

Effizienz der nach unten gerichteten IR-Strahlung

geschrieben von Chris Frey | 2. März 2026

[Andy May](#)

Die Sonnenstrahlung dringt (je nach Wellenlänge und Wassertrübung) bis zu einer Tiefe von 10 bis 100 Metern in die Ozeane ein und erwärmt direkt die **Misch-Schicht** des Ozeans. Die Infrarotstrahlung (IR) der Treibhausgase (THG) wird aufgrund ihrer langen Wellenlänge in den oberen ~10 Mikrometern (der thermischen oder elektromagnetischen **Hautschicht** oder „TSL“) absorbiert, wo sie Temperaturgradienten, Verdunstung und Wärmeleitung beeinflusst. Die TSL liegt oberhalb der Mischschicht und hat eine andere Temperatur. Unterhalb der TSL kann sich, insbesondere tagsüber oder bei sehr schwachem Wind, ein Temperaturgradient zwischen ihr und der „Grundtemperatur“ oder der Temperatur der Mischschicht entwickeln (siehe Abbildung 1). Die vertikal nahezu konstante Temperatur der Mischschicht wird durch Turbulenzen und Konvektion aufrechterhalten und folgt den Trends der darüber liegenden Lufttemperatur (jedoch nicht der tatsächlichen Lufttemperatur) um einige Tage bis einige Wochen oder sogar länger, je nach Jahreszeit und Breitengrad. Höhere Breitengrade reagieren langsamer und niedrigere Breitengrade schneller; die Windgeschwindigkeit hat einen großen Einfluss auf die Verzögerung.

Neben Veränderungen der atmosphärischen Temperatur reagiert die Mischschicht auch auf Veränderungen der Ozeandynamik (Strömungen usw.). Die Veränderungen der Ozeandynamik variieren ebenfalls je nach Jahreszeit und Breitengrad und können eine wichtige Rolle bei mehrjährigen und multidekadischen **Veränderungen** (z. B. ENSO, AMO und PDO usw.) der Temperatur dieser Schicht spielen (Patrizio & Thompson, 2021). Veränderungen in der Ozeandynamik und die höhere Wärmekapazität der Mischschicht führen dazu, dass sie die schnelleren Veränderungen in der unteren Atmosphäre und in der TSL ausgleicht. Die Wechselwirkung zwischen der Atmosphäre und der Mischschicht erfolgt nicht nur von der Atmosphäre zur Mischschicht, sondern in beide Richtungen (Patrizio & Thompson, 2021).

Die Sichtweise des Mainstream

Die vorherrschende Meinung ist, dass die IR-Strahlung der Treibhausgase die TSL erwärmt, wodurch der Wärmeleitungsverlust aus der Mischschicht reduziert wird, was zu einem Anstieg des gesamten Wärmegehalts der Ozeane (OHC) führt. Es ist klar, dass sowohl der OHC als auch die Temperaturen in den letzten Jahrzehnten gestiegen sind, aber ist diese Erwärmung auf vom Menschen verursachte Treibhausgase zurückzuführen? Abbildung 1 ist eine schematische Darstellung aus GHR SST (Minnett & Kaiser-Weiss, 2012), welche die elektromagnetische Hautschicht oder TSL

zeigt, wo die gesamte IR-Strahlung der Treibhausgase absorbiert wird.

Wong & Minnett (2018) zeigen, dass IR die Krümmung der thermischen Hautschicht anpasst und so die molekulare Wärmeleitung aus der darunter liegenden Mischschicht reduziert. Sie untersuchten die Rate der nach unten gerichteten IR-Strahlung an klaren Tagen im Vergleich zu bewölkten Tagen und stellten fest, dass eine erhöhte nach unten gerichtete IR-Strahlung (aufgrund von Wolken) den TSL-Gradienten abflacht. Dies senkte den Netto-Wärmefluss des Ozeans nach oben und führte dazu, dass sich mehr absorbierte Sonnenwärme aus tieferen Schichten der Wassersäule im oberen Ozean ansammelte anstatt zu entweichen. Ihre Analyse von Spektren und Profilen stützt die Modulation der oberen OHC durch diesen Prozess. Da ihre Daten jedoch qualitativ und nicht quantitativ sind, wissen wir nicht, wie viel der Erwärmung des Ozeans auf die Erwärmung der Atmosphäre in den letzten Jahrzehnten zurückzuführen ist und wie viel auf einen Anstieg der Wärme durch absorbierte anthropogene Treibhausgas-IR in der TSL.

