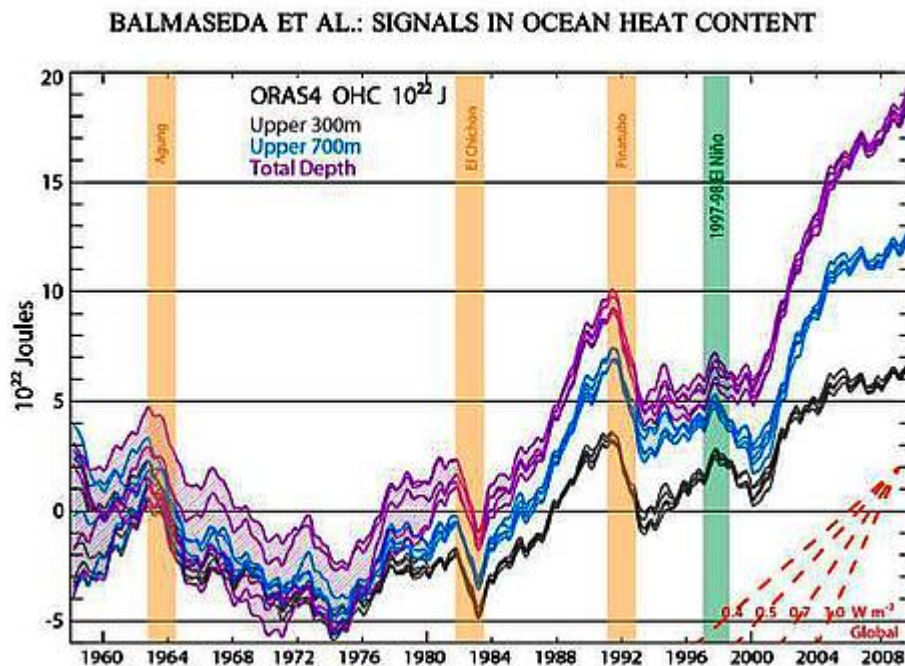


Die Tiefsee kühlt sich ab inmitten eines Meeres von Modell- Unsicherheit: Neue Forschungen zum ozeanischen Wärmegehalt

geschrieben von Jim Steele | 25. Juli 2014

Als Nebenergebnis ihrer Analyse haben sie 1) festgestellt, dass sich die Tiefsee abkühlt, 2) eine viel geringere Rate der Erwärmung der Ozeane geschätzt, 3) aufgezeigt, wo die größten Unsicherheiten bestanden infolge der sich stets ändernden Örtlichkeiten von Erwärmung und Abkühlung und 4) Bedenken hinsichtlich früherer Verfahren spezifiziert, die zur Konstruktion von Änderungen des ozeanischen Wärmegehaltes angewendet worden waren, wie die Re-Analyse von Balmaseda und Trenberth (siehe unten) (13). Sie kamen zu dem Ergebnis: „Die direkte Bestimmung der Änderungen des ozeanischen Wärmegehaltes während der letzten 20 Jahre stehen nicht im Widerspruch zu Schätzungen des Strahlungsantriebs, aber **die Unsicherheiten bleiben zu groß, um z. B. den offensichtlichen „Stillstand“ der globalen Erwärmung vernünftig zu erklären**“.



Wunsch und Heimbach (2014) räumen bescheiden ein, dass ihre „Ergebnisse im Detail und in numerischen Werten von anderen Schätzungen abweichen, aber die Bestimmung, ob irgendeine dieser Schätzungen korrekt ist, ist wahrscheinlich **mit den existierenden Datensätzen nicht möglich**“.

