

Die **WELTMEERE** und ihre Bedeutung

Die Meere bedecken 71 % der Oberfläche unseres Planeten und bestimmen seine blaue Farbe.

Zählen wir dazu die eisbedeckten Flächen, Seen und Flüsse sowie andere Feuchtgebiete, dann sind mehr als 75 % der gesamten Oberfläche des Erdballs von Wasser bedeckt.

Das Wasser und vor allem die Meere sind von außerordentlicher Bedeutung. Ohne sie wäre die Erdgeschichte ganz anders verlaufen.

von José Luis Lozán

Dr. José Luis Lozán

Wissenschaftlicher Autor und Chefredakteur der Buchreihe ‚Warnsignale‘. Lozán promovierte 1989 in Meeresbiologie an der Universität Hamburg. Seit 2005 gibt er mit anderen Wissenschaftlern die Website ‚Warnsignal Klima – Wissenschaftler informieren direkt‘ heraus. Sie enthält die letzten zehn Klima-Bände der oben genannten Buchreihe kostenlos.

Nur im Meer konnte Leben entstehen. Vor 2,7 Mrd. Jahren begannen Cyanobakterien im Meer, unter Nutzung von Kohlendioxid (CO₂) molekularen Sauerstoff (O₂) zu produzieren. Nachdem das Urmeer mit Sauerstoff angereichert war, entwich ein Teil davon in die Atmosphäre, und durch Oxidation eines winzigen Teils des Sauerstoffs bildete sich die stratosphärische Ozonschicht (O₃), die bis heute als Schutzschild gegen den lebensfeindlichen Teil des UV-Lichts dient. Erst dieser Vorgang machte auch die Besiedlung der Kontinente möglich.

Die Durchschnittstiefe der Ozeane beträgt ca. 3,8 km. Die tiefste Stelle – der Marianengraben – befindet sich im westlichen Pazifischen Ozean mit einer Maximaltiefe von ca. 11 km. Das gesamte Wasservolumen der Erde beträgt ca. 1.500 Mio. km³. Davon

sind 94,3 % Salzwasser und befinden sich im Meer. Die restliche Menge (30 Mio. km³) inklusive der Eisschilde bestehen aus Süßwasser. Aufgrund der hohen Wärmekapazität des Wassers ist das Klima an der Küste ausgeglichener als im Landesinneren, die Sommer sind weniger heiß und die Winter weniger kalt. Das bewirkt ein an-

genehmes Klima an den Küsten und führt unter anderem dazu, dass etwa ein Drittel der Weltbevölkerung in Küstennähe konzentriert ist. Flache Küsten sind nicht nur überproportional dicht besiedelt, sondern auch wichtige Wirtschaftsräume. Häfen, Tourismus und Erholungsräume sowie Fischerei sind die wichtigsten Aktivitäten an der Küste. Sie sind in Wechselwirkung mit einem nur sehr langsam steigenden Meeresspiegel in den letzten 6.000 Jahren entstanden.

Der Anstieg des Meeresspiegels

Die aktuelle Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs stellt daher grundsätzlich eine neue Situation dar und kann zur größten Herausforderung für Menschen und Ökosysteme werden. Insbesondere die Küstenbevölkerung in einigen Entwicklungsländern wie in Bangladesch ist von Flussüberschwemmungen nach starken Monsunregenfällen und Meeresüberschwemmungen durch tropische Wirbelstürme und den höheren Meeresspiegel doppelt bedroht. Steigt der Meeresspiegel um einen Meter an, dann würden rund 30.000 km² Land überflutet werden. Fast 15 Mio. Menschen wären betroffen. Bangladesch ist am stärksten betroffen, obwohl es am wenigsten zum Klimawandel beigetragen hat. Notwendige Anpassungsmaßnahmen müssen daher von der gesamten Staatengemeinschaft finanziert werden. Ebenfalls gefährdet sind Inseln und Staaten im Pazifik wie die Marshall Inseln, Kiribati, Tuvalu, Tonga, die Föderierten Staaten von Mikronesien und die Cook Inseln, im Atlantik Antigua und Nevis sowie im Indischen



Grüne Meeresschildkröte (*Chelonia mydas*).