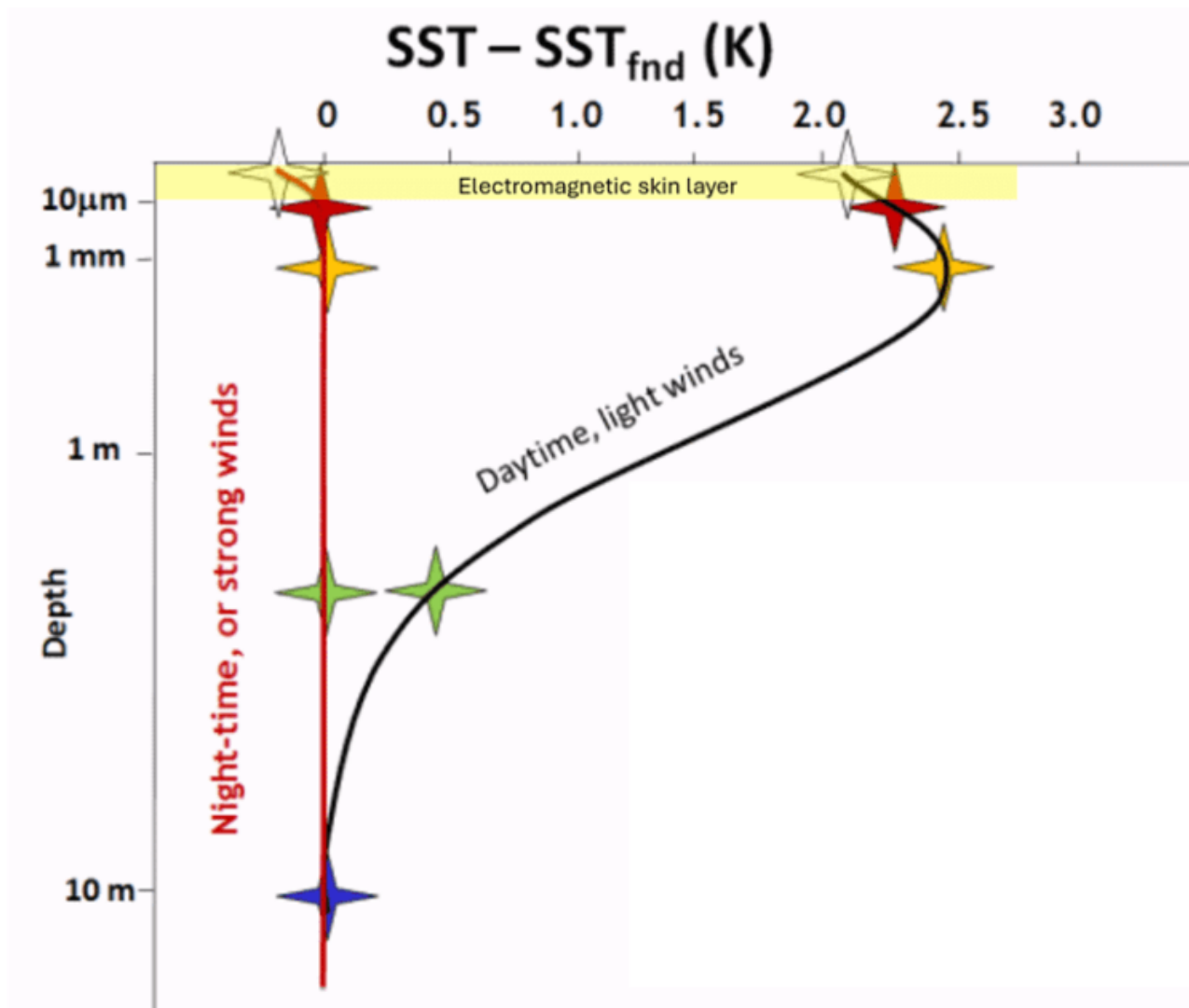


Abbildung 1. Schematische Darstellung hypothetischer Temperaturprofile der oberen Meeresoberfläche bei Tag und Nacht. Die roten Sterne und die

gelbe Schattierung kennzeichnen die Basis der elektromagnetischen Hautschicht oder TSL. Dies ist die Schicht, welche die gesamte IR-Strahlung der Treibhausgase absorbiert. Nach: (Minnett & Kaiser-Weiss, 2012).

Die in der TSL eingefangene IR-Strahlung der Treibhausgase wird größtenteils zurückgehalten, da sie nur durch molekulare Leitung, als emittierte Strahlung oder durch Verdunstung entweichen kann. Der Energiefluss ist netto nach oben in die Atmosphäre gerichtet. Ein Teil der von der TSL emittierten Strahlung gelangt nach unten in die Mischschicht, aber im Nettoergebnis gelangt sie in die (im Durchschnitt) kühlere Atmosphäre. Die Atmosphäre teilt ihre Wärmeenergie mit der Mischschicht durch Konvektion, Turbulenzen und in geringerem Maße durch Wärmeleitung. Dies geschieht durch Wind und Niederschläge. Wie oben erläutert, ist dies ein viel langsamerer Prozess als die Absorption der IR-Strahlung der Treibhausgase in der TSL.

Es gibt zwei Prozesse

Zwei Prozesse spielen hier eine Rolle. Der eine ist, dass Energie aus der TSL, wie oben beschrieben, an die Atmosphäre abgegeben wird. Der andere ist die Erwärmung oder Abkühlung der Mischschicht durch die Atmosphäre. Letzteres beinhaltet die Vermischung der Luft mit dem Wasser der Mischschicht durch Wellen und Turbulenzen, während diese versuchen, ein Gleichgewicht zu erreichen. Die relative Bedeutung dieser beiden Prozesse ist unbekannt und Gegenstand heftiger Debatten innerhalb der Klimagemeinschaft.

Gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden? Nur in der Wahrnehmung der Ursache. Wir wissen, dass Veränderungen der Sonnenstrahlung sich direkt auf den Energiegehalt und die Temperatur der Mischschicht auswirken. Wenn zusätzliche in der TSL absorbierte IR-Strahlung von Treibhausgasen das Temperaturprofil des oberen Ozeans verändert, kann dies zum gleichen Ergebnis führen, wird jedoch als anthropogener Effekt wahrgenommen. Beide Prozesse können am Werk sein, aber welcher ist stärker? Der Sonderbericht des IPCC über den Ozean und die Kryosphäre (IPCC, 2022) behauptet, dass 90 % der zusätzlichen Wärme im Klimasystem von den Ozeanen absorbiert wurden, geht jedoch davon aus, dass die gesamte zusätzliche Wärme anthropogen ist, und spekuliert nicht über den Prozess, durch den die Wärme in den Ozean gelangt, es könnte sich um einen der beiden Prozesse oder um beide handeln.

Die Sichtweise der Kritiker

Kritiker argumentieren, dass IR die Mischschicht nicht nennenswert erwärmen kann, da es nicht bis zu ihrer Oberfläche vordringt; stattdessen verstärkt es vor allem die Verdunstung, wodurch die Meeresoberfläche abgekühlt wird. Die Daten zeigen gemischte Auswirkungen. Bei ruhigen Bedingungen kann IR die Oberfläche um 0,1–0,3

°C erwärmen, aber durch Windverwirbelungen wird diese Wärme schnell wieder abgeführt. Wind verstärkt auch die Verdunstung (Yu, 2007b). Die TSL-Temperatur wird durch Turbulenzen kaum beeinflusst, aber stark durch die IR-Strahlung von Treibhausgasen.