Sie schätzen die Änderungen des Ozeans mittels Synthetisierung diverser Datensätze mit Hilfe von Modellen, entwickelt vom Konsortium zur Abschätzung der Zirkulation und des Klimas der Ozeane [Consortium for Estimating the Circulation and Climate of the Ocean, ECCO]. Die ECCO-

„Zustandsschätzungen“ haben die Schwächen früherer Modelle eliminiert, und sie behaupten: anders als die meisten Produkte zur „Daten-Assimilation“ genügt ECCO den Modellgleichungen **ohne irgendwelche künstlichen Quellen oder Senken oder Kräften**. Die Zustands-Abschätzung stammt von dem freilaufenden, aber adjustierten Modell und genügt infolgedessen allen bestimmenden Modellgleichungen, einschließlich derjenigen für die grundlegende Konservierung von Masse, Wärme, Moment, Vorticity usw. bis hin zu numerischer Genauigkeit“.

Ihre Ergebnisse (Abbildung 18 unten) zeigen eine Abflachung oder leichte Abkühlung der oberen 100 m seit dem Jahr 2004. Dies stimmt überein mit der Abkühlung von $-0,04 \text{ W/m}^2$ von Lyman (2014) (6). Der Konsens früherer Forscher war, dass sich die Temperaturen der oberen 300 m seit 2003 (4) abgeflacht oder abgekühlt haben, während Wunsch und Heimbach (2014) fanden, dass sich die oberen 700 m noch bis zum Jahr 2009 erwärmten. Die tieferen Schichten enthalten doppelt so viel Wärme wie die oberen 100 Meter und zeigen einen eindeutigen Abkühlungstrend seit 2 Jahrzehnten. Anders als die oberen Schichten, die von dem jährlichen Zyklus von Erwärmung und Abkühlung dominiert werden, muss die Tiefsee als Teil des langzeitlichen ozeanischen Gedächtnisses gesehen werden, das immer noch auf „meteorologische Antriebe von vor Jahrzehnten bis Jahrtausenden reagiert“. Falls das Modell der Tiefsee-Erwärmung von Balmaseda und Trenberth korrekt wäre, muss jedwede Zunahme des ozeanischen Wärmegehaltes zwischen 700 und 2000 Metern erfolgt sein, aber die Mechanismen, die jene „mittlere Schicht“ erwärmen würden, bleiben schwer fassbar.

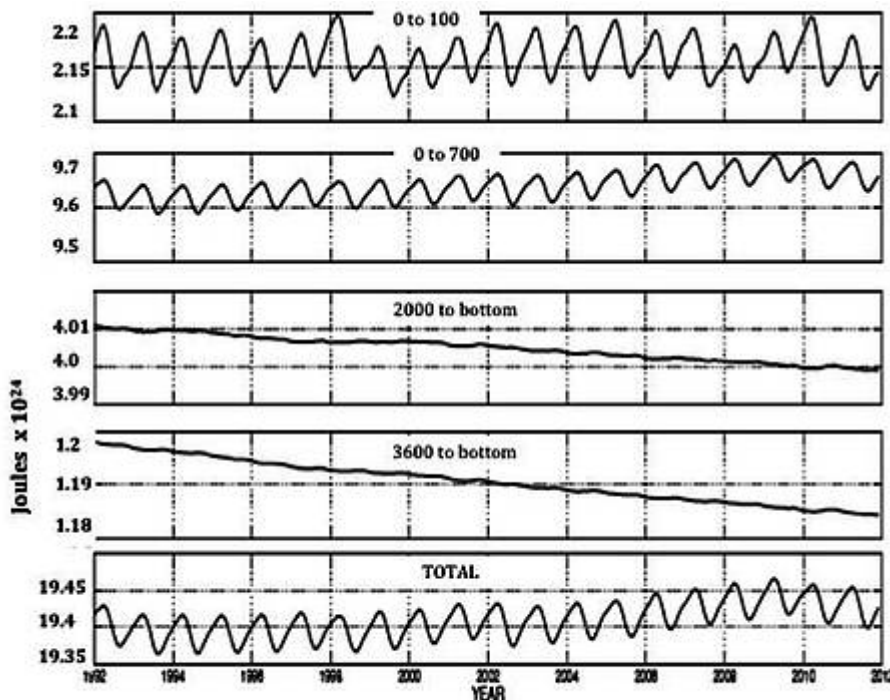


Figure 18. Ocean Heat Content 1992-2011 From Wunsch and Heimbach (2014) Bidecadal Thermal Changes in the Abyssal Ocean. (Labels enlarged for clarity)

Die entdeckte Abkühlung der Tiefsee ist angesichts der geothermischen Erwärmung aus dem Ozeanboden ziemlich bemerkenswert. Wunsch und Heimbach (2014) schreiben: „Wie bei anderen noch bestehenden Schätzungen gilt für die jetzige Zustands-Abschätzung, **dass sie noch nicht den geothermischen**

Fluss am Meeresboden ausweisen, dessen mittlere Werte (Pollacvk et al. 1993) in der Größenordnung 0,1 W/m² liegen. Das ist wenig, aber „nicht vernachlässigbar im Vergleich zu irgendeinem vertikalen Wärmetransport in die Tiefe“ (3). (Interessant als Nebenergebnis ist eine Zunahme der Wärme am Meeresboden, die kürzlich in Verbindung gebracht worden ist mit der verstärkten Basaltschmelze des Thwaite-Gletschers in der Antarktis (hier)). Da erwärmtes Wasser aufsteigt, stammt jede Erwärmung der „mittleren Schichten“ vermutlich von Wärme, die in der Tiefsee vor Jahrzehnten bis Jahrtausenden gespeichert worden ist.

Wunsch und Heimbach (2014) betonen die vielen Unsicherheiten bei der Zuordnung des Grundes der Änderung zum Gesamt-Wärmegehalt und kommen zu dem Ergebnis: **Wie bei vielen Klimaaufzeichnungen lautet die unbeantwortbare Frage hier**, ob diese Änderungen wirklich separat [secular] auftreten und/oder eine Reaktion auf den anthropogenen Antrieb sind, oder ob sie stattdessen Fragmente eines allgemeinen Rauschens sind während Zeitperioden, die viel zu kurz sind, um die langzeitlichen Maßstäbe der Abbildungen 6 und 7 darzustellen, oder Folge von Verzerrungen bei Datensammlung und -messung sind oder Änderungen der temporären Datendichte.

Angesichts dieser Unsicherheiten kommen sie zu dem Ergebnis, dass den Ozeanen viel weniger Wärme zugeführt wird als in früheren Studien behauptet (siehe Tabelle unten). Es ist interessant, dass im Vergleich zu Hansens Studie, die im Jahre 2003 endete vor der beobachteten Erwärmungspause, nachfolgende Studien ebenfalls zeigen, dass weniger Wärme in die Ozeane eingeht. Ob diese abnehmenden Trends ein Ergebnis verbesserter Methoden oder einer kühleren Sonne sind oder beides, muss mit noch mehr Beobachtungen geklärt werden.

<u>Study</u>	<u>Years Examined</u>	<u>Watts/m2</u>
⁹ Hansen 2005	1993-2003	0.86 +/- 0.12
⁵ Lyman 2010	1993-2008	0.64 +/- 0.11
¹⁰ von Schuckmann 2011	2005-2010	0.54 +/- 0.1
³ Wunsch 2014	1992-2011	0.2 +/- 0.1

Kein Klimamodell hat die dramatisch steigenden Temperaturen in der Tiefsee vorhergesagt, die sich nach der Re-Analyse (13) von Balmaseda/Trenberth zeigen, und Ozeanographen glauben, dass ein so scharfer Anstieg wahrscheinlicher ein Artefakt anderer Meßsysteme ist. Tatsächlich korreliert die ungewöhnliche Erwärmung mit der Einführung des ARGO-Beobachtungssystems. Wunsch und Heimbach (2013) (2) schrieben: „In der Literatur sind klare Warnungen aufgetaucht, dass unechte Trends und Werte Artefakte sind einer Änderung der Beobachtungssysteme (siehe Elliott and Gaffen, 1991; Marshall et al., 2002; Thompson et al., 2008). Die Re-Analysen werden selten angemessen verwendet, was bedeutet, dass sie große Fehler enthalten können“ (3).

