



## **Quarks & Co**      **Auf Tauchfahrt** *Wie gesund sind unsere Meere?*

Redaktion:            Wolfgang Lemme  
Autoren:             Mona Botros, Dirk Gilson, Philip Häusser, Silvio Wenzel  
Assistenz:            Uta Reeb

Ranga Yogeshwar begleitet Meereswissenschaftler auf einer Expedition vor der Küste Norwegens und taucht mit Deutschlands einzigem bemannten Forschungs-U-Boot zum geheimnisvollen Lebensraum der Kaltwasserkorallen: Sie könnten die ersten Opfer der Ozeanversauerung werden.

## Ozeane sind Klimaschützer



Die industrielle Revolution hat alle Bereiche der Produktion intensiviert

Das hätte er sich wohl nicht träumen lassen. Doch mit seiner Arbeit verändert er die Welt. Und nicht nur die Welt seiner Zeit. Denn seine bekannteste Erfindung ist ein ganz entscheidender Schritt auf dem Weg in die Welt, in der wir heute leben: Fünf Jahre intensiver Arbeit liegen hinter dem Schotten James Watt, als er im Jahr 1769 endlich das Patent für seine optimierte Dampfmaschine bekommt. Eine bahnbrechende Verbesserung. Und eine der Initialzündungen für die industrielle Revolution. Denn nun müssen die Menschen ihre Maschinen nicht mehr mit Wind, Wasser, Tieren oder eigener Muskelkraft antreiben. Nun können die Maschinen erledigen, die durch die Verbrennung von Holz, Kohle und später auch von Öl angetrieben werden.

### 90 Millionen Tonnen Kohlendioxid – am Tag



Wir blasen Unmengen CO<sub>2</sub> in die Luft.  
Jeden Tag 90 Millionen Tonnen!

Heute, keine 250 Jahre später, ist unser Energieverbrauch radikal gestiegen. Und er steigt weiter – mit unserem Konsum und unserer Mobilität. Wir fahren heute tagtäglich Strecken mit dem Auto, die noch vor 30 Jahren als kleine Urlaubsreisen durchgegangen wären. Wir fliegen um die halbe Welt in den Urlaub, für nur einen Termin in eine andere Stadt. Und wir brauchen immer mehr Dinge in immer kürzerer Zeit. Und die Energie dafür gewinnen wir immer noch vor allem aus Kohle und Öl. Wir verbrennen Jahrtausende alte Rohstoffe in atemberaubender Geschwindigkeit. Und wir produzieren dabei Unmengen Kohlendioxid. Tagtäglich 90 Millionen Tonnen.

### Tendenz: steigend – und zwar viel zu schnell



Seit Jahrzehnten steigt die CO<sub>2</sub>-Konzentration dramatisch

Zu Lebzeiten von James Watt lag die Konzentration des CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre bei 280 ppm. Vorher ist sie sehr lange Zeit auf nahezu stabilem Niveau – für zwei Millionen Jahre. Mit unseren immensen CO<sub>2</sub>-Emissionen sorgen wir nun vor allem in den letzten Jahrzehnten dafür, dass inzwischen fast 400 ppm Kohlendioxid in der Atmosphäre zu finden sind. Mit schwer abschätzbaren Folgen. Denn der dadurch ausgelöste Klimawandel beginnt gerade erst. Wie stark seine Auswirkungen sein werden, lässt sich heute nur erahnen.

### Des Nützlichen zuviel



Der natürliche Treibhauseffekt wärmt die Erde, der anthropogene überhitzt sie

Verantwortlich ist der eigentlich nützliche Treibhauseffekt: ein Teil der Sonnenstrahlung wird von der Erdoberfläche reflektiert. Doch diese verlässt die Erdatmosphäre nicht komplett. Einiges wird von den Treibhausgasen in der Atmosphäre absorbiert. Diese heizt sich dadurch auf. Dank des natürlichen Treibhauseffektes sind die Temperaturen auf der Erde überaus angenehm. Ohne diesen wäre es im Durchschnitt ungemütliche minus 18°C kalt. Zum Problem wird der Treibhauseffekt erst jetzt durch unseren Ausstoß des Treibhausgases Kohlendioxid. Mehr CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre absorbiert mehr reflektierte Sonnenstrahlung. Dies führt zu einem Anstieg der Temperaturen überall auf der Welt.

