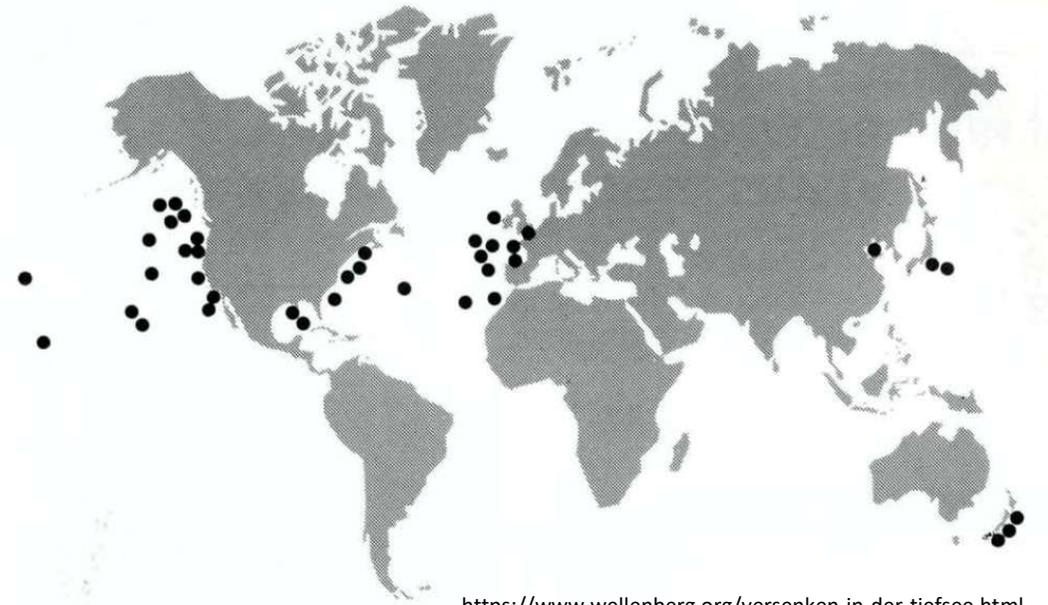
# Verschmutzung der Meere

Die wichtigsten Substanzen, die zur Verschmutzung der Meere beitragen, sind:

- Müll, dabei v.a. Kunststoffe
- Organisches Material, z.B. in Form von Abwässern
- Nährstoffe (v.a. Phosphate)
- Tenside
- Schwermetalle (z.B. Quecksilber)
- Giftmüll und radioaktive Abfälle
- Erdöl



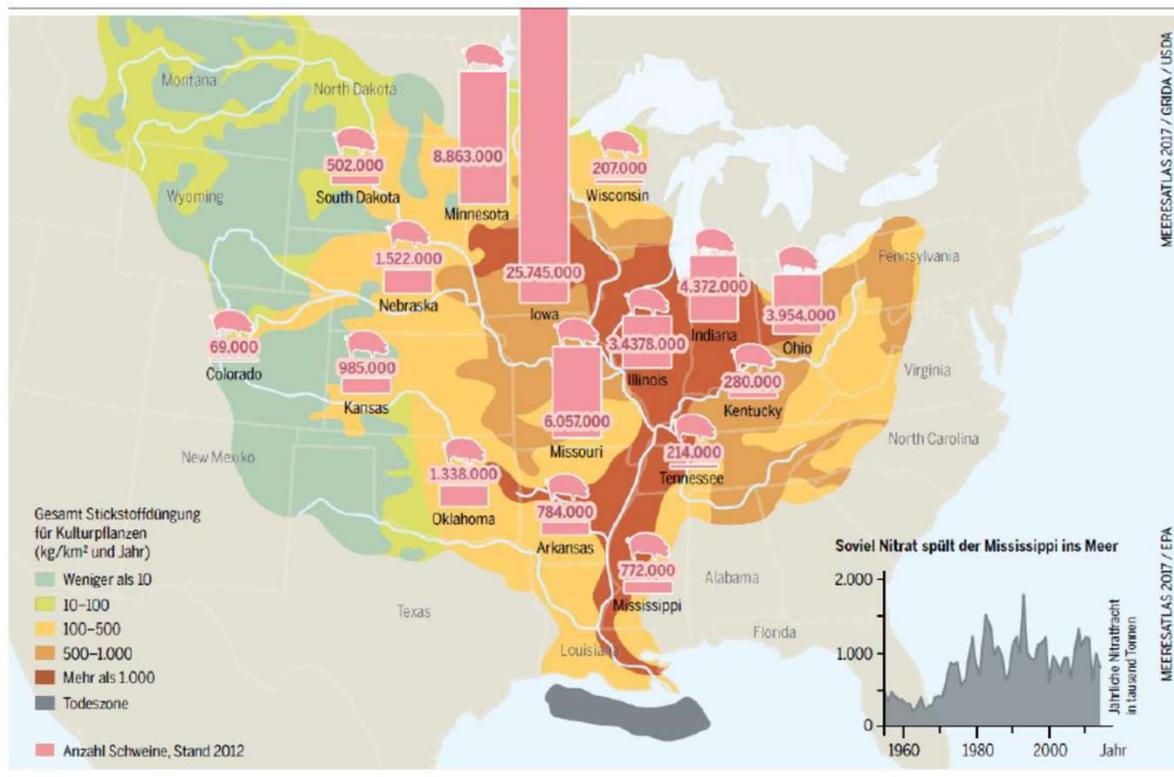
World-wide distribution of sea dumping sites used for disposal of low-level radioactive waste



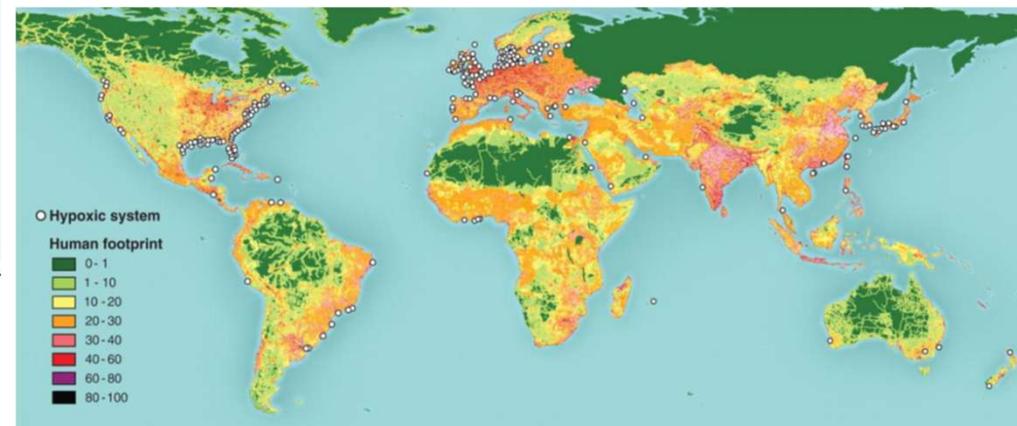
<https://www.wellenberg.org/versenken-in-der-tiefsee.html>

# Nährstoffeintrag und hypoxic "Deadzones"

So entsteht die Todeszone im Golf von Mexiko – Schweinezucht und intensiver Ackerbau



Hypoxia =  $<2\text{mg O}_2/\text{l}$



Hypoxic "Deadzones" in Abhängigkeit vom menschlichen Fußabdruck

# Beispiel (Mikro-)plastik

## Zahlen

Produktion:

- Jährliche Produktion von Plastik ca. 355 Mio Tonnen (Stand 2016)
- 4% des jährlichen Ölverbrauchs entfallen auf Kunststoffproduktion, zusätzliche 4% werden als Energie für die Herstellung verbraucht

Entsorgung:

- Recycling-Quote für Europa ca. 26% (6 Mio t/a) und Amerika 9% (2,5 Mio t/a)
- Wegwerf-Quote (unprozessiert) Europa: 8,7 Mio t/a, Amerika 29 Mio t/a
- Rest: Verheizung in Kraftwerken

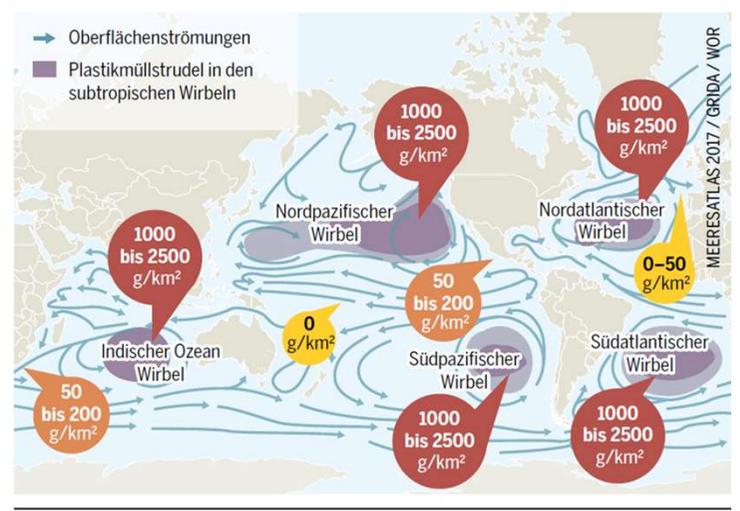
Entstehungswege von Mikroplastik	
Anthropogen (primär)	Natürlich (sekundär)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Industrielle Produktion</li> <li>- Handling und Verarbeitung</li> <li>- Medizin und Healthcareprodukte</li> <li>- Indoor-Partikelerzeugung (Kleidung, Waschmaschine, Hausmüll)</li> <li>- Outdoor-Partikelerzeugung (Verkehr, Bewegung)</li> <li>- Agrar Sektor</li> <li>- Absichtliche Erzeugung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verwitterung</li> <li>- UV-Abbau</li> <li>- mechanisch</li> </ul>

Mikroplastik = Plastik?