Noch spezifischer warnten Wunsch und Heimbach (2014): „Daten-Assimilations-Verfahren, die Jahrzehnte lang dauern, werden normalerweise als „Re-Analysen“ bezeichnet. **Unglücklicherweise können diese nicht verwendet werden zu Zwecken der Wärme- und andere Budgetierungen, weil sie fundamentale Erhaltungsgesetze verletzen**; siehe Wunsch und Heimbach (2013) mit weiteren Ausführungen zu diesem wichtigen

Punkt. Das Problem erfordert eine genaue Untersuchung der behaupteten Erwärmung in der Tiefe mit einer Genauigkeit von $0,01 \text{ W/m}^2$ mit derartigen Methoden als Grundlage (Balmaseda et al. 2013) (3). Wem also soll man glauben?

Weil sich die Ozeanwärme asymmetrisch ansammelt und sich diese Wärme 24/7 verschiebt, wird jedes Datensammel-Schema von großen Verzerrungen und Unsicherheiten durchlöchert. In Abbildung 12 unten zeigen Wunsch und Heimbach (2014) die ungleichen Dichten der regional gespeicherten Wärme. Offensichtlich in Zusammenhang mit dem größeren Salzgehalt speichert der zentrale Nordatlantik zweimal so viel Wärme als irgendein Gebiet im Pazifischen und Indischen Ozean. Regionen mit starken Wärmegradienten erfordern größere Bemühungen bei der Datensammlung, um irreführende Ergebnisse zu vermeiden. Sie warnten: „Der relativ große Wärmegehalt des Atlantischen Ozeans könnte, falls sie sich umverteilt, große Änderungen anderswo in dem System hervorrufen welche, falls diese nicht gleichmäßig beobachtet werden, **künstliche Änderungen des globalen Mittels** zeigen“ (3).

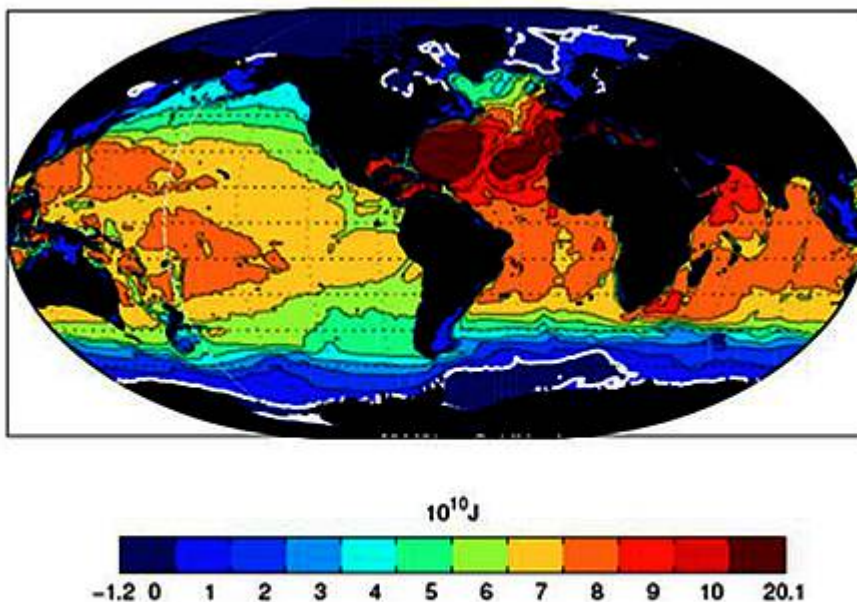


Figure 12: Heat content, $H(0, -h)$, in the time mean, top-to-bottom using $^{\circ}\text{C}$. Notice the strong merid-

Des Weiteren, infolge des konstanten, mit der Zeit variierenden Wärmetransportes **werden Regionen mit Erwärmung normalerweise kompensiert durch Regionen mit Abkühlung**, wie es aus ihrer Abbildung 15 hervorgeht. Sie bietet eine wunderbare Visualisierung des gegenwärtigen Status' jener natürlichen Ozean-Oszillationen durch Vergleiche der Änderungen des Wärmegehaltes zwischen 1992 und 2011. Diese Anordnung von Wärme-Umverteilungen lassen enorme Wärmemengen entstehen und machen das Auffinden von Änderungen des Wärmegehaltes, die um viele Größenordnungen kleiner sind, extrem schwierig. Auch hier würde eine ungeeignete Datensammlung räumlich und zeitlich zu „künstlichen Änderungen des globalen Mittels“ führen.

Abbildung 15 zeigt die jüngsten Auswirkungen von La Nina und der negative Pazifischen Dekadischen Oszillation. Der Ostpazifik hat sich

abgekühlt, während simultan die sich intensivierenden Passatwinde mehr warmes Wasser in den Westpazifik haben strömen lassen, wodurch es sich dort erwärmt hat. Genauso hat sich im mittleren Atlantik gespeicherte Wärme wahrscheinlich nordwärts bewegt, so dass sich jene Region abgekühlt und die subpolaren Meeresgebiete erwärmt haben. Diese nordwärts gerichtete Änderung des Wärmegehaltes stimmt überein mit früheren Diskussionen über Zyklen von Intrusionen warmen Wassers, die das Arktische Meereis beeinflusst haben, die Klimamodelle der Arktis durcheinandergebracht (hier) und die Verteilung der maritimen Organismen kontrolliert haben.

Am Interessantesten ist die Abkühlung in den oberen 700 Metern der Arktis. Es gab 2 unterschiedliche Erklärungen für die ungewöhnlich warme Lufttemperatur in der Arktis, die das globale Mittel stark beeinflusst. Auf CO₂ basierende Hypothesen argumentieren, dass die globale Erwärmung das polare Meereis reduziert hat, das zuvor das Sonnenlicht reflektiert hatte, und dass das jetzt offene, dunkle Wasser *mehr Wärme absorbiert*, was zum Anstieg der Wasser- und Lufttemperatur führt. Aber eine eindeutige Abkühlung der oberen Schichten des Arktischen Ozeans zeigt, dass jedwede absorbierte Wärme nicht signifikant ist. Trotz stärkeren Zuflusses warmen atlantischen Wassers stützt der abnehmende Wärmegehalt der oberen 700 m die konkurrierende Hypothese, dass wärmere Arktistemperaturen zumindest teilweise das Ergebnis verstärkter Zirkulation der Wärme sind, die zuvor unter einer dicken isolierten Eisschicht lag (7). Diese zweite Hypothese stimmt auch überein mit ausgiebigen Beobachtungen, dass sich die Arktis in den achtziger und neunziger Jahren abgekühlt hat. Die Erwärmung erfolge, nachdem milde Winde, umgelenkt durch die Arktische Oszillation, dickes vieljähriges Eis von der Arktis weggetrieben haben (11).

Regionale Abkühlung findet man auch entlang der Zugbahnen von Stürmen in der Karibik und vor der Ostküste der USA. Diese Tatsache widerspricht Spekulationen, wonach Hurrikane im Atlantik infolge steigender Wassertemperatur stärker werden oder geworden sind. Dies bestätigt auch frühere Analysen von Bob Tisdale und anderen, dass Superstorm Sandy keine Folge wärmerer Ozeane war.

