



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Wissenschaftsjahr 2016 • 17

MEERE
UND OZEANE

Ozeanversauerung

Das andere Kohlendioxid-Problem



Globaler Wandel heißt Ozeanwandel

Zwei Drittel der Erde sind von Wasser bedeckt – wir leben wahrlich auf einem blauen Planeten! Dennoch sind die Auswirkungen des Klimawandels an Land weitaus besser erforscht als die Auswirkungen auf Lebensgemeinschaften im Ozean.

Seit Dekaden nehmen unsere Meere und Ozeane immer mehr Kohlendioxid auf – sie versauern. Pflanzen und Tiere reagieren teils positiv, teils negativ auf die Veränderungen: Die Rollen im Nahrungsnetz werden neu verteilt. Hinzu kommen verschiedene weitere Umweltfaktoren, die den Wandel verstärken oder abmildern können. Fest steht: Die Artenvielfalt wird abnehmen. Außerdem kann der Ozean nicht beliebig viel Kohlendioxid (CO₂) aufnehmen. Verringert sich die CO₂-Speicherung im Meer, beschleunigt das den Treibhauseffekt.

Forschende sind dabei, Prozesse im Meer zu entschlüsseln, Folgen zu ermitteln und Auswirkungen für die Gesellschaft abzuschätzen. Je tiefer sie ins System blicken, desto deutlicher werden die komplexen Verflechtungen.



Meere und Ozeane haben eine große Bedeutung für das Leben auf unserer Erde – und sie sind Heimat für viele verschiedene Pflanzen und Tiere. Mit seiner Forschungsförderung geht das BMBF der Frage nach, wie sich steigende Kohlendioxid-Emissionen und die Ozeanversauerung auf Tiere und Pflanzen im Meer auswirken. Es werden Strategien entwickelt, wie der Reichtum der Lebewelten in den Meeren und Ozeanen auch für zukünftige Generationen erhalten werden kann.

Prof. Dr. Johanna Wanka
Bundesministerin für Bildung und Forschung

Kohlendioxid – wenn die Meere saurer werden

Seit Beginn der Industrialisierung hat der Ozean etwa 30 Prozent allen Kohlendioxids aufgenommen, das durch menschliche Aktivitäten in die Atmosphäre gelangte. Einerseits verlangsamt das Meer durch diesen unschätzbaren Service den globalen Wandel.

BIOACID – das deutsche Verbundprojekt zur Ozeanversauerung

„Im deutschen Forschungsverbund BIOACID (Biological Impacts of Ocean Acidification www.bioacid.de) untersuchen wir seit 2009, wie marine Lebensgemeinschaften auf Ozeanversauerung reagieren und welche Konsequenzen dies für das Nahrungsnetz und die Stoff- und Energieumsätze im Meer hat. Unser Ziel ist es, mögliche Folgen für Wirtschaft und Gesellschaft abzuleiten, um so der Politik fundierte Handlungsempfehlungen zu unterbreiten. Dabei hilft uns, dass Forschende der unterschiedlichsten Disziplinen aus 20 Institutionen vertreten sind.“

Prof. Dr. Ulf Riebesell, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel

Andererseits löst das CO₂ im Wasser eine folgenreiche chemische Reaktion aus: Kohlensäure entsteht, und der pH-Wert sinkt. Auch die Konzentration der Karbonat-Ionen nimmt ab. Doch kalkbildende Organismen wie Muscheln, Korallen oder bestimmte Plankton-Arten benötigen genau diese Moleküle, um ihre Schalen und Skelette aufzubauen. Auch viele weitere Meereslebewesen müssen im saureren Wasser mehr Energie aufbringen, um ihre Körperfunktionen zu regulieren. Diese Energie fehlt ihnen dann für ihr Wachstum, die Fortpflanzung oder den Widerstand gegen andere Umweltbelastungen. Gleichzeitig könnten einige Arten von dem zusätzlichen gelösten CO₂ profitieren, zum Beispiel Seegras und Blaualgen.

Die Reaktionen der marinen Lebensgemeinschaft auf Ozeanversauerung werden die Artenvielfalt im Meer verringern. Dies kann unter anderem auch Konsequenzen für die Nahrungsmittelversorgung haben. Um größere Gefahren abzuwenden, müssen die vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen begrenzt werden.



