



MIT ARGO-ROBOTERN DIE OZEANE DER ERDE IM AUGE BEHALTEN

Blair J. Greenan^{1*}, Annie P. Wong², Tammy Morris³, Emily A. Smith⁴ and Marine Bollard⁵

¹Bedford Institute of Oceanography, Fisheries and Oceans Canada, Halifax, NS, Canada

²School of Oceanography, University of Washington, Seattle, WA, United States

³South African Weather Service, Cape Town, South Africa

⁴National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Washington, DC, United States

⁵Euro-Argo European Research Infrastructure Consortium (ERIC), Brest, France

Hast du dich jemals gefragt, wie Forscherinnen und Forscher wissen, was tief unter der Meeresoberfläche passiert? Es gibt verschiedene Arten von Robotern, die unter die Meeresoberfläche tauchen und Daten aus der Unterwasserwelt zurückbringen können. Ein solcher Roboter, eine so genannte Argo-Treibboje (oder auch Argo-Float), bewegt sich mit den Strömungen durch die mittleren Tiefen des Ozeans und kommt alle 10 Tage an die Oberfläche, um die Forschenden über die gesammelten Daten zu informieren. Derzeit gibt es etwa 4.000 Argo-Floats, die täglich die Ozeane der Erde im Auge behalten. Diese Roboter messen die Temperatur und den Salzgehalt der Ozeane, und einige können auch komplexere chemische und biologische Parameter überwachen. Die Argo-Roboter sind ein weiteres Instrument im Werkzeugkasten der Ozeanographie, das den Forschenden hilft zu verstehen, wie der Ozean funktioniert und wie er sich nicht nur auf das Meeresleben, sondern auch auf die gesamte Erde auswirkt.

WARUM BEOBACHTEN FORSCHERINNEN UND FORSCHER DIE OZEANE DER ERDE?

Der Ozean ist für das menschliche Wohlergehen sehr wichtig, da er uns mit Nahrung, Medikamenten, Transportwegen und Erholungsmöglichkeiten versorgt. Der Ozean beherbergt auch viele marine Lebewesen, die die Erde für den Menschen lebenswert machen. Zum Beispiel produziert das kleine **Plankton** im Ozean mehr als 50 % des Sauerstoffs, den wir atmen. Der Ozean nimmt mehr als 70 % der Erdoberfläche ein und spielt eine wichtige Rolle für die Umwelt unseres Planeten.

PLANKTON

Treibende Pflanzen, Algen und einige Bakterien, die Photosynthese betreiben können.

KLIMA

Die Beschreibung der langfristigen Wettermuster in einem bestimmten Gebiet. Dies wird in der Regel als Durchschnitt der gesammelten Daten (z. B. der Temperatur) über mindestens zwei Jahrzehnte eingeschätzt.

TREIBHAUSGASE

Gase, die Wärme in der Atmosphäre binden, darunter Kohlendioxid, Methan, Lachgas und fluorierte Gase.

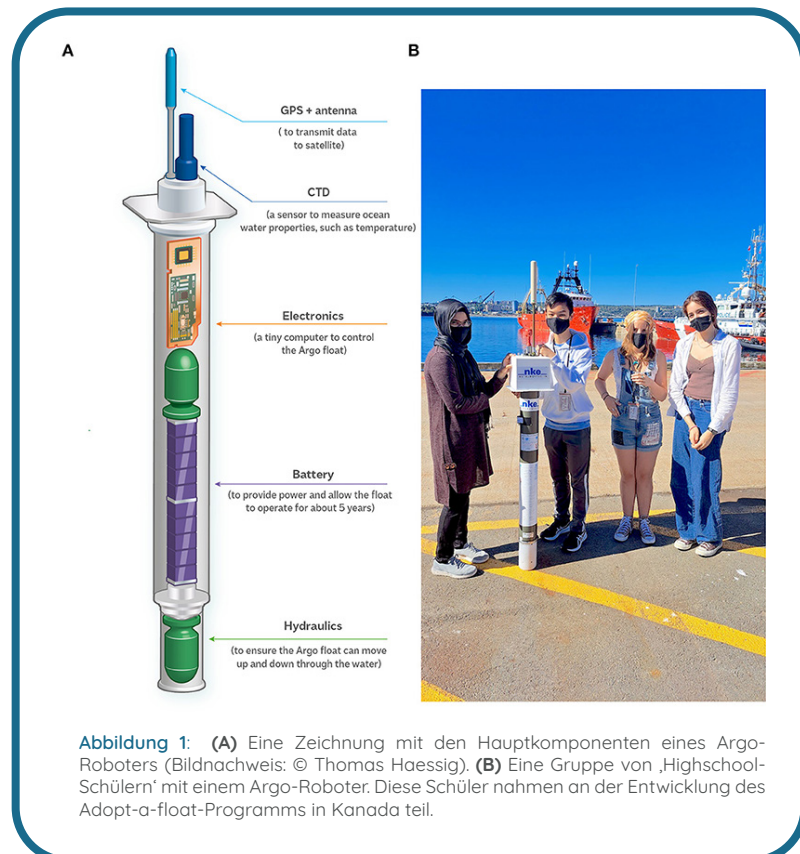
Aus all diesen Gründen wissen Forscherinnen und Forscher seit vielen Jahren, dass es wichtig ist, den Ozean zu beobachten, um ihn besser zu verstehen und mögliche Veränderungen vorherzusagen.

