



DIE FOLGEN DES KLIMAWANDELS FÜR DAS LEBEN IN DEN WELTMEEREN

Ozeane

Weltmeere: Ein Wandel im Sprinttempo

Die Ozeane sind seit jeher Ökosysteme im Wandel. Lavaspuckende Vulkane und herabstürzende Meteoriten haben das Klima auf der Erde und somit den Lebensraum im Meer immer wieder grundlegend verändert. So mussten sich die Meeresbewohner im Laufe der Erdgeschichte wiederholt auf neue Lebensbedingungen einstellen - oder sie sind ausgestorben.

Heute stehen die Einzeller, Pflanzen und Tiere erneut vor großen Herausforderungen. Doch diesmal bleibt ihnen weniger Zeit, sich anzupassen, denn der aktuelle Klimawandel schreitet schnell voran. Schneller als sämtliche Veränderungen in den vergangenen 65 Millionen Jahren. Allein die arktische Packeisdecke ist in den zurückliegenden 30 Jahren im Sommer um die Hälfte geschrumpft. Gleichzeitig hat sich in den Küstengewässern die Fläche der „toten Zonen“ verzehnfacht. So werden jene Meeresgebiete genannt, in denen so wenig Sauerstoff vorhanden ist, dass Fische und andere Tiere dort nicht mehr überleben können.

Hervorgerufen werden diese schnellen Veränderungen vom Menschen, allem voran durch den stetig steigenden Ausstoß des Treibhausgases Kohlendioxid. Das Gas lässt zum einen die Temperaturen in der Atmosphäre und im Ozean steigen. Zum anderen löst es sich im Meerwasser,



Wie diese Fischer leben weltweit 200 Millionen Menschen vom lokalen Fischfang. Ihre Existenz steht auf dem Spiel, wenn sich das Leben im Meer verändert. (Foto: Javier Corbo/Flickr, CC BY-NC-ND 2.0)

wird dort zu Kohlensäure und führt dazu, dass die Meere versauern. Aber auch Düngemittel und Abwässer, die von den Feldern und aus den Städten ins Meer getragen werden, schaden der Tier- und Pflanzenwelt der Ozeane. Sie lassen Algen wachsen und auf diese Weise langfristig Sauerstoff im Küstenbereich zur Mangelware werden.

Dieses Fact Sheet gibt einen Überblick darüber, wie sich der Klimawandel auf das Leben im Meer auswirkt, wie sich die Veränderungen gegenseitig verstärken und auf welche Folgen wir Menschen uns einstellen müssen.

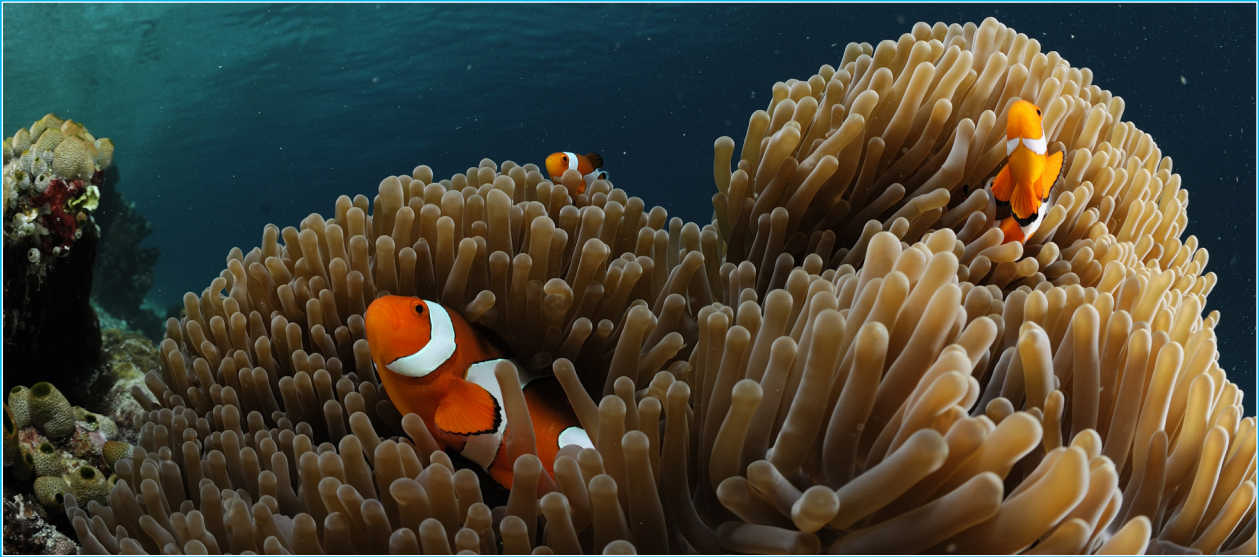


„Blue Marble“ heißt dieses farbechte Bild unseres Planeten, das US-amerikanische Spezialisten aus vielen verschiedenen Satellitendaten zusammengesetzt haben. Es verdeutlicht, welch großen Teil der Erdoberfläche unsere Weltmeere einnehmen. (Foto: NASA Goddard Space Flight Center)

Der Blaue Planet

„Blue Marble“ - die blaue Murmel. So taufte die Astronauten der Apollo 17 Mission einst ihre Fotografie von der Erde. Ein Bild, das um die Welt ging und mit ihm das Bewusstsein: Wir leben auf einem blauen Planeten. Die Ozeane bedecken fast Dreiviertel der Erdoberfläche. Dies macht sie zum weltweit größten Lebensraum, der über die Hälfte aller Einzeller, Tier- und Pflanzenarten des Planeten beherbergt - von den mikroskopisch kleinen Algen bis zum größten Tier unserer Erde, dem Blauwal. Das Leben aller Meeresbewohner ist eng