FOTO: LFPUNTEL (ISTOCK)

Ozean die Malediven. Tuvalu, Tokelau und die Marschall Inseln könnten wegen ihrer geringen Höhe noch im Verlauf dieses Jahrhunderts weitgehend verschwinden. Langfristige Veränderungen des mittleren globalen Meeresspiegels werden vor allem durch drei Prozesse verursacht:

a) Durch Eisschmelze: Aufgrund der Erwärmung der Atmosphäre und der Ozeane schmelzen Eisschilde und Gebirgsgletscher, was dazu führt, dass Süßwasser in die Ozeane gelangt (2,1 mm/Jahr [2002-2019]). Die jährlichen Eisverluste der Eisschilde betragen zurzeit bei Grönland 273 ± 21 Gt und der Antarktis 151 ± 39 Gt (1 Gt = 1.000.000.000 t).

b) Durch thermische Ausdehnung: Das Wasser der Ozeane dehnt sich durch die Erwärmung um 1,3 mm/Jahr [2005-2019] aus.

c) Durch Änderungen der Wasserspeicher auf dem Land: Wasser, das entweder dem Land entnommen (beispielsweise durch Grundwasserpumpen) oder an Land aufgestaut wird (beispielsweise durch den Bau von Dämmen), kann zu einer Nettoveränderung des gesamten im Ozean befindlichen Wassers führen.

Von etwa 1,7 mm/Jahr vor vier Jahrzehnten erhöhte sich der Meeresspiegelanstieg bis Ende der 1990er Jahre auf 3 mm/Jahr. Diese Beschleunigung hat sich auf 3,4 mm im Jahr 2022 fortgesetzt. Das entspricht einer globalen Erhöhung im Zeitraum 1993-2022 von 103 mm (1). Wenn die CO₂-Emissionen nicht gebremst werden, ist ein noch schnellerer Anstieg nicht zu vermeiden.

Die Meeresströmungen

Von großer Bedeutung sind auch die Meeresströmungen. Sie transportieren Wärme aus den wärmeren in die kälteren Regionen der Erde. Dank dieser ausgleichenden Wirkung auf das Erdklima ist unter anderem in Europa eine wirtschaftliche Entwicklung bis weit nach Norden möglich. Ursache ist der Golfstrom, der aus dem Golf von Mexiko zunächst nach Nordosten fließt und dann als Teil der globalen thermohalinen Zirkulation zum Nordatlantikstrom wird. Die Bezeichnung

„thermohaline Zirkulation“ weist auf die Bedeutung von Temperatur und Salzgehalt für die Dichtestruktur des Wassers hin, durch die sich das Strömungsverhalten der Wassermassen ergibt. Aus der Golfregion beispielsweise fließt warmes und salzreiches Wasser mit einem Volumen von ca. 20 Mio. m³/s (rund die hundertfache Menge des Amazonasstroms) in den oberen Meeresschichten nach Norden, wo es sich besonders im Winter abkühlt, folglich dichter wird und absinkt. Dabei wird es zu Tiefenwasser mit einer mittleren Tiefe von etwa zwei Kilometern. Die Lufttemperatur über dem Europäischen Nordmeer wird durch die Abgabe von Wärme des Golfstromwassers an die Atmosphäre um etwa 10 °C gegenüber dem Breitenkreismittel erhöht. Durch das Abschmelzen des grönländischen Eisschilts und zunehmende Niederschläge wird dem Arktischen Ozean und dem Nordatlantik vermehrt Süßwasser zugeführt, wodurch die Dichte des Wassers abnimmt. Als Folge wird seit Jahren eine Schwächung des Nordatlantikstroms beobachtet, die sich auch in der geringen Temperaturzunahme über den Absinkgebieten bemerkbar macht. Einen weiteren wichtigen Einfluss, sogar auf das globale Klima, besitzt der Ozean durch das El Niño/Southern Oscillation-Phänomen (ENSO) (siehe hierzu Seite 7)

