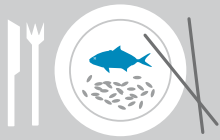
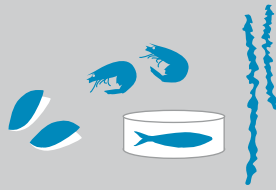


# Der Mensch...

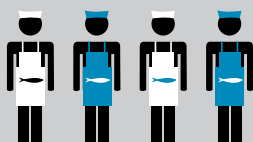
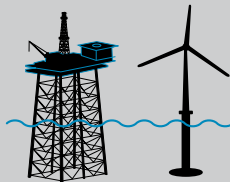
Wir profitieren von den Meeren und machen sie uns zunutze, als:

**Nahrungsmittel-Lieferant**  
Fisch, Algen und Muscheln stellen die Lebensgrundlage für viele Menschen dar.



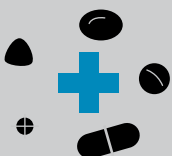
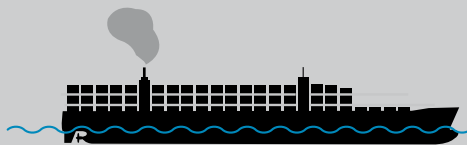
**Armutsbekämpfer**  
In Entwicklungsländern ist Fisch oft die einzige erschwingliche Proteinquelle.

**Energie- und Rohstoff-lieferant** Von Erdöl bis zur Nutzung von Offshore-windenergie.



**Arbeitgeber**  
Bis zu 12 % aller Erwerbstätigen weltweit hängen von der Fischindustrie ab.

**Transportweg**  
Milliarden von Waren werden jährlich über die Ozeane verschifft.

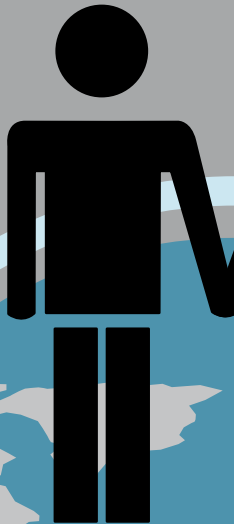


**Medikamente-Lieferant**  
Aus dem Meer gewonnene Stoffe stellen die Grundlage für einige Medikamente dar.



**Erholungs-oase**  
Die Strände und Küstenregionen sind beliebtes Freizeit- und Urlaubsziel.

Wie der Mensch die Meere stetig bedroht:



**Klimawandel**



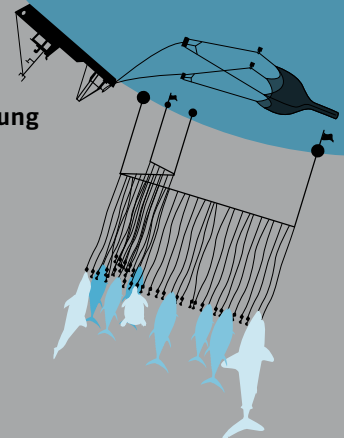
**Verschmutzung**



**Industrialisierung**



**Überfischung**



# ...und das Meer

Wie wir zum Meereschutz beitragen können:



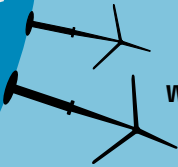
Konsum ändern



Mehr Recycling, weniger Plastik



Weniger CO<sub>2</sub>-Ausstoß



Weniger Fisch essen

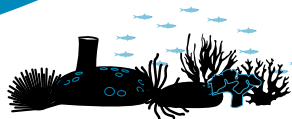


Mehr Schutzgebiete



Kinderstube

Korallenriffe sind ein sicherer Ort für Fortpflanzung und Artenvielfalt.



Die Ozeane leisten einen großen Beitrag, sie sind:

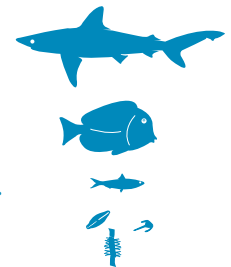


**Klimaregulator**

In ständigem Austausch mit der Atmosphäre steuern sie Wetter und Klima.

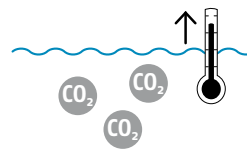
**Lebensraum**

Sie schaffen biologisches Gleichgewicht durch komplexe Nahrungsketten.



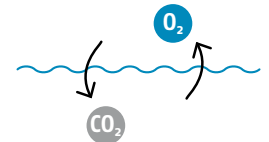
**Klimaschützer**

Sie erzeugen eine »Pufferwirkung« durch die Aufnahme von CO<sub>2</sub> und Wärmeenergie.



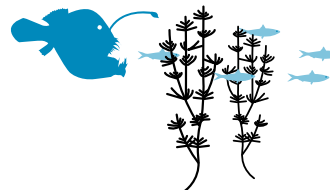
**Sauerstoffversorger**

Sie wandeln unser CO<sub>2</sub> um und produzieren unter anderem Sauerstoff.



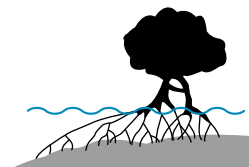
**Stabilisator**

Mithilfe von biologischer Vielfalt sorgen sie für stabile Ökosysteme.

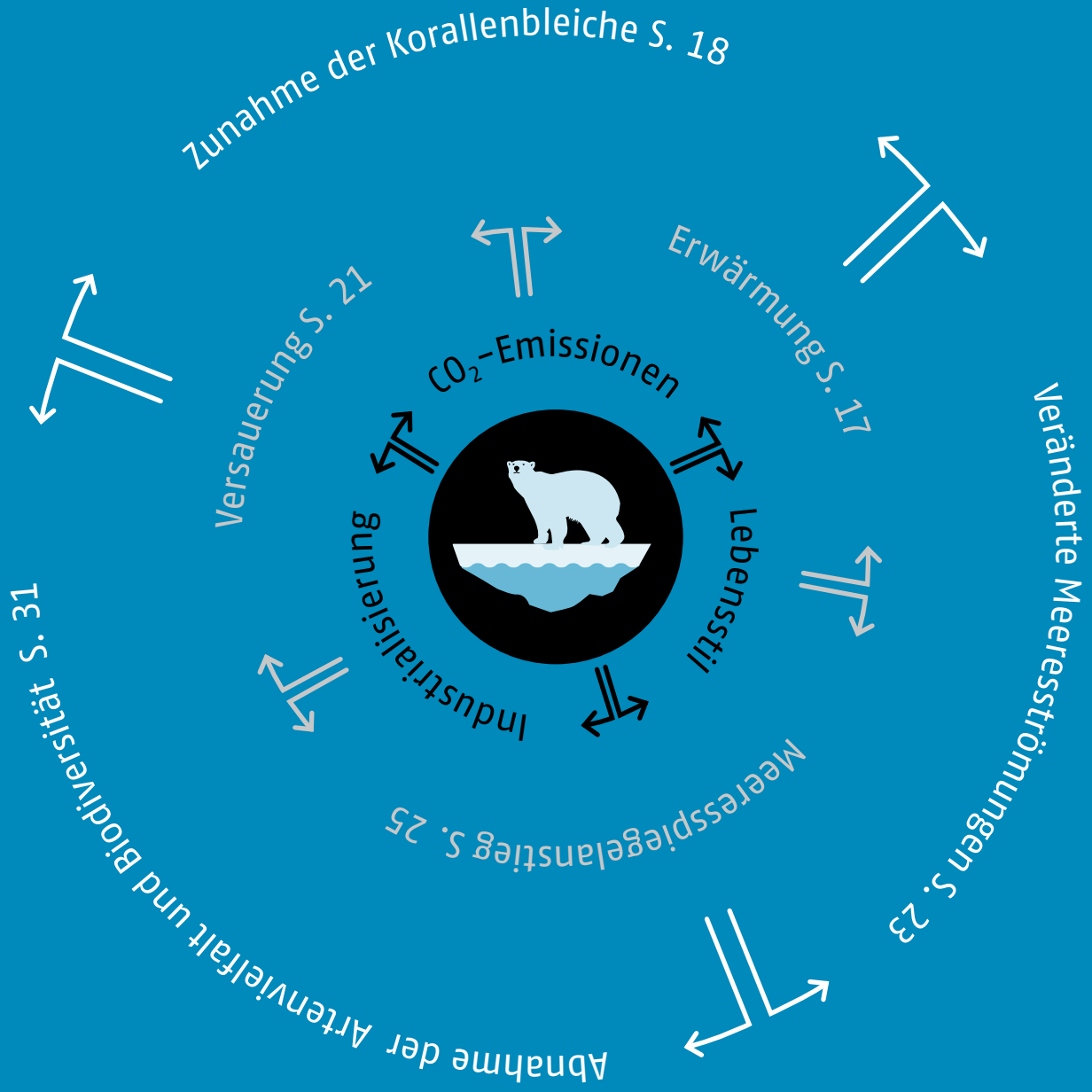


**Küstenschützer**

Mangroven schützen die Küsten vor Erosion und Überschwemmungen.



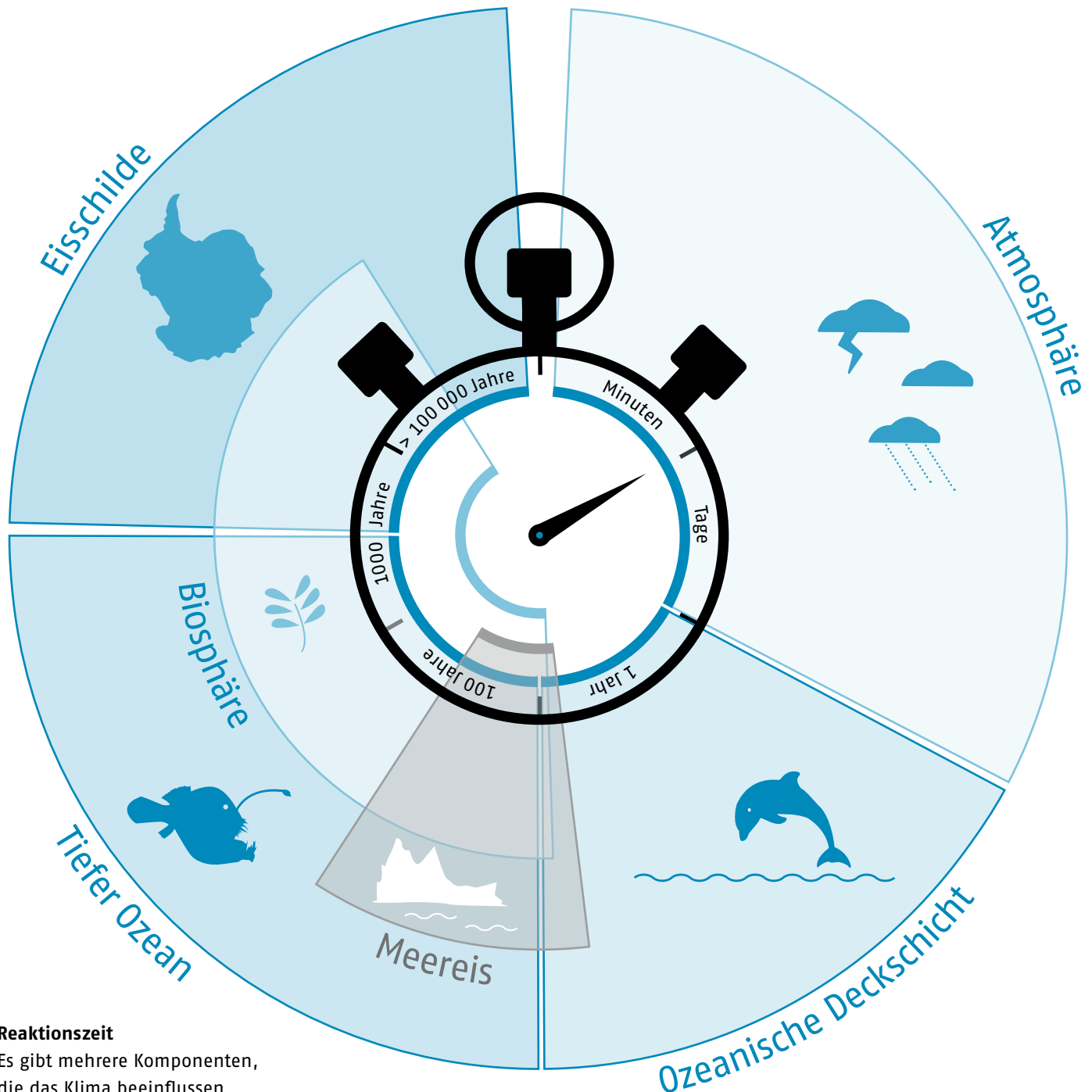
→ Ursachen → direkte Folgen → indirekte Folgen → Lösungsansätze



→ Aquakultur der Zukunft S. 65  
→ Erneuerbare Energien S. 75

# Klimawandel

# Wie tickt das Klima?

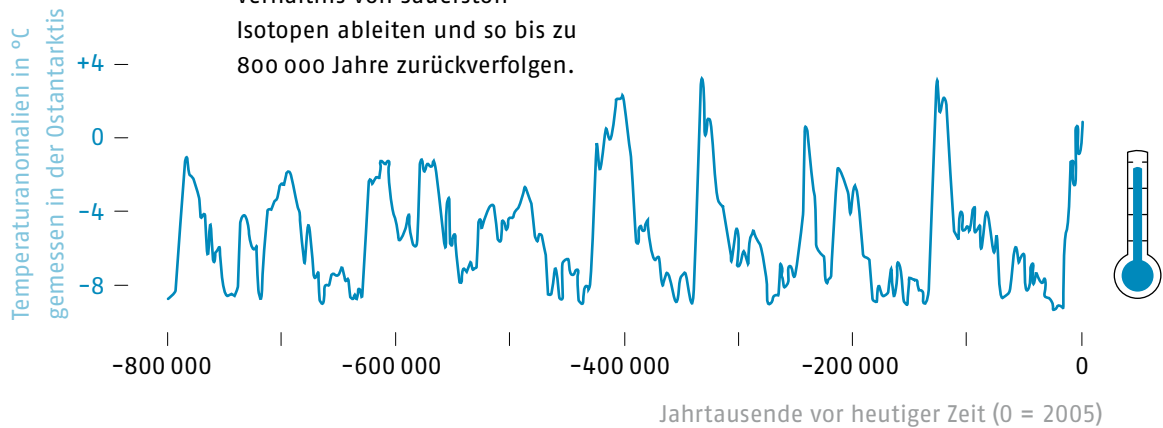


## Reaktionszeit

Es gibt mehrere Komponenten, die das Klima beeinflussen, beispielsweise Atmosphäre sowie die Kryosphäre und die Biosphäre an Land und im Ozean. Sie reagieren unterschiedlich schnell auf Veränderungen, von Minuten bis zu Jahrtausenden.

### Historisches Weltklima

Veränderungen der Durchschnittstemperatur der Erde und die Zusammensetzung unserer Atmosphäre können Wissenschaftler anhand von im antarktischen Eis eingeschlossenen Gasbläschen und dem dortigen Verhältnis von Sauerstoff-Isotopen ableiten und so bis zu 800 000 Jahre zurückverfolgen.



In seiner langen Geschichte hat sich unser Planet mehrmals erwärmt und wieder abgekühlt. Das Klima hat sich stetig verändert, durch subtile Veränderungen der Erdbahn um die Sonne, der Oberfläche, Atmosphäre und durch Schwankungen in der Sonnenintensität. Dabei ist der natürliche Treibhauseffekt – die kurzwellige Sonneneinstrahlung tritt durch unsere Atmosphäre ein, wird an der Erdoberfläche in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt und in der Atmosphäre zum Teil wieder absorbiert – wichtig für unser Dasein auf der Erde, denn ohne ihn würden Minusgrade herrschen.

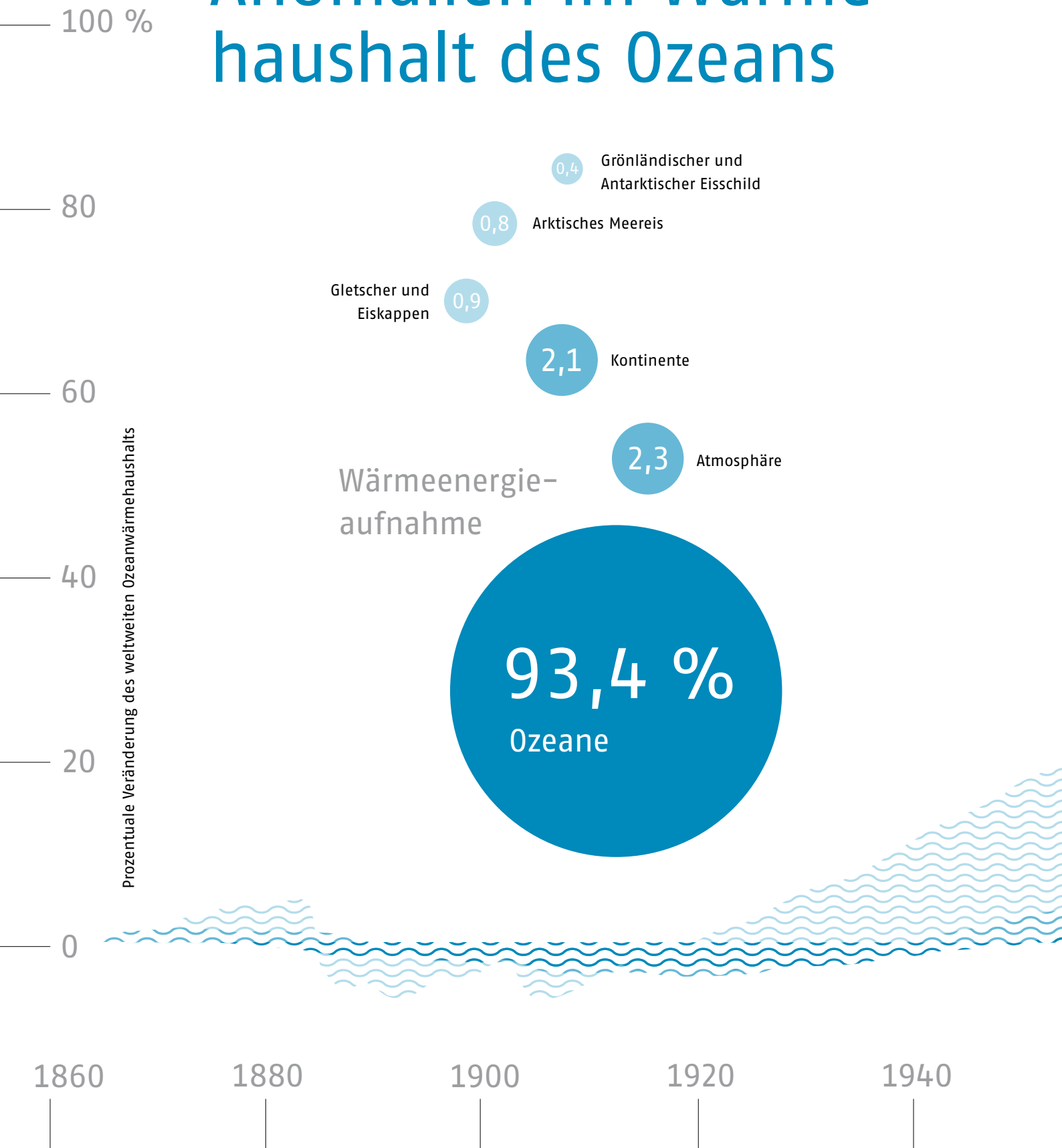
Doch seit dem Beginn der Industrialisierung und des massiven Ausstoßes von  $\text{CO}_2$  und anderen Spurengasen im letzten Jahrhundert trägt der Mensch entscheidend dazu bei, dass sich die Erdoberfläche zusätzlich erwärmt. Je mehr menschengemachtes  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre ist, desto mehr Wärmestrahlung bleibt »eingeschlossen«, was dazu führt, dass sich unser Planet wie in einem Treibhaus erwärmt. Wissenschaftler haben anhand von Eisbohrkernen aus der Antarktis die dortigen Temperaturanomalien der letzten 800 000 Jahre rekonstruiert. An ihnen und anhand anderer Klima-

archive können wir ablesen, dass sich das Klima momentan weit schneller erwärmt als bei historischen Erwärmungen.

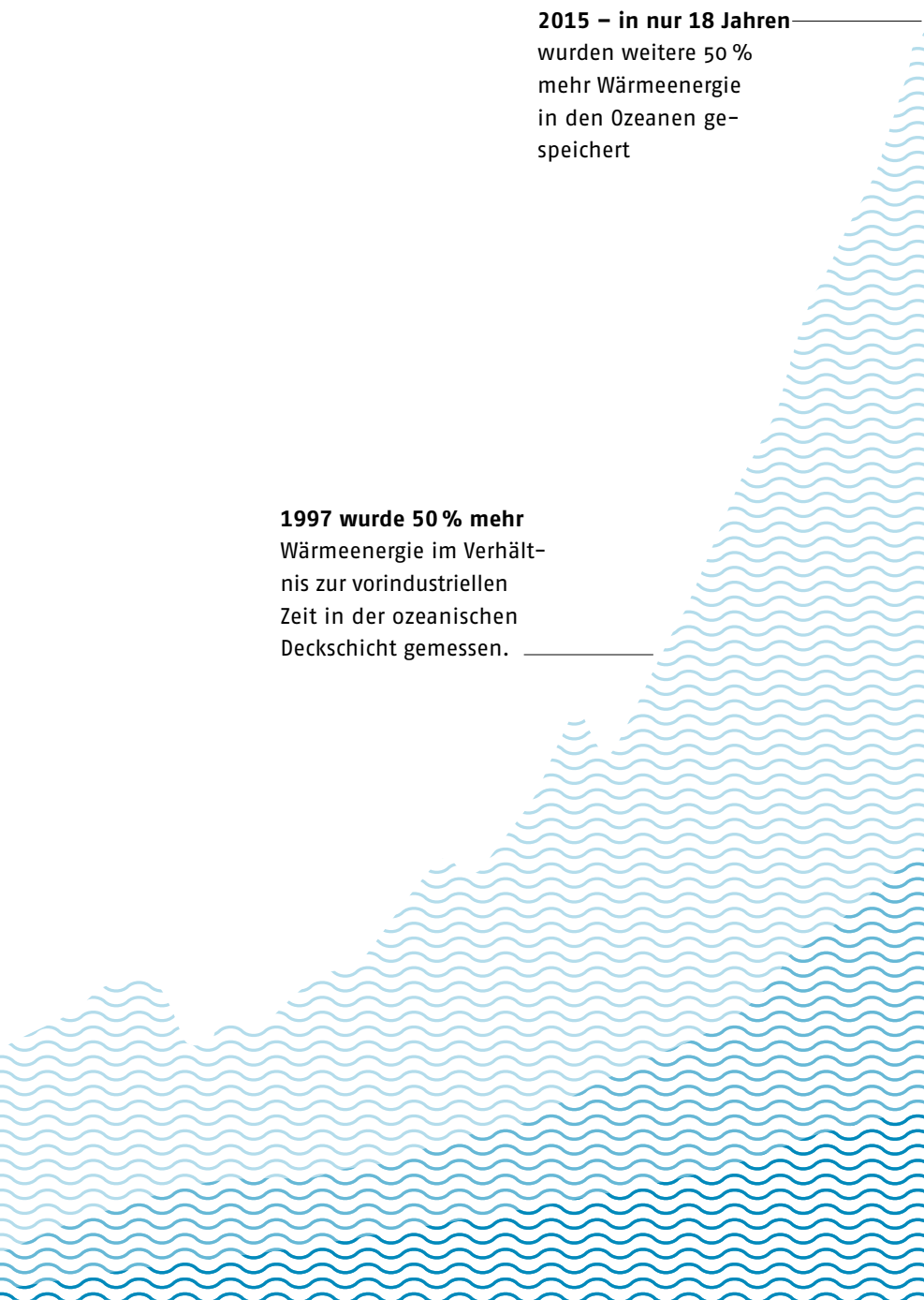
Dieser Klimawandel hat gravierende Auswirkungen auf das Meer. Da die Oberfläche des Ozeans relativ dunkel ist, nimmt er viel Sonnenenergie auf. Mit seinen weltumspannenden, trägen Meeresströmungen speichert und transportiert er gigantische Mengen Wärme und  $\text{CO}_2$ . Der schnelle Anstieg des  $\text{CO}_2$ -Gehalts des Ozeans ist alarmierend, denn die daraus resultierende Versauerung kann dem Ökosystem, den Meeresbewohnern und den Riffen irreparabel schaden.

Das ozeanische Klima reagiert langsam auf Veränderungen des Treibhauseffektes: Die ozeanische Deckschicht, vom Wind durchmischt, reagiert innerhalb von Monaten bis Jahren, der Tiefe Ozean reagiert erst mit hundert oder tausend Jahren Verspätung, die Eisschilde in der Antarktis sogar erst mit einigen hundert bis Tausenden Jahren Verspätung. Einmal angestoßen, können Prozesse wie die Umkehrung der Meeresströmungen oder Eisschildschmelze vom Menschen also nicht mehr gestoppt werden – daher ist es wichtig, den weltweiten  $\text{CO}_2$ -Ausstoß so schnell wie möglich zu verringern.

# Anomalien im Wärmehaushalt des Ozeans



Gemessene Wassertiefen 0-700 m 700-2000 m 2000 m bis zum Meeresgrund



Der Ozean hat die größte Wärmespeicherkapazität der Erde. Während die Atmosphäre sich immer mehr aufheizt, federt der Ozean den menschengemachten Temperaturanstieg ab. Das Wasser wärmt sich dabei auf und dehnt sich aus, was zum Meeresspiegelanstieg beiträgt. Die Wärme wird zunächst oberflächennah und später bis hinab in die Tiefe gespeichert. Dabei wird nicht nur Wärme aufgenommen, sondern auch wieder abgegeben: In Äquatornähe wird die meiste Wärme gebunden, durch Oberflächenströmungen wie den Golfstrom wird sie dann nach Norden transportiert, wo ein Teil der Wärme an die Atmosphäre abgegeben wird.

In den vergangenen 18 Jahren hat sich die Wärmeaufnahme der Ozeandeckschicht verdoppelt, in den mittleren Tiefen ist sie um 35 % angestiegen, parallel hat sich die Klimaerwärmung stark beschleunigt.

Die Weltmeere zusammen mit der Biosphäre an Land leisten momentan den wichtigsten Beitrag zum Klimaschutz, aber wie viel mehr Wärme kann der Ozean aufnehmen?

1960

1980

2000

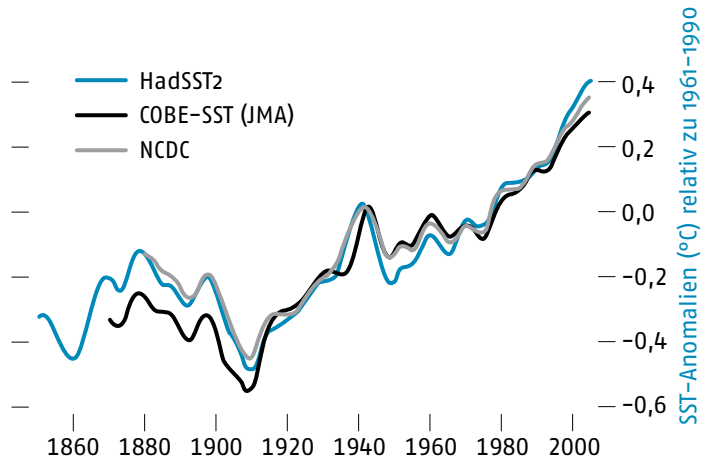
2020 Jahre



# Folgen der Erwärmung

## 1 Der Ozean wird wärmer

Die Meeresoberflächentemperatur (SST) steigt tendenziell. Im Verhältnis zu den Jahren 1961 bis 1990 ist der Ozean heute um etwa 0,4 Grad Celsius wärmer, wie drei unterschiedliche wissenschaftliche Datensätze zeigen.



## 2 Immer mehr Korallenriffe bleichen aus und sterben ab

Durch die El-Niño-Phänomene, die etwa alle vier Jahre auftreten und in denen sich der östliche äquatoriale Pazifik ungewöhnlich stark erhitzt, kommt es zu Massensterben. Als Folge des Klimawandels und der damit einhergehenden Meereseerwärmung wird das El-Niño-Phänomen tendenziell stärker und länger. Je kürzer die Erwärmung an-

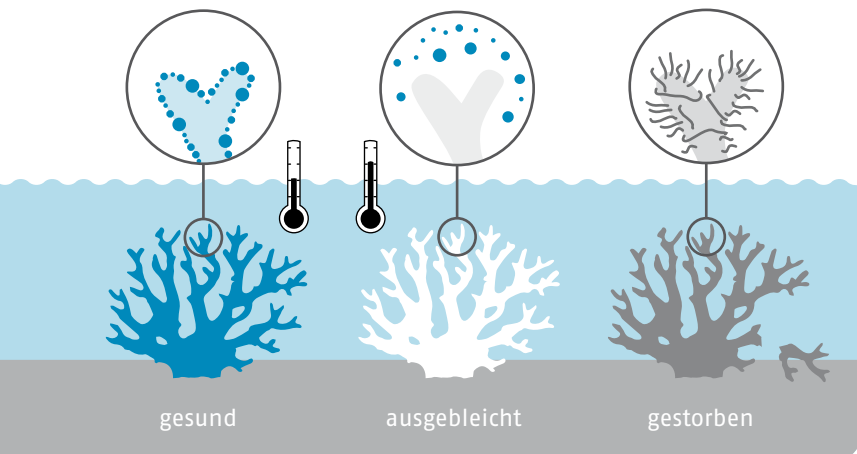
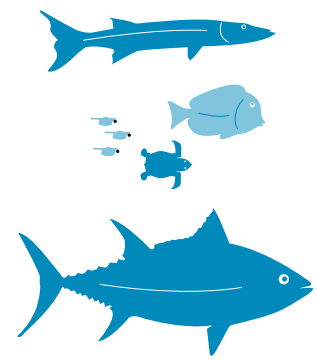
dauert, umso größer ist die Chance, dass die Koralle überlebt. Die bislang längste Korallenbleiche begann im Oktober 2015 und dauerte bis Mai 2016, unter anderem waren 93 % des australischen Great Barrier Reef (das größte Korallenriff der Erde) betroffen. Im nördlichen Teil des Riffs sind dabei 50 % der ausgebleichten Korallen gestorben.



Die Koralle geht eine lebensnotwendige Symbiose mit bestimmten Algen, den Zooxanthellen, ein. Sie werden von der Alge ernährt und erhalten ihre Farbgebung von ihr.

Ab 1 °C höherer Temperatur gerät die Alge in einen Schockzustand und produziert Gift statt Zucker. Die Koralle stößt dadurch ihren Partner ab und verliert damit ihre Farbe.

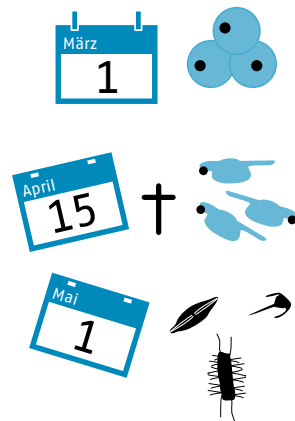
Als Folge verhungert die Koralle. Nach dem Tod setzt ein schädlicher Algen- und Schwammbe- wuchs ein, der eine Rückkehr der Zoo- xanthellen fast unmöglich macht.



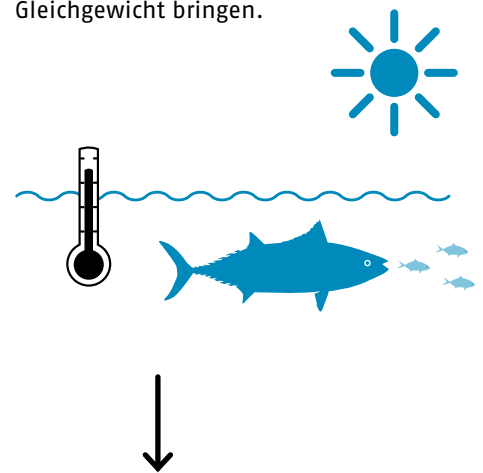
**25 %**  
der Lebewesen im Ozean hängen direkt von den Korallenriffen ab

### 3 Viele Meereslebewesen verändern ihr Verhalten

Wenn das Wasser im Frühling wärmer ist als üblich, legen einige Fischarten ihre Eier früher ab. Die Nahrungsquellen der Larven sind dann aber eventuell noch nicht vorhanden, da Plankton stark sonnenlicht- und jahreszeitenabhängig ist. Die Folge: Larven verhungern, und die Fischpopulation sinkt.



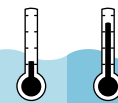
Natürliche Signale wie das stärkere Sonnenlicht im Frühjahr oder das Ansteigen der Wassertemperatur im Sommer können der Auslöser für Fische sein, ihr Fress- oder Paarungsverhalten zu verändern. Der Klimawandel kann daher das natürliche Verhalten der Meerestiere und Ökosysteme aus dem Gleichgewicht bringen.



### 4 Invasive Arten breiten sich aus und verändern die Ökosysteme

4

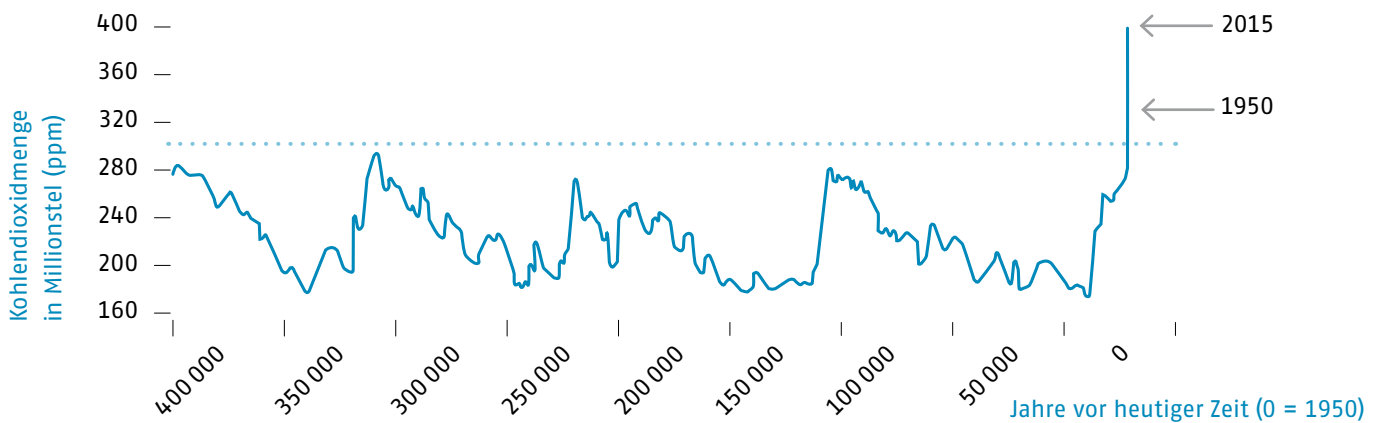
Tropische pflanzenfressende Fischarten richten große Schäden an, beispielsweise der »Kaninchenfisch«, der durch den Sueskanal ins wärmer werdende Mittelmeer eingewandert ist. Als Nahrung dienen ihm die heimischen Kelp- und Algenwälder, die kahl gefressen werden. Das verändert nicht nur den Lebensraum, sondern auch das Verhalten der heimischen Fische.



-60 %  
pflanzliche Biomasse

# Steigender Säuregehalt

650 000 Jahre pendelte der CO<sub>2</sub>-Wert in der Atmosphäre unter 300 ppm, dann kam die industrielle Revolution.



Der Kohlenstoffdioxidgehalt (CO<sub>2</sub>) der Atmosphäre und damit auch der Ozeane steigt seit der Industrialisierung stetig an – da der Mensch seitdem große Mengen fossiler Stoffe verbrennt und Waldrodungen im großen Stil betreibt. Der CO<sub>2</sub>-Anstieg im Ozean geht seither weit schneller vonstatten als in den letzten 60 Millionen Jahren. Der pH-Wert des Meerwassers ist seit 1950 von 8,2 auf 8,1 abgesunken, der Säuregehalt ist also um ca. 30 % höher. Es wird geschätzt, dass er bis 2100 bei gleichbleibenden CO<sub>2</sub>-Emissionen um weitere 140 % steigt. Meerwasser ist generell basisch, der Säuregehalt steigt nur an, wenn Kohlenstoffdioxid auf Wasser trifft und sich zu einem gewissen Teil zu Kohlensäure verbindet. Meerespflanzen wie Algen nehmen den im Wasser gelösten Kohlenstoff auf und wandeln ihn durch Photosynthese in Zucker und Stärke um. Auch Quallen profitieren von dem höheren

CO<sub>2</sub>-Gehalt: Sie wachsen dadurch schneller. Wenn allerdings die Menge des im Ozean gelösten CO<sub>2</sub> den pH-Wert weiter sinken lässt, werden Korallenriffe und einige wirbellose Meereslebewesen beeinträchtigt, da ihr überlebenswichtiger Kalkbildungsprozess geschwächt wird: Wie sich das gesamte Ökosystem Ozean bei weiter sinkendem pH-Wert verhalten wird, kann man heute noch nicht abschätzen, da bisher noch nicht genügend Langzeitstudien durchgeführt wurden.

- Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>)
- Wasser (H<sub>2</sub>O)
- Carbonationen (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)
- Bicarbonat (2HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)