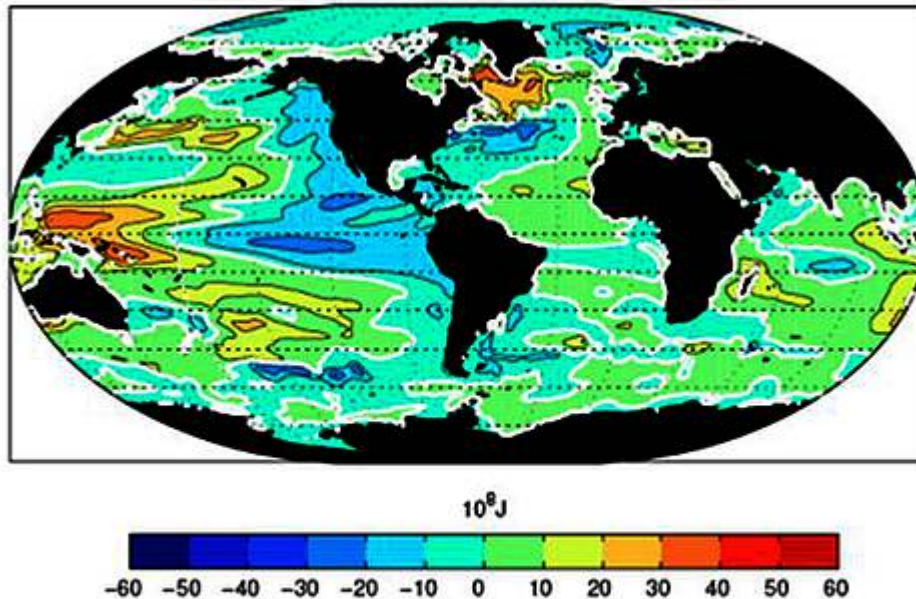


Figure 15: Same as Fig. 14 except for the top 700 m alone, $H(0, -700, 2011) - H(0, -700, 1993)$. Annual

Um ihre Behauptung zu stützen, dass die Tiefsee dramatisch Wärme absorbiert, müssen Balmaseda/Trenberth einen Mechanismus und regionale Beobachtungen präsentieren, bei denen Wärme von der Oberfläche in diese Tiefen transportiert worden ist. Aber da findet man kaum etwas. Erwärmung in großen Tiefen und gleichzeitige Abkühlung der Oberfläche ist eine Antithese zu den Vorhersagen der Klimamodelle. Die Modelle hatten vorhergesagt, dass die globale Erwärmung zuerst in der oberen Schicht ablagern würde, und ebenen diese Schicht. Die Diffusion würde hunderttausende Jahre dauern, kann also nicht der Mechanismus sein. Trenberth, Rahmstorf und andere haben argumentiert, dass Winde die Wärme unter die Oberfläche treiben *könnten*. Tatsächlich können Winde Wärme nach unten treiben in einer Schicht, die die Ozeanographen Misch-Schicht [mixed layer] nennen. Aber die Tiefe, bis zu der die Durchmischung durch Wind stattfindet, liegt grob bei 10 bis 200 Metern in den meisten Gebieten der Tropen und der Mittleren Breiten (hier). Und diese Tiefen haben sich leicht abgekühlt. Der einzige andere mögliche Mechanismus, der Wärmetransporte in die Tiefsee vernünftig erklären könnte wäre, dass die Winde die Thermokline [?] kippen könnten (hier). *Die Thermokline beschreibt eine rapide Transition zwischen der warmen oberen Schicht und der kalten unteren Schicht in den Ozeanen.* Wie in Abbildung 15 gezeigt, sammelt sich während eines La Nina warmes Wasser im Westpazifik und vertieft die Thermokline. Aber die kippende pazifische Thermokline reicht normalerweise nicht tiefer als 700 m, wenn überhaupt (8). Unglücklicherweise sagt die Analyse von Wunsch und Heimbach (2014) nichts über Änderungen der Schicht zwischen 700 m und 2000 m. Basierend auf Änderungen des Wärmegehaltes unter 2000 m (ihre Abbildung 16 unten) sind tiefere Schichten des Pazifik praktisch frei von irgendeiner Erwärmung in der Tiefe.