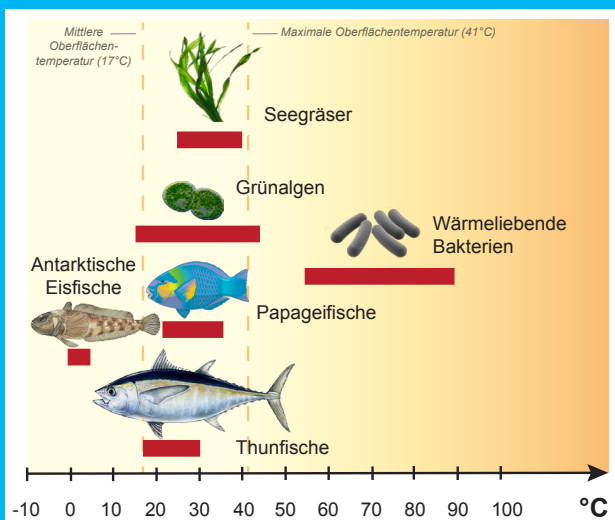
verbunden mit den Gewässern, in denen sie vorkommen: Es hängt ab von der Wassertemperatur, der einfallenden Menge Licht, von den verfügbaren Nährstoffen und Beuteorganismen, davon wie viel Salz, Sauerstoff und Kohlendioxid das Meerwasser enthält. Diese Faktoren bilden ihre Lebensgrundlage. Von ihnen hängt ab, in welchen Gewässern eine Art leben kann oder wohin sie zieht, um sich zu vermehren. Diese Faktoren sind es aber auch, die sich im Zuge des Klimawandels grundlegend verändern - und mit ihnen das Leben im Meer.



Als Bewohner tropischer Korallenriffe reagieren Clownfische sehr empfindlich auf einen Temperaturanstieg. Ein Beispiel: Ist das Wasser zu warm, paaren sich die Fische nicht mehr - und wenn doch, dann stirbt ihr Nachwuchs noch im Ei. (Foto: Solvin Zankl)

Leben am Limit

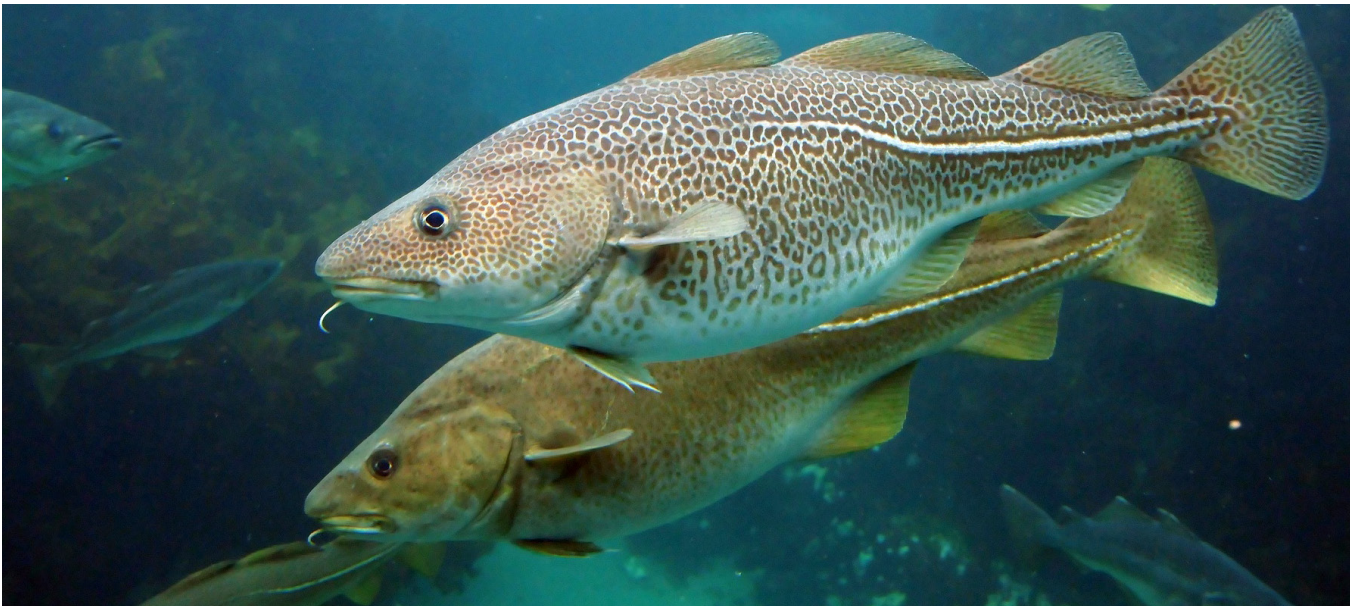
Über Generationen haben sich Meeresbewohner an die Gegebenheiten in ihren Heimatgewässern angepasst: an die vorherrschende Temperatur, an den Sauerstoffgehalt und an den Säuregrad des Wassers. Bei diesen Lebensbedingungen wachsen sie am besten und leben am längsten. Aber nicht alle Lebewesen, die in einem Ökosystem zusammenleben, haben die gleichen Präferenzen. Die antarktische Aalmutter lebt beispielsweise an ihrer unteren Temperaturgrenze und muss sich in wärmeren Wasserschichten des Südpolarmeeres aufhalten.



Die Temperaturfenster einiger Meeresbewohner im Vergleich: Die Werte für die Grünalgen, Seegräser und wärmeliebende Bakterien wurden im Labor ermittelt. Die Fischdaten stammen von Untersuchungen im Meer. (Grafik: AWI)

Gerät sie in kaltes Wasser, wird es ihr schnell zu kalt. Der Kabeljau in der Nordsee dagegen würde sich über kälteres Wasser freuen, denn bei Temperaturen über zehn Grad Celsius fühlen sich große Exemplare nicht mehr richtig wohl. Wissenschaftler sprechen bei diesen Schwellenwerten von einem Temperaturfenster: Jeder wechselwarme Meeresbewohner verfügt über eine Temperaturober- und eine Untergrenze, bei der er noch leben und wachsen kann. Diese „Fenster“ sind unterschiedlich weit gefasst. Arten aus den gemäßigten Breiten wie der Nordsee haben generell ein breiteres Temperaturfenster. Grund dafür sind die stark ausgeprägten Jahreszeiten in diesen Gebieten. Das heißt, die Tiere müssen sowohl warme Sommer als auch kalte Winter aushalten.

