

Meteoschweiz

Wenn das Klima kippt . . .

# EL NIÑO

**Das Jahrhundert-  
Ereignis 1997/98**

Stephan Bader

Februar 1999

## Inhalt

|  |    |
|--|----|
| El Niño - Strömungsumkehr im Pazifik               | 3  |
| Starke El Niño Ereignisse im Vergleich             | 7  |
| Der Einfluss auf die Witterung - wo und wo nicht ? | 11 |
| Wie geht es weiter ?                               | 17 |
| Literatur  | 19 |

## Abkürzungen

|       |  |
|-------|--|
| CDC   | Climatic Diagnostics Center (NOAA)                       |
| CPC   | Climate Predictions Center (NOAA)                        |
| ENSO  | El Niño Southern Oscillation                             |
| FAO   | United Nations Food and Agriculture Organization         |
| IGOSS | Integrated Global Ocean Services System (WMO/IOC)        |
| IOC   | Intergovernmental Oceanographic Commission               |
| IPCC  | Intergovernmental Panel on Climate Change                |
| MEI   | Multivariate ENSO Index                                  |
| NOAA  | National Oceanic and Atmospheric Administration<br>(USA) |
| PNA   | Pacific North American Teleconnection Pattern            |
| SOI   | Southern Oscillation Index                               |
| SST   | Sea Surface Temperature                                  |
| WMO   | World Meteorological Organization                        |

# El Niño - Strömungsumkehr im Pazifik

*El Niño ist ein weltweit einzigartiges Klimaphänomen. Im Abstand von einigen Jahren ereignet sich im äquatorialen Pazifikraum - sowohl in der Atmosphäre als auch im Ozean - eine mehrere Monate dauernde Strömungsumkehr. Als Folge davon stellen sich an der Pazifikküste Südamerikas und in der indonesischen Inselwelt vorübergehend vollständig veränderte und vor allem extreme Klimabedingungen ein. Sintfluten statt trockener Witterung auf der Ostseite des Pazifiks, verheerende Trockenheit statt tropischer Feuchte auf der Westseite. Das Klima in diesen Regionen kippt sozusagen von seinem normalen Zustand ins extreme klimatische Gegenteil.*

