

Ozeane in Gefahr

Durch die Zunahme von Kohlendioxid in der Atmosphäre wird das Meerwasser saurer. Das gefährdet Wachstum und Vermehrung der unterschiedlichsten Organismen, vom Plankton bis zu Kalmaren.

Von Marah J. Hardt und Carl Safina

Langsame Spermien – das ist wirklich ein Problem.« Jonathan Havenhand unterstreicht die Tragweite seiner Aussage mit einem energischen Kopfnicken. »Das bedeutet weniger befruchtete Eier, weniger Jungtiere und geringere Bestände.« Gemeinsam fahren wir im Taxi durch die Hügel entlang der Nordküste Spaniens. Wir sind auf dem Weg zu einem internationalen Symposium über die Frage, wie sich der Klimawandel und die Zunahme

von Kohlendioxid (CO₂) in der Atmosphäre auf die Weltmeere auswirken. Unser Gespräch dreht sich um die relativ neue Erkenntnis, dass die veränderte Zusammensetzung des Meerwassers nicht nur die Kalkstrukturen mariner Lebewesen schädigt, sondern auch Zellen, Gewebe und Organe. Ein fundamentaler Mechanismus der Arterhaltung wird dabei in Mitleidenschaft gezogen: die sexuelle Fortpflanzung. Das ergaben Laborexperimente, die Havenhand in an der Universität Göteborg (Schweden) durchgeführt hat.

Umweltforscher bezeichnen die Versauerung der Meere durch Kohlendioxid, das mit Wasser zu Kohlensäure reagiert, gelegentlich als das zweite CO₂-Problem. Der sinkende pH-Wert erschwert es den Korallen, Muscheln und Schnecken, ihre Skelette und Schalen zu bilden. Noch bedrohlicher aber ist, dass die Übersäuerung grundlegende Körperfunktionen aller marinen Organismen beeinträchtigen kann, gleichgültig ob mit oder ohne Kalkgerüst. Indem sie Wachstum und Reproduktion stört, gefährdet sie den Bestand ganzer Arten. Es ist daher höchste Zeit, der Versauerung Einhalt zu gebieten, bevor sie die marine Nahrungskette irreparabel schädigt, von der alles Leben im Meer abhängt – und indirekt auch die Menschheit.

Dadurch, dass die Ozeane Kohlendioxid aus der Luft aufnehmen, mildern sie die Auswirkungen des Treibhausgases auf das Klima. Aktuell beträgt die CO₂-Konzentration der

AUF EINEN BLICK

ÜBERSÄUERTE MEERE

1 Weil die Ozeane immer mehr von dem Kohlendioxid aufnehmen, das die Menschheit in großen Mengen in die Atmosphäre freisetzt, steigt der Säuregrad des Meerwassers.

2 Experimente mit Ruderfußkrebse, Meeresschnecken, Seeigeln und Schlangensternen zeigen die Folgen der Versauerung. Die Tiere benötigen viel Energie zur Bewahrung ihres inneren Säure-Basen-Gleichgewichts. Das beeinträchtigt ihr Wachstum und ihre Fortpflanzungsfähigkeit.

3 Bei der hohen Geschwindigkeit, mit der die Ozeane derzeit versauern, können sich zahlreiche Tierarten wahrscheinlich nicht schnell genug anpassen. Ihr Aussterben würde die marine Nahrungskette massiv stören und auch die Fischerei in Mitleidenschaft ziehen.



JAMIE CHUNG

Atmosphäre etwa 390 Teile pro Million (*parts per million*; ppm). Sie läge wesentlich höher, würden sich nicht jeden Tag 30 Millionen Tonnen des Gases im Meer lösen. Insgesamt landet etwa ein Drittel des vom Menschen produzierten Kohlendioxids in den Ozeanen. Das bremst zwar die globale Erwärmung, jedoch um den Preis der Übersäuerung des Meerwassers. Robert H. Byrne von der University of South Florida in Tampa hat nachgewiesen, dass der Säuregehalt des Pazifiks zwischen Hawaii und Alaska bis in 100 Meter Tiefe allein in den letzten 15 Jahren um sechs Prozent zugenommen hat. Weltweit ist der mittlere pH-Wert der obersten Wasserschichten seit Beginn der industriellen Revolution um 0,12 auf etwa 8,1 gesunken. Das mag geringfügig erscheinen. Die pH-Skala ist jedoch logarithmisch. Einem Rückgang um 0,12 entspricht daher eine Zunahme des Säuregehalts um satte 30 Prozent.

Der pH-Wert gibt die Konzentration von Wasserstoffionen (H^+) an. In neutralem Wasser beträgt er 7,0. Bei niedrigeren Werten ist eine Lösung sauer, bei höheren basisch. Ein pH von 8,1 liegt zwar im schwach basischen Bereich; die beobachtete Abnahme um 0,12 zeigt jedoch einen Trend zur Versauerung an.

Eine derart rasche Änderung des pH-Werts wie in jüngerer Zeit haben die Meeresbewohner seit Jahrtausenden nicht erlebt. Paläontologischen Untersuchungen zufolge ging bei vergleichbaren Verschiebungen in der Vergangenheit prak-

tisch alles Leben im Meer zu Grunde. So ereignete sich vor 250 Millionen Jahren das schlimmste Artensterben aller Zeiten, weil gewaltige Vulkanausbrüche den CO_2 -Gehalt der Luft verdoppelten. Mehr als 90 Prozent aller marinen Spezies wurden damals ausgelöscht. Die chemisch völlig veränderten Ozeane waren vier bis fünf Millionen Jahre lang eine biologische Wüste.