Mit zunehmender Ozeanversauerung nimmt die Artenvielfalt im Korallenriff ab, und der Lebensraum verarmt.

Der aktuelle Wissensstand

Erst seit etwa zehn Jahren untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in aller Welt die Folgen der Ozeanversauerung. Bereits jetzt haben sie wegweisende Erkenntnisse darüber hervorgebracht, wie sich die Versauerung auf Meereslebewesen auswirkt.

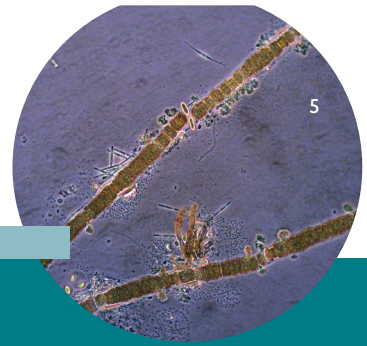
- Je stärker der Ozean versauert, desto weniger zusätzliches Kohlendioxid kann er aufnehmen. Seine Funktion als „CO₂-Senke“, die den Klimawandel abmildert, wird mit hoher Wahrscheinlichkeit nachlassen. Dadurch würde sich der Treibhauseffekt immer weiter beschleunigen und verstärken.
- Viele Organismen werden unter der Ozeanversauerung leiden – insbesondere Lebewesen, die ihre Schalen und Skelette aus Kalk aufbauen. Auch Stachelhäuter wie Seeesterne werden von der Ozeanversauerung betroffen sein. Einige Arten profitieren jedoch von dem zusätzlichen Kohlendioxid im Meerwasser: Zu den Gewinnern könnten Seegras, Quallen und sogenannte Pikoplankter gehören, die Kleinsten unter den Meereslebewesen. Hierdurch wird sich das marine Ökosystem gravierend ändern. Die biologische Vielfalt nimmt ab.
- Ein großer Teil der Korallenriffe ist bereits zerstört oder ernsthaft geschädigt. Aber bei einer drastischen Reduzierung der CO₂-Emissionen, wie sie im Dezember 2015 bei der 21. Weltklimakonferenz in Paris vereinbart wurde, kann etwa die Hälfte der tropischen Riffe erhalten bleiben.



Ein Meer ohne Schmetterlinge

„Meeresschmetterlinge‘ werden Flügelschnecken auch genannt. Mit ihrem Fuß, der zu einem Flügelpaar umgebildet ist, flattern die Tiere durchs Meer. Anmutig wirken sie, wenn man sie mit bloßem Auge oder unter dem Mikroskop beobachtet. Flügelschnecken sind auch sehr wichtig für das Nahrungsnetz im Meer. Doch ihre extrem dünne, leicht lösliche Kalkschale macht sie besonders anfällig für die Ozeanversauerung. In einigen Regionen sind die Schalen schon heute angegriffen. Vielleicht übernehmen andere Arten die Rolle der Flügelschnecken, wenn sie in einem saureren Ozean nicht überleben. Aber ein Meer ohne Schmetterlinge mag ich mir nicht vorstellen.“

Dr. Silke Lischka, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel



Blualgen als Gewinner der Ozeanversauerung?

„Cyanobakterien verleiden uns jeden Sommer das Badevergnügen. Treten giftige Blualgen vermehrt auf, müssen ganze Strände gesperrt werden. Einige Labor- und Freilandstudien deuten darauf hin, dass neben anderen Faktoren auch erhöhte Kohlendioxid-Konzentrationen das Wachstum dieser Organismen in der Ostsee ankurbeln könnten – vor allem dann, wenn gleichzeitig auch die Wassertemperaturen steigen.“

Dr. Nicola Wannicke, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)

- Meereslebewesen sind neben der Ozeanversauerung weiteren Stressfaktoren ausgesetzt: Temperaturanstieg, Sauerstoffabnahme, Überdüngung, Überfischung oder Verschmutzung können die Auswirkungen der Ozeanversauerung noch verschlimmern.



Forschende des GEOMAR betrachten Kaltwasserkorallen-Proben auf einer Expedition mit dem Tauchboot JAGO vor der norwegischen Küste.

Der Ozean im Mini-Format

Um zu untersuchen, wie einzelne Arten auf veränderte Umweltbedingungen reagieren, sind Laborexperimente hervorragend geeignet: Keine anderen Organismen beeinflussen die Entwicklung, und wichtige Parameter können exakt eingestellt werden. So erkennen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler grundlegende Mechanismen und Reaktionsweisen der untersuchten Arten.



