

Durchmischungs-Schicht in den Ozeanen, Wassertemperatur SST und Klimawandel



Die Mischschicht ist eine Zone, in der Turbulenzen, verursacht durch Oberflächenströmungen und Wind, das Wasser so gründlich vermischt haben, dass Temperatur, Dichte und Salzgehalt in der gesamten Schicht relativ konstant sind. Ursprünglich wurde die „Mischschichttiefe“, die Bezeichnung für die Basis der Schicht, als der Punkt definiert, an dem die Temperatur $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ von der Oberfläche abweicht (Levitus, 1982). Dies erwies sich im Winter in der Nähe der Pole als unzureichende Definition, da die Temperatur dort in bestimmten Bereichen bis zu 2.000 m nahezu konstant sein kann, die turbulente Zone der Mischschicht aber nicht so tief ist (Holte & Talley, 2008). Zwei der Gebiete, die bei der Auswahl der Mischschichttiefe mit dem $0,5^{\circ}\text{C}$ -Kriterium Probleme bereiten, sind der Nordatlantik, zwischen Island und Schottland und im Südlichen Ozean südwestlich von Chile. Die Gebiete sind in Abbildung 1 durch hellblaue Kästen gekennzeichnet.

North Atlantic and Southern Ocean areas

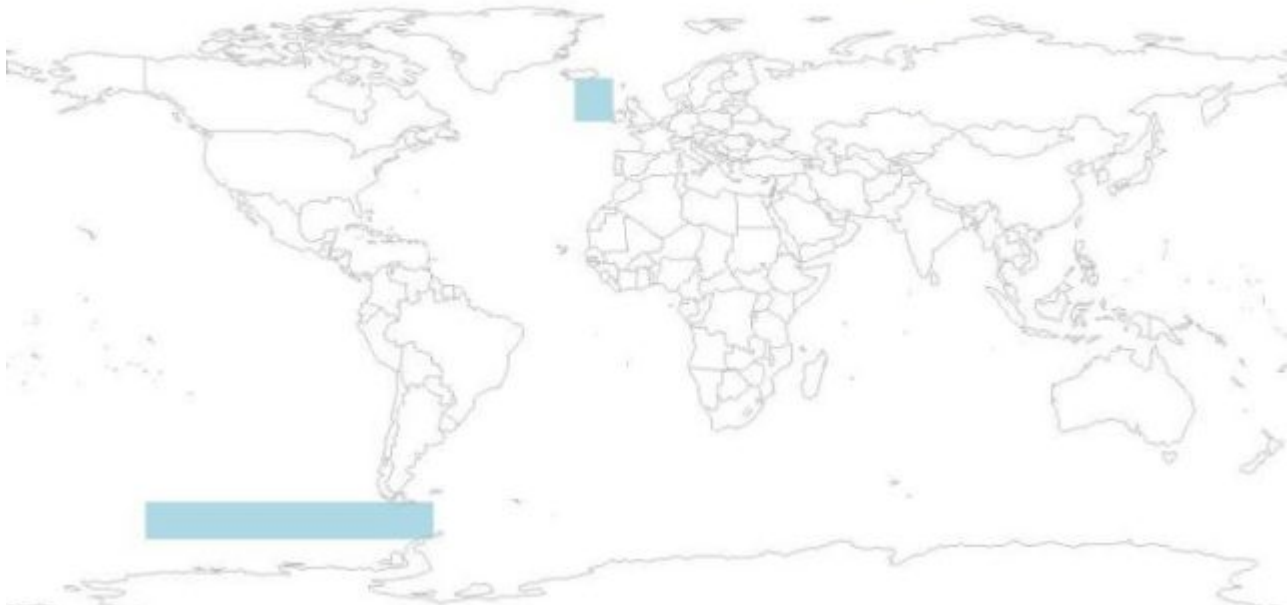


Abbildung 1. Die Gebiete des Nordatlantiks und des Südlichen Ozeans, in denen die Definition der Tiefe der Mischschicht aufgrund des abwärtsströmenden Oberflächenwassers während des lokalen Winters schwierig ist.

Die in Abbildung 1 gezeigten Regionen sind Gebiete, in denen ein signifikantes Absinken von Oberflächenwasser in die Tiefsee stattfindet. Dies

sind nicht die einzigen Gebiete, in denen dies geschieht, aber diese Gebiete enthalten oft nahezu konstante Temperaturprofile für die oberen 1.000 Meter oder sogar tiefer. Abbildung 2 zeigt das durchschnittliche Juli-Temperaturprofil für das Gebiet des Südlichen Ozeans in Abbildung 1.