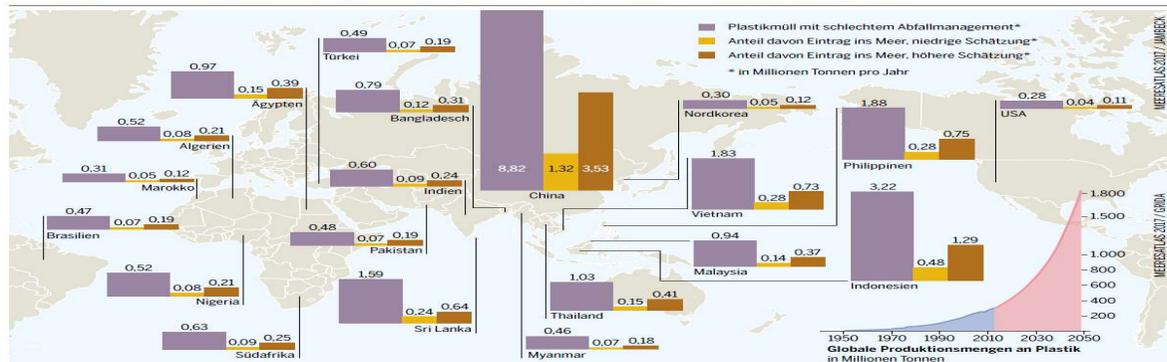
Der Begriff „Mikroplastik“ ist derzeit nicht einheitlich definiert, sondern beschreibt lediglich ein Kunststoffpartikel kleinerer Größe  
 Je nach Publikation gilt so ziemlich alles zwischen **110 nm und 10 mm** als Mikroplastik

→ Mikroplastik entsteht durch anthropogene und natürliche Prozesse

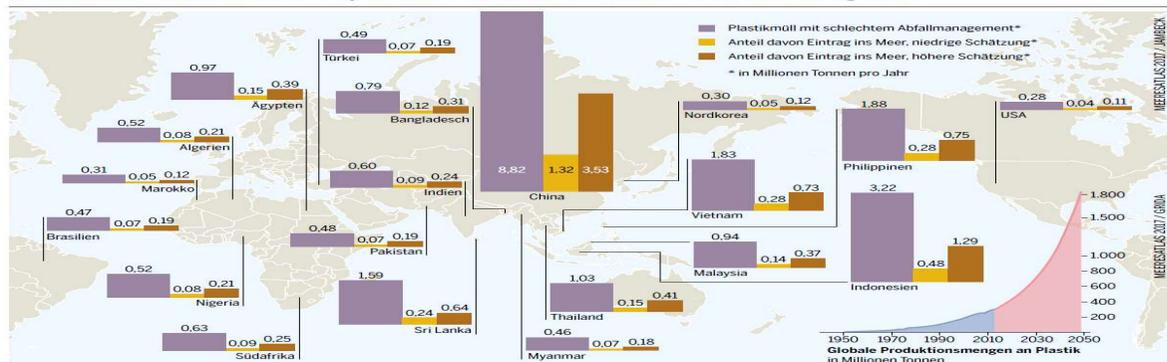
Wo konzentriert sich der Plastikmüll?



Wo kommt der Plastikmüll her? Die Top-20-Länder mit dem schlechtesten Plastikabfall-Management



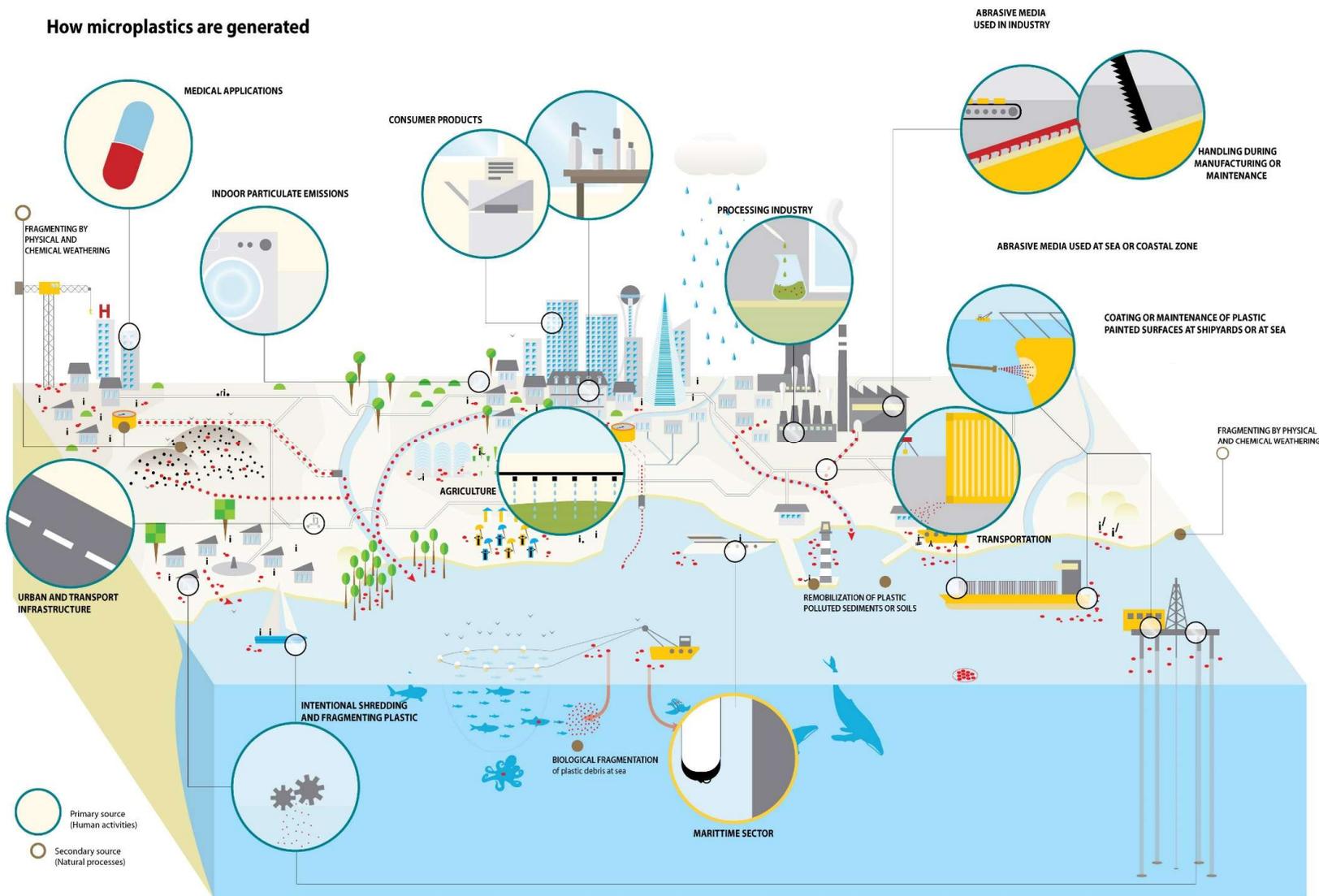
Wo kommt der Plastikmüll her? Die Top-20-Länder mit dem schlechtesten Plastikabfall-Management



80% aller Plastikabfälle im Meer stammen aus 1000 Flüssen



## How microplastics are generated



# Mikroplastik in Deutschland – die zehn wichtigsten Quellen

Jährlich pro Person freigesetzte Mengen



**~1.230g**  
Reifenabrieb  
(davon 88 % Pkw)



**~230g**  
Abrieb Bitumen  
in Asphalt



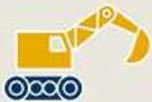
**~180g**  
Pelletverluste



**~165g**  
Freisetzung bei  
Abfallentsorgung



**~130g**  
Verwehungen Sport-  
und Spielplätze



**~120g**  
Freisetzung auf  
Baustellen



**~110g**  
Abrieb  
Schuhsohlen



**~100g**  
Abrieb Kunststoff-  
verpackungen



**~90g**  
Abrieb Fahrbahn-  
markierungen



**~80g**  
Faserabrieb bei  
der Textilwäsche



Bisher wurden über 70 Quellen von primärem Mikroplastik identifiziert. Zusätzlich entsteht sekundäres Mikroplastik durch Verwitterung und Fragmentierung von Makroplastik in der Umwelt.

