

Der aktuelle Stand: Was wissen wir über Ozeanversauerung und die wichtigsten globalen Herausforderungen?

Es ist erstaunlich: Noch vor zehn Jahren hatten die wenigsten Menschen von der Ozeanversauerung gehört. Inzwischen ist vielen bekannt, dass die steigende Menge von Kohlendioxid (CO₂), die wir durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe in die Atmosphäre entlassen, mit dem Ozean reagiert. Seine chemische Zusammensetzung ändert sich, das Wasser wird saurer. Eine Folge daraus ist, dass immer weniger Karbonat-Ionen verfügbar sind. Genau diese benötigen viele Meerestiere und -pflanzen, um ihre Schalen und Skelette aufzubauen. Diese Broschüre, die von der International Ocean Acidification Reference User Group in Zusammenarbeit mit nationalen Forschungsprogrammen herausgegeben wurde, liefert grundlegende Informationen zur Ozeanversauerung und möglicher Konsequenzen daraus und unterstreicht, welches Vorgehen Entscheidungsträger wählen sollten.

Wenig Zweifel besteht darüber, dass der Ozean dramatische Veränderungen erlebt, die schon jetzt, aber noch weitaus stärker in absehbarer Zukunft das Leben vieler Menschen beeinflussen, wenn wir nicht entschlossen und zügig handeln. Der Untergang vieler Arten wird oft auf Versauerungsprozesse in der Erdgeschichte zurückgeführt, die geologisch dokumentiert sind. Während die Auslöser solcher Episoden komplex sind, fällt deutlich auf, dass es hunderttausende, oder, nach Massensterben auch Millionen von Jahren dauerte, bis sich die Vielfalt der Arten wieder einstellte.

Ozeanversauerung bei Rio 20+ und darüber hinaus



RIO+20
United Nations Conference
on Sustainable Development

Im Juni 2012 trafen sich viele Nationen in Rio de Janeiro zur Konferenz der Vereinten Nationen zur Nachhaltigen Entwicklung. Maritime Themen spielten dort eine größere Rolle als je zuvor. Im Abschlussdokument *The future we want* (Die Zukunft, die wir uns wünschen) stellten führende Köpfe der Welt fest (Paragraf 166):

‘Wir rufen auf zur Unterstützung von Initiativen, die sich mit der Ozeanversauerung und den Folgen des Klimawandels für marine und küstennahe Ökosysteme und Ressourcen befassen. In diesem Zusammenhang betonen wir, dass es notwendig ist, eine weitere Versauerung des Ozeans in gemeinsamer Anstrengung zu verhindern, die Widerstandsfähigkeit mariner Ökosysteme und der hierauf angewiesenen Gemeinschaften zu verbessern und die Erforschung der Meere sowie die Beobachtung der Ozeanversauerung und besonders empfindlicher Ökosysteme durch eine verstärkte internationale Zusammenarbeit zu fördern.’

Als ein Mittel, um dieses Ziel zu erreichen, kündigte die Internationale Atomenergiebehörde (International Atomic Energy Agency, IAEA) in Rio die Einrichtung eines Koordinierungszentrums zu Ozeanversauerung an. Es solle der Wissenschaftsgemeinde, Entscheidungsträgern und der breiteren Öffentlichkeit dienen. Das Zentrum, dessen Gründung auf konzertierten Aktionen der weltweiten Forschung zur Ozeanversauerung und Interessensvertretern basiert, wird einen Schwerpunkt auf internationale Aktivitäten legen, die bisher nicht auf nationaler oder internationaler Ebene gefördert werden. Es wird von mehreren Mitgliedsstaaten der IAEA unterstützt und unter anderem von der Zwischenstaatlichen Ozeanografischen Kommission der UNESCO, der US-amerikanischen National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO), der Stiftung Prinz Albert II von Monaco und der International Ocean Acidification Reference User Group beraten und beaufsichtigt.



© Hopcroft/UAF/COML

© Karen Hissmann, IFM-GEOMAR

© Hopcroft/UAF/COML

© Bec Thomas 2006/07 Marine Photobank

Die wichtigsten Fakten zur Ozeanversauerung

- Zurzeit nimmt der Ozean etwa 25 Prozent des CO₂ auf, das durch menschliche Aktivitäten freigesetzt wird.
- Schätzungen zufolge entspricht diese versteckte „Dienstleistung“ des Ozeans einer jährlichen Wertschöpfung von 86 Milliarden US-Dollar, wobei jedoch große Unsicherheit über diesen Schätzwert herrscht¹.
- Der Versauerungsgrad² des Ozeans hat seit dem Beginn der Industriellen Revolution um 30 Prozent zugenommen. Wenn die CO₂-Emissionen fortgesetzt werden, wird sich das Tempo der Versauerung in kommenden Jahrzehnten noch beschleunigen. Nach bestem Wissen wird sie sich um ein Vielfaches schneller vollziehen als vergleichbare Veränderungen während der vergangenen 250 Millionen Jahre.
- Eine große Zahl der Tiere und Pflanzen im Meer besitzen Schalen oder Skelette aus Kalziumkarbonat (Kalk). Viele sind sensibel für kleine Veränderungen im Säuregrad, insbesondere in frühen Stadien ihrer Entwicklung. Es gibt Belege dafür, dass einige dieser kalkifizierenden Organismen schon jetzt betroffen sind. Auch andere physiologische Prozesse sowie das Verhalten einiger Arten belegen, dass diese empfindlich auf Ozeanversauerung reagieren.
- Einige marine Organismen scheinen von der Ozeanversauerung zu profitieren, etwa Photosynthese betreibende Algen und andere Wasserpflanzen wie Seegräser. Allerdings ist zu bedenken, dass positive Auswirkungen für einzelne Arten dennoch nachteilige Auswirkungen auf Nahrungsketten, Lebensgemeinschaften oder Ökosysteme haben können.

1. Grundlage der Berechnung sind die geschätzten Entsorgungskosten von 2 Gigatonnen Kohlenstoff pro Jahr bei einem angenommenen zukünftigen Preis von Emissionsrechten von 43 US-Dollar pro Tonne Kohlenstoff. Dies sollte jedoch als nomineller Wert für eine Dienstleistung betrachtet werden, die in der Realität nicht monetär zu ersetzen ist.

