

# Die Bildung von El Niño und La Niña

## Eine humorvoll-kulinarische Annäherung

Beitrag im ENSO Blog vom 23.10.2020

Quellen: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/rise-el-niño-and-la-niña>

Originaltext: [Michelle L'Heureux](#)

Grafiken: Emily Eng, Climate.gov

Wir werden oft gefragt, wie El Niño- oder La Niña-Ereignisse entstehen und an Stärke zunehmen. Der Schlüssel liegt in der *Ozean-Atmosphäre-Kopplung* über dem tropischen Pazifik. Ohne sie gäbe es ENSO (El Niño / Southern Oscillation) nicht, und es wäre wesentlich schwieriger, die Klimaauswirkungen von Jahreszeiten im Voraus vorherzusagen. Verschiedene Bestandteile des Ozeans müssen mit der Atmosphäre kombiniert werden, damit ENSO blühen und wachsen kann. Mehl und Hefe wären auch für sich allein ziemlich langweilig und träge, aber wenn sie zusammengefügt werden, verstärken sie sich gegenseitig, das kombinierte Produkt nimmt an Größe zu und setzt schließlich die himmlischen Düfte von frisch gebackenem Brot frei. Richtig, ich sage im Grunde, ENSO ist frisch gebackenes Brot (Mmm, ENSO, du bist so lecker).

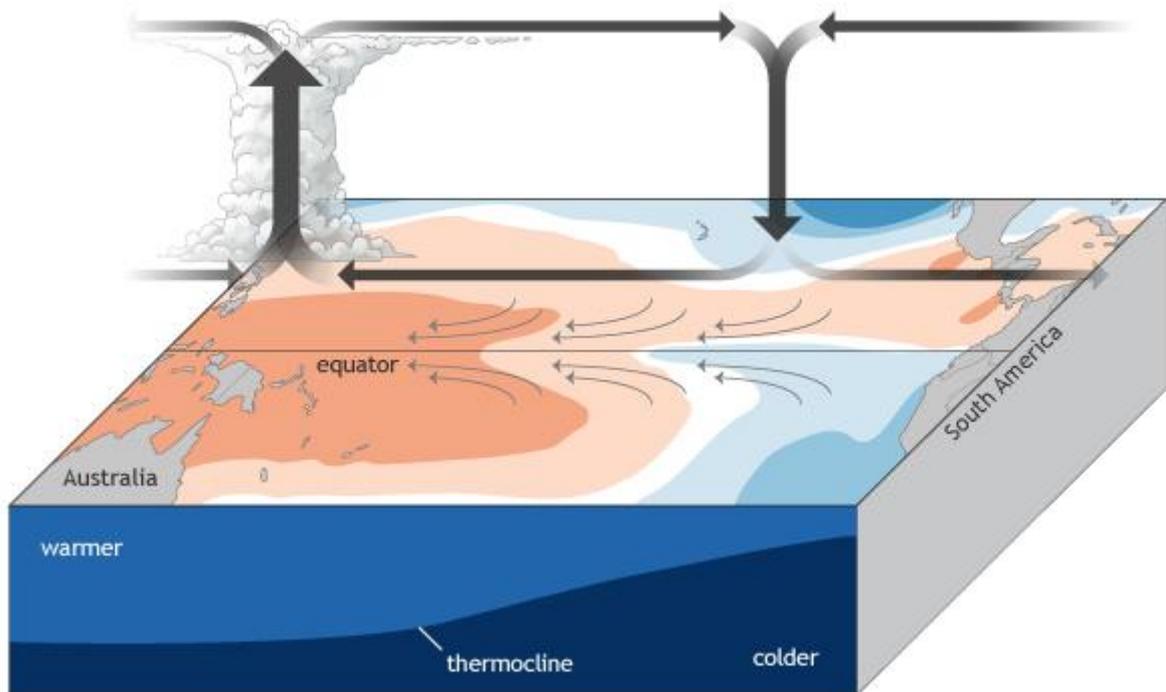
### Zusammenstellen der Zutaten

Aber wie kommen Ozean und Atmosphäre zusammen, um ~~das Brot~~ ENSO zu backen? Eine gute Frage, und es ist unglaublich, dass es fast fünfzig Jahre gedauert hat, dieses Problem zu lösen, selbst nachdem alle Grundzutaten herausgefunden waren. Wir haben schon oft die [Walker-Zirkulation](#) beschrieben, die nach Gilbert Walker benannt ist, weil er für das Gebiet der Meteorologie und des Klimas sehr wichtig ist. Als er von 1903-23 in Indien arbeitete, beobachtete er "das Hin- und Herpendeln des [atmosphärischen] Drucks in großem Maßstab zwischen dem Pazifik und dem Indischen Ozean" (Adamson, 2020). Er nannte diese großräumige Druck-Wippe „Südliche Oszillation“ (Southern Oscillation), um einen Kontrast zu den nördlicheren Schauplätzen anderer Klimaphänomene herzustellen, die er ebenfalls identifizierte und benannte, wie die [Nordatlantische Oszillation](#) (ja, derselbe Typ!).

Zu Walkers Pech wurden seine Entdeckungen damals mehr als wissenschaftliche Kuriositäten behandelt als alles andere. Niemand wusste wirklich, warum es die Südliche Oszillation gab, und man begriff erst recht nicht die größeren Auswirkungen seiner Entdeckung, bis schließlich ein gewisser [Jacob Bjerknes](#) in den 1960er Jahren seinen "Aha!"-Moment hatte<sup>1</sup>. Durch den Einsatz der neuen Satellitentechnologie und Beobachtungen von Canton Island im Südpazifik war Bjerknes in der Lage, Veränderungen im Druckmuster, die Walker entdeckt hatte, mit Temperaturschwankungen im tropischen Pazifik in Verbindung zu bringen<sup>2</sup>. Er erkannte auf brillante Weise, dass es sich um ein einziges großes System handelt und dass Ozean und Atmosphäre "gekoppelt" sind, was bedeutet, dass die Druck- und Temperaturmuster auf Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre beruhen.

## Atmosphere-ocean feedbacks during El Niño-Southern Oscillation

Neutral



Sogenannte ENSO-neutrale oder mittlere Bedingungen über dem tropischen Pazifik. Climate.gov schematic by Emily Eng and inspired by NOAA PMEL.

### Wenn der Teig aufgeht

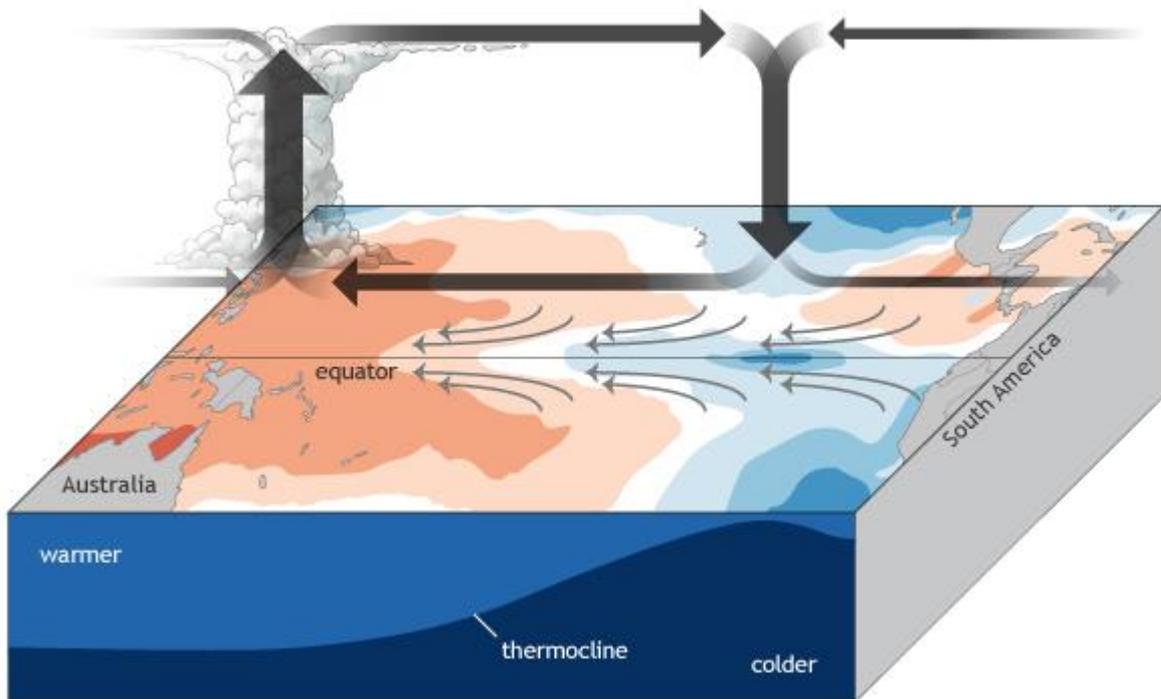
Aber wie lässt diese Kopplung ENSO entstehen und wachsen? Die Kunst liegt in den Rückkopplungen (Feedbacks) und insbesondere in dem, was wir heute das Bjerknes-Feedback nennen.

Im Klimabereich beziehen sich Rückmeldungen nicht auf Kommentare zu Leistungsbeurteilungen oder das Quietschen eines Mikrofons, sondern auf physikalische Prozesse, die sich gegenseitig verstärken (eine positive Rückkopplung) oder gegenseitig aufheben (eine negative Rückkopplung). Die Bjerknes-Rückkopplung ist eine positive Rückkopplung zwischen dem Oberflächenwind über dem tropischen Pazifik und der Meerestemperatur, was im Wesentlichen bedeutet, dass sich Prozesse im Ozean und in der Atmosphäre gegenseitig hochschaukeln, um ein ENSO-Ereignis auszulösen. Während ich schreibe (10/2020), befinden wir uns in einer [La Niña](#), daher werde ich die Rückkopplung von dort aus skizzieren.

### Abläufe während La Niña

Oft wissen wir nicht genau, was die Rückkopplungsschleife auslöst - manchmal beginnen die Temperaturen an der Meeresoberfläche abzukühlen und dann verstärken sich die Passatwinde oder umgekehrt (3). Aber irgendwo müssen wir ja anfangen, also beginne ich mit der Abkühlung des Ozeans (4). Das bedeutet, dass die Temperaturdifferenz (oder der Temperaturgradient) zwischen dem relativ wärmeren westlichen Pazifik und dem kühleren östlichen Pazifik noch größer wird als normal. Über dem westlichen Pazifik führen wärmere Temperaturen dazu, dass die Luft nahe der Oberfläche aufsteigt, feucht und konvektiv wird, was zu Gewittern und mehr Regen führt (so wie warme Luft in einen Dachboden aufsteigt, obwohl sich glücklicherweise keine Gewitter in einem Haus bilden). Über dem kühleren Ostpazifik beginnt die Luft stärker zu sinken und auszutrocknen (auch deshalb sind Kellerräume kälter). Mit der Zunahme der sinkenden Bewegung über dem Ostpazifik und der aufsteigenden Bewegung über dem Westpazifik werden die Passatwinde, die typischerweise von Ost nach West entlang des Äquators wehen, noch stärker.

## Atmosphere-ocean feedbacks during El Niño-Southern Oscillation La Niña



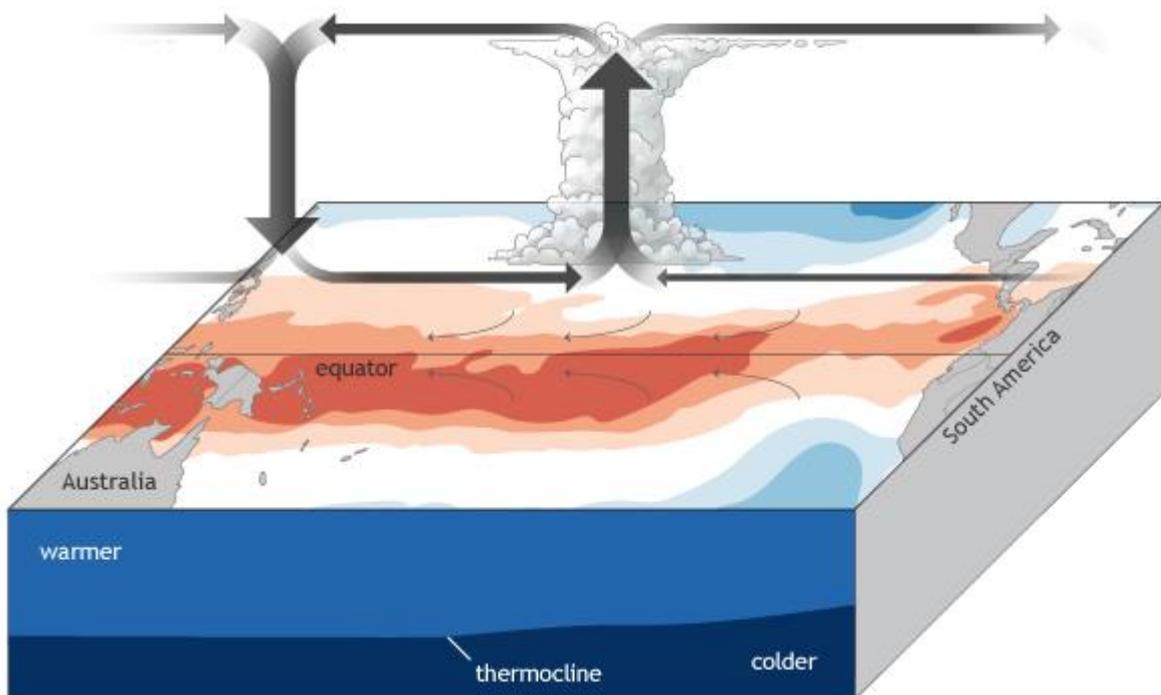
La Niña-Rückkopplungen zwischen dem Ozean und der Atmosphäre. Climate.gov schematic by Emily Eng and inspired by NOAA PMEL.

Diese stärker als normal wehenden Winde wiederum (hier ist nun die Rückkopplung!) tragen dazu bei, die Temperaturanomalien des Ozeans zu verstärken, indem sie das Wasser zunehmend vom Ostpazifik in den Westpazifik verdrängen. Dadurch kann tieferes, kälteres Wasser, das sich unter dem Oberflächenwasser befindet, **aufsteigen** (upwelling) und die Oberfläche noch mehr abkühlen. Dieselben Winde tragen dazu bei, von der Sonne erwärmtes Oberflächenwasser auf dem Weg in den westlichen Pazifik zu transportieren, wodurch sich das wärmere Wasser um Indonesien herum buchstäblich auftürmt (auch die Höhe des Meeresspiegels nimmt zu). Was bewirken diese wärmeren Wassermassen? Nun, sie tragen dazu bei, dass die Luft über Indonesien noch stärker aufsteigt (was zu erhöhter Konvektion/Niederschlag in der Region führt), und über dem mittleren und östlichen Pazifik führen die kälteren Oberflächenwässer zu verminderter Konvektion/Niederschlag (5). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die anfänglich stärker als normal wehenden Passatwinde und der Ost-West-Kontrast der Oberflächentemperaturen aufgrund dieser positiven Bjerknes-Rückkopplung noch stärker werden.

### Abläufe während El Niño

Die Rückkopplung beginnt, wenn sich die Passatwinde abschwächen und/oder sich die Temperaturen an der Meeresoberfläche in Teilen des mittleren und östlichen Pazifiks erwärmen. Beginnend mit Veränderungen im Ozean bedeutet dies, dass der normalerweise kühle Ostpazifik wärmer wird, was zu einer verstärkten Aufwärtsbewegung über dem zentralen und/oder östlichen Pazifik und zu mehr Konvektion und Niederschlag führt. Über Indonesien und dem fernen Westpazifik kühlt sich das Wasser leicht ab, was zu einer stärkeren Absinkbewegung (weniger Niederschlag und Konvektion) führt. Währenddessen schwächen sich die Passatwinde (die typischerweise von Ost nach West entlang des Äquators wehen) ab, weil sie normalerweise von Gebieten mit absinkender Luftbewegung zu Gebieten mit aufsteigender Luftbewegung wehen - jetzt sind diese Gebiete im Vergleich zum Neutralzustand reduziert.

## Atmosphere-ocean feedbacks during El Niño-Southern Oscillation El Niño



El Niño-Rückkopplungen zwischen Ozean und Atmosphäre. Während El Niño hängt die Ausdehnung der Konvektion und der Niederschläge nach Osten davon ab, wie warm die absoluten Meeresoberflächentemperaturen im östlichen Pazifik werden. Das bedeutet, dass wir während schwächerer El Niño-Ereignisse nur um die Datumsgrenze herum eine Zunahme der Konvektion und der Niederschläge beobachten können. Bei stärkeren El Niño-Ereignissen kann sich die Zunahme der Konvektion und der Niederschläge jedoch unter Umständen von der Datumsgrenze bis zur Küste von Ecuador/Peru in Südamerika erstrecken. Climate.gov schematic by Emily Eng and inspired by NOAA PMEL.

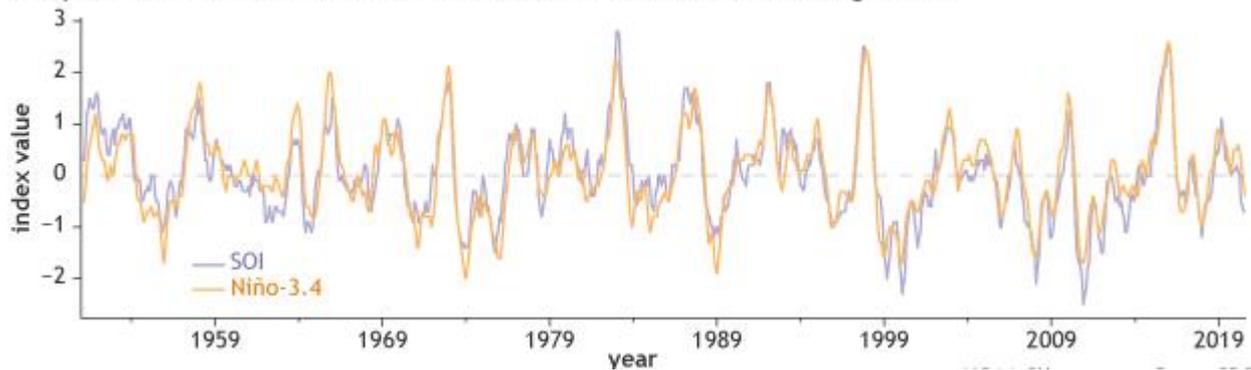
Diese schwächeren Oberflächenwinde (Rückkopplungszeit!) führen dann wiederum zu einer Verringerung des Kaltwasserauftriebs (upwelling) aus den tieferen Ozeanbereichen im östlichen Pazifik. Da der Auftrieb abnimmt und weniger Transport vom Ost- zum Westpazifik stattfindet, steigen die Temperaturen im Osten an. Jetzt wirken die Winde und verstärken die anfängliche Erwärmung des Ozeans! Auch wegen der Verlangsamung des Wassertransports zum westlichen Pazifik nehmen die Meeresoberflächentemperaturen und die Höhe des Meeresspiegels im Westen manchmal ab ([wenn auch in den letzten Jahren möglicherweise weniger stark](#)).

### Frisch aus dem Ofen

Auf diese Weise beeinflussen also Veränderungen der Meerestemperatur die atmosphärischen Schwankungen von Wind, Druck und Niederschlag, und umgekehrt tragen die atmosphärischen Veränderungen zur Verstärkung der Meerestemperaturen bei. El Niño- und La Niña-Ereignisse dauern jedoch nicht ewig - diese Ereignisse säen die Saat ihrer eigenen Zerstörung durch verzögerte Prozesse im Ozean, [die ich bei früherer Gelegenheit beschrieben habe](#).

Das Bjerknes-Feedback erklärt auch, warum es [so viele verschiedene Möglichkeiten](#) gibt, ENSO zu messen. Es gibt Dutzende von Zeitreihen oder Indizes verschiedener Art (bestehend aus Temperatur, Druck, Niederschlag, Wind usw.), die stark miteinander verbunden oder, wie wir sagen, korreliert sind (eine perfekte Korrelation hat den Wert 1). Zum Beispiel hat der [Index der Südlichen Oszillation \(SOI\)](#) (basierend auf Luftdruckunterschieden auf Meereshöhe) eine Korrelation von  $\sim 0,9$  mit dem [Niño-3,4-Index](#) (misst die Meeresoberflächentemperaturen im östlichen bis zentralen Äquatorialpazifik). Die starke Verbindung zwischen verschiedenen Arten von meteorologischen Variablen ist ein Beweis dafür, dass ENSO ein sehr großes und miteinander verbundenes System ist!

Comparison of Southern Oscillation Index and Niño-3.4 Index through time



Time series (or indexes) of running, seasonal averaged Equatorial Southern Oscillation (SOI) and Niño-3.4 sea surface temperature (using [ERSSTv5 data](#)) during 1950- 2020. Climate.gov image based on [NOAA CPC data](#).

Wenn Sie also das nächste Mal frisch gebackenes Brot riechen, denken Sie an Jacob Bjerknes, der das Rezept schrieb, indem er die Zutaten des Ozeans und der Atmosphäre zusammenbrachte, die das wunderbare Klimaphänomen hervorbringen, das wir heute die El Niño/Southern Oscillation oder ENSO nennen.

### Fußnoten

<sup>1</sup> In seinem interessanten Kapitel "El Niño and Society" stellt George Adamson (King's College London) fest, dass die lange Verzögerung zum Teil auf den Rückgang der Forschung während des Zweiten Weltkriegs und auch auf die geringe Variabilität der Südlichen Oszillation während der Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts zurückzuführen ist. Er fügt weiter hinzu, dass der Kalte Krieg der El Niño-Forschung in zweierlei Hinsicht förderlich war: (1) Um die Zusammenarbeit nach dem Tod Joseph Stalins zu fördern, wurde ein globales Forschungsprogramm, das Internationale Geophysikalische Jahr (IGY) von 1957-58, finanziert. (2) Das "Alliance for Progress"-Programm führte 1960 zu mehreren Forschungsreisen in den östlichen Pazifik.

<sup>2</sup> Peruanische Fischer erkannten als erste die Erwärmung des östlichen Pazifiks und nannten sie "El Niño", was vielleicht eine Jahrhunderte lange Tradition hat (Carrillo, 1892). Mit "El Niño" wurde damals eine warme Wasserströmung beschrieben, die im Dezember/Januar vor Peru und Ecuador aufkam. Dieser Begriff wurde jedoch ursprünglich verwendet, um die typische jahreszeitliche Variabilität und nicht die außergewöhnlichen Schwankungen zu beschreiben, die heute häufiger zur Beschreibung der ENSO-Ereignisse verwendet werden (Adamson, 2019).

<sup>3</sup> Ein Freund, der diesen Blog-Artikel las, hat mich sofort an dieser Stelle unterbrochen und gesagt: "Moment, warum fängt der Ozean plötzlich an sich abzukühlen?" Gleichermaßen kann man fragen: "Warum weht der Wind plötzlich stärker?" Und die Antwort ist, dass wir oft nicht wissen, warum der Zustand des tropischen Pazifiks beginnt sich in eine bestimmte Richtung zu entwickeln. Es gibt Zeiten, in denen wir die Vermutung haben, dass etwas aufgrund der Ozeandynamik geschieht (wie z.B. der [Abfluss von Wasser](#) während des Maximums von El Niño, was den Übergang zu einer La Niña begünstigt).

Wir wissen auch von den vielen verschiedenen Mustern, die den ENSO-Ereignissen vorausgehen können und die Emily hier bereits [ausführlich beschrieben](#) hat, sowie aus Dan Vimonts Artikel über den [Pacific Meridional Mode](#) und aus Jason Furtados Artikel über die [South Pacific Oscillation](#). Tatsache ist jedoch, dass es bei der Beobachtung dieser Ereignisse in "Echtzeit" (von Tag zu Tag) manchmal recht schwierig ist, eine eindeutige Ursache zu erkennen, die eine spätere Kopplung auslöst. Auch kann man nicht einfach zufällige, unvorhersehbare Veränderungen ausschließen!

<sup>4</sup> Ich beginne in diesem Beispiel mit dem Ozean, aber Sie können den Prozess gleichermaßen mit stärkeren Passatwinden beginnen. Stärkere Passatwinde drücken das Wasser vom östlichen Pazifik weg, wodurch kälteres Tiefenwasser, das sich unter der Oberfläche des wärmeren Oberflächenwassers befindet, aufsteigen und an die Oberfläche gelangen kann. Auf diese Weise entsteht ein Muster mit unterdurchschnittlichen Oberflächentemperaturen im östlichen Pazifik und überdurchschnittlichen Oberflächentemperaturen im westlichen Pazifik. Dieses stärkere Gefälle kann dann - der oben genannten Logik folgend - dazu beitragen, die Passatwinde zu verstärken.

<sup>5</sup> Es ist jedoch schwierig, unterdurchschnittliche Niederschläge in einer Region zu verzeichnen, in der es in der Regel anfangs wenig bis gar keinen Regen gibt, weshalb wir im zentralen Pazifik häufig größere Abweichungen vom Normalzustand (Anomalien) beobachten.

#### **Quellen und weitere Informationen:**

- Adamson, G., 2020, IMPERIAL OSCILLATIONS: Gilbert Walker and the Construction of the Southern Oscillation, *Weather, Climate, and the Geographical Imagination: Placing Atmospheric Knowledges*. Mahony, M. & Randalls, S. (eds.). University of Pittsburgh Press, p. 43-66, <https://doi.org/10.2307/j.ctv10h9g13.6>
- Adamson, G., 2019, El Niño and Society. *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.720>
- Bjerknes, J. (1969). Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Monthly Weather Review*, 97(3), 163–172.
- Carrillo, C. (1892). Hidrografía oceánica. *Bol. Soc. Geogr. Lima*, 1, 72–111.
- Walker, G. T. (1924). Correlation of seasonal variations in weather IX. A further study of world weather. *Mem. Indian Meteorol. Dep.*, 24, 275–332.
- [ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions](#) (NOAA)
- [ENSO Wrap-Up - Current state of the Pacific and Indian oceans](#) (BOM)
- [Das ENSO-Phänomen - Startseite](#)

#### **Übersetzung und inhaltliche Bearbeitung:**

Kurt G. Baldenhofer