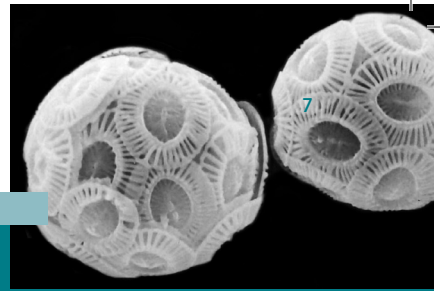
Um den Ozean der Zukunft mit seinem eng vernetzten Arten-Gefüge und dessen vielschichtigen Wechselwirkungen abzubilden, benötigt die Wissenschaft ausgefeiltere Versuchsaufbauten. Im Rahmen von BIOACID entwickelten Biologen und Techniker die so genannten „Benthokosmen“. In diesen weltweit einmaligen Versuchskammern können sie untersuchen, wie Pflanzen und Tiere auf Veränderungen in Lichteinstrahlung, Temperatur, Strömung, pH-Wert, Salzgehalt, Kohlendioxid-Gehalt und Nährstoffgehalt reagieren.

Lebensgemeinschaften lassen sich auch direkt im Meer isolieren – mit den in Kiel entwickelten „KOSMOS Mesokosmen“. Diese schwimmenden Riesen-Reagenzgläser schließen jeweils 55 Kubikmeter Wasser samt dem darin lebenden Plankton ein und können auf

Wo heute schon Zukunft ist

„Natürliche Kohlendioxid-Quellen sorgen an einigen Orten im Meer schon heute für Lebensbedingungen, wie sie andernorts vermutlich erst in der Zukunft eintreten. Wir können dort erforschen, welche Auswirkungen die Ozeanversauerung langfristig auf das gesamte Ökosystem haben wird. Wir haben zum Beispiel in Papua-Neuguinea untersucht, wie Korallen, Seegräser, Makroalgen, Plankton und Mikroorganismen auf den reduzierten pH-Wert an solchen CO₂-Quellen reagieren. Nach meinen ersten Beobachtungen wandelt sich die Artenzusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften – und so auch das Nährstoffangebot für andere Lebewesen und andere wichtige Faktoren im Riff. Andere Studien haben gezeigt, dass die Artenvielfalt unter den Korallen abnimmt und der Lebensraum verarmt.“

Christiane Hassenrück, Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie Bremen



Welche Chance hat Emiliana?

„Die einzellige Kalkalge Emiliana huxleyi ist nicht nur Produzent von Biomasse, sondern auch ein wichtiger Kalkbildner im Ozean. Während ihres Wachstums wandelt sie Kohlendioxid in organischen Kohlenstoff um und umgibt ihre Zellen mit einer Hülle aus winzigen Kalkplättchen. In Laborexperimenten passte sich Emiliana durch Evolution an Ozeanversauerung an. Ob ihr diese im Labor erworbene Anpassung auch in der Natur helfen kann, haben wir in einem Freilandexperiment mit den Mesokosmen getestet. Wir sind gespannt, wie sich unsere Laboralgen unter natürlichen Bedingungen geschlagen haben.“

Dr. Kai Lohbeck, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel/ Universität Göteborg

zukünftige Kohlendioxid-Niveaus gebracht werden. Mesokosmen-Studien führen vor Augen, dass komplexe Wechselbeziehungen darüber entscheiden, wie das marine Ökosystem auf Ozeanversauerung reagiert.



Mit Hilfe der KOSMOS-Mesokosmen untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Auswirkungen der Ozeanversauerung direkt im Meer.

Dienstleistungen des Ozeans

Seit Ewigkeiten leben Menschen vom Ozean. Viele seiner „Dienstleistungen“ können sich durch den globalen Wandel und die Ozeanversauerung ändern. BIOACID-Forschende haben Vertreter von Fischerei, Tourismus und Umweltschutz in Norwegen befragt: Nehmen sie bereits Auswirkungen im Zuge des globalen Wandels wahr? Wie schätzen sie die möglichen Folgen auf ihre Branchen ein?