Forscherinnen und Forscher, die sich mit der Atmosphäre befassen, sind auch an Beobachtungen des Ozeans interessiert, da das Wetter, das wir jeden Tag erleben, vom Ozean beeinflusst wird. Hast du zum Beispiel jemals gesehen, wie Wasser auf einer heißen Straße verdunstet? Das Gleiche geschieht im Ozean, wenn die warmen Oberflächentemperaturen des Meeres zu Verdunstung führen, wodurch Wasser aus dem Ozean in die Atmosphäre gelangt. In der Atmosphäre angekommen, trägt das Wasser zur Bildung von Wolken, Schnee und Regen bei. Eine bessere Überwachung der Meeresbedingungen führt also zu besseren Wettervorhersagen.

Einige Forscherinnen und Forscher sind Spezialisten für die Erforschung des Erdklimas. Regionen mit einem «tropischen **Klima**» erhalten jedes Jahr viel Sonnenlicht. Dadurch erwärmt sich die Meeresoberfläche, und es bilden sich Wolken und Regen, so dass das Klima in diesen Regionen normalerweise heiß und feucht ist. Aber das Klima kann sich im Laufe der Zeit ändern. Zum Beispiel können einige menschliche Aktivitäten, wie Autofahren oder Heizen, der Atmosphäre **Treibhausgase** hinzufügen. Treibhausgase wirken wie eine Decke, die Wärme zurückhält und die Erdoberfläche erwärmt. Ozeanbeobachtungen sind wichtig, um zu verstehen, wie Treibhausgase zum Klimawandel beitragen, da der Ozean Kohlendioxid und Wärme aus der Erdatmosphäre aufnehmen und über Meeresströmungen weiterleiten kann.

ARGO ROBOTER: FREI UMHERRIEHENDE MEERESABENTEURER!

Um den Ozean zu erforschen, müssen Forscherinnen und Forscher über viele Jahre hinweg kontinuierlich Daten sammeln. Eine wichtige Möglichkeit, diese Informationen zu erhalten, sind Messungen auf Schiffen (*siehe auch diesen Artikel von Frontiers for Young Minds*). Es gibt jedoch Orte, die für Schiffe schwer zu erreichen sind, wie die Arktis und die Antarktis. Im Winter herrscht außerdem eine raue See, die für Schiffe schwierig zu befahren ist. Um zu allen Jahreszeiten Messungen in den Ozeanen der Erde durchzuführen, haben Forscherinnen und Forscher die Argo-Roboter erfunden (*Abbildung 1*).



SENSOREN

Ein Gerät, das physikalische Änderungen in der Umgebung erkennt und darauf reagiert.