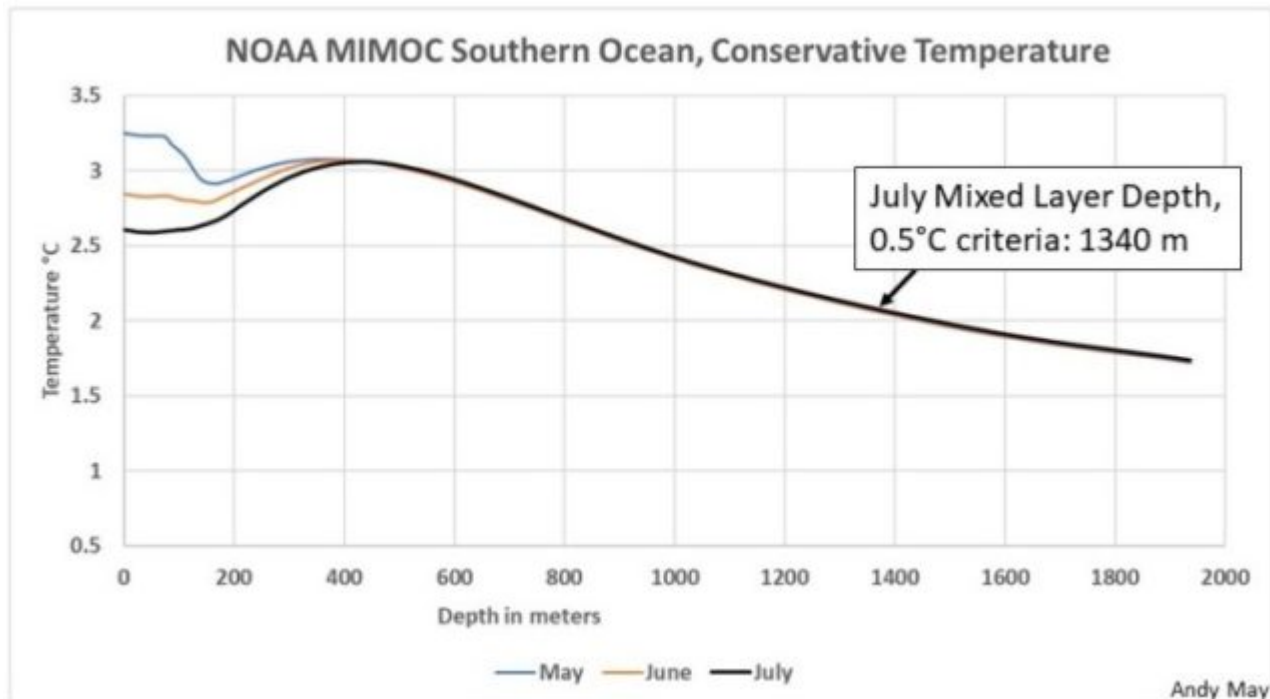


Abbildung 2. Ein durchschnittliches Juli-Temperaturprofil des Südlichen Ozeans aus der blauen Region, die in Abbildung 1 dargestellt ist. Die Daten, die zur Erstellung des Profils verwendet wurden, stammen aus mehr als 12 Jahren, zentriert auf 2008. Die Daten stammen von NOAA MIMOC.

Wie von James Holte und Lynne Talley erläutert (Holte & Talley, 2008), hat die Tiefenkonvektion in diesem Teil des Südlichen Ozeans das Temperaturprofil so stark verzerrt, dass eine einfache Temperaturgrenze nicht verwendet werden kann, um die Tiefe der Mischungsschicht festzulegen. Im Laufe der Jahre wurden zahlreiche Lösungen für dieses Problem vorgeschlagen, die in ihrem Artikel aufgeführt und diskutiert werden. Das von ihnen vorgeschlagene Verfahren wird von Sunke Schmidt verwendet, um die Mischungsschicht im NOAA MIMOC-Datensatz zu definieren, der weiter unten diskutiert wird (Schmidt, Johnson, & Lyman). Die Methode von Holte und Talley ist kompliziert, wie viele der anderen Lösungen auch. Es scheint, dass bis heute kein allgemein akzeptiertes Verfahren zur Definition der gemischten Schicht gefunden worden ist.

Je nach Ort und Jahreszeit ändert sich die Tiefe der Mischschicht. Am dicksten ist sie im lokalen Winter in den höheren Breiten. Dort kann sie sich nach der Logik von Holte und Talley bis zu 400 m unter der Oberfläche oder noch weiter erstrecken, und bei Verwendung der Temperaturgrenze von 0,5 °C noch viel tiefer. Abbildung 3 zeigt eine Karte der Mischschichttiefe im Januar.