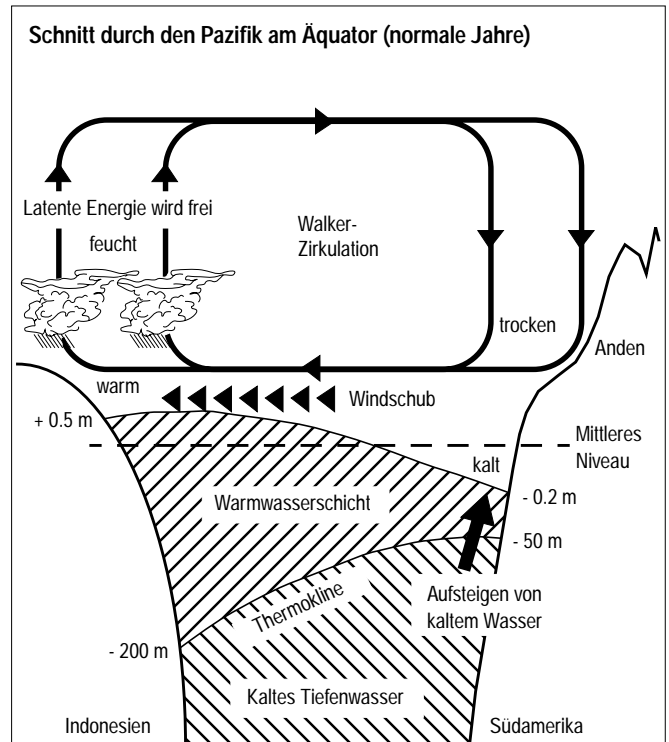
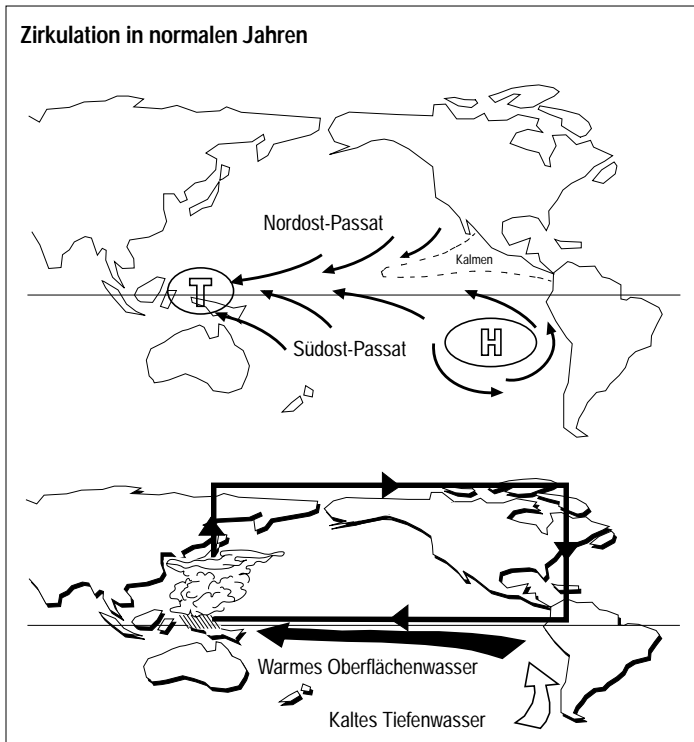
Normalerweise sorgt im zentralen und östlichen Südpazifik ein ausgeprägtes Hochdruckgebiet (südpazifische Antizyklone) für eine starke bodennahe Passatwindzirkulation. Die über das Meer streichenden Passatwinde nehmen grosse Mengen an Wasserdampf auf und transportieren sie über weite Strecken. Über Neuguinea und Indonesien bewirkt das Zusammentreffen des Südostpassats mit dem Nordostpassat eine starke Konzentration von Feuchtigkeit.

Der konstante Nachschub an Wasserdampf führt zu dessen Ausweichen respektive Aufsteigen in höhere Bereiche der Atmosphäre. Je mehr die Oberflächentemperaturen des Westpazifiks ansteigen und je kräftiger der passatinduzierte Fluss von Wasserdampf wird, desto ausgeprägter zeigt sich die Feuchtekonzentration über der südostasiatischen Inselwelt. Die Folge ist hier eine ausgeprägte Tiefdrucklage mit intensiver Gewittertätigkeit und entsprechend starken Niederschlägen.

Durch das starke Aufsteigen der feuchten Luft über Indonesien wird entlang des Äquators aus Richtung Osten ein Nachfliessen von Luftmassen ausgelöst. Als Kompensation dieser bodennahen

Ost-West Strömung fliesst die aufgestiegene Luft in der Höhe zurück nach Osten. Im Bereich des südamerikanischen Kontinents sinkt sie ab und lässt damit eine geschlossene äquatoriale Zirkulation entstehen (Walker-Zirkulation).

Die kräftigen Südostpassate sind die Ursache für eine ausgeprägte Ost-West gerichtete Meeresströmung im äquatorialen Pazifik. Die Winde treiben warmes Oberflächenwasser entlang des Äquators weg von der südamerikanischen Küste, und in Südostasien ergibt sich ein Massenüberschuss an oberflächennahem Warmwasser. Im Bereich von Indonesien liegt der Meeresspiegel deshalb etwa einen halben Meter höher als vor der südamerikanischen Pazifikküste (R.G. Barry and R.J. Chorley, 1992). Weit ausgeprägter zeigt sich der Warmwasserstau in der Tiefe. Durch das herangetriebene Warmwasser wird die Thermokline, die Übergangsschicht zwischen dem warmen Oberflächenwasser und dem kalten ozeanischen Tiefenwasser, auf etwa 200 m Tiefe heruntergedrückt. Auf der südamerikanischen Seite liegt die Thermokline im Bereich des Äquators infolge des wegdriftenden Warmwassers nur in etwa 50 m Tiefe (W. Roedel, 1992).