Diese Argo-Roboter werden Treibbojen genannt und tragen **Sensoren**, um Meeresdaten zu sammeln. Auch wenn wir diese Roboter als «Treibbojen» bezeichnen, tauchen sie tatsächlich im Ozean auf und ab. Forscherinnen und Forscher setzen die Argo-Roboter von Schiffen aus in den Ozean. Sobald sie im Ozean sind, sinken sie auf 1.000 m und bewegen sich 9 Tage lang frei mit den Meeresströmungen in dieser Tiefe. Am 10. Tag tauchen sie auf 2.000 m ab und steigen dann an die Oberfläche, wobei sie auf ihrem Weg nach oben Ozeanmessungen vornehmen. An der Oberfläche angekommen, senden sie die gesammelten Daten sowie ihren Standort per Satellit an die Forscherinnen und Forscher zurück, die so eine Datenbank mit Informationen über diesen Teil des Ozeans aufbauen können. Danach tauchen die Treibbojen wieder auf 1.000 m ab und beginnen den Zyklus von neuem (Abbildung 2A). Forscherinnen und Forscher verwenden Computerprogramme, um die Qualität der Messungen zu überprüfen und die Informationen in eine Datenbank zu übertragen (Abbildung 2B). Die Messungen sind innerhalb von 24 Stunden nach dem Auftauchen der Roboter für jedermann frei zugänglich (Abbildung 2C).

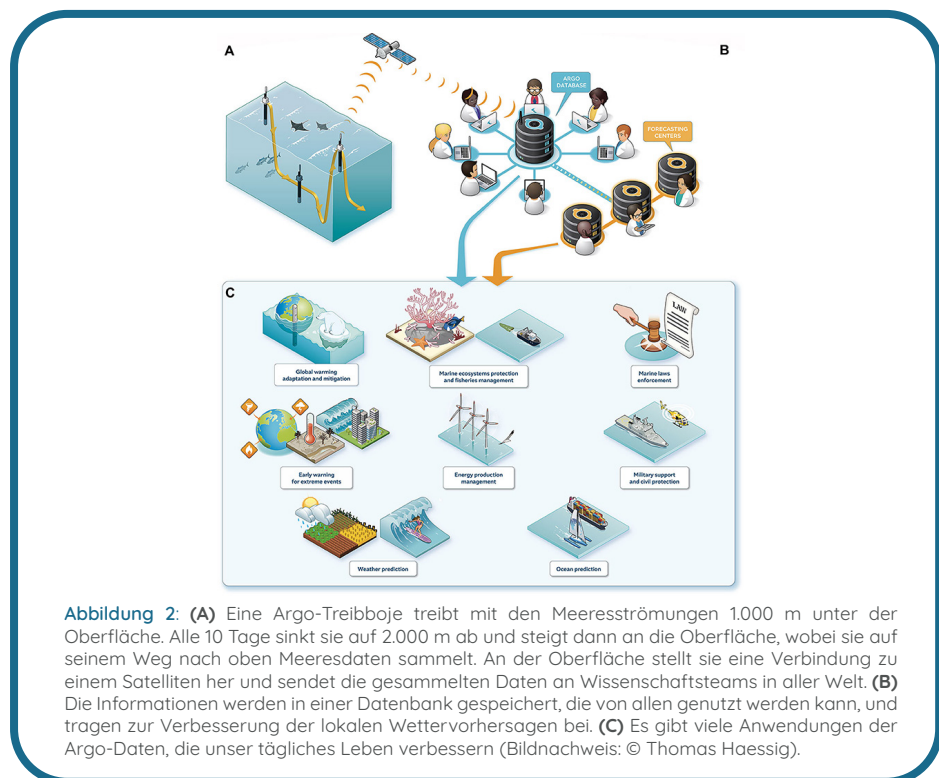


Abbildung 2: (A) Eine Argo-Treibboje treibt mit den Meeresströmungen 1.000 m unter der Oberfläche. Alle 10 Tage sinkt sie auf 2.000 m ab und steigt dann an die Oberfläche, wobei sie auf ihrem Weg nach oben Meeresdaten sammelt. An der Oberfläche stellt sie eine Verbindung zu einem Satelliten her und sendet die gesammelten Daten an Wissenschaftsteams in aller Welt. (B) Die Informationen werden in einer Datenbank gespeichert, die von allen genutzt werden kann, und tragen zur Verbesserung der lokalen Wettervorhersagen bei. (C) Es gibt viele Anwendungen der Argo-Daten, die unser tägliches Leben verbessern (Bildnachweis: © Thomas Haessig).

SALZGEHALT

Ein Maß für die Salzkonzentration im Ozean. Dies kann auch als Salzigkeit bezeichnet werden.

DICHTE

Die Menge an Materie in einer Substanz (ihre Masse) geteilt durch den Raum, den die Substanz einnimmt (ihre Volumen).

