

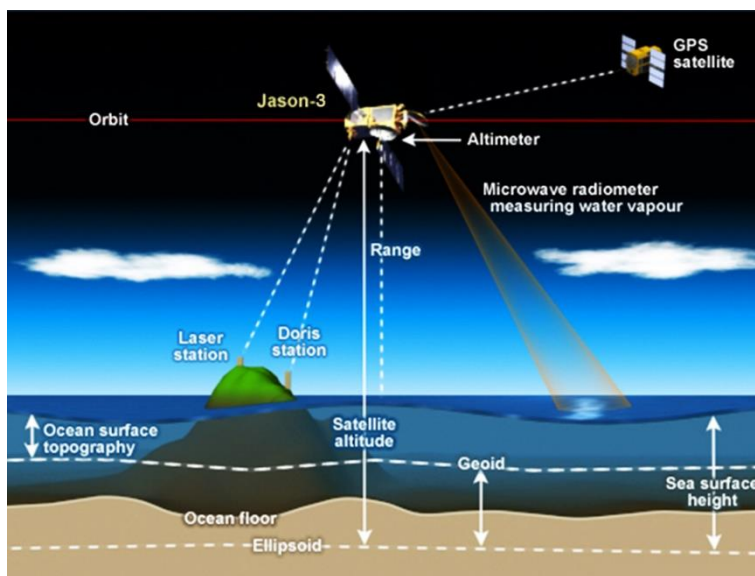
El Niño / Southern Oscillation im Blick der Fernerkundung

Kurt Baldenhofer, Friedrichshafen (2017)

Das Naturphänomen El Niño / Southern Oscillation (ENSO) bietet in außergewöhnlicher Weise die Möglichkeit zu vielfältigen geographischen und interdisziplinären Betrachtungen. Moderne Methoden der vor Ort-Beobachtung, aber auch der Fernerkundung mittels Satelliten, Drohnen und Flugzeugen ermöglichen das Monitoring und helfen der Forschung. Ihre Ergebnisse sind häufig aufbereitet, teilweise kommentiert, und meist stehen sie frei im WWW zur Verfügung.

ENSO ist wegen seiner globalen klimatischen Auswirkungen, seinem Einfluss auf Ökosysteme in verschiedenen Räumen der Erde, auf die Volkswirtschaften vieler Staaten und nicht zuletzt wegen seines relativ großen saisonalen Vorhersagepotentials eines der zentralen Felder der Klimaforschung. Auch die Qualität von Klimamodellen kann über die Beobachtung von ENSO überprüft werden.

All dies macht das facettenreiche ENSO-Phänomen ideal für die schulische und universitäre Lehre.



Satellitenaltimetrie – ein Kernelement des ENSO-Monitorings

Der Satellit Jason-3 misst mit einem Radaraltimeter hochgenau die Höhen der Meeresoberfläche (Sea Surface Height, SSH). SSH-Daten sind wesentlich für das Verständnis der irdischen Klimadynamik, damit auch für ENSO.

Der Satellit sendet einen Radarpuls nach unten und empfängt ihn nach Reflektion an der Meeresoberfläche. Aus der Laufzeit der Impulse wird die Höhe des Satelliten über der Meeresoberfläche bestimmt. Wenn man die Satellitenbahn genau kennt, zum Beispiel aus GPS-Messungen, hat man somit die Höhe der Meeresoberfläche bestimmt.

Quelle: NOAA NESDIS

El Niño / Southern Oscillation – ein Überblick

El Niño / Southern Oscillation gilt als stärkste kurzfristige interne Klimaschwankung in den Tropen auf Zeitskalen von einigen Monaten bis hin zu einigen Jahren.

Es handelt sich bei ENSO um ein gekoppeltes System von Ozean und Atmosphäre, das über dem äquatorialen Pazifik und den pazifischen Küstengebieten Südamerikas, Australiens, Indonesiens und Ozeaniens auftritt. Man unterscheidet bei ENSO je nach seiner aktuellen Ausprägung die Warmphase El Niño, die Kaltphase La Niña und die Neutralphase. Diese natürliche Fluktuation ist kein rein zyklisches Phänomen, sondern besitzt eine beträchtliche Irregularität, was Amplitude, Dauer, zeitliche Entwicklung und räumliche Struktur angeht.

Mit seinem Akronym ENSO ist El Niño / Southern Oscillation der Ausdruck für das gesamte Phänomen, also das Abwechseln von El Niño- und La Niña-Ereignissen und der neutralen Phasen. Dabei steht El Niño und - auch wenn nicht ausdrücklich im Namen erwähnt - La Niña für die ozeanische Komponente, während die Southern Oscillation (SO) die atmosphärische verkörpert.

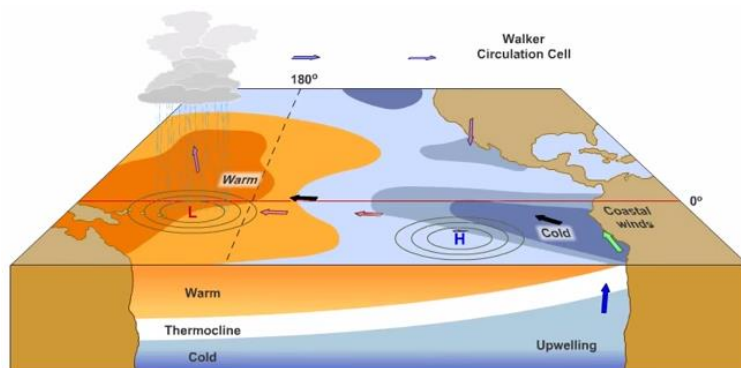
Das Wort „El Niño“ (span. für „Das Christkind“) und wurde von peruanischen Küstenfischern im 19. Jahrhundert für lokale Effekte des Phänomens geprägt. Sie beobachteten, dass alljährlich zur Weihnachtszeit die Meeresspiegeltemperatur (engl. sea surface temperature, SST) anstieg, was das

Ende der Fischfangsaison markierte, und die Fischer belegten zunächst diese jahreszeitliche Erscheinung mit dem Wort El Niño. In manchen Jahren allerdings war die Erwärmung besonders stark, und die Fische kehrten auch nicht wie sonst üblich am Ende des Frühjahrs wieder. Diese besonders starken Erwärmungen dauern typischerweise etwa ein Jahr lang an. Heute ist die Bezeichnung El Niño diesen extremen Warmereignissen vorbehalten, sie wiederholen sich in unregelmäßigen Abständen - im Mittel ca. alle vier Jahre - und haben nicht nur lokalen Charakter.

Der Begriff „La Niña“ (span. für „Das Mädchen“) wurde in der Mitte der 1980er Jahre von Wissenschaftlern analog zum Begriff El Niño gewählt. Andere Vorschläge waren „El Viejo“ (alter Mann) und „anti-El Niño“.

