

# Temperatur der Meeresoberfläche



Der Versuch, die Richtung, Geschwindigkeit und Ausmaß des Klimawandels durch Messung und Mittelwertbildung der atmosphärischen Oberflächentemperaturen aufzuzeigen, ist meiner Meinung nach sinnlos. Die Aufzeichnungen, die wir über die atmosphärischen und ozeanischen Oberflächentemperaturen haben, sind zu kurz und viel zu ungenau, um uns nützliche Trends auf einer klimatischen Zeitskala (30 Jahre +) zu liefern. Außerdem handelt es sich bei diesen Aufzeichnungen um sporadische Messungen in einer chaotischen Oberflächenebene, die große Temperaturschwankungen aufweist. In Montana, USA, zum Beispiel, lag die **Tiefst- und Höchsttemperatur** in letzter Zeit bei  $-57^{\circ}\text{C}$  bzw.  $47^{\circ}\text{C}$ . Diese enormen Schwankungen machen es äußerst schwierig, globale Durchschnittsunterschiede von  $0,1^{\circ}\text{C}$  von Jahr zu Jahr zu messen. Dies ist jedoch die Genauigkeit, die erforderlich ist, um ein Klima richtig zu charakterisieren, das sich nur mit einer Rate von etwa  $1,4^{\circ}\text{C pro Jahrhundert}$  erwärmt, was  $0,014^{\circ}\text{C pro Jahr}$  und  $0,14^{\circ}\text{C/Dekade}$  entspricht.

Die Messungen sind besonders nützlich für die Vorhersage des Wetters, aber ungeeignet für die Messung von Änderungen von weniger als einem halben Grad über klimatische Zeitspannen. Wir müssen für diesen Zweck etwas Stabileres und weniger Chaotisches messen. Dieser und der nächste Beitrag zeigen, dass die Mischschicht im Ozean für diese Aufgabe gut geeignet zu sein scheint.

Meiner Meinung nach müssen wir, um die Richtung und Geschwindigkeit der globalen Erwärmung richtig in den Griff zu bekommen, die Temperaturveränderungen im Ozean betrachten. Besonders die Teile des Ozeans, die in ständigem Kontakt mit der Atmosphäre stehen. Bei sehr langfristigen Klimaveränderungen, d.h. über einen Zeitraum von tausend Jahren, ist der gesamte Ozean betroffen. Aber für Zeiträume von hundert Jahren oder weniger haben wir es hauptsächlich mit den oberen paar hundert Metern des Ozeans zu tun.

Das Temperaturprofil des oberen Ozeans ist sehr komplex. Dies wird durch die schlechte Qualität unserer Messungen der Oberflächentemperatur des Ozeans erschwert, insbesondere vor der Einführung von **Argo-Bojen** und anderen Bojenmessungen im Ozean wie den **Triton-Bojen** in den letzten 20 Jahren. Schiffe decken nur einen begrenzten Bereich des Ozeans ab und die Tiefe, Konsistenz und Qualität ihrer Temperaturmessungen sind unsicher. Satellitenmessungen des obersten Teils des Ozeans sind möglich, aber diese Messungen werden durch den so genannten Ozean-Skin-Effekt erschwert.

## Die Ozean-Haut

An der Ozean-Luft-Grenzfläche ändern sich die Temperaturen schnell. Das Ausmaß der Änderung und die Dicke der betroffenen obersten Ozeanhaut wird durch die Bewölkung, ob es Tag oder Nacht ist, und die Windgeschwindigkeit bestimmt. Diese „Haut“ ist an ruhigen, wolkenlosen Tagen dicker und in der Nacht und an windigen, bewölkten Tagen dünner. Die Temperatur an der Ozean-Luft-Grenzfläche („SST“) ist das, was von Radiometern und Satelliten gemessen wird. Leider ist die Beziehung zwischen dieser Temperatur und der stabileren Temperatur der gemischten Schicht oder der „Basistemperatur“ unbekannt. Die Beziehung ändert sich schnell und ist kompliziert. Es wurden verschiedene Modelle vorgeschlagen (Horrocks, O’Carroll, Candy, Nightingale, & Harris, 2003), aber keines hat die erforderliche Zuverlässigkeit und Genauigkeit.