Das Temperaturfenster der Lebewesen in den Tropen oder Polargebieten dagegen ist zwei- bis viermal schmäler als jenes der Nordseebewohner. Dafür haben sie sich auf extreme Lebensbedingungen eingestellt. Antarktische Eisfisch-Arten etwa können in bis zu minus 1,8 Grad Celsius kaltem Wasser leben. Ihr Blut enthält Gefrierschutzproteine. Zudem verzichten sie auf den roten Blutfarbstoff Hämoglobin, weil ihr Stoffwechsel niedrig und Sauerstoff im Überfluss vorhanden ist. Aus diesem Grund ist ihr Blut dünnflüssiger und die Fische benötigen weniger Energie, um es durch den Körper zu pumpen - eine perfekte Überlebensstrategie. Aber: Die Eisfische leben am Limit. Steigt die Temperatur um wenige Grad Celsius, stoßen die Tiere schnell an ihre Grenzen.



In der Nordsee wird es dem Kabeljau mittlerweile zu warm. Der begehrte Speisefisch wandert wie viele andere Nordseefische Richtung Arktis und verschiebt seinen Lebensraum mit jedem warmen Jahr weiter nach Norden. (Foto: Joachim S. Müller/Flickr, CC BY-NC-SA 2.0)

Erwärmung: Auf dem Weg zur Pole-Position

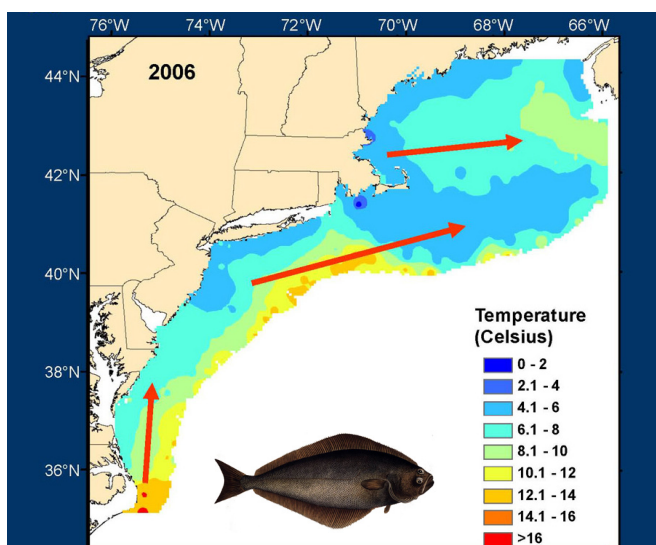
Lange bot die Nordsee dem Kabeljau einen optimalen Lebensraum. Bei niedrigen Wassertemperaturen fühlte er sich pudelwohl, fand genug zu fressen und auch sein Nachwuchs entwickelte sich prächtig. Das war einmal. Seit den 1960er Jahren ist das Wasser der Nordsee durchschnittlich um 1,7 Grad Celsius wärmer geworden. Heiße Sommer mit Wassertemperaturen um die 20 Grad Celsius sind heutzutage keine Seltenheit mehr, sodass es

dem Kabeljau zu warm wird. Nur ein Teil seiner Fischlarven wächst heute zu geschlechtsreifen Männchen und Weibchen heran. Zudem verschwindet mit dem Ruderfußkrebs *Calanus finmarchicus* die Leibspeise seiner Jungfische. Das Beutetier muss infolge der steigenden Wassertemperatur seinem kleineren Artgenossen *Calanus helgolandicus* weichen. Das Futterangebot für junge Kabeljaue wird demzufolge knapper und lässt der Art seit geraumer Zeit keine Wahl.

Die Fische begannen vor mehr als 30 Jahren ihrer alten Heimat den Rücken zu kehren und nordwärts zu schwimmen. Seitdem hat sich der Lebensraum des Kabeljaus mit jedem warmen Jahr um sieben Kilometer Richtung Arktis ausgedehnt. Ein Schicksal, das der Nordseebewohner mit vielen anderen Fischarten teilt: Wissenschaftler gehen davon aus, dass fast zwei Drittel aller Meeresfischarten in kühlere Gewässer wandern.

Während Arten auf der Nordhalbkugel in den Norden ausweichen, flüchten sich Fische auf der Südhalbkugel weiter in den Süden. Der gestreifte Marlin zum Beispiel ist eigentlich in tropischen und subtropischen Gewässern zu Hause. Jetzt wurde er auch vor der Küste Tasmaniens gesichtet. Andere Arten wie der Zwergdorsch in der Nordsee suchen ihren neuen Lebensraum nicht in höheren Breiten, sondern in tieferen und damit ebenfalls kälteren Wasserschichten.

Durch diese Artenwanderung durchmischen und verändern sich die Ökosysteme. Forscher sagen voraus, dass



Vor der US-Ostküste sind in den zurückliegenden vier Jahrzehnten 17 der 36 wichtigsten Speisefischarten entweder Richtung Norden oder in tiefere Gewässer abgewandert (siehe Pfeile) - darunter auch der Heilbutt. (Karte: Janet Nye/NOAA; Zeichnung: gemeinfrei)

die Tropen auf diese Weise Arten verlieren, während die Meere in den höheren Breiten artenreicher werden.

Auf ihrem Weg polwärts stoßen die Einwanderer aus den wärmeren Gewässern auf alteingesessene Arten. Die Lebensräume beider Gruppen beginnen sich zu überlappen - unter Umständen mit weitreichenden Folgen. Denn in der Regel spielen die angestammten Arten eine wichtige Rolle in den lokalen Nahrungsnetzen. So, wie zum Beispiel der Polardorsch in der Arktis: Er steht bei Robben ganz oben auf dem Speisezettel. Doch der Kabeljau macht ihm bereits den Platz streitig. AWI-Wissenschaftler konnten auf Expeditionen nach Spitzbergen wiederholt beobachten, dass der Kabeljau schon jetzt die Gewässer der Inselgruppe zu großen Teilen dominiert. Den heimischen Polardorsch fanden die Wissenschaftler nur noch in den kältesten und tiefsten Wasserschichten. Welche Auswirkungen diese Veränderungen auf das Nahrungsnetz der Arktis haben, wissen die Forscher noch nicht.