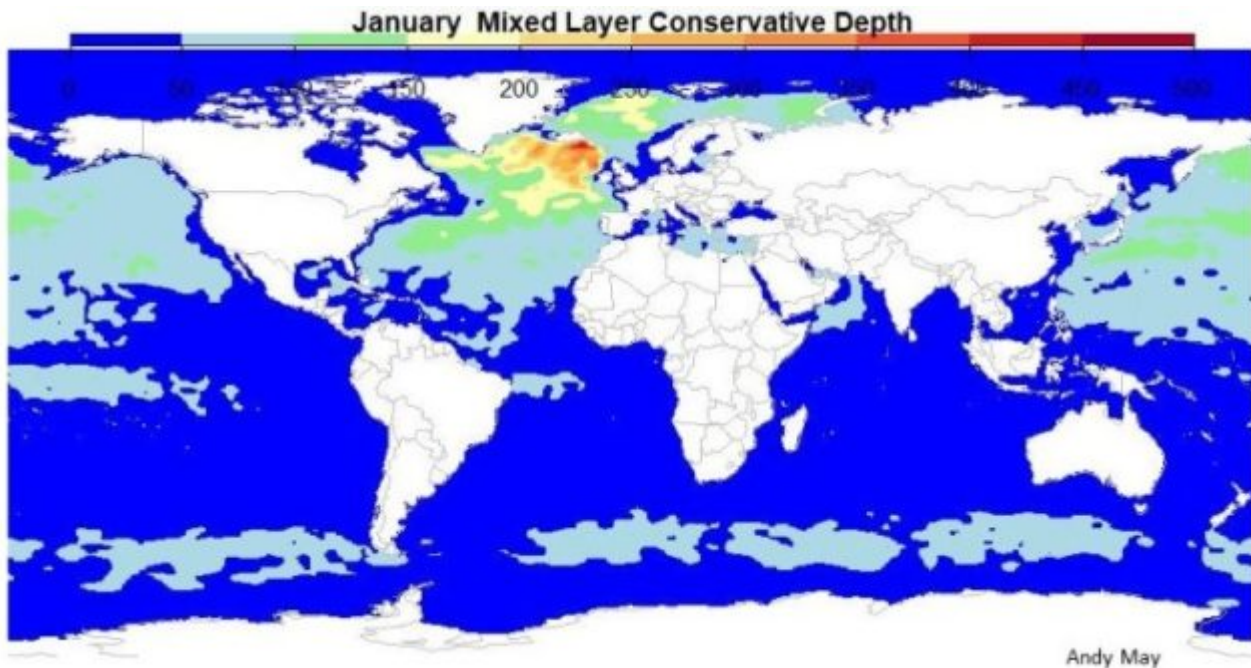


Abbildung 3. Mischschichttiefe des Ozeans im Januar nach dem Verfahren von Holte und Talley. Die orangenen und roten Farben kennzeichnen 400 bis 500 Meter. Daten von [NOAA MIMOC](#).

Die Mischungsschichtdicke der nördlichen Hemisphäre wird jedoch in den nördlichen Sommermonaten dünner und in der südlichen Hemisphäre dicker, insbesondere im südlichen Ozean um die Antarktis, wie in Abbildung 4 dargestellt.

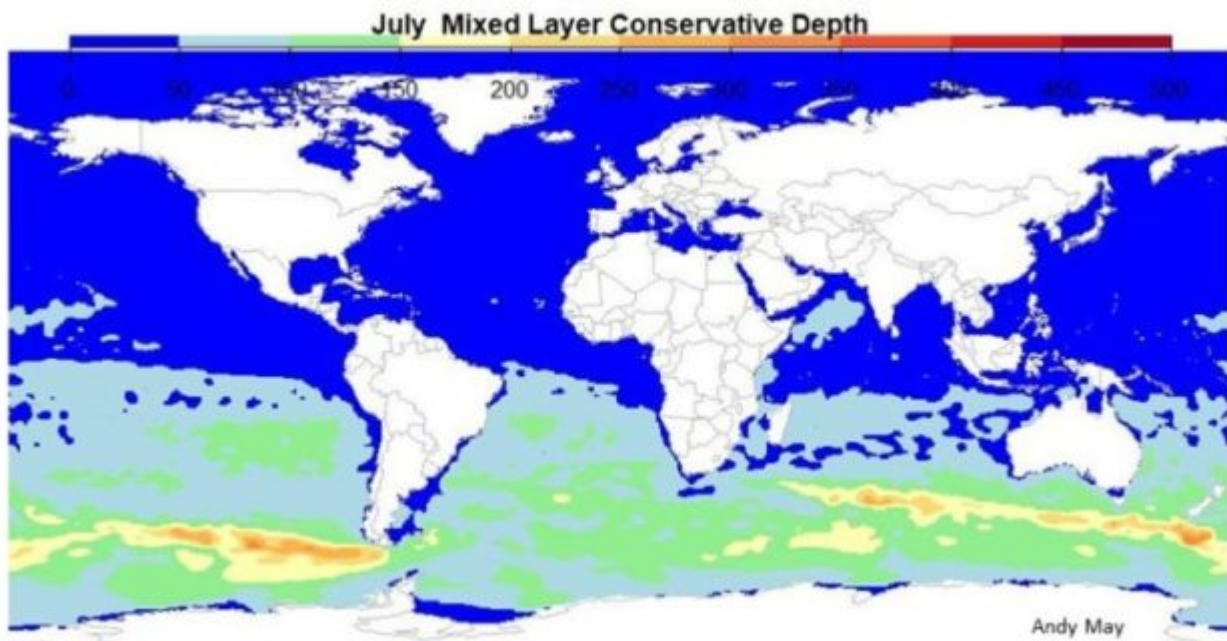


Abbildung 4. Die Mischschichttiefe des Ozeans im Juli unter Verwendung des Verfahrens von Holte und Talley. Wieder kennzeichnen die orangenen und roten Farben 400 bis 500 Meter. Daten von [NOAA MIMOC](#).

Die dickeren Zonen der Mischungsschicht treten immer im lokalen Winter auf und erreichen ihren Höhepunkt in der Nähe des 60° Breitengrades, wie in Abbildung 5 zu sehen ist.