Argo-Roboter zeichnen Druck-, Temperatur- und Salzgehaltmessungen auf. Der **Salzgehalt** ist ein Maß für die Konzentration von Salz im Meer. Salzgehalt und Temperatur bestimmen zusammen die **Dichte** des Meerwassers. Der Druck gibt den Forscherinnen und Forschern Aufschluss über die Tiefe, in der die Temperatur- und Salzgehaltmessungen vorgenommen werden. Im Ozean entspricht ein Meter (m) Tiefe in etwa dem Druck von einem Dezibar (dbar). In der Atmosphäre sorgen hohe und niedrige Drücke für unsere Wettersysteme. Im Ozean entstehen durch Bereiche mit hoher und niedriger Dichte Strömungen, die große Mengen Wasser um den Globus bewegen. Zu verstehen, wie sich das Wasser im Ozean bewegt, ist wichtig für die Klimaforschung und für den Schutz der Pflanzen und Tiere, die im Meer leben.

Als Forscherinnen und Forscher in den späten 1990er Jahren das Argo-Roboternetz entwarfen, wollten sie mit diesen Daten die von einem Satelliten namens Jason gesammelten Messungen der Meeresoberflächenhöhe ergänzen. In der griechischen Mythologie segelte Jason mit einem Schiff namens Argo auf der Suche nach dem Goldenen Vlies. Daher nannten die Meeresforschenden diese Roboter Argo-Floats. Daten über die Höhe der Meeresoberfläche von Satelliten können mit den Argo-Daten kombiniert werden, um Forschende über Veränderungen der Meeresströmungen zu informieren. Die Argo-Roboter sind seit 20 Jahren in den Ozeanen unterwegs und haben weltweit über 2 Millionen Messwerte gesammelt¹. Heute gibt es fast 4.000 Argo-Roboter, die Ozeanmessungen durchführen.

Die Argo-Roboter werden mit Batterien betrieben und arbeiten rund um die Uhr an jedem Tag des Jahres. Dank dieser Roboter können Forscherinnen und Forscher die Ozeane der Erde wie nie zuvor im Auge behalten. Die Batterien der Argo-Roboter halten normalerweise mehr als fünf Jahre. Wenn die Batterien aufgebraucht sind, werden die Roboter inaktiv und sinken auf den Meeresboden. Auch wenn dies wie eine Vermüllung des Ozeans erscheinen mag, sind die Umweltauswirkungen auf den Ozean im Vergleich zu anderen Schadstoffen äußerst gering, und die gesammelten Ozeandaten sind für das Verständnis der Erde äußerst wertvoll.

WAS KÖNNEN UNS DIE ARGO-ROBOTER ÜBER DEN OZEAN SAGEN?

WÄRMEGEHALT DES OZEANS

Die Menge an Energie in Form von Wärme, die im Ozean gespeichert ist.

Seit 1970 hat der Ozean mehr als 90 % der Wärme aufgenommen, die durch Treibhausgase aus menschlichen Aktivitäten entsteht. Die Temperaturen in vielen Gebieten der Weltmeere sind gestiegen. Eine Möglichkeit, dies zu überwachen, besteht darin, anhand von Temperatur- und Salzgehaltsmessungen zu berechnen, wie viel Wärme einer Schicht des Ozeans hinzugefügt wurde, was als **Wärmeinhalt des Ozeans** bezeichnet wird (*Abbildung 3*). Anhand der von den Argo-Robotern gesammelten Daten haben Forscherinnen und Forscher festgestellt, dass extreme Ereignisse wie Hitzewellen im Ozean ebenso wie in der Atmosphäre immer häufiger auftreten. Diese Hitzewellen im Meer veranlassen Meerestiere, in andere Gebiete zu ziehen, um kühleres Wasser zu finden. Pflanzen und Tiere, die sich nicht bewegen können, leiden jedoch unter diesen Hitzewellen im Meer.