Global ist die Erwärmung der Meeresoberfläche (ca. 0,8 °C) wegen der höheren Durchmischung und der hohen Wärmekapazität des Wassers geringer als die der Landfläche (ca. 1,5°) (Stand 2020). Die erwärmten Schichten erreichen bis jetzt meist nur einige 100 m Tiefe. Da die mittlere Ozeantiefe 3.800 m beträgt, werden die Erwärmung der Meere und damit auch die Ausdehnung des Meerwassers Jahrhunderte andauern, sogar wenn sich die Erwärmung der Atmosphäre nicht fortsetzen würde. Die heutige Ausdehnung des Meerwassers ist daher nur ein Bruchteil der gesamten schon programmierten Ausdehnung. Von den 110.000 km³

Niederschlag über den Kontinenten stammen 40.000 km³ vom Wasserdampftransport aus den Meeren auf die Kontinente.

Mit der Erwärmung der Meere wird eine Zunahme der Verdunstung erwartet und nach der Clausius-Clapeyron'schen Gleichung ist mit einem Anstieg des atmosphärischen Wasserdampfgehalts von etwa 7 % pro Grad Lufttemperatur zu rechnen. Damit könnte eine ähnliche Zunahme aller Elemente des Wasserkreislaufes, also von Niederschlagsintensitäten und -häufigkeiten ebenso wie Veränderungen der räumlichen Verteilungsmuster verbunden sein, wenn nicht andere Prozesse wie erhöhte Lufttrübung diese Werte senken. Über den Landmassen können diese Veränderungen relativ gut gemessen werden, auch wenn es immer noch Regionen mit wenigen Messstationen gibt. Über den Meeren stehen jedoch so gut wie keine direkten Niederschlags-Messstationen zur Verfügung.

Die Erwärmung der Meere

Im Gegensatz zum Inlandeis auf Grönland und der Antarktis liegt auf großen Teilen der polaren Meeresregionen das Meereis nur als dünne Schicht. Es verändert das globale Klima weit über diese Regionen hinaus. Die Größe der am Ende des Sommers vorhandenen Fläche des Meereises ist ein Indikator für den Klimawandel und gilt als Barometer der Erderwärmung. Lag sie in den 1950/60er Jahren in der Arktis noch bei etwa acht Mio. km², so ist sie in den letzten Jahren auf teilweise unter fünf Mio. km² zurückgegangen. Die Meereisausdehnung im Jahr 2012 von nur knapp über 3,5 Mio. km² war besorgniserregend. Auch die Meereisausdehnung der Antarktis, die lange Zeit leicht zugenommen hat, verringert sich seit 2016 deutlich. Die Albedo des Meerwassers, also das Rückstrahlvermögen von Licht, beträgt ca. 0,1 und die des Meereises > 0,5. Daraus ergibt sich eine sich selbst verstärkende Entwicklung in den Polarregionen: Weniger Meereis erhöht dort die



Narwal (*Monodon monoceros*).

FOTO: DOTTEDHIPPO (ISTOCK)

Wärmeaufnahme und die wiederum lässt das Eis schneller schmelzen.

In den vergangenen Jahrzehnten haben sich das Vorkommen und die Verbreitung von Meeresfischen dramatisch verändert. Sowohl kommerziell befischte als auch nicht befischte Bestände zeigen gegenüber der angestiegenen Meerestemperatur deutliche Reaktionen.

In den meisten Fällen konnte eine Verschiebung ihres Verbreitungsgebietes nach Norden oder eine Veränderung ihres Tiefenvorkommens beobachtet werden. Zeitgleich wurden vermehrt Einwanderungswellen von südlichen bzw. mediterranen Arten wie Meeräschen, Sardellen und Sardinen in den nordöstlichen Atlantik und in Nord- und Ostsee registriert. Zunehmend werden darüber hinaus große Mengen von Jungfischen von diesen Fischarten im Wattenmeer gefangen, was als Anzeichen bewertet wird, dass diese südlichen Arten in der Nordsee heimisch geworden sind. Die Klimamodelle sagen voraus, dass die Oberflächentemperaturen der Nordsee bis 2050 um 1,0 bis 2,5 °C ansteigen werden. Die gegenwärtig beobachtete Veränderung in der Artenzusammensetzung der Nordsee-Fischfauna wird mit Folgen u.a. für die Räuber-Beute-Beziehungen weiter anhalten.

Besonders betroffen durch die Erwärmung der Meere sind die tropischen Korallenriffe. Sie repräsentieren die komplexesten Küsten-Ökosysteme und beherbergen etwa 1/3 der bekannten Artenvielfalt der Meere. Der Klimawandel beeinflusst sie mehrfach negativ:

a) die Erderwärmung führt zu Störungen oder Entkoppelungen der Korallen-Algen-Symbiose;

b) die Versauerung des Meerwassers behindert die normale Skelettbildung der Korallen;

c) der Anstieg des Meeresspiegels hat negative Folgen für das Riffwachstum. Die globalen Dimensionen dieser Wirkungen lassen die Zukunftsaussichten der Riffe unsicher erscheinen.

Der marine Permafrost

Permafrost bezeichnet einen Boden, dessen Temperatur für mindestens zwei Jahre ununterbrochen (perennierend) unter 0 °C bzw. dem lokalen Gefrierpunkt ist. Permafrost

kommt in den Polarregionen, den meisten Hochgebirgen und auch im arktischen Meer vor. Die Stabilität von Permafrost am Grunde des arktischen Schelfmeeres ist vor allem von der Wassertemperatur und dem hydrostatischen Druck abhängig. Viele Untersu-



Warentransport mit Containerschiff.

FOTO: AVIGATORPHOTOGRAPHER (ISTOCK)

chungen haben gezeigt, dass große Mengen Kohlenstoff im Permafrost gespeichert sind. Marine Permafrostgebiete befinden sich in der Regel noch weitgehend im thermischen Gleichgewicht mit dem Meerwasser. Aufgrund des aktuellen Klimawandels führen steigende Bodenwassertemperaturen unweigerlich zu deren Destabilisierung. Eine massive Freisetzung der Methanvorkommen, die im submarinen Permafrost über tausende Jahre fixiert waren, würde einen wesentlichen Einfluss auf die Methankonzentration der Atmosphäre mit globalen klimatischen Auswirkungen haben.

Fast weltweit bilden sich an den Kontinentalabhängigen Gashydrate, wenn eine Temperatur von null bis vier Grad Celsius und ein hydrostatischer Druck von mindestens 500 m Wassersäule herrschen. In Regionen mit niedrigeren Temperaturen, wie in der Arktis, schon ab 300 m. Das Methan in den Methanhydraten ist das Stoffwechselprodukt von Bakterien, die organisches Material nutzen. Die Gashydrate-Vorkommen sind – trotz Unsicherheiten – um ein Vielfaches höher als die aller anderen fossilen Energieförmern (Kohle, Erdgas und Erdöl). Am ehesten

werden durch die globale Erwärmung diejenigen Gashydrate betroffen sein, die sich heute nahe ihrer Stabilitätsgrenze befinden. Studien aus der sibirischen Laptev See und den Kontinentalrändern bei Spitzbergen berichten schon jetzt von starken Methanaustritten aus dem Meeresboden. Auch das freiwerdende Methan wird überwiegend bakteriell (anaerob oder aerob) abgebaut. Die Frage ist, wie stark diese bakterielle Barriere bei stärkerer Emission wirkt.

Das Paris-Klimaabkommen von 2015 zur Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen von 1992 fordert weltweit die rasche Reduktion der Treibhausgase und die Begrenzung der globalen Erwärmung auf möglichst unter 2 °C. Da die Reduktion der Treibhausgas-Emissionen bisher gar nicht oder nicht schnell genug erfolgte, wird intensiv auch an technischen Methoden zur Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre (Carbon Dioxide Removal, CDR) gearbeitet, um das völkerrechtlich bindende Ziel von 2015 zu erreichen. Die Abscheidung von CO₂ mit anschließender Speicherung im geologischen Untergrund kann einen Beitrag zur Reduktion von CO₂-Emissionen leisten. In Europa wird diese Technologie bisher nur in Norwegen in industriellem Maßstab angewendet. Das CO₂ wird dabei z.B. in ehemalige Gaslagerstätten unter dem Meeresboden verpresst.

Viele europäische Firmen erschließen zurzeit weitere CO₂-Speicher unter der Nordsee, um dort CO₂ aus industriellen Quellen zu entsorgen. Die Gesetzgebung in Deutschland soll im Jahr 2024 aktualisiert werden, um auch hier die CO₂-Speicherung zumindest für bestimmte Anwendungen zu ermöglichen. Die begleitenden Forschungsarbeiten berichten, dass das Deckgestein den CO₂-Austritt effektiv verhindert.

Simulationen für die nächsten 100.000 Jahre ergeben, dass sich das CO₂ im Porenwasser löst und in gelöster Form nach unten sinkt. Diese Menge ist jedoch minimal, so dass dieser Speicher die geforderte Rückhaltezeit von mehr als 100.000 Jahren und eine Leckage-Rate von weniger als 0,01 % pro Jahr erfüllen kann.

Probleme ohne Ende

Der Klimawandel ist nicht die alleinige Bedrohung im Meer. Die heutige Belastung der

Meere ist durch erlaubte, aber ökologisch nicht immer verträgliche Nutzungen sehr hoch. Hierzu gehören die Fischerei mit zu starker Ausbeutung der Fischbestände und zerstörerischen Fangmethoden, die Förderung von Öl und Gas, von Mineralien vom tiefen Meeresboden, Sand- und Kiesgewin-

nung in den Randmeeren, die Verbreitung fremder Arten durch Aquakultur und Schiffe in den Küstengewässern – und es scheint nicht so, dass diese Liste in absehbarer Zeit kürzer wird. ◀

Quelle

Warnsignal Klima: ‚Die Meere (aktualisiert) – Wissenschaftler informieren direkt‘
www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de
www.warnsignal-klima.de

(1) climate.copernicus.eu/ESOTC/2019/sea-level

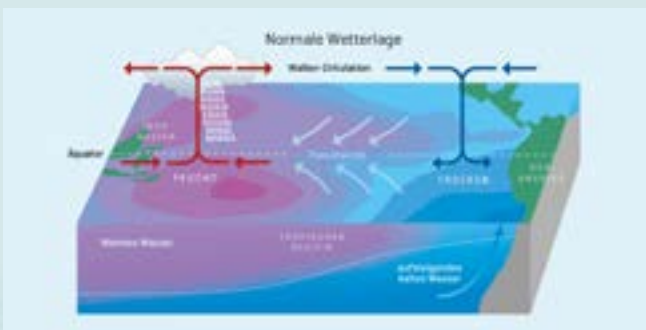
El Niño ist wieder da!

von José Luis Lozán

El Niño (auf spanisch das Kind) ist ein Phänomen, das im Abstand von zwei bis sieben Jahren zur Veränderung der Meeresoberflächentemperaturen und der Meeresströmungen im tropischen pazifischen Ozean führt. Die treibende Kraft für die Änderungen der Meeresströmungen und Temperaturverhältnisse sind dort die Winde. Das südostasiatische Tiefdruckgebiet und das südostpazifische Hochdruckgebiet bestimmen die Stärke der Passatwinde über dem südlichen Pazifik. Das Wechselspiel zwischen diesen Druckgebieten wird als Südliche Oszillation bezeichnet. Durch eine Eigenschwingung des gekoppelten Systems Ozean-Atmosphäre können diese Hoch- und Tiefdruckgebiete ihre Positionen tauschen. Damit ändert sich auch die Stärke der Passatwinde. Aufgrund der engen Kopplung zwischen

La Niña ist das Gegenstück und hat den gegenteiligen Effekt von El Niño. Während eines La Niña-Ereignisses sind die Passatwinde noch stärker als sonst und treiben mehr warmes Wasser in Richtung Asien. Vor der Westküste Amerikas nehmen die Auftriebskräfte zu und bringen mehr als sonst kaltes, nährstoffreiches Wasser an die Oberfläche. Auch La Niña beeinflusst das Klima weltweit und bewirkt eine geringere globale Mitteltemperatur.