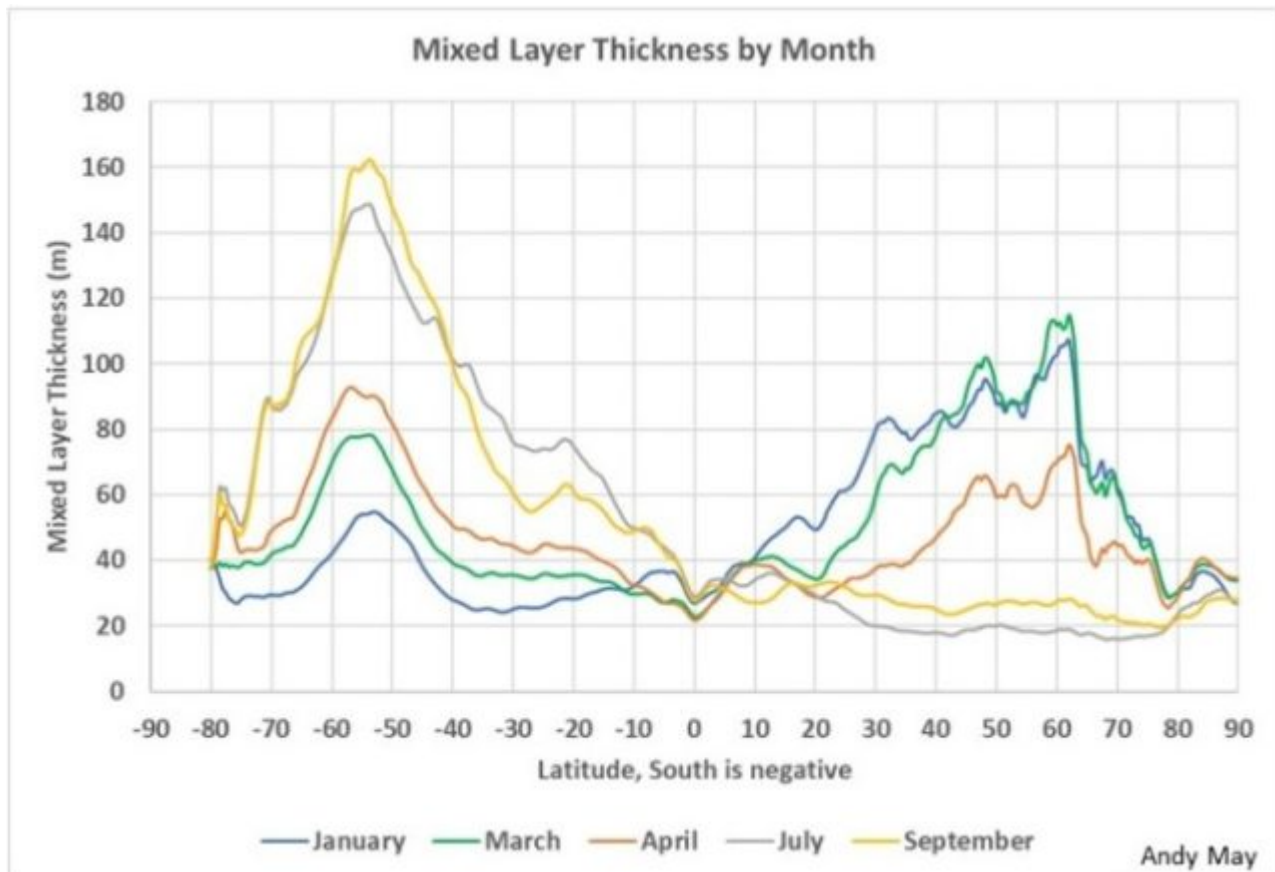


Abbildung 5. Durchschnittliche Mischschichtdicke nach Breitengrad und Monat. Die dickste Mischungsschicht wird auf der Südhalbkugel bei etwa 55 Grad Süd erreicht. In der nördlichen Hemisphäre wird der Spitzenwert bei etwa 60 Grad erreicht. Die Mischschichttiefe in diesem Diagramm wurde nach dem von Holte und Talley entwickelten Verfahren berechnet. Daten von [NOAA MIMOC](#).

Die Bedeutung der Mischschicht

Im vorherigen Beitrag wurde betont, dass die gemischte Schicht in thermischem Kontakt mit der Atmosphäre steht, mit einer kleinen Verzögerung von ein paar Wochen. Außerdem hat sie etwa die **22-fache** Wärmekapazität der Atmosphäre, wodurch die durch Wetterereignisse verursachten drastischen Änderungen der Lufttemperatur geglättet werden. Wenn man also das Klima betrachtet, das viel längerfristig ist als das Wetter, erscheint die Beobachtung des Trends der Mischschichttemperatur ideal. In Abbildung 6 vergleichen wir die jährlichen globalen Durchschnittswerte der Mischschichttemperatur von Jamstec, MIMOC und der Universität Hamburg mit den globalen Schätzungen der Meeresoberflächentemperatur (SST) von der *Hadley Climatic Research Unit* (HadCRU) und der NOAA. Das sind keine Anomalien, das sind tatsächliche Messungen, aber sie sind alle korrigiert und gerastert. Ich habe einfach die jeweiligen globalen Raster gemittelt.

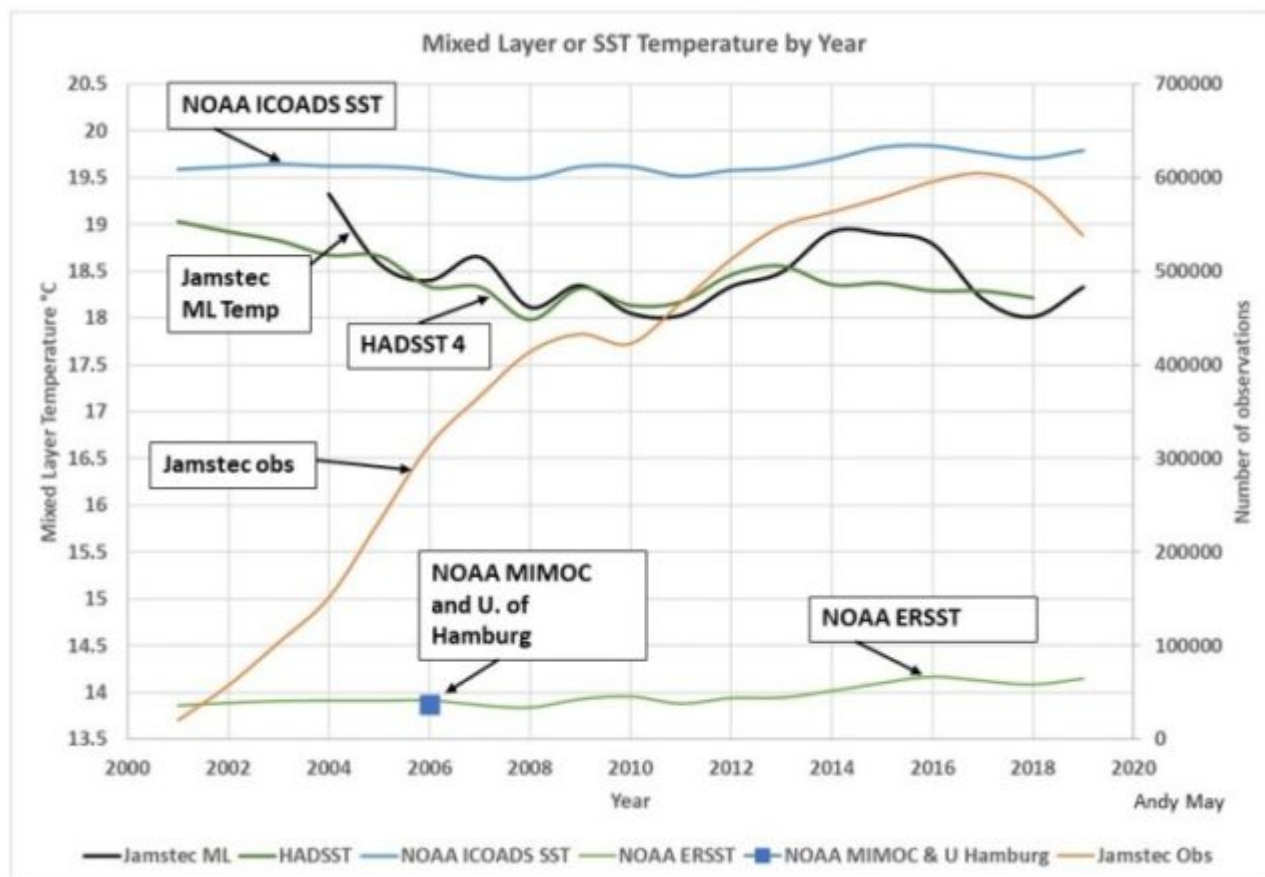


Abbildung 6. Die von Jamstec berechnete globale Mischschichttemperatur ist in schwarzer Farbe aufgetragen. Sie wird mit der HadSST Version 4, der ICOADS SST der NOAA und der ERSST der NOAA verglichen. Die Mischschichttemperaturen von NOAA MIMOC und der Universität Hamburg sind nahezu identisch und zentriert auf das Jahr 2006, sie sind als Kästchen gezeichnet, die sich gegenseitig überlagern. Die Daten stammen von den jeweiligen Agenturen.

Eine vernünftige Ozeanabdeckung ist erst seit 2004 verfügbar, daher sind die Jahre davor suspekt. In Abbildung 6 sind alle Daten als Jahresmittelwerte aufgetragen. Die Hadley-CRU-Temperaturen stimmen gut mit dem Jamstec-Datensatz für die gemischte Schicht überein, und überraschenderweise zeigen beide Datensätze ähnliche abnehmende Temperaturtrends von etwa zwei bis drei Grad pro Jahrhundert. Der *ICOADS* (*International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set*) SST-Trend der NOAA ist flach bis steigend und über ein Grad wärmer als die beiden anderen Aufzeichnungen. Die Anzahl der Jamstec-Mischschichtbeobachtungen ist in orange eingezeichnet (rechte Skala), um uns zu helfen, die Datenqualität für jedes Jahr zu beurteilen. Jamstec erreichte im Jahr 2004 150.000 Beobachtungen, und wir waren der subjektiven Meinung, dass dies ausreichend sei.

Die Mischschichttemperaturen von NOAA MIMOC und der Universität Hamburg sind viel niedriger als HadSST und die Jamstec Mischschichttemperaturen. Dennoch fallen diese beiden mehrjährigen Mittelwerte, die auf das Jahr 2006 zentriert sind, entsprechen genau den Aufzeichnung der ERSST SST und liegen über vier Grad niedriger als HaddSST und Jamstec. Der Unterschied kann nicht einfach darin liegen, wo die Temperaturen gemessen werden. Er kann nicht einmal in den Daten liegen, da alle diese Aufzeichnungen fast die gleichen Eingangsrohdaten verwenden, er muss in den Korrekturen und Verfahren liegen.

Die verschiedenen Schätzungen der Mischschichttemperaturen sind unterschiedlich, ebenso die SSTs. Warum sind zwei Aufzeichnungen rückläufig und der Rest gleichbleibend oder steigend? Die verschiedenen Schätzungen stimmen weder bei der Temperatur noch beim Trend überein.

Meeresoberflächen- und Mischschichttemperaturen sollten nicht in Anomalien umgewandelt werden müssen, es sei denn, sie werden mit terrestrischen Temperaturen verglichen. Sie werden alle auf ungefähr der gleichen Höhe und im gleichen Medium gemessen. Alle Datensätze sind global, mit ähnlichen Eingangsdaten. Alle sind gerastert, um die Auswirkungen einer ungleichmäßigen Datenverteilung zu reduzieren. Die Raster sind unterschiedlich groß und die gerasterten Gebiete unterscheiden sich in ihren nördlichen und südlichen Grenzen, aber alle Raster decken alle Längengrade ab. Tabelle 1 listet die Breitengrad-Datengrenzen der Gitter auf, sie sind nicht so unterschiedlich.

The Latitudes covered by the respective SST and Mixed Layer Grids in 2019		
	North boundary	South boundary
HADSST v4	82.5	-77.5
NOAA ICOADS SST	89	-77.5
Jamstec MILA GPV	82.5	-79.5
U of Hamburg	90	-78.5

Tabelle 1. Die nördlichen und südlichen Datengrenzen für jeden Datensatz im Jahr 2019.

In Abbildung 7 haben wir die HadSST- und ERSST-Anomalien aufgetragen. Wie haben sie diese Anomalien aus den Messungen in Abbildung 6 erhalten?

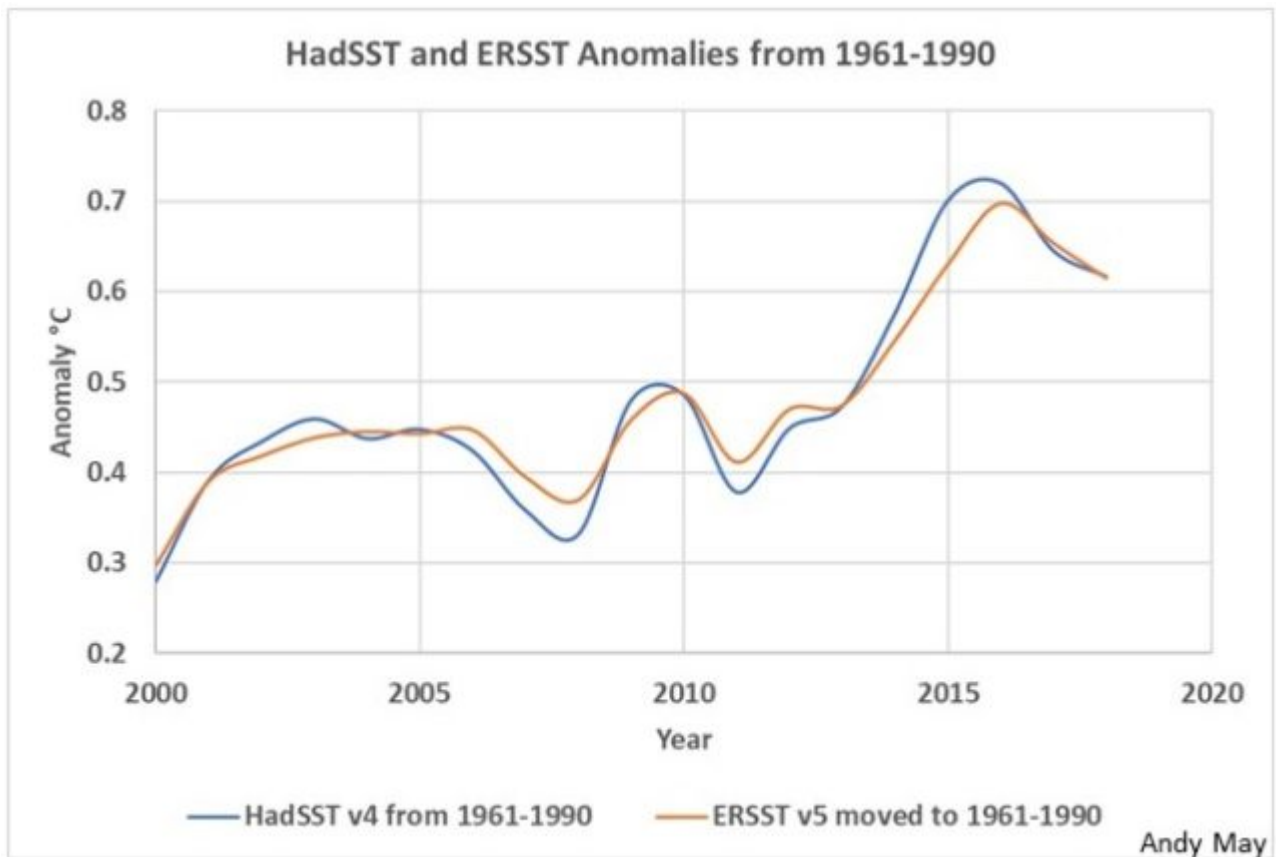


Abbildung 7. HadSST und ERSST Version 4 Temperaturanomalien.

Der HadSST-Datensatz wird von John Kennedy und seinen Kollegen an der MET Hadley Climatic Research Unit gepflegt (Kennedy, Rayner, Atkinson, & Killick, 2019). Sie stellen fest, dass sich ihr Datensatz von ERSST unterscheidet und geben zu, dass dies auf die Unterschiede bei den Korrekturen und Anpassungen der Rohdaten zurückzuführen ist. Kennedy erwähnt, dass die SST „entscheidend zur Charakterisierung des Klimas der Erde beiträgt.“ Wir stimmen zu. Kennedy schreibt auch:

„Eine der größten Unsicherheitsquellen bei Schätzungen der globalen Temperaturänderung ist die Korrektur systematischer Fehler bei Messungen der Meeresoberflächentemperatur (SST). Trotz der jüngsten Arbeiten zur Quantifizierung und Reduzierung dieser Fehler in der gesamten historischen Aufzeichnung bleiben die Unterschiede zwischen den Analysen größer als durch die geschätzten Unsicherheiten erklärt werden kann.“ (Kennedy, Rayner, Atkinson, & Killick, 2019)

Ein Blick auf Abbildung 6 bestätigt, dass diese Aussage richtig ist. Der größte Teil von Kennedys 90-seitiger Studie katalogisiert die Schwierigkeiten bei der Erstellung einer genauen SST-Aufzeichnung. Er stellt fest, dass selbst subtile Änderungen in der Art und Weise, wie SST-Messungen vorgenommen werden, zu systematischen Fehlern von bis zu einem Grad führen können, und das ist die geschätzte globale Erwärmung des 20. Jahrhunderts. Wir glauben nicht, dass die SST-Aufzeichnung von 1850 bis 2005 sinnvoll ist. Die mehrdeutigen Datenquellen (hauptsächlich Schiffsmessungen mit Eimern bis zum Zweiten Weltkrieg und Messungen im Kühlwasser der Schiffsmotoren danach) sowie die ungenauen Korrekturen ersticken jedes potenzielle Klimasignal. Die Daten sind seit 2005 viel besser, aber Abbildung 6 zeigt große Unterschiede

in den Zusammenstellungen der verschiedenen Agenturen. Als nächstes überprüfen wir die Definitionen der Agenturen für die in Abbildung 6 dargestellten Variablen.