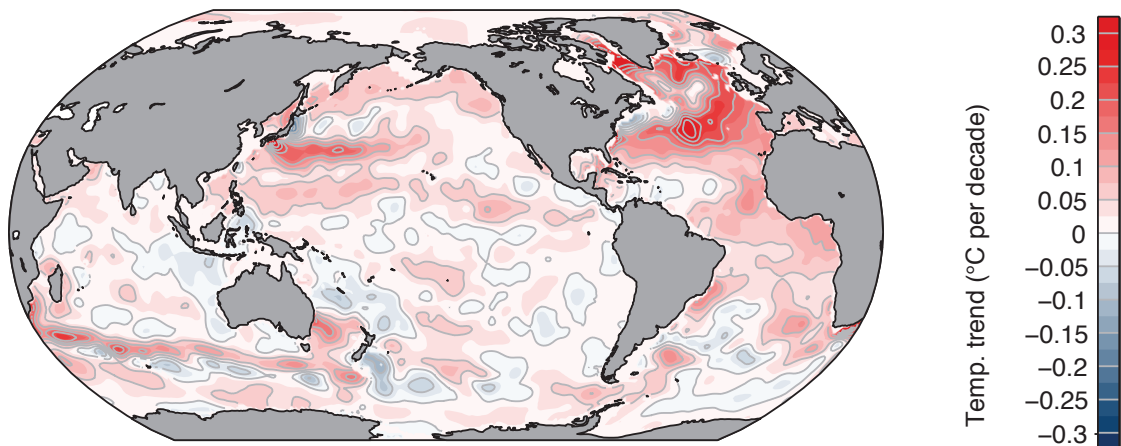


Das wärmer werdende Pazifikwasser bringt den Paarungszeitplan der Lachse durcheinander. Buckellachse, Verwandte dieser Roten Lachse, kommen inzwischen zwei Wochen früher zu ihren Laichgründen als noch vor 40 Jahren. Die Folge: Bären, die in den Flüssen Jagd auf die Fische machen, verpassen einen Teil der Wanderung und können sich weniger Winterspeck anfreßen. (Foto: Roger Tabor, USFWS, CC BY 2.0)

Die Ozeane werden wärmer

Der Weltozean wird stetig wärmer. Seit den 1970er Jahren ist die globale Oberflächentemperatur der Meere pro Jahrzehnt um durchschnittlich 0,1 Grad Celsius gestiegen. Dieser Wert mag sich belanglos anhören - umgerechnet aber bedeutet er, dass die Weltmeere allein in den zurückliegenden 30 Jahren so viel Wärmeenergie aufgenommen haben, dass diese Menge ausreichen würde, um 30 Jahre lang jede Sekunde und öfter eine

Atombombe explodieren zu lassen. Und die Erwärmung der Weltmeere geht weiter. Beobachteten Forscher bisher vor allem einen Temperaturanstieg in den oberen Wasserschichten (bis 700 Meter Tiefe), gehen sie laut dem ersten Teil des 5. Weltklimaberichtes davon aus, dass sich noch in diesem Jahrhundert auch die tieferen Wasserschichten erwärmen werden - eine Entwicklung, die bereits begonnen hat.



Diese Temperaturkarte aus dem 5. Weltklimabericht zeigt, um wie viel Grad Celsius sich die Weltmeere in einer Tiefe von 0 bis 700 Metern im Zeitraum von 1971 bis 2010 erwärmt haben. Die größten Anstiege (rote Flächen) gab es demnach im Nord-Atlantik, im Pazifischen Ozean vor der Südküste Japans sowie im Indischen Ozean vor der Südostküste Afrikas. (Karte: Rhein, M., et al 2013: Observations: Ocean. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I, 5th. IPCC Report)



Bunter geht es kaum: So vielfältig ist das Leben in intakten tropischen Korallenriffen. Diese Aufnahme stammt von einem Riff vor der philippinischen Küste. Sie zeigt einen Schwarm Fahnenbarsche, der über verschiedenen Korallen seine Bahnen zieht. (Foto: Klaus Stiefel / Flickr, CC BY-NC 2.0)

Versauerung: Wenn Ingenieuren der Baustoff ausgeht

Tropische Korallenriffe bedecken weniger als 0,1 Prozent des Meeresbodens. Doch diese 600 000 Quadratkilometer haben es in sich: Wissenschaftler schätzen, dass über eine Million Tierarten in den Riffen beheimatet sind, darunter allein ein Drittel aller bekannten Meeresfischarten; angefangen bei den farbenfrohen Clownfischen, über Riffhaie bis hin zu wichtigen Speisefischen wie Buntbarschen. Die tropischen Riffe gehören damit zweifelsohne zu den artenreichsten Ökosystemen der Welt.



Suppenschildkröten gehören zu den typischen Bewohnern tropischer Korallenriffe wie jenen am Palmyra Atoll, einer Inselgruppe zwischen Hawaii und Samoa. Als Jungtiere suchen sie hier nach Tang, Schwämmen, Seesternen und Schnecken. Als ausgewachsene Tiere ernähren sie sich dann rein vegetarisch. (Foto: Kydd Pollock, USFWS, CC BY 2.0)

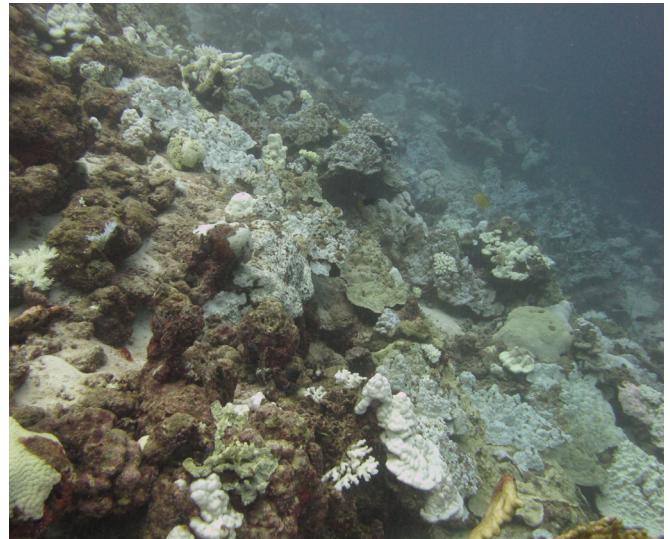
Doch es ist ein Lebensraum in Gefahr. Wissenschaftler vermuten, dass Korallenriffe zu jenen Ökosystemen zählen, die der Klimawandel als erste grundlegend verändert wird. Rund die Hälfte aller Riffe ist derzeit bedroht. Wovon, zeigt ein Rückblick in das Jahr 1998. Es war eines der wärmsten Jahre des vergangenen Jahrhunderts, geprägt von einem starken El-Niño-Ereignis. Damals starben allein im westlichen und zentralen Indischen Ozean 50 bis 90 Prozent aller Korallen.