Erschwerend kommt hinzu, dass sich direkt an der Oberfläche eine Population von Cyanobakterien befindet, die daran arbeitet, die Temperatur zu verändern und den Salzgehalt des Oberflächenwassers zu senken (Wurl, et al., 2018). Das Problem der Meeresoberflächentemperatur lässt sich am besten mit dem Diagramm in Abbildung 1 veranschaulichen, das von der *Group for High Resolution Sea Surface Temperature (GHRSSST)* stammt. Sie sind bestrebt, die Hautschicht des Ozeans zu verstehen, damit Satellitenmessungen der Meeresoberflächentemperatur angemessen mit gemessenen Ozeantemperaturen kombiniert werden können.

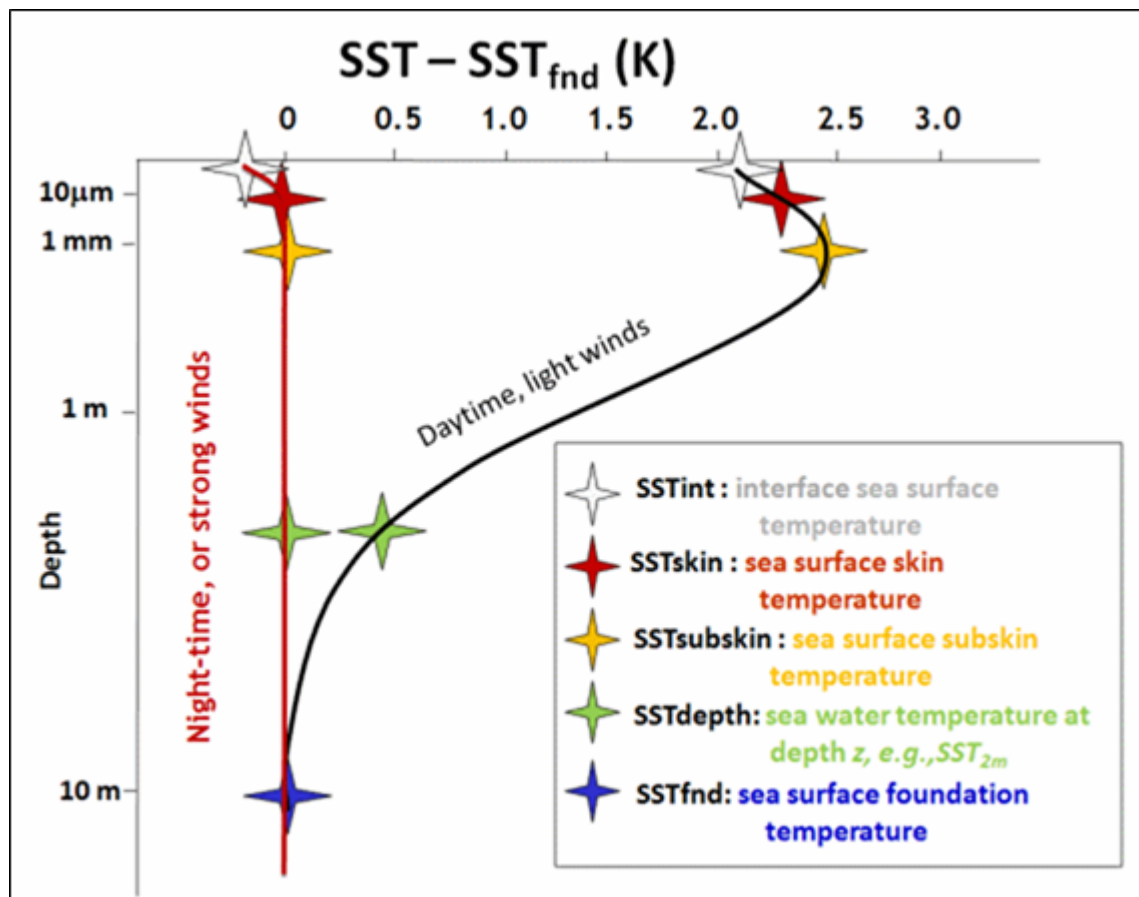


Abbildung 1. Das GHRSSST-Diagramm der Temperatur an der Meeresoberfläche. Die Meeresbedingungen, insbesondere die Windgeschwindigkeit und die Tages- oder Nachtzeit, können einen Unterschied von 2,5 °C oder mehr im Temperaturgradienten von der Oberfläche zur Temperatur des Untergrunds (stabiler Teil der Mischschicht) ausmachen. Die Tiefe bis zum oberen Ende des

stabilen Teils der Mischschicht kann zwischen Null und 10 Metern variieren. Quelle: [GHRSSST](#).