2. Gemessen als Konzentration von Wasserstoff-Ionen (Protonen).

- Viele der empfindlichsten Arten sind direkt oder indirekt von großer kultureller, wirtschaftlicher oder ökologischer Bedeutung. So verhindern Warmwasserkorallen beispielsweise die Erosion entlang von Küsten und stellen ein Habitat für viele andere Arten dar.

Die größten Herausforderungen

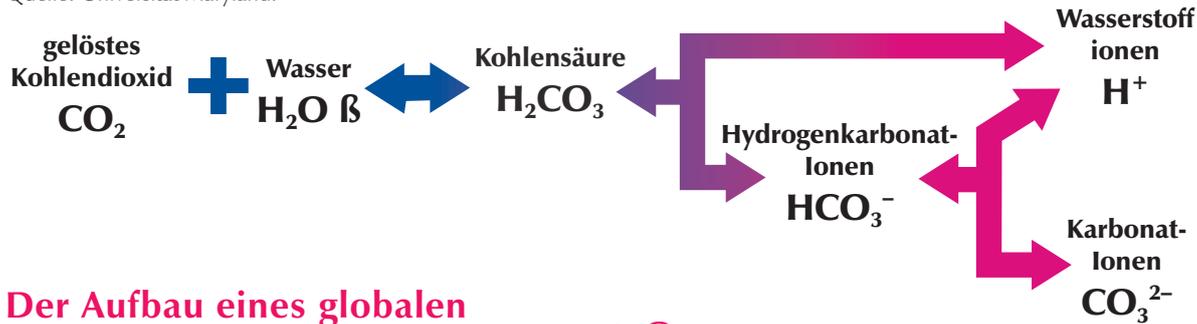
- *Wir sollten anerkennen*, dass die Ozeanversauerung eine direkte Folge steigender CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre ist. Die derzeitige Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre (etwa 395 parts per million) könnte bereits Auswirkungen haben. Viele wichtige marine Ökosysteme werden wahrscheinlich geschädigt, falls die Konzentration 450 parts per million überschreitet.
- *Wir sollten einsehen*, dass die einzig praktikable Maßnahme gegen die Ozeanversauerung darin besteht, den Ausstoß von Menschen gemachtem CO₂ in die Atmosphäre zu reduzieren.
- *Wir sollten Maßnahmen unterstützen*, mit deren Hilfe sich die weltweite CO₂-Emission bis 2050 um mindestens 50 Prozent der Emissionen aus dem Jahr 1990 reduzieren lassen, und sie anschließend weiter reduzieren.
- *Wir sollten Maßnahmen fördern*, die dazu beitragen, auf regionaler oder lokaler Ebene andere ökologische Stressfaktoren wie Überfischung, Verschmutzung, Nährstoffeinträge und Überdüngung zu verringern, zu verhindern oder zu stoppen. Denn diese Faktoren verstärken die Folgen der Versauerung.
- *Wir sollten die Widerstandsfähigkeit der Ozeane* dadurch steigern, dass wir ihnen Raum und Zeit geben, sich von menschlicher Beeinflussung zu erholen. Hierfür kann ein wirkungsvolles Netz von marinen Schutzgebieten eingerichtet und eine nachhaltige Schutz- und Bewirtschaftungsstrategie verfolgt werden.
- *Wir sollten die internationale Koordination* einer integrierten Forschung über die Ozeanversauerung unterstützen.

Der aktuelle Stand: Was wissen wir über Ozeanversauerung und die wichtigsten globalen Herausforderungen?

Die Verbrennung fossiler Brennstoffe erhöht nicht nur den CO₂ Gehalt der Atmosphäre, sondern auch im Ozean.

Als Folge davon steigt die Konzentration an Wasserstoff-Ionen (steigender Säuregrad), während die der Karbonat-Ionen sinkt.

Quelle: Universität Maryland.



Der Aufbau eines globalen politischen Rahmens

Der effektivste Weg, einen gefährlichen Klimawandel zu verhindern, besteht darin, die Mengen von Treibhausgasen in der Atmosphäre zu beschränken und zu minimieren, insbesondere von CO₂ (dem Motor des Klimawandels und die Hauptursache von Ozeanversauerung).

Diese Erkenntnis schlägt sich in der Zielerklärung des Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) und aller angegliederten Institutionen nieder, eine „Stabilisierung der Treibhausgas-Konzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu erreichen, das eine gefährliche von Menschen verursachte Störung des Klimasystems verhindert“ (UNFCCC, 1992, Artikel 2).

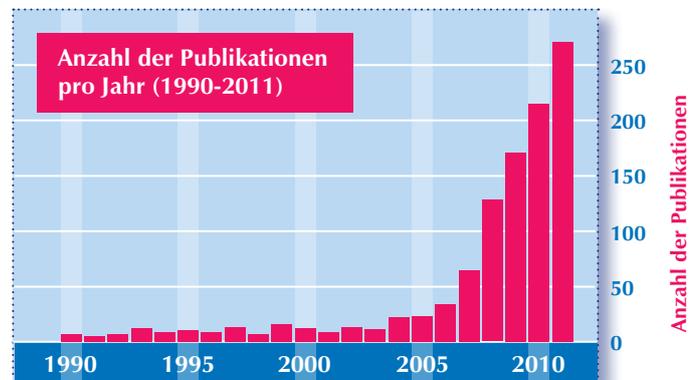
Die durch diese Veröffentlichung vorangetriebenen Aktivitäten müssen Teil einer breiteren Strategie werden, die sich mit der Ozeanversauerung ebenso beschäftigt wie mit anderen weitreichenden Bedrohungen für die marine Umwelt, etwa Überfischung und Verschmutzung. Der Ozean ist ein wichtiger Bestandteil des globalen Klimasystems und trägt entscheidend dazu bei, die Ausmaße des Klimawandels zu begrenzen, da er große Mengen CO₂ absorbiert. Unglücklicherweise gefährdet genau dieser Dienst am Klima die Gesundheit und wichtige andere Serviceleistungen des Ozeans, etwa die Produktion von Nahrung und der Beitrag zu einer nachhaltigen Wirtschaftsentwicklung.