Linkes Bild, oben: Passatwind-Zirkulation im Pazifik in normalen Jahren (nach E. Linacre and B. Geerts, 1997). Kalmen sind weitgehend windstille Regionen. Sie markieren die im Nordsommer stark nordwärts verschobene Zone grösster Erwärmung (nördliche innertropische Konvergenzzone).

Linkes Bild, unten: Walker-Zirkulation (Schnitt durch die Atmosphäre am Äquator) und Meeresströmungen im südlichen Pazifik in normalen Jahren (nach N. Nicholls, 1993).

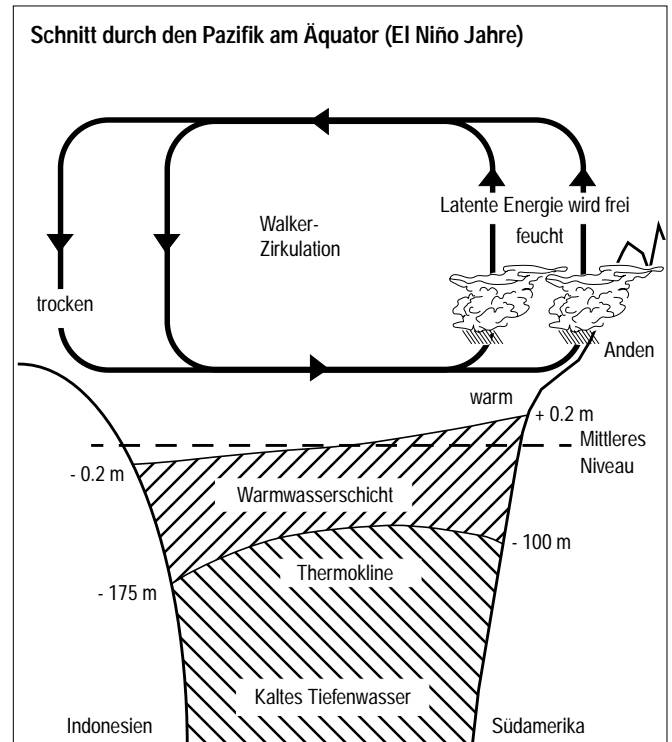
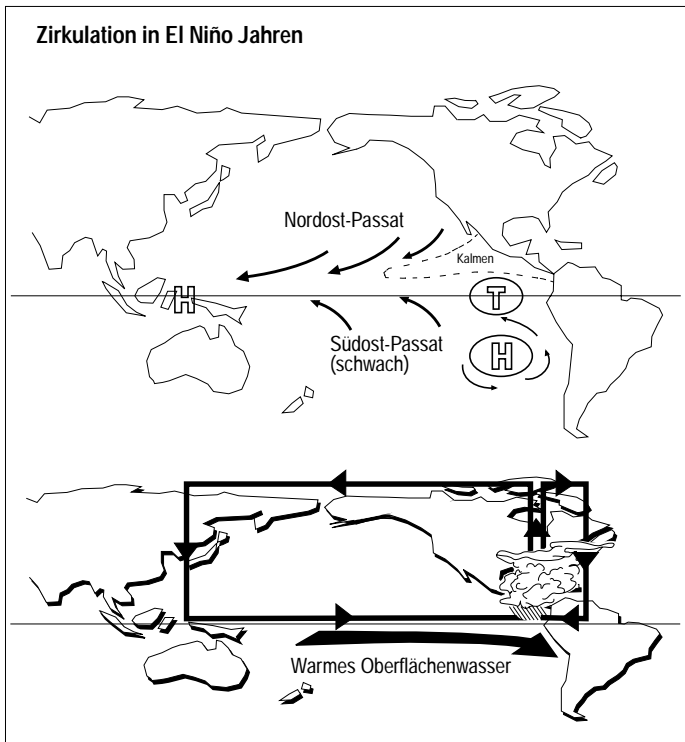
Rechtes Bild: Wasserverteilung im Pazifik in normalen Jahren (nach W. Roedel, 1992).

Als Ausgleich zum wegdriftenden Oberflächenwasser steigt vor Südamerika kaltes antarktisches Tiefenwasser zur Meeresoberfläche auf. Die Luft über der Meeresfläche kühlt sich hier deshalb ab und kann entsprechend wenig Wasserdampf aufnehmen. Zusammen mit den absinkenden und damit austrocknenden Luftmassen am Rand der süd pazifischen Antizyklone sorgt dies vor allem an den Küsten Perus und Nordchiles für ein ausgesprochen trockenes Klima.

Fast jedes Jahr (aber keineswegs zwingend) beginnt sich um den September herum dieses Strömungssystem umzustellen. Die Passatwinde werden im Äquatorbereich etwas schwächer, möglicherweise als Folge der winterlichen Südwärtsverlagerung des süd pazifischen Hochdruckgebiets. Der Wind-

schub am Äquator gegen Westen verringert sich. Das im Westpazifik gestaute Warmwasser schwappt in Form einer Welle (Kelvin-Welle) zurück. Die Welle benötigt zur Überquerung des Pazifiks einige Monate und trifft etwa um die Weihnachtszeit an der südamerikanischen Küste ein. An der Wasseroberfläche bleibt die Amplitude der Welle (Wellenhöhe) im Dezimeterbereich. Die Amplitude der Thermokline beträgt jedoch etwa 20 m bis 40 m, beim Auflaufen auf die südamerikanische Küste vielleicht noch mehr. Die Folge ist eine merkliche Erwärmung des Meerwassers vor allem an den Küsten Ecuadors und Perus.

Die ostwärts laufende Kelvin-Welle löst offenbar eine westwärts gerichtete Reflexionswelle (Rossby-Welle) aus, wel-



Linkes Bild, oben: Passatwind-Zirkulation im Pazifik in El Niño Jahren (nach E. Linacre and B. Geerts, 1997). Kalmen sind weitgehend windstille Regionen. Sie markieren die im Nordsommer stark nordwärts verschobene Zone grösster Erwärmung (nördliche innertropische Konvergenzzone).

Linkes Bild, unten: Walker-Zirkulation (Schnitt durch die Atmosphäre am Äquator) und Meeresströmungen im südlichen Pazifik in El Niño Jahren (nach N. Nicholls, 1993).

Rechtes Bild: Wasserverteilung im Pazifik in El Niño Jahren (nach W. Roedel, 1992).

che der Strömungsumkehr entgegenwirkt (R. Allan et al., 1996). Der Unterbruch in den normalen Strömungsverhältnissen dauert deshalb in der Regel nur wenige Wochen (W. Roedel, 1992). Danach beginnt sich wieder die gewohnte, westwärts gerichtete atmosphärische und ozeanische Strömung einzustellen. Im Bereich des Äquators schaukeln offenbar die oberflächennahen Wassermassen des Pazifiks ungefähr im Jahresrhythmus hin und her.

### Die El Niño Southern Oscillation

Im Mittel alle vier Jahre, die Variation reicht jedoch von zwei bis zehn Jahren, verstärkt sich diese Strömungsumkehr enorm und erstreckt sich statt über Wochen über mehrere Monate. Der Grund

hierfür ist weitgehend unbekannt (K.E. Trenberth, 1991, M.H. Glantz, 1996). Was in solchen Situationen regelmässig beobachtet werden kann, ist eine aussergewöhnliche Abschwächung des süd-pazifischen Hochdruckgebiets. Als Folge davon weht der Südostpassat über lange Zeit nur noch schwach oder bricht phasenweise ganz zusammen. Damit geht der Antrieb für den äquatorialen Wassertransport Richtung Indonesien weitgehend verloren. Das Zurückschwappen des Warmwassers entlang des Äquators Richtung Südamerika erfolgt deshalb in grossem Ausmass. An der südamerikanischen Küste wird das kalte antarktische Auftriebswasser grossflächig durch dieses Warmwasser überdeckt. Die Thermokline wird von normalerweise 50 m auf 100 m Tiefe heruntergedrückt. Die grossflächige

Ausbreitung von Warmwasser im Südpazifik schwächt das südpazifische Hochdruckgebiet zusätzlich, was ein noch stärkeres Abflauen des Südostpassats nach sich zieht.