Die Southern Oscillation (SO) stellt eine Art Druckschaukel zwischen dem südostasiatisch-australischen Tiefdruckgebiet (Bodendruck von Darwin, Australien) und dem südostpazifischen Hochdruckgebiet (Messwert von Tahiti) dar. Die SO bestimmt mit ihrem Druckunterschied die Stärke der pazifischen Passatwinde längs des Äquators. Dieser Druckunterschied findet seinen mathematischen Ausdruck im Southern Oscillation Index (SOI), dessen negative Anomalien mit den positiven Anomalien der SST bei El Niño-Phasen zusammenfallen. Umgekehrt sind kühle La Niña-Phasen durch positive Anomalien im SOI gekennzeichnet.

Die Oberflächentemperatur (SST) des äquatorialen Pazifik ändert sich mit der Stärke der Passatwinde. So quillt unter dem Einfluss der Passatwinde und der Erdrotation bei neutralen und bei La Niña-Bedingungen vor der Küste Südamerikas und längs des Äquators im östlichen Pazifik kaltes Wasser aus der Tiefe an die Meeresoberfläche („upwelling“). Die unter tropischen Einstrahlungsbedingungen erwärmten oberflächennahen Wassermassen werden durch die östlichen Winde im Südäquatorialstrom beständig nach W verfrachtet und formen dort einen mächtigen Warmwasserkörper (warm pool). Dieser Energieverlust im Ostpazifik erklärt die dortige Ausbildung einer Kaltwasserzunge (cold tongue) mit ihren relativ niedrigen SST von ca. 20 °C.



Lage der Thermokline im tropischen Pazifik unter Neutralbedingungen

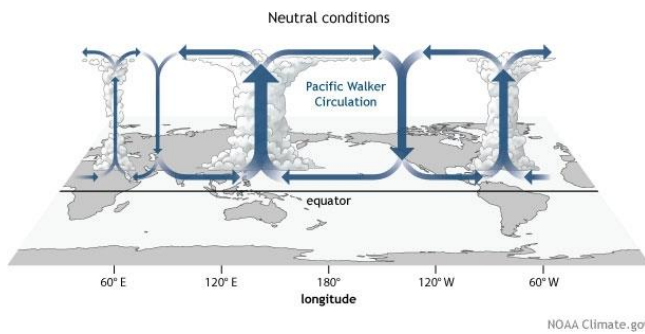
Im Westpazifik befindet sich ein markanter Warmwasserkörper, die Thermokline liegt entsprechend tief. Nach Osten zu reicht sie deutlich näher an die Meeresoberfläche. Im Osten ist eine Kaltwasserzunge als Folge des durch Windschub bestehenden Upwellings ausgebildet. Diese Verhältnisse sind bei La Niña noch verstärkt.

Quelle: [Golden Gate Weather Services](#)

Demgegenüber ist im Westpazifik die SST mit bis zu 30°C relativ hoch. So herrscht bei neutralen und bei La Niña-Bedingungen ein recht starker Temperaturgradient längs des Äquators. In der Folge ist die Thermokline, die Grenzfläche zwischen dem warmen, gut durchmischten Oberflächenwasser und dem kalten Tiefenwasser, längs des Äquators geneigt: Sie liegt im Westen mit seinem Warmwasserkörper tief (ca. 150 m) und im Osten dicht unterhalb der Oberfläche (ca. 50 m). Dadurch ist die SST im Osten sensitiv gegenüber der Stärke der Passatwinde, welche die Neigung der Thermokline bestimmt. Starke Passatwinde führen zu einer starken Neigung der Thermokline und einem relativ kalten Ostpazifik, während schwache Winde zu einer mehr horizontalen Position der Thermokline und einem relativ warmen Ostpazifik führen. Zudem ist durch den Wassertransport in den Westpazifik der Meeresspiegel im Westen ca. 60 cm höher als im Osten.

Der Ost-West-Gegensatz der SST im äquatorialen Pazifik treibt über den daraus entstehenden zonalen Druckgradienten auch eine zusätzliche Komponente der östlichen Passatwinde an, die als „Walker-

Zirkulation“ bezeichnet wird. Eine Schwächung der Walkerzirkulation geht mit einem El Niño einher, eine besonders starke Walkerzirkulation mit einer La Niña.

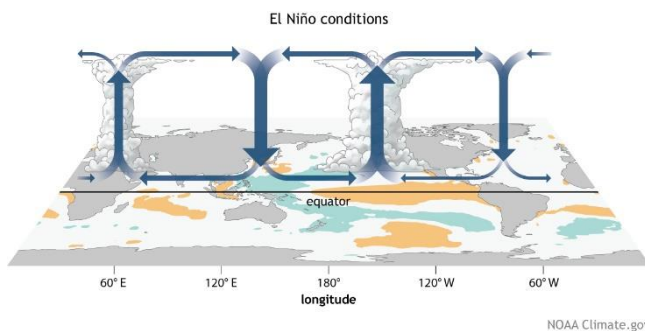


Walker-Zirkulation (Dez-Feb) während neutralen ENSO-Bedingungen

Konvektion mit damit verbundenen aufsteigenden Zweigen der Walker-Zirkulation ist über dem Maritimen Kontinent, dem nördlichen Südamerika und Ostafrika anzutreffen.

Quelle: NOAA

Unter **neutralen Bedingungen** herrscht im tropischen Pazifik ein deutliches W-O-Gefälle der SST entlang des Äquators. Der Westpazifik besitzt an der Oberseite seines Warmwasserkörpers Temperaturen bis zu 30 °C, der Ostpazifik ist im Bereich seiner Kaltwasserzunge mit ca. 20 °C relativ kühl. Dieser Temperaturgradient spiegelt sich im Klimageschehen über dem äquatorialen Pazifik wider. Das warme Wasser im Westen führt zu intensiver Konvektion mit der Bildung hochreichender Kumuluswolken und ergiebigen Niederschlägen. Ihnen verdanken die tropischen Regenwälder des Maritimen Kontinents ihre Existenz. Über dem kühlen Ostpazifik sinken großräumig Luftmassen ab, was zu Wolkenauflösung und Niederschlagsarmut führt und letztlich zu den Küstenwüsten im Westen Südamerikas.



Anomalie der Walker-Zirkulation (Dez-Feb) während El Niño-Ereignissen, integriert in eine Karte mit den durchschnittlichen Anomalien der SST.

Die anomale Erwärmung im zentralen und östlichen Pazifik (orange) hilft dabei, einen aufsteigenden Ast der Walker-Zirkulation in das Gebiet östlich von 180° zu verlagern, wohingegen absteigende Äste sich zum Maritimen Kontinent und zum nördlichen Südamerika verlagern.