Anstieg des Säuregehalts um 150 Prozent

Wenn wir Menschen weiterhin im aktuellen Tempo Treibhausgase produzieren, wird der CO_2 -Gehalt der Atmosphäre im Jahr 2050 bei 500 ppm liegen und bis zum Ende des Jahrhunderts 800 ppm erreichen. Dann könnte der pH-Wert der oberen Meeresschichten 7,8 oder gar 7,7 betragen, was einem Anstieg des Säuregehalts um 150 Prozent gegenüber vorindustriellen Zeiten entspräche.

Die meisten Menschen stellen sich das Meer einfach als riesiges Wasserbecken vor. Tatsächlich besteht es jedoch aus zahlreichen Schichten, die sich in Temperatur und Salzgehalt unterscheiden. Die wärmste und salzärmste reicht von der Oberfläche bis in 50 bis 200 Meter Tiefe, in manchen Regionen auch tiefer. Dank genügend Sauerstoff und Licht gedeiht in dieser Schicht das Phytoplankton, das als erstes Glied der Nahrungskette mit Hilfe von Sonnenstrahlung Kohlenhydrate herstellt – ähnlich wie die Pflanzen an Land. Von diesen

einzelligen Algen ernährt sich das Zooplankton, das aus winzigen Krebstieren oder auch Fischlarven besteht. Es wird seinerseits von kleinen Fischen gefressen, die wiederum größeren Meerestieren als Nahrung dienen und so weiter.

Winde vermischen oberflächennahe und tiefere Wasserschichten. Dabei gelangt Sauerstoff in die Tiefe, Nährstoffe kommen nach oben. Zum Stofftransport zwischen den Schichten tragen aber auch Tiere bei, lebende wie tote. So wandern die Ruderfußkrebse jede Nacht im Schutz der Dunkelheit von mittleren und sogar tieferen Schichten in die Phytoplanktonzone, um sich am reichhaltigen Büfett zu bedienen, das vom Tageslicht bereitete wurde. Viele räuberische Fische und Kalmare folgen ihnen, während Tiefseebewohner darauf warten, dass Teile des Überflusses in Form der Kadaver abgestorbener Organismen herabrieseln. Während ihres Auf- und Abstiegs passieren all diese Tiere Wasserschichten

mit unterschiedlichen pH-Werten. Deshalb könnten sie Schaden nehmen, wenn sich das Tiefenprofil verändert.

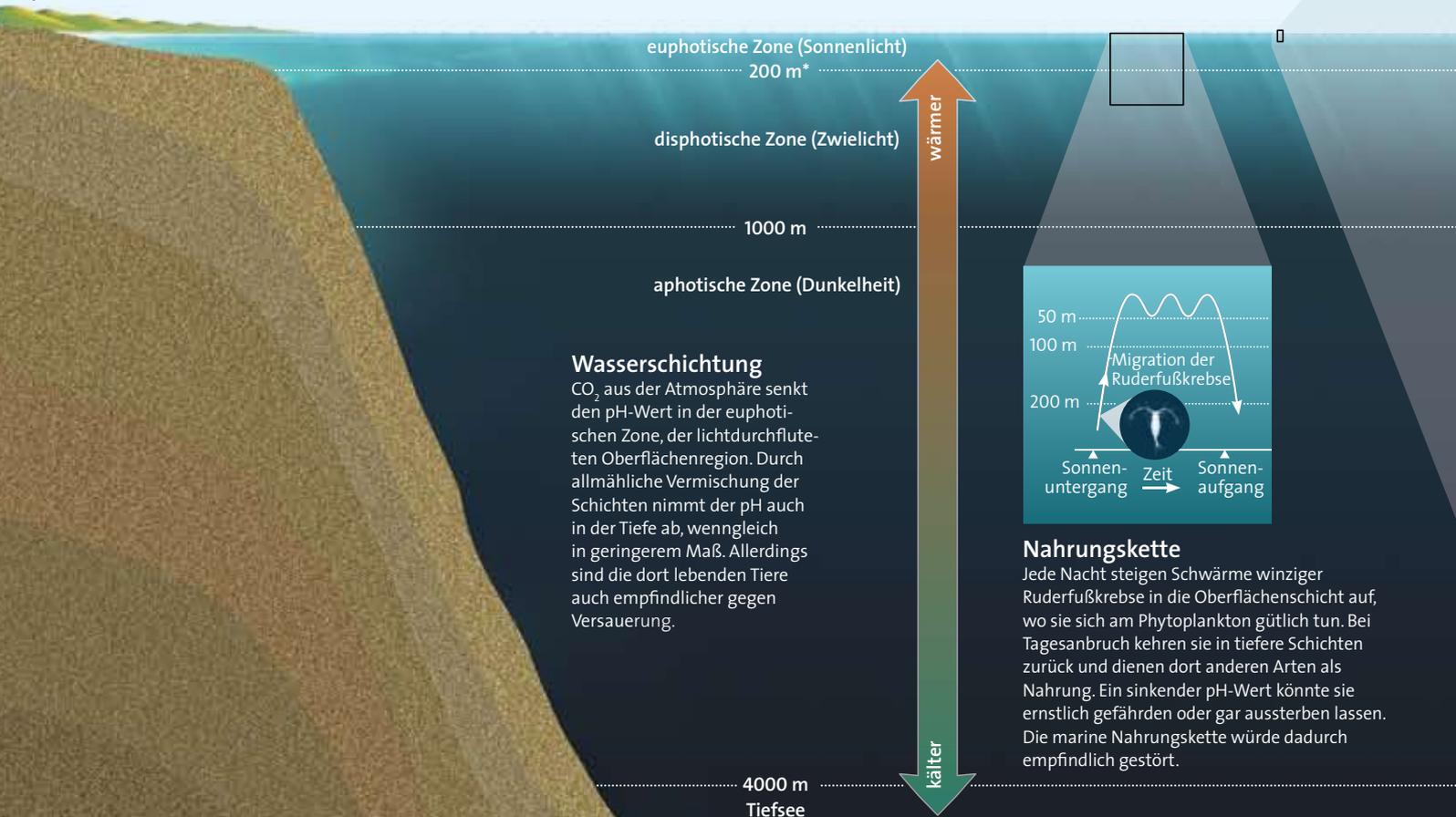
Für die Meerestiere bedeutet saureres Wasser in aller Regel, dass sie mehr Energie benötigen, um ihre innere pH-Balance wiederherzustellen oder zu erhalten – auf Kosten von Wachstum und Reproduktion. Schon bei geringfügig höherer CO₂-Konzentration im Meerwasser gelangt das zusätzliche Kohlendioxid umgehend durch Diffusion in den Körper kiemenatmender Organismen, wo es mit dem Blutplasma reagiert. Die dabei gebildeten Wasserstoffionen senken den pH-Wert von Körperflüssigkeiten und Geweben.