Dieses Massensterben war ein Vorbote dessen, was uns in der Zukunft erwartet, denn tropische Korallen reagieren schon auf kleine Temperaturanstiege sehr empfindlich. Ein Beispiel: Ihre Wohlfühltemperatur liegt zwischen 23 und 29 Grad Celsius. Steigt das Thermometer aber nur für vier Wochen auf 30 Grad Celsius, geraten die sonst so farbenfrohen Korallen in Hitzestress und verwandeln sich in kreideweiße Kalkskelette – sie bleichen. Das heißt, sie stoßen ihre kleinen Mitbewohner, die sogenannten Zooxanthellen. Diese winzigen Algen leben im Korallengewebe und versorgen ihren Wirt mit bis zu 90 Prozent seiner benötigten Nahrung. Ohne diese Symbiose sehen die Korallen schnell blass aus, da ihr weißes Skelett durch das verlassene, farblose Gewebe scheint.

Ist der Hitzestress von kurzer Dauer, können die Korallen ihre Zooxanthellen wieder aufnehmen und sich von der Bleiche erholen. Hält er länger an, bleiben die Algen fort und die Tiere verhungern. Wissenschaftler sagen voraus, dass solche Bleichereignisse bereits ab der

Hälfte dieses Jahrhunderts zur Regel werden könnten. Sie drohen dann in nahezu jedem Sommer.

Doch der Klimawandel birgt noch ein weiteres Risiko für die tropischen Korallenriffe: die Ozeanversauerung. Löst sich das Treibhausgas Kohlendioxid im Meerwasser, wird es von den Lebewesen aufgenommen und stört im Organismus die Bildung von Karbonat - jenem Baustoff, aus dem Korallen, Muscheln und andere Meeresbewohner ihre Skelette und Schalen formen. Mit zunehmender Ozeanversauerung hören die Ingenieure des Meeres demzufolge auf zu wachsen. In stark versauertem Wasser lösen sich die Kalkskelette der Korallen sogar auf - und mit ihnen das Fundament eines Ökosystems, in dem nicht nur Hunderttausende Arten eine Nische gefunden haben, sondern das vor allem in den Tropen eine große Zahl an Menschen ernährt: Fischer und ihre Familien ebenso wie Tauchlehrer, Hotelangestellte, Restaurantbetreiber...

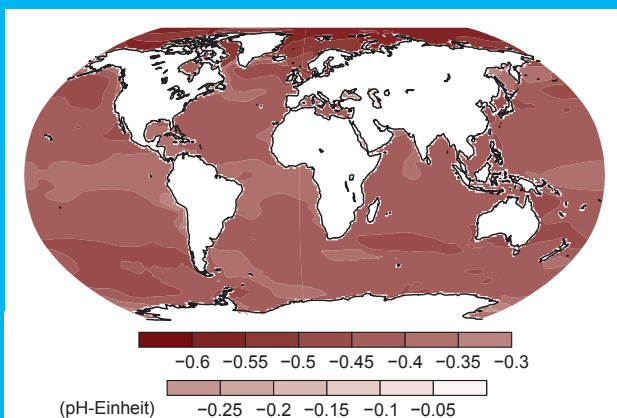


Dieses Foto haben AWI-Forscher im Frühjahr 2010 in der thailändischen Andamanensee aufgenommen. Es zeigt ein Korallenriff, das fast vollständig ausgebleicht und zum Großteil abgestorben ist. (Foto: Gertraud Schmidt/AWI)

Die Ozeane versauern

Die Ozeane nehmen jährlich mehr als ein Viertel des vom Menschen produzierten Kohlendioxids auf. Ohne diesen natürlichen Speicher wäre die Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre heute sehr viel höher. Doch diese Pufferleistung hat ihren Preis: Wenn sich Kohlendioxid im Ozean löst, reagiert das Gas mit dem Meerwasser zu Kohlensäure und senkt so den pH-Wert des Wassers. Mit einem durchschnittlichen pH-Wert von etwa 8,2 ist Meerwasser typischerweise leicht basisch. In den zurückliegenden 200 Jahren ist dieser Wert je-

doch auf etwa 8,1 gesunken. Das klingt nach wenig, entspricht aber einem Anstieg des Säuregrades um 30 Prozent. Forscher nehmen an, dass der pH-Wert bis zum Jahr 2100 um weitere 0,3 bis 0,5 Einheiten sinken und das Meerwasser so um ein Mehrfaches versauern wird. Der Kohlendioxid-Anstieg wirkt sich schon jetzt vor allem auf Lebewesen aus, die Schalen und Skelette aus Kalk bilden. Denn die Kohlensäure reagiert mit Baustoffen, die sie benötigen, um zu wachsen und ihre Gehäuse zu pflegen. Sinkt der pH-Wert unter 7,5, beginnen die Kalkschalen sogar, sich aufzulösen.



Diese Karte zeigt die mithilfe von Computermodellen berechnete Veränderung des pH-Wertes im Oberflächenwasser bis zum Jahr 2100. (Karte: IPCC, 2013: Summary for Policymakers)



Eine Neongrundel schwimmt über einer Hirnkoralle, in deren Windungen die grünen Zooxantellen zu erkennen sind, welche die Koralle ernähren. (Foto: NOAA CCMA Biogeography Team, CC BY 2.0)



Der Humboldt-Kalmar ist einer der wenigen Meeresbewohner, denen die klimabedingten Veränderungen des Ozeans anscheinend entgegenkommen. In den zurückliegenden 20 Jahren hat er sein Territorium von der Westküste Mittelamerikas bis nach Alaska ausgedehnt. (Foto: Andy Murch)

Sauerstoffmangel: Auf der Jagd in den „Sauerstoffminimum-Zonen“ des Pazifiks

Der Humboldt-Kalmar lässt sich am besten in Zahlen beschreiben: Zehn Arme, mehr als zwei Meter Länge, bis zu 50 Kilogramm Gewicht und ein Lebensraum, der sich in den zurückliegenden 20 Jahren um mehr als 4500 Kilometer Richtung Norden ausgedehnt hat. Diese Strecke liegt nämlich zwischen seiner ursprünglichen Heimat, den tropisch warmen Gewässern vor

der Westküste Mittelamerikas, und Alaska, vor dessen Küste der Kalmar im Jahr 2005 zum ersten Mal gesichtet wurde. Diesen fast schon unheimlichen Siegeszug hat er seinem wichtigsten Erfolgsgeheimnis zu verdanken: Kaum ein anderes Tier profitiert wie er von dem sich ausbreitenden Sauerstoffmangel in den mittleren Wasserschichten des Pazifischen Ozeans.