Der Temperaturunterschied zwischen der SST und dem stabilen Teil der Mischschicht kann täglich drei bis sechs Grad betragen (Wick & Castro, 2020). Wie Gary Wick und Sandra Castro erklären:

*„Der Tageszyklus der Sonneneinstrahlung führt zu einer periodischen Erwärmung der oberflächennahen Schicht des Ozeans. Bei geringen Windgeschwindigkeiten wird die turbulente Durchmischung reduziert und es kann sich tagsüber eine warme Schicht und eine tageszeitliche Thermokline nahe der Meeresoberfläche bilden. In der Nacht wird diese Schicht durch die Durchmischung normalerweise abgetragen. Während die Amplitude der täglichen Erwärmung im Durchschnitt relativ klein ist [0,5 K], kann die Erwärmung an der Oberfläche, die von Satelliten erfasst wird, unter Bedingungen mit sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten und ausreichender Sonneneinstrahlung sehr signifikant sein... In-situ-Beobachtungen haben eine Erwärmung von mehr als 5 K in Tiefen von 0,3-0,6 m gezeigt. Satellitenbeobachtungen von mehreren Sensoren haben extreme Erwärmungsereignisse von bis zu 7 K an der Oberfläche beobachtet, und es wurde vermutet, dass Ereignisse von mehr als 5 K nicht selten sind.“ (Wick & Castro, 2020)*

Die Temperaturen im Zitat sind in Kelvin (K) angegeben und entsprechen Grad Celsius. Der Hauptpunkt ist, dass außergewöhnlich große Unterschiede in der SST des Ozeans bei ruhigen Bedingungen an klaren (wolkenlosen) Tagen auftreten. Abbildung 1 zeigt, dass die Temperaturerhöhungen das Wasser bis zu einer Tiefe von zehn Metern betreffen können. Aber Unterschiede von mehr als 0,5 °C sind fast immer auf den obersten Meter des Ozeans beschränkt. Wie wir im nächsten Beitrag über die gemischte Schicht sehen werden, werden diese bekannten Hautanomalien in Ozeantemperatur-Datensätzen ignoriert. Sie haben oft eine Messung, die als Nulltiefe gekennzeichnet ist, aber sie wird unter der Oberfläche gemessen, normalerweise in einer Tiefe von 20 cm oder mehr. Die Temperatur der Mischschicht wird oft als die Temperatur der Schicht definiert, die eine Temperatur innerhalb von 0,5°C der Oberflächentemperatur hat (Levitus, 1982). Dies ist nicht genau, gemeint ist die Temperatur des Ozeans direkt unter der Oberfläche, vielleicht 20 bis 100 cm. Außer an klaren, windstillen Tagen wird dies die „Grundtemperatur“ sein. In der Nacht und an bewölkten oder windigen Tagen wird die Temperatur immer die „Fundament“-Temperatur sein.

Die Mischschicht hat aufgrund der turbulenten Vermischung homogene Eigenschaften und die Verwendung einer Temperaturdifferenzgrenze von 0,5 °C ist eine bequeme Definition, die jedoch im Winter in der Nähe der Pole versagt, wo eine komplexere Definition erforderlich ist. Es wurden zahlreiche Methoden vorgeschlagen, zu viele, um sie hier aufzulisten, aber die komplexe Methode, die von James Holte und Lynne Talley (Holte & Talley, 2008) beschrieben wurde, wird derzeit bevorzugt. Ihre Technik wird heute weithin verwendet, um eine „Mischschichttiefe“ zu wählen, d. h. den Boden der Mischschicht. Sie ist notwendig, weil in den Polarregionen im Winter die tiefe Konvektion, angetrieben durch den Wärmeverlust an der Oberfläche, die Wassersäule bis zu 2000 Meter oder noch tiefer durchmischen kann. Wie wir im nächsten Beitrag sehen werden, wird in diesen Bereichen die Wärmeenergie von

der Oberfläche in die Tiefsee übertragen.

Es gibt viele Ozeantemperatur-Datensätze, und wir werden die Daten von mehreren von ihnen im nächsten Beitrag diskutieren. Abbildung 2 ist eine Darstellung der globalen durchschnittlichen Dezember-Ozeantemperaturen von der Oberfläche bis zu 140 Metern aus den [Datensätzen der Universität Hamburg](#). Diese Darstellung veranschaulicht die besprochenen Begriffe des Temperaturprofils mit echten globalen Daten.