### Der Ozean als Atmosphärenschtützer



Die Ozeane schlucken ein Drittel unseres Kohlendioxids

Durch diesen vom Menschen verursachten Treibhauseffekt werden auch die Meere immer wärmer. Doch nicht nur das. Denn die Ozeane verschlucken und speichern große Mengen des Gases. Gut ein Drittel des von uns in die Luft geblasenen Kohlendioxids verschwindet für kürzer oder länger in einem der Meere unseres Planeten. Ohne diesen Effekt wäre der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre heute schon deutlich höher. Die Ozeane haben uns also bisher vor einem noch stärkeren Treibhauseffekt und damit stärkerem Klimawandel bewahrt.

### Die Kehrseite der Medaille

Glück gehabt - könnte man meinen. Doch wie so oft gibt es auch hier einen Haken: Das Kohlendioxid reagiert mit dem Wasser. Es macht die Meere saurer. Theoretisch ist lange klar, dass dies passieren kann. Doch alle Experten waren sich sicher, dass die Ozeane fast unbegrenzt CO<sub>2</sub> aufnehmen könnten. Aber seit Ende der 1990er Jahre ist es deutlich messbar: die Ozeane werden saurer. Und weil wir immer mehr Kohlendioxid in die Luft blasen, steht diese Entwicklung erst am Anfang. Die Prognosen sind eindeutig.

Autor: Silvio Wenzel

### Zusatzinfos

#### **ppm**

„ppm“ ist die Abkürzung für eine relative Maßangabe und steht für „Parts Per Million“, also für „Teile von einer Millionen“. Ähnlich funktionieren die Angaben „Prozent“ (Teile von Hundert) und „Promille“ (Teile von Tausend).

## Die Versauerung wird die Meere verändern



Die Meere verändern sich. Niemand weiß, wie sie in Zukunft aussehen werden

Es klingt ein bisschen wie der Titel eines Romans von Steven King: „Evil Twins – Böse Zwillinge“. Ist es aber nicht. Leider. Denn diese gefährlichen Geschwister sind völlig real. Und sie sind so gefährlich, dass sie das Leben auf der Erde für immer verändern könnten. Aber der Reihe nach: Unseren Ozeanen geht es nicht gut. Denn wir Menschen setzen ihnen ordentlich zu. Wir schmeißen unseren Müll in die Meere, leiten unsere Abwässer ein und verklappen Chemikalien auf hoher See. Steigende Wassertemperaturen als Folge des Klimawandels und die zunehmende Versauerung der Ozeane verändern die Lebensbedingungen in den Meeren radikal. Die negativen Auswirkungen von Verschmutzung und Überfischung können die Wissenschaftler ziemlich gut benennen. Und sie können sie getrennt von den anderen Einflüssen betrachten. Schwieriger ist das bei Versauerung und Temperaturerhöhung. Denn beide haben die gleiche Ursache: die steigende Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre. Für die Wissenschaftler ist es daher schwer, genau zu erkennen, welche Auswirkungen denn nun tatsächlich allein die Versauerung hat. Sicher ist: Viele Arten werden durch die Versauerung des Wassers empfindlicher gegenüber veränderten Temperaturen. Deshalb nennen die Forscher sie auch „die bösen Zwillinge“. Sie treten zusammen auf und lassen sich nicht voneinander trennen. Mehr noch – sie spielen sich gegenseitig in die Hände.