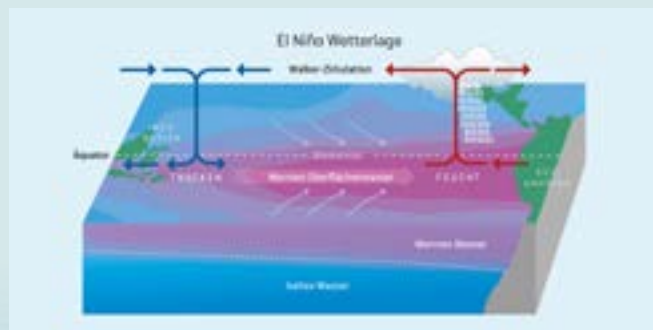
El Niño und La Niña sind extreme Phasen eines natürlich vorkommenden Klimazyklus. Diese Phänomene scheinen mit der Erderwärmung deutlich stärker zu werden. Die aktuellen Beobachtungen sprechen dafür, dass 2023/24 ein neues El Niño-Ereignis bevorsteht. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um zu sagen, ob wir uns in einem



Luftdruckunterschiede erzeugen östliche Passatwinde entlang des Äquators.

GRAFIKEN: CHRISTOPH KERSTEN (GEOMAR)

El Niño und der südlichen Oszillation spricht man heute vom ENSO-Phänomen. In normalen Jahren entsteht vor der südamerikanischen Küste durch den Einfluss der Passatwinde und der Erdrotation ein großes Auftriebsgebiet, durch das relativ kaltes Wasser an die Oberfläche transportiert wird. Im Westpazifik hingegen ist die Meeresoberflächentemperatur mit bis zu 30 °C relativ hoch. Bei einem El Niño schwächen die Passatwinde sich ab, und das Auftriebsgebiet verkleinert sich drastisch. Warmes Wasser wird zurück zur Westküste Südamerikas gedrückt. Dadurch erwärmt sich der Ostpazifik, wo die Temperaturen an der Meeresoberfläche um einige Grade ansteigen können. Das hat weltweite Auswirkungen, sodass El Niño zu sehr hohen globalen Mitteltemperaturen führen kann. Das El Niño-Phänomen bewirkt außerdem Dürren und Brände in Südostasien, Teilen Australiens und Brasiliens. Es verursacht starke Niederschläge im westlichen Südamerika und ruft sogar signifikante Klima-anomalien über Nordamerika hervor. Besonders starke El Niño-Ereignisse sind sogar bis Europa zu spüren.



Während El Niño drehen die Winde auf West: Der Niederschlag fällt im östlichen Pazifik, der indonesisch-australische Raum leidet unter Dürre.

El Niño, La Niña oder keinem von beiden befinden. So basiert der Oceanic Niño Index (ONI) auf der Meeresoberflächentemperatur im östlichen und mittleren tropischen Pazifik. Der älteste Indikator für den ENSO-Zustand ist der Southern Oscillation Index (SOI): die Differenz zwischen dem Luftdruck auf Meereshöhe in Tahiti und in Darwin (Australien). Wie beim letzten El Niño-Ereignis 2014/2016, erwartet man für die Jahre 2023/2024 durch El Niño neue Temperaturrekorde. 2022 betrug die mittlere globale Erderwärmung 1,15 °C über dem Mittelwert von 1850 bis 1900 und damit nur noch 0,35 Grad unter der 1,5 °C Schwelle des Pariser Klimaschutzabkommens, obwohl das Jahr unter dem abkühlenden Einfluss von La Niña stand. Aus diesem Grund gibt es die Befürchtung, dass im Jahr 2024 erstmals die Pariser 1,5 °C-Grenze erreicht werden kann. ◀