Quelle: NOAA

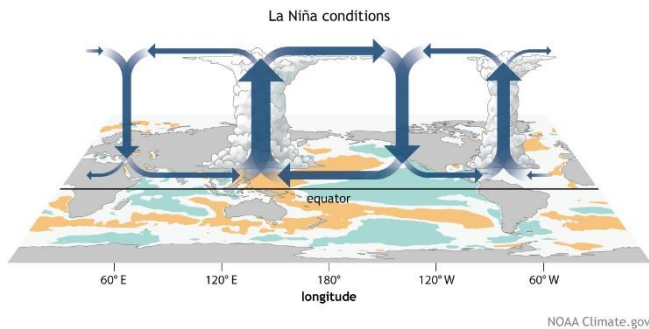
Unter **El Niño-Bedingungen** schwächen sich die Passatwinde ab oder können sich sogar umkehren, da der Luftdruck im Tiefdruckgebiet über Indonesien steigt, der Luftdruck im südostpazifischen Hoch abnimmt und die Differenz zwischen beiden Druckgebilden sinkt.

Gleichzeitig kommt es zu anomaler Erwärmung der SST im tropischen Ost- bis Zentralpazifik, der Meeresspiegel sinkt im W und steigt im O um ca. 25 cm. Diese Situation erreicht gewöhnlich gegen Ende des Kalenderjahres seinen Höhepunkt und führt in den Tropen zu einer Schwächung des zonalen SST-Kontrastes zwischen dem westpazifischen Warmwasserkörper und der ostpazifischen Kaltwasserzunge. Letztere schwächt sich ab oder verschwindet ganz. Infolgedessen steigt die Thermokline im Westen an und sinkt im tropischen Ostpazifik ab, wo dann das für die Primärproduktion wichtige Upwelling reduziert wird.

Diese starken Erwärmungen dauern typischerweise etwa ein Jahr lang an. Sie sind u.a. mit Veränderungen der tropischen Niederschlagsmuster verbunden, wie etwa Dürren in Südostasien und extremen Niederschlägen über dem westlichen Südamerika. Die zu El Niño-freien Zeiten hochreichende Kumulusbewölkung mit ihren kräftigen Niederschlägen verlagert sich vom Westpazifik nach Osten. Entsprechend wird weiter östlich durch die Kondensation von Wasserdampf in der mittleren und höheren Troposphäre Wärme freigesetzt.

Da die in den Tropen durch hochreichende Konvektion entstehende Kondensationswärme einer der wichtigsten Antriebe für die globale Zirkulation ist, sind El Niño-bedingte Ortsverlagerungen der tropischen Wärmequellen verantwortlich für geänderte Zirkulationsmuster (Telekonnektionen).

Bildhaft hat man El Niño nicht zu Unrecht als Druckventil bezeichnet, das angereicherte Wärme aus den Ozeanen in die Atmosphäre entlässt. Die Meere kühlen sich im Verlauf der El Niño-Ereignisse ab, und gleichzeitig wird die Atmosphäre erwärmt.



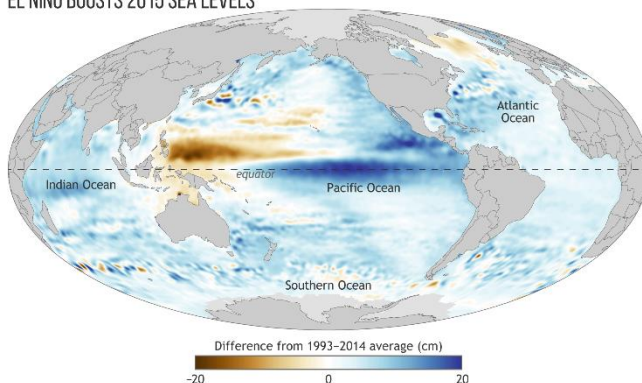
Anomalie der Walker-Zirkulation (Dez-Feb) während La Niña-Ereignissen, integriert in eine Karte mit den mittleren Anomalien der SST. Anomale Abkühlung des Ozeans im zentralen und östlichen Pazifik (blau-grün) und die Erwärmung im Westpazifik verstärken den aufsteigenden Ast der Walker-Zirkulation über dem Maritimen Kontinent und den absteigenden Ast über dem Ostpazifik. Verstärkter Aufstieg findet auch über dem nördlichen Südamerika statt, wohingegen anomales Absinken über Ostafrika auftritt.
Quelle: [NOAA](#)

Unter **La Niña-Bedingungen** verschärft sich der Temperaturgegensatz längs des äquatorialen Pazifik, es treten außergewöhnlich starke Passatwinde auf, die Kaltwasserzunge verstärkt sich und reicht weiter nach Westen. Gleichzeitig wird die Thermokline näher an die Oberfläche verlagert und das Upwelling verstärkt. La Niña ist auch gekennzeichnet durch ungewöhnlich hohen Bodendruck über dem tropischen Ostpazifik und niedrigeren Druck über dem Westteil. Folglich wird die Walker-Zirkulation intensiviert. Dies führt zu erhöhten Niederschlägen über dem Westpazifik und Teilen Südasiens, wobei das Zentrum weiter nach W verlagert und auf einen engeren longitudinalen Bereich beschränkt ist. Im westlichen Südamerika kommt es hingegen zu ungewöhnlich trockenen Verhältnissen. Ein La Niña-Ereignis kann man in erster Näherung als ein El Niño-Ereignis mit umgekehrtem Vorzeichen zu verstehen.

Ein El Niño-Ereignis tritt etwa alle 2 - 7 Jahre auf. Es dauert gewöhnlich ein Jahr, gelegentlich zwei. Ein klassischer El Niño baut sich im Nordherbst auf, hat seine stärkste Ausprägung im Winter und zerfällt im Frühjahr. La Niña-Ereignisse verhalten sich genauso, allerdings ist es verglichen mit El Niño wahrscheinlicher, dass sie zwei Jahre andauern. Seit 1950 traten El Niño und La Niña in 25 % der Zeit auf, neutrale Bedingungen herrschten demnach in 50 % der Zeit.

Den aktuellen Zustand des tropischen Pazifik mit den wichtigsten Parametern findet man in der folgenden wöchentlichen Übersicht beschrieben: [ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions](#) (NOAA CPC / NCEP)

EL NIÑO BOOSTS 2015 SEA LEVELS



Globaler Meeresspiegel (Anomalien 2015)

Der globale Meeresspiegel war 2015 unter dem Einfluss des starken El Niño und der [Pacific Decadal Oscillation](#) im Mittel etwa 7 cm höher als der von 1993 (Beginn der satellitengestützten Altimetermessungen).

Die Karte zeigt die Abweichungen des Meeresspiegels vom Mittel der Jahre 1993-2014 basierend auf Daten von Satelliten-Altimetern. Dunkelblau markiert Gebiete, in denen der Meeresspiegel 2015 bis zu 20 cm höher war als im Mittel. Braun bezeichnet Gebiete, wo er bis zu 20 cm unter dem Mittel lag.