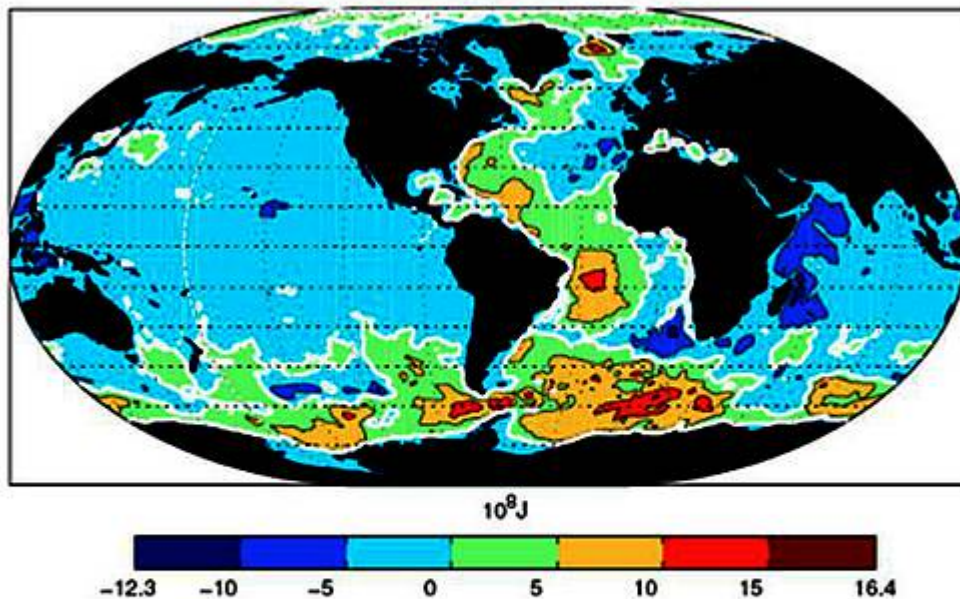


Figure 16: Same as Fig. 14 except for 2000 m to the bottom.

Die einzige Region, in der die größte Menge Wärme in die Tiefsee transportiert wird, sind die Regionen mit Eisbildung rings um die Antarktis, vor allem in der östlichen Weddell-See, wo sich das jährliche Meereis ausdehnt (12). Anders als die Arktis ist die Antarktis relativ isoliert von eindringendem subtropischen Wasser (wie hier diskutiert), so dass jede Erwärmung der Tiefsee zumeist von oben kommt mit einem kleinen Beitrag durch Geothermie.

Eine dagegen haltende stärkere Meereisbildung kann relativ warmes Wasser unter der Oberfläche in die Tiefe bringen. Wenn der Ozean gefriert, wird das Salz ausgeschieden und bildet eine dichte Lake mit einer Temperatur, die immer um den Gefrierpunkt schwankt. Typischerweise nennt man dieses unmodifizierte Wasser Schelf-Wasser [Brackwasser?]. Dichtes Schelf-Wasser sinkt auf den Grund der polaren Meere. Auf dem Weg in die Tiefe muss dieses Schelf-Wasser durch Schichten unterschiedlich modifizierten warmen Tiefenwassers oder des antarktischen zirkumpolaren Wassers sinken. Turbulente Durchmischung bringt ebenfalls einen kleinen Teil des warmen Wassers in die Tiefe. Warmes Tiefenwasser komprimiert typischerweise 62% des durchmischten Wassers, das schließlich den Grund erreicht. Jedwede Änderung dieser Dynamik (wie zunehmende Meereisbildung oder Zirkulationseffekte, die einen größeren Teil warmen Tiefenwassers durchdringen) können mehr Wärme in die Tiefe umverteilen (14). Infolge der antarktischen Oszillation wurde beobachtet, dass das von der antarktischen zirkumpolaren Strömung transportierte Wasser in Wellen südwärts vordringt, was dieses Wasser näher an Regionen mit Eisbildung bringt. Schelf-Wasser hat sich allgemein abgekühlt, und es gab keine erkennbare Erwärmung des warmen Tiefenwassers. Daher ist die Tiefsee-Erwärmung in diesem Gebiet wahrscheinlich lediglich eine Umverteilung von Wärme und kein Zusatz zum ozeanischen Wärmegehalt. Also bleibt unklar, falls und wie Trenberths „fehlende Wärme“ in die