Die Meeresbewohner erhalten das innere Säure-Basen-Gleichgewicht bei solchen Störungen mit verschiedenen Maßnahmen aufrecht. So produzieren sie basische Anionen wie Hydrogenkarbonat, die als Puffer wirken und überschüssige Wasserstoffionen abfangen. Außerdem pumpen sie

Eingriff in das marine Ökosystem

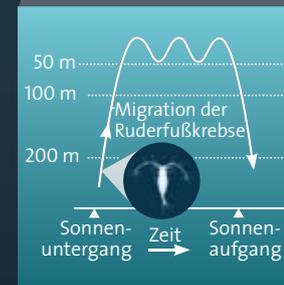
Meerwasser ist relativ stabil geschichtet, weil mit der Tiefe – bei fallender Temperatur und steigendem Salzgehalt – seine Dichte zunimmt. In der obersten, sonnendurchfluteten (euphotischen) Schicht gedeihen die Algen des Phytoplanktons, das als unterstes Glied der marinen Nahrungskette dient. Es ernährt insbesondere die Ruderfußkrebse, die zwischen den Schichten auf- und abwandern (Mitte links). Diese bilden dann ihrerseits die Nahrungsgrundlage für das Leben in größeren Tiefen. Weil die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre steigt, löst sich mehr von dem Gas im Meerwasser. Dort entsteht daraus Kohlensäure (Mitte rechts). Die resultierende Versauerung ist bereits messbar (ganz rechts). Wie Experimente nahelegen, dürfte sie Meeresbewohner in verschiedenen Tiefen teils massiv schädigen.

GEORGE RETSICK



Wasserschichtung

CO₂ aus der Atmosphäre senkt den pH-Wert in der euphotischen Zone, der lichtdurchfluteten Oberflächenregion. Durch allmähliche Vermischung der Schichten nimmt der pH auch in der Tiefe ab, wenngleich in geringerem Maß. Allerdings sind die dort lebenden Tiere auch empfindlicher gegen Versauerung.



Nahrungskette

Jede Nacht steigen Schwärme winziger Ruderfußkrebse in die oberflächennahen Schichten auf, wo sie sich am Phytoplankton gütlich tun. Bei Tagesanbruch kehren sie in tiefere Schichten zurück und dienen dort anderen Arten als Nahrung. Ein sinkender pH-Wert könnte sie ernstlich gefährden oder gar aussterben lassen. Die marine Nahrungskette würde dadurch empfindlich gestört.

*Ungefähre Tiefenangaben; die Werte variieren je nach geografischer Lage.

Letztere zwischen Zellen und Zellzwischenräumen hin und her. Schließlich drosseln sie ihren Stoffwechsel, um weniger Wasserstoffionen aufzunehmen und so die Phasen niedrigeren pHs »auszusitzen«.

So raffiniert diese Mechanismen sind, taugt doch keiner dafür, dauerhafte pH-Verschiebungen auszugleichen. Wenn ein Organismus sein Säure-Basen-Gleichgewicht gegen äußere Einflüsse aktiv aufrechterhalten muss, kostet das zusätzliche Energie. Außerdem können die Notmaßnahmen grundlegende Lebensfunktionen wie Proteinsynthese und Immunabwehr beeinträchtigen.

Säurepuffer nur kurzfristiger Notbehelf

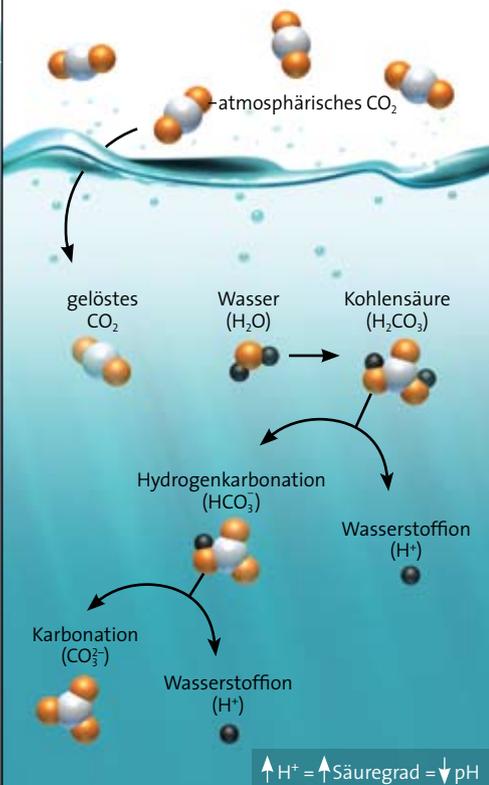
Die meisten Lebewesen verfügen über eine gewisse Pufferkapazität. Fische und andere bewegungsaktive Meerestiere fangen so zum Beispiel den vorübergehenden Säureüber-

schuss im Gewebe beim schnellen Schwimmen ab. Das Phänomen kennen auch Sportler. Wenn bei intensiver Belastung die Sauerstoffversorgung nicht mehr ausreicht, schalten die Muskeln auf anaeroben (sauerstoffunabhängigen) Energiestoffwechsel um, der weniger effizient ist und zusätzliche H^+ -Ionen erzeugt. Der interne Säurepuffer der Fische reicht jedoch nicht aus, um eine pH-Verschiebung über längere Zeit zu kompensieren.