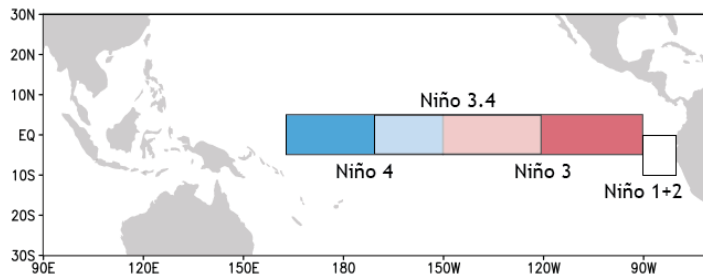
Quelle: [NOAA](#)

Definition von El Niño- und La Niña-Ereignissen

Die gebräuchlichsten Definitionen von El Niño und La Niña verwenden die SST in genau definierten Regionen des tropischen Zentral- und Ostpazifiks (Karte). Nach der Definition der NOAA in ihrem Oceanic Niño Index (ONI) liegt ein El Niño-Ereignis dann vor, wenn die mittleren dreimonatigen

Abweichungen der Meeresoberflächentemperaturen in der Niño3.4 Region wenigstens fünfmal in Folge den Schwellenwert von $+0,5\text{ °C}$ erreichen oder überschreiten. Für La Niña-Ereignisse gelten sinngemäß die negativen Werte.

Das australische Bureau of Meteorology (BOM) benutzt demgegenüber Schwellenwerte von $0,8\text{ °C}$ um El Niño zu definieren, da eine stärkere Erhöhung der SST vonnöten ist, um Auswirkungen in Australien zu erzielen.



Niño-Regionen

Lage der Niño-Regionen zur Messung der SST im tropischen Ost- und Zentralpazifik. Die SST in der Niño3.4-Region ergeben mit ihrem über drei Monate gemittelten Wert den offiziellen [Oceanic Niño Index \(ONI\)](#) der NOAA.

Quelle: [NOAA](#)

Jede in der Karte umrissene Region kann verwendet werden, um die Eigenart eines jeweiligen Ereignisses darzustellen. Bei einigen El Niños ist die Erwärmung ganz im Osten besonders markant (Niño 1+2). Diese Region erhielt zuletzt im Frühjahr 2017 besondere Aufmerksamkeit, als es zu einem starken als Küsten-El Niño (El Niño costero) mit torrentiellen Niederschlägen in den Ländern Peru und Ecuador kam.

Andere El Niños zeigen eine maximale Erwärmung der SST in der Niño4-Region, was zu wesentlich anderen Mustern des atmosphärischen Geschehens führt. Der letztgenannte und erst relativ neu definierte Typ wird übrigens als „El Niño Modoki“ bezeichnet (jap. für „ähnlich aber verschieden“). Ein Maß für die Intensität der Walker-Zirkulation und damit ein Index für die Stärke von El Niño und La Niña ist der schon erwähnte, auf Luftdruckunterschieden beruhende Southern Oscillation Index (SOI).

Auswirkungen

ENSO bewirkt wesentliche Variationen von Witterungserscheinungen im globalen und jahresübergreifenden Maßstab. Oft haben sie tiefgreifende Auswirkungen auf die Menschheit aufgrund von Dürren, Überschwemmungen, Hitzewellen und andere Anomalien, welche wiederum Folgen für Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Umwelt, Energiebedarf, Finanzmärkte, Tourismus, Transportwesen, Gesundheit, Luftqualität oder Feuerrisiken haben.

Jeder El Niño und auch jede La Niña haben ihre eigene Charakteristik, entsprechend unterscheiden sich auch ihre jeweiligen Auswirkungen.

El Niño-Ereignisse führen typischerweise zu Dürren in Südostasien, Teilen Australiens und Brasiliens. Sie verursachen starke Niederschläge über weiten Teilen des westlichen Südamerikas und rufen signifikante Klima-anomalien über Nordamerika und während besonders starker Ereignisse sogar über Europa hervor. Sie beeinflussen außerdem die vertikale Windscherung über dem tropischen Atlantik und führen deswegen häufig zu einer schwächeren Hurrikan-Aktivität in dieser Region. ENSO wirkt sich aber nicht nur auf das Klima aus, sondern es beeinflusst auch die Ökosysteme im pazifischen Raum. So kommt es während ENSO-Warmphasen beispielsweise in Indonesien verstärkt zu unkontrollierbaren Waldbränden im Zuge der Urbarmachung von tropischem Regenwald. Ferner können die bei El Niño erhöhten Wassertemperaturen zu verheerendem Ausbleichen von tropischen Korallen führen.

Die erhöhten Niederschläge an der Westseite Südamerikas können andererseits spektakuläre Blumentepiche in Teilen der Atacama entstehen lassen, oder in Ecuador und Peru den Anbau von Feldfrüchten ermöglichen. Sie können aber auch Heuschreckenschwärme aufkommen lassen und die Populationen von anderen schädlichen Insekten und Kröten begünstigen. Pflanzen und Tierpopulationen

auf den ansonsten trockenen Galapagosinseln profitieren stark von den ungewöhnlichen Niederschlägen.

Das normale Upwelling von kaltem, an Nährstoffen und CO₂ reichem Wasser im tropischen Pazifik wird unterdrückt. Die Verfügbarkeit von Nährstoffen und Sonnenlicht sind aber Bedingung für die Entwicklung von Phyto- und Zooplankton als Nahrungsgrundlage vieler Fischarten. Daher können ENSO-bedingte Störungen dieser Nahrungskette verheerende Folgen für Fischpopulationen und Seevögel haben und letztlich für die Fischerei und die Guano-Produktion. Die Einbußen belasten neben den Wetterextremen die Volkswirtschaften verschiedener Staaten im westlichen Südamerika, z.B. die Perus. Andererseits können andere Meerestiere von den geänderten Bedingungen profitieren, sodass es in manchen Regionen zu unerwarteten Fängen von Shrimps und Jakobsmuscheln kommt.

Die menschliche Gesundheit wird gefährdet durch Krankheiten, die von Mücken übertragen werden, wie Malaria, Dengue, virale Enzephalitis oder durch über das Wasser übertragene Krankheiten wie Cholera. In Afrika kann es zu Ausbrüchen von Rift Valley-Fieber kommen.

La Niña-Ereignisse besitzen eine höhere Wahrscheinlichkeit zu ungewöhnlich starken Niederschlägen im südlichen Afrika, in NO-Brasilien sowie in den Monsungebieten Indiens und N-Australiens. Außergewöhnlich trockene Bedingungen treten auf über dem äquatorialen Ostafrika, Südbrasilien und Uruguay. Der Subtropenjet über dem Pazifik ist schwächer und wird polwärts verlagert. Blockierende Hochs entstehen häufiger über dem östlichen Nordpazifik, was von häufigeren polaren Kaltluftausbrüchen im westlichen Nordamerika begleitet wird.