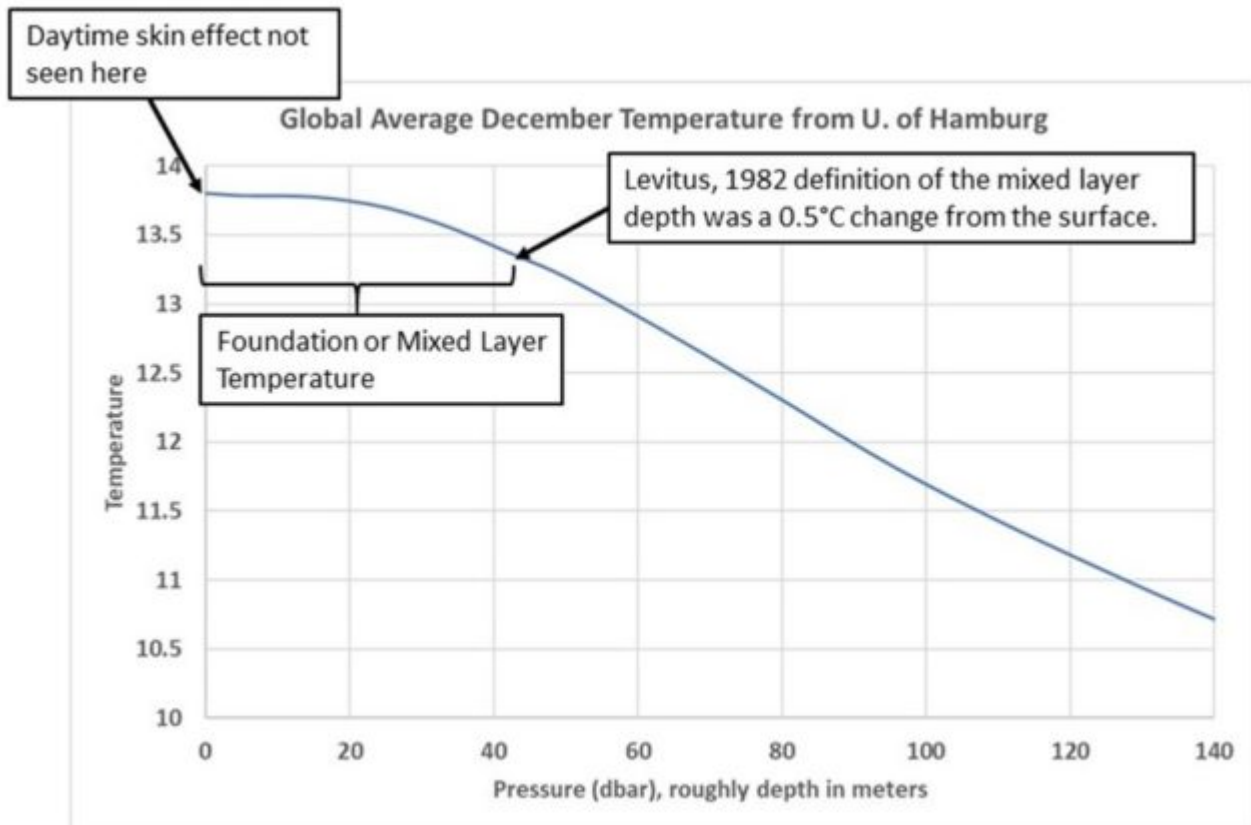


Abbildung 2. Globales durchschnittliches Dezember-Temperaturprofil von der Oberfläche bis 140 Meter. Diese Grafik zeigt die „Basis“-Temperatur in der Mischschicht. Die Temperatur ist von der Oberfläche bis etwa 20 Meter nahezu konstant und beginnt dann zu sinken. Sobald sie sich um 0,5 °C von der Temperatur knapp unter der Oberfläche unterscheidet, ist die „Mischschichttiefe“ erreicht. Datenquelle: [Universität Hamburg](#).

Die von der Universität Hamburg ausgewiesenen Temperaturen sind Durchschnittstemperaturen über mehr als 12 Jahre und repräsentieren nicht ein bestimmtes Jahr. Die NOAA-MIMOC-Temperaturen, die wir im nächsten Beitrag betrachten werden, sind die gleichen. Abbildung 3 zeigt das durchschnittliche Jahr der Messungen und die Standardabweichung der Jahre.