Bei allmählicher Versauerung über Zehntausende von Jahren hinweg kann sich eine Tierart eventuell anpassen. Dann setzen sich mit der Zeit zufällige Mutationen durch, die zum Beispiel bewirken, dass mehr Puffermoleküle produziert werden. Dies ist jedoch kaum möglich, wenn sich gravierende Veränderungen in wenigen hundert Jahren oder noch schneller vollziehen. Laufen sie im Labor gar binnen Tagen oder Wochen ab, sterben sämtliche Versuchstiere.

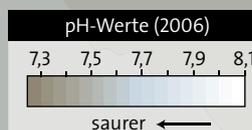
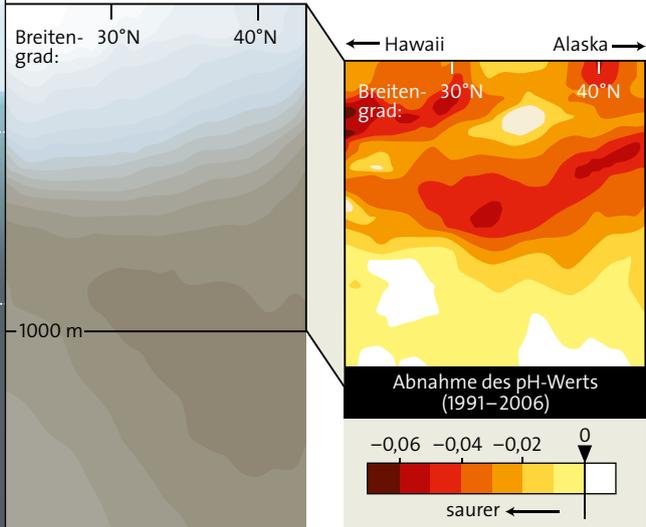
Wie Kohlendioxid das Meerwasser ansäuert

Kohlendioxid aus der Luft löst sich im Wasser und reagiert mit ihm zu Kohlensäure. Diese gibt ein Wasserstoffion (H^+) ab. Das zurückbleibende Hydrogenkarbonat (HCO_3^-) kann weiter dissoziieren. Mit zunehmender H^+ -Konzentration steigt der Säuregrad, und der pH-Wert sinkt entsprechend.



Steigender Säuregrad

In nur 15 Jahren ist der pH-Wert im Oberflächenwasser des Pazifiks auf einem Längsschnitt zwischen Hawaii und Alaska um sechs Prozent gesunken. Das ergaben Messungen von Wissenschaftlern der University of South Florida in Tampa. Der pH ist normalerweise an der Oberfläche am höchsten (links), weil dort Reaktionen ablaufen, die H^+ -Ionen verbrauchen. Zu größeren Tiefen hin nimmt er allmählich ab; unter etwa 3000 Metern bleibt er praktisch konstant.



Ein Abfall des pH-Werts kann speziell für Tiefseebewohner wie Riesenkalmar problematisch sein. Sie leben in einem besonders stabilen Milieu und sind deshalb kaum auf Veränderungen eingestellt. Auch aus diesem Grund erscheinen Überlegungen höchst fragwürdig, für den Klimaschutz große Mengen Kohlendioxid in die Tiefsee zu pumpen. Das könnte verheerende Folgen für den Bestand zahlreicher Tierarten haben.

Die Versauerung der Ozeane schädigt aber nicht nur erwachsene Meerestiere, sondern vor allem auch frühe Entwicklungsstadien. Das zeigt eine wachsende Anzahl von Forschungsarbeiten. Schon das allererste Lebensstadium, die Befruchtung, kann beeinträchtigt sein. Wie Havenhand uns während der gemeinsamen Taxifahrt erklärt, bewegten sich die Spermien des australischen Seeigels *Heliocidaris erythrogramma* um 16 Prozent weniger und schwammen 12 Prozent langsamer, wenn seine Mitarbeiter den pH-Wert des Wassers um 0,4 verringerten – was in dem bis 2100 erwarteten Bereich liegt. Der Befruchtungserfolg der Tiere sank um 25 Prozent. Frei lebende Seeigel könnten durch eine solche Entwicklung im Bestand gefährdet sein. Zwar setzen sie Millionen von Spermien und Eizellen frei, doch die Samenzellen bleiben nicht lange funktionsfähig. Sie müssen binnen weniger Minuten eine Eizelle finden und befruchten. Im bewegten Wasser des Ozeans sind träge Spermien dazu möglicherweise nicht mehr in der Lage.

Die Versauerung gefährdet auch frühe Larvenstadien verschiedener Spezies. Das ergaben Versuche von Samuel Dupont, einem Institutskollegen von Havenhand in Göteborg. Setzte er Larven von Schlangensternen – Verwandten der gewöhnlichen Seesterne – um 0,2 bis 0,4 erniedrigten pH-Werten aus, entwickelten sich viele abnormal. Weniger als 0,1 Prozent überlebten mehr als acht Tage. Außerdem schlüpfen, wie eine andere Untersuchung ergab, aus Eiern der Stumpfen Strandschnecke *Littorina obtusata* bei reduziertem pH weniger Larven – und diese waren nicht so lebhaft wie üblich.