Wenn Fischbestände klimabedingt ihre Größe oder Verbreitung ändern, muss sich der Fischfang daran anpassen. Die kleinen Boote der traditionellen Küstenfischerei können abwandern den Beständen aber oft nicht auf die hohe See hinaus folgen. Im hohen Norden Norwegens verschwinden immer mehr Fischbestände aus den Fjorden. So verlieren die lokale Bevölkerung und besonders das indigene Volk der Samen einen wichtigen Teil ihrer Existenzgrundlage und Kultur.



Wettlauf zum Pol

„Im Zuge der globalen Erwärmung dehnt sich das Verbreitungsgebiet des nordatlantischen Kabeljaus immer weiter nach Norden aus. Ursprünglich nur Sommergast, trifft man ihn mittlerweile fast das ganze Jahr über an der Westküste Spitzbergens an. Dort bedrängt er zunehmend den Polardorsch – besonders die empfindlichen Jungfische konkurrieren um Lebensraum und Futterangebot. Um die Auswirkungen der Ozeanversauerung kompensieren zu können, müssen die Tiere zusätzliche Energie aufbringen. Vor allem der Polardorsch wird dadurch weiter geschwächt.“

Dr. Felix C. Mark, Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI)



Wenn der Ozean Rechnungen schreiben könnte

„Der Ozean nimmt einen Großteil der Kohlendioxid-Emissionen auf. Rechnerisch liegt der ökonomische Wert dieser ‚Dienstleistung‘ in der Größenordnung von 60 bis 500 Milliarden Euro pro Jahr. Diesem Nutzen stehen ökonomische Kosten der Ozeanversauerung gegenüber, die zum Beispiel durch verringerte Fischereierträge entstehen können. Diese Kosten lassen sich bisher nur mit großer Unsicherheit beziffern, da die biologischen Folgen – etwa für Muscheln oder Fischbestände – noch nicht vollständig bekannt sind. Nur, wenn sich die Wirtschaft rechtzeitig anpasst, lassen sich die Kosten der Ozeanversauerung eingrenzen. Eine Verringerung des Fischereidrucks könnte beispielsweise den erhöhten Umweltstress für die Bestände ausgleichen und damit die Erträge auf einem angepassten Niveau stabilisieren.“

Prof. Dr. Martin Quaas, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel



Kutter in Nord-Norwegen. Die Fischerei bekommt hier bereits jetzt die Folgen des Klimawandels zu spüren.

Neue Schwerpunkte für die Erforschung der Ozeanversauerung

Die Erforschung der Ozeanversauerung hat in den vergangenen Jahren einen eindrucksvollen Sprung auf die internationale Forschungs-Agenda absolviert. Doch es gibt noch viele offene Fragen.

Neben der Ozeanversauerung beeinflussen Temperaturanstieg, Sauerstoff-Rückgang, Überdüngung, Verschmutzung und andere Faktoren die Entwicklung mariner Organismen. Doch welche Effekte mildern sich gegenseitig ab und welche verstärken einander? Wie reagiert die Lebensgemeinschaft als Ganzes? Laborexperimenten zufolge können sich Meereslebewesen durch Evolution an Ozeanversauerung anpassen. Doch können sie mit dem rapiden Wandel Schritt halten und ihre Funktionen aufrechterhalten? Inwieweit lassen sich Ergebnisse aus dem Labor auf die Natur übertragen?

Interdisziplinäre Untersuchungen helfen, diese Fragen zu beantworten. Langzeit-Experimente können die Auswirkungen mehrerer Stressfaktoren über viele Generationen hinweg auf der Ebene von Lebensgemeinschaften vor Augen führen. Laboruntersuchungen müssen zudem eng mit Feldstudien und Modellrechnungen verknüpft werden. Nur so kann die Wissenschaft abschätzen, wie sich der Ozean verändert und welche Folgen dies schließlich auch für die Menschheit haben wird.



Taucher überprüfen einen Mesokosmos.

Wie lässt sich das verbleibende Emissions-Budget gerecht aufteilen?