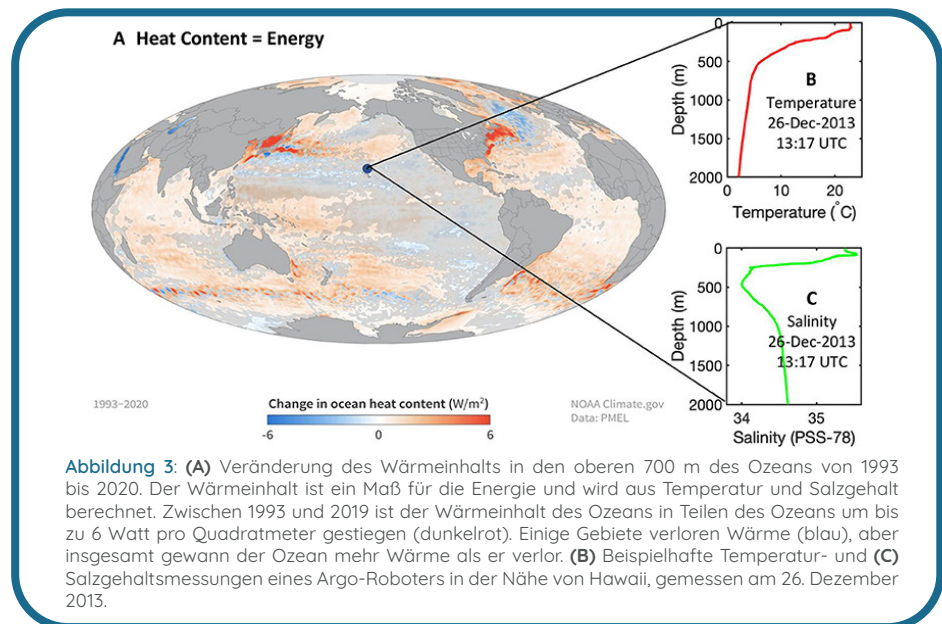


Abbildung 3: (A) Veränderung des Wärmeinhalts in den oberen 700 m des Ozeans von 1993 bis 2020. Der Wärmeinhalt ist ein Maß für die Energie und wird aus Temperatur und Salzgehalt berechnet. Zwischen 1993 und 2019 ist der Wärmeinhalt des Ozeans in Teilen des Ozeans um bis zu 6 Watt pro Quadratmeter gestiegen (dunkelrot). Einige Gebiete verloren Wärme (blau), aber insgesamt gewann der Ozean mehr Wärme als er verlor. (B) Beispielhafte Temperatur- und (C) Salzgehaltsmessungen eines Argo-Roboters in der Nähe von Hawaii, gemessen am 26. Dezember 2013.

Der weltweite Anstieg des Meeresspiegels ist eine weitere wichtige Folge des Klimawandels. Wenn sich das Wasser im Ozean erwärmt, dehnt es sich auch aus, was eine der Hauptursachen für den Anstieg des Meeresspiegels ist. Ein steigender Meeresspiegel kann dramatische Auswirkungen auf unser tägliches Leben haben, da er zu Überschwemmungen und Erosion führen und Süßwasser durch die Vermischung mit salzigem Meerwasser ungenießbar machen kann (*weitere Informationen zum Meeresspiegelanstieg findest du in diesem Artikel von Frontiers for Young Minds*). Die Argo-Roboter sind ein wichtiges Instrument zur Überwachung des globalen Meeresspiegelanstiegs, da sie die Veränderungen in den Ozeanen der Erde im Auge behalten.

Die Beobachtung des Ozeans hat auch zu Verbesserungen bei der Wettervorhersage geführt. Anhand der Temperatur- und Salzgehaltsdaten, die von den Argo-Robotern zurückgeschickt werden, haben Forscherinnen und Forscher ein **Computermmodell** des Ozeans in ihre Wettervorhersageberechnungen einbezogen. Durch die Verwendung echter Ozeandaten in diesen Modellen verstehen die Forschenden besser, wie die Atmosphäre und der Ozean miteinander interagieren. Dies ist sehr wichtig für die Vorhersage starker Stürme wie Hurrikane, Zyklone und Taifune, die einen Großteil ihrer Stärke von der warmen Meeresoberfläche beziehen.

COMPUTERMODELL

Ein Programm, das auf einem Computer läuft, um ein reales System wie die Atmosphäre oder die Ozeane der Erde zu simulieren.