Das Thema der Ozeanversauerung wird nicht länger am Rande internationaler Debatten über Klima und Umwelt behandelt. Obwohl es sich nicht um eine Folge der globalen Erwärmung handelt, ist es ein begleitendes Problem mit möglicherweise genauso weitreichenden Folgen für Lebensräume, Arten und die Menschheit. Das UNFCCC gilt als die geeignetste Institution, die sich für eine Begrenzung der Ozeanversauerung einsetzen kann. Doch andere Umweltschutz-Konventionen wie die Biodiversitäts-Konvention (Convention for Biological Diversity, CBD) müssen ebenfalls Aufgaben übernehmen, damit ein erfolgreiches Engagement möglich wird.

Als ein grundlegender Schritt sollten zunächst Unterschiede zwischen den Strategien zur Schadensminderung für die miteinander verbundenen Probleme Ozeanversauerung und Klimawandel benannt werden, da diese die notwendigen Maßnahmen zum Umgang mit diesen Problemen nachhaltig beeinflussen. Obwohl sie entscheidend dazu beitragen, den Klimawandel in den Griff zu bekommen, werden Aktivitäten, die sich darauf konzentrieren, Emissionen anderer Treibhausgase wie etwa Methan zu regulieren, keinen Einfluss auf die fortschreitende Versauerung des Ozeans haben. Auch alternative „Geoengineering“-Strategien, die darauf abzielen, die globale Temperatur durch Maßnahmen zur Reduzierung der Sonneneinstrahlung zu senken, werden den CO₂-Gehalt der Atmosphäre nicht stabilisieren oder vermindern. Ungeachtet ihrer Vor- und Nachteilen in Bezug auf den Klimawandel tragen sie nicht dazu bei, die Ozeanversauerung zu bekämpfen.

Ozeanversauerung: Wer wird aktiv?

In den vergangenen Jahren wuchs die Anzahl wissenschaftlicher Studien, die untersuchten, welche Prozesse zurzeit ablaufen und welche Folgen der Ozeanversauerung zukünftig auftreten können.



Entnommen aus der EPOCA bibliografischen Datenbank.

Die Anzahl der Publikationen pro Jahr (1990-2011), die in der bibliografischen Datenbank des Europäischen Projekts zur Ozeanversauerung (European Project on Ocean Acidification, EPOCA) enthalten sind. Die Grafik veranschaulicht den starken Anstieg in der Verfügbarkeit von Literatur über das Thema der Ozeanversauerung während der vergangenen Jahre.

Aktuelle wissenschaftliche Studien konzentrieren sich darauf, die Mechanismen und Konsequenzen dieses globalen Problems zu verstehen, und die besten Strategien zu ermitteln, um es zu behandeln. Es ist dringend notwendig, dabei die Bedürfnisse von Entwicklungsländern adäquat zu berücksichtigen und neue Ergebnisse zügig zu verbreiten, sobald diese innerhalb der Wissenschaftsgemeinschaft bekannt werden.

Im November 2010 richteten das Wissenschaftszentrum Monaco (Centre Scientifique de Monaco, CSM) und die Atomenergiebehörde IAEA mit finanzieller Förderung der US-amerikanischen Peaceful Uses Initiative und Unterstützung des Fürstentums Monaco, des Ozeanografischen Museums Monaco der Stiftung Prinz Albert II von Monaco und des französischen Ministeriums für Ökologie, Nachhaltige Entwicklung, Energie und das Meer einen internationalen Workshop aus. Das Treffen „Die Ökonomie der Ozeanversauerung. Ein Brückenschlag zwischen den Folgen der Ozeanversauerung und einer ökonomischen Bewertung“ („Economics of Ocean Acidification: Bridging the Gap between Ocean Acidification Impacts and Economic Valuation“) gipfelte in einer Reihe von Ratschlägen, die als Basis für politische Entscheidungen mit Bezug zur Ozeanversauerung dienen (www.iaea.org/nael/page.php). Ein weiterer Workshop ist für 2012 geplant, um die Zusammenarbeit zwischen Natur- und Sozialwissenschaften weiter auszubauen.

Wichtige Studien, die bereits laufen oder sich in einem fortgeschrittenen Planungsstadium befinden

Europäische Union

Ab 2008 förderte die Europäische Kommission das Europäische Projekt zur Ozeanversauerung (European Project on Ocean Acidification, **EPOCA**) als erste multinationale Studie, um die Ozeanversauerung und deren Folgen zu untersuchen. Unter dem Dach des Projekts, das 2012 endete, arbeiteten 32 Labore aus 10 europäischen Ländern zusammen. Ziel der auf vier Jahre angelegten Kooperation war, die Ozeanversauerung und deren Folgen für marine Organismen und Ökosysteme zu beobachten, Risiken einer fortgesetzten Versauerung zu identifizieren und zu verstehen, wie diese Veränderungen das System Erde insgesamt beeinflussen. 2011 wurde mit Förderung der Europäischen Kommission das Projekt zur Versauerung des Mittelmeeres (Mediterranean Sea Acidification in a Changing Climate, **MedSeA**) begründet, das Unsicherheiten, Risiken und Schwellenwerte der Versauerung und der Erwärmung des Mittelmeers mit Blick auf einzelne Organismen, Ökosystem und Ökonomie sowie regionale Anpassungs- und Schadensbegrenzungsstrategien untersucht. MedSeA wird drei Jahre lang gefördert und vereint mehr als 110 Wissenschaftler aus 20 Instituten in 12 Ländern insbesondere aus dem Mittelmeer-Raum.

Australien

Australische Studien zur Ozeanversauerung konzentrieren sich auf Auswirkungen auf die Meere vom Südpolarmeer bis hin zum Great Barrier Reef und nach Papua Neuguinea. Die Erforschung des Südpolarmeers durch das **Antarctic Climate & Ecosystems Cooperative Research Centre**, einem multidisziplinären Zusammenschluss von 21 nationalen und internationalen Organisationen, umfasst die Beobachtung von Veränderungen in der Chemie des Meerwassers und die Reaktionen der Lebewelt. Das Infrastruktur-Projekt zur Ozeanbeobachtung, Integrated Marine Observing System (IMOS), betreibt unterschiedliche Beobachtungsgeräte im Meer rund um Australien und stellt seine Messdaten im **IMOS Ocean Portal** frei und öffentlich zur Verfügung.

China

Das Ministerium für Wissenschaft und Technologie und die National Science Foundation of China (NSFC) haben damit begonnen, die Erforschung der Ozeanversauerung zu unterstützen. Das neue, auf fünf Jahre angelegte Projekt **CHOICE-C** befasst sich mit Themen rund um CO₂-Anstieg und Ozeanversauerung in chinesischen Randmeeren. Es handelt sich um ein Gemeinschaftsprojekt von sieben großen Institutionen. Die NSFC unterstützt die Erforschung der Ozeanversauerung seit 2006. Auf nationaler Ebene laufen aktuell mehrere Arbeiten, die die Auswirkungen von Ozeanversauerung auf kalkbildende Organismen untersuchen.

Deutschland

Im Projekt *Biological Impacts of Ocean Acidification* (**BIOACID**) (*Biologische Auswirkungen von Ozeanversauerung, BIOACID*) arbeiten 15 deutsche Forschungsinstitute und Universitäten zusammen. Es wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. An die dreijährige Startphase schließt sich ab September 2012 eine weitere dreijährige Förderperiode an. Das Hauptaugenmerk von BIOACID liegt auf den Auswirkungen der Ozeanversauerung auf marine Lebewesen von der sub-zellulären Ebene bis hin zum gesamten Ökosystem sowie deren mögliche Folgen für Ökosystemleistungen und biogeochemische Rückkopplungen auf das Klimasystem.

Japan

Fünf Programme finanzieren in Japan Arbeiten zur Ozeanversauerung. Das japanische Umweltministerium unterstützt Forschungsprogramme, die zukünftige Auswirkungen der Ozeanversauerung auf verschiedene marine Lebewesen untersuchen. Dabei werden unterschiedliche Mesokosmen eingesetzt (etwa bei AICAL, Acidification Impacts on Calcifiers, **Versauerungs-Einflüsse auf Kalkbildner**). Das Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Sport und Kultur und die Japanische Behörde für marine Wissenschaften und Technologie (Japan Agency for Marine Science and Technology, JAMSTEC) unterstützen ebenfalls die Erforschung der Ozeanversauerung, etwa die Modellierungen mit dem Supercomputer „Earth Simulator“, der Bedingungen im Ozean der Zukunft vorausberechnet.

Korea

Die Koreanische Stiftung für Wissenschaft und Ingenieurwesen unterstützt das auf fünf Jahre angelegte Koreanische Mesokosmen-Projekt, mit dessen Hilfe die Effekte steigender Temperaturen und CO₂-Gehalte auf natürliche Phytoplankton-Gemeinschaften untersucht werden. Fünf koreanische Labore sind beteiligt.

Monaco

Im Oktober 2011 riefen die Umweltlabore der Atomenergiebehörde IAEA ein koordiniertes Forschungsprojekt mit dem Titel *Ocean Acidification and the Economic Impact on Fisheries and Coastal Society* (*Ozeanversauerung und die ökonomischen Folgen für Fischerei und Küstenbewohner*) ins Leben, welches vom US-amerikanischen Außenministerium unterstützt wurde. Das Projekt bemüht sich, Entwicklungsländer in die Erforschung der Folgen der Ozeanversauerung für Fischerei, Aquakultur und marine Ökosystem-Dienstleistungen einzubinden, die eine nachhaltige Verfügbarkeit von Nahrung und das Wohlergehen der Menschen fördern.

Großbritannien

Das auf fünf Jahre angelegte britische Forschungsprogramm zur Ozeanversauerung, UK Ocean Acidification (UKOA) nahm 2010 seine Arbeit auf (www.oceanacidification.org.uk) Inzwischen sind mehr als 120 Wissenschaftler aus 26 Instituten involviert. Die Forschung von UKOA umfasst experimentelle und beobachtende Studien sowie Modellierungen und Palaeo-Analysen. Schwerpunkt der Freiland-Untersuchungen sind die europäischen Schelfmeere, die Arktis und das Südpolarmeer. Das Programm wird vom der britischen Forschungsgemeinschaft Natural Environment Research Council (NERC) sowie den Ministerien für Umwelt, Nahrung und Landwirtschaft (DEFRA) und für Energie um Klimawandel (DECC) finanziert.

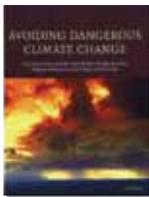
Vereinigte Staaten

Im März 2009 unterzeichnete Präsident Obama den **Federal Ocean Acidification Research and Monitoring Act** (FOARAM). Das Gesetz zur Erforschung und Überwachung der Ozeanversauerung sieht eine Zusammenarbeit der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) und der National Science Foundation (NSF) zur Unterstützung von Forschung und Bildung mit anderen staatlichen Einrichtungen im Rahmen der institutsübergreifenden Arbeitsgruppe Interagency Working Group on Ocean Acidification (www.st.nmfs.noaa.gov/iwgoa/) vor. Gemeinsam wurde ein integriertes nationales Programm zur Ozeanversauerung entwickelt und 2010 begonnen. Laufende Forschung und Programmaktivitäten werden von der NSF, der NOAA, dem Außenministerium (Department of State, DOS), dem zum Innenministerium gehörenden Büro für das Management der amerikanischen Offshore-Ressourcen (Bureau of Ocean Energy Management, BOEM), der Umweltschutzbehörde Environmental Protection Agency (EPA), der Raumfahrtbehörde National Aeronautics and Space Administration (NASA), der Naturschutzbehörde U.S. Fish and Wildlife Service (FWS), der Wissenschaftsbehörde U.S. Geological Survey (USGS) und der U.S. Navy unterstützt.

Nützliche Quellen mit weiterer Information über die Ozeanversauerung

Ozeanversauerung tauchte 2004 als neues Thema in einer Pressemitteilung anlässlich des ersten internationalen Symposium on the Ocean in a High-CO₂ World (*Symposium über den Ozean in einer Hoch-CO₂-Welt*) auf, die durch die Zwischenstaatliche Kommission der UNESCO zur Ozeanografie (Intergovernmental Oceanographic Commission, IOC) ausgerichtet wurde. Seit diesem Treffen erfährt das Thema wachsende Aufmerksamkeit.