Als „sauerstoffarm“ oder „Sauerstoffminimum-Zone“ bezeichnen Forscher Regionen im Meer, in denen der Sauerstoffgehalt des kalten Tiefenwassers unter einen Schwellenwert von 60 Mikromol Sauerstoff pro Liter Wasser sinkt. Zum Vergleich: Die meisten Haie, Rochen und anderen Fische benötigen einen deutlich höheren Sauerstoffgehalt, besonders in wärmeren Gewässern.

Forscher haben herausgefunden, dass der Humboldt-Kalmar einen ganzen Tag in der „Sauerstoffminimum-Zone“ verbringen kann, ohne Schaden zu nehmen. Diese Option nutzen Humboldt-Kalmare häufig aus zwei Gründen: Zum einen folgen ihnen nur wenige Feinde in die sauerstoffarme Tiefe, zum Beispiel Pottwale und Rundkopfdelfine. Zum anderen bewegen sich all jene Fisch- und Krebstier-Arten, die in diesen sauerstoffarmen Zonen noch leben können, so langsam, dass sie für die Allesfresser leichte Beute sind.

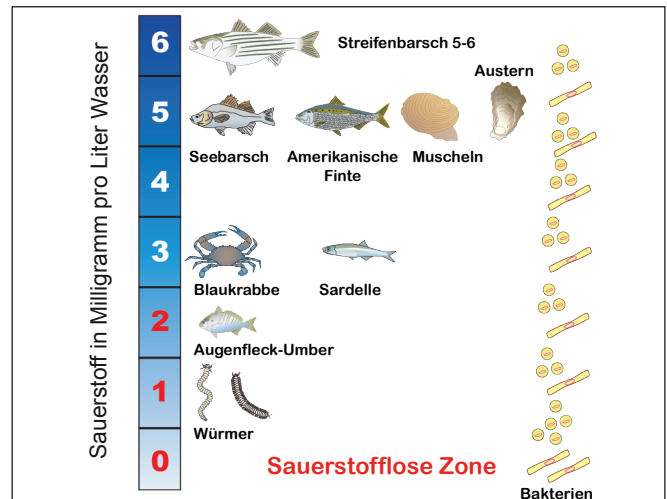


„Red tide“ nennen die US-Amerikaner sommerliche Algenblüten wie diese vor der Küste Oregons. Sie werden durch Abwässer und Düngemittel hervorgerufen und führen unmittelbar zum Sauerstoffabbau im Wasser darunter. (Foto: Alex Derr/Flickr, CC BY-NC-SA 2.0)

Meeresregionen mit extremen Sauerstoffmangel, wie sie vor allem in Küstenregionen vorkommen, meidet jedoch selbst der Humboldt-Kalmar. Diese sogenann-

ten „toten Zonen“ entstehen dort, wo Flüsse viele Abwässer und Nährstoffe in das Meer tragen. Diese führen zu großflächigen Blüten einzelliger Algen, deren Überreste anschließend in die Tiefe absinken und dort von sauerstoffzehrenden Bakterien abgebaut werden. Die Folge: Der Sauerstoffgehalt dieses Wassers nimmt so stark ab, dass dort nur Wesen existieren, die keinen oder nur sehr wenig Sauerstoff benötigen.

Die Zahl dieser „toten Zonen“ in Küstenregionen wird künftig weiter zunehmen und dort vor allem tierisches Leben gefährden. Hinzukommt: Je weiter der Klimawandel voranschreitet, desto mehr sauerstoffarme Zonen wird es auch im offenen Meer geben und desto öfter wird Fischen, Krebsen, Schnecken und allen anderen sauerstoff-abhängigen Meeresbewohner auch dort sprichwörtlich die „Luft zum Atmen“ fehlen.



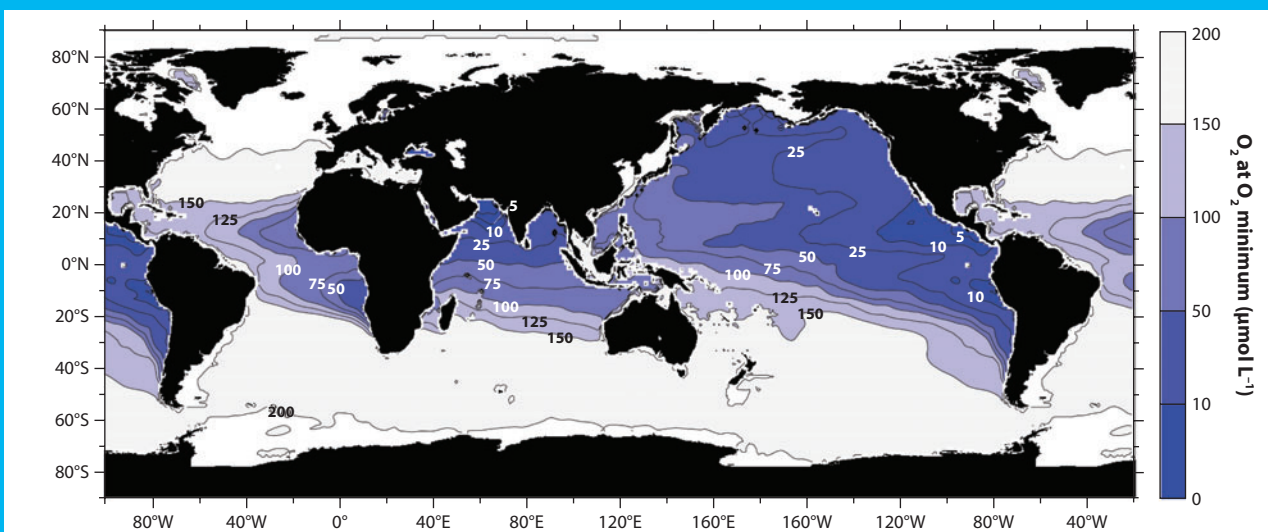
Die Meeresbewohner haben unterschiedliche Ansprüche an den Sauerstoffgehalt des Wassers. Je tiefer dieser sinkt, desto weniger Arten überleben. (Grafik-Vorlage von www.teachoceanscience.net)

Den Ozeanen geht die Luft aus

In den zurückliegenden 50 Jahren haben die Weltmeere zwischen ein und sieben Prozent ihres Sauerstoffgehaltes eingebüßt. Die Ursachen dafür sind:

- (1) Die steigende Wassertemperatur – warmes Wasser enthält weniger Sauerstoff als kaltes;
- (2) Die erwärmungsbedingt zunehmende Schichtung des Wassers. Sie führt dazu, dass sich die Wassermassen weniger vermischen und auf diese Weise weniger sauerstoffreiches Oberflächenwasser in die darunter liegenden mittleren Schichten gelangt.