Auch La Niña beeinflusst die Häufigkeit, Intensität und geographische Verteilung von Hurrikanen durch die Änderungen der SST und der atmosphärischen Zirkulation. Verkürzt lässt sich ein geringeres Auftreten im Pazifik und eine Zunahme über dem Atlantik festhalten.

ENSO Mechanismen

Um herauszufinden ob sich ein El Niño entwickelt, müssen Meteorologen eine Reihe komplexer Ereignisse und Prozesse analysieren. Dazu gehören verlagerte Temperaturverhältnisse, die Struktur des oberen Wasserkörpers quer über den tropischen Pazifik, das Verhalten der Passatwinde sowie Windereignisse mit eher regionalem Charakter. Ein entscheidender Bestandteil des ENSO-Mechanismus ist der über mehrere Jahre andauernde Aufbau eines Warmwasserkörpers im Westpazifik.

Ein weiteres Element besteht aus zwei Typen von sich langsam bewegenden Störungen, die Wasser quer über den Pazifik auf und ab bewegen können. Gemeint sind Rossby-Wellen mit westlicher und Kelvin-Wellen mit östlicher Fortbewegungsrichtung, die beide bei ihrem Durchzug diese Höhenveränderungen über eine Zeit von Wochen bis Monaten bewirken. Oft sind diese Effekte vorübergehend, aber gelegentlich vermögen sie dem Pazifik den entscheidenden Impuls zu einem Eintritt in ein El Niño-Ereignis zu geben oder für eine Phasenumkehr zu einer La Niña. Auch der Madden-Julian Oscillation werden über ihre im Indik entstehenden, ostwärts wandernden Cluster von starken Gewitterniederschlägen solche Impulse zugeschrieben.

Zusätzlich muss es ein Element geben, das die gewöhnlich recht beständigen Passatwinde verlangsamt oder umkehrt. Wenn dies erst einmal geschehen ist, verstärken die verlagerten Windsysteme und Wassermassen den El Niño-Zustand in einer positiven Rückkopplung, die monatelang andauern kann. Man sieht den Auslöser dafür in Westwindausbrüchen (engl. westerly wind bursts), die im Westpazifik entstehen, großräumig den Passatwinden entgegenströmen und mehrere Tage bis Wochen andauern können. Auch können sie die erwähnten Kelvin-Wellen auslösen.

Die Wanderung dieser ozeanischen Wellen lässt sich anhand von Temperaturmessungen der oberen 400-Meter-Schicht des äquatorialen Pazifik verfolgen. Dort existiert ein Netz von fest verankerten Bojen

(TOGA-TAO Array) mit dem routinemäßig Daten in situ erhoben werden. Messungen wie auch Modellsimulationen zeigen, dass es eine Phasendifferenz zwischen der zeitlichen Entwicklung des beckenweit gemittelten Wärmeinhalts des oberen äquatorialen Pazifiks und der Anomalien der äquatorialen SST im Ost- und Zentralpazifik gibt, wobei die Anomalien des Wärmeinhalts den Temperaturanomalien an der Meeresoberfläche vorauslaufen. Diese Beziehung impliziert ein gewisses Vorhersagepotential, welches man mit statistischen Methoden nutzen kann.

Der Ozean ist eine Feuchtigkeitsquelle, und sein riesiger Wärmeinhalt agiert als Schwungrad, welches das System Ozean-Atmosphäre mit Hilfe seiner Erinnerung an vergangenes Geschehen antreibt. Dies führt zu einer sich im Wesentlichen selbst erhaltenden Abfolge, bei welcher der Ozean sich nie im Gleichgewicht mit der Atmosphäre befindet.

Während der Kalt- und auch der Neutralphase mit ihrem relativ wolkenarmen Himmel heizt die Sonnenstrahlung den tropischen Pazifik auf, die Wärme wird über Strömungen verteilt, wobei der größte Teil in dem tiefen Warmwasserkörper im Westen oder einige Breitengrade entfernt vom Äquator gespeichert werden. Während eines El Niño wird die Wärme über veränderte Strömungen aus den Tropen in höhere Breiten abgeführt. Überschusswärme wird an die Atmosphäre abgegeben, vor allem über eine verstärkte Verdunstung, wobei der Ozean gekühlt wird. Zusätzlich trägt erhöhter Niederschlag mit seiner Kondensationswärme zu einer allgemeinen Erwärmung der globalen Atmosphäre bei, ein Vorgang, der sein Maximum einige Monate nach einem starken El Niño erfährt.

Neben weiteren hat man ein einfaches konzeptuelles Modell, den „recharge oscillator“ entwickelt, ein Modell des Aufladens und Entladens. Es kann einen beträchtlichen Teil der Variabilität der beobachteten SST im äquatorialen Pazifik erklären. Das Modell basiert auf der Tatsache, dass der obere Ozean infolge von Änderungen der windgetriebenen Ozeanzirkulation während einer warmen ENSO-Phase Wärme verliert und während einer kalten Phase Wärme gewinnt.

Die Entladung von äquatorialer Wärme führt zu einer Übergangsphase, in der die Tiefe der Thermokline im gesamten äquatorialen Pazifik wegen des Wärmeverlustes außergewöhnlich nahe an der Oberfläche liegt. Dies ermöglicht es anomal kühlem Wasser über Upwellingprozesse die Oberflächenschicht zu erreichen, was zu einer ENSO-Kaltphase führt. Der umgekehrte Vorgang vollzieht sich während der Kaltphase.

ENSO und Fernerkundungsanwendungen

Die meteorologischen und ozeanographischen Daten zur Beobachtung und Vorhersage von El Niño- und La Niña-Episoden stammen aus nationalen und internationalen Beobachtungssystemen. Der Austausch und die Verarbeitung der Daten vollziehen sich in Programmen, die von der World Meteorological Organization ([WMO](#)) koordiniert werden.

Im Folgenden werden beispielhaft ENSO-relevante Parameter und Auswirkungen vorgestellt, die speziell mit Hilfe von Fernerkundungs-Verfahren dokumentiert werden können.

- **Meerestopographie (Ocean Surface Topography)**

Die Meeresoberfläche lässt sich mit satellitengestützter Radaraltimetrie zentimetergenau erfassen. Die Zeitreihen erstrecken sich schon über mehr als zwanzig Jahre. Grundlage für präzise Altimetermessungen ist die genaue Kenntnis des Geoids als Ausdruck des irdischen Schwerefeldes. Diesbezüglich hochgenaue Informationen liefert seit einigen Jahren z.B. die GRACE-Mission. Die Differenz aus altimetrisch ermittelter Ozeanoberfläche und Geoid-Daten ergibt die Ozeantopographie.

Die Satellitenradaraltimetrie misst mit höchster Präzision und über einen langen Zeitraum die zeitlichen Veränderungen der globalen Ozeanoberflächen, wie sie z.B. als Folge der Ausdehnung durch Wärme, Gezeiten oder auch durch Veränderungen der Strömungsfronten entstehen. Altimetrische Daten können direkt mit den Prozessen und Strömungen im Ozean über die ganze

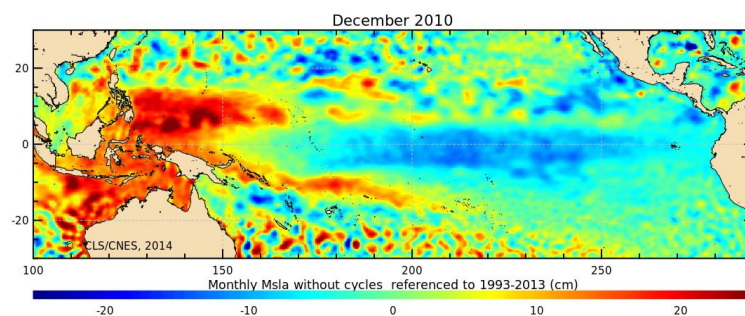
Wassersäule hinweg in Beziehung gesetzt werden und, da sie relativ einfache ozeanische Größen darstellen, direkt in Ozeanmodelle und numerische Klimamodelle eingebracht werden. Diese dienen auch der Vorhersage von El Niño- bzw. La Niña-Ereignissen.

Die Radaraltimeter an Bord von Satelliten der aktuellen Jason-Serie senden Signale zur Erde und erhalten ein Echo von der Meeresoberfläche. Über Laufzeitmessungen kann dann die Meereshöhe bzw. ihre Variationen mit einer Genauigkeit von 3,3 cm ermittelt werden.

Die Messungen finden u.a. Eingang in kartographische Darstellungen, die im Internet frei verfügbar sind. Das Angebot umfasst die aktuelle Situation, Archive mit alten Darstellungen und animierte Zeitreihen:

a) NASA JPL (<https://sealevel.jpl.nasa.gov/elnino2015/index.html>)

b) Aviso+ (<http://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/ocean-indicators-products/el-nino-bulletin.html>)



Monatsmittel der Anomalien des Meeresspiegels (MSLA) über dem tropischen Pazifik

Die Situation vom Dezember 2010 zeigt eine starke La Niña.

Quelle: CLS/CNES/Aviso+

- **Meeresoberflächentemperaturen, SST (Absolut- und Anomaliewerte)**

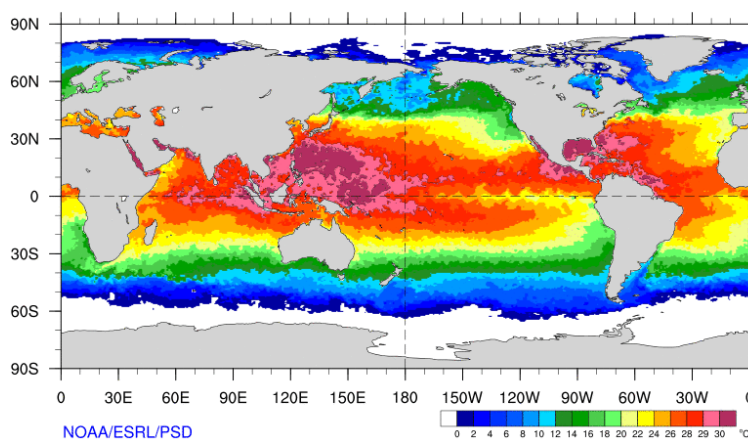
Ein zweiter wichtiger Parameter bei ENSO-Ereignissen sind quasi-periodische Abweichungen von durchschnittlichen SST im äquatorialen Pazifik. Diese wärmeren oder kühleren SST können durch die Beeinflussung von Druckgebilden, Winden und Niederschlägen das Wettergeschehen weltweit verändern.

Karten mit SST werden für unterschiedliche Zeitabschnitte angeboten, z.B. mit Tages- oder Monatswerten. Ebenso sind Karten mit Absolut- wie auch mit Anomaliewerten verfügbar. Die zu Grunde liegenden Daten stammen sowohl von in situ-Messungen (Bojen, Schiffe) als auch von Satellitenbeobachtungen (AVHRR). Eine räumlich komplette SST-Karte wird dann durch Interpolation zur Lückenfüllung gefertigt (siehe OISST).

a) NASA (<https://svs.gsfc.nasa.gov/30645>)

b) GODAE (<http://www.usgodae.org/las/getUI.do>)

b) NOAA ESRL PSD (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/current.html>)



Absolutwerte der Meeresoberflächentemperaturen (SST) vom 4.8.2016

Die Karte stellt die Situation während einer neutralen ENSO-Phase dar.

Quelle: NOAA/OAR/ESRL PSD

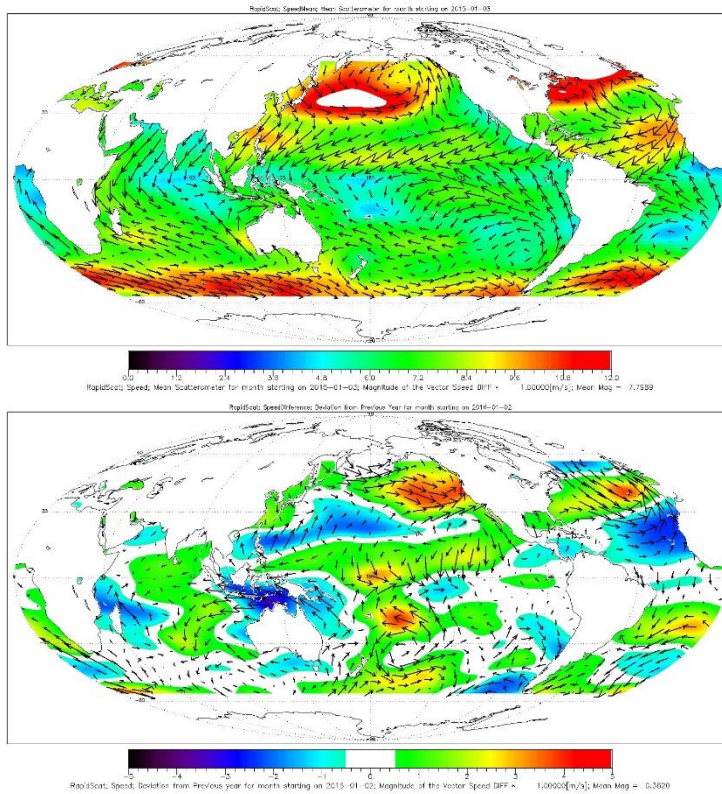
- **Ozeanwinde**

Neben den beiden Parametern SST und SSH gehören Veränderungen der Meereswinde zu den wichtigsten Faktoren, die den Einfluss von ENSO auf das Erdsystem belegen. So gelten auf Meereshöhe anomal nach Osten wehende Winde im tropischen West- und Zentralpazifik als

Vorläufer und als Hauptmotor von El Niño-Ereignissen.