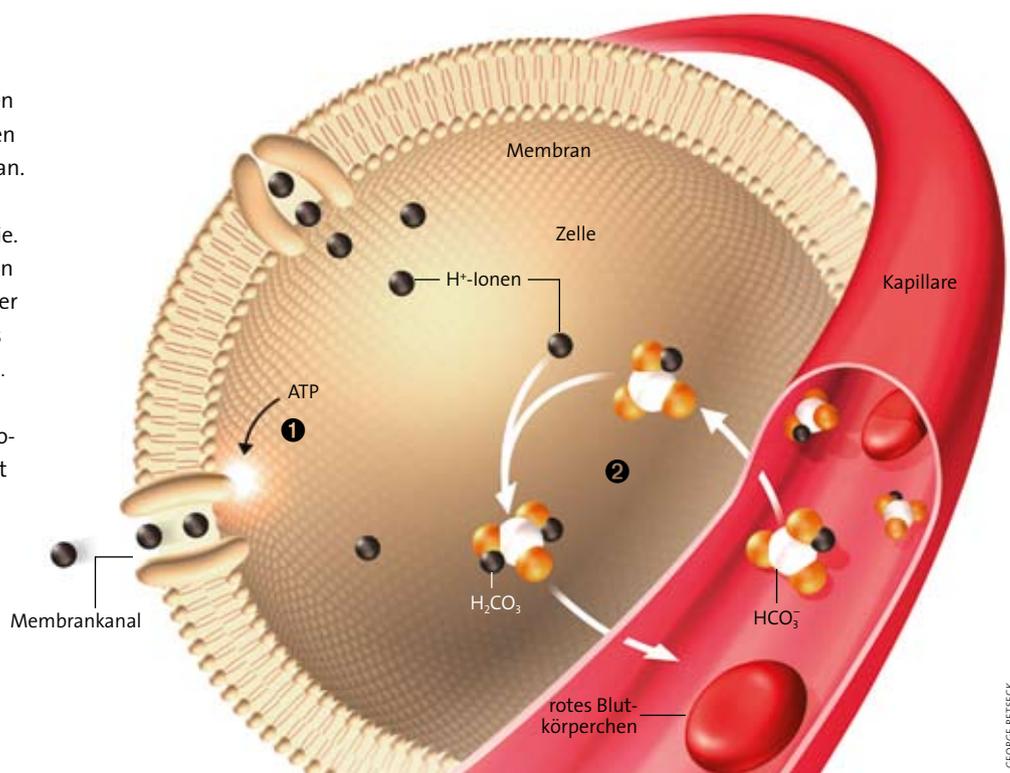
Wachstumshemmung in saurerem Wasser

Zwar ist eine plötzliche Absenkung des pH-Werts um 0,2 bis 0,4 im Laborversuch weitaus drastischer als die Milieuänderungen, denen frei lebende Tiere ausgesetzt sind, und manche Spezies können sich allmählichen Veränderungen durchaus anpassen. Doch für andere dürfte selbst eine geringe Versauerung bedrohliche Folgen haben. So vermuten Forscher in der pH-Änderung des Meerwassers den Grund für das massive Sterben von Austernlarven vor der Küste Oregons, das Züchter dort in große Schwierigkeiten bringt.

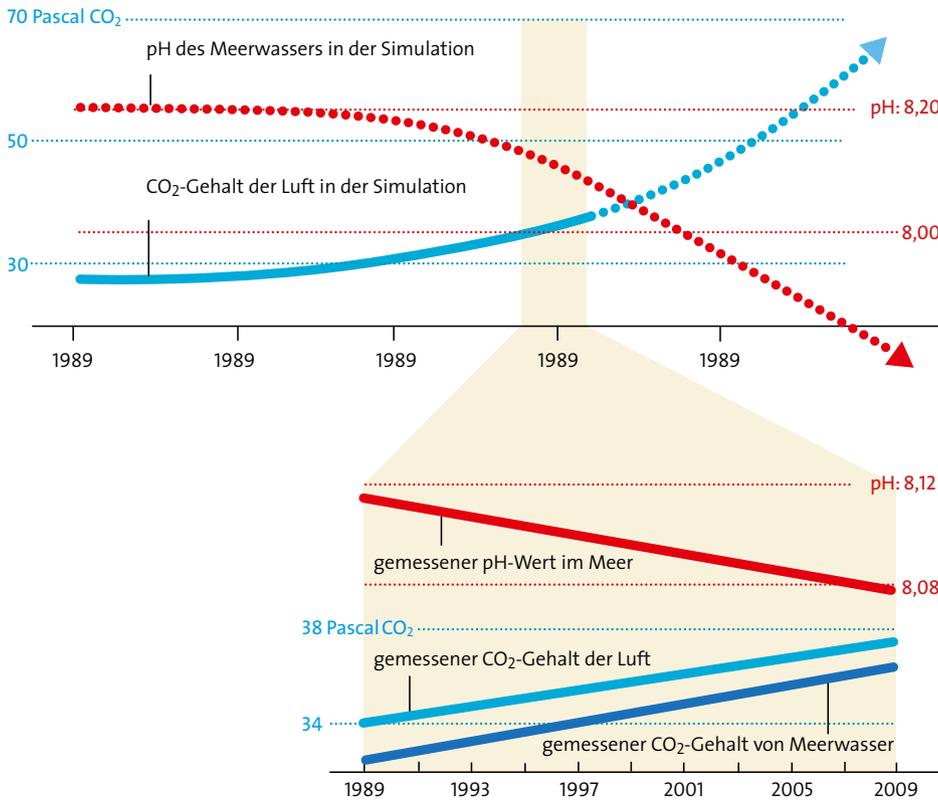
Auch nach dem Larvenstadium wirkt sich die Versauerung auf viele Meerestiere negativ aus. Das belegen Experimente mit Seeigeln der Arten *Hemicentrotus pulcherrimus* und *Echinometra mathaei* sowie der Kegelfechterschnecke *Strombus luhua* aus dem Jahr 2005. Forscher der Universi-