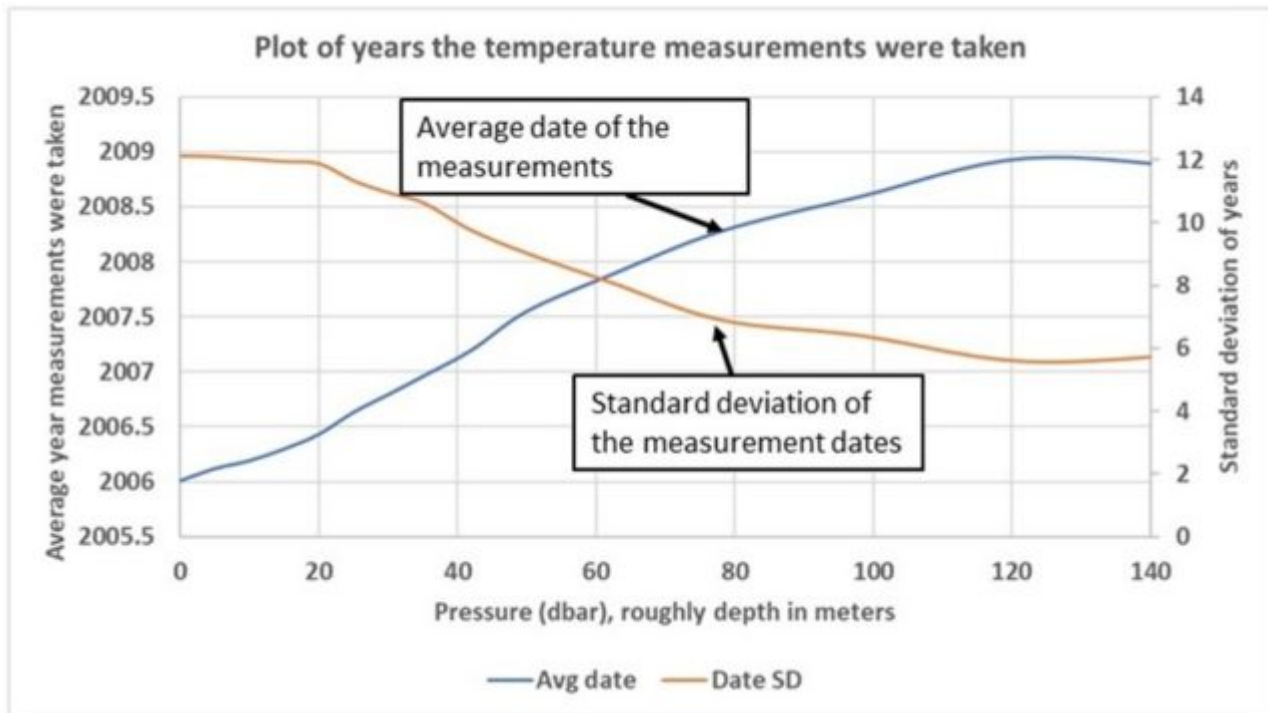


Abbildung 3. Die in Abbildung 2 verwendeten Daten stammen nicht aus einem einzigen Jahr, sondern sind der Durchschnitt der Daten aus über 12 Jahren. Das zentrale Jahr für jede Tiefe ist blau dargestellt (linke Skala) und die Standardabweichung aller verwendeten Jahre ist orange dargestellt (rechte Skala). Datenquelle: [Universität Hamburg](#).

Sowohl die Universität Hamburg als auch die NOAA räumen ein, dass die den Großteil ihrer Rohdaten ausmachenden Argo-Daten spärlich sind. Es gibt einen Schwimmer pro 3° Breiten- und Längengrad (~84.916 Quadratkilometer bei 40° Nord oder Süd, der alle zehn Tage ein vollständiges Profil an uns sendet. Die Universität und die NOAA haben beschlossen, dass sie, um den Mangel an Daten zu bekämpfen, monatliche Durchschnittswerte aller Daten, die sie finden konnten, zusammenstellen sollten. Wie wir im nächsten Beitrag sehen werden, treten die großen Veränderungen in der Mischschicht je nach Monat und Ort auf, so dass dies durchaus Sinn macht.

Oberhalb der Fundament- oder Mischschicht gibt es weitere Zonen, die in Abbildung 1 gekennzeichnet sind. Diese werden von GHRSSST wie folgt definiert. Ich habe den GHRSSST-Text der Übersichtlichkeit halber bearbeitet, der Originaltext kann [hier](#) eingesehen werden.

### Die Grenzflächentemperatur (SST<sub>int</sub>)

An der exakten Luft-Meer-Grenzfläche wird eine hypothetische Temperatur, die sogenannte Grenzflächentemperatur (SST<sub>int</sub>), definiert, die allerdings keinen praktischen Nutzen hat, da sie mit heutiger Technik nicht gemessen werden kann.