Die Kritiker weisen darauf hin, dass die TSL an der Meeresoberfläche die gesamte Treibhausgasstrahlung einfängt. Der Prozess für den Wärmetransport innerhalb dieser Schicht ist die molekulare Wärmeleitung und nicht die Turbulenz (Soloviev & Lukas, 2014) & (Wong & Minnett, 2018). Die Richtung des Wärmeflusses verläuft normalerweise vom Ozean zur Atmosphäre, so dass die Wärme der absorbierten langwelligen Strahlung nach oben zur Meeresoberfläche und schließlich in die Atmosphäre geleitet wird. Wie Wong und Minnett jedoch zeigen, erwärmt die IR die Meeresoberfläche, was die Abkühlung der Mischschicht etwas verlangsamen dürfte, indem es den Wärmeverlust der Mischschicht verringert.

Wir haben nicht wirklich genügend Daten, um sicher zu sein, welcher der beiden Prozesse dominiert. Die zentrale Annahme, welche die Konsensmeinung stützt, dass der Anstieg des Wärmegehalts der Ozeane (OHC) auf die zusätzliche Erwärmung durch Treibhausgase zurückzuführen ist lautet, dass die Sonneneinstrahlung in das Klimasystem konstant ist. Daher argumentieren sie, dass bei einem Anstieg des OHC es sich aufgrund des Ausschlussverfahrens um zusätzliche Treibhausgase handeln muss. Diese Meinung basiert auf Modellen und nicht auf nachgewiesenen Fakten.

Es ist anzunehmen, dass die zusätzliche IR-Strahlung der Treibhausgase, wenn sie in einer etwa 10 Mikrometer dicken Schicht an der Meeresoberfläche eingeschlossen ist, schnell wieder in die Atmosphäre zurückgeführt wird. Ist dies mehr oder weniger als die thermische Energie solarer Herkunft, die eine wärmere TSL teilweise in der Mischschicht einschließt? Ich weiß es nicht und habe keine Messungen gesehen, die die relativen Mengen quantifizieren.

Wie genau kennt man die OHC?

Die Analyse der Studie von Wong und Minnett wird dadurch erschwert, dass die OHC-Trends nicht sehr genau bekannt sind. Dies gilt selbst heute noch, obwohl ARGO-Floats und präzise Bojen zur Verfügung stehen. Noch weniger ist über die OHC vor 2005 [bekannt](#), bevor die ARGO-Floats weit genug verbreitet waren, um gute Daten über die oberen 2.000 Meter der Ozeane zu liefern. Unterhalb von 2.000 Metern gibt es nur sehr wenige Daten. Vor 2005 beziehen sich unsere Informationen meist nur auf einen kleinen Teil der Mischschicht, nur wenige Zentimeter bis wenige Meter unter der Oberfläche. Es kann noch viele Jahrzehnte dauern, bis wir über genügend Daten verfügen, um vernünftige Trends in der OHC bis zu einer angemessenen Tiefe zu bestimmen. Trends in den Temperaturen der oberen Ozeanschichten können sich in Zyklen von über 60 Jahren ändern, wie im Fall der [AMO](#) (May & Crok, 2024). Andere multidekadische Ozeanoszillationen werden [hier](#) diskutiert.