In den Küstengewässern verursacht die intensive Landnutzung durch den Menschen einen steigenden Eintrag von Düngemitteln und Abwässern in die Meere. Diese Nährstoffe rufen ein großflächiges Wachstum von Algen in den Küstengewässern hervor. Deren Überreste werden von sauerstoffzehrenden Bakterien abgebaut. Die Folge: Der Sauerstoffgehalt des Wassers sinkt; die meisten Lebewesen wandern ab oder sterben. Forscher kennen heute mehr als 400 Küstengebiete, in denen Wasserschichten so wenig Sauerstoff enthalten, dass sie als „tote Zonen“ bezeichnet werden. Hier leben nahezu keine Tiere mehr.



Diese Karte zeigt, wie wenig Sauerstoff die sauerstoffärmste Wasserschicht in der jeweiligen Meeresregion enthält. Überall dort, wo der Wert kleiner als 60 Mikromol pro Liter ist, können Fische so gut wie nicht mehr leben. (Karte: Keeling et al, *Annu. Rev. Sci.* 2010 2:199-229)



Leidtragende der klimabedingten Veränderungen der Weltmeere werden vor allem die Menschen in den äquatornahen Entwicklungs- und Schwellenländern sein. In ihren Fischgründen wird es künftig weniger, unregelmäßiger und deutlich kleinere Fische geben. (Foto: WWF-US/James Morgan)

Künftige Fangaussichten: Norden top, Tropen flop

Die Statistik hält keine guten Nachrichten für die Fischer Indonesiens bereit. Stimmen die Berechnungen der Klima- und Ökosystemmodelle, werden sie schon ab dem Jahr 2050 rund 40 Prozent weniger Fisch anlanden als heute. Diese Einbußen werden eine direkte wirtschaftliche Folge des Klimawandels sein, denn fest steht: Erwärmt sich das Meerwasser weiter, werden die einst so artenreichen tropischen Gewässer verwaisen. Ein Teil der Fische wird versuchen, der Wärme zu entgehen, indem sie polwärts schwimmen. Andere werden, wenn möglich, in größere Tiefen ausweichen. Auf jeden Fall



Fischer in nördlich gelegenen und damit kühleren Regionen wie dem kanadischen Nova Scotia werden vermutlich von der klimabedingten Artenverschiebung Richtung Norden profitieren. Sie dürften künftig mehr Fisch in ihren Netzen haben. (Foto: Sina Löschke, AWI)

aber bahnt sich im Zuge des Klimawandels eine große Artenverschiebung an.

Die Fischer in nordischen Ländern wie Grönland, Island und Norwegen profitieren schon heute von ihr. Sie haben bereits jetzt deutlich öfter südliche Arten wie Kabeljau im Netz als noch vor 20 Jahren. Und ihre Fänge dürften bald noch besser ausfallen. Laut Modellberechnungen werden sie im Jahr 2055 bis zu 70 Prozent mehr Fisch anlanden als noch im Jahr 2005.

Auf ein zweites Phänomen aber werden sich sowohl die Fischer in den Polarregionen als auch jene in den Tropen einstellen müssen: In den kommenden Jahrzehnten wird die Größe der gefangenen Fische weltweit um 14 bis 24 Prozent abnehmen. In den höheren Breiten, so die Prognosen, wird diese Entwicklung vor allem durch das Einwandern kleinerer Arten hervorgerufen. In Äquatornähe wird der Hitzestress das Wachstum der Tiere behindern. Denn je wärmer das Wasser ist, desto höher steigt die Stoffwechselrate der Fische. Das heißt, mehr Sauerstoff und damit Energie, welche die Tiere bisher in ihr Wachstum investiert haben, wird künftig benötigt, um die Wärmebelastung zu kompensieren.

Die Fischerei wird somit der erste Industriezweig sein, der die Auswirkungen des Klimawandels zu spüren bekommt. Die jährlichen Kosten für die Anpassung an diesen Wandel belaufen sich bis zum Jahr 2050 auf schätzungsweise 7 bis 30 Milliarden US-Dollar. Der Großteil davon entfällt auf die Fischer in den Tropen.



Was hat der Mensch vom Meer?

Für die einen ist der Ozean ein Arbeitsplatz, eine Existenzgrundlage und wichtiger Lebensmittellieferant; für die anderen ein Ort der Erholung, der Freizeitgestaltung und ein Urlaubsziel. Doch die Weltmeere sind viel mehr als das und vor allem eines - unerlässlich für das Leben auf der Erde. Ein kleiner Überblick:

- Sauerstoff

Jeden zweiten Atemzug verdanken wir dem Meer. Das Phytoplankton, mikroskopisch kleine Algen, produziert fast die Hälfte des Sauerstoffs in der Luft - mehr als alle Wälder und Wiesen zusammen.

- Wärmespeicher

Der Ozean kann im Vergleich zur Atmosphäre das Tausendfache an Wärme speichern. Rund 90 Prozent der Wärme, die sich in den vergangenen 40 Jahren angestaut hat, haben die Meere aufgenommen.

- Speisekammer

Die Fischerei versorgt ein Drittel der gesamten Erdbevölkerung mit fast einem Fünftel ihres Proteinbedarfs. Davon sind 400 Millionen Menschen auf Fisch als tägliche Nahrungsquelle angewiesen. Insgesamt holt der Mensch jedes Jahr rund 90 Millionen Tonnen Fisch aus dem Meer.