Daten liefert gegenwärtig das RapidScat auf der ISS, ein aktives Radarinstrument, das Windrichtung und -geschwindigkeit misst.

NASA/JPL (<http://climatesciences.jpl.nasa.gov/projects/enso>)



Ocean Winds mit RapidScat

Oben: Gemittelte Windverhältnisse in der Zeit vom 3.1. bis zum 3.2.2015

Unten: Windanomalien im Januar 2016 in Bezug zu 2015

In beiden Karten stehen die Farben für die Windgeschwindigkeit, die Vektorpfeile geben die Richtung der mittleren Winde an bzw. ihre Anomalien. Das El Niño-Signal wird in den ostwärts wehenden Winden über dem tropischen West- und Zentralpazifik der unteren Abbildung sehr deutlich.

Dies trifft auch zu für die anomal stärkere Konvergenz im tropischen Ostpazifik, erkennbar an den stärkeren äquatorwärtigen Winden.

Quelle: [NASA JPL](http://climatesciences.jpl.nasa.gov/projects/enso)

- **Outgoing Longwave Radiation, OLR (Absolut- und Anomaliewerte)**

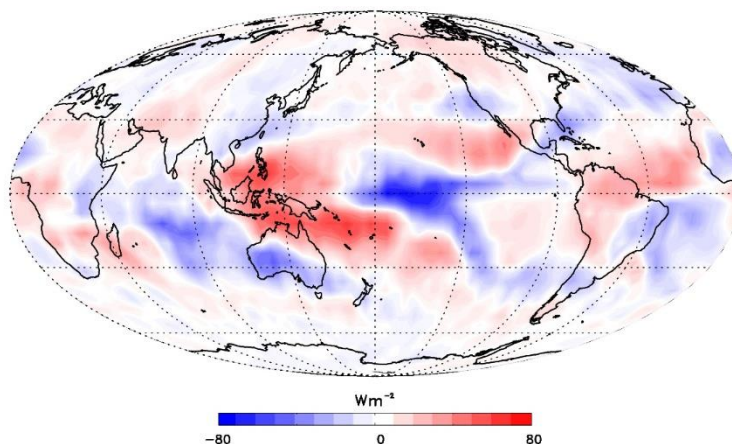
a) NOAA ESRL PSD (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/current.html>)

b) NOAA ESRL PSD (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/map/clim/olr.shtml>)

c) NASA JPL (<http://climatesciences.jpl.nasa.gov/resources/28>)

Die ausgehende Langwellenstrahlung (OLR) ist ein Maß für die Menge der infraroten Energie, welche die Erdoberfläche und die Atmosphäre verlässt. Die OLR ist abhängig von Temperatur, Luftfeuchte und Wolken. Sie ist gewöhnlich am größten über den subtropischen Wüstengebieten und den subtropischen Meeren, geringer ist sie in den höheren Breiten sowie in den wolkenreichen und feuchten Teilen der Tropen. Die im Verlauf des ENSO-Zyklus verlagerten Trocken- bzw. Niederschlagsgebiete lassen sich so mit Hilfe der OLR verfolgen.

Die folgende Abbildung ist Teil einer Animation und wurde aus Daten des Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) auf dem NASA-Satelliten Aqua generiert.



Anomalien der OLR im Dezember 2015

Im Spätjahr 2015, als der damalige El Niño seinen Peak erreichte, gab es eine deutlich reduzierte OLR im tropischen Ost- und Zentralpazifik, was die verstärkte Konvektion und erhöhte Feuchtigkeit spiegelt, während gleichzeitig die OLR im tropischen Westpazifik deutlich zunahm.

Quelle: [NASA JPL](http://climatesciences.jpl.nasa.gov/projects/enso)

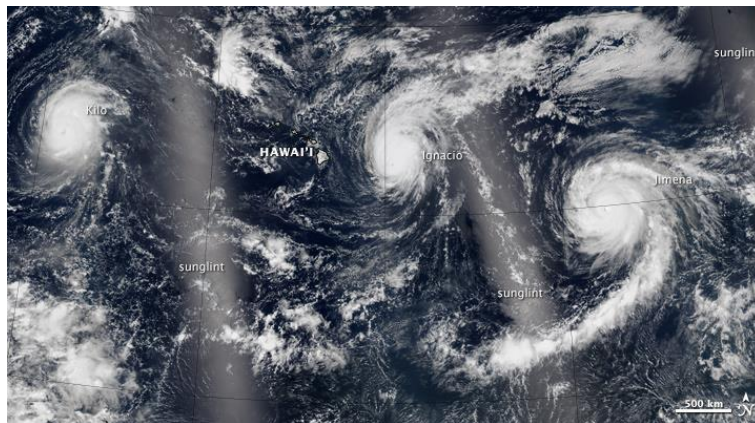
- **Hurrikane**

Statistisch betrachtet führen El Niños zu weniger Hurrikänen über dem Atlantik und zu mehr über dem Pazifik, umgekehrt verhält es sich bei La Niñas. Den besten Zugang zu diesbezüglichen Bilder von Wettersatelliten bietet das National Hurricane Center der NOAA mit wählbaren Zielgebieten und Darstellungen in unterschiedlichen Spektralbereichen. Die exzellente NASA-Seite zur Erdbeobachtung (siehe Link) stellt Einzelereignisse kommentiert vor.

a) National Hurricane Center (NOAA): <http://www.nhc.noaa.gov/satellite.php>

b) Earth Observatory (NASA):

<http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=88392&eocn=home&eoci=nh>



Hurrikan-Trio über dem Pazifik

Am 30.8. 2015 traten im Zentral- und Ostpazifik zum ersten Mal seit Beginn der Aufzeichnungen gleichzeitig drei Hurrikane der Kategorie 4 auf. Das in natürlichen Farben generierte Bildmosaik wurde zwischen 11 und 14 h (HAST) aufgenommen vom [Visible Infrared Imaging Radiometer Suite \(VIIRS\)](#) auf dem Satellit [Suomi-NPP](#).