Quelle: Fraunhofer UMSICHT 2018; eigene Darstellung

# (Mikro-)plastik

Die Gefahr, die von Plastik in Ökosystemen ausgeht, ist maßgeblich abhängig von der Größe der Partikel



JRC Technical Reports European Union,  
2016, Harm caused by Marine Litter,  
doi:10.2788/690366

# (Mikro-)plastik

- Die direkten und indirekten Folgen für Populationen von einzelnen, ausgewählten Organismen lassen sich relativ gut untersuchen und vorhersagen
- Offen ist, wie genau die Auswirkungen von Mikroplastik in der Nahrungskette sind und wie/wann/wo der Mensch involviert wird/ist
- Ebenfalls offen sind die Auswirkungen von Mikroplastik auf terrestrische Systeme
- Neueste Studien zeigen, dass sich Mikroplastik in arktischen Regionen zudem drastisch auf die Albedo auswirkt  
→ potentieller „climate-driver“



Cole et al., 2013, Microplastic Ingestion by Zooplankton, Environ. Sci. Technol. 2013, 47, 12, 6646-6655



Versuche wie  
Mikroplastik in der  
Meereisbildung wirkt

<http://theconversation.com/microplastics-may-affect-how-arctic-sea-ice-forms-and-melts-120721>

# Pacific-Garbage-Screening/Everwave



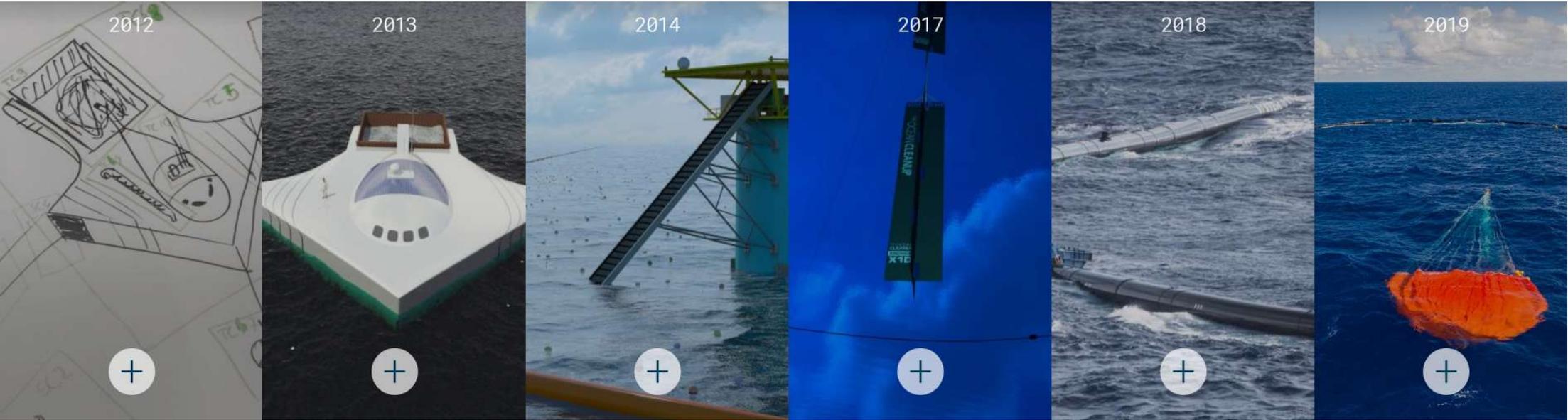
<https://everwave.de/innovation/muellsammelboot/>



Von dem Niederländer Boyan Slat 2013 gegründete Organisation, welche die Beseitigung von Plastik aus Gewässersystemen zum Ziel hat

## The Ocean Cleanup

<https://sinplastic.com/pacific-garbage-screening/>



<https://theoceancleanup.com/oceans/>

# Öl

## Die Wirkung von (Roh-)Öl auf Organismen

- „Öl kann die Oberflächen von Tieren und Pflanzen **bedecken**, sodass lebenswichtige Poren und Membranen verstopft werden. Diese augenfällige Auswirkung setzt sofort nach Austreten des Öls ein und hält solange an, bis das Öl nicht mehr klebt. Darüber hinaus ist Öl aber auch **giftig**, was sich wesentlich schwerer zeigen und nachweisen lässt. Die giftigsten Ölbestandteile, die sofort töten können, verdampfen bereits kurz nach dem Ölaustritt in die Luft. Die übrigen Giftstoffe wirken oft erst nach Monaten oder Jahren. Das zeigt sich dann zum Beispiel durch **geringere Erfolge** bei der Fortpflanzung, durch **erhöhte Krebsraten** oder einfach eine **höhere Anfälligkeit gegenüber Krankheiten**.“

• (Aus: <https://www.ikzm-d.de/inhalt.php?page=117,3236>)



# Öl

- Rohöle und Ölprodukte sind **Stoffgemische**. Die Auswirkungen von Öl auf die Umwelt sind so vielfältig wie dessen Bestandteile. Allgemein sind **leichte Ölprodukte toxischer als Rohöl, dieses wiederum ist schwieriger abbaubar**.

- Schädigungen durch Öl sind natürlich umso höher, je länger und massiver hohe Ölkonzentrationen auf die Umwelt einwirken.

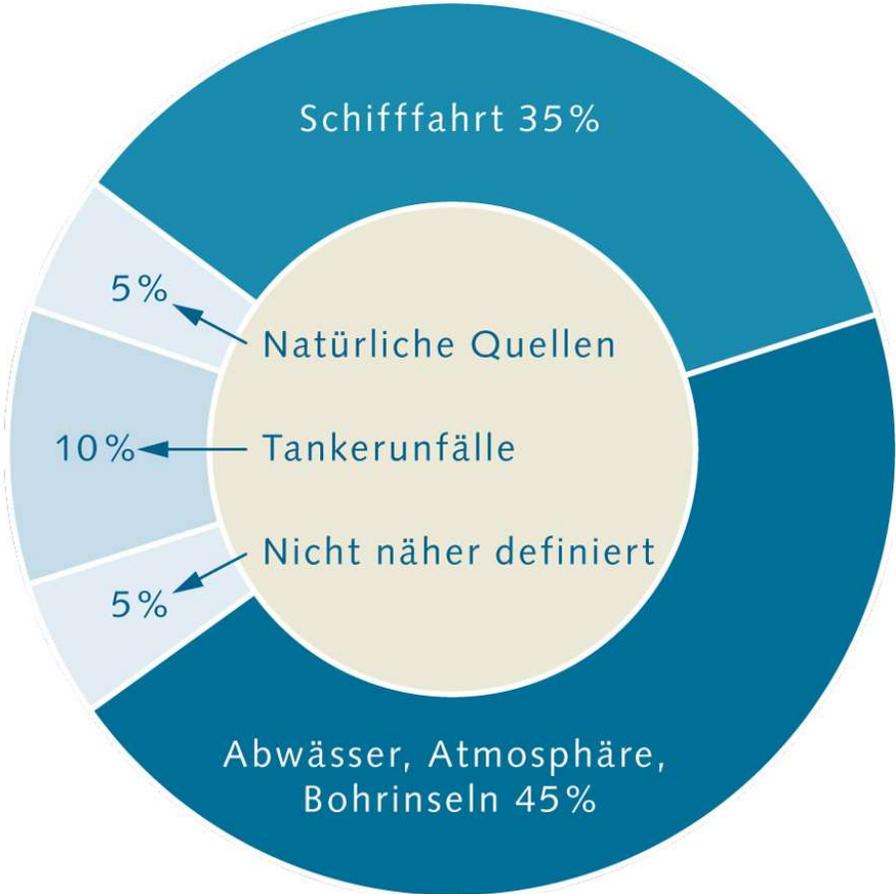
- Je höher die Temperatur, je größer die Windstärke und je höher die Wellen sind, desto größer wird der Anteil des Öls sein, der verdunstet, gelöst und dispergiert wird. → Umso weniger Öl wird in dem auf dem Wasser schwimmenden Ölfilm verbleiben. Die **Wetterverhältnisse** bestimmen auch wesentlich den Erfolg von Ölbekämpfungsmaßnahmen auf See

- Umso **feiner der Boden** eines Küstenabschnitts, umso länger die Verweildauer von Ölbelastung, da einmal im Boden aufgenommenes Öl kaum wieder ausgeschwemmt wird

- Je länger das Öl im Sediment ist, desto länger kann es folglich Schaden anrichten. Die Persistenz ist abhängig von der stofflichen Zusammensetzung des Öls, der Porengröße des Sediments, der Exposition gegenüber Wellenschlag sowie von der Besiedlung des Sediments durch benthische Organismen.

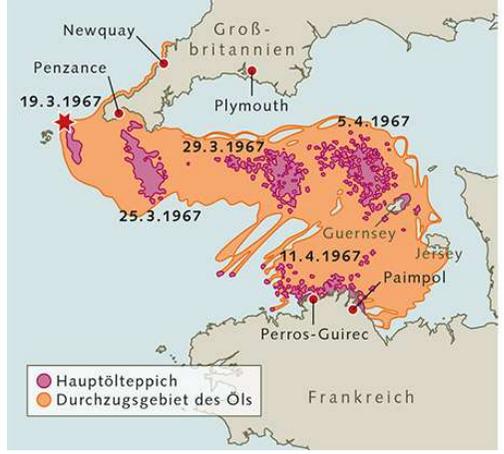
→ Jedes Ökosystem reagiert anders auf Ölverschmutzungen. R-Strategen haben i.d.R. Bessere Chancen

# Wo das Öl herkommt...



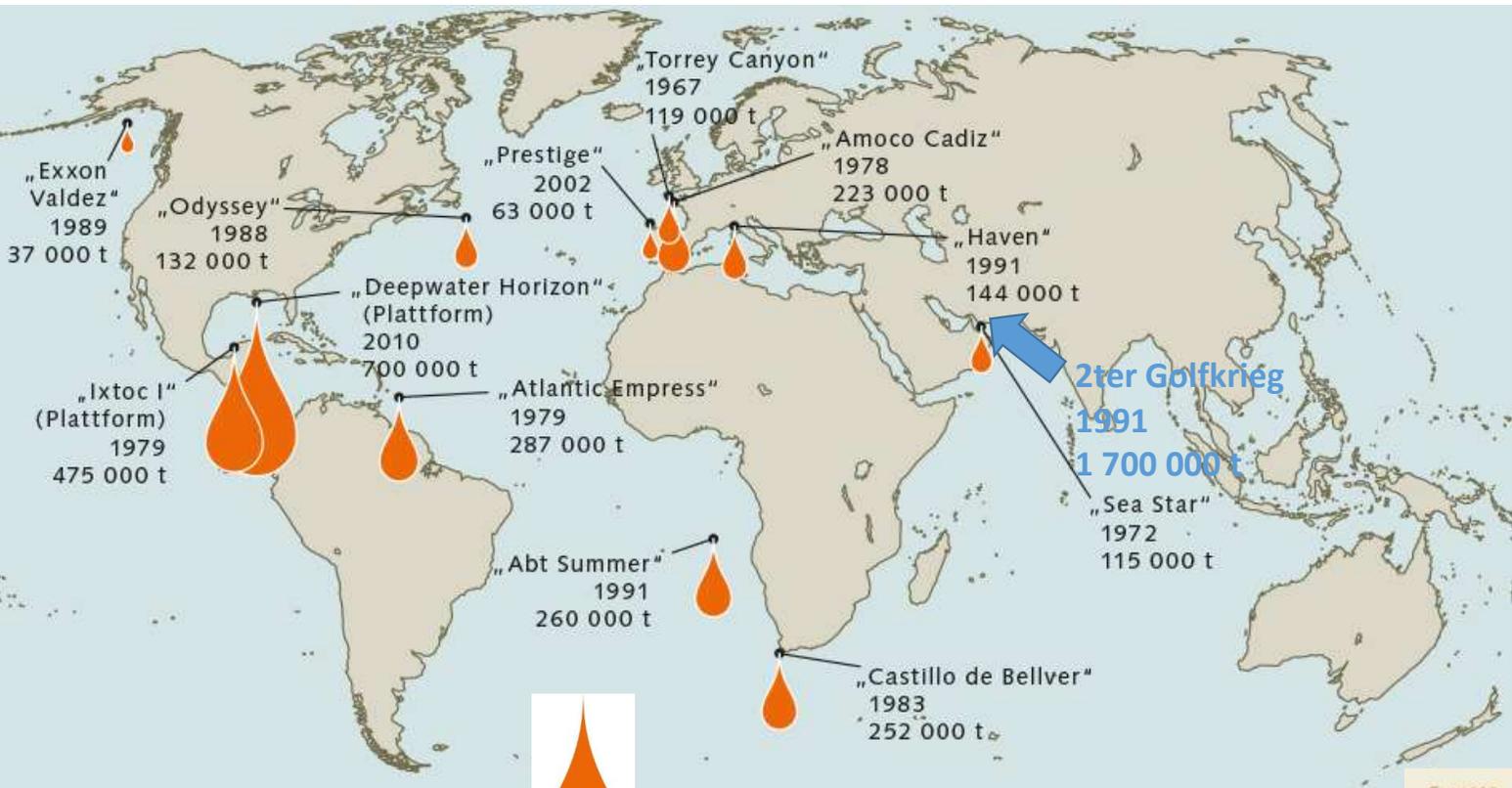
Derzeit geht man von ca. 1 Million Tonnen Öl jährlich aus, die direkt oder indirekt in Gewässer eingetragen werden. In die Medien schaffen es meist „nur“ die schweren Ölkatastrophen, was das Bewusstsein für die Gesamtlage verzerrt.

<https://worldoceanreview.com/wor-1/verschmutzung/oel/>

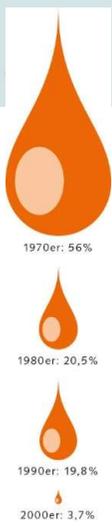


Das Böse Erwachen. 1967 verunglückt der Tanker „Torrey Canyon“ im Ärmelkanal mit 119 000 Tonnen Rohöl an Bord. Innerhalb von 3 Wochen entstand ein Ölteppich von knapp 1000 qkm

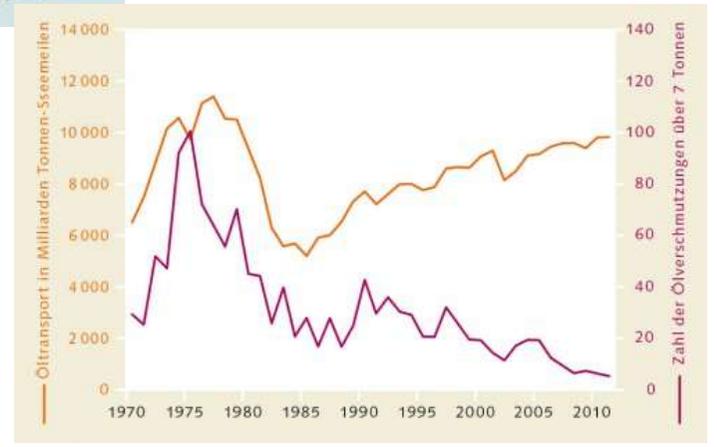
<https://worldoceanreview.com/de/wor-3/oel-gas/von-der-veroelung-der-ozeane/>



<https://worldoceanreview.com/de/wor-3/oel-gas/von-der-veroelung-der-ozeane/>



*„Von der gesamten Ölmenge, die zwischen 1970 und 2009 weltweit bei Tankerunfällen freigesetzt wurde, entfällt der größte Teil auf die 1970er Jahre, der kleinste auf die Jahre 2000 bis 2009“*



<https://worldoceanreview.com/de/wor-3/oel-gas/von-der-veroelung-der-ozeane/>

# Öl

## Maßnahmen im Ernstfall:

- Eingrenzung
- Skimming (=Abschöpfen)
- **Dispergierung** durch Chemikalien
- Enzymatische **Oil-Dissolver**
- Verbrennung
- Gentechnische Verbesserung **ölabbauender Bakterien**
- Abtragen an Stränden
- Säuberung und Behandlung der Tiere

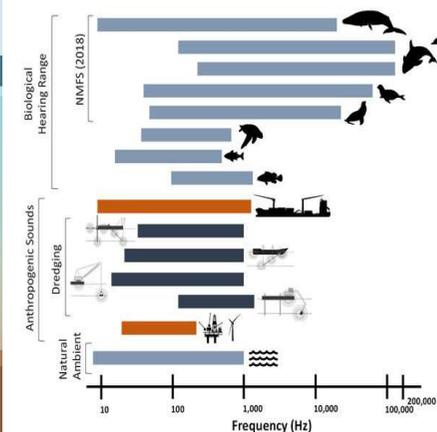
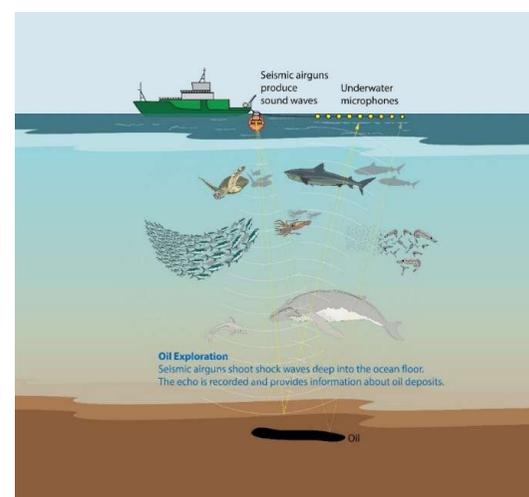
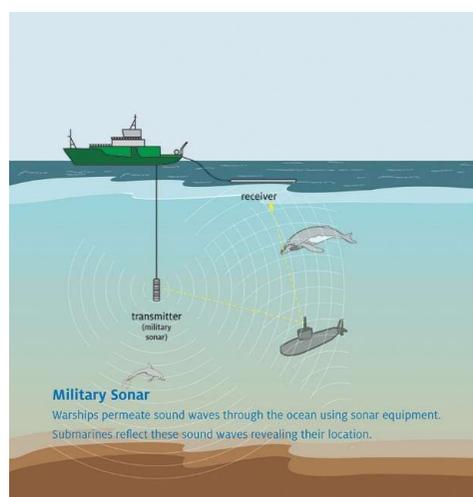
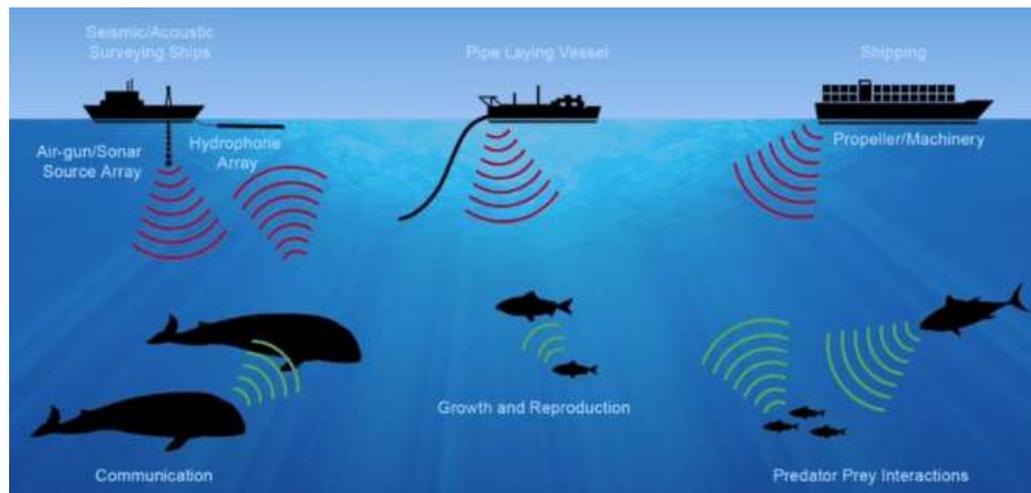
## Prävention:

- Bereitstellung zügig einsatzbereiter Bergungsschiffe
- Flug- und Radarüberwachung viel befahrener Routen
- Verbesserung der Tankersicherheit durch Mehrwandigkeit
- Anpassung der Sicherheitssysteme an Förderanlagen → Blowout-Preventer
- Bestrafung von Umweltsündern

Rahmenrichtlinien installiert seit 1990: International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation (OPRC)

# Lärmbelastung

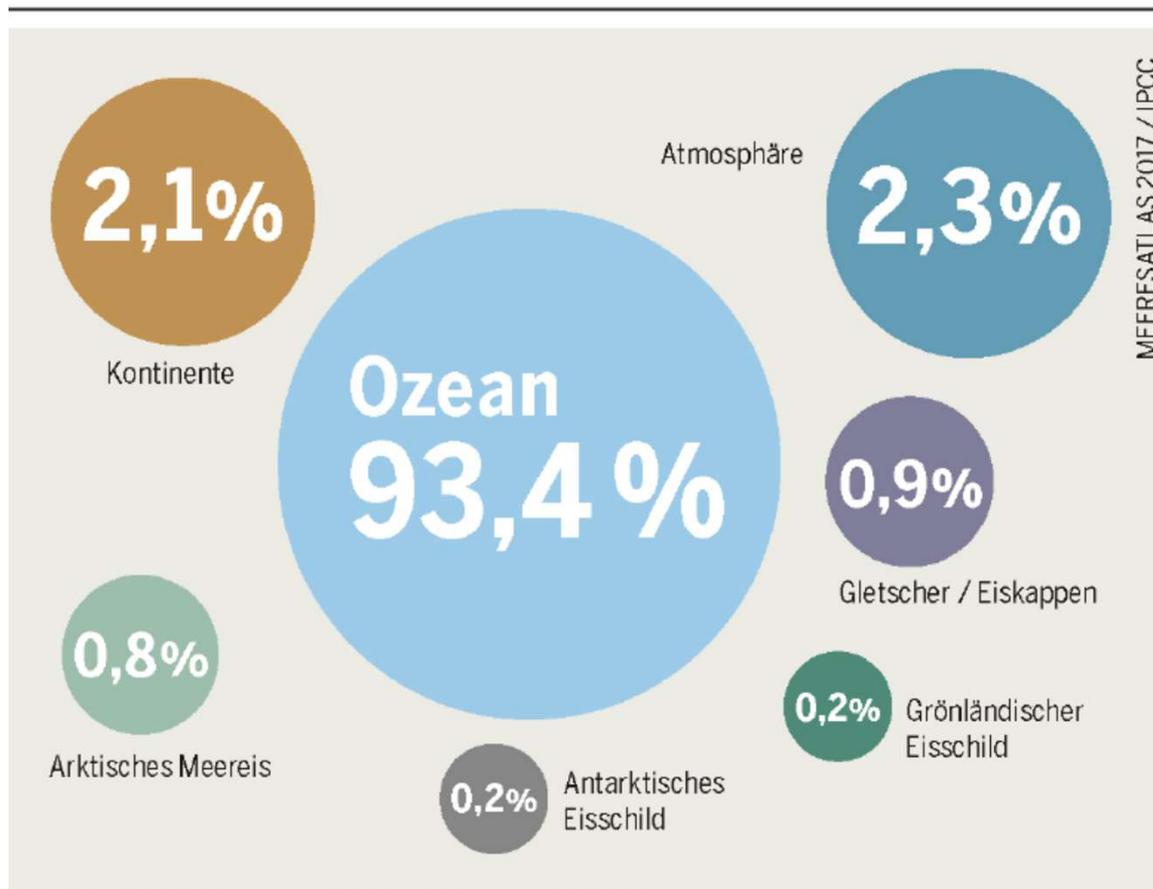
- Schall breitet sich im Wasser ca. 5x schneller aus, als in der Luft
- → Weiter, länger, lauter!
- Schifffahrt allein, hat zu einer Erhöhung des Hintergrundgeräuschpegels von 10 dB in den letzten 50 Jahre geführt
- Menschliche Schall-Schmerzgrenze bei ca. 120-140 dB
- Nutzung von Sonar, Sprengungen und verschiedene Rohstoffexplorationstechniken erzeugen Schalldruckpegel von bis zu 250 dB



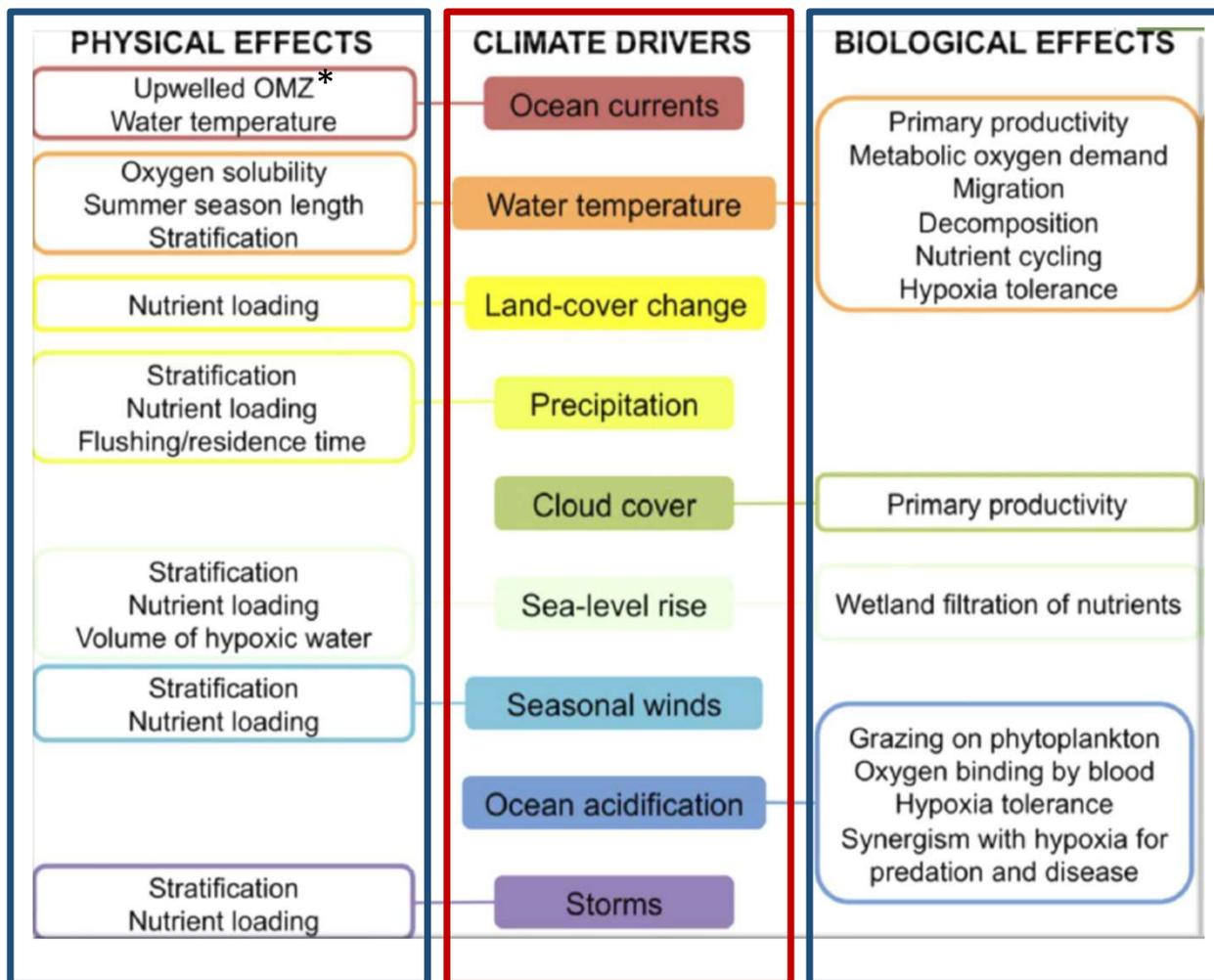
<https://www.oceancare.org/en/our-work/ocean-conservation/underwater-noise/silent-oceans-causes-underwater-noise/>

# Meere und Klimawandel

## Wo geht die Wärme hin?

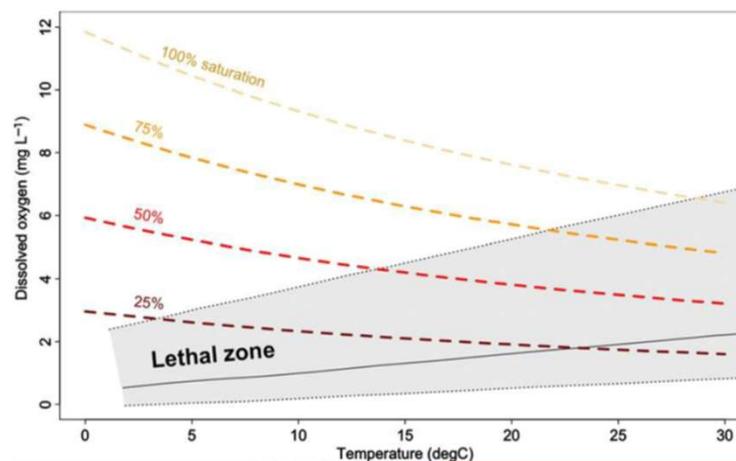


# Klimatreiber und deren phsyikalische und biologische Effekte



- Primärproduktivität
- Biologischer Sauerstoffbedarf
- Nährstoffkreislauf und abbauende Prozesse
- Hypoxietoleranz
- ...

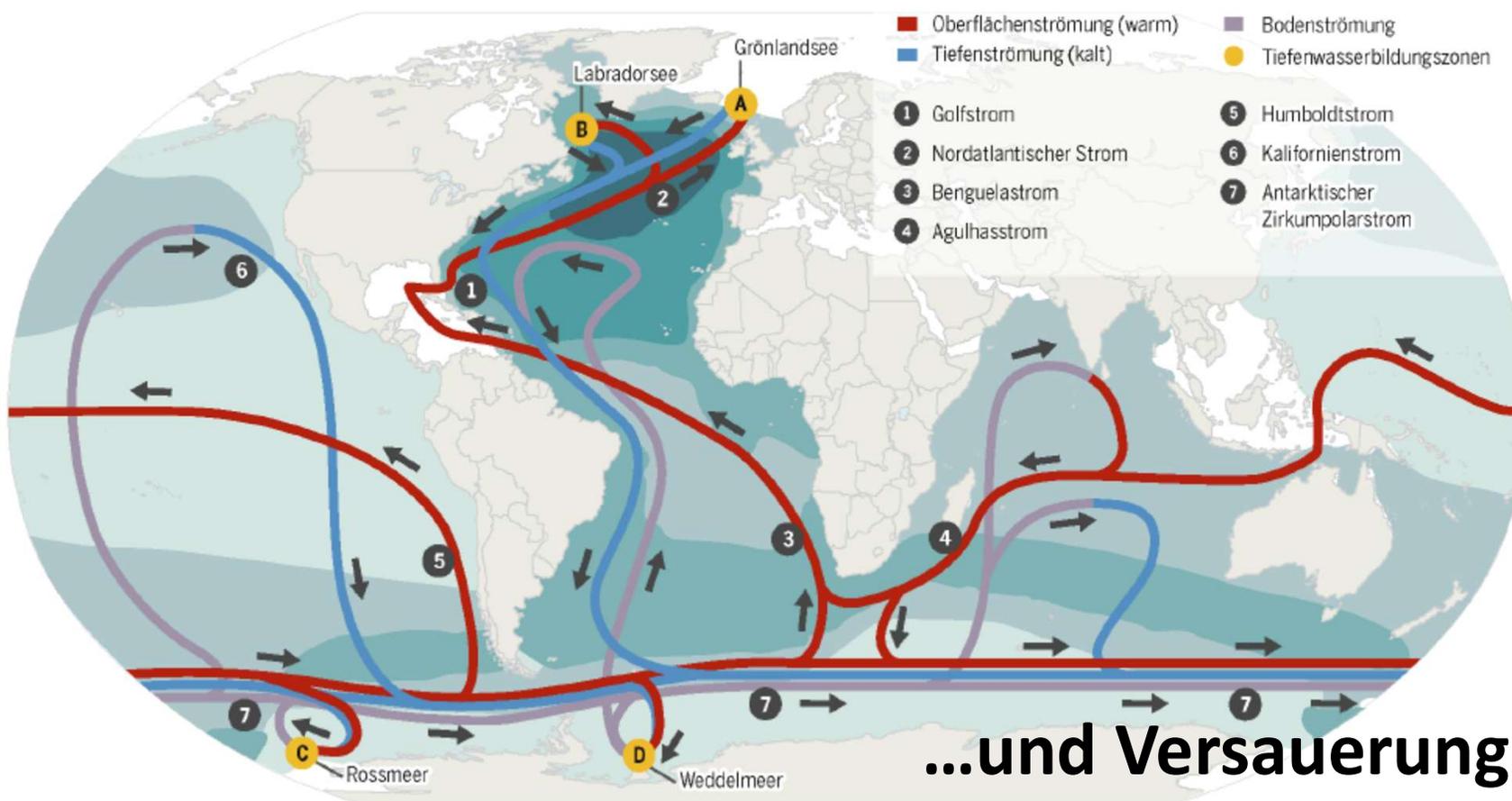
\*OMZ =Oxygen Minimum Zone)



Beispiel Temperatur und tödliche Sauerstoffkonzentration

# Beispiel CO<sub>2</sub>-Speicherung

Das globale Förderband – wie die Ozeane das CO<sub>2</sub> speichern



MEERESATLAS 2017 / WOR / SABINE

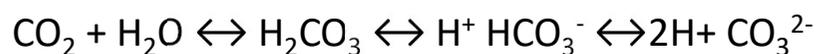
Menge des vom Menschen erzeugten CO<sub>2</sub>  
in der Wassersäule in mol/m<sup>2</sup>



# Ph-Wert, Temperatur, CO<sub>2</sub> & Wasserhärte

- Während jeder Parameter einzeln für sich genommen, maßgeblichen Einfluss auf den Zustand von Organismen nimmt, lassen sich Auswirkungen insgesamt, z.B. durch anthropogene Veränderung eines Parameters, nur im Bezug zueinander erklären

Umso mehr CO<sub>2</sub> in Atmosphäre, umso mehr löst sich in Wasser



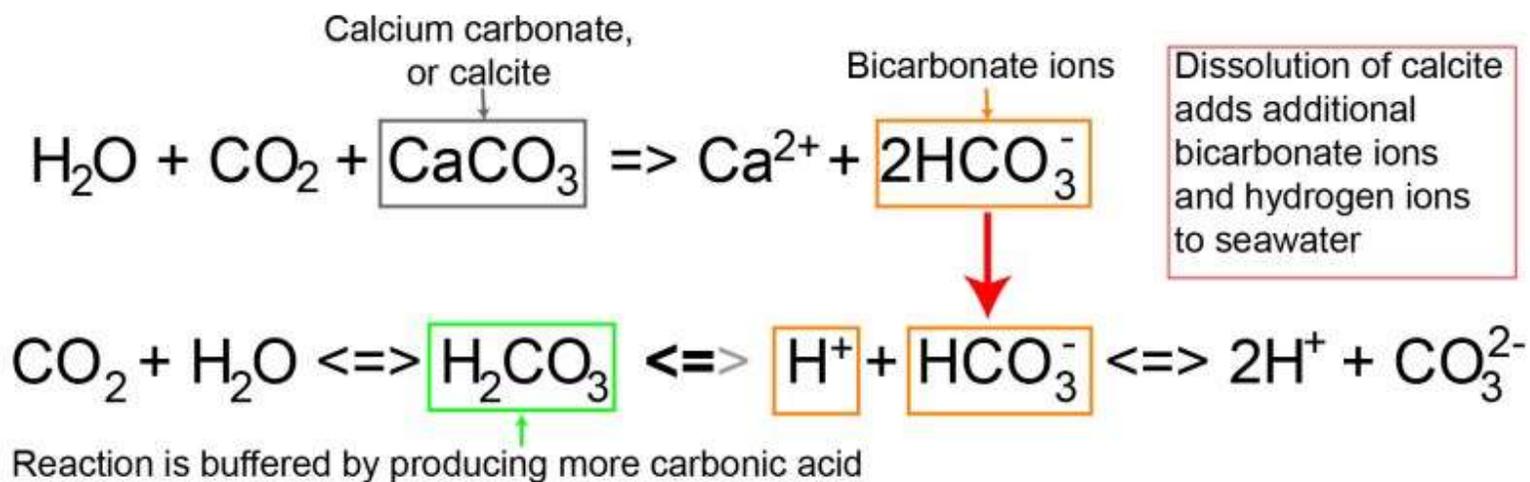
Je mehr CO<sub>2</sub>, umso saurer der pH

Anstieg der Temperatur (Treibhaus) → Löslichkeit von Gasen nimmt ab

Weniger Aufnahme von CO<sub>2</sub>

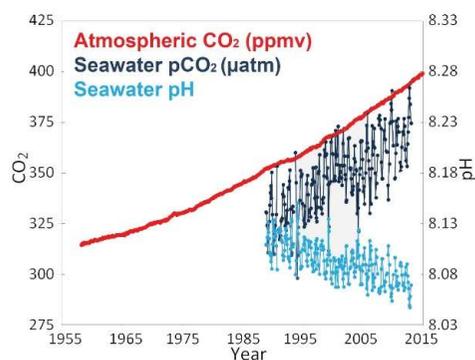
CO<sub>2</sub> Gehalt und pH-Wert nehmen Einfluss auf die Löslichkeit von Mineralien und damit auf die Wasserhärte → Verfügbarkeit an Carbonaten ändert sich

# Ph-Wert, Temperatur, CO<sub>2</sub> & Wasserhärte



<https://timescavengers.blog/climate-change/ocean-chemistry-ocean-acidification/>

Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Atmosphäre korrespondiert mit erhöhter Lösung von CO<sub>2</sub> im Oberflächenwasser der Ozeane. Das gelöste CO<sub>2</sub> ("acid gas") reagiert mit Wasser zu Kohlensäure (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Kohlensäure dissoziiert zu Bikarbonat-Ionen (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) und Wasserstoff-Ionen (H<sup>+</sup>). Die zunehmende Konzentration von H<sup>+</sup> sorgt für Versauerung der Ozeane.



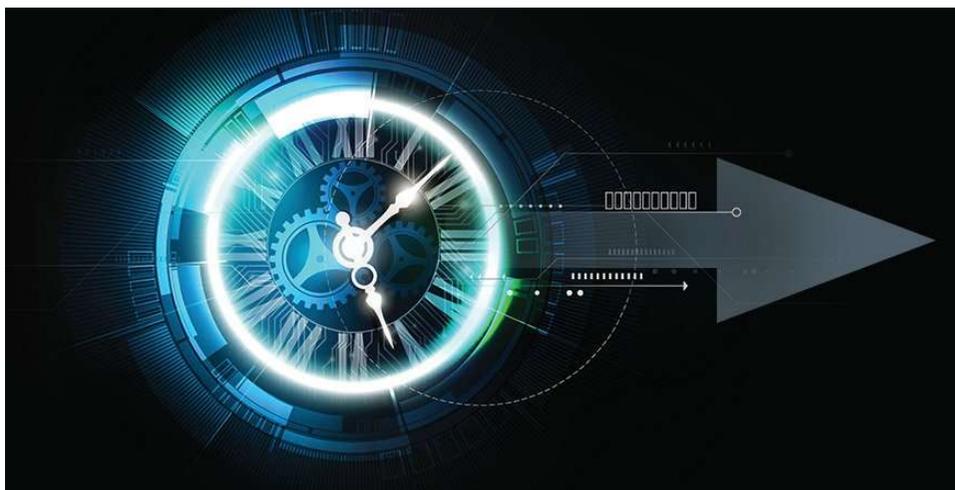
Time series of carbon dioxide and ocean pH at Mauna Loa, Hawaii

<https://oceanacidification.noaa.gov/OurChangingOcean.aspx>

Den direkten Zusammenhang zwischen steigendem CO<sub>2</sub> Gehalt in der Atmosphäre, den Meeren und dem damit verbundenen Absinken des pH-Werts kann man überall auf dem Planeten messen

# Ph-Wert, Temperatur, $\text{CO}_2$ & Wasserhärte

## Zeit!



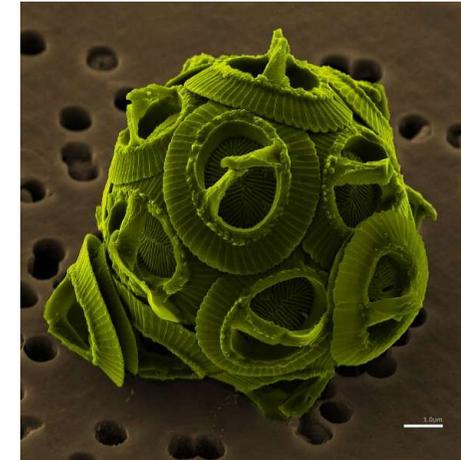
**Problem:**

Die Durchmischung der Ozeane läuft langsam! Die Pufferung (falls kein neues  $\text{CO}_2$  mehr erzeugt wird) wird nach derzeitigen Hochrechnungen 1000 bis 100000 Jahre dauern...

... In der Zwischenzeit...