Das Ringen um Neutralität

Bei erhöhter CO_2 -Konzentration im Meerwasser dringen mehr Wasserstoffionen in den Körper der Meeresorganismen ein und säuern das Gewebe an. Es gibt Gegenmaßnahmen, doch alle verbrauchen Energie. So können die Zellen H^+ -Ionen durch Membrankanäle, die der Energieträger ATP öffnet, aus dem Zellplasma pumpen (1). Eine andere Möglichkeit besteht darin, mehr Puffermoleküle wie Hydrogenkarbonat (HCO_3^-) zu produzieren, die H^+ -Ionen binden und wegschaffen (2).



GEORGE RETSECK

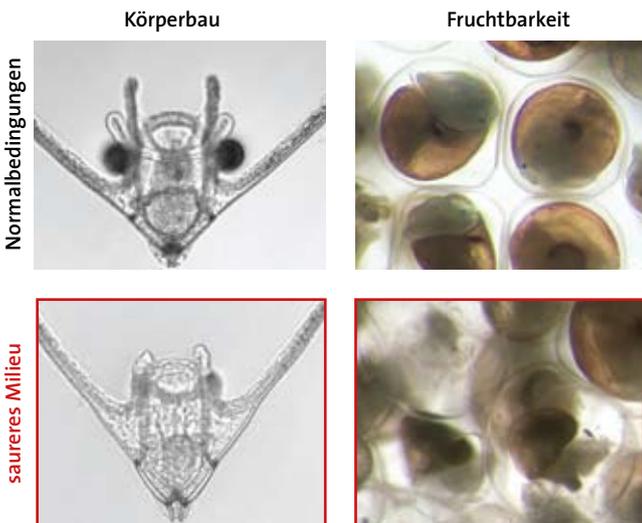


Simulation und Messwerte im Vergleich

Die Vorhersagen von Klimamodellen für die Entwicklung des pH-Werts von Meerwasser (oben) zeigen denselben Verlauf wie Daten einer Messstation der University of Hawaii in Manoa im zentralen Nordpazifik zwischen 1989 und 2009 (unten).

Missgebildete Meerestiere

Wie Laborexperimente ergaben, beeinträchtigt saureres Meerwasser die Entwicklung und Fruchtbarkeit von Meerestieren. Bei einem pH von 8,1, dem derzeitigen Normalwert, entwickelten sich aus Schlangensterne-Embryonen innerhalb von acht Tagen ausgereifte, symmetrische Larven (links oben), bei pH 7,7 hingegen entstanden deformierte Exemplare, die nicht die volle Reife erreichten. Eier von Meeresschnecken, die bei pH 8,05 befruchtet und bebrütet wurden, enthielten Embryonen, die binnen 18 Tagen Schalen bildeten (rechts oben). Bei pH 7,6 dagegen blieben einige Eier leer, und die Embryonen waren auch am Versuchsende noch schalenlos.



LARVEN (LINKS) AUS: SAMUEL DUPONT ET AL., NEAR-FUTURE LEVEL OF CO₂-DRIVEN OCEAN ACIDIFICATION (...), IN: MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES, VOL. 373, 2008; EIER (RECHTS): ROBERT ELLIS, UNIVERSITY OF PLYMOUTH

tät Kioto (Japan) ließen sie sechs Monate lang in Wasser leben, durch das sie Luft leiteten, die 200 ppm mehr CO₂ enthielt als die heutige Atmosphäre. Unter diesen Bedingungen wuchsen die Tiere deutlich langsamer als normal. Sie blieben also länger klein – ein Zustand, in dem sie in freier Natur leichter gefressen würden. Außerdem setzte die Geschlechtsreife später ein.

Durch die Versauerung kommen einige Phytoplanktonarten auch nur schwerer an Eisen, das sie für ihr Wachstum benötigen. Die Aufnahme des Spurenelements kann sich nach Untersuchungen von Forschern an der Princeton University (New Jersey) um 10 bis 20 Prozent vermindern, wenn der pH-Wert um 0,3 zurückgeht. Das ist beunruhigend; denn abgesehen von der grundlegenden Rolle des Phytoplanktons für die marine Nahrungskette produziert es auch einen Großteil des Sauerstoffs, den wir zum Atmen brauchen.

In anderen Experimenten wuchsen die Arme des im Sediment lebenden Schlangenters *Amphiura filiformis* bei niedrigerem pH zwar schneller, doch die Muskelmasse ging deutlich zurück. Die Tiere brauchen aber starke Muskeln, denn mit deren Hilfe wühlen sie sich in den Boden ein, um Nahrung zu finden und Fressfeinden zu entkommen. Bei Miesmuscheln schwächte eine Abnahme des pH-Werts um 0,3 bis 0,5 binnen eines Monats die Immunreaktion.

Verminderte Muskelkraft, Immunschwäche und Fortpflanzungsprobleme können die Population vieler mariner Organismen langfristig dezimieren – mit ungünstigen Fol-

»LSD« bei Meerestieren

Die zunehmende Versauerung des Meerwassers stört biochemische Vorgänge im Körper vieler Meeresorganismen. Dabei beobachten Forscher auch eher skurrile Effekte.

Zum Beispiel nutzen viele Meerestiere schwache Geruchsreize, um Beute, Sexualpartner und geeignete Lebensräume zu finden. Bestimmte Anemonenfische (Bild) entscheiden anhand anziehender und abstoßender Geruchswahrnehmungen, in welchem Riff und in welcher Seeanemone sie sich ansiedeln. Wurden Larven in Meerwasser aufgezogen, dessen pH-Wert um 0,2 bis 0,4 Einheiten niedriger war, schwammen sie auf Quellen negativer Reize zu und ignorierten positive Signale. Ihre Nasalorgane erscheinen anatomisch normal. Nach Ansicht der Wissenschaftler stört die Versauerung die Übertragung chemischer Signale im Nervensystem. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, inwieweit das LSD genannte Phänomen (kurz für *lost smell disorder*) die Fischpopulationen weltweit gefährden könnte.

Komplexe pH-abhängige Wechselwirkungen zwischen Molekülen im Meerwasser steigern oder vermindern auch die akustische Wahrnehmung. Wenn der pH-Wert der Ozeane um weitere 0,3 Einheiten abnimmt (was in dem bis 2100 vorherge-



sagten Bereich liegt), könnte sich der Schallpegel um 40 Prozent erhöhen. Obwohl bisher keine Untersuchungen einen direkten Zusammenhang zwischen dem Anstieg der Lautstärke durch die Versauerung und der Sterblichkeit mariner Organismen belegen, ist der Befund alarmierend; denn viele Meerestiere, insbesondere Säuger, nutzen Schall zur Orientierung, Kommunikation, Jagd und Partnerwerbung.

NATURE PICTURE LIBRARY / GEORGETTE DOUWMA

gen nicht nur für die betroffenen Spezies, sondern auch für viele andere Arten, deren Ernährung und Lebensbedingungen von ihnen abhängen. Zum Beispiel halten Seeigel durch ihre Beweidung Korallenriffe und Braunalgenwälder (Kelpwälder) gesund, und Schlangensterne, die den Meeresboden durchwühlen, ermöglichen vielen Spezies erst das Einnisten im Sediment.

Für einige Meeresbewohner bedeutet ein saureres Milieu sogar schlicht und einfach das Ende. Bei Experimenten mit Ruderfußkrebse der Art *Paraeuchaeta elongata*, die vor der Küste Kaliforniens häufig vorkommen, starb binnen einer Woche die Hälfte der Tiere, wenn sie in Wasser gehalten wurden, dessen pH-Wert um 0,2 erniedrigt war. Das ist insofern

brisant, als unsere bevorzugten Speisefische – vom Tunfisch über den Lachs bis zur Goldbrasse – von Meerestieren leben, die ihrerseits hauptsächlich Ruderfußkrebse fressen.

Manche Fischarten wie zum Beispiel der Gefleckte Seewolf (*Anarhichas minor*) erweisen sich in Laborversuchen indes als erstaunlich pH-tolerant. Der Grund: Sie haben eine hohe Pufferkapazität und speichern in ihren Geweben Sauerstoff. In diesem Fall ist das günstig, weil Blut unter sauren Bedingungen nicht mehr so leicht Sauerstoff aus dem Wasser aufnehmen kann. Auch solchen Fischen nutzt ihre hohe Anpassungsfähigkeit allerdings wenig, wenn der Bestand ihrer Beutetiere zurückgeht.

Andere Arten sind zudem weniger gut gerüstet. Motorisch hochaktive Kalmare zum Beispiel haben keinerlei Sauerstoffspeicher; sie verbrauchen das Gas sofort nach der Aufnahme. Weniger Sauerstoff in ihrem Blut würde sie bei der Jagd, der Flucht vor Fressfeinden und der Suche nach Sexualpartnern beeinträchtigen. Der kommerziell gefangene Kurzflossenkalmar *Illex illecebrosus* zeigt solche Einschränkungen bereits bei einer Abnahme des pH-Werts um 0,15.

Die vorliegenden Laborergebnisse und geologisch-paläontologischen Daten zeigen: Eine Ansäuerung der Ozeane setzt Meerestiere zusätzlichem Stress aus. Das ist umso schlimmer, als diese heute zum Teil schon unter den Folgen menschlicher Aktivitäten wie Erwärmung und Verschmutzung des Wassers sowie Überfischung zu leiden haben.

Laborexperimente dauern Wochen bis Monate. Klimaänderungen vollziehen sich dagegen in Jahrzehnten bis Jahr-



Die Scripps Institution of Oceanography in La Jolla (Kalifornien) verteilte Ende 2009 Bojen mit CO₂- und pH-Sensoren im Pazifik. Die Geräte liefern Daten für Forschungsprojekte, die bessere Vorhersagen darüber ermöglichen sollen, wie sich die Versauerung des Meeres weiterentwickeln wird.

HTTP://MOORING.USC.EDU

hundertern. Vielleicht ist das lang genug, dass sich manche Spezies anpassen können – insbesondere Arten mit kurzen Generationszeiten. Doch bei säureempfindlichen Spezies mit längerem Reproduktionszyklus reichen 90 Jahre – die Zeitspanne, in der mit einer Abnahme des pH-Werts um 0,3 bis 0,5 Einheiten zu rechnen ist – für eine genetische Adaptation schwerlich aus.

Selbst wenn die Fruchtbarkeit nur wenig zurückgeht, kann das auf Dauer verhängnisvoll sein. Denn normalerweise sterben Arten ja nicht plötzlich aus, sondern verlöschen durch allmähliche Abnahme der Individuenzahl über längere Zeiträume. Schon bei einem Rückgang um ein Prozent pro Generation kann eine Spezies in weniger als einem Jahrhundert auf immer verschwinden.

Bislang verringert sich der pH des Meerwassers etwa 100-mal so schnell wie in den Jahrtausenden zuvor. Daran wird sich bei den derzeitigen Emissionstrends auch nichts ändern. Ohne Gegenmaßnahmen herrschen im Meer also bald Bedingungen, denen seine Bewohner nie zuvor ausgesetzt waren. Eine Anpassung daran ist auch deshalb schwierig, weil sich die Auswirkungen der Versauerung und anderer Stressfaktoren gegenseitig verstärken. So verengen erhöhte CO₂-Spiegel den Temperaturbereich, in dem ein Organismus überleben kann. Korallen und Algen zum Beispiel leiden in saurerem Wasser eher unter Hitzestress.

Korallenriffe besonders stark bedroht

Klimaforscher fordern nahezu einhellig eine Drosselung des CO₂-Ausstoßes, um die globale Erwärmung auf ein erträgliches Maß zu begrenzen. In die Reduktionsziele sollten aber auch die Gefahren einfließen, die von saurerem Meerwasser ausgehen. Ein tief greifender Wandel der marinen Ökosysteme als Folge eines ungebremsten Säureeintrags würde sich auf die gesamte Nahrungskette auswirken. Betroffen wären also auch Arten, die wir Menschen intensiv nutzen. Ferner würden unter Umständen potenzielle Quellen von Wirkstoffen für die Pharmakologie und Biomedizin vernichtet.

Experten verlangen daher, dass der pH-Wert des Meerwassers bis Ende des Jahrhunderts um maximal 0,1 Einheiten zurückgehen dürfe. Dazu müsste der CO₂-Gehalt der Luft auf 350 ppm verringert werden – was sich ohnehin mehr und mehr als vernünftiges Ziel globalen Klimaschutzes herauskristallisiert. Eine Stabilisierung bei 450 ppm im Jahr 2100, die einige Fachleute vorschlagen, würde den pH-Abfall auf 0,2 Einheiten begrenzen. Doch selbst das ließe die tropischen Korallenriffe vermutlich absterben. Auch wären einige Meerestiere nicht mehr im Stande, Schalen zu bilden – vor allem solche, die in den Gewässern rund um die Antarktis leben. Dort lösen sich nämlich Kalkgehäuse und Skelettstrukturen wegen der kalten Temperaturen und der besonderen Zirkulationsverhältnisse rascher auf als in anderen Meeren. Nicht zuletzt ist es wesentlich einfacher, eine weitere Versauerung zu verhindern, als ihre Folgen rückgängig zu machen. Natürliche Puffersysteme würden Hunderte bis Tausende von Jahren brauchen, den Säuregehalt auf vorindustrielle Werte zurückzubringen.

Abgesehen von politischen Maßnahmen zum Klimaschutz kommt dem Aufbau einer Infrastruktur zur Überwachung der Ozeane große Bedeutung zu. Dringend nötig wäre ein weltweites Netzwerk, das kontinuierlich Daten zum pH-Wert des Meerwassers liefert. Ein internationales Team unter Leitung von Richard Feely vom Pacific Marine Environmental Laboratory in Seattle und Victoria J. Fabry von der California State University in San Marcos hat einen Plan entwickelt, wie sich die pH-Überwachung in bereits existierende Programme zur Beobachtung der Meere wie OceanSITES integrieren ließe. Sinnvoll sind auch Vorhaben wie das California Current Ecosystem Interdisciplinary Biogeochemical Moorings Project, das Ergebnisse von Laborexperimenten mit Felddaten vergleicht, um zu gewährleisten, dass die Versuche unter realistischen Bedingungen stattfinden.

Letztlich lässt sich der Versauerung der Meere nur durch den Umstieg auf erneuerbare Energiequellen begegnen. Entscheidend ist, den Verbrauch fossiler Brennstoffe drastisch zu senken. Das würde der gesamten Menschheit zugutekommen – und nicht nur den Meeren. ~

DIE AUTOREN



Marah J. Hardt arbeitet als Ökologin, Journalistin und Beraterin auf Hawaii. Zuvor war die Expertin für Korallenriffe am Blue Ocean Institute in Cold Spring Harbor (New York) tätig.

Carl Safina ist Gründungsvorstand des Blue Ocean Institute und Professor an der Stony Brook University (New York). Er hat zahlreiche Bücher zu ökologischen Themen veröffentlicht.

QUELLEN

Fabry, V.J. et al.: Impacts of Ocean Acidification on Marine Fauna and Ecosystem Processes. In: ICES Journal of Marine Science 65, S. 414–432, April 2008

Naud, M.-J., Havenhand, J.N.: Sperm Motility and Longevity in the Giant Cuttlefish, Sepia Apama (Mollusca: Cephalopoda). In: Marine Biology 148, S. 559–566, 2006

LITERATURTIPP

Doney, S.C.: Das Meer wird sauer. In: Spektrum der Wissenschaft 6/2006, S. 62–69
Grundlegender Artikel über die Versauerung der Meere, der ausführlich die Folgen für Organismen mit Kalkstrukturen beschreibt

WEBLINKS

www.epoca-project.eu
Europäisches Projekt zur Meeresversauerung, dem mehr als 100 Forscher angeschlossen sind

www.oceanacidification.net
Portal mit Fakten, Videos und Neuigkeiten zur Versauerung der Meere, gefördert von der australischen Ocean Ark Alliance

www.wbgu.de/wbgu_sn2006.pdf
Sondergutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen zur Zukunft der Meere von 2006