[Es folgt eine genaue Beschreibung der verschiedenen Datensätze. Wem das zu theoretisch ist, der gehe gleich zum Abschnitt „Schlussfolgerungen“. Weil der Übersetzer aber interessant findet, wie unterschiedlich Temperatur-Rohdaten bearbeitet werden nebst den daraus resultierenden Unterschieden der als „absolut“ angegebenen Temperaturwerte, sind diese Bewertungen hier mit übersetzt. Anm. d. Übers.]

Der HadSST 4-Datensatz des UKMO

Diese Daten wurden aus einer [HadSST](#) NetCDF-Datei gelesen. NetCDF-Dateien sind die Art und Weise, wie die meisten Klimadaten geliefert werden. Ich habe in einem [früheren Beitrag](#) erklärt, wie man sie mit R (einem hochwertigen kostenlosen [Statistikprogramm](#)) liest. Die Variable, die aus der HadSST-Datei gelesen wurde, war mit „tos“ beschriftet, es ist ein 5-Grad-Gitter aus Breiten- und Längengraden, definiert als „Meerwassertemperatur“. Die Dokumentation sagt, dass es sich um die Ensemble-Mitteltemperatur der Meeresoberfläche aus HadSST v4 handelt. Die angegebene Referenz ist die bereits erwähnte Arbeit von John Kennedy (Kennedy, Rayner, Atkinson, & Killick, 2019). HadSST verwendet Daten aus ICOADS Release 3, ergänzt durch Daten von Treibbojen des *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS). Kennedy erwähnt den Unterschied zwischen seinem Datensatz und ERSST v5, der in Abbildung 6 deutlich zu sehen ist. Die SST des Hadley Centre ist auf eine Tiefe von [20 cm](#) korrigiert.

ERSST v5 der NOAA

In Abbildung 6 stellen wir die jährlichen globalen Mittelwerte der [ERSST v5](#) NetCDF-Variable „sst“ dar, die als „Erweiterte rekonstruierte Meeresoberflächentemperatur“ definiert ist. Sie merken an, dass die tatsächliche Messtiefe von 0,2 bis 10 m variiert, aber alle Messungen sind auf die optimale Bojenmesstiefe von 20 cm korrigiert, genau die gleiche Referenztiefe wie HadSST. Wie HadSST bezieht auch ERSST seine Daten aus ICOADS Release 3 und verwendet Argo-Float- und Driftbojen zwischen 0 und 5 m zur Berechnung der SST. Dies ist sinnvoll, da ERSST mit dem Datensatz der Universität Hamburg und den MIMOC (mixed layer)-Datensätzen der NOAA übereinstimmt, die ebenfalls stark auf Argo-Float-Daten beruhen. Wie oben besprochen, sollten die SST (bei 20 cm) und die Mischschichttemperatur fast immer gut übereinstimmen. Die ERSST-Anomalien, die in Abbildung 7 aufgetragen sind, stammen von der Variable „ssta“. Ich habe ssta auf die HadSST-Referenzperiode von 1961-1990 verschoben, von der ursprünglichen Referenz von 1970-2000. Die grundlegende Referenz zu ERSST v5 ist ein Beitrag von Boyin Huang und Kollegen (Huang, et al., 2017).

Wie Kennedy geht auch Boyin Huang direkt auf die Unterschiede zwischen ERSST und HadSST ein. Huang glaubt, dass die Unterschiede auf die unterschiedlichen Korrekturen an den Rohdaten zurückzuführen sind, die vom Hadley Centre und der NOAA angewendet wurden.

NOAA MIMOC

Das globale Mittel der „konservativen Temperatur“ der [NOAA-MIMOC](#) ist in [Abbildung 6](#) als Kasten dargestellt, der auf die ERSST-Linie fällt. Sie wird als ein Punkt im Jahr 2006 eingezeichnet, weil der MIMOC-Datensatz Argo- und Bojendaten über mehr als 12 Jahre verwendet, die auf dieses Jahr zentriert sind. Die globale Durchschnittstemperatur all dieser Daten beträgt 13,87°C von 0 bis 5 Meter Tiefe. Die konservative Temperatur ist nicht dasselbe wie die SST. Die SST wird gemessen, die [konservative Temperatur](#) wird so berechnet, dass sie mit dem Wärmeinhalt des Wassers in der Mischungsschicht übereinstimmt und den Salzgehalt und die Dichte des Wassers berücksichtigt. Wir würden jedoch erwarten, dass die SST sehr nahe an der konservativen Temperatur liegt. Da die konservative Temperatur den Wärmeinhalt der Mischungsschicht genauer charakterisiert, ist sie für Klimastudien nützlicher als die SST. Die primäre Referenz für diesen Datensatz ist die bereits erwähnte Arbeit von Schmidtko (Schmidtko, Johnson, & Lyman).