Solare Variabilität

Wir haben gerade das längste solare Grand **Maximum** (SGMx) seit über 5.000 Jahren hinter uns gebracht. Könnte dies die Ursache für den zusätzlichen Wärmegehalt der Ozeane sein, oder zumindest ein Teil davon? Der Konsens besagt, dass die Veränderung der TSI während des SGMx im 20. Jahrhundert gering ist und wir uns ohnehin auf der Abwärtsseite befinden. Allerdings sind Veränderungen der TSI nicht die einzige Art und Weise, wie die Sonnenaktivität unser Klima beeinflusst (Lean, 2017), (Scafetta, 2023) und (Haigh, 2011). Die Welt ist wärmer als vor 100 Jahren, und die Mischschicht tendiert dazu, sich an die atmosphärische Temperatur anzupassen, aber sollten wir davon ausgehen, dass die atmosphärische Temperatur und die Mischschicht nur aufgrund zusätzlicher Treibhausgase wärmer sind? Ich denke nicht.

Der Temperaturunterschied über die TSL hinweg liegt zwischen 0,1 K bei hohen Windgeschwindigkeiten (>7 m/s) und 0,6 K bei niedrigen Windgeschwindigkeiten ($<2,5$ m/s) (Wong & Minnett, 2018). Die TSL ist immer vorhanden, außer bei vorübergehenden Unterbrechungen durch brechende Wellen und Niederschläge. Die Wiederherstellung der TSL nach Unterbrechungen dauert nur wenige Sekunden. Es scheint keinen Prozess zu geben, durch den die IR-Wärmeenergie in die Mischschicht gelangt, außer in geringen Mengen aufgrund molekularer Wärmeleitung. Der starke Temperaturgradient durch die TSL besteht aufgrund der geringen Effizienz der Wärmeübertragung durch molekulare Wärmeleitung (Wong & Minnett, 2018).

Diskussion

Wärmeverluste von der Meeresoberfläche durch Verdunstung und Strahlung entstehen innerhalb der TSL. Wie Wong und Minnett in ihrer Arbeit zeigen, wird es aufgrund einer höheren TSL-Temperatur zu einem Anstieg der gespeicherten OHC kommen. Ihre Studie schließt jedoch einen Anstieg der gespeicherten OHC bei einer wärmeren Atmosphäre nicht aus, unabhängig davon, warum die Atmosphäre wärmer ist. Das Verhältnis zwischen beiden Faktoren ist nicht bekannt. Der Konsens und der IPCC gehen davon aus, dass 90 % der überschüssigen OHC auf Treibhausgase zurückzuführen sind (IPCC, 2022, S. 9,83), aber ich habe keine Daten gesehen, die diesen Anteil belegen oder Aufschluss darüber geben, wie viel von diesen 90 % auf die einzelnen oben beschriebenen Prozesse zurückzuführen ist. Nur weil die Treibhausgase zunehmen und die Temperaturen steigen, bedeutet das nicht, dass die gesamte Erwärmung auf Treibhausgase zurückzuführen ist. Auch die Sonnenvariabilität muss berücksichtigt werden.

Das Argument, dass 90 % des kürzlich beobachteten Anstiegs der OHC auf zusätzliche vom Menschen verursachte Treibhausgas-IR zurückzuführen sind, welche die TSL erwärmen, erscheint mir wenig stichhaltig. Die Schlussfolgerung von Wong und Minnett, dass der beobachtete Anstieg des Wärmeinhalts der oberen Ozeanschicht darauf zurückzuführen ist, dass

mehr Wärme unter der TSL gespeichert wird, ist ebenfalls schwach. Es ist ebenso wahrscheinlich, dass eine Erwärmung der Atmosphäre aufgrund erhöhter Verdunstung und Strahlung aus der TSL sowie eine variable Sonneneinstrahlung zu einer Erwärmung der Mischschicht führen. Ich bin nicht skeptisch gegenüber den Daten von Wong und Minnett oder ihrer Analyse, ich glaube nur nicht, dass ihre Schlussfolgerungen oder die Schlussfolgerungen des IPCC daraus gerechtfertigt sind.

Download the bibliography [here](#).

Link:

<https://andymaypetrophysicist.com/2026/02/23/efficacy-of-downwelling-ir/>

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE