



KLIMA-ZUSTANDSBERICHT 2022

Ole Humlum

Klima-Zustandsbericht 2022

Ole Humlum

Report 56, The Global Warming Policy Foundation

© Copyright 2023, The Global Warming Policy Foundation

Über den Autor

Ole Humlum ist ehemaliger Professor für physische Geographie am Universitätszentrum in Svalbard, Norwegen, und emeritierter Professor für physische Geographie an der Universität Oslo, Norwegen.



Contents

<i>Über den Autor</i>	ii
<i>Allgemeine Zusammenfassung</i>	1
1. Lufttemperaturen	4
2. Atmosphärische Treibhausgase	19
3. Meerestemperaturen	22
4. Ozeanische Schwingungen	31
5. Meeresspiegel	33
6. Schnee und Eis	39
7. Tropenstürme und Hurrikane	44
<i>Written references</i>	47
<i>Datenquellen</i>	47
<i>Review-Prozess</i>	49
<i>Über die Global Warming Policy Foundation</i>	49





KLIMA- ZUSTANDSBERICHT 2022

Ole Humlum

Allgemeine Zusammenfassung

Der Schwerpunkt dieses Berichts liegt auf Beobachtungen und nicht auf den Ergebnissen numerischer Modelle, von einigen Ausnahmen abgesehen (z. B. Abbildung 38). Referenzen und Datenquellen sind am Ende des Berichts aufgeführt.

Lufttemperaturen

Die in der Nähe der Erdoberfläche gemessenen durchschnittlichen Lufttemperaturen (Oberflächenlufttemperaturen) bzw. ihre Abweichung vom für einen bestimmten Bezugszeitraum berechneten Durchschnitt stehen im Mittelpunkt vieler Klimaüberlegungen. Die Bedeutung der in diesen Datensätzen erfassten kurzfristigen Erwärmung oder Abkühlung sollte jedoch nicht überbewertet werden. Erstens blendet der Fokus auf Durchschnittswerte die Tatsache aus, dass wir alle täglich mit viel größeren Temperaturschwankungen zu tun haben. Zweitens findet bei warmen El Niño- oder kalten La Niña-Episoden auf der Erde ein großer Wärmeaustausch zwischen dem Pazifischen Ozean und der darüber liegenden Atmosphäre statt, der sich schließlich als Signal in der globalen Lufttemperatur niederschlägt. Diese spiegeln jedoch keine vergleichbaren Veränderungen im Gesamtwärmegehalt des Systems Atmosphäre-Ozean wider. Die globalen Nettoveränderungen könnten sogar gering sein; ein solcher Wärmeaustausch könnte vor allem die Umverteilung von Energie zwischen Ozean und Atmosphäre abbilden. Die Bewertung der Dynamik der Ozeantemperaturen ist daher ebenso wichtig wie die Bewertung von Änderungen der Oberflächenlufttemperaturen.

Im Vergleich zum gesamten Zeitraum seit 1850/1880 war das Jahr 2022 zwar warm, aber kühler als die meisten Jahre seit 2016. Eine moderate La Niña-Episode spielte sich im Laufe des Jahres ab, was die Bedeutung des Austauschs zwischen Ozean und Atmosphäre unterstreicht.

In vielen Regionen der Arktis wurden 2016 rekordverdächtig hohe Lufttemperaturen gemessen, aber seither, einschließlich 2022, sind die Bedingungen im Allgemeinen etwas kühler geworden. Der arktische Temperaturspitzenwert im Jahr 2016 wurde möglicherweise durch Ozeanwärme beeinflusst, die während des starken El Niño 2015-16 aus dem Pazifik freigesetzt und anschließend in die Arktis transportiert wurde. Dies unterstreicht, wie die arktischen Lufttemperaturen nicht nur durch Schwankungen der lokalen Bedingungen, sondern auch durch Schwankungen in geografisch weit entfernten Regionen beeinflusst werden können.

Viele Diagramme in diesem Bericht konzentrieren sich auf die Zeit ab 1979, dem Beginn des Satellitenzeitalters und dem Aufkommen einer breiten Palette von Beobachtungen mit

Ozeane

Das Argo-Programm deckt nun seit 19 Jahren die Weltmeere ab und ist von einer relativ spärlichen Anzahl von 1'000 Profilierungsschwimmern im Jahr 2004 auf mehr als 3'900 im Dezember 2021 angewachsen. Seit ihrer Einführung haben sie einen einzigartigen Datensatz zur Meerestemperatur in Tiefen bis zu 1'900 m geliefert. Die Daten werden derzeit bis August 2020 aktualisiert. Obwohl die Ozeane viel tiefer als 1'900 m sind und der Datensatz noch relativ kurz ist, lassen sich aus diesen Beobachtungen bereits jetzt interessante Merkmale erkennen.

Seit 2004 haben die oberen 1'900 m der Ozeane eine Nettoerwärmung von etwa 0,07°C erfahren. Die maximale Nettoerwärmung (etwa 0,2°C) betrifft die obersten 100 m. Dies ist vor allem in Regionen in Äquatornähe zu beobachten, wo die stärkste Sonneneinstrahlung auftritt. In größeren Tiefen ist zwischen 2004

Meeresspiegel

Der Meeresspiegel wird durch Satellitenaltimetrie und durch direkte Messungen mit Hilfe von Gezeitenpegeln an den Küsten überwacht. Während die von den Satelliten abgeleiteten Daten auf einen globalen Anstieg des Meeresspiegels von etwa 3,4 mm pro Jahr oder mehr hindeuten, deuten die Daten von Gezeitenpegeln in der ganzen Welt auf einen stabilen

nahezu globaler Abdeckung, einschließlich der Temperatur. Diese Daten geben einen detaillierten Überblick über die Temperaturveränderungen im Laufe der Zeit in verschiedenen Höhen der Atmosphäre. Sie zeigen unter anderem, dass seit 1995 ein Temperaturplateau in der Stratosphäre vorherrscht.

Seit 1979 sind die Temperaturen in der unteren Troposphäre sowohl über dem Land als auch über den Ozeanen gestiegen, am deutlichsten jedoch über dem Land. Die einfachste Erklärung für diese Beobachtung ist, dass ein Großteil der Erwärmung durch die Sonneneinstrahlung verursacht wird, aber es kann durchaus mehrere zusätzliche Gründe geben, wie z. B. Unterschiede in der Wärmekapazität und Veränderungen in der Wolkenbedeckung und Landnutzung.

und 2020 eine geringe Nettoerwärmung (etwa 0,025°C) zu verzeichnen.

Diese Entwicklung der globalen durchschnittlichen Ozeantemperaturen spiegelt sich in den äquatorialen Ozeanen zwischen 30°N und 30°S wider, die aufgrund der Kugelform des Planeten eine riesige Fläche ausmachen. Gleichzeitig ist jedoch in den nördlichen Ozeanen (55-65°N) im Durchschnitt eine deutliche Abkühlung bis zu einer Tiefe von 1400 m und eine leichte Erwärmung darunter zu verzeichnen. In den südlichen Ozeanen (55-65°S) ist seit 2004 im Durchschnitt eine leichte Erwärmung in den meisten Tiefen zu verzeichnen, aber hauptsächlich in der Nähe der Oberfläche. Durchschnittswerte können jedoch irreführend sein, und oft erhält man einen besseren Einblick, wenn man die Details untersucht, wie weiter unten in diesem Bericht beschrieben.

durchschnittlichen globalen Meeresspiegelanstieg von 1-2 mm pro Jahr hin. Die Messungen deuten nicht auf eine jüngste Beschleunigung (oder Verlangsamung) hin. Für den deutlichen Unterschied (ein Verhältnis von etwa 1:2) zwischen den beiden Datensätzen gibt es noch keine allgemein akzeptierte Erklärung, aber es ist bekannt, dass Satellitenbeobachtungen des

Meeresspiegels in küstennahen Gebieten kompliziert sind (siehe z. B. Vignudelli et al. 2019). Wie auch immer, für die lokale Küstenplanung

Meereis

Im Jahr 2022 lag die globale Meereisbedeckung weiterhin deutlich unter dem Durchschnitt der Satellitenära (seit 1979), wobei jetzt jedoch ein stabiler oder sogar steigender globaler Trend angezeigt wird. Ende 2016 erreichte die globale Meereisausdehnung ein deutliches Minimum, was zumindest teilweise auf das Wirken zweier unterschiedlicher natürlicher Zyklen zurückzuführen ist, die das Meereis in der nördlichen bzw. südlichen Hemisphäre prägen. Die beiden Zyk-

Schneedecke

Schwankungen in der globalen Schneedecke werden hauptsächlich durch Veränderungen in der nördlichen Hemisphäre verursacht, wo sich alle größeren Landgebiete befinden. Die Ausdehnung der Schneedecke auf der Südhalbkugel wird im Wesentlichen durch das antarktische Eisschild bestimmt und ist daher relativ stabil. Auch die durchschnittliche Schneedeckenausdehnung auf der Nordhalbkugel ist seit Beginn der Satellitenbeobachtungen mehr oder weni-

Tropenstürme und Hurrikane

Die jüngsten Daten über die akkumulierte Wirbelsturmenergie (ACE) von Tropenstürmen und Hurrikane liegen deutlich innerhalb der seit 1970 beobachteten Spanne. Die ACE-Reihe weist im Laufe der Zeit ein variables Muster auf, mit einer signifikanten Schwankung von 3,6 Jahren, jedoch ohne einen klaren Trend zu höheren oder niedrigeren Werten. Eine länge-

werden die Gezeitendaten bevorzugt, wie weiter unten in diesem Bericht erläutert wird.

len erreichten 2016 gleichzeitig ein Minimum, was sich auf die globale Meereisausdehnung auswirkte. Die entgegengesetzte Entwicklung hin zu einer stabilen oder höheren Meereisausdehnung an beiden Polen begann wahrscheinlich 2018 und hat sich seitdem verstärkt. Der deutliche Rückgang des antarktischen Meereises im Jahr 2016 wurde auch durch ungewöhnliche Windverhältnisse beeinflusst.

ger konstant, auch wenn es lokal und regional große jährliche Schwankungen geben kann. Betrachtet man die jahreszeitlichen Veränderungen in der nördlichen Hemisphäre seit 1979, so nimmt die Ausdehnung im Herbst leicht zu, im mittleren Winter ist sie im Wesentlichen stabil, und im Frühjahr ist sie leicht rückläufig. Im Jahr 2022 lag die saisonale Schneedeckenausdehnung auf der Nordhalbkugel in der Nähe des Durchschnitts von 1972 bis 2021.

re ACE-Reihe für das Atlantikbecken (seit 1850) deutet auf natürliche Rhythmen von 55,8 und 7,8 Jahren Dauer hin. Darüber hinaus liegen die modernen Daten über die Anzahl der an Land gehenden Hurrikane in den kontinentalen Vereinigten Staaten während des gesamten Beobachtungszeitraums seit 1851 innerhalb des normalen Bereichs.

1. Lufttemperaturen

Oberfläche: Räumliches Muster

Die globale durchschnittliche Oberflächentemperatur im Jahr 2022 war fast identisch mit der des Vorjahres, und es sieht immer mehr danach aus, als ob 2016 eine globale Temperaturspitze darstellen könnte (Abbildung 1). Die kommenden Jahre werden zeigen, ob dies zutrifft oder nicht. 2022 war - wie 2021 - von einer kalten La Niña-Episode betroffen (Pazifischer Ozean, siehe Abbildung 29).

Die nördliche Hemisphäre war durch regionale Temperaturkontraste gekennzeichnet, insbesondere über 30°N. Die ausgeprägtesten Temperaturereignisse im Jahr 2022 waren niedrige Durchschnittstemperaturen in weiten Teilen Nordamerikas und in den Ozeanen um Grönland und Nordeuropa. Im Gegensatz dazu wiesen große Teile Europas und die Regionen Russlands und Sibiriens im Jahr 2022 relativ hohe Temperaturen auf (im Vergleich zu den letzten 10 Jahren).

In der Arktis waren die Sektoren Europa-Russland-Sibirien relativ warm, während große Teile des Sektors Kanada-Alaska relativ kühl waren (Abbildung 2a).

In Äquatornähe lagen die Oberflächentemperaturen im Allgemeinen nahe oder unter dem Durchschnitt der letzten 10 Jahre. Im Pazifischen Ozean spiegelten die kühlen Bedingungen die anhaltende La Niña-Episode wider.

In der südlichen Hemisphäre lagen die Oberflächentemperaturen nahe oder unter dem Durchschnitt der letzten 10 Jahre. In allen größeren Landgebieten war es 2022 im Vergleich zu den vorangegangenen 10 Jahren kühl.

Die Ozeane um den antarktischen Kontinent waren 2022 relativ warm, ebenso wie der größte Teil der Westantarktis. Die Ostantarktis lag nahe am oder unter dem 10-jährigen Durchschnitt (Abbildung 2b).

Zusammenfassend lässt sich für das Jahr

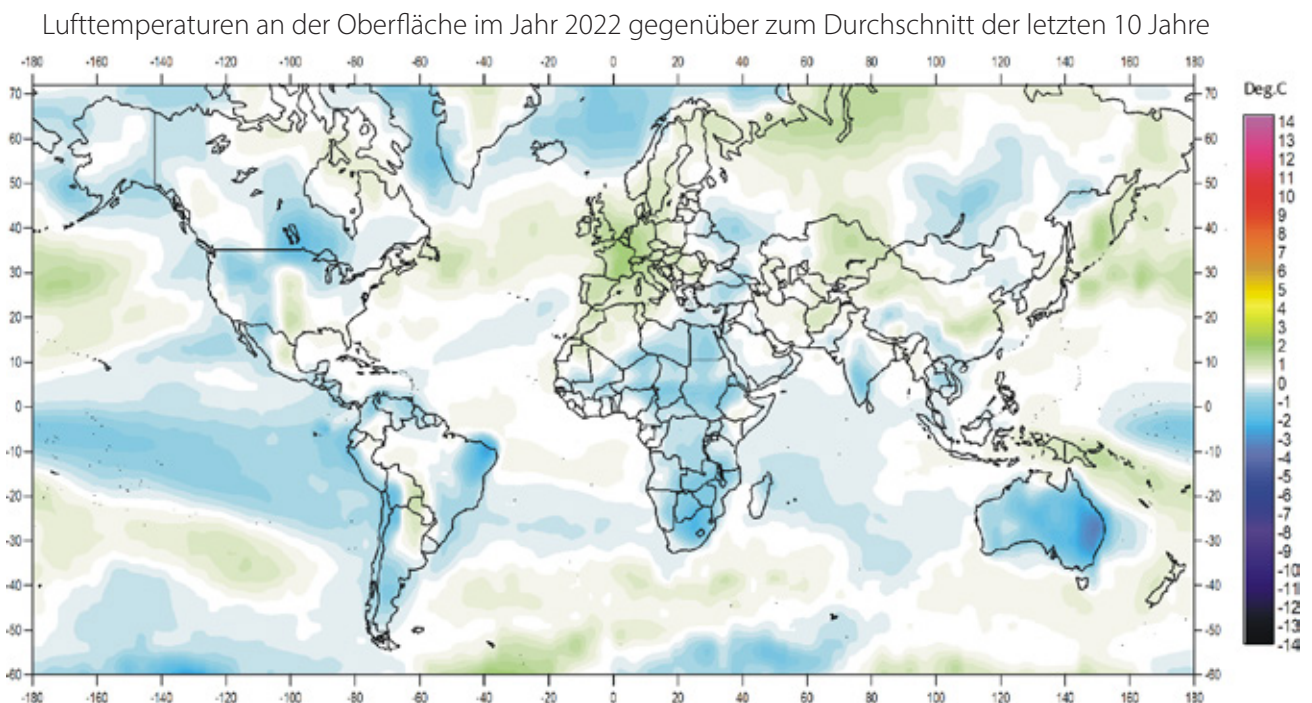


Abbildung 1: Oberflächenlufttemperaturen im Jahr 2022 im Vergleich zum Durchschnitt der letzten 10 Jahre.

Grün-gelb-rote Farben zeigen Gebiete an, in denen die Temperatur über dem Durchschnitt liegt, während blaue Farben niedrigere Temperaturen als der Durchschnitt anzeigen. Datenquelle: Remote Sensed Surface Temperature Anomaly, AIRS/Aqua L3 Monthly Standard Physical Retrieval 1-degree x 1-degree V007 (<https://airs.jpl.nasa.gov/>), abgerufen vom GISS-Datenportal (https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/index_v4.html).

2022 sagen, dass die globalen durchschnittlichen Lufttemperaturen im Vergleich zu den langen instrumentellen Aufzeichnungen (seit 1850) hoch waren, jedoch mit Hinweisen auf einen insgesamt negativen Trend seit 2016. Sie wurden jedoch durch eine anhaltende La Niña-Episode im Pazifik beeinflusst.

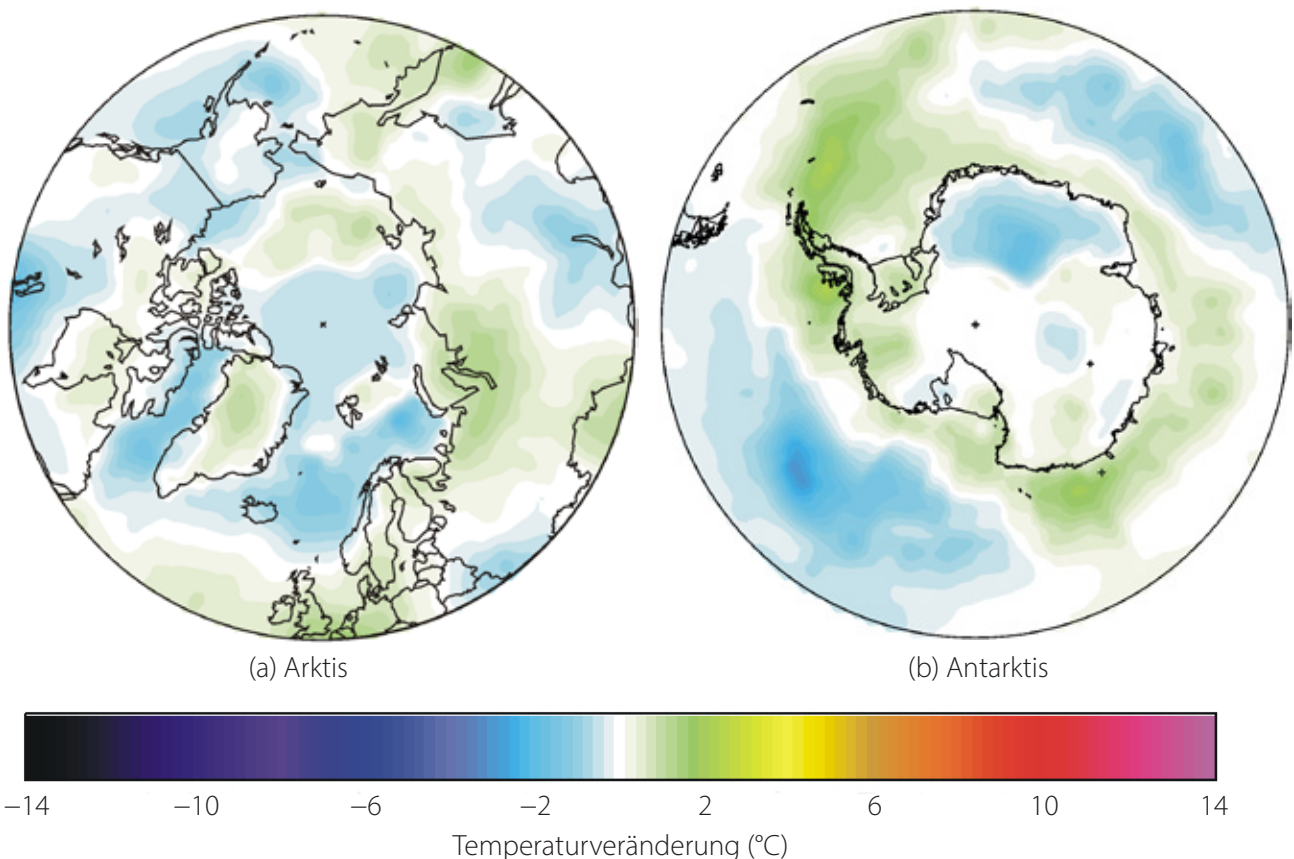


Abbildung 2: Polare Oberflächenlufttemperaturen 2022 im Vergleich zum Durchschnitt der letzten 10 Jahre/

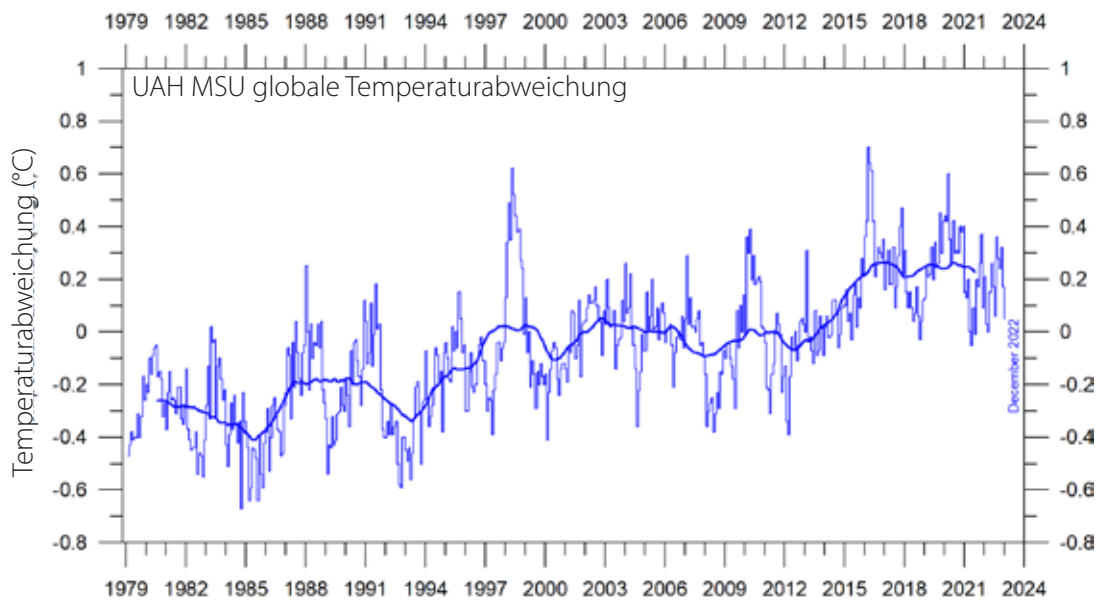
Grün-gelb-rote Farben zeigen Gebiete an, in denen die Temperatur über dem Durchschnitt liegt, während blaue Farben niedrigere Temperaturen als der Durchschnitt anzeigen. Datenquelle: Remote Sensed Surface Temperature Anomaly, AIRS/Aqua L3 Monthly Standard Physical Retrieval 1-degree \times 1-degree V007 (<https://airs.jpl.nasa.gov/>), abgerufen vom GISS-Datenportal (https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/index_v4.html).

Untere Troposphäre: Monatswerte

Beide Satellitenaufzeichnungen der Temperaturen in der unteren Troposphäre zeigen deutlich einen Temperaturanstieg im Zusammenhang mit dem El Niño 2015-16, einen anschließenden allmählichen Rückgang, gefolgt von einem neuen Temperaturanstieg aufgrund des moderaten El Niño 2019-20. Die jüngste Entwicklung ist ein erneuter Temperaturrückgang während der laufenden La Niña-Episode im Pazifik.

Das Muster der Temperaturschwankungen ist für die beiden Datenreihen ähnlich (Abbildungen 3-5), aber der Gesamttemperaturanstieg für 1979-2022 ist für RSS größer als für UAH. Vor der recht bedeutenden Anpassung der RSS-Reihe im Jahr 2017 war der Temperaturanstieg für die beiden Datenreihen fast identisch.

(a) UAH



(b) RSS

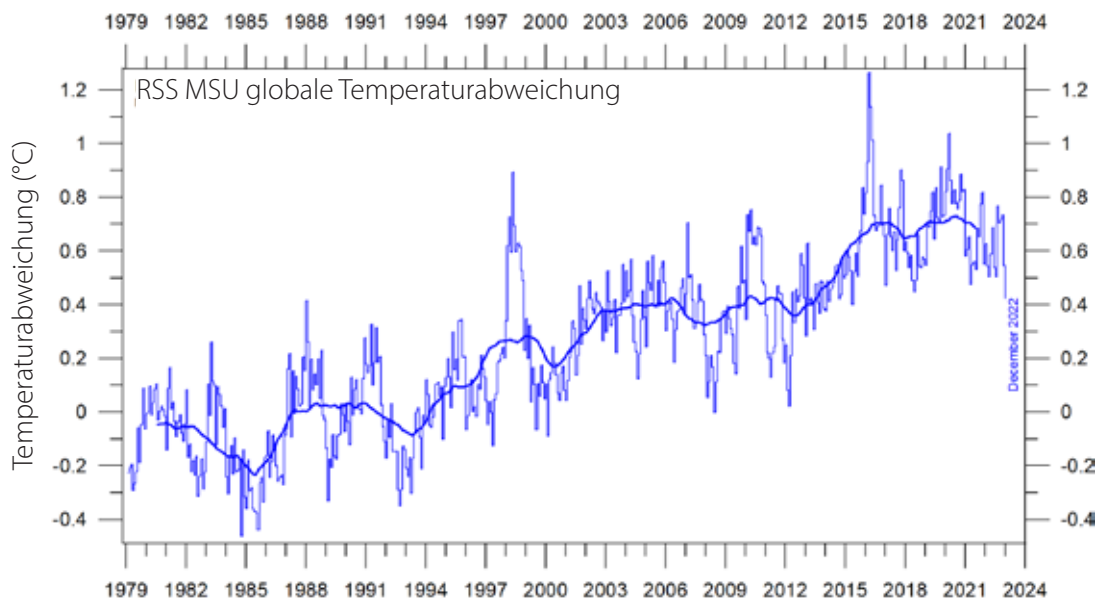


Abbildung 3: Globale monatliche Durchschnittstemperaturen der unteren Troposphäre seit 1979.

(a) UAH und (b) RSS. Die dicke Linie ist das einfache gleitende 37-Monatsmittel, das fast einem gleitenden 3-Jahresmittel entspricht.

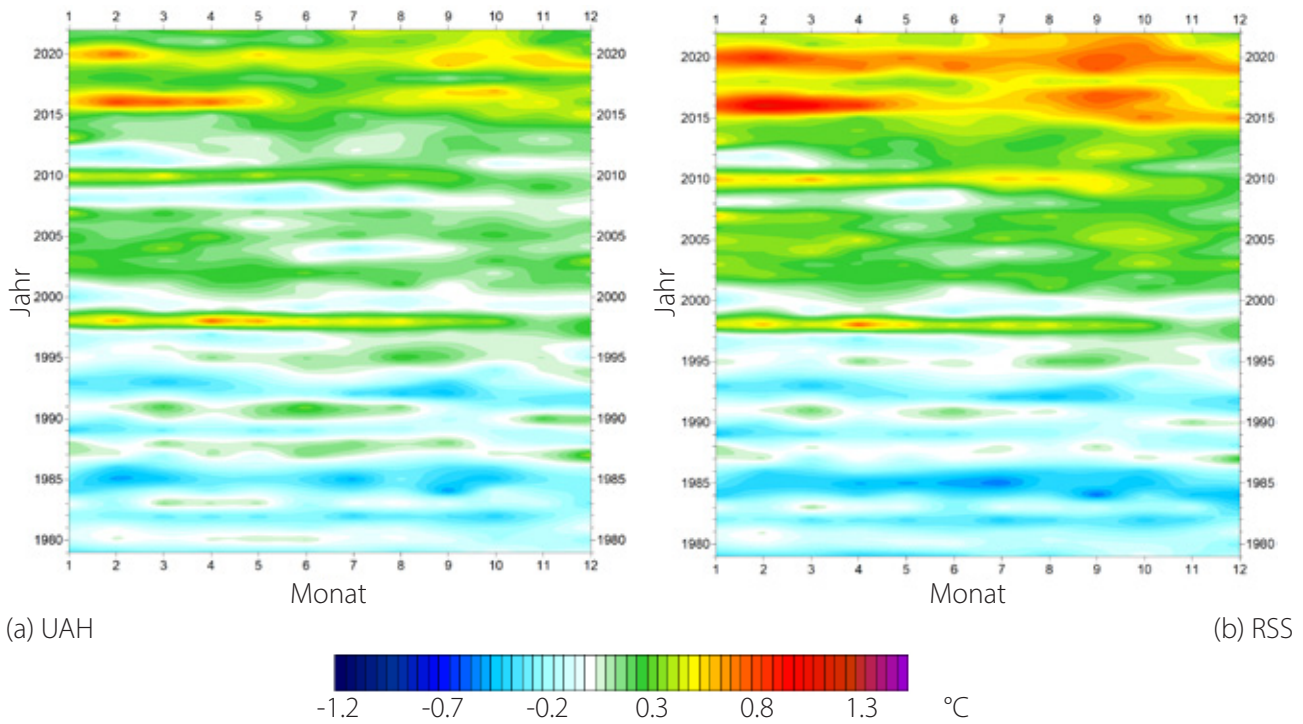


Abbildung 4: Zeitliche Entwicklung der globalen Temperaturen in der unteren Troposphäre seit 1979.

Temperaturanomalie im Vergleich 1979–2008. Die Auswirkungen der El Niños von 1998, 2010 und 2015–2016 sind deutlich zu erkennen, ebenso wie die Tendenz, dass viele El Niños ihren Höhepunkt im Winter der nördlichen Hemisphäre erreichen. Da die verschiedenen Temperaturdatenbanken unterschiedliche Referenzzeiträume verwenden, wurden die Reihen vergleichbar gemacht, indem ihr jeweiliger 30-jähriger Durchschnitt (1979–2008) auf null gesetzt wurde.

Untere Troposphäre: Jahresmittelwerte

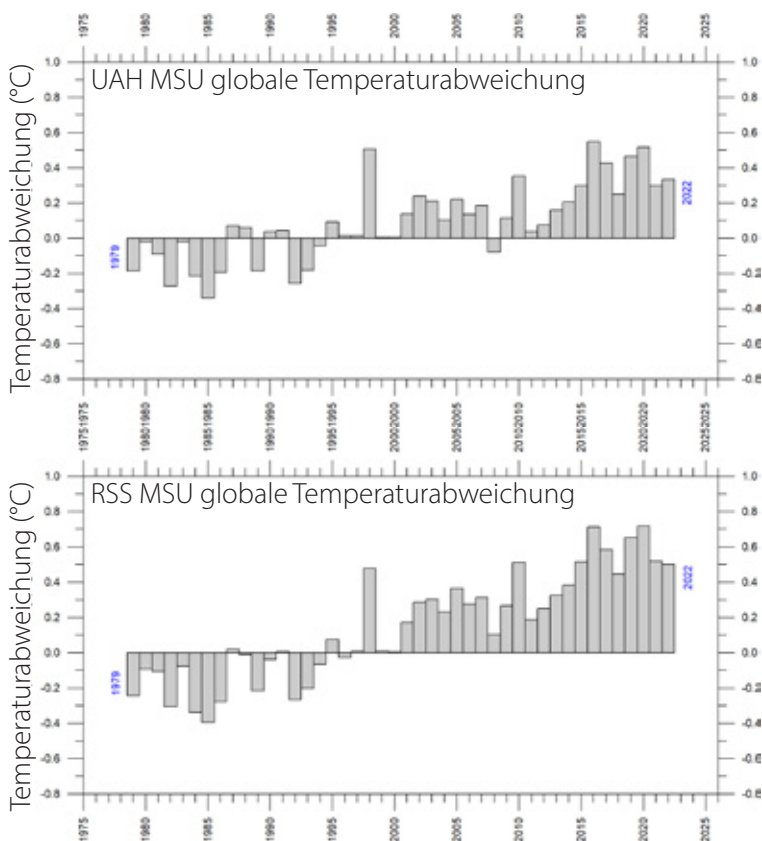


Abbildung 5: Globale mittlere jährliche Lufttemperaturen in der unteren Troposphäre seit 1979.

Satellitendaten, interpretiert von der University of Alabama at Huntsville (UAH) und Remote Sensing Systems (RSS), beide in den USA.

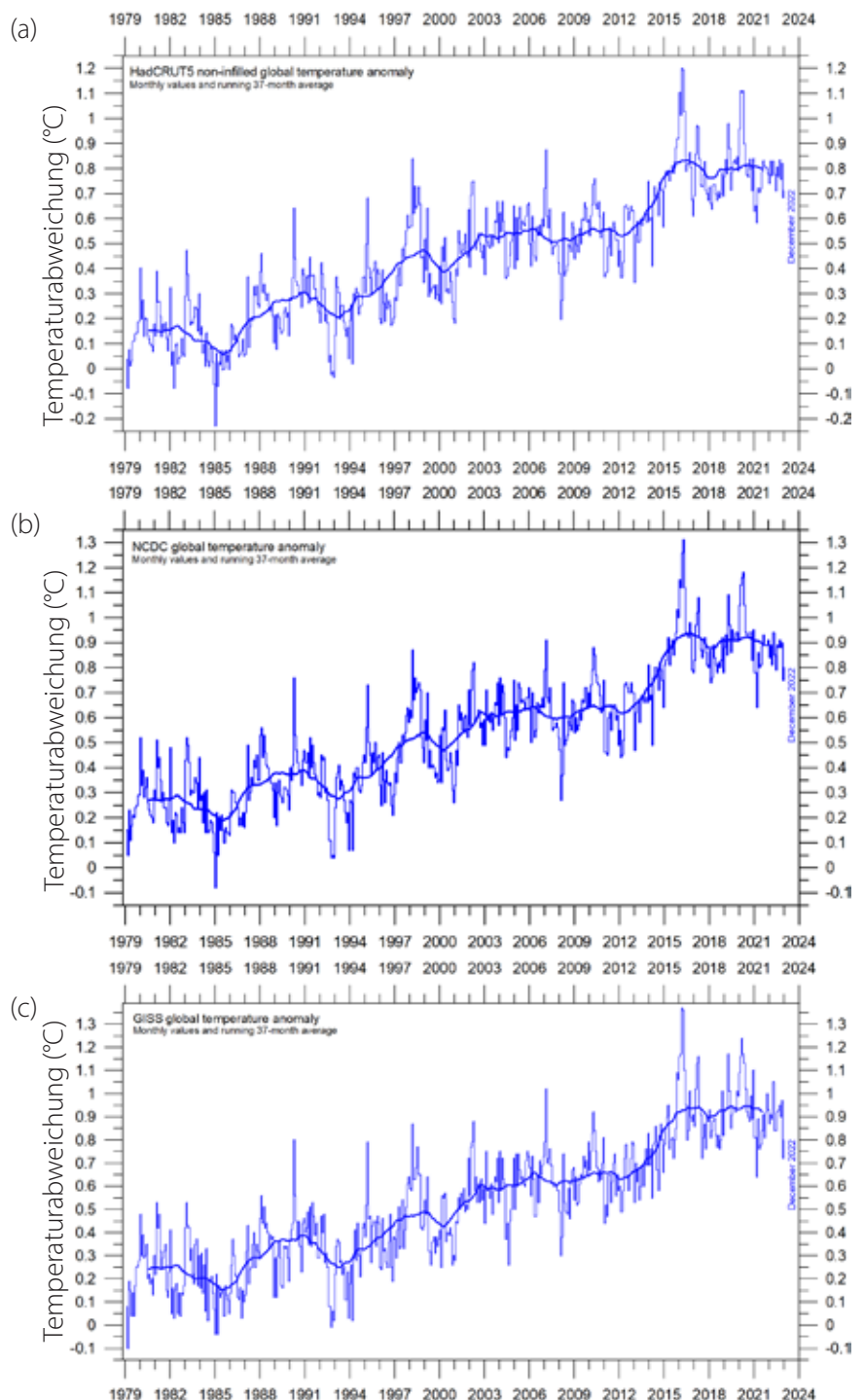
Oberfläche: Monatswerte

Alle drei Aufzeichnungen der Oberflächenlufttemperatur zeigen deutlich den mit dem El Niño 2015–16 verbundenen Temperaturanstieg, den anschließenden Temperaturrückgang, einen erneuten Temperaturanstieg aufgrund des El Niño 2019–20 und den jüngsten Temperaturrückgang aufgrund der aktuellen La Niña-Episode (Abbildung 6).

Alle drei Oberflächenaufzeichnungen bestätigen jedoch, dass die jüngste große El Niño-Episode Anfang 2016 ihren Höhepunkt erreichte, dass es danach eine allmähliche Rückkehr zu den Bedingungen vor 2015 gab, einen erneuten Anstieg in den Jahren 2019–20 und einen anschließenden Temperaturrückgang. Diese Entwicklungen sind auch in Abbildung 7 zu sehen.

Abbildung 6: Globale mittlere monatliche Oberflächenlufttemperaturen seit 1979

(a) HadCRUT5 (b) NCDG (c) GISS. Die dicke Linie ist das einfache gleitende 37-Monatsmittel, das fast einem gleitenden 3-Jahresmittel entspricht.



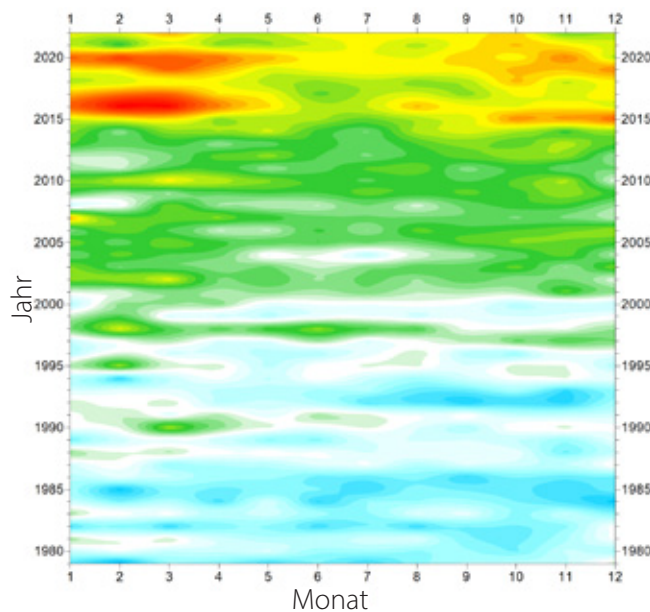
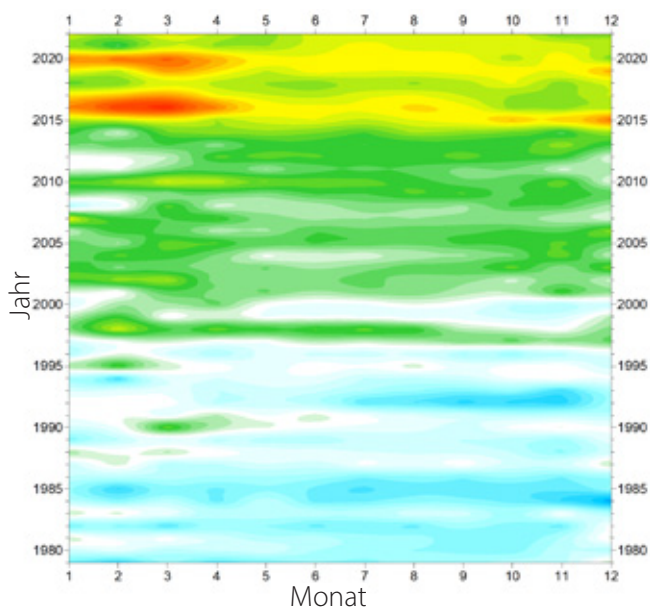
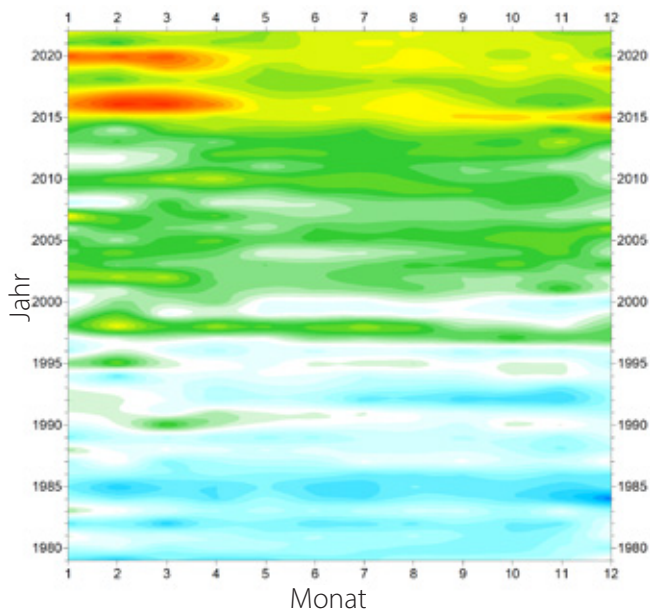
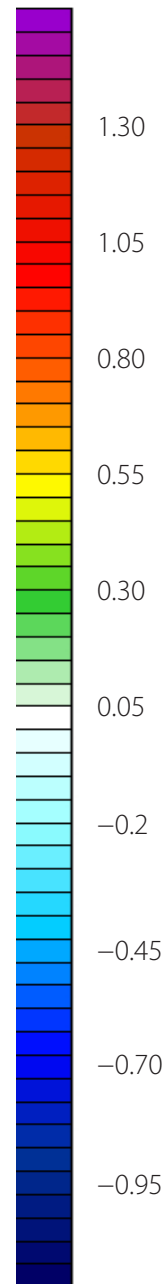


Abbildung 7: Zeitliche Entwicklung der globalen mittleren monatlichen Oberflächenlufttemperaturen

(a) HadCRUT (b) NCDC (c) GISS. Temperaturanomalie (°C) im Vergleich 1979–2008.

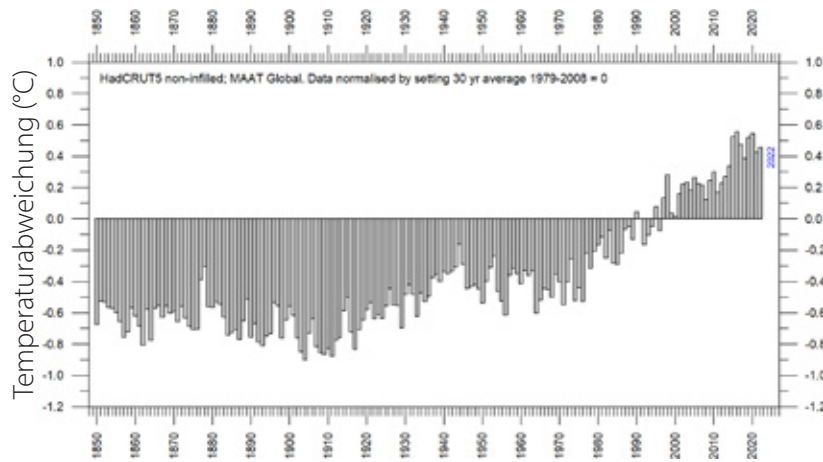
Temperaturabweichung (°C)



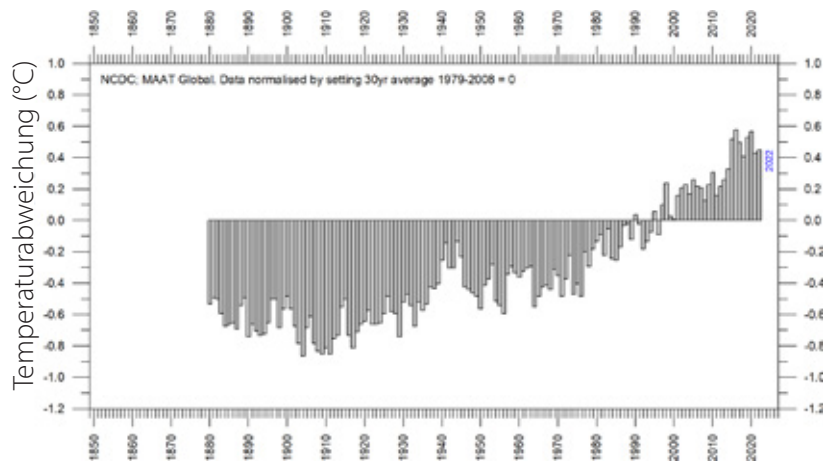
Oberfläche: Jahresmittelwerte

Alle drei Schätzungen der durchschnittlichen Oberflächenlufttemperatur zeigen das Jahr 2022 als Teil eines rückläufigen Trends seit 2016

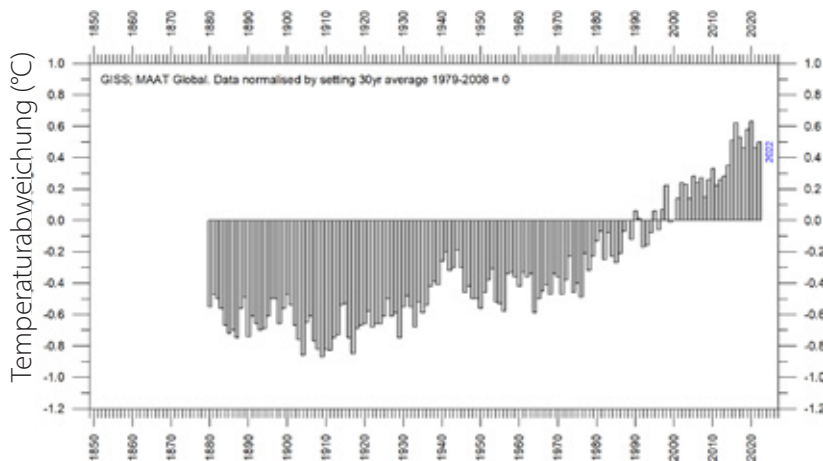
(Abbildung 8). Das Jahr 2022 wurde durch eine La Niña-Episode im Pazifischen Ozean beeinflusst (siehe Abbildung 22).



(a) HadCRUT



(b) NCDC



(c) GISS

Abbildung 8: Globale mittlere jährliche Oberflächenlufttemperaturen

(a) HadCRUT (b) NCDC (c) GISS Temperaturanomalie (°C) 1979–2008.

Fehler, Konsistenz und Qualität

Nach den verschiedenen Lufttemperaturdatensätzen war 2022 ein warmes Jahr, wenn man die gesamte Aufzeichnung seit 1850/1880/1979 betrachtet.

Die Oberflächenaufzeichnungen sind eine Mischung aus Meeresoberflächendaten, die von fahrenden Schiffen oder auf andere Weise gesammelt wurden, und Daten von Landstationen, deren Qualität und Repräsentativität für ihre Region teilweise unbekannt ist. Viele der Landstationen wurden während ihrer Betriebszeit geografisch verlegt, die Instrumente wurden ausgetauscht, und die meisten wurden durch ständige Veränderungen in ihrer Umgebung (Vegetation, Gebäude usw.) beeinflusst.

Die Aufzeichnungen der Satellitentemperaturen haben ihre eigenen Probleme, die jedoch im Allgemeinen eher technischer Natur sind und daher wahrscheinlich leichter zu beheben sind. Hinzu kommt, dass die Probenahme durch Satelliten weltweit regelmäßiger und vollständiger ist als bei den Aufzeichnungen an der Oberfläche. Wichtig ist auch, dass die Sensoren der Satelliten die Temperatur direkt über die emittierte Strahlung messen, während die meisten modernen Messungen der Oberflächentemperatur indirekt über einen elektrischen Widerstand erfolgen.

Alle Temperaturaufzeichnungen werden von mindestens drei verschiedenen Fehlerquellen beeinflusst, die sich zwischen den einzelnen Stationsaufzeichnungen unterscheiden, welche für die Berechnung einer globalen Durchschnittstemperatur verwendet werden. 1) Die *Genauigkeit* ist der Grad der Annäherung der Messungen an die tatsächlichen (wahren) Werte. 2) Die *Präzision* ist der Grad, in dem wiederholte Messungen unter unveränderten Bedingungen einen identischen Wert ergeben, ob er nun stimmt oder nicht. Hinzu kommt 3) die *Messauflösung*, d. h. die kleinste Temperaturänderung, die bei dem zur Messung verwendeten Instrument eine Reaktion hervorruft. Diese drei Größen zusammen bilden die Fehlermarge für Temperaturaufzeichnungen. Die Fehlerspanne ist im Laufe der Zeit intensiv diskutiert worden und beträgt wahrscheinlich mindestens $\pm 0,1$ °C

für Datensätze der Oberflächenlufttemperatur, möglicherweise sogar mehr. Dies macht es oft statistisch unmöglich, ein beliebiges Jahr als Temperaturrekord zu klassifizieren, da mehrere andere Jahre innerhalb des Bereichs von $\pm 0,1$ °C des betrachteten Wertes liegen können.

Darüber hinaus wurden zwei weitere Fragen im Zusammenhang mit der Fehlermarge für Oberflächenaufzeichnungen nicht so ausführlich diskutiert: Erstens wird es nicht möglich sein, viel über den tatsächlichen Wert der globalen Oberflächenlufttemperatur im Dezember 2022 zu sagen, bevor im März/April 2023 die noch nicht gemeldeten Daten (im Januar 2023) endgültig in die Datenbanken für die Oberflächenlufttemperatur aufgenommen werden. Dies könnte man als den Effekt der verspäteten Berichterstattung bezeichnen. Zweitens weisen die Aufzeichnungen der Oberflächenlufttemperatur im Laufe der Zeit häufig administrative Änderungen auf, was es noch schwieriger macht, Schlussfolgerungen über die Bedeutung einer kürzlich gemeldeten monatlichen oder jährlichen Oberflächenlufttemperatur zu ziehen.

Das administrative Problem ergibt sich aus den scheinbar ständigen Änderungen der Monats- und Jahreswerte in den Temperaturdatenbanken. Das bedeutet, dass sich der Wert, der heute als globale Durchschnittstemperatur für die vergangenen Jahre gemeldet wird, später aufgrund laufender administrativer «Korrekturen» ändern wird. Diese Änderungen scheinen wenig oder gar nichts mit der verspäteten Meldung fehlender Daten zu tun zu haben: Insbesondere bei den Datenbanken des GISS und des NCDC werden Änderungen an den monatlichen Temperaturen für weit zurückliegende Zeiträume vorgenommen, sogar für die Zeit vor dem Jahr 1900, für die die Möglichkeit einer verspäteten Meldung äußerst gering ist. Höchstwahrscheinlich sind solche administrativen Anpassungen das Ergebnis von Veränderungen in der Art und Weise, wie durchschnittliche monatliche Werte von den verschiedenen Datenbanken berechnet werden, im Bestreben, die resultierende Aufzeichnung zu verbessern.

Als Beispiel zeigt Abbildung 9 die kumu-

lierten Auswirkungen solcher administrativen Änderungen seit Mai 2008 in der GISS-Aufzeichnung der globalen Oberflächenlufttemperatur, die bis 1880 zurückreicht, wobei stattdessen auch jeder andere Datensatz verwendet werden könnte. Der Gesamtnettoeffekt der administrativen Änderungen, die seit Mai 2008 in den GISS-Datensatz eingeführt wurden, ist eine

Erwärmung des frühen und modernen Teils des Datensatzes und eine Abkühlung des dazwischen liegenden Zeitraums, etwa von 1900 bis 1970. Mehrere der seit 2008 eingeführten Nettoänderungen sind recht erheblich und reichen von etwa +0,20 bis -0,20 °C

Um den Effekt auf andere Weise zu verdeutlichen, zeigt Abbildung 10, wie sich die

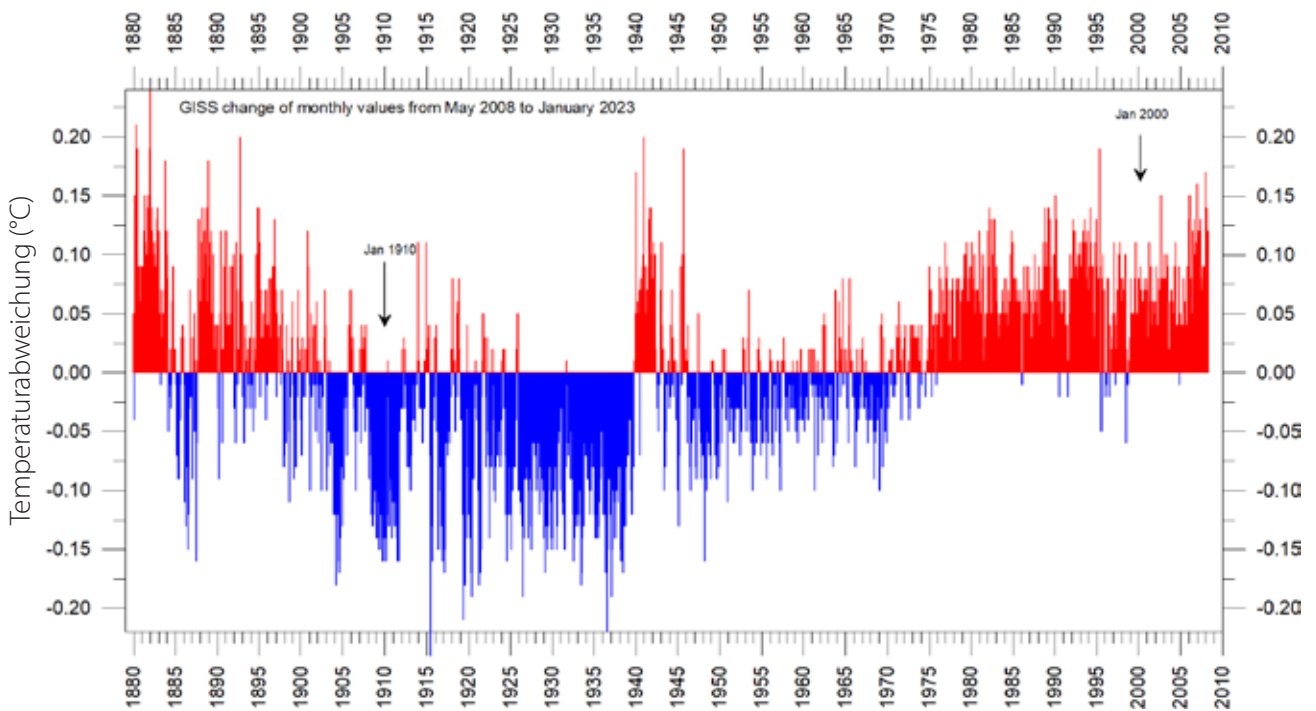


Abbildung 9: Anpassungen seit dem 17. Mai 2008 in der GISS-Oberflächentemperraturaufzeichnung

globale Oberflächenlufttemperatur für Januar 1910 und Januar 2000 (in Abbildung 10 angegebene Monate) seit Mai 2008 verändert hat, wiederum veranschaulicht durch die GISS-Aufzeichnung. Die administrative GISS-Anhebung hat die scheinbare Erwärmung der globalen Oberflächenlufttemperaturen zwischen Januar 1910 und Januar 2000 von 0,45 (wie im Mai 2008 berichtet) auf 0,67 °C (wie im Januar 2023 berichtet) erhöht. Dies entspricht einem Anstieg von etwa 49 % in diesem Zeitraum, was bedeutet, dass etwa die Hälfte des scheinbaren

globalen Temperaturanstiegs von Januar 1910 bis Januar 2000 (wie von GISS im Januar 2023 gemeldet) auf administrative Änderungen der ursprünglichen Daten seit Mai 2008 zurückzuführen ist. Solche Änderungen sind natürlich wichtig, wenn es darum geht, die Gesamtqualität verschiedener Temperaturaufzeichnungen zusammen mit anderen Standardfehlerquellen zu bewerten. In der Tat kann das Ausmaß der administrativen Änderungen die formale Fehlermarge übersteigen.

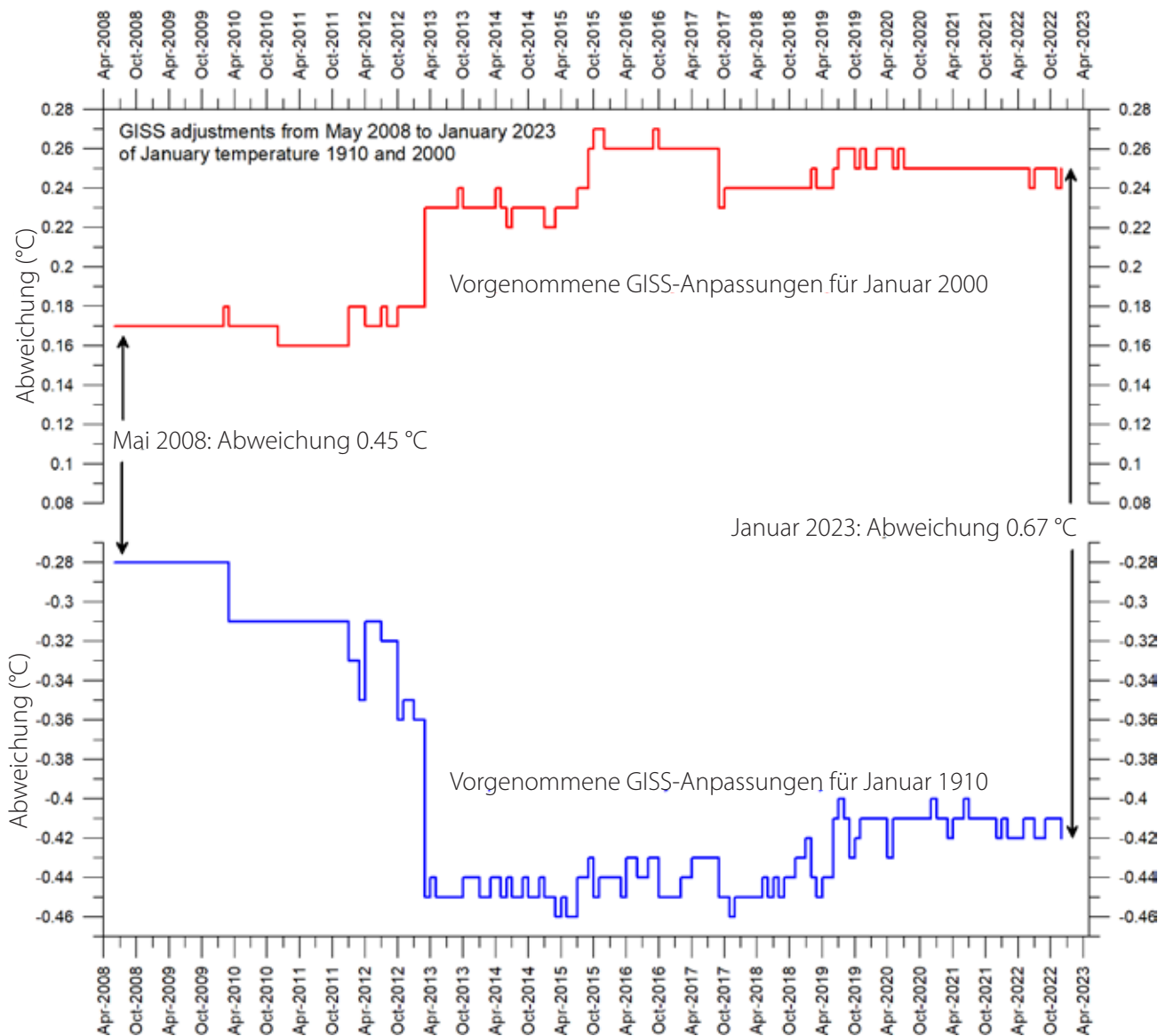


Abbildung 10: Seit Mai 2008 vorgenommene Anpassungen der GISS-Abweichungen für die beiden Monate Januar 1910 und Januar 2000.

Da sich die Vergangenheit nicht ändert, kann ein Datensatz, der ständigen Veränderungen unterworfen ist, aus offensichtlichen Gründen die Vergangenheit nicht immer korrekt beschreiben. Häufige und umfangreiche Korrekturen in einer Datenbank signalisieren zwangsläufig eine grundlegende Unsicherheit bezüglich der korrekten Werte. Dennoch sollte jeder, der sich für die Klimawissenschaft interessiert, die Anstrengungen anerkennen, die für die Pflege der verschiedenen Datenbanken unternommen werden, auf die in diesem Bericht Bezug

genommen wird. Gleichzeitig ist es aber auch wichtig zu erkennen, dass nicht alle Temperatureaufzeichnungen von gleicher wissenschaftlicher Qualität sein können. Allein die Tatsache, dass sie sich bis zu einem gewissen Grad unterscheiden, zeigt, dass sie nicht alle völlig korrekt sein können.

Oberfläche versus untere Troposphäre

Im Allgemeinen besteht eine gute Übereinstimmung zwischen dem Durchschnitt der Oberflächen- und der Satellitenaufzeichnungen, wie Abbildung 11 zeigt. Vor der umfassenden Anpassung der RSS-Satellitenaufzeichnungen im Jahr 2017 war dies jedoch anders, wobei der

Durchschnitt der Oberflächenaufzeichnungen im Vergleich zum Durchschnitt der Satellitenaufzeichnungen in Richtung Wärme driftete. Auch dies verdeutlicht die Bedeutung der laufenden Änderungen der einzelnen Temperaturaufzeichnungen.

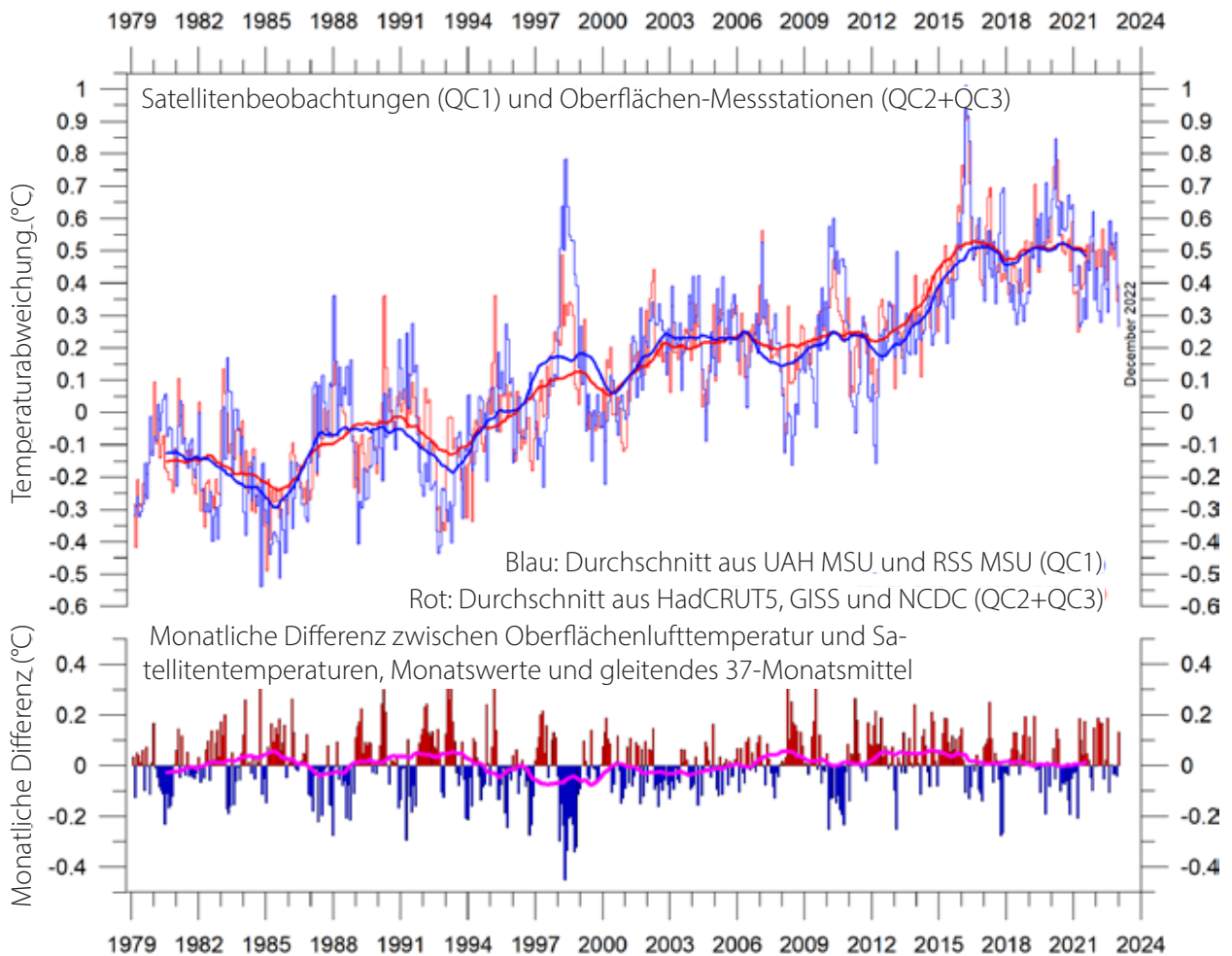


Abbildung 11: Oberflächentemperaturen gegenüber Temperaturen der unteren Troposphäre.

Durchschnitt der monatlichen Schätzungen der globalen Oberflächenlufttemperatur (HadCRUT, NCDC und GISS) und der satellitengestützten Temperaturschätzungen der unteren Troposphäre (UAH und RSS). Die dünnen Linien zeigen den monatlichen Wert an, während die dicken Linien das einfache gleitende 37-Monatsmittel darstellen, das fast einem gleitenden 3-Jahresmittel entspricht. Die untere Grafik zeigt die monatliche Differenz zwischen der Oberflächenlufttemperatur und den Satellitentemperaturen. Da der Basiszeitraum für die verschiedenen Temperaturschätzungen unterschiedlich ist, wurden sie alle durch einen Vergleich mit dem 30-Jahres-Mittelwert von Januar 1979 bis Dezember 2008 normalisiert.

Durchschnitt der monatlichen Schätzungen der globalen Oberflächenlufttemperatur (HadCRUT, NCDC und GISS) und der satellitengestützten Temperaturschätzungen der unteren Troposphäre (UAH und RSS). Die dünnen Linien zeigen den monatlichen Wert an, während die dicken Linien das einfache gleitende 37-Monatsmittel darstellen, das fast einem gleitenden

3-Jahresmittel entspricht. Die untere Grafik zeigt die monatliche Differenz zwischen der Oberflächenlufttemperatur und den Satellitentemperaturen. Da der Basiszeitraum für die verschiedenen Temperaturschätzungen unterschiedlich ist, wurden sie alle durch einen Vergleich mit dem 30-Jahres-Mittelwert von Januar 1979 bis Dezember 2008 normalisiert.

Untere Troposphäre: Land und Ozean

Seit 1979 hat sich die untere Troposphäre über Land deutlich stärker erwärmt als über den Ozeanen (Abbildung 12). Dafür kann es mehrere Gründe geben, wie Unterschiede in der Wärme-

kapazität und Schwankungen in der einfallenden Sonnenstrahlung, der Wolkenbedeckung und der Landnutzung.

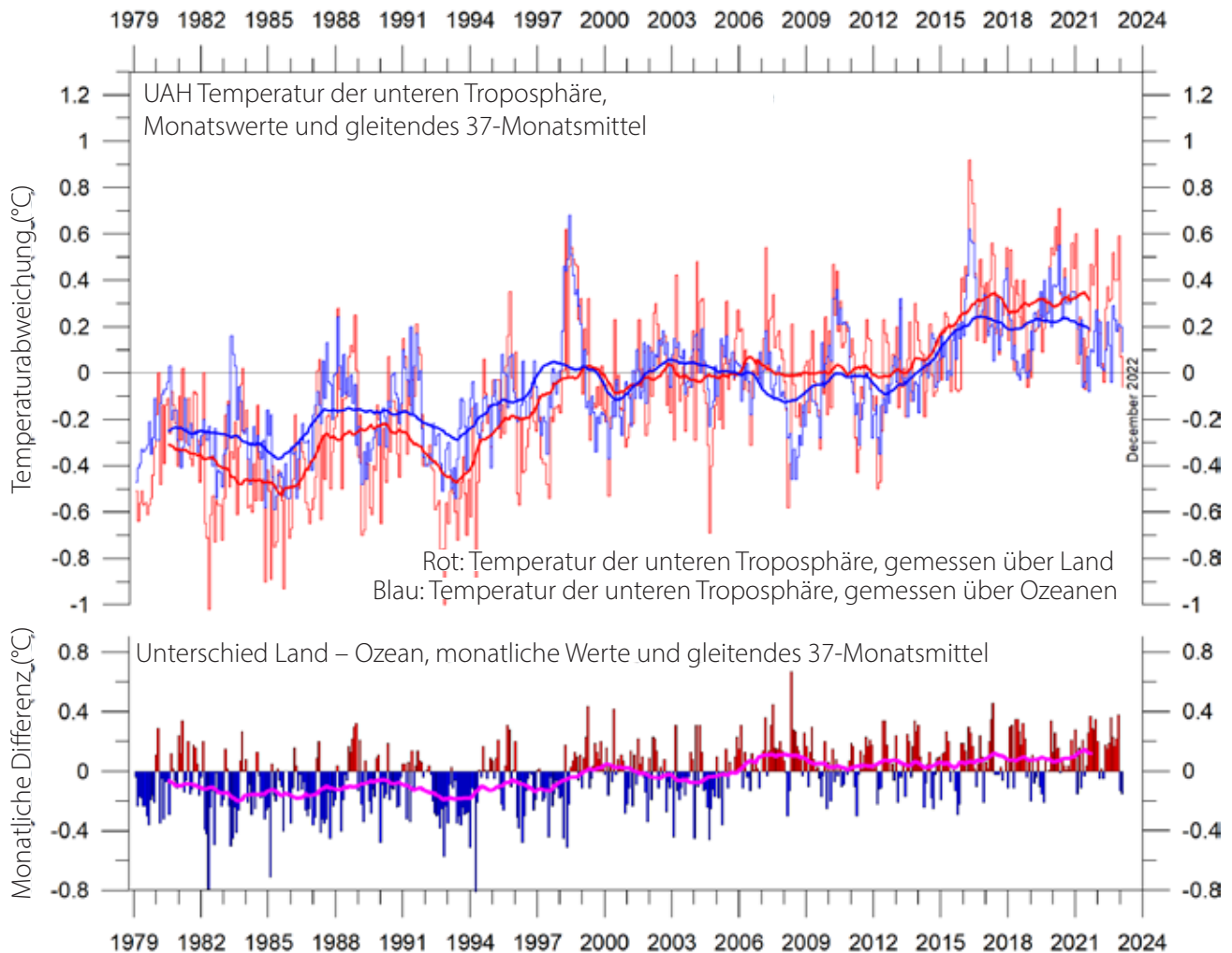


Abbildung 12: Temperaturen der unteren Troposphäre über Land und Ozean.

Globale monatliche Durchschnittstemperatur der unteren Troposphäre seit 1979, gemessen über Land und Ozean, dargestellt in rot bzw. blau, gemäss Angaben der University of Alabama at Huntsville (UAH), USA. Die dünnen Linien stellen den monatlichen Durchschnitt dar, die dicke Linie das einfache laufende 37-Monatsmittel, das fast einem gleitenden 3-Jahresmittel entspricht

Nach Höhe

Die Veränderungen im vertikalen Temperaturprofil der Atmosphäre sind interessant. Ein Grund dafür ist, dass steigende Temperaturen in der Troposphäre zusammen mit sinkenden Temperaturen in der Stratosphäre zwei zentrale Merkmale der Hypothese sind, die die globale Erwärmung auf den vom Menschen verursachten Anstieg des atmosphärischen CO_2 zurückführt.

Die in der untersten Troposphäre aufgezeichneten Temperaturschwankungen spiegeln sich im Allgemeinen in größeren Höhen wieder, bis zu einer Höhe von etwa 10 km, einschließlich vieler einzelner Senken und Spitzen, wie etwa der durch El Niño verursachte Temperaturanstieg von 2015–16 (Abbildung 13)

In großen Höhen, in der Nähe der Tropopause, ist das Muster der in der unteren Atmo-

sphäre aufgezeichneten Schwankungen immer noch erkennbar, aber während der gesamten Aufzeichnungsdauer (seit 1979) gab es keinen klaren Trend zu höheren oder niedrigeren Temperaturen.

Höher in der Atmosphäre, in der Stratosphäre in 17 km Höhe, sind zwei ausgeprägte Temperaturspitzen vor der Jahrhundertwende zu erkennen. Beide können mit großen Vulkanausbrüchen in Verbindung gebracht werden, wie im Diagramm dargestellt. Sieht man davon ab, so zeigt die Aufzeichnung der Stratosphärentemperatur bis etwa 1995 einen anhaltenden und deutlichen Rückgang, der von mehreren Wissenschaftlern auf den Effekt der

durch CO₂ in der darunter liegenden Troposphäre eingeschlossenen Wärme zurückgeführt wird. Der deutliche Temperaturrückgang in der Stratosphäre endet jedoch im Wesentlichen um 1995–96, und seither ist ein langes Temperaturplateau zu verzeichnen. Im Jahr 2020 kam es jedoch zu einem deutlichen, aber kurzlebigen Temperaturanstieg, auf den rasch ein Temperaturrückgang in ähnlicher Größenordnung folgte. Seit Ende 2020 sind die Stratosphärentemperaturen im Wesentlichen auf das Niveau von vor 2020 zurückgekehrt.

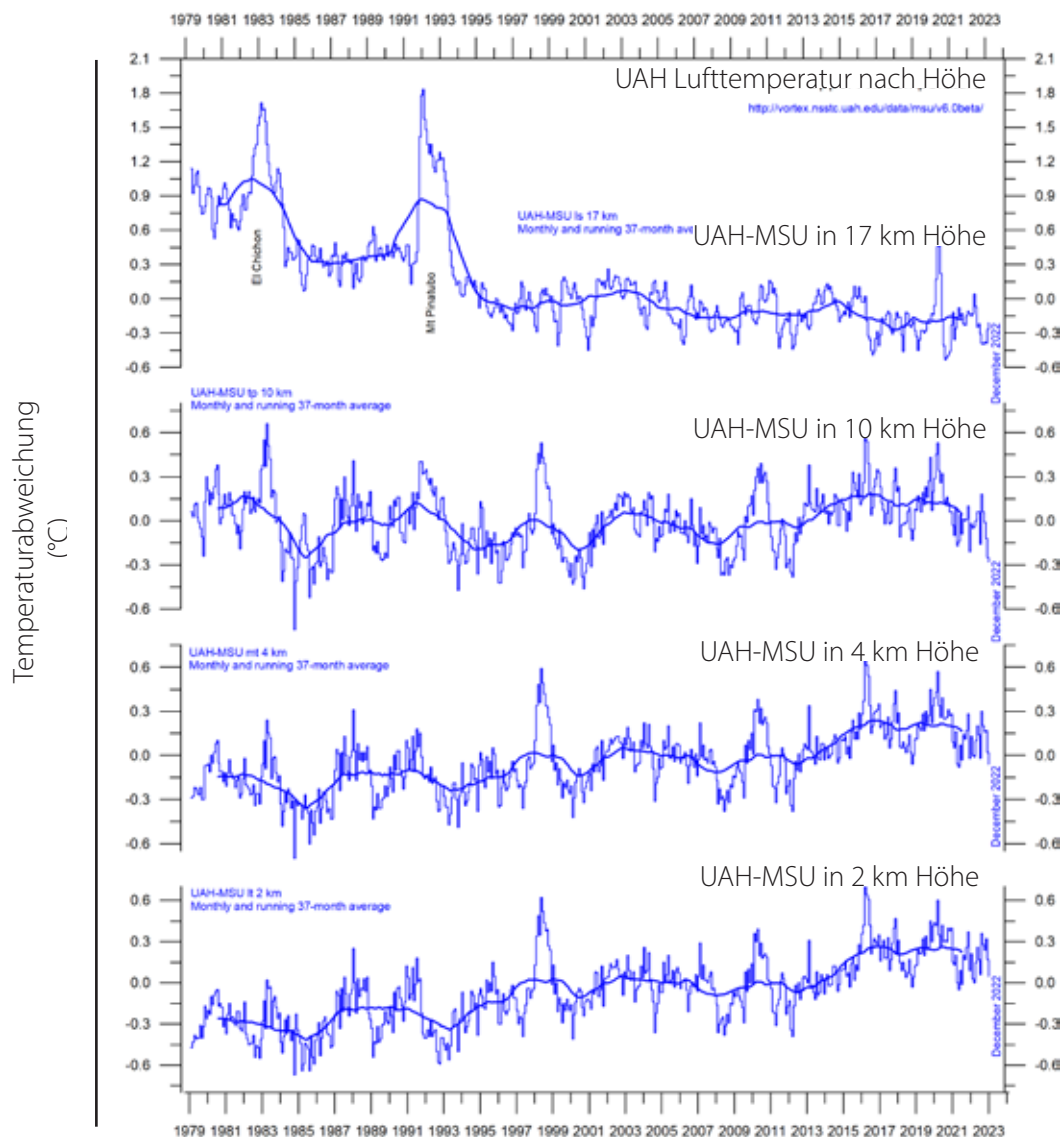


Abbildung 13: Temperatur nach Höhe.

Globale monatliche Durchschnittstemperatur in verschiedenen Höhenlagen gemäss Angaben der University of Alabama at Huntsville (UAH), USA. Die dünnen Linien stellen den monatlichen Durchschnitt dar, die dicke Linie das einfache gleitende 37-Monatsmittel, das fast einem gleitenden 3-Jahresmittel entspricht.

Zonale Lufttemperaturen

Abbildung 14 zeigt, dass die «globale» Erwärmung nach 1980 überwiegend ein Phänomen der nördlichen Hemisphäre war und sich vor allem zwischen 1994 und 1999 in Form einer deutlichen sprunghaften Veränderung vollzog. Diese rasche Temperaturänderung wurde jedoch durch den Ausbruch des Pinatubo 1992–93 und die El Niño-Episode 1997 beeinflusst.

Die Abbildung zeigt auch, wie sich die Temperatureffekte der starken äquatorialen El Niños

von 1997 und 2015–16 sowie des moderaten El Niños von 2019 offenbar mit einiger Verzögerung auf höhere Breiten in beiden Hemisphären ausbreiten. Die Auswirkungen waren jedoch hauptsächlich auf der Nordhalbkugel zu beobachten und nur in geringerem Maße auf der Südhalbkugel. Bemerkenswert ist der jüngste Temperaturrückgang in den Tropen (20°N–20°S) seit 2016.

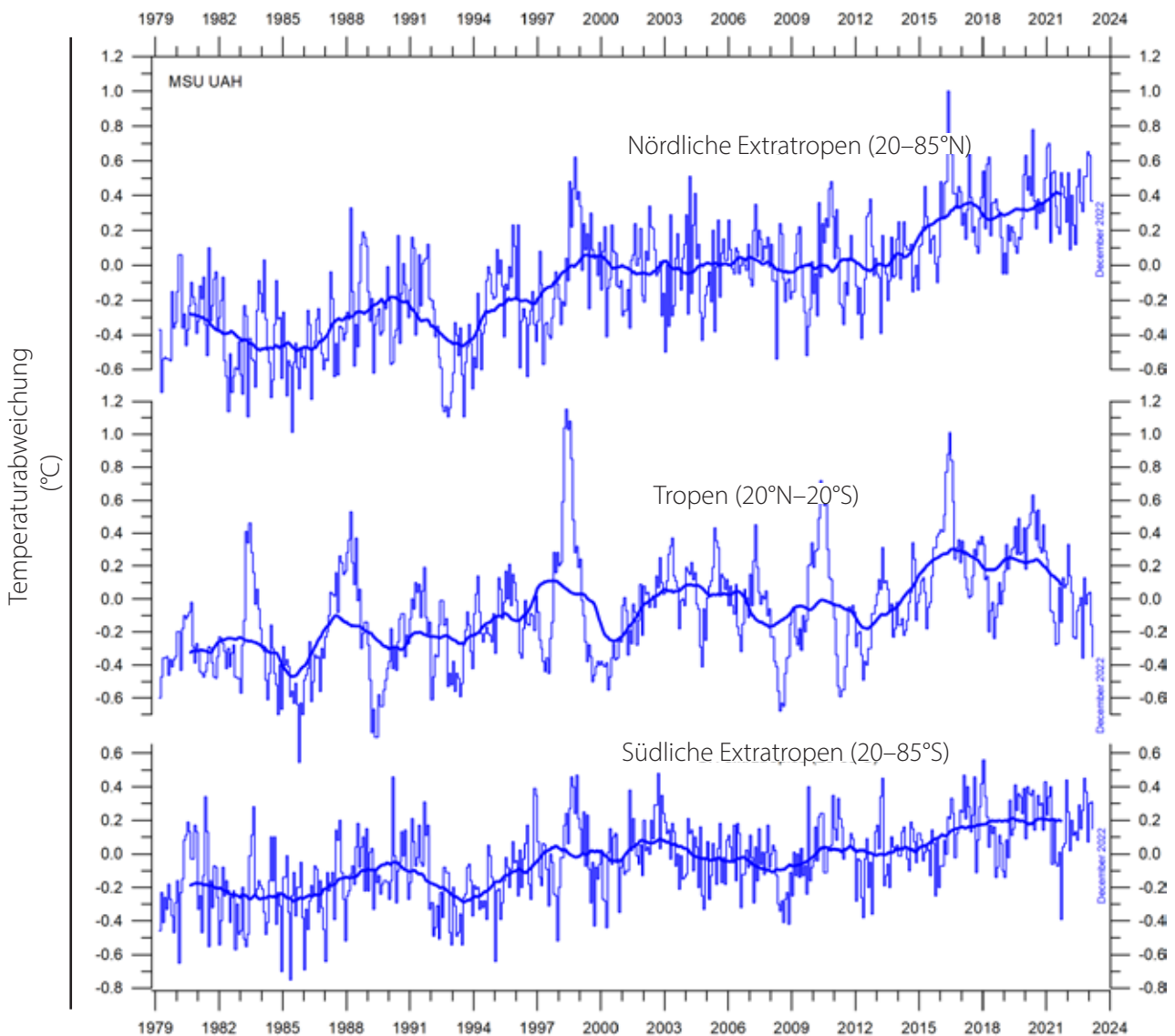


Abbildung 14: Zonale Lufttemperaturen.

Globale monatliche Durchschnittstemperatur der unteren Troposphäre seit 1979 für die Tropen sowie die nördlichen und südlichen Extratropen, nach Angaben der University of Alabama in Huntsville, USA. Dünne Linien: Monatswert; dicke Linien: Gleitendes 3-Jahresmittel

Polare Lufttemperaturen

In der arktischen Region war die Erwärmung im Zeitraum 1994–96 schnell, danach aber langsamer (Abbildung 15). Im Jahr 2016 erreichten die Temperaturen jedoch mehrere Monate lang Spitzenwerte, vermutlich aufgrund der ozeanischen Wärme, die während des El Niño von 2015–16 an die Atmosphäre abgegeben wurde (siehe auch Abbildung 22) und dann in höhere Breiten vorrückte. Seit 2016 ist in der Arktis ein leichter Temperaturrückgang zu verzeichnen.

In der Antarktis sind die Temperaturen seit Beginn der Satellitenaufzeichnungen im Jahr 1979 im Wesentlichen stabil geblieben. In den

Jahren 2016–17 gab es eine kleine Temperaturspitze, die in den monatlichen Aufzeichnungen sichtbar ist und als gedämpfte Auswirkung der jüngsten El Niño-Episode interpretiert werden könnte.

Die Temperaturspitzen in der Arktis und Antarktis, die durch El Niño-Episoden hervorgerufen werden, sind paradoxerweise darauf zurückzuführen, dass die Wärme aus dem äquatornahen Pazifik abfließt. Sie stellen daher einen Prozess dar, der die Erde abkühlt, wenn man sie in einem breiteren Kontext betrachtet.

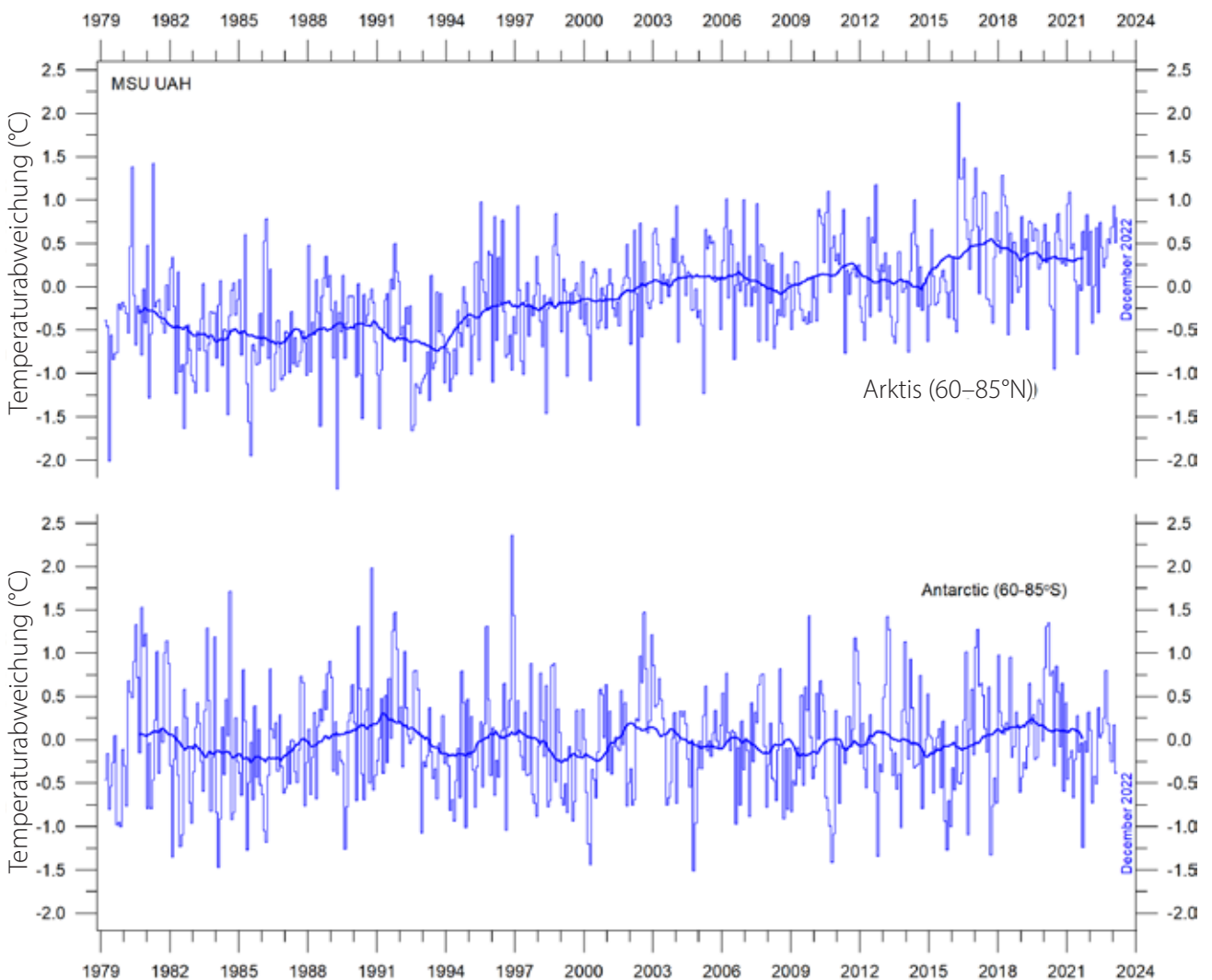


Abbildung 15: : Polare Temperaturen

Globale monatliche Durchschnittstemperatur in der unteren Troposphäre seit 1979 für die Nord- und Südpolregionen, gemäss der University of Alabama at Huntsville (UAH), USA. Die dicken Linien sind das einfache gleitende 37-Monatsmittel.

2. Atmosphärische Treibhausgase

Wasserdampf

Wasserdampf (H_2O) ist das wichtigste Treibhausgas in der Troposphäre. Die höchste Konzentration findet sich in einem Breitenbereich von $50^\circ N$ bis $60^\circ S$. Die beiden Polarregionen der Troposphäre sind vergleichsweise trocken. H_2O ist ein viel wichtigeres Treibhausgas als CO_2 , sowohl wegen seines Absorptionsspektrums als auch wegen seiner höheren Konzentration.

Abbildung 16 zeigt, dass die spezifische Luftfeuchtigkeit bis zu einer Höhe von etwa 4–5 km stabil ist oder leicht ansteigt. In höheren Lagen der Troposphäre (ca. 9 km) ist die spezifische Luftfeuchtigkeit während der gesamten Dauer der Aufzeichnung (seit 1948) rückläufig,

allerdings mit kürzeren Schwankungen, die den fallenden Trend überlagern. Eine Fourier-Frequenzanalyse (hier nicht dargestellt) deutet darauf hin, dass diese Veränderungen nicht nur durch jährliche Schwankungen, sondern auch durch einen Zyklus von etwa 35 Jahren Dauer beeinflusst werden.

Der Gesamtrückgang der spezifischen Luftfeuchtigkeit seit 1948 in rund 9 km Höhe ist bemerkenswert, da diese Höhe in etwa dem Niveau entspricht, in dem sich der theoretische Temperatureffekt des erhöhten atmosphärischen CO_2 zunächst auswirken dürfte.

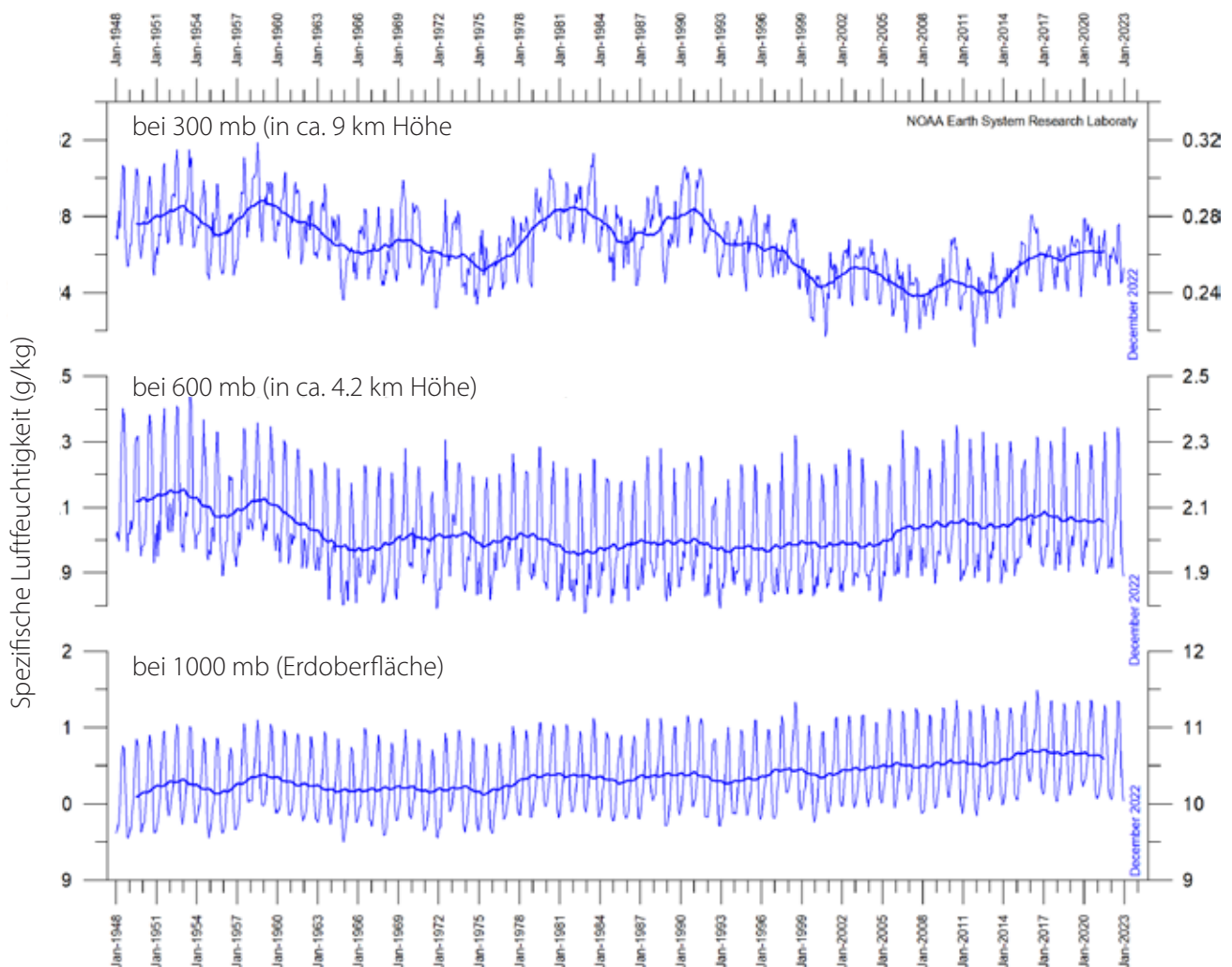


Abbildung 16: Luftfeuchtigkeit.

Spezifische Luftfeuchtigkeit (g/kg) in drei verschiedenen Höhenlagen der Troposphäre seit Januar 1948. Die dünnen blauen Linien zeigen monatliche Werte, während die dicken blauen Linien das gleitende 37-Monats-Mittel (etwa 3 Jahre) darstellen. Datenquelle: Earth System Research Laboratory (NOAA).

Kohlendioxid

Kohlendioxid (CO₂) ist ein wichtiges Treibhausgas, wenn auch weniger wichtig als H₂O. Seit 1958 ist eine steigende Tendenz der atmosphärischen Konzentration zu beobachten, wobei ein Jahreszyklus überlagert wird. Ende 2021 lag die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre bei 419 Teilen pro Million (ppm; Abbildung 17). CO₂ wird im Allgemeinen als ein relativ gut durchmisches Gas in der Troposphäre angesehen.

Die 12-Monats-Änderung des CO₂ in der Troposphäre hat sich von etwa +1 ppm/Jahr zu Beginn der Aufzeichnung auf etwa +2,6 ppm/Jahr gegen Ende der Aufzeichnung erhöht (Abbildung 18). Eine Fourier-Frequenzanalyse (hier nicht dargestellt) zeigt, dass die 12-monatige Veränderung des CO₂ in der Troposphäre ins-

besondere durch eine signifikante periodische Schwankung von 3,6 Jahren Dauer beeinflusst wird. Es gibt keine sichtbaren Auswirkungen des globalen COVID-19 Lockdown 2020–2021 auf die Menge des atmosphärischen CO₂.

Aufschlussreich ist die Betrachtung der jährlichen Änderungsraten des atmosphärischen CO₂ sowie der globalen Luft- und Meeresoberflächentemperaturen (Abbildung 19). Alle drei Raten schwanken eindeutig gemeinsam, aber die Meeresoberflächentemperaturen sind der globalen Temperatur um einige Monate und dem atmosphärischen CO₂ um 11–12 Monate voraus. Wichtige Veränderungen haben offenbar ihren Ursprung an der Meeresoberfläche.

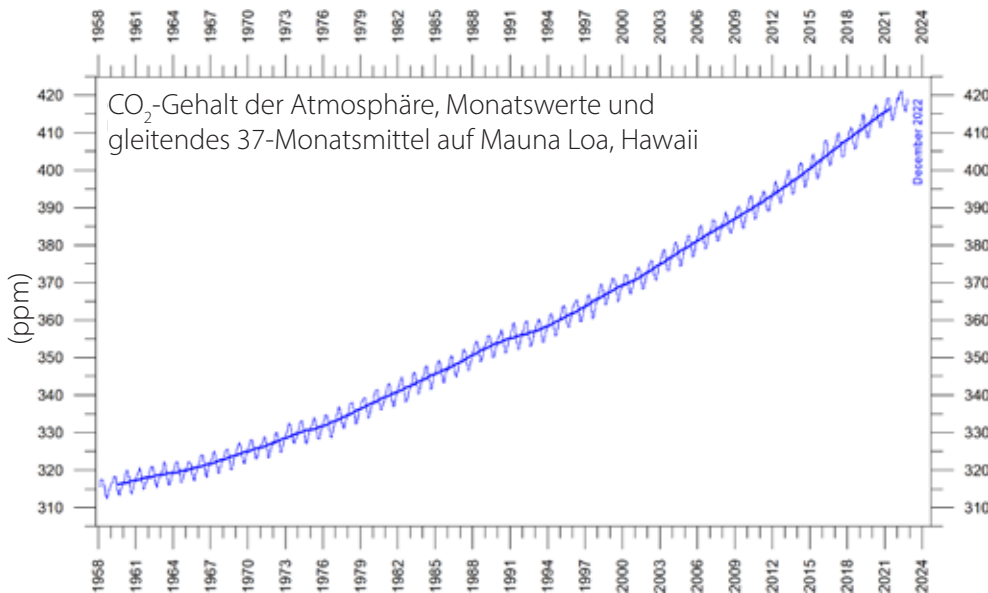


Abbildung 17: CO₂-Aufzeichnung auf dem Mauna Loa

Dünne Linien: Monatswerte; dicke Linien: Gleitendes 37-Monatsmittel.

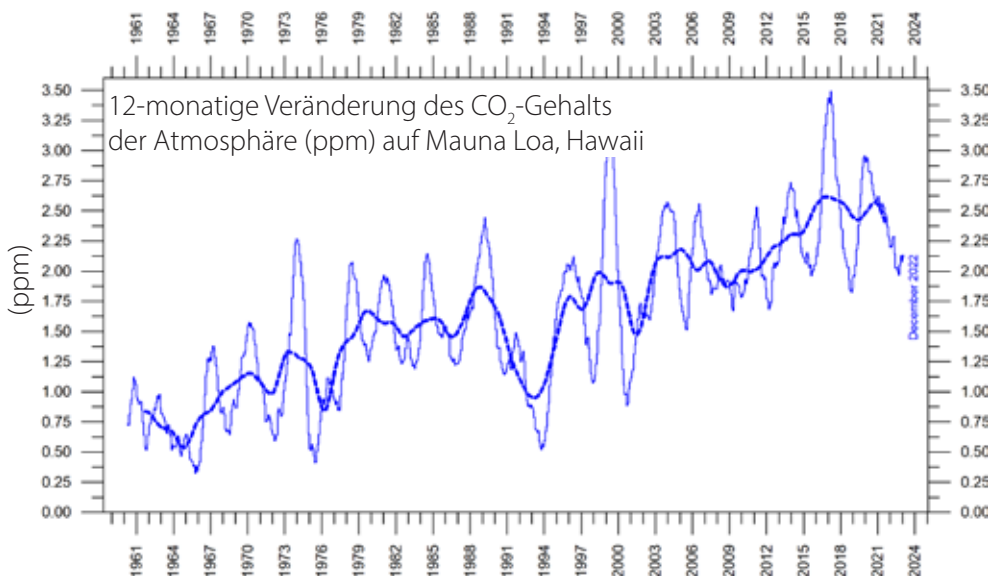


Abbildung 18: Jährliche CO₂-Veränderung

Differenz von zwei 12-Monats-Durchschnittswerten. Dünne Linie: Monatswerte; dicke Linie: Laufendes 3-Jahresmittel.

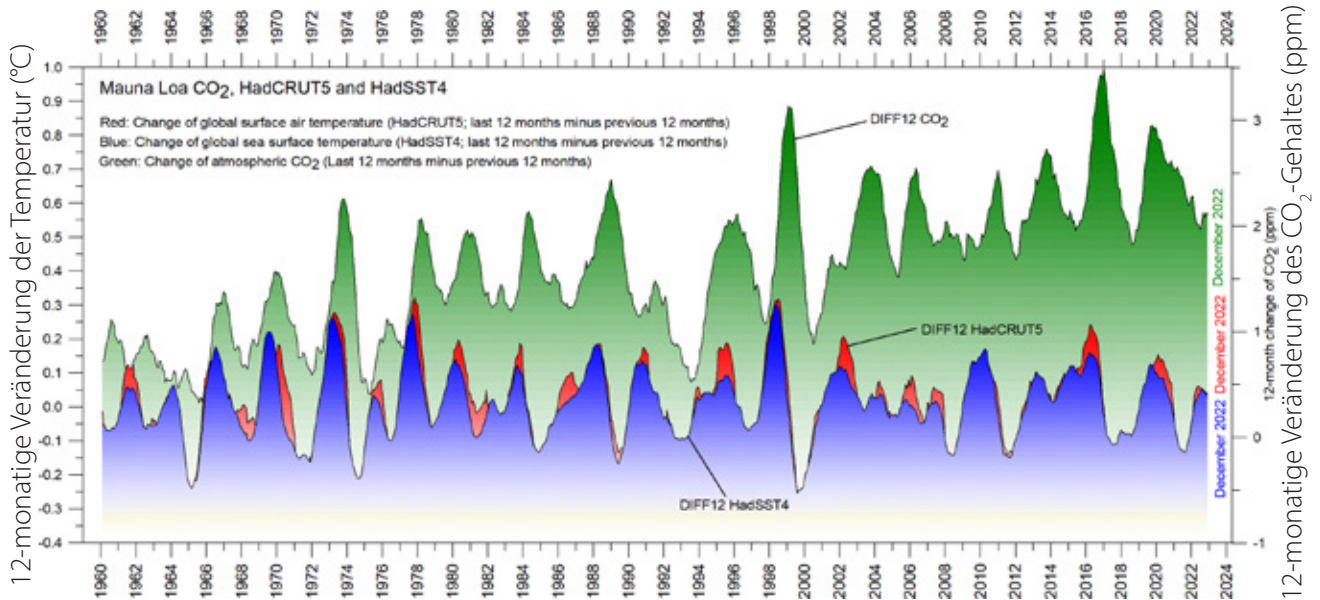


Abbildung 19: Korrelation von Kohlendioxidkonzentrationen und Temperaturaufzeichnungen.

Jährliche (12-Monatige) Änderung der globalen atmosphärischen CO₂-Konzentration (Mauna Loa; grün), der globalen Meeresoberflächentemperatur (HadSST4; blau) und der globalen Oberflächenlufttemperatur (HadCRUT5; rot). Alle Diagramme zeigen die monatlichen Werte von DIFF12, der Differenz zwischen dem Durchschnitt der letzten 12 Monate und dem Durchschnitt der vorangegangenen 12 Monate für jede Datenreihe

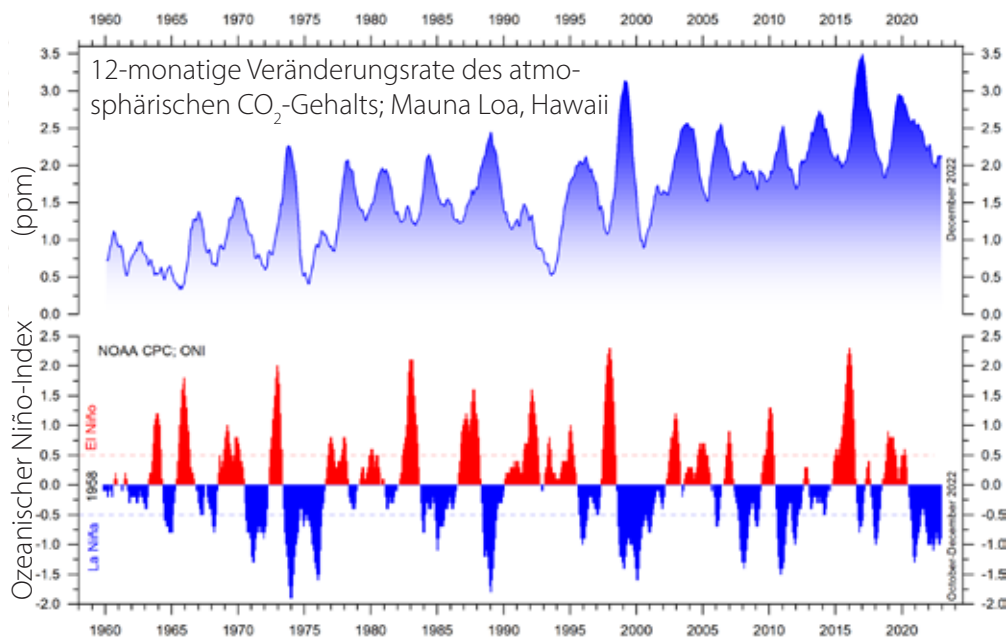


Abbildung 20: CO₂-Wachstum und El Niño- und La Niña-Episoden

Visueller Zusammenhang zwischen der jährlichen Wachstumsrate des atmosphärischen CO₂ (obere Grafik) und dem Ozeanischen Niño-Index (untere Grafik).

Abbildung 20 zeigt die jährliche Veränderung des atmosphärischen CO₂ und seinen Zusammenhang mit La-Niña- und El-Niño-Episoden,

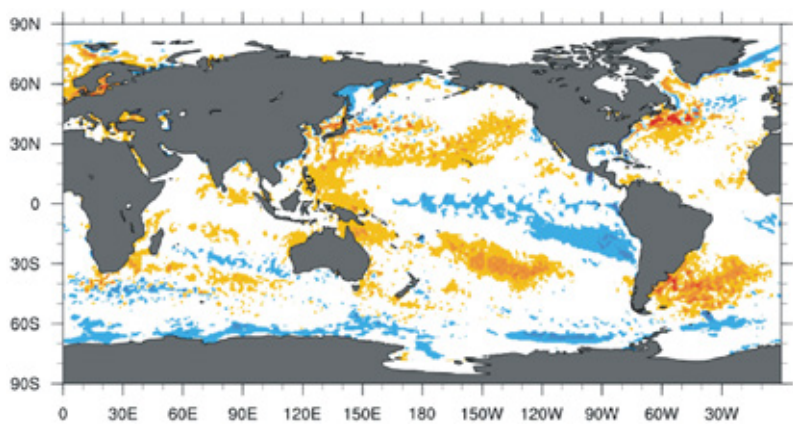
was die Bedeutung der Ozeandynamik für das Verständnis der Veränderungen des atmosphärischen CO₂ unterstreicht.

3. Meerestemperaturen

Jüngste Anomalien der Oberflächentemperatur

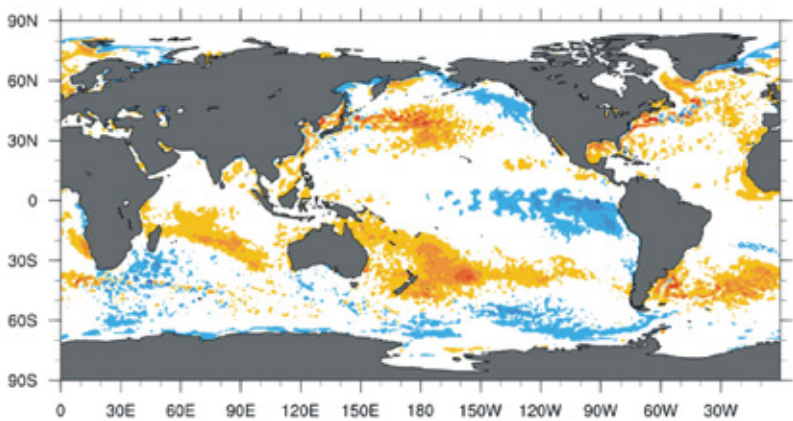
Die drei Karten in Abbildung 21 zeigen die moderate La Niña, die einen Großteil der Jahre 2020 und 2021 prägte, und ihre etwas gedämpften Auswirkungen Ende 2022. Abbildung 22 zeigt alle El Niño- und La Niña-Episoden seit 1950. Der El Niño 2015–16 gehört zu den stärksten seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1950

und entspricht dem globalen Temperaturhoch im Jahr 2016 (Abbildungen 6, 7 und 12–14). Betrachtet man jedoch die gesamte Aufzeichnung, so erscheinen die jüngsten Schwankungen bei El Niño- und La Niña-Episoden nicht abnormal.

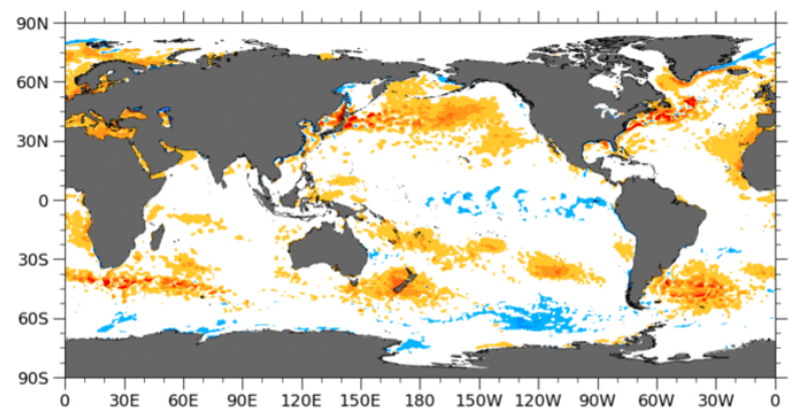


2020 **Abbildung 21: Anomalien der Meeresoberflächentemperatur**

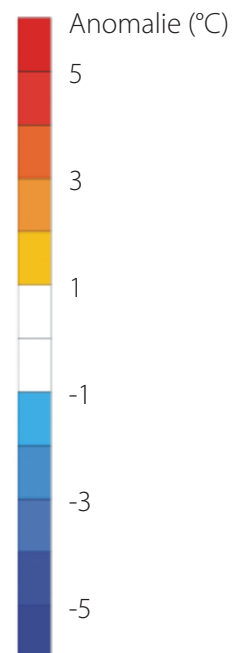
Anomalien der Meeresoberflächentemperatur im Dezember 2020, 2021 und 2022 (°C). Referenzperiode: 1977–1991. Dunkelgrau stellt Landgebiete dar. Quelle der Karte: Plymouth State Weather Center.



2021



2022



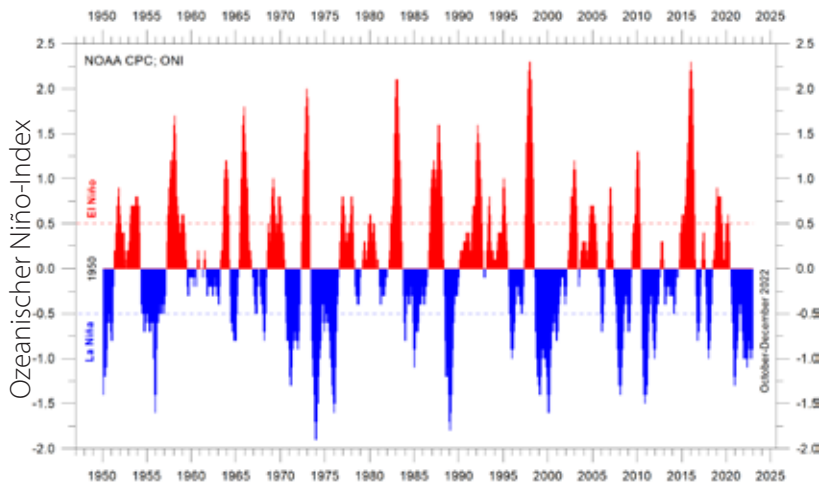


Abbildung 22: Der El Niño-Index

Warme und kalte Episoden für den Ozeanischen Niño-Index (ONI), definiert als 3-monatiges gleitendes Mittel der ERSST.v5 SST-Anomalien in der Niño 3.4-Region (5°N–5°S, 120°–170°W). Die Anomalien basieren auf einem 30-jährigen Basiszeitraum, der alle 5 Jahre aktualisiert wird.



Nach Breitengrad

Auf der Grundlage von Beobachtungen durch Argo-Floats (Roemmich und Gilson 2009) zeigt das globale Übersichtsdiagramm (Abbildung 23), dass die Temperatur der Weltmeere im Durchschnitt bis zu einer Tiefe von 1'900 m seit etwa 2010 ansteigt. Es ist auch zu erkennen, dass dieser Anstieg seit 2013 überwiegend auf ozeanische Veränderungen in Äquatornähe,

zwischen 30°N und 30°S, zurückzuführen ist. In den zirkumarktischen Ozeanen, nördlich von 55°N, sind die tiefenintegrierten Ozeantemperaturen dagegen seit 2011 rückläufig. In der Nähe der Antarktis, südlich von 55°S, sind die Temperaturen im Wesentlichen stabil geblieben. In den meisten Breitengraden ist ein klarer Jahresrhythmus zu erkennen.

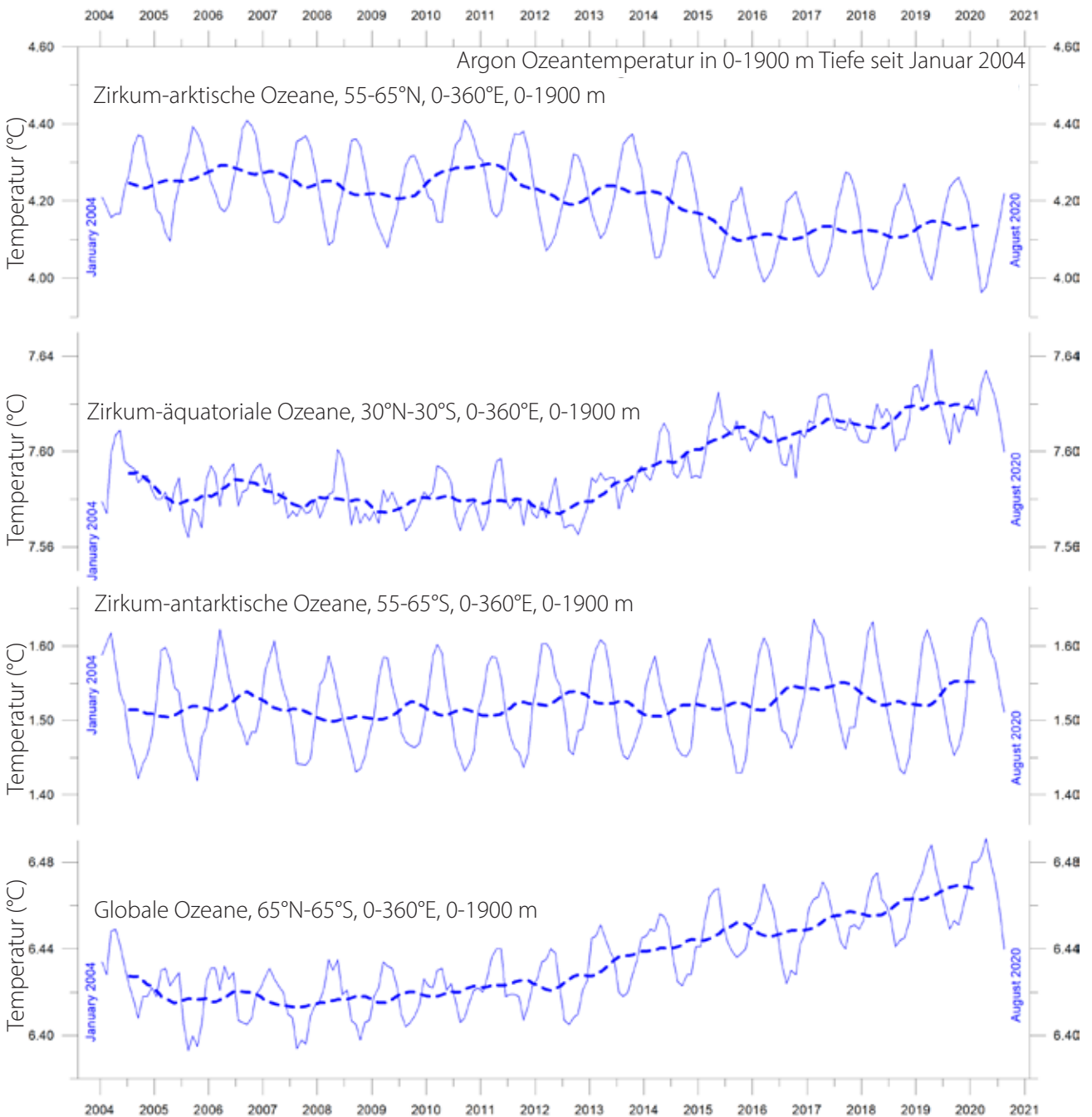


Abbildung 23: Ozeantemperaturen bis 1900 m

Durchschnittliche Ozeantemperaturen von Januar 2004 bis August 2020 in 0–1'900 m Tiefe in ausgewählten Breitengraden, unter Verwendung von Argo-Daten. Die dünne Linie zeigt die monatlichen Werte, die dicke gepunktete Linie zeigt das gleitende 13-Monatsmittel. Quelle: Globaler Meeres-Argo-Atlas.

Nach Tiefe

Abbildung 24 zeigt die globalen durchschnittlichen Meerestemperaturen in verschiedenen Tiefen. Bis in etwa 100 m Tiefe lässt sich ein Jahresrhythmus erkennen. In den obersten 100 m haben die Temperaturen seit etwa 2011 zugenommen. In 200–400 m Tiefe haben sich die Temperaturen während des Beobachtungszeitraums kaum verändert.

In Tiefen unter 400 m haben die Temperaturen im Beobachtungszeitraum jedoch zugenommen. Interessanterweise deuten die Daten darauf hin, dass dieser Anstieg etwa 2009 in

1900 m Tiefe begann und sich von dort aus allmählich nach oben ausgebreitet hat. In 600 m Tiefe begann der derzeitige Temperaturanstieg um 2012, also etwa drei Jahre später als in 1'900 m Tiefe. Der zeitliche Verlauf dieser Veränderungen zeigt, dass die Durchschnittstemperaturen in den oberen 1900 m der Ozeane nicht nur von Bedingungen beeinflusst werden, die sich an oder nahe der Meeresoberfläche abspielen, sondern auch von Prozessen, die in größeren Tiefen als 1'900 m ablaufen.

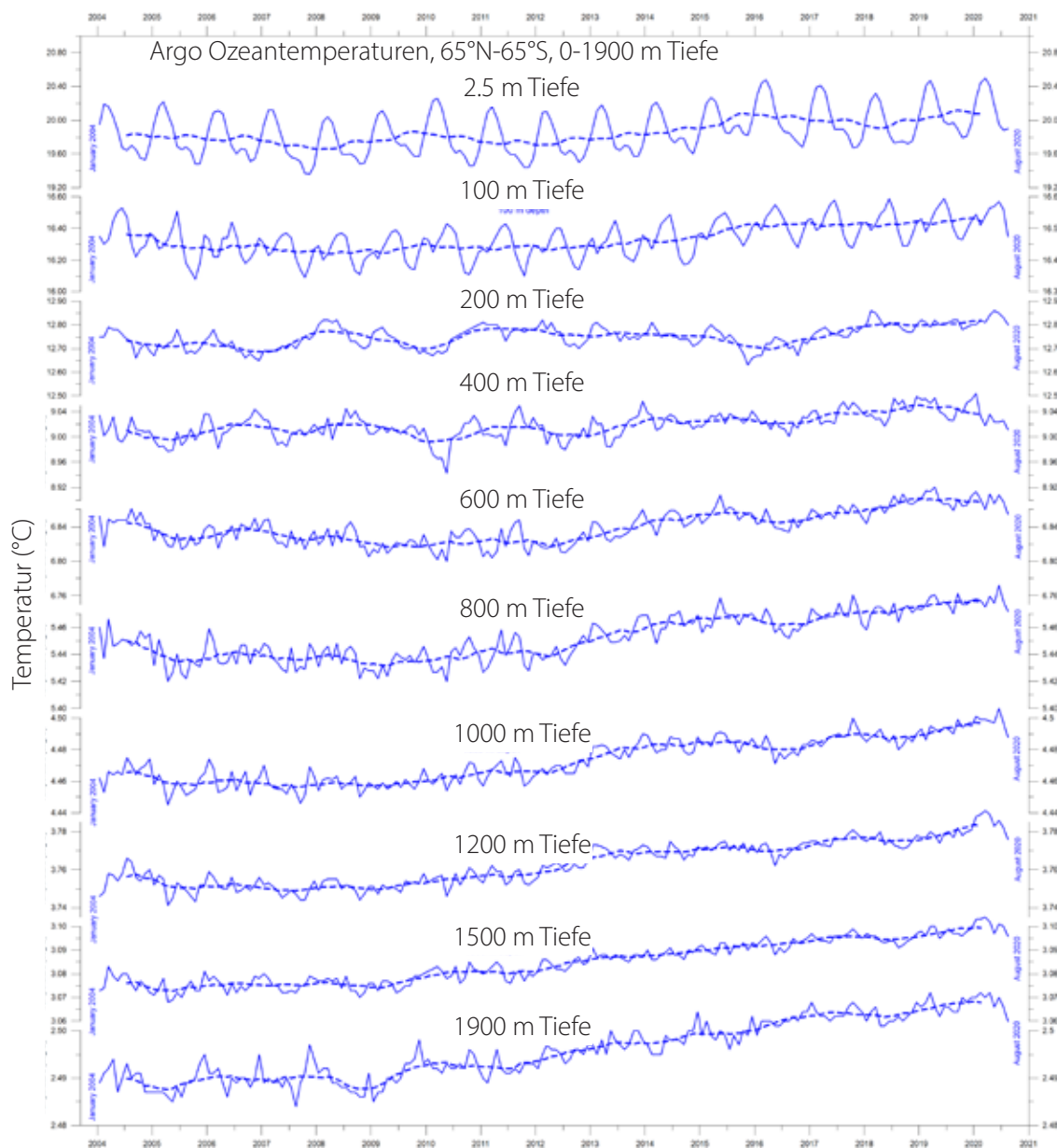


Abbildung 24: Ozeantemperaturen in verschiedenen Tiefen

Ozeantemperaturen Januar 2004–August 2020 in verschiedenen Tiefen zwischen 65°N und 65°S, unter Verwendung von Argo-Daten. Die dünne Linie zeigt die monatlichen Werte, die gestrichelte Linie den laufenden 13-Monats-Durchschnitt. Quelle: Globaler Meeres-Argo-Atlas.

Diese Entwicklung wird auch in Abbildung 25 deutlich, die die Nettoveränderungen der globalen Ozeantemperaturen in verschiedenen Tiefen zeigt, berechnet als Nettodifferenz zwischen zwei 12-Monats-Mittelwerten: für Januar-Dezember 2004 und September 2019-August 2020. Es zeigt sich, dass die größten Nettoveränderungen in den obersten 200

m der Wassersäule stattgefunden haben. Solche Durchschnittswerte sind zwar wichtig, verbergen aber auch viele interessante regionale Details. Diese werden im nächsten Abschnitt betrachtet.

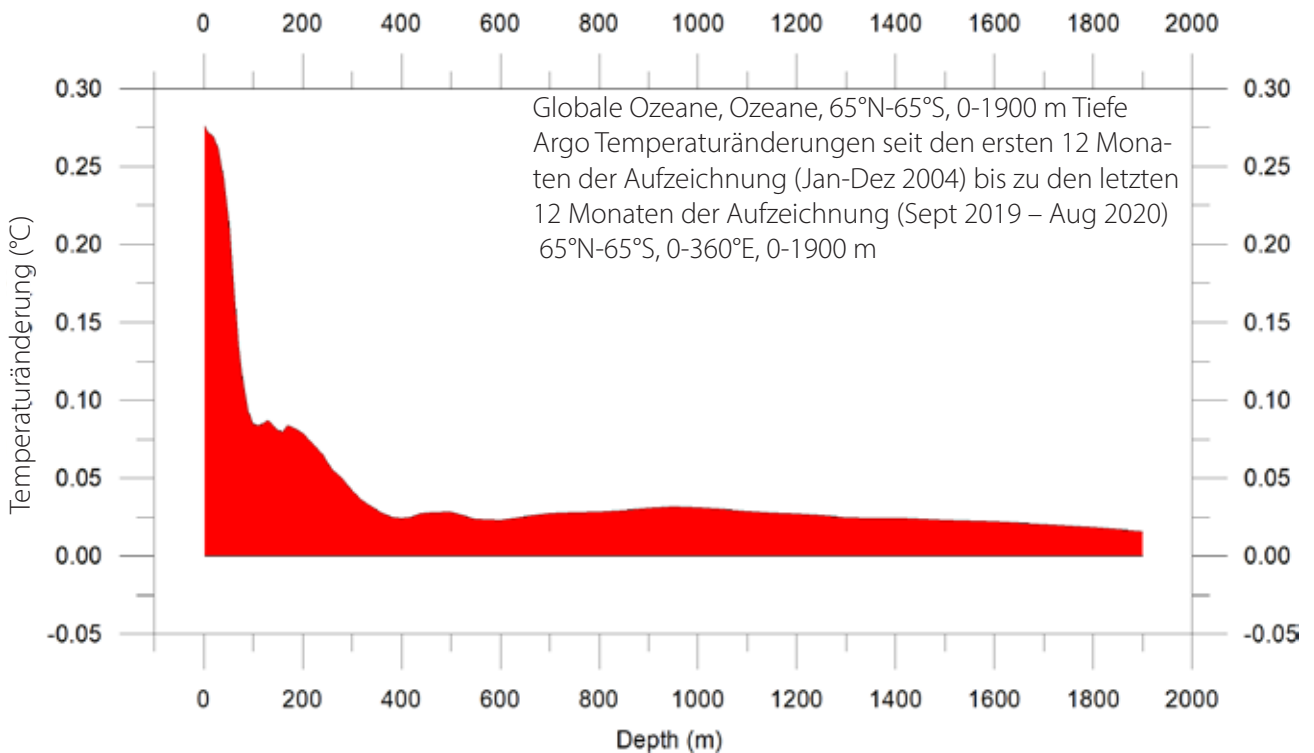


Abbildung 25: Temperaturänderungen 0–1900 m

Nettoveränderung der globalen Ozeantemperatur seit 2004 von der Oberfläche bis in 1'900 m Tiefe, unter Verwendung von Argo-Daten. Quelle: Globaler Meeres-Argo-Atlas.

Nach Region und Tiefe

Abbildung 26 zeigt die Nettoveränderungen der ozeanischen Temperatur zwischen denselben beiden 12-Monats-Zeiträumen wie im letzten Abschnitt, für verschiedene Tiefen und für drei verschiedene Breitengrade, die die arktischen Ozeane (55–65°N), die äquatorialen Ozeane (30°N-30°S) bzw. die antarktischen Ozeane (55–65°S) repräsentieren. Die in Abbildung 25 dar-

gestellte globale Nettooberflächenerwärmung betrifft die äquatorialen und antarktischen Ozeane, nicht aber die arktischen Ozeane. Tatsächlich ist die Nettoabkühlung in den nördlichen Ozeanen bis zu einer Tiefe von 1400 m ausgeprägt. Allerdings befindet sich ein Großteil der Landfläche der Erde auf der Nordhalbkugel, so dass die Oberfläche (und das Volumen) der

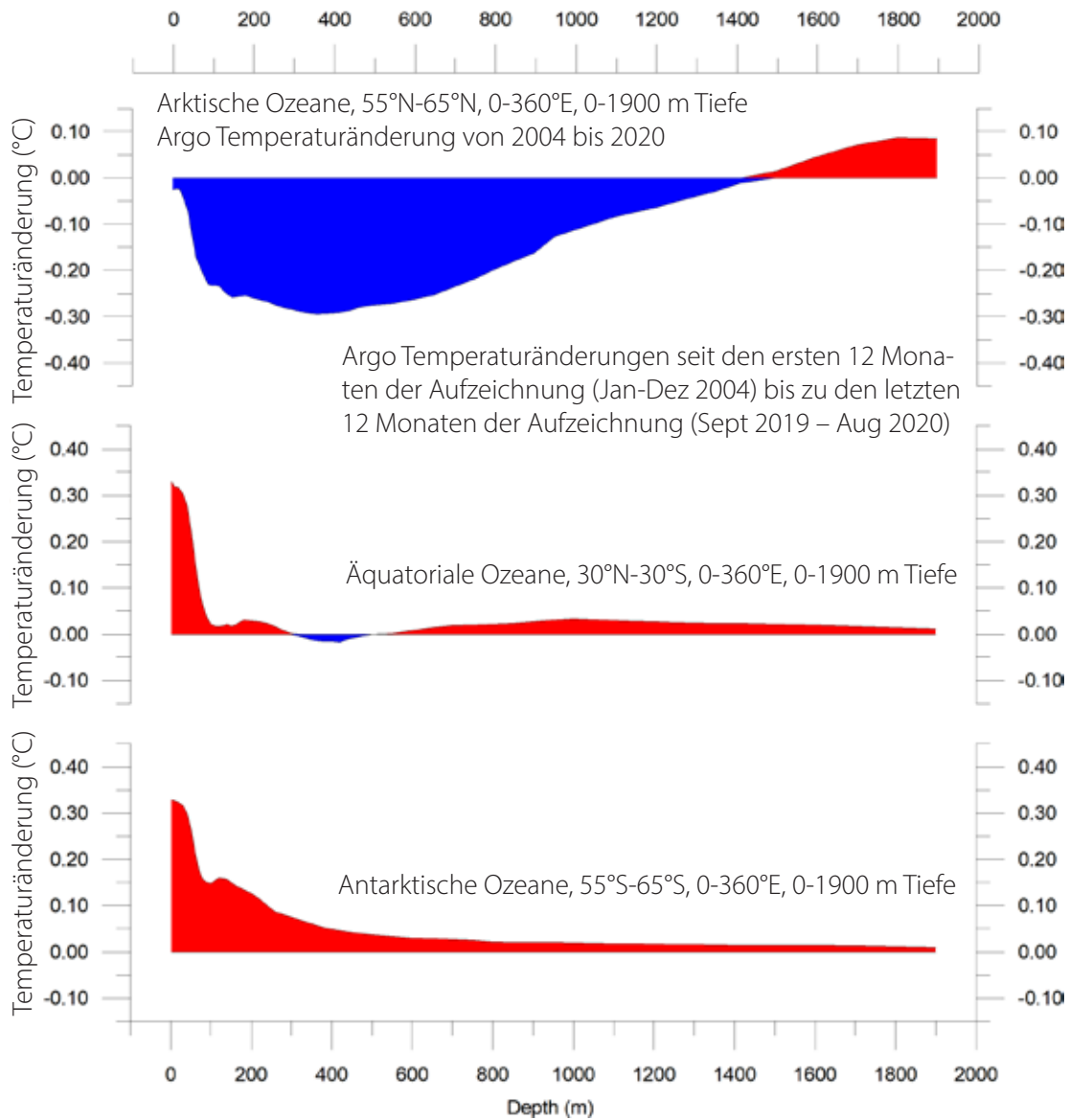


Abbildung 26: Temperaturänderungen 0–1'900 m

Nettoveränderung der globalen Ozeantemperatur seit 2004 von der Oberfläche bis 1'900 m Tiefe. Quelle: Globaler Meeres-Argo-Atlas.

«arktischen» Ozeane viel kleiner ist als die der «antarktischen» Ozeane, die wiederum kleiner sind als die der «äquatorialen» Ozeane. Tatsächlich befindet sich die Hälfte der Erdoberfläche (Land und Ozean) zwischen 30°N und 30°S.

Dennoch ist der Kontrast zwischen den Netto-Temperaturveränderungen in den verschiedenen Breitengraden aufschlussreich. Für die beiden polaren Ozeane scheinen die Argo-

Daten auf die Existenz einer bipolaren Wippe hinzudeuten, wie sie von Chylek et al. (2010) beschrieben wurde. Nicht minder interessant ist, dass die oberflächennahe Ozeantemperatur in den beiden polaren Ozeanen mit der Gesamtentwicklung des Meereises in den beiden Polarregionen kontrastiert (siehe weiter unten in diesem Bericht).

Nettoveränderung der Meerestemperatur 2004–2020 in ausgewählten Sektoren

Abbildung 28a zeigt die Netto-Temperaturveränderungen im Zeitraum 2004–2019 entlang 20°W, was den Atlantischen Ozean darstellt. Zur Erstellung des Diagramms wurden die 12-Monats-Durchschnittswerte der Ozeantemperaturen für 2019 mit den Jahresdurchschnittstemperaturen für 2004 verglichen, die die ersten 12 Monate der Argo-Aufzeichnungen darstellen. Die Argo-Daten laufen jedoch bis August 2020, und um einen Einblick in die jüngsten Veränderungen zu geben, wird die 12-monatige Nettoveränderung von September 2019 bis August 2020 im unteren Diagramm dargestellt (Abbildung 28b). Warme Farben stehen für eine Nettoerwärmung und blaue Farben für eine Abkühlung. Aufgrund der Kugelform der Erde sind die Ozeanvolumina in hohen Breiten kleiner als in niedrigeren Breiten in der Nähe des Äquators. Unter diesem Vorbehalt zeigen die Daten entlang des Atlantikprofils dennoch einige interessante Merkmale auf.

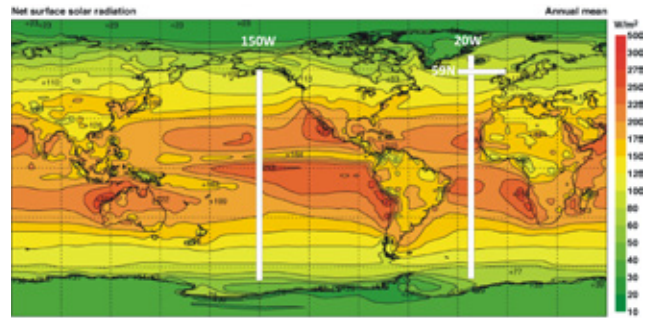


Abbildung 27: Lage der drei Profile

Durchschnittliche jährliche Netto-Oberflächensonnenstrahlung (W/m^2) und die Lage der drei beschriebenen Profile

Das auffälligste Merkmal des Profils 2004–2019 ist eine deutliche Nettoabkühlung an der Oberfläche nördlich des Äquators, insbesondere nördlich von 45°N. Tiefere Schichten bis zu 1500 m Tiefe sind daran beteiligt. Am Äquator und südlich davon überwiegt die Nettoerwärmung an der Oberfläche, aber in 50–300 m Tiefe ist eine Nettoabkühlung zu verzeichnen. Die

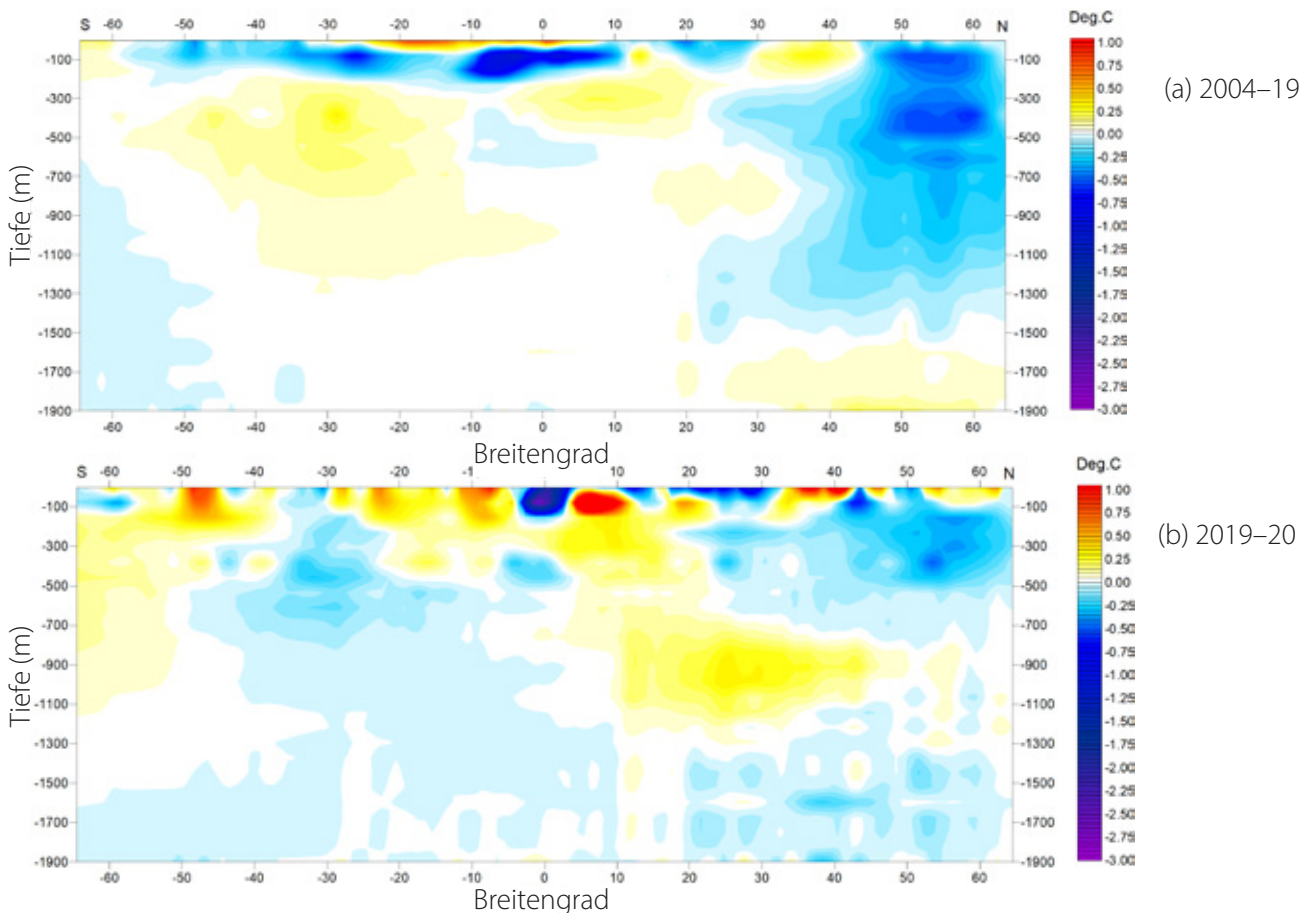


Abbildung 28: Temperaturänderung entlang des Atlantikprofils, 0–1900 m

a) 2004–2020 und (b) September 2019 bis August 2020. Siehe Abbildung 27 für die geografische Lage des Profils. Datenquelle: Globaler Meeres-Argo-Atlas.

maximale Nettoerwärmung ist zwischen 5°N und 25°S zu beobachten und betrifft flache Gewässer bis zu einer Tiefe von etwa 50 m. Eine Erwärmung ist auch in Breitengraden zwischen 10°S und 45°S in einer Tiefe von 200 bis 1'200 m zu beobachten.

Die Temperaturentwicklung während der letzten 12 Monate der Aufzeichnung (Abbildung 28b) zeigt ein komplizierteres Muster, insbesondere in Oberflächennähe. Die Erwärmung des Südatlantiks in der Tiefe scheint sich jedoch abzuschwächen, während sich die Abkühlung im Nordatlantik fortzusetzen scheint, mit Ausnahme der Tiefen zwischen 800 und 1'100 m.

Von besonderem Interesse ist die Temperaturdynamik innerhalb eines 59°N-Profiles durch den Nordatlantikstrom, direkt südlich der Färöer-Inseln, da dieses Gebiet für Wetter und Klima in weiten Teilen Europas von Bedeutung ist. Abbildung 29 zeigt eine Zeitreihe bei 59°N, von 30°W bis 0°W, und von der Oberfläche bis 800 m

Tiefe. Dies stellt im Wesentlichen einen Schnitt durch die vom Nordatlantikstrom beeinflussten Wassermassen dar. Ozeantemperaturen von mehr als 9°C sind durch rote Farben gekennzeichnet.

Diese Zeitreihe ist zwar noch relativ kurz, zeigt aber eine bemerkenswerte Dynamik. Das Auftreten von warmem Wasser (über 9°C) erreichte offenbar Anfang 2006 seinen Höhepunkt, woraufhin die Temperaturen bis 2016 allmählich zurückgingen. Seitdem hat sich die Temperatur teilweise erholt. Die beobachtete Veränderung vom Höchststand zum Tiefststand, die sich über etwa 11 Jahre erstreckt, könnte auf einen 22-jährigen Temperaturzyklus hindeuten, aber wir müssen abwarten, bis die Argo-Reihe länger ist, bevor wir Schlussfolgerungen ziehen.

Abbildung 30 zeigt dieselben Zeitreihendaten (59°N, 30–0°W, 0–800 m Tiefe, 2004–2020) als Grafik der tiefenintegrierten durchschnittlichen Meerestemperatur.

Abbildung 29: Temperaturänderung entlang des Profils des Nordatlantikstroms, 0–800 m

Siehe Abbildung 27 für die geografische Lage des Profils. Datenquelle: Globaler Meeres-Argo-Atlas

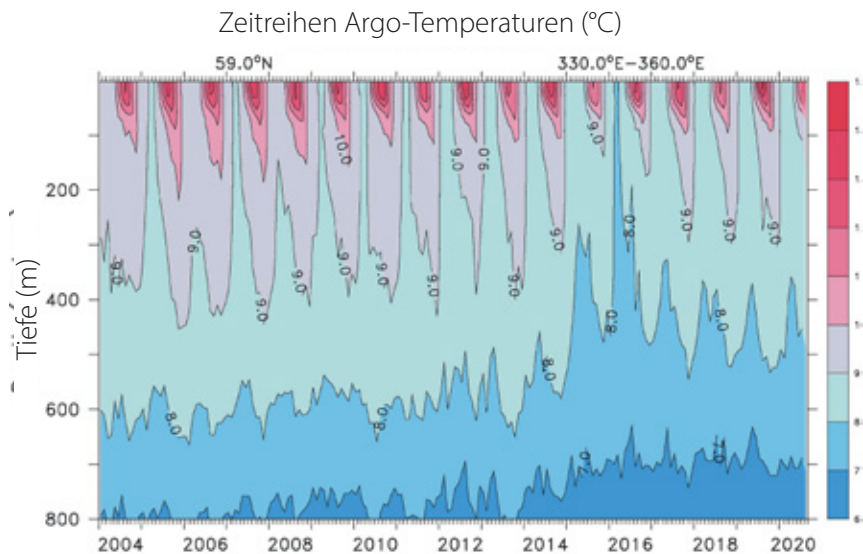


Abbildung 30: Tiefenintegrierte Temperatur für das Profil des Nordatlantikstroms

Siehe Abbildung 27 für die geografische Lage des Profils. Datenquelle: Globaler Meeres-Argo-Atlas.

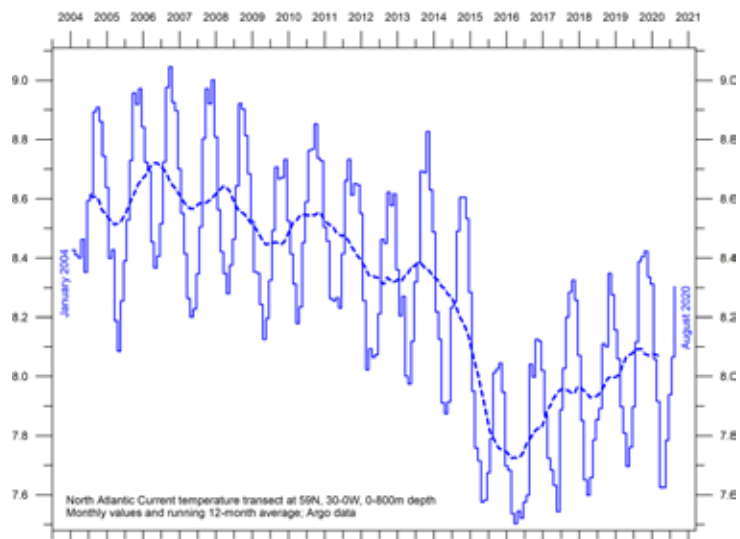


Abbildung 31 ist analog zu Abbildung 28, jedoch für ein Profil entlang 150°W, das somit den Pazifischen Ozean repräsentiert (die Aussagen zu den Volumina in hohen und niedrigen Breitengraden gelten weiterhin).

Abbildung 31a stellt die Veränderungen für 2004–2019 dar und zeigt eine leichte Nettoabkühlung, die sich auf fast alle Tiefen bis zu 1'900 m südlich von 55°S auswirkt. Dies steht im Gegensatz zu einer allgemeinen Nettoerwärmung bis hinunter zu 1000 m nördlich von 55°S. Die Nettoerwärmung war besonders ausgeprägt zwischen 40°N und 60°N, bis in 200 m Tiefe. Im Gegensatz dazu ist eine Nettoabkühlung in Tiefen zwischen 100 und 500 m zwischen 5°S und 30°N, sowie zwischen 20°S und 30°S zu beobachten.

In den letzten 12 Monaten dominiert in der Argo-Datenreihe (Abbildung 31b) die Ab-

kühlung in allen Tiefen zwischen 45°S und 30°N. Zumindest ein Teil dieser jüngsten Temperaturentwicklung kann wahrscheinlich mit dem Einsetzen von La Niña gegen Ende 2020 zusammenhängen (Abbildung 22). Weder der atlantische noch der pazifische Längsschnitt lassen erkennen, inwieweit die Nettoveränderungen durch die Ozeandynamik östlich und westlich der beiden betrachteten Profile verursacht werden. Aus diesem Grund sollten sie nicht überinterpretiert werden. Sie zeigen jedoch einen interessanten Kontrast: Der Pazifik erwärmt sich hauptsächlich, vor allem nördlich des Äquators, und kühlt sich im Süden ab, während für den Atlantik das Gegenteil gilt: Abkühlung im Norden und Erwärmung im Süden.

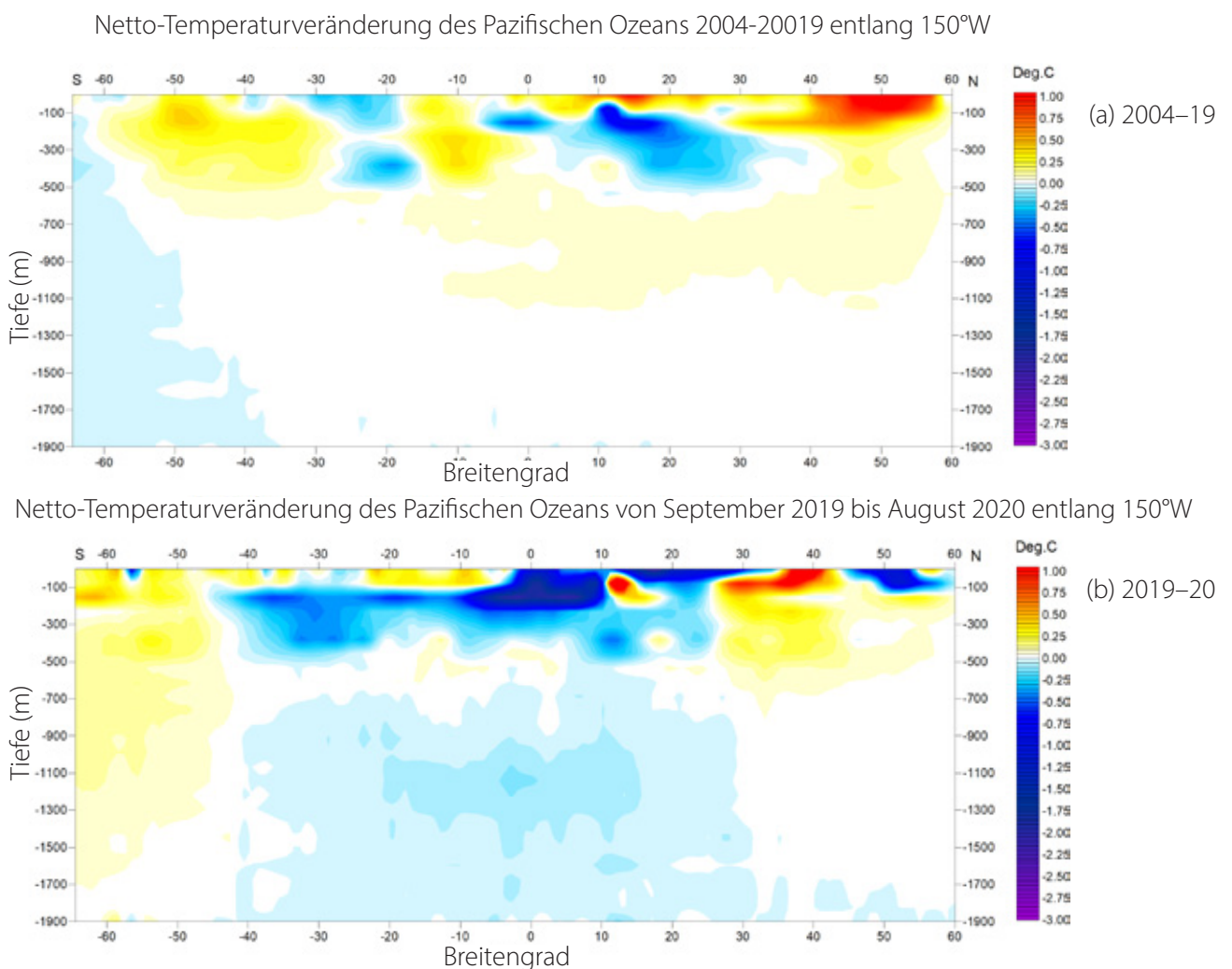


Abbildung 31: Temperaturänderung entlang des Pazifikprofils, 0–1900 m

(a) 2004–2020 und (b) September 2019 bis August 2020. Siehe Abbildung 27 für die geografische Lage des Profils. Datenquelle: Globaler Meeres Argo-Atlas

4. Ozeanische Schwingungen

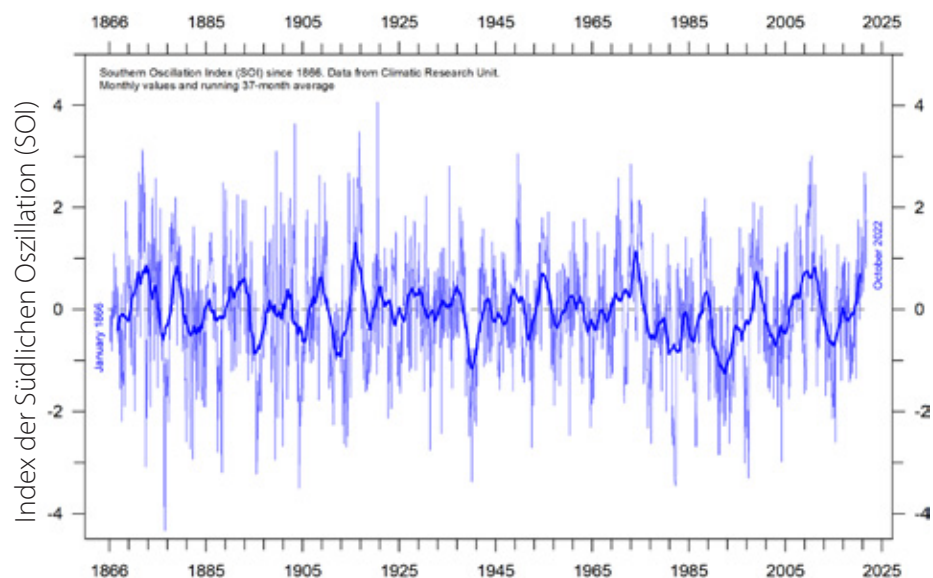
Index der Südlichen Oszillation (SOI)

Die Südliche Oszillation kann als die atmosphärische Komponente von El Niño- / La Niña-Episoden betrachtet werden. Anhaltend negative Werte des SOI (Abbildung 32) weisen häufig auf El Niño-Episoden hin. Solche negativen Werte gehen in der Regel einher mit einer anhaltenden Erwärmung des zentralen und östlichen tropischen Pazifiks, einer Abnahme der Stärke der pazifischen Passatwinde und einem Rückgang der Niederschläge über Ost- und Nordaustralien.

Positive Werte des SOI sind in der Regel verbunden mit stärkeren pazifischen Passatwinden und höheren Meeresoberflächentemperaturen nördlich von Australien, was auf La Niña-Episoden hinweist. Das Wasser im zentralen und östlichen tropischen Pazifik wird zu solchen Zeiten kühler. Ost- und Nordaustralien erhalten in der Regel mehr Niederschläge während solcher Perioden.

Abbildung 32: Jährliche SOI Anomalie seit 1866

Die dünne Linie stellt jährliche Werte dar, während die dicke Linie das einfache gleitende 5-Jahres-Mittel angibt. Quelle: Climatic Research Unit, University of East Anglia.



Pazifische Dekadische Oszillation (PDO)

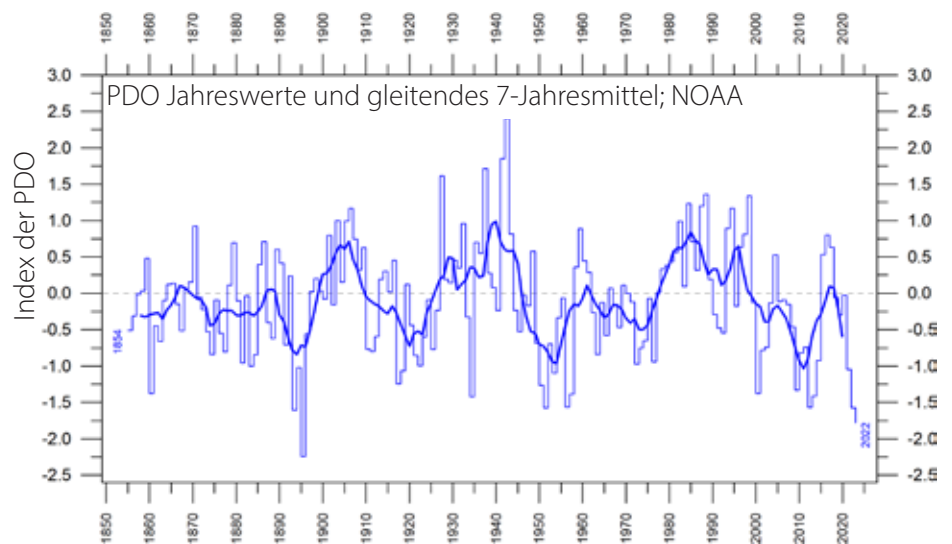
Die PDO (Abbildung 33) ist ein langlebiges El Niño-ähnliches Muster der pazifischen Klimavariabilität, dessen Daten bis zum Januar 1900 zurückreichen. Die Ursachen der PDO sind derzeit nicht bekannt, aber selbst ohne ein theoretisches Verständnis verbessert die Berücksichtigung ihrer Variabilität die saisonalen und jährlichen Klimavorhersagen für Nordamerika, da sie eine starke Tendenz zu mehrjähriger Persistenz aufweist. Die PDO scheint auch in etwa mit den globalen Temperaturveränderungen übereinzustimmen. Daher ist sie aus Sicht der gesellschaftlichen Auswirkungen von Bedeutung, da sie zeigt, dass «normale» Klimabedingungen über Zeiträume schwanken können, die mit der Länge eines Menschenlebens vergleichbar sind.

Die PDO veranschaulicht sehr schön, wie die globalen Temperaturen mit den Temperaturen an der Meeresoberfläche im Pazifischen Ozean, dem größten Ozean der Erde, verbunden sind. Wenn die Meeresoberflächentemperaturen relativ niedrig sind (negative PDO-Phase), wie von 1945 bis 1977, sinkt die globale Lufttemperatur. Wenn die Meeresoberflächentemperaturen hoch sind (positive Phase der PDO), wie in den Jahren 1977 bis 1998, steigt die globale Oberflächentemperatur der Luft (Abbildungen 12–14).

Eine Fourier-Frequenzanalyse (hier nicht dargestellt) zeigt, dass die PDO von einem 5,7-Jahres-Zyklus beeinflusst wird und möglicherweise auch von einem längeren Zyklus von etwa 53 Jahren

Abbildung 33: : Jahreswerte der Pazifischen Dekadischen Oszillation (PDO) nach Angaben des Physical Sciences Laboratory, NOAA.

Die dünne Linie zeigt die jährlichen PDO-Werte, die dicke Linie das gleitende 7-Jahres-Mittel. Quelle: PDO-Werte von NOAA Physical Sciences Laboratory: ERSST V5, <https://psl.noaa.gov/pdo/>.



Atlantische Multidekadische Oszillation (AMO)

Die AMO (Abbildung 34) ist eine Form der Variabilität, die im nordatlantischen Ozean im Bereich der Oberflächentemperatur auftritt. Sie ist im Wesentlichen ein Index der nordatlantischen Meeresoberflächentemperatur (SST).

Der AMO-Index scheint in weiten Teilen mit Lufttemperaturen und Niederschlägen der nördlichen Hemisphäre korreliert zu sein. Dieser Zusammenhang scheint für den Nordosten Brasiliens, die Niederschläge in der afrikanischen

Sahelzone und das nordamerikanische und europäische Sommerklima besonders ausgeprägt zu sein. Der AMO-Index scheint auch mit Veränderungen in der Häufigkeit nordamerikanischer Dürren verbunden zu sein und spiegelt sich in der Häufigkeit schwerer atlantischer Hurrikane wider.

Der AMO-Index kann beispielsweise mit dem Auftreten großer Dürren im Mittleren Westen und Südwesten der USA in der Vergangen-

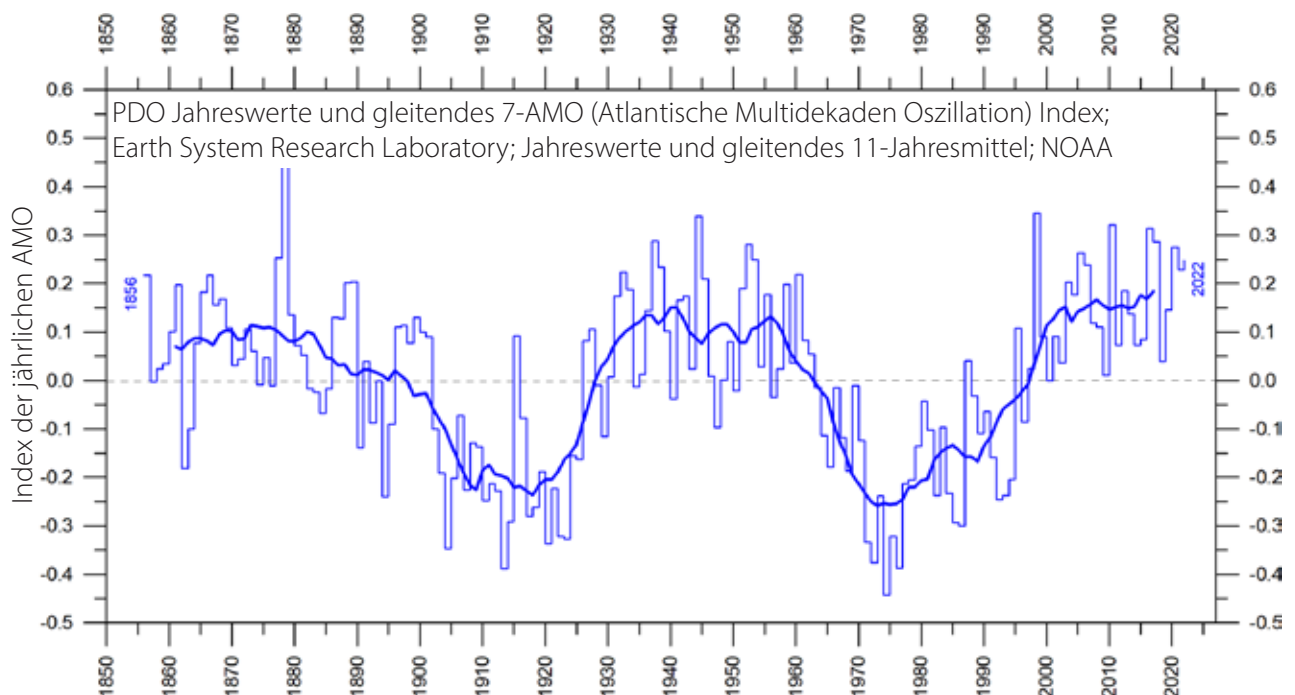


Abbildung 34: Die Atlantische Multidekadische Oszillation

Trend-bereinigte und ungeglättete jährliche Indexwerte der Atlantischen Multidekadischen Oszillation (AMO) seit 1856. Die dünne blaue Linie zeigt die jährlichen Werte, und die dicke Linie ist das einfache gleitende 11-Jahresmittel. Datenquelle: Earth System Research Laboratory, NOAA, USA.

heit in Beziehung gesetzt werden. Wenn die AMO hoch ist, treten diese Dürren häufiger auf oder dauern länger an, und umgekehrt, wenn die Werte niedrig sind. Zwei der schwersten Dürren des 20. Jahrhunderts in den USA - in den 1950er Jahren und die «Dust Bowl» der 1930er Jahre - fielen in die Zeit der höchsten AMO-Werte, die von 1925 bis 1965 dauerten. In Florida

und im Pazifischen Nordwesten hingegen ist der Effekt eher umgekehrt, da eine hohe AMO in diesen Gebieten mit relativ hohen Niederschlägen einhergeht.

Eine Fourier-Analyse (hier nicht dargestellt) zeigt, dass die AMO einen Zyklus von etwa 67 Jahren Dauer aufweist, und in geringerem Maße einen weiteren von 3,5 Jahren.

5. Meeresspiegel

Im Allgemeinen

Der globale, regionale und lokale Meeresspiegel ändert sich ständig. Während des letzten glazialen Maximums, vor etwa 20–25'000 Jahren, lag der globale Meeresspiegel rund 120 m niedriger als heute. Seit dem Ende der so genannten Kleinen Eiszeit vor etwa 100–150 Jahren ist der globale Meeresspiegel laut Gezeitenmessdaten im Durchschnitt um 1–2 mm pro Jahr gestiegen.

Die globale (oder eustatische) Meeresspiegeländerung wird relativ zu einem idealisierten Referenzniveau, dem Geoid, gemessen, das ein mathematisches Modell der Erdoberfläche darstellt (Carter et al. 2014). Der globale Meeresspiegel ist eine Funktion des Volumens der Ozeanbecken und dem darin enthaltenen Wasservolumen. Veränderungen des globalen Meeresspiegels werden durch vier Hauptmechanismen verursacht, sind aber nicht auf diese beschränkt:

- Änderungen des lokalen und regionalen Luftdrucks und des Windes, sowie Gezeitenänderungen durch den Mond.
- Veränderungen des Volumens der Ozeanbecken durch tektonische (geologische) Kräfte.
- Änderungen der Dichte des Ozeanwassers, verursacht durch Schwankungen der Strömungen, der Wassertemperatur und des Salzgehalts.
- Änderungen des Wasservolumens, die durch Veränderungen in der Massenbilanz der terrestrischen Gletscher verursacht werden.

Darüber hinaus gibt es einige andere Mechanismen, die den Meeresspiegel beeinflussen: Speicherung von Grundwasser, Speiche-

rung in Seen und Flüssen, Verdunstung und so weiter.

Veränderungen des Volumens der Ozeanbecken treten zu langsam auf, um über die Lebenszeit des Menschen signifikant zu sein, und daher sind es die Mechanismen 3 und 4, die die heutigen Sorgen über den Anstieg des Meeresspiegels begründen.

Die höhere Temperatur an sich ist nur ein kleiner Faktor, der zum globalen Meeresspiegelanstieg beiträgt, weil Meerwasser einen relativ kleinen Ausdehnungskoeffizient hat und weil die Erwärmung über die Zeiträume, die von Interesse sind, weitgehend auf die die oberen paar hundert Meter der Meeresoberfläche beschränkt ist.

Das Wachstum oder der Zerfall von Meereis hat keinen Einfluss auf den Meeresspiegel. Allerdings ist das Schmelzen von Landeis - einschließlich der Gebirgsgletscher und der Eisschilde von Grönland und der Antarktis - von größerer Bedeutung. Wie bereits erwähnt, war der Meeresspiegel während des letzten glazialen Maximums etwa 120 m niedriger. Während des letzten Interglazials, vor etwa 120'000 Jahren, waren die globalen Temperaturen und damit auch der Meeresspiegel höher als heute, weil große Teile des grönländischen Eisschildes schmolzen.

Auf regionaler und lokaler Ebene müssen jedoch auch Luftdruck, Wind und das Geoid berücksichtigt werden. So wirken sich beispielsweise Veränderungen des Volumens des grönländischen Eisschildes auf das Geoid in den angrenzenden Regionen aus; wenn die Masse abnimmt, wird die Geoidoberfläche zum

Erdmittelpunkt hin verschoben, und der Meeresspiegel in der Region wird sinken. Dies geschieht selbst dann, wenn die Gesamtwassermenge in den Weltmeeren durch den Verlust des Gletschereises zunimmt.

In Nordeuropa muss bei der Schätzung des künftigen Meeresspiegels ein weiterer Faktor berücksichtigt werden. Norwegen, Schweden, Finnland und Dänemark waren vor 20–25'000 Jahren ganz oder teilweise vom Europäischen Eisschild bedeckt. Die Auswirkungen dieser Eislast zeigen sich noch heute in der isostatischen

Aus der Satellitenaltimetrie

Die Satellitenaltimetrie ist eine relativ neue Messmethode, die einzigartige und wertvolle Einblicke in die Veränderungen der detaillierten Oberflächen-Topographie der Ozeane mit nahezu globaler Abdeckung bietet. Aufgrund von Interpretationsproblemen im Zusammenhang mit den ursprünglichen Satellitendaten ist sie jedoch wahrscheinlich kein präzises Instrument zur Abschätzung der absoluten Veränderungen des globalen Meeresspiegels.

Das wichtigste Interpretationsproblem ist die Glaziale Isostatische Anpassung (GIA), eine Korrektur des großräumigen, langfristigen Massentransfers von den Ozeanen zum Land, der durch das Wachsen und Schwinden der großen quartären Eisschilde in Nordamerika und Nordeuropa entsteht. Dieser enorme Massentransfer führt zu Änderungen der Oberflächenbelastung, die sich in viskoelastischem Mantelfluss und elastischen Effekten in der oberen Kruste niederschlagen. Es ist schwierig, die Satellitendaten um diesen Effekt zu korrigieren, da keine einzelne Technik oder kein Beobachtungsnetz

Landhebung in der Region von mehreren Millimetern pro Jahr. An vielen Stellen gleicht dies den langsamen globalen Meeresspiegelanstieg mehr als aus, so dass ein Netto-Meeresspiegelrückgang im Verhältnis zum Land verzeichnet wird.

Die relative Bewegung des Meeresspiegels im Verhältnis zum Land ist für die Küstenplanung von Bedeutung und wird als «relative Meeresspiegeländerung» bezeichnet. Dies wird von den Gezeitenpegeln aufgezeichnet.

genügend Informationen liefern kann. Die Forscher müssen daher auf Modelle zurückgreifen, und die Ergebnisse hängen von der Art des Deglaziations-Modells (für die letzte Eiszeit) und von der Art des Krusten-Mantel-Modells ab, das angenommen wird. Aus diesem Grund (und wegen anderer Faktoren) schwanken die Schätzungen der globalen Meeresspiegelveränderung auf der Grundlage von Satellitenhöhenmessungen etwas.

In Abbildung 35 wird der globale Meeresspiegelanstieg auf etwa 3,4 mm/Jahr (seit 1992) geschätzt, wobei der geschätzte GIA-Effekt herausgerechnet wurde. Die seit 2005, 2010 und 2015 berechneten linearen Trends deuten nicht auf eine Beschleunigung in jüngster Zeit hin, und die untere Grafik in Abbildung 35 deutet stattdessen darauf hin, dass der Höhepunkt des Meeresspiegelanstiegs etwa 2019 erreicht wurde.

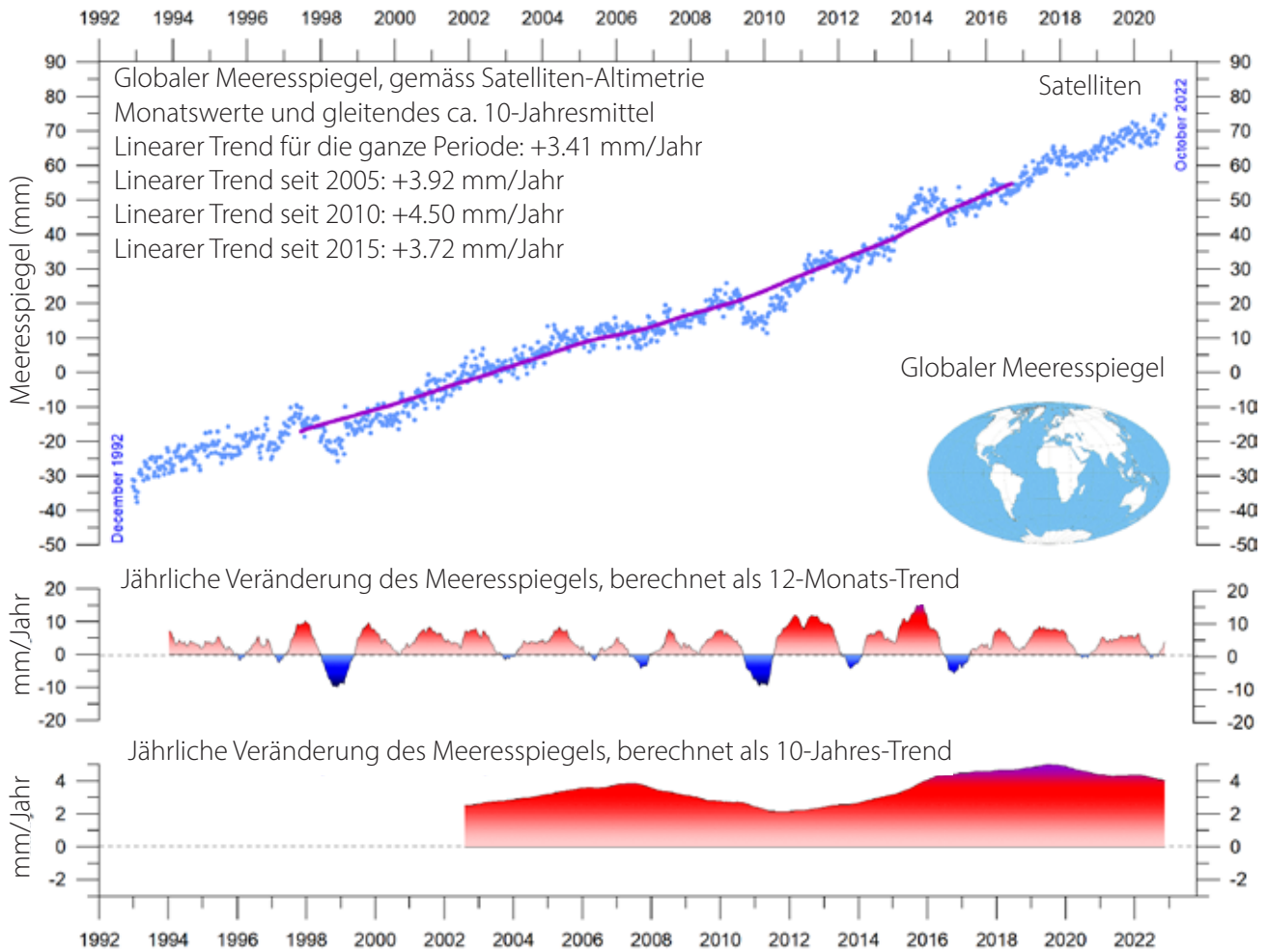


Abbildung 35: Veränderung des globalen Meeresspiegels seit Dezember 1992

Die beiden unteren Grafiken zeigen die jährliche Veränderung des Meeresspiegels, berechnet für 1- bzw. 10-Jahres-Zeitfenster. Diese Werte sind am Ende des betrachteten Intervalls aufgetragen. Quelle: Colorado Center for Astrodynamics Research an der Universität von Colorado in Boulder. Die blauen Punkte sind die Einzelbeobachtungen (ohne den berechneten GIA-Effekt), und die violette Linie stellt das gleitende 121-Monatsmittel (ca. 10 Jahre) dar.

Von Gezeitenpegeln

Gezeitenpegel befinden sich an Küstenstandorten und zeichnen die Nettobewegung der lokalen Meeresoberfläche im Verhältnis zum Land auf. Diese Messungen (siehe z. B. Abbildung 36) sind Schlüsselinformationen für die lokale Küstenplanung und können im Gegensatz zur Satellitenaltimetrie direkt für die Planung von Küstenanlagen verwendet werden.

An einem bestimmten Küstenstandort setzt sich die gemessene Netto-Bewegung des lokalen Meeresspiegels aus zwei lokalen Komponenten zusammen:

- die vertikale Veränderung der Meeresoberfläche
- die vertikale Veränderung der Landoberfläche

Ein Gezeitenpegel kann zum Beispiel einen scheinbaren Anstieg des Meeresspiegels von

3 mm/Jahr anzeigen. Wenn geodätische Messungen zeigen, dass das Land um 2 mm/Jahr sinkt, beträgt der tatsächliche Anstieg des Meeresspiegels nur 1 mm/Jahr (3 minus 2 mm/Jahr). Im Zusammenhang mit der globalen Meeresspiegeländerung ist der Wert von 1 mm/Jahr relevant, aber für die lokale Küstenplanung ist jedoch der Wert von 3 mm/Jahr derjenige, der für die Planungsbehörden von Nutzen ist.

Um eine Zeitreihe der Meeresspiegelmessungen für jeden Gezeitenpegel zu erstellen, müssen die monatlichen und jährlichen Mittelwerte auf ein gemeinsames Datum reduziert werden. Diese Reduktion wird vom Ständigen Dienst für den Mittleren Meeresspiegel (PSMSL) vorgenommen, der sich dabei auf die von den nationalen Behörden bereitgestellten Daten stützt. Der revidierte örtliche Bezugspunkt (RLR) ist an jeder Station auf etwa 7000 mm

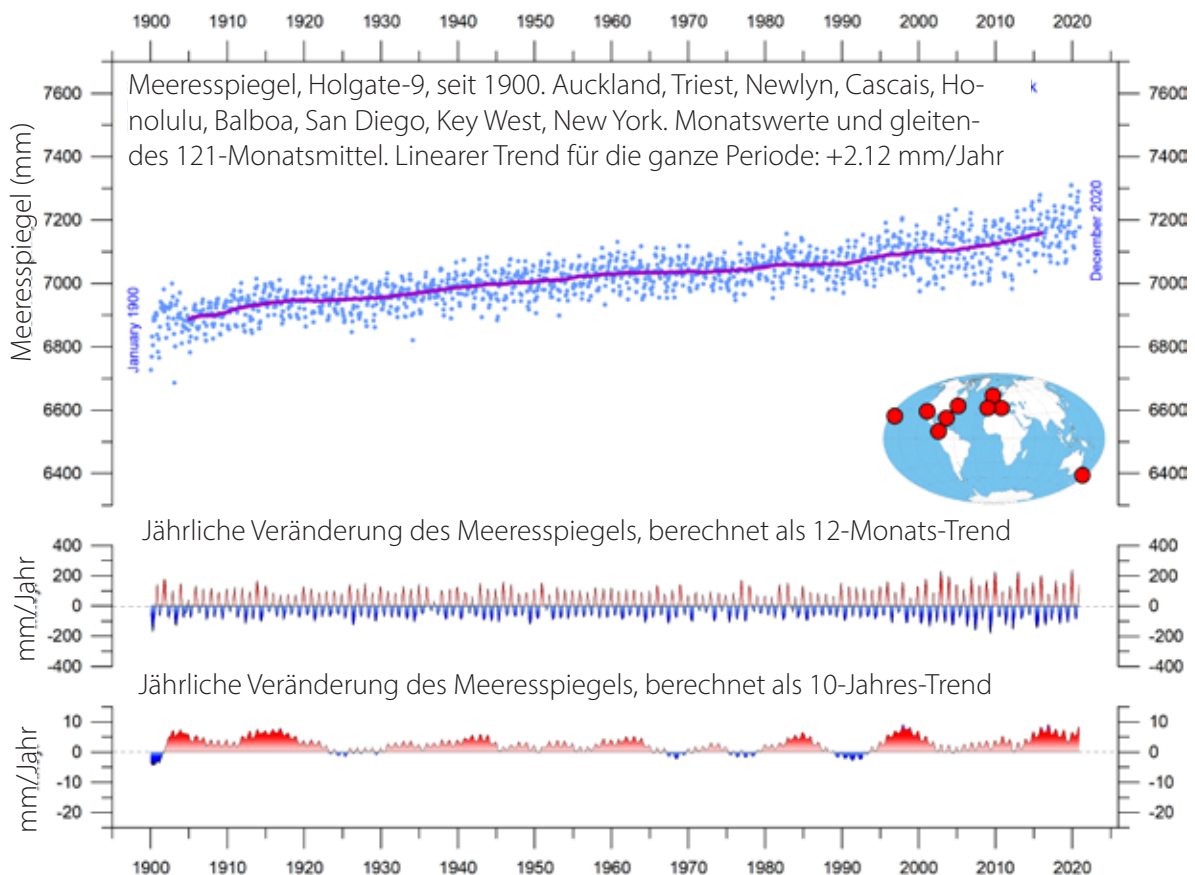


Abbildung 36: Monatliche Holgate-9-Pegeldaten aus dem PSMSL Data Explorer

Bei den Holgate-9-Pegeldaten handelt es sich um eine Reihe von Gezeitenpegeln an geologisch stabilen Standorten. Die beiden unteren Grafiken zeigen die jährliche Veränderung des Meeresspiegels, berechnet für 1- bzw. 10-Jahres-Zeitfenster. Diese Werte sind am Ende des betrachteten Intervalls aufgetragen. Quelle: Colorado Center for Astrodynamics Research an der Universität von Colorado in Boulder. Die blauen Punkte sind die einzelnen Beobachtungen, und die violette Linie stellt das gleitende 121-Monatsmittel (ca. 10 Jahre) dar.

unter dem mittleren Meeresspiegel festgelegt, wobei diese willkürliche Wahl vor vielen Jahren getroffen wurde, um negative Zahlen in den sich ergebenden monatlichen und jährlichen RLR-Mittelwerten zu vermeiden.

Nur wenige Orte auf der Erde sind völlig stabil, und die meisten Gezeitenpegel befinden sich an Orten, die tektonischen Hebungen oder Senkungen (vertikale Veränderung der Landoberfläche) ausgesetzt sind. Diese weit verbreitete vertikale Instabilität hat mehrere Ursachen und beeinträchtigt die Interpretation der Daten der einzelnen Pegel. Daher werden große Anstrengungen unternommen, um die lokalen tektonischen Bewegungen zu korrigieren.

Die Daten von Gezeitenpegeln an tektonisch stabilen Standorten sind deshalb von besonderem Interesse. Ein Beispiel für eine lange, kontinuierliche Aufzeichnung an einem solchen Standort ist Korsør in Dänemark (Abbildung 37). Diese Aufzeichnung zeigt einen stabilen An-

stieg des Meeresspiegels von etwa 0,83 mm pro Jahr seit 1897, ohne Anzeichen einer Beschleunigung in jüngster Zeit.

Die Daten von Gezeitenpegeln auf der ganzen Welt deuten auf einen durchschnittlichen globalen Meeresspiegelanstieg von etwa 1–2 mm/Jahr hin, während die von Satelliten abgeleiteten Daten (Abbildung 35) einen Anstieg von etwa 3,4 mm/Jahr oder mehr nahelegen. Der deutliche Unterschied (etwa 1:2) zwischen den beiden Datensätzen ist bemerkenswert, hat aber keine allgemein akzeptierte Erklärung. Es ist jedoch bekannt, dass Satellitenbeobachtungen in küstennahen Gebieten mit Komplikationen behaftet sind. Vignudelli et al. (2019) geben einen aktualisierten Überblick über die derzeitigen Grenzen der klassischen Satellitenaltimetrie in Küstenregionen

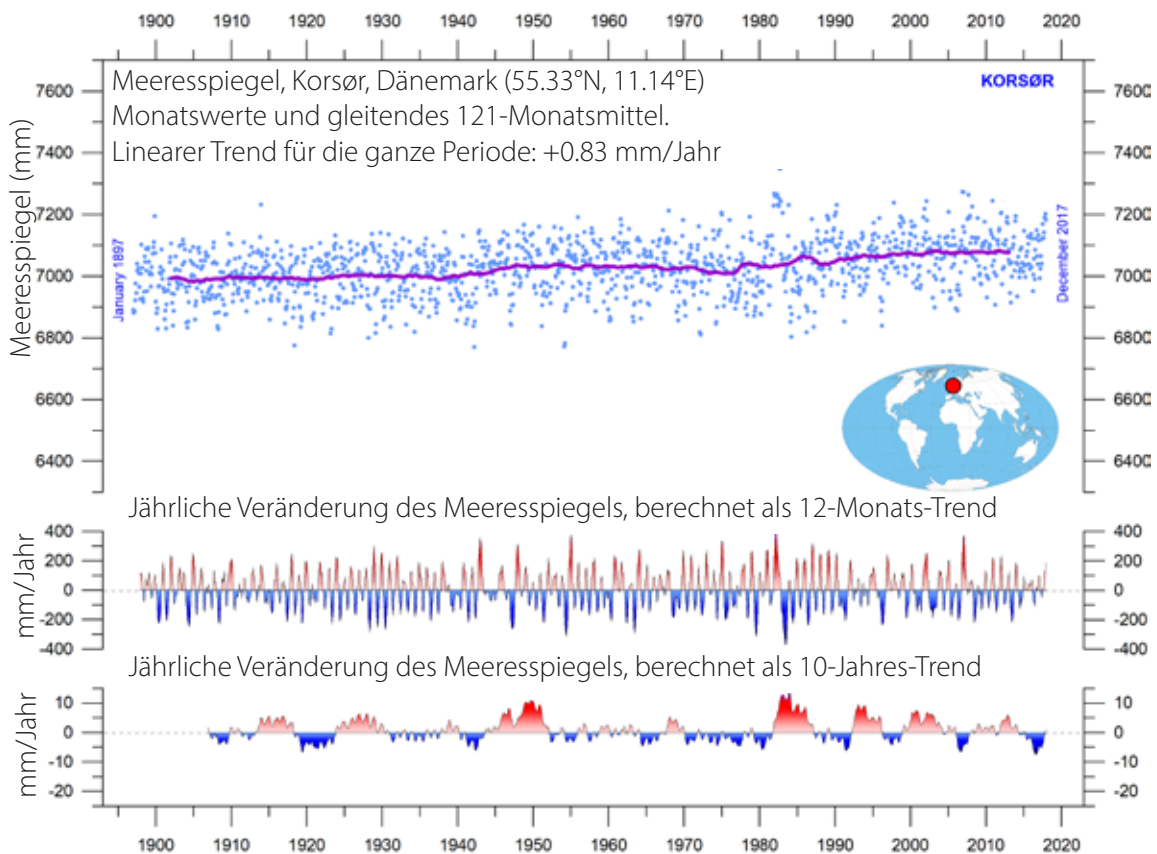


Abbildung 37: Korsør (Dänemark) monatliche Gezeitenpegel-Daten

Aus dem PSMSL Data Explorer. Die blauen Punkte sind die einzelnen monatlichen Beobachtungen, und die violette Linie stellt das gleitende 121-Monatsmittel (ca. 10 Jahre) dar. Die beiden unteren Grafiken zeigen die jährliche Veränderung des Meeresspiegels, berechnet für 1- bzw. 10-Jahres-Zeitfenster. Diese Werte sind am Ende des betrachteten Intervalls aufgetragen

Zukunftsmodelle

Die Frage des Meeresspiegelanstiegs und insbesondere die Ermittlung eines hypothetischen Beitrags des Menschen zu diesem Anstieg ist ein komplexes Thema. Angesichts der wissenschaftlichen und politischen Kontroverse, die das Thema umgibt, ist das große öffentliche Interesse an diesem Bereich durchaus verständlich.

Eine aktuelle Veröffentlichung des IPCC, der 6. Bewertungsbericht der Arbeitsgruppe I, wurde am 9. August 2021 veröffentlicht. Modell-daten für globale und regionale Meeresspiegelprojektionen 2020–2150 sind über das IPCC AR6 Sea Level Projection Tool verfügbar (siehe Link am Ende dieses Berichts). Der IPCC modelliert die künftige Entwicklung verschiedener Faktoren wie Gletschermassenveränderung, vertikale Landbewegung, Wassertemperatur und -speicherung. Die modellierten Meeresspiegelpro-

jektionen für verschiedene Emissionsszenarien werden im Verhältnis zu einer durch Beobachtungen für 1995–2014 definierten Basislinie berechnet.

Es ist aufschlussreich, die modellierten Daten mit den beobachteten Meeresspiegel-daten zu vergleichen. Abbildung 38 zeigt dies für einen Ort, nämlich Oslo, Norwegen. Vor 20–25'000 Jahren vollständig vom Europäischen Eisschild bedeckt, wobei sich zum Zeitpunkt der maximalen Vergletscherung mehr als 2 km Eis über der heutigen Stadt befanden. Die Auswirkungen dieser Eislast zeigen sich aktuell deutlich in der Tatsache, dass Südnorwegen eine kontinuierliche isostatische Landhebung von mehreren Millimetern pro Jahr erfährt. An vielen Orten, die von der letzten (Weichsel- / Wisconsin-) Vereisung betroffen waren, gleicht diese anhaltende isostatische Bewegung den

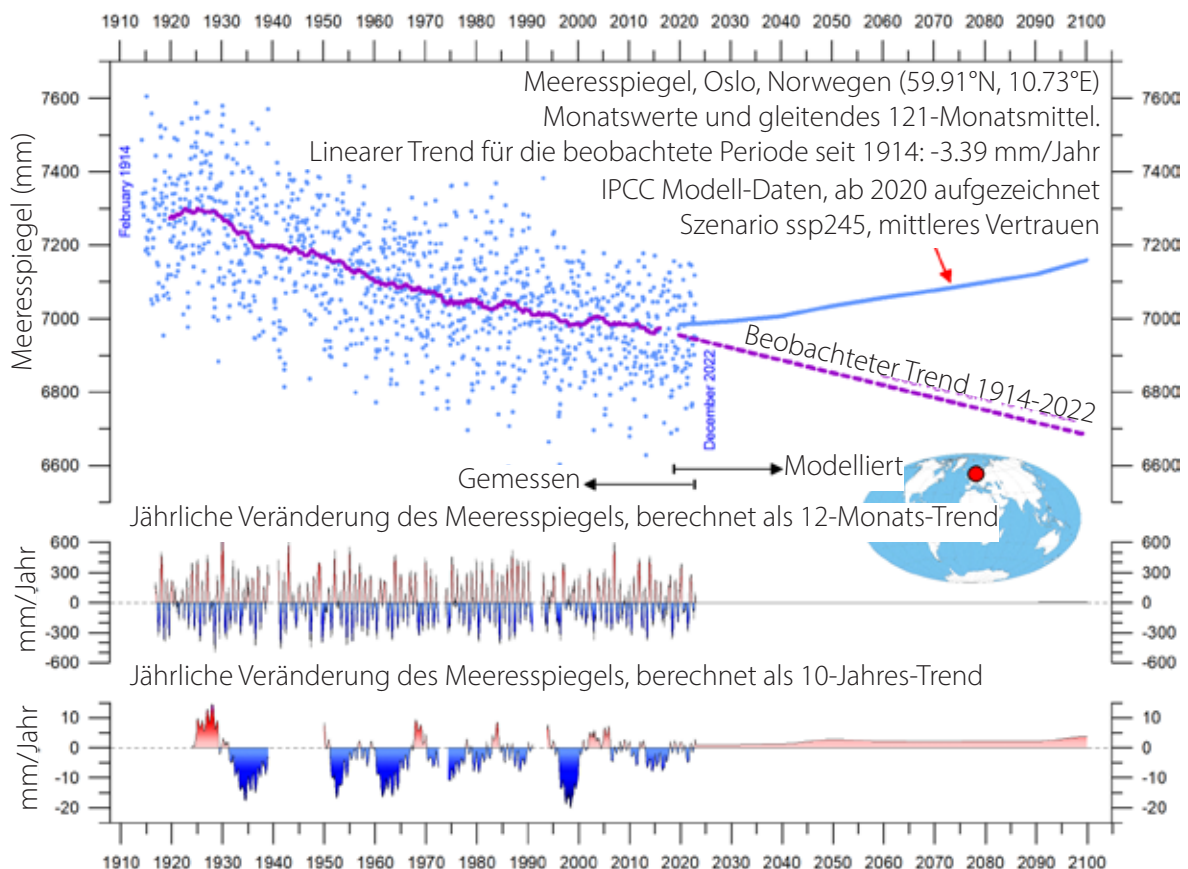


Abbildung 38: Beobachteter und modellierter Meeresspiegel für Oslo.

Die blauen Punkte sind die einzelnen monatlichen Pegelbeobachtungen (PSMSL Data Explorer) 1914–2019, und die lila Linie stellt das gleitende 121-Monatsmittel (ca. 10 Jahre) dar. Die modellierten Daten für die Zukunft sind durch eine durchgezogene blaue Linie dargestellt 2020–2100, unter Verwendung des moderaten SSP2–4.5-Szenarios (IPCC 2020). Die beiden unteren Felder zeigen die jährliche Veränderung des Meeresspiegels, berechnet für 1- bzw. 10-Jahres-Zeitfenster. Diese Werte sind am Ende des betrachteten Intervalls aufgetragen.

langsamen globalen Meeresspiegelanstieg mehr als aus, so dass ein Netto-Meeresspiegelrückgang in Bezug auf das Land zu verzeichnen ist.

Da Oslo während der letzten Eiszeit von dickem Eis bedeckt war, ist es heute von einem deutlichen isostatischen Landanstieg betroffen. Wenn die beobachtete Änderungsrate des Meeresspiegels in Oslo anhält (auf der Grundlage von etwa 110 Jahren Beobachtungen), wird der relative Meeresspiegel (im Verhältnis zum Land) bis zum Jahr 2100 um etwa 27 cm im Vergleich zu 2020 gesunken sein (Abbildung 38). Dem IPCC zufolge wird er jedoch um etwa 17,5 cm ansteigen. Für 2020 wird ein recht plötzlicher Anstieg prognostiziert, der im Gegensatz zu dem seit 1914 verzeichneten stabilen Rückgang des Meeresspiegels von etwa $-3,39$ mm/Jahr steht. Beobachtete (gemessene) und modellierte Daten überschneiden sich nun um 3 Jahre (Abbildung 38). Der Überschneidungszeitraum ist noch kurz, aber er scheint auf einen ununterbrochenen Rückgang des Meeresspiegels in Oslo seit 2020 hinzudeuten, im Gegensatz zur Modellprojektion (blaue Linie in Abbildung 38).

An dieser Stelle sind vielleicht ein paar Überlegungen angebracht. Die sprunghafte Veränderung der relativen Meeresspiegeldyna-

mik für Oslo (und viele andere Küstenstandorte) im Jahr 2020 erscheint eher unplausibel und deutet darauf hin, dass die modellierten Daten die Dynamik in der realen Welt nicht angemessen beschreiben. Dies ist bemerkenswert, da die modellierten Meeresspiegelprojektionen für die verschiedenen SSP-Szenarien relativ zu einer Basislinie berechnet werden, die durch die Beobachtungen 1995–2014 für jede Station definiert ist. Die Modellierer müssen also die Beobachtungsdaten gesehen haben.

Dem 6. Sachstandsbericht zufolge wird geschätzt, dass menschliche Aktivitäten eine globale Erwärmung von etwa $1,0^{\circ}\text{C}$ über dem vorindustriellen Niveau verursacht haben, wobei die wahrscheinliche Spanne bei $0,8$ – $1,2^{\circ}\text{C}$ liegt (Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger, A.1.3). Es ist daher besonders überraschend, dass sich die modellierte Auswirkung dieser Veränderung erst im Jahr 2020 in Form einer schrittweisen Veränderung auf den Meeresspiegel auswirken sollte. Hätten die Modellierer stattdessen ihre Meeresspiegeldaten aus einem früheren Zeitpunkt, beispielsweise 1950, kalibriert, was durchaus möglich gewesen wäre, wäre der Kontrast zwischen beobachteten und modellierten Daten sofort deutlich geworden

6. Schnee und Eis

Die beiden Diagramme der durchschnittlichen 12-Monats-Ausdehnung des Meereises in Abbildung 39 zeigen eine gegensätzliche Entwicklung zwischen den beiden Polen im Zeitraum 1979–2020. Der Trend zu einer geringeren Ausdehnung des Meereises auf der nördlichen Hemisphäre wird durch die blaue Linie deutlich, ebenso wie die gleichzeitige Zunahme auf der südlichen Hemisphäre bis 2016. In vielerlei Hinsicht deuten diese und frühere Beobachtungen, die in diesem Bericht vorgestellt wurden, darauf hin, dass das Jahr 2016 eine wichtige Verschiebung im globalen Klimasystem markieren könnte.

Die antarktische Meereisausdehnung nahm im Frühjahr 2016 auf der Südhalbkugel außerordentlich schnell ab, viel schneller als in jedem anderen Frühjahr der Satellitenära (seit

1979). Ein starker Eisrückgang fand in allen Teilen der Antarktis statt, am stärksten jedoch im Weddell- und Rossmeer. In diesen Sektoren drückten starke nördliche (warme) Oberflächenwinde das Meereis zurück in Richtung des antarktischen Kontinents. Der Hintergrund für die besonderen Windbedingungen im Jahr 2016 wurde von verschiedenen Autoren diskutiert (z. B. Turner et al. 2017 und Phys.org 2019) und scheint ein Phänomen zu sein, das mit der natürlichen Klimavariabilität zusammenhängt. Die Satellitendaten zum Meereis sind noch kurz und bilden die natürlichen Schwankungen, die sich über mehr als ein oder zwei Jahrzehnte erstrecken, nicht vollständig ab.

Was sich aus der noch kurzen Aufzeichnung ablesen lässt, ist dennoch aufschlussreich. Die beiden 12-Monats-Durchschnittsgrafiken in

Abbildung 40 zeigen wiederkehrende Schwankungen, die die allgemeinen Trends überlagern. Diese kürzere Schwankung gilt für das arktische Meereis, das stark von einer 5,3-jährigen periodischen Schwankung beeinflusst wird, während für die Antarktis eine periodische Schwankung von etwa 4,5 Jahren wichtig ist. Diese beiden Schwankungen erreichten 2016 gleichzeitig ihr Minimum, was zumindest teilweise das gleichzeitige Minimum der globalen Meereisdeh-

nung erklärt.

In den kommenden Jahren könnten die oben genannten Schwankungen wieder zu einer Zunahme der Meereisausdehnung an den Polen führen, was einen Anstieg des 12-Monats-Durchschnitts der globalen Meereisdehnung zur Folge haben könnte. In der Tat könnte dies sowohl in der Arktis als auch in der Antarktis bereits geschehen (Abbildung 39). In den kommenden Jahren werden die Mini-

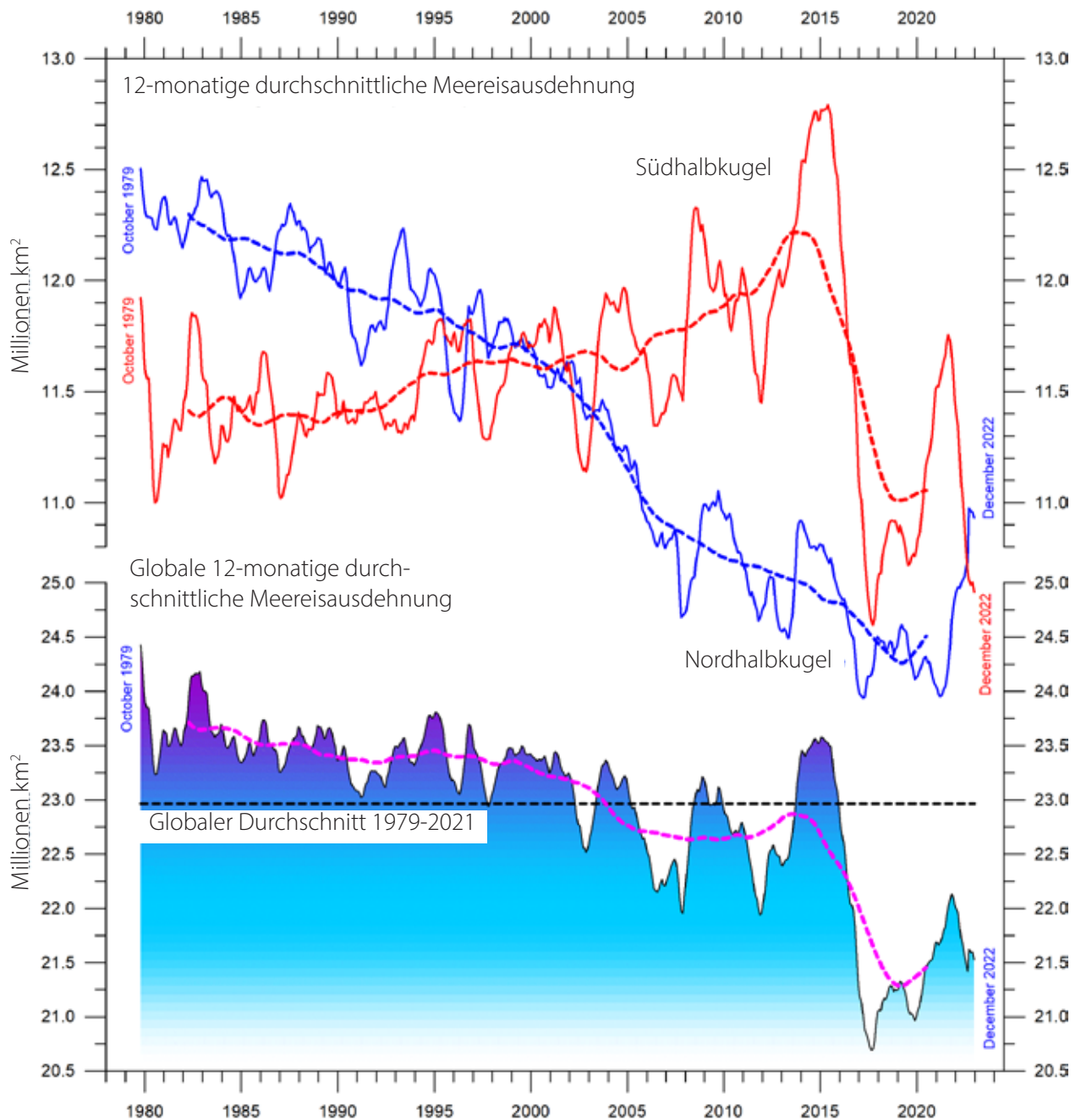


Abbildung 39: Globale und hemisphärische Meereisausdehnung seit 1979

Gleitendes 12-Monatsmittel. Der Wert für Oktober 1979 entspricht dem monatlichen Durchschnitt von November 1978 bis Oktober 1979, der Wert für November 1979 entspricht dem Durchschnitt von Dezember 1978-November 1979 usw. Die gestrichelten Linien stellen einen 61-Monats-Durchschnitt (ca. 5 Jahre) dar. Der letzte Monat, der in die 12-Monats-Berechnungen einbezogen wurde, ist rechts im Diagramm dargestellt. Datenquelle: National Snow and Ice Data Center (NSIDC).

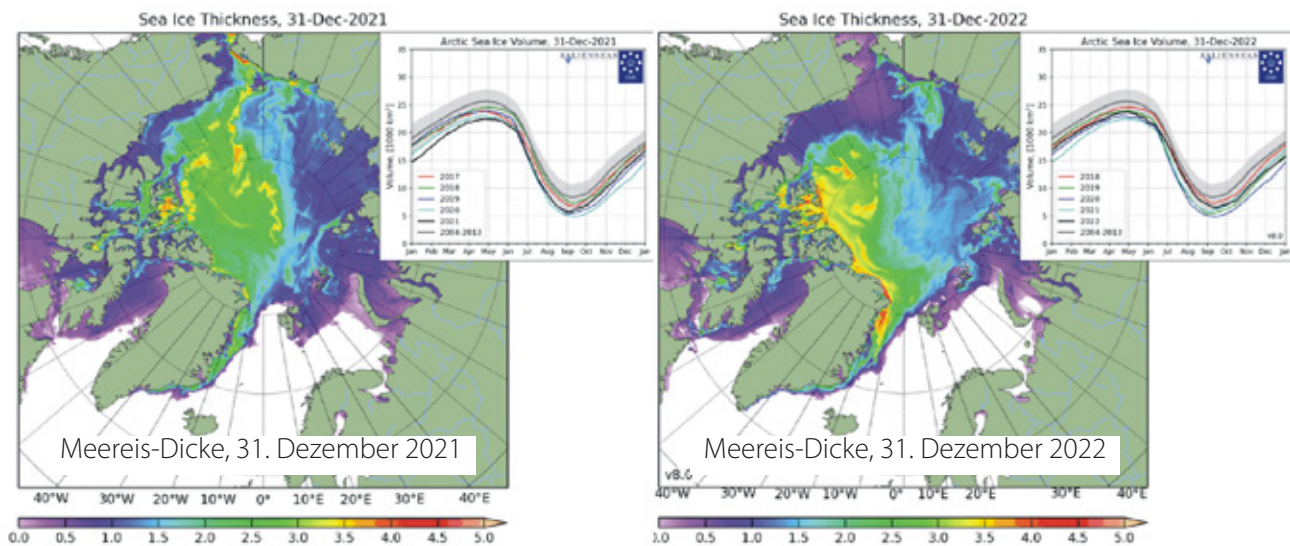


Abbildung 40: Arktisches Meereis 2021 versus 2022

Ausdehnung und Dicke des arktischen Meereises am 31. Dezember 2021 (links) und 2022 (rechts) sowie die saisonalen Zyklen des berechneten Gesamtvolumens des arktischen Meereises nach Angaben des Dänischen Meteorologischen Instituts (DMI). Das mittlere Meereisvolumen und die Standardabweichung für den Zeitraum 2004–2013 sind in den eingefügten Diagrammen grau schattiert dargestellt.

ma und Maxima dieser Schwankungen jedoch aufgrund ihrer unterschiedlichen Periodenlänge nicht synchron auftreten, und die globalen Minima (oder Maxima) könnten daher weniger ausgeprägt sein als 2016.

Abbildung 40 veranschaulicht die Gesamtausdehnung und Dicke des arktischen Meereises von Ende 2021 bis Ende 2022. Die Dicke des Meereises hat im Jahr 2022 entlang der Küsten Kanadas und Grönlands zugenommen.

Schneebedeckung der nördlichen Hemisphäre

Die Schwankungen der globalen Schneedecke sind hauptsächlich das Ergebnis von Veränderungen auf der Nordhalbkugel (Abbildung 41), wo sich alle größeren Landgebiete befinden.

Die Schneedecke der südlichen Hemisphäre wird im Wesentlichen durch den antarktischen Eisschild kontrolliert und ist daher relativ stabil.

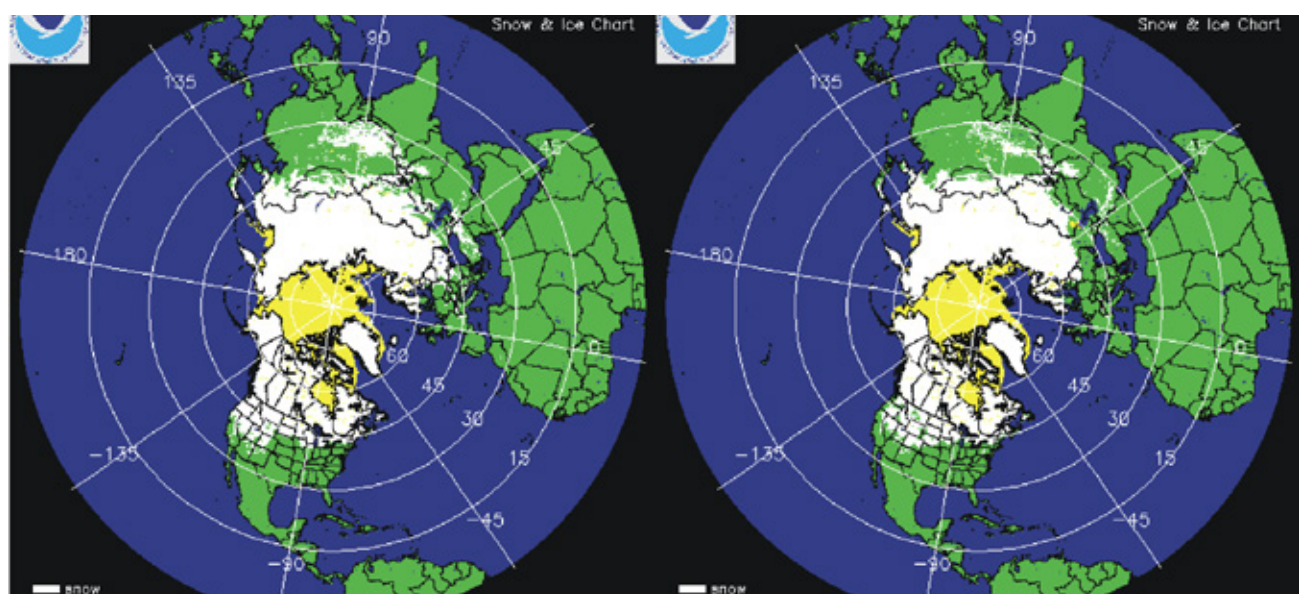


Abbildung 41: Schnee und Meereis der nördlichen Hemisphäre

Schneedecke (weiß) und Meereis (gelb) am 31. Dezember 2021 (links) und 2022 (rechts). Quelle der Karte: National Ice Center (NIC).

Die Schneedecke der nördlichen Hemisphäre unterliegt von Jahr zu Jahr großen lokalen und regionalen Schwankungen (Abbildung 42). Die allgemeine Tendenz (seit 1972) geht jedoch in Richtung quasi-stabiler Bedingungen, wie Abbildung 43 zeigt. Während des Sommers auf der Nordhalbkugel schrumpft die Schneedecke in der Regel auf etwa 2'400'000 km² (was im Wesentlichen durch die Größe des grönländischen Eisschildes bestimmt wird), während sie im Winter auf etwa 50'000'000 km² ansteigt, was nicht

weniger als 33 % der gesamten Landfläche der Erde ausmacht. Betrachtet man die jahreszeitlichen Veränderungen (Abbildung 43), so hat die Schneedecke auf der Nordhalbkugel im Herbst leicht zugenommen, ist in der Mitte des Winters stabil und nimmt im Frühjahr leicht ab. Im Jahr 2022 lag die Schneedeckenausdehnung auf der Nordhalbkugel nahe dem Durchschnitt von 1972–2021 (Abbildung 44).

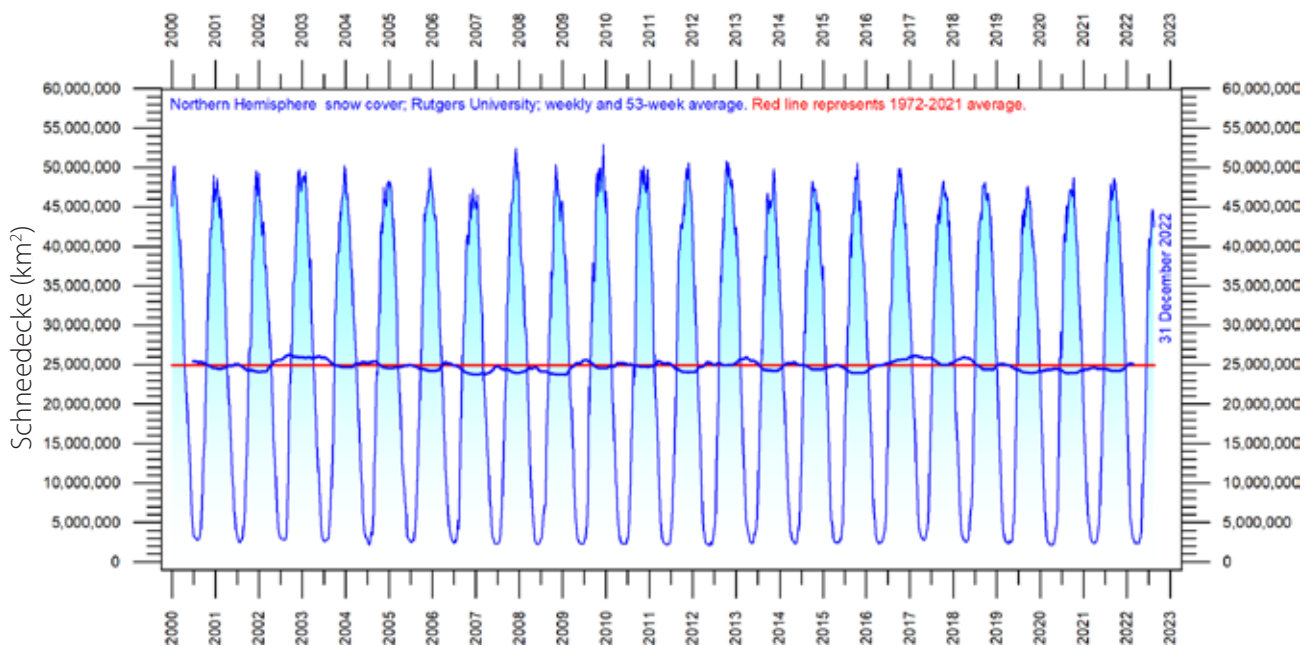


Abbildung 42: Wöchentliche Schneedecke auf der Nordhalbkugel seit 2000

Quelle: Rutgers University Global Snow Laboratory. Die dünne blaue Linie sind die wöchentlichen Daten, und die dicke blaue Linie ist das gleitende 53-Wochenmittel (etwa 1 Jahr). Die horizontale rote Linie ist der Durchschnitt von 1972–2021.

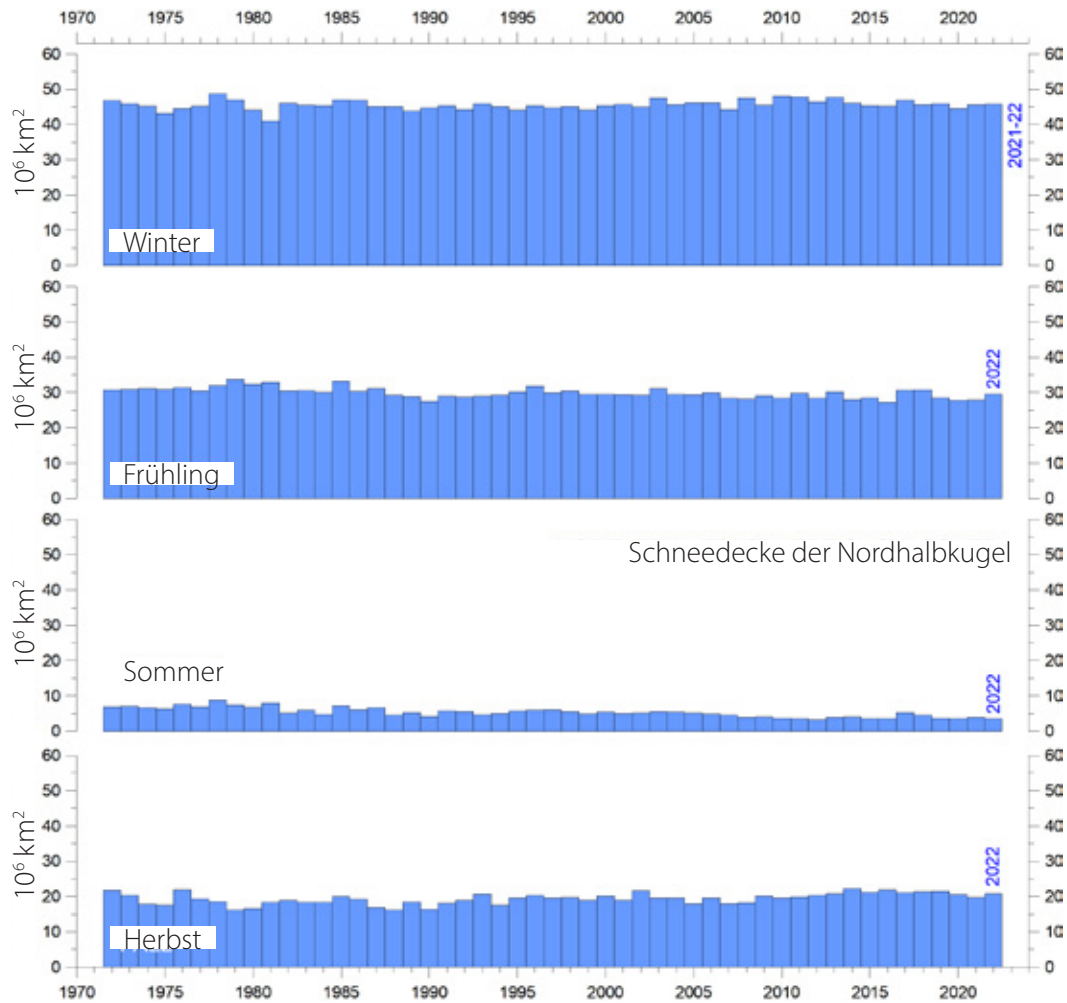


Abbildung 43: Saisonale Schneedecke der Nordhalbkugel seit 1972

Quelle: Rutgers University Global Snow Laboratory .

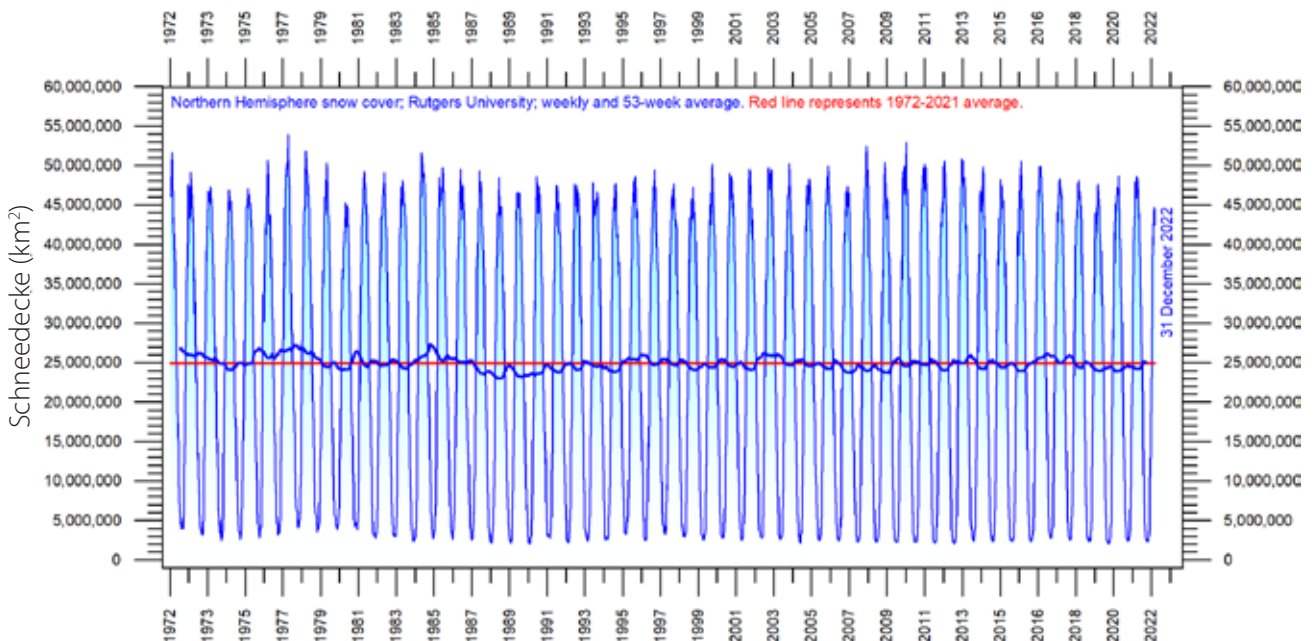


Abbildung 44: Wöchentliche Schneedecke auf der Nordhalbkugel seit 1972

Quelle: Rutgers University Global Snow Laboratory. Die dünne blaue Linie sind die wöchentlichen Daten, und die dicke blaue Linie ist das gleitende 53-Wochenmittel (etwa 1 Jahr). Die horizontale rote Linie ist der Durchschnitt von 1972 bis 2021.