IN DIE TIEFE VORSTOßEN UND NEUE WEGE BESCHREITEN

In der Vergangenheit waren die Argo-Roboter auf die oberen 2.000 m des Ozeans beschränkt, was <50 % des globalen Ozeanvolumens entspricht. Die Entwicklung von Robotern, die bis zum Meeresboden vordringen können, ist eine große Herausforderung, aber Forscherinnen und Forscher und Ingenieuren ist es vor kurzem gelungen, einige Roboter zu bauen, die bis zu 6.000 m tief tauchen können². Die Beprobung des Ozeans von der Oberfläche bis zum Grund wird es den Forschenden ermöglichen, die Veränderungen des Wärme- und Süßwassergehalts besser zu verstehen, was wiederum bessere Informationen über den globalen Meeresspiegelanstieg liefern wird.

Wir stehen nun am Beginn einer neuen Ära, in der Argo-Roboter Messungen bezogen auf die Chemie und Biologie der Ozeane durchführen können³. Dies wird z. B. Aufschluss über Veränderungen der Sauerstoff- und Kohlendioxidmengen im Ozean geben. Derzeit verliert der Ozean weltweit Sauerstoff und nimmt mehr Kohlendioxid aus der Erdatmosphäre auf. Diese Veränderungen wirken sich auf die marinen Ökosysteme aus, einschließlich der Fischerei, die viele von uns ernährt.

Argo-Roboter sind nur ein Werkzeug im ozeanographischen Werkzeugkasten. Sie sind Teil eines globalen Systems, des Global Ocean Observing System (GOOS). Zusammen mit anderen GOOS-Partnern werden uns die Fortschritte bei den Argo-Robotern dabei helfen, ein globales Bild von der Gesundheit der Ozeane und ihren Veränderungen im Laufe der Zeit zu erstellen. Auch du kannst diesen Ozeanbeobachtern anschließen. Wie das geht? Indem du die Patenschaft für eine Treibboje übernimmst. Du kannst einen Argo-Roboter auswählen, ihm einen Namen geben und seine Reise um die Welt verfolgen. Du kannst auch mehr über Argo in der Argo-Online-Schule und bei Ocean Observers erfahren. Ein Meeresabenteuer wartet auf dich!

REFERENZEN

1. Wong, A. P. S., Wijffels, S. E., Riser, S. C., Pouliquen, S., Hosoda, S., Roemmich, D. et al. 2020. Argo data 1999–2019: two million temperature-salinity profiles and subsurface velocity observations from a global array of profiling floats. *Front. Mar. Sci.* 7:700. doi: 10.3389/fmars.2020.00700
2. Roemmich, D., Alford, M. H., Claustre, H., Johnson, K., King, B., Moum, J. et al. 2019. On the future of argo: a global, full-depth, multi-disciplinary array. *Front. Mar. Sci.* 6:439. doi: 10.3389/fmars.2019.00439
3. Bittig, H. C., Maurer, T. L., Plant, J. N., Schmechtig, C., Wong, A. P. S., Claustre, H., et al. 2019: A BGC-argo guide: planning, deployment, data handling and usage. *Front. Mar. Sci.* 6:502. doi: 10.3389/fmars.2019.00502

EINGEREICHT: 13 Mai 2022

ONLINE VERÖFFENTLICHT: 21 September 2023

HERAUSGEBER: Pedro Morais, Florida International University, United States

WISSENSCHAFTLICHE MENTOREN: Laura Lorenzoni and Sagi Dalyot

INTERESSENKONFLIKT: Die Autoren erklären, dass die Forschung in Abwesenheit jeglicher kommerzieller oder finanzieller Beziehungen durchgeführt wurde, die als potenzieller Interessenkonflikt ausgelegt werden könnten.

JUNGE GUTACHTENDE

DENIZE, ALTER: 12

Hallo, ich heiße Deniz und ich beobachte gerne die Sterne und spiele Videospiele mit Freunden. Mein Lieblingssternhaufen ist Messier 45 und mein Lieblingssternbild ist der Oriongürtel. Mein Lieblingsvideospiele ist Call of Duty 2.

LEO, ALTER: 12

Leo wurde in Florida geboren und mag den Strand; besonders gerne schnorchelt er. Er mag Geschichte und Mythologie, vor allem, wenn sie unter Wasser stattfindet. Er spielt Cello, hat zwei Hunde und spielt in seiner Freizeit gerne Videospiele.





OMER, ALTER: 14

Ich interessiere mich für internationale Politik, und ich lese gerne über Politik, Philosophie und Geschichte. Ich spiele gerne Videospiele auf meiner Nintendo Switch und meinem PC, höre gerne Musik und spiele Rollenspiele wie D&D und Warhammer 40K.