### Lebenswichtiges Gleichgewicht



In saurerem Wasser entwickeln sich viele Tiere und Pflanzen viel schlechter

Ein stabiler Säurehaushalt ist für alle Lebewesen existentiell. Auch für uns Menschen. Nur bei optimalen und konstanten Säurewerten im Blut funktioniert unser Stoffwechsel reibungslos. Nur dann können Enzyme und Hormone richtig funktionieren. Normalerweise reagiert unser Körper auf zu viel Säure. Er puffert sie ab. Der Säuregehalt bleibt stabil. Funktioniert dieses System nicht richtig, wird es gefährlich. Schon bei kleinsten Veränderungen kann es lebensbedrohlich werden. Die Pflanzen und Tiere im Meer sind umgeben von dem Wasser, dessen Säuregehalt wir nun so nachhaltig verändern. Es durchströmt unablässig ihren Körper und wird so zu einem Problem für ganze Tier-Arten. Sie benötigen mehr Energie, um ihren inneren Säuregehalt zu regulieren. Und das dauerhaft. Diese Energie müssen sie dann an anderer Stelle einsparen. So vermehren sich einige Arten schlechter, andere wachsen viel weniger und bleiben deutlich kleiner. Wieder andere werden überlebenswichtiger Sinne beraubt.

### Die Liste der Opfer ist lang



Untersuchungen an Seeigeln haben gezeigt, dass ihre Spermien in saurerem Wasser weniger agil sind. Sie schwimmen viel langsamer und sind deutlich unbeweglicher als unter herkömmlichen Bedingungen. So ist es für die Spermien schwieriger, eine Eizelle zu erreichen. Der Erfolg der Befruchtung sinkt. Weniger Nachwuchs wird geboren. Sollte dies dennoch gelingen, dann wachsen die Larven der Seeigel viel schlechter. Auch Seesterne bleiben in saurem Wasser viel kleiner. Diese Reihe lässt sich um einige Arten fortsetzen: Muscheln, Austern, Krebse, Schnecken, Plankton, Schlangensterne und so weiter. Denn viele Tiere bauen ihre Schalen und Skelette aus Kalk. Die Säure im Wasser greift genau diesen Kalk an. Damit sind die Tiere dann weniger geschützt oder gleich gar nicht lebensfähig.

### Der programmierte Tod der Riffe



Besonders hart wird es die Korallen treffen. Sie brauchen den Kalk zwingend für ihre Skelette. Schon in 20 Jahren könnten fast 60 Prozent aller Korallenriffe durch den Klimawandel zerstört sein. Manche Wissenschaftler sind sich sicher, dass es Mitte des Jahrhunderts zum Kollaps des beeindruckenden Great Barrier Reefs vor der Küste Australiens kommen wird. Die Folgen wären fatal. Denn die Rolle der Riffe ist für intakte Ozeane kaum zu überschätzen. Allein ein Viertel aller Meerestiere lebt dauerhaft in Korallenriffen. Für viele Arten spielen sie eine unersetzliche Rolle als Kinderstube. Denn hier verbringen sie ihre ersten Lebensjahre. Und auch uns Menschen kann die Zerstörung der Riffe nicht egal sein. Allein in 109 Ländern sind Korallenriffe Teil des Küstenschutzes.

### Wie von Sinnen



Schützende Anemonen sind für  
Clownfische überlebenswichtig

Auch nicht kalkbildende Tiere werden in große Schwierigkeiten kommen: Junge Clownfische zum Beispiel verlieren in saurerem Wasser ihren Geruchssinn. So finden sie keine schützenden Anemonen mehr. Ihnen fehlen dann die geeigneten Verstecke. Schlimmer noch: sie können auch ihre Feinde nicht mehr erschnuppern, fliehen nicht und werden so zur leichten Beute.

### Gefahr eines großen Artensterbens

Als sicher gilt: die Nahrungskette im Meer wird sich verändern. Denn viele kleine, kalkbildende Tiere werden verschwinden. Die höheren Tiere müssen sich dann andere Nahrungsquellen suchen und um diese konkurrieren. Es wird viele Verlierer geben. Niemand weiß, wer das sein wird. Nur wenige Arten werden die Veränderungen zu ihrem Vorteil nutzen. Quallen gehören dazu. Kein Wissenschaftler wagt eine Prognose, wie die Meere in einhundert Jahren aussehen werden. Sicher sind sie sich aber in einem Punkt: Die Versauerung des Wassers in Kombination mit der Erwärmung der Meere hat das Potential, ein neues Massenaussterben auszulösen. Die „evil twins“, die bösen Zwillinge, könnten das Leben auf der Erde für immer verändern. Das hätte sich wahrscheinlich nicht einmal Steven King ausdenken können.

Autor: Silvio Wenzel

## Blick in eine ungewisse Zukunft

### Düstere Aussichten



Nie zuvor in der Geschichte der Erde stieg der CO<sub>2</sub>-Gehalt so schnell

Das Klima verändert sich. Das tut es zwar ständig, denn eine Eiszeit folgt auf eine Warmzeit, trockene Phasen auf ziemlich verregnete - doch in den meisten Fällen laufen die Änderungen allmählich ab. Klimaänderungen dauerten in der Vergangenheit zehntausende oder sogar hunderttausende Jahre. Diesmal geht alles sehr schnell. Vor der industriellen Revolution war die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre sehr stabil. In den letzten zwei Millionen Jahren schwankte diese zwischen 172 und 300 ppm. Heute liegt dieser Wert nach nur gut 200 Jahren Industrialisierung bei schon 387 ppm. Und der Trend geht weiter steil nach oben. Für die Mitte des Jahrhunderts werden 500 ppm prognostiziert, für sein Ende sogar 800 ppm – gleichbleibende Emissionen vorausgesetzt. Zum Vergleich: am Ende der letzten Eiszeiten stieg die CO<sub>2</sub>-Konzentration über einen Zeitraum von 6.000 Jahren um 80 ppm.

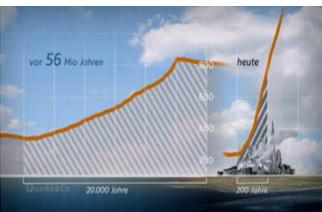
### Die Suche nach dem Vergleich



Vor 56 Millionen Jahren gab es große Veränderungen in der Pflanzen- und Tierwelt

Um eine Idee von den möglichen Folgen der steigenden Kohlendioxid-Konzentration zu bekommen, blicken die Wissenschaftler immer wieder auf eine Zeit vor 56 Millionen Jahren zurück. Die Erde war damals geologisch besonders aktiv. Vulkanausbrüche stießen große Mengen CO<sub>2</sub> in die Luft. Und das Treibhausgas Methan heizte die Erde zusätzlich auf: Bis zu neun Grad in nur wenigen tausend Jahren. Die Folgen für alles Leben auf der Erde waren enorm. Lebensräume veränderten sich. Wälder wurden trockener, neue Pflanzen wanderten ein. Die Säugetiere begannen ihren Siegeszug. Völlig neue Tiere tauchten auf. Manche Arten schrumpften unter den Bedingungen oder blieben seltsam klein. Pferde waren damals nur so groß wie Katzen. Überall auf der Welt wanderten ganze Arten nach Norden – auf der Flucht vor der Hitze und weil neue Lebensräume attraktiv wurden. In den Meeren spielte sich ein dramatisches Massenaussterben ab. Die Hälfte der kalkhaltigen Einzeller überlebte die Veränderungen nicht. Erstickt vom Methan oder verätzt vom zu sauren Wasser.

### Wer gehört zur den Opfern?



Selbst schnelle Veränderungen in der Vergangenheit wirken langsam im Vergleich zu heute

Damals dauerte der Kohlendioxid-Anstieg mehrere tausend Jahre – ein kurzer Zeitraum in biologischen Dimensionen. Heute finden die Veränderungen dagegen in nur wenigen Jahrzehnten statt. Das ist ein entscheidender Unterschied, der eine genaue Zukunftsprognose unmöglich macht. Fest steht: Die Welt danach wird eine andere sein. Wissenschaftler vermuten, dass es vielleicht einhunderttausend Jahre dauern könnte, bis die Kohlendioxid-Konzentration wieder auf den ursprünglichen Wert zurückgegangen ist. Die Wissenschaftler sind sich aber auch sicher, dass das Leben auf der Erde weitergehen wird. Aber viele Arten werden diesem Wandel zum Opfer fallen, ohne Chance, sich anzupassen. Eine der offenen Fragen ist, ob wir Menschen das Ganze überstehen werden.

Autor: Silvio Wenzel

### Zusatzinfos

ppm

„ppm“ ist die Abkürzung für eine relative Maßangabe und steht für „Parts Per Million“, also für „Teile von einer Millionen“. Ähnlich funktionieren die Angaben „Prozent“ (Teile von Hundert) und „Promille“ (Teile von Tausend).

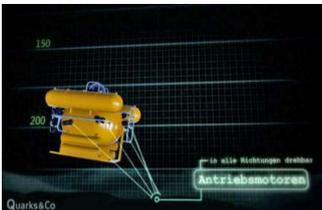
## Orientierung unter Wasser



Unter Wasser kann sich der Mensch nur per Ultraschall orientieren. Auch die JAGO nutzt diese Technik, wenn sie Richtung Meeresboden taucht. Das Tauchboot sendet Schallwellen Richtung Mutterschiff und Meeresboden und auch das Mutterschiff arbeitet mit Schallwellen. Aus der Kombination dieser Daten errechnet ein Computer die exakte Position des Tauchboots. Sehen Sie im Film wie sich die JAGO orientiert und in der Tiefsee ihr Ziel findet.

Autor: Philip Häusser

## Tauchfahrt der JAGO



Auf dem Meeresboden ist die Strömung gering. Das ist gut für die Steuerung der JAGO. Um die Höhe zu halten werden Tauchzellen mit Luft gefüllt, so dass das Tauchboot durch das Wasser schwebt. Die JAGO ist dann genauso schwer wie das Wasser, das sie verdrängt. 10 Elektromotoren liefern den Antrieb. Diese sind ideal, denn sie benötigen keinen Sauerstoff wie herkömmliche Verbrennungsmotoren. Über kleine Schrauben lässt sich das Forschungstauchboot präzise steuern. Die Akkus des Tauchboots halten bis zu 15 Stunden. Erfahren Sie im Film wie die Mannschaft der JAGO das Tauchboot steuert.

Autor: Philip Häusser

## Sicherheitssysteme der JAGO



Die Sicherheitssysteme bei einem bemannten Tauchboot sind extrem wichtig. Denn bei einem Außendruck von rund 20 bar besteht keine Möglichkeit aus dem Boot unter Wasser auszusteigen. Theoretisch könnten deshalb im Forschungstauchboot JAGO zwei Personen bis zu 48 Stunden unter Wasser überleben. Ein CO<sub>2</sub>-Filter reinigt die Luft, außerdem sind Not-Sauerstoff und Notfallverpflegung an Bord. An der Unterseite ist eine Bleiplatte befestigt, die bei Gefahr automatisch abgeworfen wird und das Tauchboot an die Oberfläche steigen lässt. Erfahren Sie im Film wie die Mannschaft außerdem über das sogenannte Totmann-System abgesichert ist und was das Ausschicken der Notboje bewirkt.