„Sollen Folgen des Klimawandels durch eine Reduzierung der Kohlendioxid-Emissionen bekämpft und das ‚Zwei-Grad-Ziel‘ erreicht werden, kann die Menschheit nur noch 1000 Gigatonnen Kohlendioxid in die Atmosphäre entlassen. Klimaethiker beschäftigen sich unter anderem mit der Frage, wie das verbleibende Emissions-Budget gerecht verteilt werden kann. Ein pragmatischer Vorschlag wäre das pro-Kopf-Prinzip: Dies ergäbe als einen fairen Wert etwa zwei Tonnen pro Jahr und Person. Nicht nur für Industrieländer, sondern auch für große Schwellenländer würde das einschneidende CO₂-Reduktionen bedeuten.“

Prof. Dr. Konrad Ott, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Von der Forschung in die Gesellschaft

Forschung zum Klimawandel findet längst nicht mehr im sprichwörtlichen Elfenbeinturm statt. Die Gesellschaft erwartet von der Wissenschaft gesicherte Erkenntnisse, wie sich der Klimawandel auf das Leben jedes Einzelnen auswirkt. Politik und Wirtschaft nutzen Resultate als Basis für ihre strategischen Entscheidungen oder suchen den Rat von Experten. Immer mehr Forschende verstehen sich deshalb gleichzeitig als Kommunikatoren, die nicht nur auf höchstem wissenschaftlichen Niveau arbeiten, sondern ihre Erkenntnisse auch außerhalb der Fachwelt vermitteln.

Zum Abschluss von BIOACID führen Mitglieder des Projekts ihre Ergebnisse zusammen und beurteilen Risiken und Ungewissheiten, die mit der Ozeanversauerung in Verbindung gebracht werden. Ihre Erkenntnisse fließen in den kommenden Sachstandsbericht zum globalen Klimawandel des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ein und liefern wissenschaftliche Grundlagen für die jährlichen Weltklimakonferenzen (COP).



Prof. Dr. Hans-Otto Pörtner (Mitglied des IPCC-Vorstands) und Prof. Dr. Ulf Riebesell (BIOACID-Koordinator) informieren über die Ozeanversauerung.



Vom Wissen zum Handeln

„Gesellschaftlicher Wandel hin zu einem nachhaltigen Leben und Wirtschaften gelingt nur in einem Wechselspiel aller Akteure. Naturwissenschaftliches Wissen ist dafür eine Grundlage, aber allein noch nicht ausreichend. Besonders wichtig ist das Einüben neuer Normalitätsvorstellungen – Praktiken wie die tägliche emissionsintensive Autofahrt zur Arbeit gehören dabei auf den Prüfstand. Für Gesellschaft, Unternehmen und Politik gleichermaßen wichtig ist, dass eine bloße Verlagerung der Probleme keine Lösung ist – also etwa das Ausweichen auf neue Gewässer fernab Europas, wenn die Meere bei uns leergefischt sind.“

Prof. Dr. Felix Ekardt, Forschungsstelle Nachhaltigkeit und Klimapolitik, Leipzig / Berlin

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium
für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat System Erde
53175 Bonn

Bestellungen

schriftlich an
Publikationsversand der Bundesregierung
Postfach 48 10 09
18132 Rostock
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de
Internet: <http://www.bmbf.de>
oder per
Tel.: 030 18 272 272 1
Fax: 030 18 10 272 272 1

Stand

Mai 2016

Druck

BMBF

Gestaltung

Projekträger Jülich (PtJ), Forschungszentrum
Jülich GmbH

Bildnachweis

Titel: Stephanie Pohl / Sabrina Warnk / Alena Gall, GEOMAR | S. 2: Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, Steffen Kugler | S. 3, S. 11 unten: Prof. Dr. Marc Kochzius | S. 4: Dr. Dirk Schories, PtJ | S. 5 oben: Dr. Nicola Wannicke, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) | S. 5 unten, S. 7 unten: Maïke Nicolai, GEOMAR | S. 6: Dr. Laurie Hofmann, Bremen Marine Ecology Center for Research and Education | S. 7 oben: Dr. Kai Lohbeck, GEOMAR | S. 8: Kristina Baer, Alfred-Wegener-Institut (AWI) | S. 9 oben: Jan Steffen, GEOMAR | S. 9 unten: Stefan Königstein, Universität Bremen, artec Forschungszentrum Nachhaltigkeit | S. 10: David F. Pence, University of Hawaii | S. 11 oben: Saïed Sharifi, Deutsches Klima-Konsortium

Text

Biological Impacts of Ocean Acidification
(BIOACID), PtJ, BMBF (Referat System Erde)

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen/Wahlwerbern oder Wahlhelferinnen/Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament. Missbräuchlich sind insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin/dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.