Mit dem warmen Wasser verlagert sich auch die Zone tiefen Drucks von Südostasien Richtung Südamerika. Diese Verschiebung bedeutet eine Umkehr der Walker-Zirkulation im äquatorialen Pazifik. Die nun vor der südamerikanischen Küste aufsteigenden warmen und sehr feuchten Luftmassen lösen vor allem im Küstenbereich von Ecuador, Peru und Nordchile Starkniederschläge mit oft verheerenden Überschwemmungsfolgen aus. Über Südostasien bildet sich hingegen eine ausgeprägte Hochdrucklage, und die Region leidet unter einer langanhaltenden Trockenheit. Das gesamte Phänomen dieser Zirkulationsumstellung wird als El Niño Southern Oscillation (ENSO) bezeichnet.

#### **Das Erwachen danach**

Nach etwa einem Jahr ist der Spuk der pazifischen Zirkulationsumkehr in den meisten Fällen vorbei. Und ob all den Verheerungen beachtet kaum jemand das erstaunliche Erwachen danach. Nach dem Ereignis von 1982/83 erholten sich die Algenbestände an den Küsten Ecuadors und Perus rasch und gelangten zu einer nie beobachteten Dichte. Hier nicht heimische Garnelen und wertvolle Speisefische wanderten ein und versorgten die Küstenbevölkerung mit Eiweiss zu Dumpingpreisen,

und sonst teure Muscheln vervielfachten ihren Bestand. Auf dem Festland überzogen sich die Küstenwüsten Perus und Nordchiles mit einem saftigen Grün, und auf den Galapagos Inseln wuchs in sonst trockenen Gebieten eine üppige Vegetation (W.E. Arntz, E. Fahrbach, 1991).

#### **Der Name El Niño**

El Niño (spanisch "der Junge, das Kind", symbolisch für das Christkind), erhielt seinen Namen von den peruanischen Fischern. Sie geraten durch die ungewöhnlich starke Erwärmung des Meeres, welche häufig um die Weihnachtszeit ihr Maximum erreicht, oft in arge Bedrängnis. Durch das nährstoffarme Warmwasser gehen die Fischpopulationen bei einem starken El Niño Ereignis so drastisch zurück, dass die Fischerei an der Küste Perus vorübergehend weitgehend zusammenbricht. Ursprünglich wurde nur die in unregelmässigen Zeitabständen wiederkehrende warme Meeresströmung als El Niño bezeichnet. Sprach man vom gesamten Phänomen, also von der atmosphärischen und der ozeanischen Zirkulationsumkehr, wurde der Begriff ENSO verwendet. Mittlerweile werden jedoch die Begriffe El Niño und ENSO gleichbedeutend für das gesamte Phänomen verwendet. Ungewöhnlich kalte Phasen zwischen zwei El Niño Ereignissen tragen seit etwa 1985 den Namen La Niña, anstelle des vorher oft verwendeten Begriffs Anti-El Niño.

# Starke El Niño Ereignisse im Vergleich

El Niño erreicht nicht bei jedem seiner Auftritte dieselbe Stärke. Starke und schwache Ereignisse wechseln sich in unregelmässiger Reihenfolge ab. Dabei stehen die seltenen starken den verhältnismässig häufigen schwachen Ereignissen gegenüber. Mit Hilfe historischer Quellen lassen sich die El Niño Ereignisse der letzten 450 Jahre gut erfassen (W.H. Quinn et al., 1987). Aus dieser Zeit sind 47 starke oder sehr starke Ereignisse bekannt. Stark heisst dabei eine Temperaturzunahme des Meerwassers vor der peruanischen Küste von 3 °C bis 5 °C, sehr stark eine solche von über 5 °C. Im Mittel wiederholten sich in den vergangenen 450 Jahren starke oder sehr starke El Niños alle 10 Jahre, wobei die Wiederkehrdauer zwischen 4 und 20 Jahren schwankte.