Folgende wichtige Veröffentlichungen (überwiegend in englischer Sprache) bilden eine umfassende Informationsquelle



Auf der internationalen Konferenz *Avoiding Dangerous Climate Change: A Scientific Symposium on Stabilisation of Greenhouse Gases* (*Den gefährlichen Klimawandel vermeiden. Ein wissenschaftliches Symposium zur Stabilisierung von Treibhausgasen*) wurden 2005 erstmals Politikberater auf der Thema

Ozeanversauerung aufmerksam. Es fand im Rahmen des G8-Vorsitzes von Großbritannien unter Teilnahme von 200 international renommierten Wissenschaftlern aus 30 Ländern statt. Diskutiert wurde die Grenze von 2 Grad Celsius, die als notwendig erachtet wurde, um die schlimmsten Folgen der globalen Erwärmung zu verhindern.

Die erste wichtige Veröffentlichung zur Ozeanversauerung schloss sich schnell an. Der 2005 erschienene Bericht der britischen Gelehrtenegellschaft Royal Society, *Ocean Acidification Due to Increasing Atmospheric Carbon Dioxide* (*Ozeanversauerung auf Grund eines steigenden Kohlendioxid-Gehalts in der Atmosphäre*), erklärte die Ozeanversauerung zu einer maßgeblichen Bedrohung für kalkbildende Organismen, in deren Folge sich Nahrungsketten und andere Prozesse des Ökosystems verändern und damit die Artenvielfalt in den Ozeanen sinken könnte. Die hierfür eingesetzte Arbeitsgruppe schlug einige Maßnahmen vor, so auch ein Limit für CO₂-Emissionen in die Atmosphäre, um bevorstehende Schäden durch Ozeanversauerung abzuwenden.



2006 veröffentlichte der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) *Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer*. Dieses Sondergutachten betrachtet die Bedrohung durch die Versauerung im Kontext anderer Klimawandel-Prozesse im Ozean.

Entscheidungsträger wurden deutlich darauf hingewiesen, in weiteren Verhandlungen im Rahmen des UN-Rahmenübereinkommens über Klimaänderungen anzuerkennen, dass CO₂ eine Bedrohung für den Ozean darstellt.

Impacts of Ocean Acidification on Coral Reefs and Other Marine Calcifiers: A Guide for Future Research (*Die Folgen der Ozeanversauerung für Korallenriffe und andere marine Kalzifizierer: Leitfaden für die zukünftige Forschung*) ist Ergebnis einer Kooperation zwischen NSF, NOAA und



USGS. Der Bericht aus dem Jahr 2006 fasst die damaligen Kenntnisse der Wissenschaft über die biologischen Folgen der Ozeanversauerung zusammen, insbesondere sofern sie kalkbildende Organismen betreffen. Er schließt mit einem Vorschlag für eine Forschungsagenda ab und unterstreicht die Notwendigkeit von Untersuchungen, die durch Ozeanversauerung hervorgerufenen langfristigen biologischen Veränderungen in einen erdgeschichtlichen Kontext einordnen.

2006 stellte das Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordost-Atlantiks (OSPAR-Konvention) einen Bericht zusammen. *Effects on the Marine Environment of Ocean Acidification Resulting from Elevated Levels of CO₂ in the Atmosphere* (*Auswirkungen der Ozeanversauerung für die marine Umwelt in Folge eines erhöhten CO₂-Gehalts in der Atmosphäre*) ist Ergebnis eines Workshops zum Kenntnisstand der Ozeanversauerungs-Forschung.



In Großbritannien wurde die Ozeanversauerung ab 2007 regelmäßig in Berichten über die Folgen des Klimawandels für das Meer erwähnt. Das Netzwerk von Wissenschaftlern, Regierungs- und Nichtregierungsorganisationen, *Marine Climate Change Impacts Partnership* (MCCIP), gibt hierzu jährlich seine *Annual Report Cards* heraus. Die im April 2009

zusätzlich veröffentlichte *Exploring Ecosystem Linkages Report Card* (*Report-Karte zur Untersuchung von Ökosystem-Verknüpfungen*) sorgte für ein breiteres Echo. Aufbauend auf vorangegangene Veröffentlichungen zeigt sie, wie sich die Vielzahl von Einzeleffekten aufgrund ihrer Wechselwirkung innerhalb des marinen Ökosystems potenzieren kann.

Das amerikanische Programm zur Erforschung des Rolle des Ozeans im Kohlenstoffkreislauf, The Ocean Carbon and Biogeochemistry Program (OCB), förderte gemeinsam mit der NOAA, der NASA, der NSF und dem kalifornischen Forschungsinstitut *Scripps Institution of Oceanography* einen Workshop, der dazu diente, eine Strategie für die Vereinigten Staaten zu entwickeln. Etwa 100 Wissenschaftler trugen zu dem Plan bei, nach dem die Folgen der Ozeanversauerung für vier marine Ökosysteme untersucht werden sollten: Korallenriffe, Küstenrandgebiete, offene tropische und subtropische Ozeansysteme und die hohen Breiten. 2008 erschien ihre Zusammenfassung *Present and Future Impacts of Ocean Acidification on Marine Ecosystems and Biogeochemical Cycles* (*Aktuelle und zukünftige Auswirkungen der Ozeanversauerung auf Marine Ökosysteme und Biogeochemische Kreisläufe*).



Ebenfalls 2008 wurde der australischen Regierung ein richtungsweisendes Strategiepapier zur Verfügung gestellt. *Position Analysis: CO₂ Emissions and Climate Change: Ocean Impacts and Adaptation Issues* (*Positionsanalyse: CO₂-Emissionen und Klimawandel: Folgen für den Ozean und Aspekte der Anpassung*). Dieses Dokument beschrieb den Prozess der

Ozeanversauerung sowie Folgen für Natur und Bevölkerung und lieferte der australischen Regierung Ratschläge für ihre Entscheidungen. Begleitend erschien die bündige Übersicht *Ocean Acidification: Australian Impacts in the Global Context* (*Ozeanversauerung: Folgen für Australien im globalen Kontext*), die die Ozeanversauerung aus wissenschaftlicher Perspektive betrachtete: Was ist bekannt? Was muss untersucht werden? Was kann getan werden?