Quelle: [NASA](#)

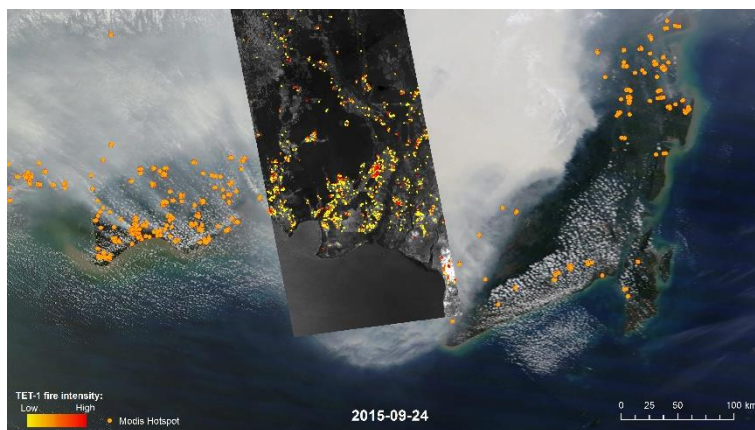
- **Feuerdetektion**

Die Entstehung riesiger Waldbrände unter trockenen El Niño-Bedingungen, z.B. in Indonesien kann mit Hilfe bestimmter Satellitensensoren (z.B. MODIS, VIIRS) in nahezu Echtzeit überwacht werden.

a) Projekt FIRECAST (NASA et al.): <http://firecast.conservation.org/>

b) Earth Observatory - Global Maps (NASA): <http://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/>

c) FireBIRD (DLR): http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10376/684_read-18339#/gallery/23462



Waldbrände in Indonesien

Aufnahme am 24.9.2015 vom DLR-Satelliten TET-1. Die TET-Aufnahme (Streifen) ist über ein Modis-Bild gelegt, was verdeutlicht, dass die Infrarot-Kamera von TET auch durch Rauch und Wolken Brände abbilden kann.

TET-1 ist zusammen mit BIROS Teil der Mission FireBIRD zur Feuerfernerkundung.

Quelle: [DLR](#)

- **Überschwemmungen**

Torrentielle Niederschläge führen bei El Niño-Ereignissen in Peru und Ecuador immer wieder zu schweren Schäden an der Infrastruktur und zu Verlusten an Menschenleben.

Vergleichbare Starkniederschläge können bei La Niña-Ereignissen beispielsweise im östlichen Australien auftreten.

a) Earth Observatory (NASA): <https://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/>

b) Tropical Rainfall Measuring Mission (NASA GSFC): <https://trmm.gsfc.nasa.gov/>



Überschwemmungen in Nordperu

Mehrere Wochen mit starkem Niederschlag haben in Peru schwere Überschwemmungen und Schlammströme verursacht.

Am 4. April 2017 machte das Instrument **Operational Land Imager** (OLI) an Bord von Landsat 8 diese Aufnahme mit Überschwemmungen in der Gegend von **Parachique**. Unter anderem waren 180.000 Häuser im ganzen Land von den Fluten betroffen.

Quelle: [NASA Earth Observatory](#)

Quellen:

- Baldenhofer, Kurt G. (2017): Das ENSO-Phänomen (DVD). Friedrichshafen
- Bureau of Meteorology (2012): Record-breaking La Niña events. Melbourne
- Latif, Mojib (2006): Das El Niño/Southern Oscillation-Phänomen. In: promet, Jahrg. 32, Nr. 3/4, 123-129 (August 2006)
- Latif, Mojib (2011): Klimavariabilität, El Niño/Southern Oscillation, die Nordatlantische und die Atlantische Multidekadische Oszillation mit Anmerkungen zur Vorhersagbarkeit. In: Warnsignal Klima: die Meere - Änderungen & Risiken: wissenschaftliche Fakten, ed. by Lozan, J. L., Graßl, H., Karbe, L. and Reise, K. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, Germany, pp. 78-89. ISBN 978-3-9809668-5-6
- McPhaden, Michael J. (2003): El Niño and La Niña: Causes and Global Consequences. In: Encyclopedia of Global Environmental Change, Volume 1, The Earth System: Physical and Chemical Dimensions of Global Environmental Change
- Trenberth, Kevin E. (2013): El Niño Southern Oscillation (ENSO). Boulder
- Zebiak, Stephen et al. (2015): Investigating El Niño-Southern Oscillation and society relationships
- NOAA: Diverse Blog-Beiträge in [climate.gov](#)
- NOAA CPC: [El Niño-Southern Oscillation \(ENSO\)](#)
- Bureau of Meteorology: [ENSO Wrap-Up](#)

Ergänzende Links:

22 Years of Sea Surface Temperatures – Animation (NOAA)

https://www.youtube.com/watch?v=vTig9gKegQk&feature=player_embedded

A Tour of El Niño (Scripps Institution of Oceanography)

<https://www.youtube.com/watch?v=KkULnBs14-A>

Marine environment monitoring service (EU Copernicus)

<http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>

Sea Surface Temperature Anomalies – Animationen über mehrere Zeitabschnitte (NASA)

<https://svs.gsfc.nasa.gov/30645>

Grid Displays – Plots zu diversen Parametern und Regionen (Marine Meteorology Division)

<http://www.nrlmry.navy.mil/metoc/nogaps/>

Bright waters off Peru – Algenblüte (NASA Earth Observatory)

<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=4268&src=ve>

At the Intersection of Coastal Peru and a Cloud Bank (NASA Earth Observatory)

<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=86032&src=ve>

Nine Years of Ocean Chlorophyll (NASA Earth Observatory 2006)

http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=6956&eocn=image&eoci=related_image

A World of Chlorophyll (NASA Earth Observatory)

<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=6735&src=ve>

Ocean Clouds Meet Peru (NASA Earth Observatory)

http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=83796&eocn=image&eoci=related_image

Global Chlorophyll (NASA Earth Observatory 2004)

<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=4097&src=ve>

Chlorophyll and Climate in the Pacific Ocean (NASA Earth Observatory 2005)

http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=5673&eocn=image&eoci=related_image

El Niño Disrupts the Marine Food Web (NASA Earth Observatory 2015)

<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=86895&src=ve>

Global ocean chlorophyll and leaf area index, der Blick in die Copernicus-Zukunft (ESA 2016)

http://www.esa.int/spaceimages/Images/2013/01/Global_ocean_chlorophyll_and_leaf_area_index

Equatorial Pacific Monthly Thermocline Animation – Die Animation reicht jeweils ein Jahr zurück (IRI)

<http://iridl.ideo.columbia.edu/maproom/ENSO/Thermocline/Animation.html>

Wettersatellitenbilder und abgeleitete Karten:

Global ISCCP B1 Browse System – diverse Wettersatelliten und-sensoren mit Archiv

<http://www.ncdc.noaa.gov/gibbs/>

NOAA VIEW Data Exploration Tool – vielseitiges Werkzeug für Ozean- und Meeresparameter

<http://www.nnvl.noaa.gov/view/globaldata.html>

NOAA Satellitenbilder auf Globen – Tagesintervalle, Druckqualität, Archiv

<ftp://ftp.nnvl.noaa.gov/GOES/FullDisk/printable/>

Satellitenbilder in 30'-Intervallen, verschiedene Spektralbereiche und Regionen wählbar

<http://www.nhc.noaa.gov/satellite.php>

Klimadaten weltweit (DWD)

<http://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatenweltweit/klimadatenweltweit.html>

Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie - Visualisierungstool

<https://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer>

How much rain normally falls at this time of year? – Kartentool zu wählbaren Monatsmitteln (IRI)

http://iridl.ideo.columbia.edu/maproom/IFRC/FIC/CMAP_climo.html