Autor: Philip Häusser

## Lesetipps

Buchtitel: **Enzyklopädie der Ozeane**  
Autor: Dorrik Stow  
Verlagsangaben: Delius Klasing, Bielefeld 2009  
ISBN: 3-7688-1674-5  
Sonstiges: 256 Seiten, 16,95 Euro

Enzyklopädien neigen oft dazu, etwas trocken und langatmig zu sein. Sollte dies das Ziel dieses Buches gewesen sein, dann hat es das mehr als deutlich verfehlt. Der Autor, Professor für Meeres- und Geowissenschaften, hat mit dieser Veröffentlichung ein unvergleichliches Buch über die Weltmeere geschrieben. Einzigartige Bilder, kurzweilige, populärwissenschaftliche Texte, viele farbige Abbildungen und Karten machen es zu einem absolutem Lesegenuss, der sicherlich jedem Leser noch bisher Unbekanntes näher bringt. Wer dieses Buch in die Hand nimmt, wird ganz sicherlich hoffen, dass die nächsten paar Stunden das Telefon nicht klingelt und kein Überraschungsbesuch auftaucht. Es fällt wirklich schwer, dieses Buch wieder aus den Händen zu legen.

Buchtitel: **Wie bedroht sind die Ozeane?**  
Autor: Stefan Rahmstorf, Katherine Richardson  
Verlagsangaben: Fischer Taschenbuchverlag, Frankfurt/Main 2007  
ISBN: 978-3-596-17277-1  
Sonstiges: 288 Seiten, 9,95 Euro

Stefan Rahmstorf ist Professor am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und gehört zu den Autoren des IPCC-Klimaberichtes. Also ganz sicherlich ein Mann, der versteht, was er hier geschrieben hat. In diesem Buch erklärt er zunächst, welche Rolle die Ozeane für das Weltklima, das Leben auf der Erde und die globalen Stoffkreisläufe spielen. Er zeigt dann auf, wie die Meere durch den Klimawandel, die Verschmutzung und die Überfischung an den Rand der Belastbarkeit gebracht werden. Unmissverständlich wird gezeigt, welche verheerenden Folgen es haben wird, wenn die Menschheit nicht endlich mit dem Umdenken beginnt. Aber Rahmstorf und Richardson machen auch Hoffnung, dass wir es noch in der eigenen Hand haben.  
Absolut empfehlenswert, sehr gut lesbar.

## Linktipps

### **„In Dead Water“**

[http://www.unep.org/pdf/InDeadWater\\_LR.pdf](http://www.unep.org/pdf/InDeadWater_LR.pdf)

Der Bericht der UN über den Zustand der Meere

### **Die Broschüre „Auf den Punkt gebracht“**

<http://metaworks.pangaea.de/index.php?action=show&id=480>

### **Deutsches Forschungsprogramm zu Ozeanversauerung BIOACID (auf englisch)**

<http://www.bioacid.de/>

### **Kaltwasserkorallen**

<http://www.lophelia.org>

Die internationale Webseite über Kaltwasserkorallen

hat viele interaktive Links und Aktivitäten, auch für Kinder:

### **Cold Water Coral Reefs: Out of Sight - No Longer Out of Mind**

[http://www.unep.org/publications/search/pub\\_details\\_s.asp?ID=1123](http://www.unep.org/publications/search/pub_details_s.asp?ID=1123)

Bericht der UN Organisation UNEP über Kaltwasserkorallen

### **IFM-GEOMAR**

<http://www.ifm-geomar.de/>

Das Leibniz-Institut für Meereswissenschaften an der Universität Kiel (IFM-GEOMAR) bearbeitet alle wichtigen Bereiche der modernen Meeresforschung. Zur Ausstattung des Instituts zählt auch das bemannte Forschungstauchboot JAGO.

Impressum:

Herausgegeben  
vom Westdeutschen Rundfunk Köln

Verantwortlich:  
*Quarks & Co*  
Claudia Heiss

Redaktion:  
Wolfgang Lemme

Gestaltung:  
Designbureau Kremer & Mahler

Bildrechte:  
Alle: © WDR

© WDR 2011