7. Tropenstürme und Hurrikane

Akkumulierte Wirbelsturmenergie

Die akkumulierte Wirbelsturmenergie (ACE) ist ein von der NOAA verwendetes Maß, um die Aktivität einzelner tropischer Wirbelstürme und ganzer tropischer Wirbelsturmsaisons auszudrücken. Die ACE wird alle sechs Stunden als das Quadrat der Windgeschwindigkeit berechnet und dann mit einem Faktor von 10^6 skaliert, wobei eine Einheit von 104 Knoten^2 resultiert. Die ACE einer Saison ist die Summe der ACE für jeden Sturm und umfasst daher die Anzahl, Stärke und Dauer aller tropischen Stürme in der Saison. Die ACE-Daten und die laufende Dynamik der Wirbelstürme werden in Maue (2011)

ausführlich beschrieben.

Das Schadenspotenzial eines Hurrikans ist proportional zum Quadrat oder zur Kubikzahl der maximalen Windgeschwindigkeit, und somit ist die ACE nicht nur ein Maß für die Aktivität tropischer Wirbelstürme, sondern auch ein Maß für das Schadenspotenzial eines einzelnen Wirbelsturms oder einer Saison. Die vorhandenen Aufzeichnungen (Abbildung 45) deuten nicht auf eine außergewöhnliche Zyklonaktivität in den letzten Jahren hin.

Die globalen ACE-Daten seit 1970 zeigen ein variables Muster über die Zeit, aber keinen

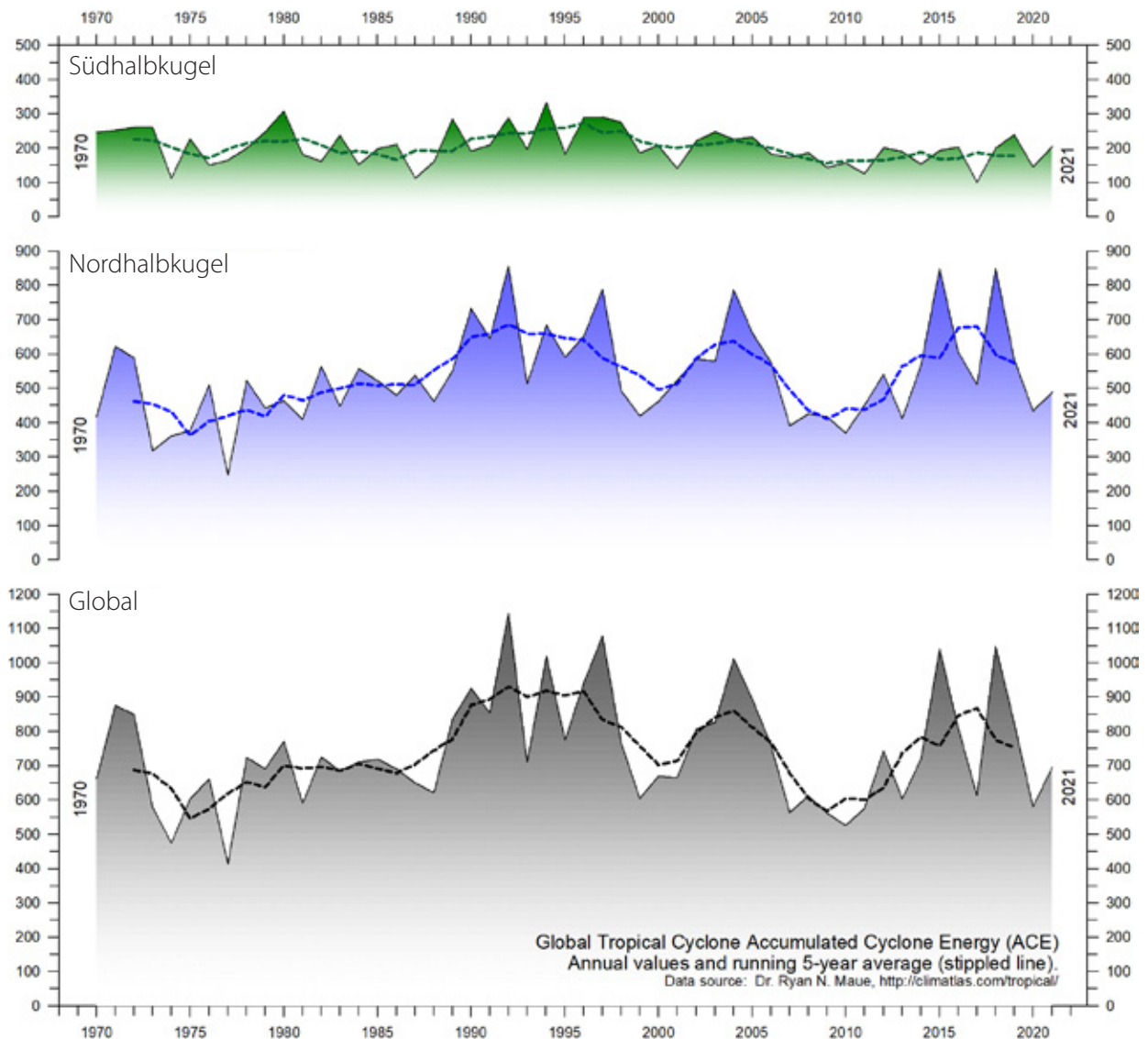


Abbildung 45: Jährlich akkumulierte globale Wirbelsturmenergie

Jahreswerte und gleitendes 5-Jahresmittel (gestrichelte Linie). Quelle: Ryan Maue.

eindeutigen Trend, wie auch die Diagramme für die Nord- und Südhalbkugel (Grafiken in Abb. 45). Eine Fourier-Analyse (hier nicht dargestellt) deutet auf eine signifikante Oszillation von etwa 3,6 Jahren Dauer hin, und auch eine zweite von 11,5 Jahren Dauer wird vermutet, aber die Datenreihe ist noch zu kurz, um eindeutige Schlussfolgerungen zu ziehen.

Der Zeitraum 1989–1998 war durch hohe Werte gekennzeichnet. Weitere Spitzenwerte wurden 2004, 2015 und 2018 verzeichnet, und die Zeiträume 1973–1988, 1999–2003 und 2006–2014 waren durch vergleichsweise geringe Aktivität gekennzeichnet. Die Spitzenwerte von 1997/98 und 2016 fallen mit starken El Niño-Ereignissen im Pazifik zusammen (Abbildung 22). Die ACE-Werte der nördlichen Hemisphäre (mittlere Grafik in Abbildung 45) dominieren das globale Signal (untere Grafik), und daher sind die Spitzen und Tiefstwerte ähnlich wie die globalen Daten, ohne einen klaren Trend über die gesamte Dauer der Aufzeichnung. Die Hauptzyklonsaison auf der Nordhalbkugel ist

Juni-November. Die ACE-Werte für die südliche Hemisphäre (obere Grafik in Abbildung 45) sind im Allgemeinen niedriger als für die nördliche Hemisphäre, und die Hauptzyklonsaison ist hier Dezember-April.

Die ACE-Datenreihe des Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory reicht bis ins Jahr 1850 zurück. Eine Fourier-Analyse (hier nicht dargestellt) für das Atlantikbecken (Abbildung 46) zeigt, dass die ACE-Reihe durch periodische Schwankungen von etwa 55,8 und 7,8 Jahren Dauer beeinflusst wird. Die Hurrikansaison im Atlantikbecken ist oft überdurchschnittlich aktiv, wenn im Spätsommer (August-Oktober) im Pazifik La Niña-Bedingungen herrschen, wie es 2017 der Fall war (Johnstone und Curry, 2017). Die Datenreihe für das östliche Pazifikbecken ist viel kürzer, sie beginnt im Jahr 1971 und wird von Zeiträumen von 27,0 und 2,4 Jahren Dauer beeinflusst. Ein ACE-Peak wurde offenbar in den Jahren 2015–18 erreicht.

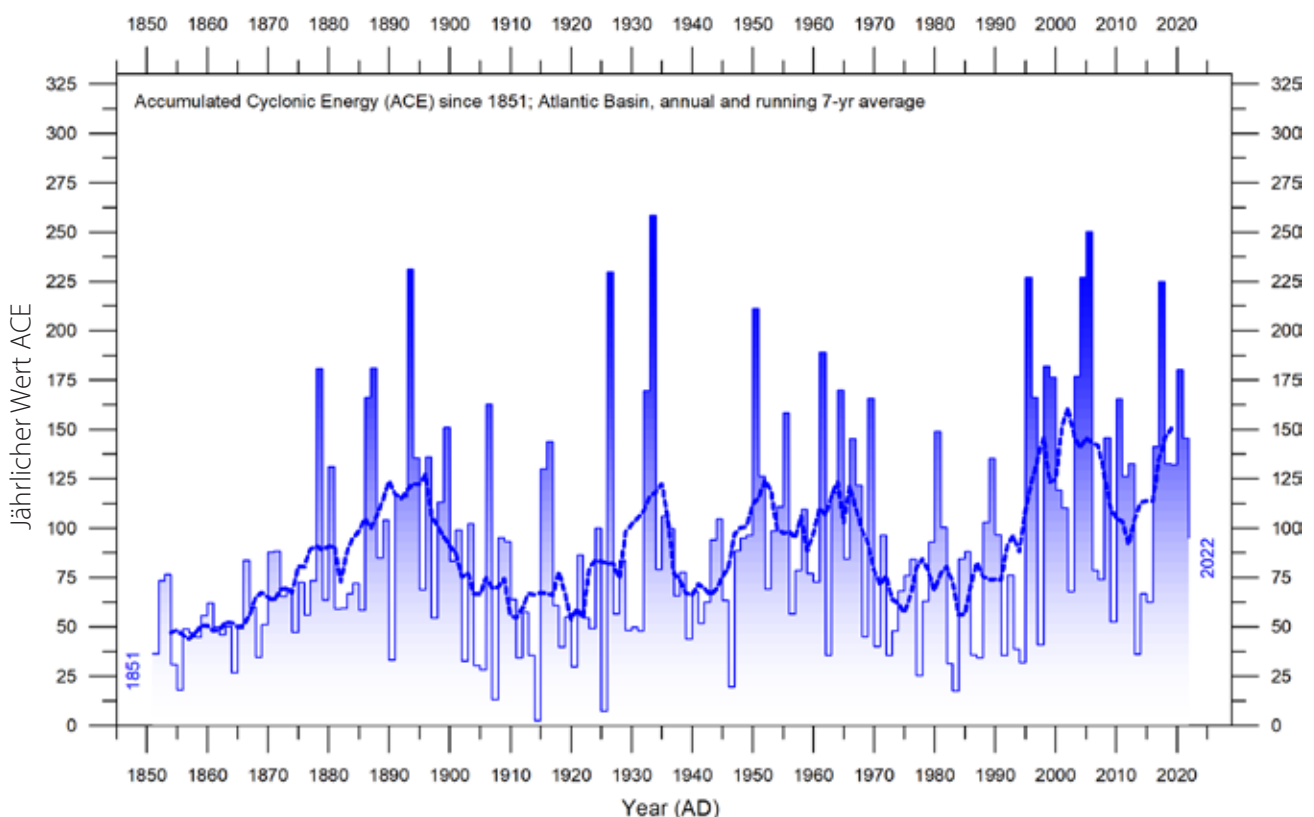


Abbildung 46: ACE im Atlantikbecken seit 1851

Die dünnen Linien zeigen die jährlichen ACE-Werte, die dicke Linie zeigt das gleitende 7-Jahresmittel. Datenquelle: Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory (AOML), Hurricane Research Division. Bitte beachten Sie, dass diese Daten noch nicht über das Jahr 2020 hinaus aktualisiert werden.

Sonstige Sturm- und Windbeobachtungen

Die Zahl der an Land gehenden Hurrikanen in den kontinentalen Vereinigten Staaten ist in Abbildung 47 dargestellt. Die Reihe zeigt beträchtliche Schwankungen von Jahr zu Jahr, aber es ist nicht möglich, einen klaren Trend über die Zeit zu erkennen. Eine Fourier-Analyse (hier nicht dargestellt) zeigt eine statistisch signifikante Periode von etwa 3,2 Jahren.

Einen Einblick in die Veränderungen der vorherrschenden Windverhältnisse erhält man durch die Untersuchung von Beobachtungen, die an besonders windexponierten Küstenstationen durchgeführt wurden. Ein Beispiel ist der Leuchtturm Lista im südlichsten Norwegen. Er steht auf einem exponierten Kap am äußersten

südwestlichen Rand des norwegischen Festlandes und ist gut geeignet, um die Windverhältnisse in der angrenzenden Nordsee und im europäischen Sektor des Nordatlantiks zu registrieren. Die monatlichen Windaufzeichnungen reichen bis zum Januar 1931 zurück und sind in Abbildung 48 dargestellt. Daraus geht hervor, dass die Spitzenwindstärken kurz nach dem Zweiten Weltkrieg gemessen wurden und seither etwas abgenommen haben, was bis zu einem gewissen Grad die Aufzeichnung der Landungen von Hurrikanen in den USA (Abbildung 47) widerspiegelt, d. h. auf der gegenüberliegenden Seite des Nordatlantiks.

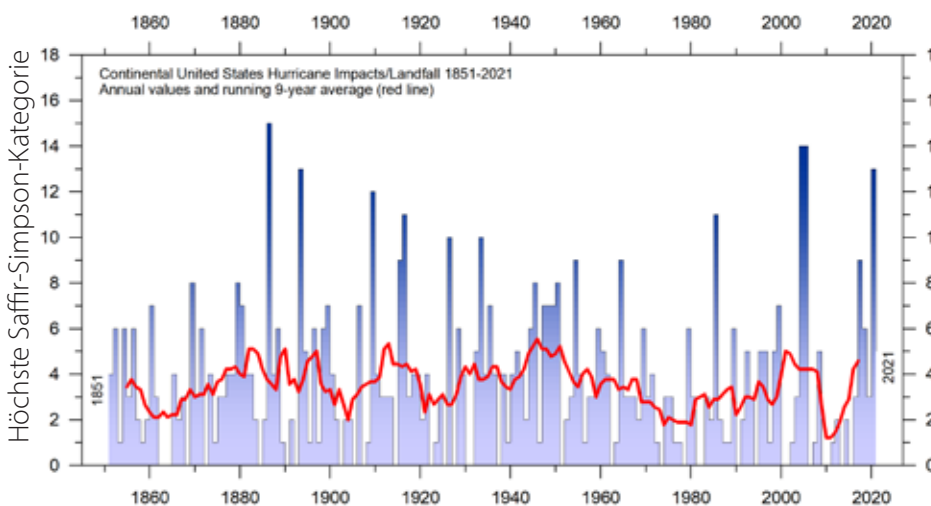


Abbildung 47: Landungen von Hurrikanen in den kontinentalen Vereinigten Staaten 1851–2018

Die höchsten Auswirkungen auf der Saffir-Simpson-Hurrikan-Skala in den Vereinigten Staaten basieren auf den geschätzten maximalen anhaltenden Oberflächenwinden, die an der Küste entstehen. Datenquelle: Hurricane Research Division, NOAA. Bitte beachten Sie, dass diese Datenreihe noch nicht über 2018 hinaus aktualisiert wurde is not yet updated beyond 2018.

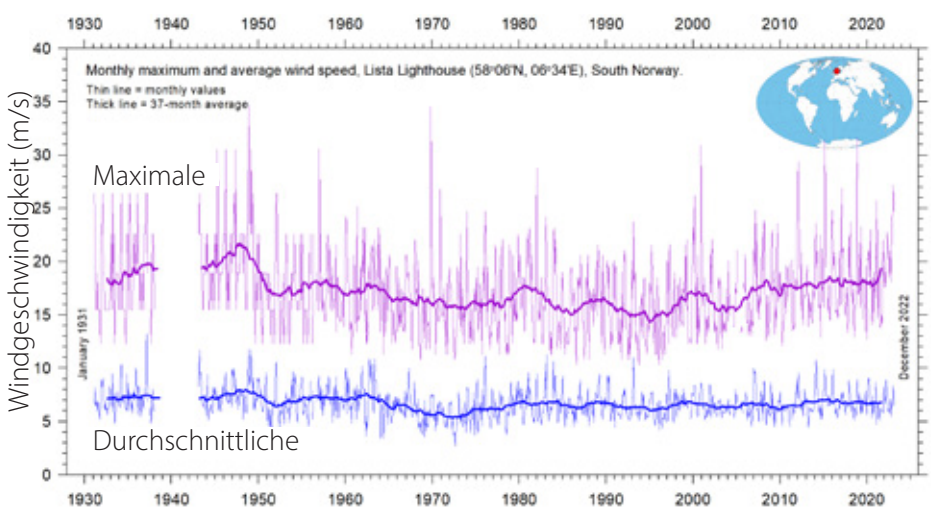


Abbildung 48: Monatliche maximale und durchschnittliche Windgeschwindigkeit seit Januar 1931, gemessen am Leuchtturm Lista, Südnorwegen

Der Leuchtturm Lista befindet sich auf einem exponierten Kap am äußersten südwestlichen Rand des norwegischen Festlands und ist in der Lage, die Windverhältnisse in der angrenzenden Nordsee und im europäischen Sektor des Nordatlantiks zu registrieren. Datenquelle: SeKlima.SeKlima.

Written references

Carter R.M., de Lange W., Hansen, J.M., Humlum O., Idso C., Kear, D., Legates, D., Mörner, N.A., Ollier C., Singer F. and Soon W. 2014. *Commentary and Analysis on the Whitehead & Associates 2014 NSW Sea-Level Report*. Policy Brief, NIPCC, 24. September 2014, 44 pp. <http://climatechangereconsidered.org/wp-content/uploads/2014/09/NIPCC-Report-on-NSW-Coastal-SL-9z-corrected.pdf>.

Chylek, P., Folland, C. K., Lesins, G., and Dubey, M. K. 2010. Twentieth century bipolar seesaw of the Arctic and Antarctic surface air temperatures. *Geophysical Research Letters*, 37: L08703, doi:10.1029/2010GL042793.

Holgate, S.J. 2007. On the decadal rates of sea level change during the twentieth century. *Geophysical Research Letters*, 34: L01602, doi:10.1029/2006GL028492.

Johnstone, J. and Curry, J. 2017. Causes and Predictability of the Exceptionally Active 2017 Atlantic Hurricane Season. Climate Forecast Applications Network (CFAN). https://curryja.files.wordpress.com/2017/11/hurricane_review_2017-final.pdf.

Maue, R.L. 2011. Recent historically low global tropical cyclone activity. *Geophysical Research Letters*, 38, L14803, doi:10.1029/2011GL047711.

Roemmich, D. and J. Gilson, 2009. The 2004–2008 mean and annual cycle of temperature, salinity, and steric height in the global ocean from the Argo Program. *Progress in Oceanography*, 82: 81–100.

Turner et.al. 2017. Unprecedented springtime retreat of Antarctic sea ice in 2016. *Geophysical Research Letters*, 44(13): 6868–6875. <https://doi.org/10.1002/2017GL073656>.

Vignudelli et al. 2019. Satellite Altimetry Measurements of Sea Level in the Coastal Zone. *Surveys in Geophysics*, 40: 1319–1349. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10712-019-09569-1>.

Datenquellen

Der Zugriff auf alle Quellen erfolgte im Januar-Februar 2023.

ACE data: https://en.wikipedia.org/wiki/Accumulated_cyclone_energy.

AMO, Earth System Research Laboratory, NOAA, USA: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO/>.

Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, Hurricane Research Division: <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/E11.html>.

Continental United States Hurricane Impacts/Landfalls: https://www.aoml.noaa.gov/hrd/hurdat/All_U.S._Hurricanes.html.

Colorado Center for Astrodynamic Research: <http://sealevel.colorado.edu/>.

Danish Meteorological Institute (DMI): <http://ocean.dmi.dk/arctic/icethickness/thk.uk.php>.

Earth System Research Laboratory (ESRL): <https://www.esrl.noaa.gov/psd/map/clim/olr.shtml>.

SeKlima: <https://seklima.met.no/observations/>.

GISS temperature data: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>.

Global Marine Argo Atlas: http://www.argo.ucsd.edu/Marine_Atlas.html.

Goddard Institute for Space Studies (GISS): <https://www.giss.nasa.gov/>.

HadCRUT temperature data: <http://hadobs.metoffice.com/>.

Hurricane Research Division, NOAA: <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/E23.html>.

Hurricane Research Division, Continental United States Hurricane Impacts/Landfalls: https://www.aoml.noaa.gov/hrd/hurdat/All_U.S._Hurricanes.html.

National Ice Center (NIC). http://www.natice.noaa.gov/pub/ims/ims_gif/DATA/cursnow.gif.

National Snow and Ice Data Center (NSIDC): http://nsidc.org/data/seaice_index/index.html.

NCDC temperature data: <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/>.

Ocean temperatures from Argo floats: <http://www.argo.ucsd.edu/>.

Oceanic Niño Index (ONI): http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

Outgoing long wave radiation (OLR): <https://www.esrl.noaa.gov/psd/map/clim/olr.shtml>.

PDO, NOAA Physical Sciences Laboratory: <https://psl.noaa.gov/pdo/>.

Permanent Service for Mean Sea Level: <http://www.psmsl.org/>.

Phys.org 2019: <https://phys.org/news/2019-01-antarctica-sea-ice-climate.html>.

Plymouth State Weather Center: <http://vortex.plymouth.edu/sfc/sst/>.

PSMSL Data Explorer: <http://www.psmsl.org/data/obtaining/map.html>.

Rutgers University Global Snow Laboratory: <http://climate.rutgers.edu/snowcover/index.php>.

RSS temperature data: <http://www.remss.com/measurements/upper-air-temperature>.

Sea level from satellites: <https://sealevel.colorado.edu/data/2020rel1-global-mean-sea-level-seasonal-signals-retained>.

Sea level from tide-gauges: <http://www.psmsl.org/data/obtaining/map.html>.

Sea level modelled: IPCC AR6 Sea Level Projection Tool: https://sealevel.nasa.gov/data_tools/17.

Sea ice extent Danish Meteorological Institute (DMI): <http://ocean.dmi.dk/arctic/icethickness/thk.uk.php>.

Southern Oscillation Index (SOI): <http://crudata.uea.ac.uk/cru/data/soi/>.

Maue ACE data: climatlas.com/tropical/.

UAH temperature data: http://www.nsstc.uah.edu/data/msu/v6.0/tlt/uahncdc_lt_6.0.txt.

Review-Prozess

Die GWPF veröffentlicht Berichte in einer Reihe verschiedener Formate, für die jeweils ein anderes Überprüfungsverfahren gilt.

- Unsere Flaggschiffe, die GWPF-Reports, werden alle von unserem akademischen Beirat geprüft.
- GWPF Briefings und Notes sind kürzere Dokumente und werden je nach Bedarf intern und/oder extern geprüft.

Ein Teil der Funktion des Überprüfungsprozesses besteht darin, sicherzustellen, dass alle von der GWPF veröffentlichten Materialien einen angemessenen akademischen Standard aufweisen und dem Bildungszweck der GWPF dienen. Als Wohltätigkeitsorganisation erkennen wir an, dass Bildungsmaterial jedem Leser die Möglichkeit bieten sollte, ein Thema zu verstehen und verschiedene Perspektiven zu erkunden.

Dies bedeutet, dass wir für die meisten Veröffentlichungen auch eine externe Überprüfung von einer Partei einholen, von der wir erwarten, dass sie eine andere Meinung als der Autor der Veröffentlichung vertritt. Wir bieten an, inhaltliche Kommentare zusammen mit dem Hauptbeitrag zu veröffentlichen, sofern wir davon überzeugt sind, dass sie den Bildungswert des Lesers erhöhen. Auf diese Weise hoffen wir, eine offene und aktive Debatte über die wichtigen Bereiche, in denen wir arbeiten, zu fördern.

Dieser erweiterte Begutachtungsprozess für GWPF-Reports soll den Inhalt und die Analyse über eine typische Begutachtung für eine akademische Zeitschrift hinausführen:

- Es können mehr potenzielle Gutachter einbezogen werden
- Die Anzahl der inhaltlichen Kommentare wird in der Regel die der Begutachtung in einer Fachzeitschrift übersteigen, und
- Die Identität des Autors ist den potenziellen Gutachtern bekannt.

Als eine Organisation, deren Veröffentlichungen manchmal Gegenstand heftiger oder unvorsichtiger Kritik sind, soll dieser Begutachtungsprozess die Bildungserfahrung für alle Leser verbessern, indem er es ermöglicht, Gesichtspunkte im Kontext zu betrachten und die Standards einzuhalten, die für eine informierte und informative Debatte erforderlich sind. Wir erwarten daher von allen Beteiligten, dass sie die Rezensionen mit der größtmöglichen Ernsthaftigkeit behandeln.

Die endgültige Verantwortung für die Veröffentlichung liegt beim Vorsitzenden des Kuratoriums und dem Direktor der GWPF. In jedem Fall handelt es sich aber um die Meinung des Autors. Die GWPF hatte nie eine andere Position als die, die sich aus ihren Bildungszielen ergibt.

Über die Global Warming Policy Foundation

Die Menschen sind von Natur aus um die Umwelt besorgt und wünschen sich eine Politik, die sie schützt und gleichzeitig das menschliche Wohlergehen fördert; eine Politik, die nicht schadet, sondern hilft.

Die Global Warming Policy Foundation (GWPF) engagiert sich für die Suche nach praktischen Strategien. Unser Ziel ist es, das Niveau des Lernens und des Verständnisses durch rigorose Forschung und Analyse zu erhöhen, um eine ausgewogene Debatte in der interessierten Öffentlichkeit und bei Entscheidungsträgern zu fördern. Wir wollen eine Bildungsplattform schaffen, auf der eine gemeinsame Basis gelegt werden kann, die dazu beiträgt, Polarisierung und Parteilichkeit zu überwinden. Wir wollen eine Kultur der Debatte, des Respekts und des Wissensdrangs fördern.

THE GLOBAL WARMING POLICY FOUNDATION

Founder: Lord Lawson of Blaby (1932–2023)

DIRECTOR

Dr Benny Peiser

BOARD OF TRUSTEES

Dr Jerome Booth (Chairman)
The Hon. Tony Abbott
Michael Cole
Lord Frost
Kathy Gyngell

Professor Michael Kelly FRS
Terence Mordaunt
Allison Pearson
Graham Stringer MP
Professor Fritz Vahrenholt

ACADEMIC ADVISORY COUNCIL

Professor Christopher Essex (Chairman)
Professor Wade Allison
Professor Anthony Barrett
Professor J. Ray Bates
Sir Ian Byatt
Dr John Constable
Professor Vincent Courtillot
Professor John Dewey
Professor Peter Dobson
Professor Peter Edwards FRS
Professor Samuel Furfari
Christian Gerondeau
Professor Larry Gould
Professor William Happer
Professor Ole Humlum
Professor Gautam Kalghatgi

Professor Terence Kealey
Bill Kininmonth
Brian Leyland
Professor Richard Lindzen
Professor Ross McKittrick
Professor Robert Mendelsohn
Professor Garth Paltridge
Professor Ian Plimer
Professor Gwythian Prins
Professor Paul Reiter
Professor Peter Ridd
Dr Matt Ridley
Sir Alan Rudge
Professor Nir Shaviv
Professor Henrik Svensmark
Dr David Whitehouse

RECENT GWPF REPORTS

20	Laframboise	Peer Review: Why Scepticism is Essential
21	Constable	Energy Intensive Users: Climate Policy Casualties
22	Lilley	£300 Billion: The Cost of the Climate Change Act
23	Humlum	The State of the Climate in 2016
24	Curry et al.	Assumptions, Policy Implications and the Scientific Method
25	Hughes	The Bottomless Pit: The Economics of CCS
26	Tsonis	The Little Boy: El Niño and Natural Climate Change
27	Darwall	The Anti-development Bank
28	Booker	Global Warming: A Case Study in Groupthink
29	Crockford	The State of the Polar Bear Report 2017
30	Humlum	State of the Climate 2017
31	Darwall	The Climate Change Act at Ten
32	Crockford	The State of the Polar Bear Report 2018
33	Svensmark	Force Majeure: The Sun's Role in Climate Change
34	Humlum	State of the Climate 2018
35	Peiser (ed)	The Impact of Wind Energy on Wildlife and the Environment
36	Montford	Green Killing Machines
37	Livermore	Burnt Offering: The Biomess of Biomass
38	Kelly	Decarbonising Housing: The Net Zero Fantasy
39	Crockford	The State of the Polar Bear Report 2019
40	Darwall	The Climate Noose: Business, Net Zero and the IPCC's Anticapitalism
41	Goklany	The Lancet Countdown on Climate Change: The Need for Context
42	Humlum	The State of the Climate 2019
43	Alexander	Weather Extremes: Are They Caused by Global Warming?
44	Constable	Hydrogen: The Once and Future Fuel?
45	Kessides	The Decline and Fall of Eskom: A South African Tragedy
46	Goklany	Impacts of Climate Change: Perception and Reality
47	Constable	A Little Nudge with a Big Stick
48	Crockford	The State of the Polar Bear Report 2020
49	Alexander	Weather Extremes in 2020
50	Humlum	The State of the Climate 2020
51	Humlum	The State of the Climate 2021
52	Constable	Europe's Green Experiment
53	Montford	Adaptation: The Rational Climate Policy
54	Alexander	Extreme Weather: The IPCC's Changing Tune
55	Ridd	Coral in a Warming World: Causes for Optimism
56	Humlum	The State of the Climate 2022

For further information about the Global Warming Policy Foundation, please visit our website at www.thegwpf.org.
The GWPF is a registered charity, number 1131448.