Die Umweltorganisationen The Nature Conservancy und International Union for Conservation of Nature (IUCN) waren 2008 Gastgeber eines Meetings, dessen Ergebnisse in



der *Honolulu Declaration (Deklaration von Honolulu)* zusammengefasst wurden. Das Papier sah folgende zwei Strategien als notwendig an, um die Folgen des Klimawandels zu minimieren und das Fortbestehen von Korallenriffen zu sichern: 1. Die Begrenzung von Emissionen aus fossilen Brennstoffen und 2. ein Schutz der tropischen marinen Ökosysteme, damit diese ihre Widerstandskraft stärken und sich von Folgen des Klimawandels erholen können.

2008 verfassten drei Geowissenschafts-Vereinigungen, European Geosciences Union, Asia Oceania Geosciences Society und Japan Geosciences Union ihr *Gemeinsames Positionspapier Position Statement on Ocean Acidification*. Es vertrat den Schluss, dass die Folgen der Ozeanversauerung genauso dramatisch sein könnten wie die der globalen Erwärmung. Die Kombination aus beidem dürfte die Folgen noch verschlimmern und zu tiefgreifenden Veränderungen im marinen Ökosystem und in dessen Dienstleistungen für die Menschheit führen.



2009 war mit der *Monaco Declaration (Deklaration von Monaco)* ein weiterer Meilenstein erreicht. Das Positionspapier, das auf dem zweiten internationalen Symposium *The Ocean in a High-CO₂ World (Der Ozean in einer Hoch-CO₂-Welt)* beruht, wurde von 155 Wissenschaftlern aus 26 Ländern anerkannt und von Prinz Albert II von Monaco gefördert. Entscheidungsträger werden darin aufgerufen, sich kurzfristig um eine Stabilisierung der CO₂-Werte in der Atmosphäre auf sicherem Niveau einzusetzen, um den gefährlichen Klimawandel und das Problem der Ozeanversauerung zu vermeiden.

Ein weiteres Ergebnis des zweiten internationalen Symposiums *The Ocean in a High-CO₂ World (Der Ozean in einer Hoch-CO₂-Welt)* war 2008 die *Summary for Policymakers (Zusammenfassung für Entscheidungsträger)* mit den neuesten, auf dem Symposium präsentierten Forschungsergebnissen. Detailliertere Informationen gibt der 2009 veröffentlichte wissenschaftliche Bericht *Research Priorities for Ocean Acidification (Forschungsschwerpunkte zur Ozeanversauerung)*, der unter www.ocean-acidification.net abgerufen werden kann.



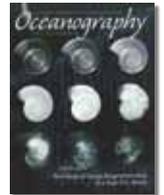
2009 produzierte die International Ocean Acidification Reference User Group, einen Leitfaden zur Ozeanversauerung. Dieser erklärt *Entscheidungsträgern die wichtigsten Fakten zur Ozeanversauerung* in verständlicher Sprache. In Kopenhagen anlässlich der UN-Klimakonferenz UNFCCC COP15 erstmals präsentiert, ist die Zusammenstellung mittlerweile auf Englisch, Französisch, Spanisch, Chinesisch und Arabisch verfügbar. Er wird 2013 aktualisiert.

The Interacademy Panel (IAP) Statement on Ocean Acidification (Statement des Interacademy Panel zur Ozeanversauerung), wurde 2009 als gemeinsame Erklärung von 100 nationalen Akademien unterzeichnet. Es zeigte auf, dass bis zum Jahr 2050 – möglicherweise sogar schon früher – marine Nahrungsquellen schwinden und Korallenriffe und polare Ökosysteme schwer geschädigt werden könnten und dass die Ozeanversauerung selbst bei einer Stabilisierung des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre bei 450 parts per million erkennbare Folgen für viele marine Ökosysteme haben kann. Schnelle, umfangreiche Reduktionen der globalen CO₂-Emissionen, etwa um mindestens 50 Prozent bis 2050, seien daher notwendig.



2009 gab *The European Science Foundation* in ihrem *Science Policy Briefing Impacts of Ocean Acidification (Politisches Briefing der Wissenschaft zu den Auswirkungen der Ozeanversauerung)* Ratschläge für eine bessere nationale und internationale Koordinierung der Forschungsarbeiten zur Ozeanversauerung und stellte Aktivitäten vor, mit denen sich Natur- und Gesellschaftswissenschaftler gemeinsam um ein besseres Verständnis der Folgen für natürliche Ressourcen und Menschheit bemühen.

2009 widmete sich eine Sonderausgabe des internationalen Fachmagazins *Oceanography* dem besseren Verständnis der gegenwärtigen und zukünftigen Auswirkungen der Ozeanversauerung in einer Hoch-CO₂-Welt. Das Heft enthält Übersichtsartikel über die Prozesse und Folgen der Versauerung auf marine Ökosysteme.



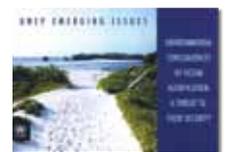
Die Biodiversitäts-Konvention (Convention on Biological Diversity, CBD) veröffentlichte 2009 die *Scientific Synthesis of the Impacts of Ocean Acidification on Marine Biodiversity (Synthesebericht über die Folgen der Ozeanversauerung für die marine Artenvielfalt)*. Im Anschluss wurde eine Reihe von Bewertungs-Prozessen mit Experten entwickelt, welche die Auswirkungen der Ozeanversauerung für die marine Artenvielfalt im Ozean und in Küstengewässern überwacht und abschätzt. Ein erstes Treffen der Experten (Montreal, 19.-20. Oktober 2011) führte zu der Erklärung, dass CO₂-Emissionen verringert und die Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen gefördert werden müssen, damit die Biodiversität erhalten bleibt.

Ocean Acidification Frequently Asked Questions (Ozeanversauerung: Häufig gestellte Fragen) wurde 2010 von OCB, EPOCA und UKOA als Reaktion auf die zunehmende interdisziplinäre Forschung und die wachsende Nachfrage nach eindeutigen Experten-Antworten auf häufig gestellte Fragen herausgegeben. 27 Experten aus 19 Instituten in fünf Ländern waren beteiligt.



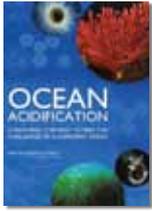
2010 produzierte die International Ocean Acidification Reference User Group unter dem Titel *Making it Clear (Auf den Punkt gebracht)* ihren zweiten Leitfaden zur Ozeanversauerung, um Antworten auf die wichtigsten Fragen zu geben, zu verdeutlichen, wie sicher das Wissen der internationalen Wissenschafts-Gemeinschaft über die aktuelle Entwicklung in den Ozeanen ist, zu diskutieren, welche weiteren Entwicklungen dem Ozean in einer Hoch-CO₂-Welt bevorstehen und auszuloten, mit welchen Konsequenzen wir zu rechnen haben. Der Leitfaden ist auf Deutsch, Englisch, Französisch, Spanisch, Chinesisch und Arabisch verfügbar.

Bericht des Umweltprogramms der Vereinten Nationen *Environmental Consequences of Ocean Acidification: a Threat to Food Security. UNEP Emerging Issues Bulletin (Folgen der Ozeanversauerung für die Umwelt: Eine Bedrohung für die Nahrungssicherheit, 2010)*. Zum ersten Mal wird Ozeanversauerung mit der Frage nach Nahrungsmittelsicherheit in Verbindung gebracht: Innerhalb einer wachsenden Weltbevölkerung, die immer deutlicher von marinen Nahrungsquellen einschließlich der Aquakultur abhängt, ist eine



Der aktuelle Stand: Was wissen wir über Ozeanversauerung und die wichtigsten globalen Herausforderungen?

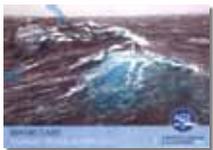
Milliarde Menschen von Proteinen aus dem Meer als einziger Eiweißquelle angewiesen.



Der Rat der amerikanischen Forschungsakademien, The National Research Council of the US National Academies, gab 2010 Ocean Acidification. *A National Strategy to Meet the Challenges of a Changing Ocean (Ozeanversauerung. Eine nationale Strategie für den Umgang mit den Herausforderungen des Ozeanwandels)* heraus. Diese Veröffentlichung, die vom

Kongress angefordert worden war, ist nur ein Schritt unter vielen, den amerikanische Wissenschaftler unternehmen, um ein nationales Forschungsprogramm zur Ozeanversauerung aufzulegen.

Der vierte Bericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) berücksichtigte 2007 erstmals die Ozeanversauerung. Im japanischen Okinawa fand im Januar 2011 der IPCC-Workshop mit den Arbeitsgruppe WGII und WGI zu *Folgen der Ozeanversauerung für Meeresbiologie und Ökosysteme* statt. Der für 2014 vorgesehene fünfte IPCC-Bericht wird sowohl den Klimawandel im Ozean als auch die Versauerung genauer beleuchten.



2011 entwarf das Antarctic Climate & Ecosystems Cooperative Research Centre auf Wunsch der australischen Regierung die *Southern Ocean Acidification Report Card (Berichtskarte über die Versauerung des*

Südpolarmeers), um klar zu kommunizieren, was wir wissen, was wir wissen müssen und was mit Blick auf die Ozeanversauerung für die Region auf dem Spiel steht.

Das Buch *Ocean Acidification* (Hrsg. Gattuso und Hansson) (2011) umfasst Kapitel zu Auswirkungen auf marine Organismen, Ökosysteme und Biogeochemie, Vorhersagen zu den Konsequenzen verschiedener CO₂-Emissionsszenarien für die weitere Versauerung sowie zu sozio-ökonomischen Aspekten, politischer Verantwortung und zu gesellschaftlichen Herausforderungen.



Hot, Sour and Breathless: Ocean under stress (Hoch, sauer und atemlos. Der Ozean im Stress). In den kommenden Jahrzehnten und Jahrhunderten wird die Gesundheit des Ozeans immer stärker unter Stress stehen. Grund sind mindestens drei miteinander verbundene Faktoren: Die steigende Temperatur des Meerwassers, die

Ozeanversauerung und die Sauerstoffreduzierung des Ozeans. Dieses Dokument fasst den aktuellen Wissensstand über diese drei Stressoren und darüber zusammen, wie sie miteinander in den ozeanischen „Hot Spots“ der Verletzlichkeit interagieren. Es wurde von Plymouth Marine Laboratory (PML), dem UK Ocean Acidification Research Programme (UKOA), European Project on Ocean Acidification (EPOCA), Mediterranean Sea Acidification in a Changing Climate Project (MedSeA), Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego und OCEANA gemeinsam erstellt. Wichtige internationale Organisationen griffen die Botschaft auf und gaben sie auf den UN-Konferenz COP17 in Durban, der Planet Under Pressure Conference in London und dem Weltumweltgipfel zur nachhaltigen Entwicklung Rio+20 weiter.

Filme

Ein den vergangenen Jahren wurden auch eine Anzahl von Filmen produziert, die einem breiteren Publikum das Problem der Ozeanversauerung erklären und zeigen, wie die Wissenschaft sowie innovative Kooperationen zwischen Forschung, Politik sowie Outreach-Projekte das Thema behandeln. Die wichtigsten Filme der vergangenen Jahre sind:

Acid Test (Säuretest, aber auch: Bewährungsprobe) wurde 2009 von der internationalen Umweltschutzorganisation National Resources Defence Council (NRDC) mit der Schauspielerin Sigourney Weaver als Erzählerin produziert. Ziel war, Aufmerksamkeit für das bis dahin relativ unbekannt Problem der Ozeanversauerung zu erlangen, das eine grundlegende Herausforderung für das Leben im Meer und die Gesundheit unseres Planeten darstellt.



Eine Gruppe von 11- bis 15-jährigen Schülern der Ridgeway-Schule im englischen Plymouth hat 2009 in einem gemeinsamen Projekt mit dem Forschungsinstitut Plymouth Marine Laboratory Gedanken über den Zustand der Welt-Ozeane in einem eindringlichen Film festgehalten. *The Other CO₂ Problem (Das andere CO₂ Problem)*

ist eine siebeneinhalbminütige Animation mit Charakteren aus König Poseidons Reich. Sie beklagt die Tatsache, dass Doctorpus, Britney Seestern, Michelle Muschel, Derek Diatomee und andere Meereslebewesen unter der von menschlichen Aktivitäten ausgelösten Versauerung des Ozeans leiden. Die Schüler gewannen mit ihrer Animation den Bill Bryson Preis für Wissenschaftskommunikation der Gesellschaft zur Förderung der chemischen Wissenschaften Royal Society of Chemistry. Er wurde bereits ins Französische, Spanische, Italienische und Katalanische übersetzt.

Der Film *Tipping Point (Kipp-Punkt)* beschreibt vor allem die im Rahmen des Europäischen Projekts zur Ozeanversauerung (European Project on Ocean Acidification, EPOCA) durchgeführte Forschung. Im Juni 2011 wurde er beim 51. Fernsehfestival Monte Carlo mit dem Prince Rainier III Sonderpreis ausgezeichnet. Zudem wurde er bei zwei weiteren Filmfestivals prämiert, beim International Festival of Scientific Documentary and Movie als beste Wissenschaftsdokumentation 2011 und beim Mediterranean Film Festival als Bester Wissenschaftsfilm.



Der Kurzfilm *Ocean acidification: Connecting science, industry, policy and public (Ozeanversauerung: Ein Brückenschlag zwischen Wissenschaft, Industrie, Politik und Öffentlichkeit)* wurde 2011 vom Plymouth Marine

Laboratory im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit zum UKOA-Programm produziert. Der zwölfminütige Film führt Vertreter unterschiedlichster Interessen zusammen, darunter Prinz Albert II von Monaco, Schulkinder, einen Fischhändler aus Plymouth, den wissenschaftlichen Chefberater der britischen Regierung, Industrie und politische Institutionen sowie eine Gruppe international geachteter Wissenschaftsexperten. Untertitelte Versionen stehen auf [brasilianischem Portugiesisch](#), [Französisch](#) und [Koreanisch](#) zur Verfügung. Die englische Fassung wurde auf wichtigen internationalen Events gezeigt, so auch auf der UN-Klimakonferenz COP17 in Durban und der Konferenz Planet under Pressure in London. Die koreanische Version lief auf der EXPO 2012 und beim East Asian Seas Congress und die Version in brasilianischem Portugiesisch während der Rio+20-Konferenz zur nachhaltigen Entwicklung.



Online Broschüre

Eine Ausgabe dieses neuen Leitfadens zur Ozeanversauerung sowie weitere Informationen zum Thema sind hier online verfügbar www.epoca-project.eu/index.php/Outreach/RUG/

Was ist die International Ocean Acidification Reference User Group?

Richtungsweisende Forschung zu Themen wie der Ozeanversauerung muss sich mit den Fragen beschäftigen, die am dringendsten zu beantworten sind, und sicher stellen, dass ihre Antworten zügig und mit Erfolg an Entscheidungsträger weitergegeben werden, so dass Maßnahmen ergriffen werden können. Die International Ocean Acidification Reference User Group (IOA-RUG) baut auf europäische und internationale Expertise auf, um den Austausch zwischen Wissenschaftlern und Endverbrauchern zu beschleunigen.

Die ursprüngliche RUG wurde 2008 eingerichtet, um die Arbeit des European Project on Ocean Acidification EPOCA zu unterstützen. Nun begleitet sie ergänzende Studien in Deutschland (Biological Impacts of Ocean Acidification, BIOACID), Großbritannien (UK Ocean Acidification Research Programme, UKOA) und im Mittelmeerraum (Mediterranean Sea Acidification in a Changing Climate, MedSea). Zusätzlich bestehen starke Verbindungen zu ähnlichen Initiativen in den Vereinigten Staaten und zur australischen Ozeanversauerungs-RUG.

Die IOA-RUG führt eine weite Bandbreite von Endverbrauchern zusammen und fördert die Arbeit führender Wissenschaftler im Bereich der Ozeanversauerung, um den schnellen Wissenstransfer zu erleichtern und mit dafür zu sorgen, dass die Ergebnisse hochwertiger Forschung mit Erfolg weitergegeben werden.

Weitere Informationen und Kontakt

Weitere Informationen über die Arbeit der International Ocean Acidification Reference User Group sowie zur Mitgliedschaft können hier abgerufen werden www.epoca-project.eu/index.php/Outreach/RUG

Für weitere Fragen kontaktieren Sie uns bitte unter policyguide-epoca@obs-vlfr.fr

Quellen und Mitautoren

Diese Veröffentlichung greift auf frühere RUG-Präsentationen und damit verbundenes Material zurück. Außerdem nutzt es Informationen aus der aktuellen Veröffentlichung von Harrould-Kolieb und Herr: Ellycia R. Harrould-Kolieb & Dorothee Herr (2011): Ocean acidification and climate change: synergies and challenges of addressing both under the UNFCCC Climate Policy (Ozeanversauerung und Klimawandel: Synergien und Herausforderungen im Umgang mit beiden Themen im Rahmen der UNFCCC-Klimapolitik), DOI:10.1080/14693062.2012.620788.

Wir danken allen Wissenschaftlern und Experten, die die Entwicklung dieses Dokuments unterstützt haben. Ihre Beiträge gewährleisten, dass wir einen breiten Konsens über die wichtigsten Informationen und notwendige Maßnahmen zur Ozeanversauerung kommunizieren können.

Bitte zitieren Sie dieses Dokument als: Laffoley, D. d'A., and Baxter, J.M. (Hrsg.): 012. Ocean Acidification: The knowledge base 2012. Updating what we know about ocean acidification and key global challenges. European Project on Ocean Acidification (EPOCA), UK Ocean Acidification Research Programme, (UKOA), Biological Impacts of Ocean Acidification (BIOACID) and Mediterranean Sea Acidification in a Changing Climate (MedSea). 8pp.

Diese Broschüre wurde mit finanzieller Unterstützung der Projekte UKOA und BIOACID erstellt und basiert auf „Best Practice“-Ansätzen des Marine Climate Change Impacts Partnership (MCCIP) zur Kommunikation.