AUTORINNEN UND AUTOREN

BLAIR J. GREENAN

Blair Greenan ist Wissenschaftler am Bedford Institute of Oceanography in Halifax, Nova Scotia, Kanada. Er leitet den kanadischen Beitrag zum internationalen Argo-Programm. Sein Forschungsschwerpunkt liegt auf der Unterstützung von Küstengemeinden bei der Anpassung an den Klimawandel im Meer. Dazu gehört auch die Lösung von Infrastrukturproblemen durch die Bereitstellung wissenschaftlich fundierter Werkzeuge mit Informationen über lokale Veränderungen des Meeresspiegels infolge des Klimawandels.

ANNIE P. WONG

Annie ist Wissenschaftlerin an der University of Washington in Seattle, WA, Vereinigte Staaten. Sie ist Ozeanographin und begann ihre Karriere in der Meeresforschung mit dem Sammeln von Meeresdaten von Schiffen aus. Heute nutzt sie Argo-Daten zur Untersuchung des Salzgehalts der Ozeane und interessiert sich für die Ozeane rundum die Antarktis. Sie gehört dem Argo Data Management Team an, das die Weitergabe der Argo-Daten an die Öffentlichkeit unterstützt.

TAMMY MORRIS

Tammy Morris ist leitende Wissenschaftlerin in der Meeresabteilung des südafrikanischen Wetterdienstes mit Sitz in Kapstadt, Südafrika. Sie ist eine beobachtende Ozeanographin, die viele Monate auf Forschungsschiffen verbracht hat und mit Ozeanbeobachtungsinstrumenten wie Argo-Treibbojen, Driftern und Verankerungen gearbeitet hat. Ihre Forschungen konzentrierten sich auf das erweiterte Agulhasstrom-System und in jüngerer Zeit auf die Wechselwirkungen mit dem Südlichen Ozean.

EMILY A. SMITH

Emily ist Managerin mehrerer Programme, darunter das U.S. Argo-Programm, das Global Sea Level Observing System (GLOSS), Ozeangleiter in Randströmen und Produkte zum Wärmeinhalt des Ozeans. Emily ist für die Verwaltung der Budgets und der strategischen Planung der Beobachtungssysteme zuständig. Außerdem koordiniert sie das Adopt a Drifter-Programm, das Partnerschaften mit Schulen in den USA und im Ausland ermöglicht, damit diese driftenden Bojen verfolgen und die Daten in Echtzeit in ihren Klassenzimmern nutzen können. Bevor sie zur NOAA kam, unterrichtete Emily mehrere Jahre lang Schulkinder, und dieses Programm hilft ihr, mit der Welt der Bildung verbunden zu bleiben.

MARINE BOLLARD

Marine ist verantwortlich für die Öffentlichkeitsarbeit des Euro-Argo European Research Infrastructure Consortium (ERIC). Der ERIC widmet sich der Entwicklung eines langfristigen europäischen Beitrags zum globalen Ozeanüberwachungssystem Argo mit dem Ziel, ein besseres Verständnis und bessere Vorhersagen des Ozeans, seine Rolle im Klimasystem und die Gesundheit der Ozeane zu ermöglichen. Marine verfügt über zwei Masterabschlüsse in Hydrogeologie und Wissenschaftsjournalismus. Bevor sie zu Euro-Argo kam, hat Marine mehrere Jahre lang populärwissenschaftliche Bücher und Artikel für Bildungszwecke und die Öffentlichkeit veröffentlicht.

ZITAT: Greenan BJ, Wong AP, Morris T, Smith EA and Bollard M (2023) Keeping an Eye on Earth's Oceans With Argo Robots Front. Young Minds 11:943491. doi: 10.3389/frym.2023.943491

ÜBERSETZUNG: Argo Germany

COPYRIGHT © 2023 Greenan, Wong, Morris, Smith und Bollard. Dies ist ein frei zugänglicher Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Attribution License (CC BY) verbreitet wird. Die Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die ursprüngliche(n) Autor(en) und der/die Urheberrechtsinhaber genannt werden und die ursprüngliche Veröffentlichung in dieser Zeitschrift in Übereinstimmung mit der anerkannten wissenschaftlichen Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die nicht mit diesen Bedingungen übereinstimmt, ist nicht gestattet.