Der Datensatz der Universität Hamburg

Der [Datensatz](#) der Universität Hamburg ist MIMOC insofern ähnlich, als dass es nicht nach Jahren unterteilt ist, sondern alle verfügbaren Daten der letzten 20 bis 40 Jahre zusammenfasst, um einen hochauflösenden Datensatz und eine Reihe von Gitterpunkten für die Ozeantemperatur nach Tiefe zu erstellen. Wie ERSST und MIMOC stützt es sich stark auf Argo- und Bojendaten. Die globale Durchschnittstemperatur der oberen fünf Meter der Ozeane in diesem Datensatz beträgt 13,88°C und unterscheidet sich damit kaum vom MIMOC-Wert. Die verwendete NetCDF-Variable ist „Temperatur“. Sie ist definiert als die „optimal interpolierte Temperatur“. In der Dokumentation steht, dass es sich um die SST handelt, nicht um die „konservative Temperatur“. Der Wert ist jedoch nahezu identisch mit der konservativen Temperatur. Die Hauptreferenz für diesen Datensatz ist ein Ocean Science-Artikel von Viktor Gouretski (Gouretski, 2018).

NOAA ICOADS

Die NOAA ICOADS-Linie in [Abbildung 6](#) wurde vom [KNMI Climate Explorer](#) heruntergeladen und mit „sst“ beschriftet. Die Beschreibung lautet: „*Sea Surface Temperature Monthly Mean at Surface*“. Die Daten von ICOADS Version 3 werden in allen anderen hier beschriebenen Datensätzen der Behörde verwendet, aber die Organisation führt nicht viele Analysen durch. Nach eigenem Bekunden [bieten](#) sie ein paar „einfache gerasterte monatliche zusammenfassende Werte“ an. Ihre Linie ist in [Abbildung 6](#) als Referenz dargestellt, aber es ist keine ernsthafte Analyse und sollte wahrscheinlich ignoriert werden. Sie hilft zu zeigen, wie ungenau die Daten sind.

Jamstec ML Temperatur

Das [Jamstec MILA GPV](#)-Produkt passt gut zu HadSST, wie in [Abbildung 6](#) zu sehen ist. Diese Linie stammt von der NetCDF-Variablen „MLD_TEMP“. Sie ist die [zentrale Temperatur](#) der Mischungsschicht. Die Temperatur ist keine echte „konservative Temperatur“, aber die Art und Weise, wie sie berechnet wird, stellt sicher, dass sie nahe diesem Wert liegt. Die Referenz für dieses

Produkt ist ein Artikel im *Journal of Oceanography* von Shigeki Hosada und Kollegen (Hosada, Ohira, Sato, & Suga, 2010). Jamstec verwendet hauptsächlich Argo-Float- und Bojendaten.

Schlussfolgerungen

Die in Abbildung 6 gezeigte Gesamttemperaturspanne beträgt mehr als 5,5 °C, und dennoch gehen diese Agenturen im Wesentlichen von denselben Daten aus. Dies ist kein Versuch, die SST und die Temperatur der gemischten Schicht vor hundert Jahren zu charakterisieren, sondern ein Versuch, uns die durchschnittliche Oberflächentemperatur des Ozeans heute zu sagen. Um Abbildung 6 in die richtige Perspektive zu rücken: Der gesamte Wärmeinhalt unserer Atmosphäre beträgt ungefähr $1,0 \times 10^{24}$ Joule. Der Unterschied zwischen der HadSST-Linie in Abbildung 6 und der ERSST-Linie beträgt unter der Annahme einer durchschnittlichen Mischschichttiefe von 60 Metern (von Jamstec) $3,9 \times 10^{23}$ Joule oder fast 39% der gesamten Wärmeenergie in der Atmosphäre.

Ich habe keine Ahnung, ob die Temperaturen von HadSST oder von ERSST korrekt sind. Sie können nicht beide korrekt sein. Ich neige zu den ERSST-Temperaturen, da es schwer ist, einen 18-Grad-Ozean in einer [15-Grad-Welt](#) zu haben, aber warum sind dann die HadSST-Temperaturen so hoch? Die wichtigste Variable, um festzustellen, wie schnell sich die Welt erwärmt oder abkühlt, ist die Aufzeichnung der Ozeantemperatur. Seit etwa 2004 haben wir bessere Daten zur Verfügung, aber offensichtlich kein vereinbartes Verfahren, um sie zu analysieren. Wenn es um die globale Erwärmung (oder vielleicht die globale Abkühlung) geht, lautet die beste Antwort: Wir wissen es nicht.

Angesichts der Tatsache, dass die Ozeane 71 % der Erdoberfläche bedecken und 99 % der Wärmekapazität enthalten, sind die Unterschiede in Abbildung 6 enorm. **Diese Diskrepanzen müssen aufgelöst werden, wenn wir jemals einen Klimawandel, ob menschlich oder natürlich, feststellen wollen.**

[Hervorhebung vom Übersetzer]

I processed an enormous amount of data to make this post, I think I did it correctly, but I do make mistakes. For those that want to check my work, you can find my R code [here](#).

None of this is in my new book [Politics and Climate Change: A History](#) but buy it anyway.

You can download the bibliography [here](#)

Link:

<https://wattsupwiththat.com/2020/12/13/the-ocean-mixed-layer-sst-and-climate-change/>

Übersetzt von [Chris Frey](#) EIKE

Anmerkung M. Limburg

Es ist sehr erfreulich, dass nun, 10 Jahre nach meinem Versuch, die unvermeidlichen und fast immer unbekannt systematischen Fehler jeder historischen meteorologischen Messung, in einer Dissertation öffentlich zu machen, deren Ergebnisse eine so umfassend begründete und überzeugende Bestätigung bekommen haben. **Dank an Andy May!**