Tiefsee hätte absinken können. Die Darstellung eines dramatischen Anstiegs der Wärme des Tiefenwassers ist hoch fragwürdig, obwohl hartgesottene Alarmisten es als Beweis der Kraft von CO₂ zur Schau gestellt haben. Wie Dr. Wunsch schon zuvor gewarnt hat: „Bequeme Hypothesen sollten nicht vorschnell in ‚Tatsachen‘ verwandelt werden, und Ungewissheiten und Mehrdeutigkeit nicht unterdrückt werden“. ... „*Ein Modell kann jeder schreiben*: die Herausforderung besteht darin, dessen Genauigkeit und Präzision zu zeigen... Anderenfalls wird die wissenschaftliche Debatte kontrolliert durch die schillerndsten oder hartleibigsten Mitspieler“ (1).

Zur Wiederholung: **Die Unsicherheiten bleiben zu groß, um z. B. den offensichtlichen „Stillstand“ der Erwärmung vernünftig zu erklären.**

Jim Steele is Director emeritus Sierra Nevada Field Campus, San Francisco State University and author of **Landscapes & Cycles: An Environmentalist's Journey to Climate Skepticism**

Literature Cited

1. C. Wunsch, 2007. The Past and Future Ocean Circulation from a Contemporary Perspective, in AGU Monograph, 173, A. Schmittner, J. Chiang and S. Hemming, Eds., 53-74
2. Wunsch, C. and P. Heimbach (2013) Dynamically and Kinematically Consistent Global Ocean Circulation and Ice State Estimates. In Ocean Circulation and Climate, Vol. 103.
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-391851-2.00021-0>
3. Wunsch, C., and P. Heimbach, (2014) Bidecadal Thermal Changes in the Abyssal Ocean, J. Phys. Oceanogr.,
<http://dx.doi.org/10.1175/JPO-D-13-096.1>
4. Xue, Y., et al., (2012) A Comparative Analysis of Upper-Ocean Heat Content Variability from an Ensemble of Operational Ocean Reanalyses. Journal of Climate, vol 25, 6905-6929.
5. Lyman, J. et al, (2010) Robust warming of the global upper ocean. Nature, vol. 465, 334-337.
6. Lyman, J. and G. Johnson (2014) Estimating Global Ocean Heat Content Changes in the Upper 1800m since 1950 and the Influence of Climatology Choice*. Journal of Climate, vol 27.
7. Rigor, I.G., J.M. Wallace, and R.L. Colony (2002), Response of Sea Ice to the Arctic Oscillation, J. Climate, v. 15, no. 18, pp. 2648 – 2668.
8. Zhang, R. et al. (2007) Decadal change in the relationship between the oceanic entrainment temperature and thermocline depth in the far western tropical Pacific. Geophysical Research Letters, Vol. 34.
9. Hansen, J., and others, 2005: Earth's energy imbalance: confirmation and implications. Science, vol. 308, 1431-1435.
10. von Schuckmann, K., and P.-Y. Le Traon, 2011: How well can we derive Global Ocean Indicators from Argo data?, Ocean Sci., 7, 783-791, doi:10.5194/os-7-783-2011.
11. Kahl, J., et al., (1993) Absence of evidence for greenhouse warming over the Arctic Ocean in the past 40 years. Nature, vol. 361, p. 335-337, doi:10.1038/361335a0

12. Parkinson, C. and D. Cavalieri (2012) Antarctic sea ice variability and trends, 1979–2010. *The Cryosphere*, vol. 6, 871–880.

13. Balmaseda, M. A., K. E. Trenberth, and E. Kallen, 2013: Distinctive climate signals in reanalysis of global ocean heat content. *Geophysical Research Letters*, 40, 1754-1759.

14. Azaneau, M. et al. (2013) Trends in the deep Southern Ocean (1958–2010): Implications for Antarctic Bottom Water properties and volume export. *Journal Of Geophysical Research: Oceans*, Vol. 118

Link:

<http://wattsupwiththat.com/2014/07/21/deep-oceans-are-cooling-amidst-a-sea-of-modeling-uncertainty-new-research-on-ocean-heat-content/>

Übersetzt von Chris Frey EIKE