- Einkommensquelle

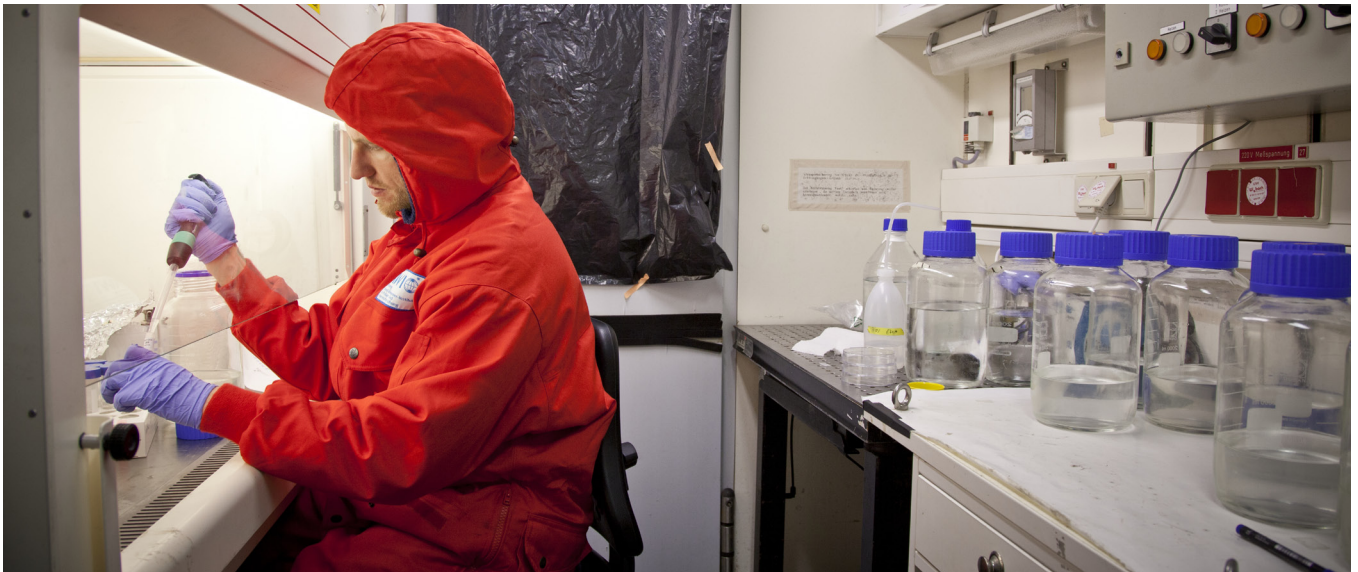
Weltweit arbeiten 43,5 Millionen Menschen in der Fischerei. Dieser Industriezweig erwirtschaftet pro Jahr knapp 85 Milliarden US-Dollar. Dazu kommen die Erträge aus dem Tourismus: Für den Besuch von Korallenriffen geben Urlauber jährlich 9,6 Milliarden US-Dollar aus.

- Transportweg

Der Ozean ist weltweit der Transportweg Nummer eins. Fast 90 Prozent aller Waren werden verschifft.

- Schutz

Korallenriffe schützen eine Küstenlinie von insgesamt über 150 000 Kilometern Länge. Sie erstreckt sich über 100 Länder. Für die Menschen, die an diesen Küsten wohnen, bieten die Korallenriffe als natürliche Wellenbrecher Schutz vor Sturmfluten und Tsunamis.



Ein Wissenschaftler untersucht Wasserproben, die auf einer Antarktis-Expedition des Forschungseisbrechers Polarstern genommen wurden. Solche Laboranalysen legen den Grundstein für unser Wissen über die klimabedingten Veränderungen der Weltmeere. (Foto: Thomas Steuer/AWI)

Vom DNA-Strang bis zu den großen Räubern

Forscher des Alfred-Wegener-Institutes gehörten Anfang der 1990er Jahre zu den ersten Wissenschaftlern, die untersuchten, wie sich der steigende Kohlendioxidgehalt in der Luft auf den Ozean auswirkt. Schnell erkannten sie, wie weitreichend die Folgen der Ozeanerwärmung und -versauerung sein könnten und begannen, immer detaillierter zu erforschen, wie wechselwarme Meeresbewohner auf das wärmere und versauernde Wasser reagieren - angefangen bei Verhaltens- und Leistungstests bis hin zu Veränderungen im Erbgut. Einfache Organismen, so stellten sie fest, würden sich besser anpassen können als höher

entwickelte Arten. Doch die Wissenschaftler wussten auch: Ein Ökosystem mit seinen vielen Arten ist wie ein riesiges Uhrwerk mit vielen Zahnrädern. Verändert sich nur eines der kleinen Teile oder fällt es sogar ganz aus, funktioniert das gesamte System nicht mehr auf althergebrachte Art und Weise. Deshalb arbeiten heute am AWI Biologen, Chemiker, Physiker, Geologen und Modellierer gemeinsam darauf hin, umfassend zu verstehen, welche Folgen die aktuellen Veränderungen der Meere auf ihre Ökosysteme haben. Sie nehmen dazu den Einzeller genauso unter die Lupe wie den Topräuber, schauen von der Atmosphäre bis weit in die Tiefsee und versuchen, von Veränderungen so gut zu lernen, dass genaue Vorhersagen für die Zukunft möglich werden.

Kontakt zu den AWI-Experten



Koordinierender IPCC-Leitautor, Kapitel „Ozeanische Systeme“
 Prof. Dr. Hans-Otto Pörtner
 Tel: 0471 4831-1307
 E-Mail: Hans.Poertner@awi.de



Beitragende IPCC-Autorin

Dr. Lena Menzel
 Tel: 0471 4831-2011
 E-Mail: Lena.Menzel@awi.de

Impressum: Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Am Handelshafen 12, 27570 Bremerhaven;
 Herausgeberin: Karin Lochte (Direktorin)
 Redaktion: Sina Löschke, Kristina Bär (E-Mail: medien@awi.de)
 Bildnachweis: Seite 1: Coverfoto: NMFS/Southwest Fisheries Science

Center, CC BY 2.0;
 Seite 11: o.l. Corey Seeman/Flickr, CC BY-NC-SA 2.0; u.l. Underwater Earth-Catlin Seaview Survey; o.r. brewbooks/ Flickr CC BY-SA-2.0; u.r. Sina Löschke, AWI
 Seite 12: Lars Grübner, Mario Hoppmann