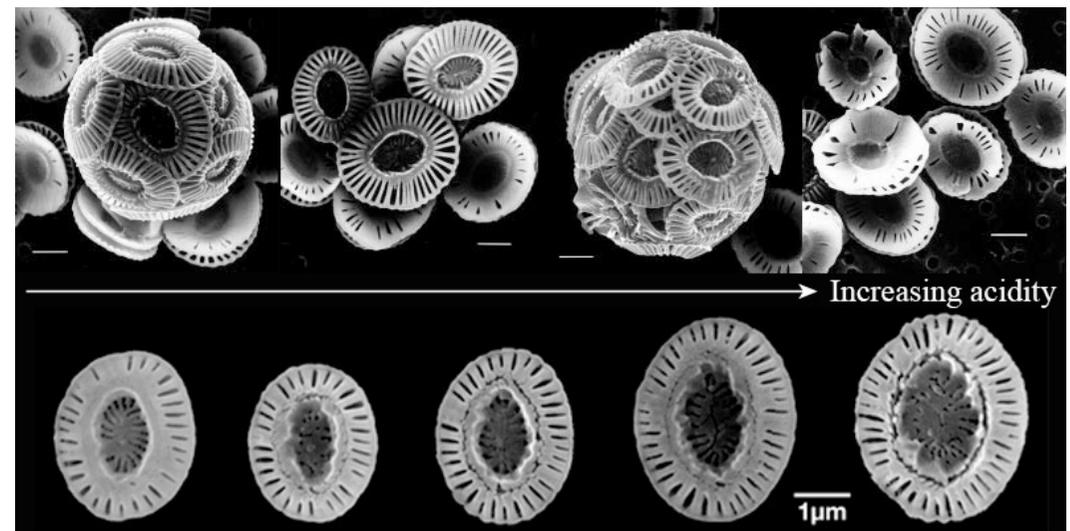
# Auswirkungen von Versauerung

- Coccolithophorida (Kalkflagellaten) sind einzellige Algen die sich aufgrund ihres Coccolithes (Kalziumkarbonat-Plättchen, welches den Zellkörper umschließt), sehr gut zur Untersuchung von pH Änderungen eignen. Coccolithophorida sind und waren an der erdgeschichtlichen Gesteinsbildung maßgeblich beteiligt.



Von Photo by NEON ja, colored by Richard Bartz - Eigenes Werk, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6072505000>.

Coccolithen von *Emiliana huxleyi* zeigen deutliche morphologische Änderungen bei sinkendem pH-Wert



Aus: M. D. Iglesias-Rodríguez et al., Science (Washington), 336 (2008, 2008);  
Und U. Riebesell et al., Nature 407, 364 (Sep 21, 2000).

# Thermische Belastung und Coral Bleaching

Korallen im gebleichten Zustand sind zudem anfälliger für Zersetzung durch saure pH-Werte, da die mineralischen Stützstrukturen exponiert sind



December 2014

February 2015

August 2015

## CORAL BLEACHING

Have you ever wondered how a coral becomes bleached?

**HEALTHY CORAL**  
1 Coral and algae depend on each other to survive.

Coral has a symbiotic relationship with microscopic algae called zooxanthellae that live in their tissues. These algae are the coral's primary food source and give them their color.

**STRESSED CORAL**  
2 If stressed, algae leaves the coral.

When the symbiotic relationship becomes stressed due to increased ocean temperature or pollution, the algae leave the coral's tissue.

**BLEACHED CORAL**  
3 Coral is left bleached and vulnerable.

Without the algae, the coral loses its major source of food, turns white or very pale, and is more susceptible to disease.

**WHAT CAUSES CORAL BLEACHING?**

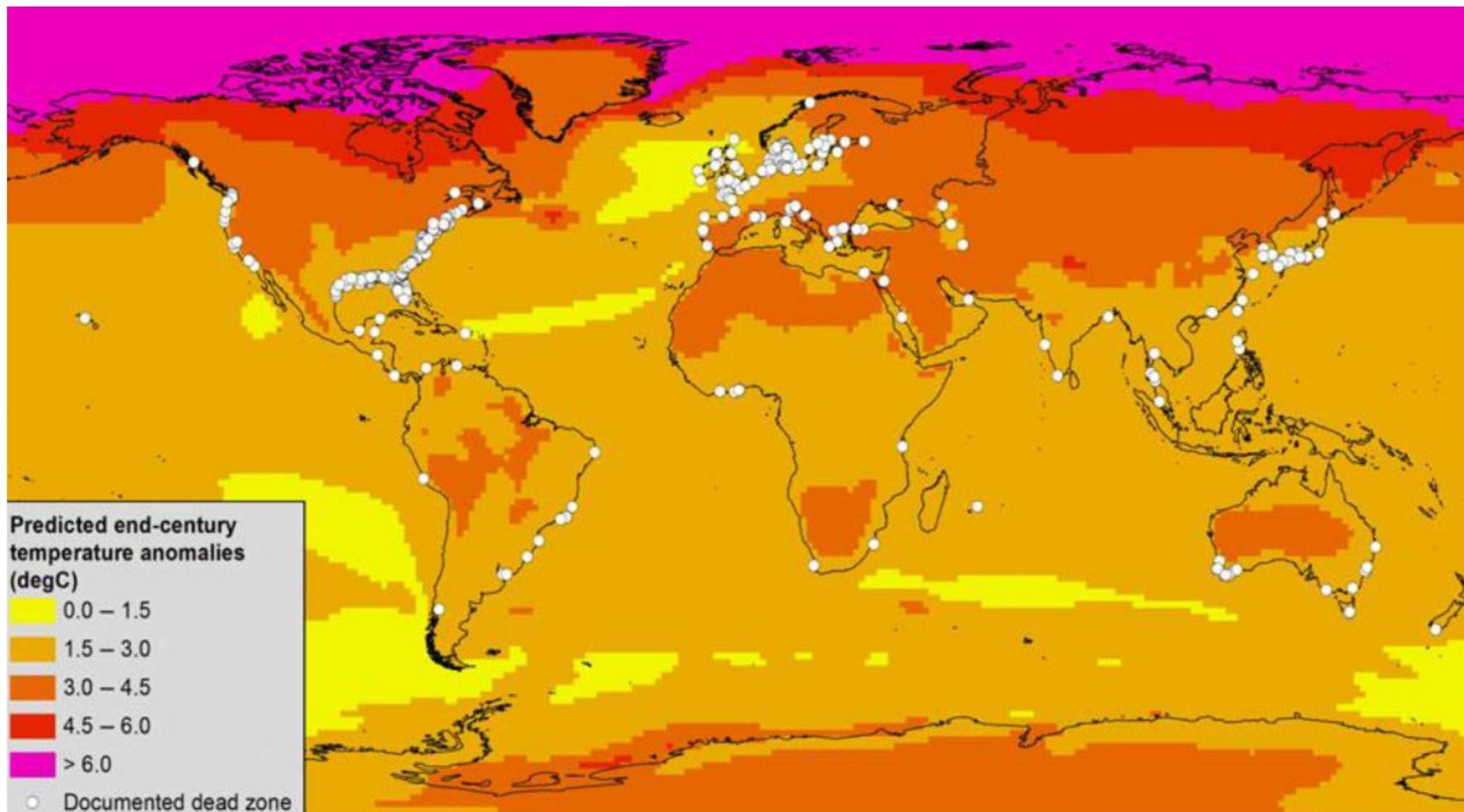
- Change in ocean temperature**  
Increased ocean temperature caused by climate change is the leading cause of coral bleaching.
- Runoff and pollution**  
Storm generated precipitation can rapidly dilute ocean water and runoff can carry pollutants — these can bleach near-shore corals.
- Overexposure to sunlight**  
When temperatures are high, high solar irradiance contributes to bleaching in shallow-water corals.
- Extreme low tides**  
Exposure to the air during extreme low tides can cause bleaching in shallow corals.

NOAA's Coral Reef Conservation Program  
<http://coralreef.noaa.gov/>

<https://climatechange.lta.org/wp-content/uploads/cct/2015/02/CoralBleaching.jpg>

https://www.downtoearth.org.in/coverage/climate-change/bleached-to-death-56019

# Thermische Belastung und hypoxid "Deadzones"



# Beispiel Humboldt Kalmar

- Bis zu 2,5m lang, 50kg schwer und 25km/h schnell → Apex-Predator
- Lebt und jagt in Schwärmen von bis zu 1200 Individuen, über eine Wassersäule von ~1250m
- 3 riesige Kiemen mit je einem eigenen Herzen, plus Zentralherz → extreme Ausdauer!
- Lebenserwartung von nur 2 Jahren, das heißt : Immense Wachstumsrate von der nur 1mm großen Larve bis hin zum adulten Tier
- Jedes Weibchen produziert bis zu 3x in ihrem Leben je bis zu 40 Mio. Eier
- Man vermutet Schwarmkommunikation über Farbwechsel
- Breitet sich derzeit rasend schnell über die gesamte Pazifik-Küste aus (von Alaska bis runter nach Chile)