### Die Hauttemperatur der Meeresoberfläche (SST<sub>skin</sub>)

Die Meeresoberflächentemperatur (SST<sub>skin</sub>) ist definiert als die von einem Infrarot-Radiometer gemessene Temperatur, die typischerweise bei Wellenlängen von 3,7 bis 12 μm (aus Gründen der Konsistenz mit den meisten Infrarot-

Satellitenmessungen gewählt) gemessen wird und die Temperatur innerhalb der leitfähigen, von Diffusion dominierten Unterschicht in einer Tiefe von ~10-20 Mikrometern darstellt. SSTskin-Messungen unterliegen einem großen potenziellen Tageszyklus, der Auswirkungen der kühlen Hautschicht (besonders nachts bei klarem Himmel und geringer Windgeschwindigkeit) und solche der warmen Schicht während des Tages beinhaltet.

### **Die Unteroberflächentemperatur der Meeresoberfläche (SSTsub-skin)**

Die Subskin-Temperatur (SSTsubskin) stellt die Temperatur an der Basis der leitfähigen laminaren Unterschicht der Meeresoberfläche dar. Für praktische Zwecke kann die SSTsubskin gut an die Messung der Oberflächentemperatur durch ein Mikrowellenradiometer angenähert werden, das im Frequenzbereich von 6-11 GHz arbeitet, aber die Beziehung ist weder direkt noch invariant gegenüber wechselnden physikalischen Bedingungen oder der spezifischen Geometrie der Mikrowellenmessungen.

### **Die Oberflächentemperatur in der Tiefe (SSTz oder SSTdepth)**

Alle Messungen der Wassertemperatur unterhalb der SSTsubskin werden als Tiefentemperaturen (SSTdepth) bezeichnet, die mit einer Vielzahl von Plattformen und Sensoren wie driftenden Bojen, vertikale Profile messende Bojen (wie [Argo](#)) oder tiefen Thermistorketten in Tiefen von 10 bis 750 m (wie [Triton und Tao](#)) gemessen werden. Diese Temperaturbeobachtungen unterscheiden sich von denen, die mit Fernerkundungstechniken (SSTskin und SSTsubskin) gewonnen werden und müssen durch eine Messtiefe in Metern qualifiziert werden.

### **Die Basistemperatur (SSTfnd)**

Die Basis-SST, SSTfnd, ist die Temperatur, die frei vom Tagesgang der Temperatur ist. Das heißt, die Oberseite des stabilen Teils der Mischschicht. Nur die In-situ-Kontaktthermometrie kann die SSTfnd messen.

### **Schlussfolgerungen**

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die SST und die Lufttemperaturen zu sehr vom Wetter und der tageszeitlichen Variabilität beeinflusst werden, um Klimaveränderungen zuverlässig und präzise zu messen. Die Gesamttemperaturen des Ozeans oder der Tiefsee geben uns einen Hinweis auf lange klimatische Veränderungen von tausend Jahren oder mehr, aber sie sagen uns wenig über Veränderungen im Hundert-Jahre-Zeitraum.

Die ozeanische Mischschicht ist eine Zone, die zwischen einem Millimeter und etwa zehn Metern unterhalb der Meeresoberfläche beginnt. Oberhalb dieser Tiefe werden die Temperaturen Minute für Minute von der Atmosphäre und dem Sonnenlicht beeinflusst. Nachts bewegt sich die Oberseite der Mischschicht näher an die Oberfläche, kann aber durch Windgeschwindigkeit, Niederschlag und Bewölkung beeinflusst werden. Unterhalb des oberen Teils der Mischschicht ist die Temperatur stabiler als in der Atmosphäre und an der Meeresoberfläche. Die Temperatur, der Salzgehalt und die Dichte der Schicht sind aufgrund von Turbulenzen von oben nach unten nahezu konstant. Sie



spiegelt die Oberflächentemperaturen wider, ist aber eine Funktion des Durchschnitts der vorangegangenen mehreren Wochen. Die Dicke der gemischten Schicht variiert saisonal von einigen zehn Metern bis zu mehreren hundert Metern. Wir werden die gemischte Schicht im nächsten Beitrag ausführlicher behandeln.

*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://andymaypetrophysicist.com/2020/12/09/sea-surface-skin-temperature/>

Übersetzt von Chris Frey EIKE

Anmerkung: Der wiederholt angesprochene nächste Beitrag erscheint demnächst ebenfalls hier in deutscher Übersetzung.