## Sehr starke Ereignisse

Sehr starke Ereignisse mit erhöhten Meerestemperaturen von über 5 °C traten nur sporadisch auf. Einzelne ganz extreme El Niños haben das Meer vor Peru gar bis zu 12 °C erwärmt, was weit über der Erwärmung während den Ereignissen von 1982/83 und von 1997/98 liegt. Sehr starke Ereignisse, oder gar mehrjährige Phasen mit sehr starker El Niño Aktivität, sind bekannt aus den Jahren 1578, 1685-88, 1728, 1789-93, 1828, 1877/1878, 1891, 1925/26, 1982/83 und jetzt auch 1997/98 (W.H. Quinn et al., 1987; R. H. Grove, 1998).

Seit seiner sehr starken Ausprägung von 1982/83 zeigte El Niño eine erhöhte

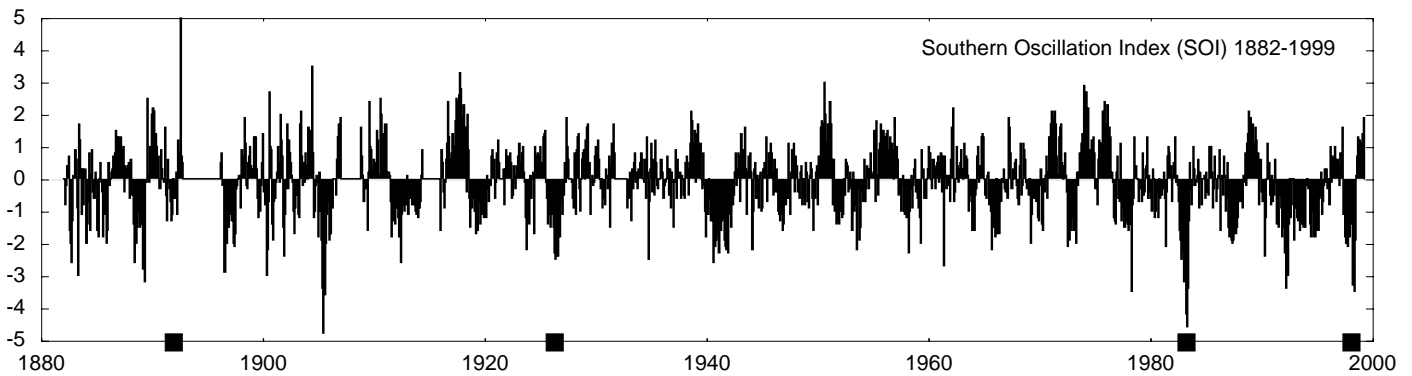
Aktivität. 1986/87 und 1991/92 folgten zwei weitere starke Ereignisse, und zwischen 1990 und 1995 herrschte permanent ein mehr oder weniger aktiver El Niño Zustand. Nach einem kurzen Unterbruch 1995/96 setzte El Niño im Frühjahr 1997 erneut ein und entwickelte sich rasch zum dritten sehr starken Ereignis in diesem Jahrhundert.

## Der Southern Oscillation Index

Die Stärke eines ENSO Ereignisses kann bis zu einem gewissen Grad mit dem Southern Oscillation Index (SOI) abgeschätzt werden. Der SOI, negativ während ENSO Phasen, beschreibt die Differenz der Bodendruck-Anomalie zwischen Tahiti (zentraler Pazifik) und Darwin (Nordaustralien). Für beide Orte liegen Druckmessungen fast lückenlos seit 1882 vor. Entsprechend weit zurück kann der SOI bestimmt werden. Offensichtlich wird aber mit dem SOI nicht jedes ENSO Ereignis gleich gut erfasst. So zeigen die historisch nachgewiesenen sehr starken Ereignisse von 1891 und 1925/26 nur geringe bis mittlere SOI Werte im Vergleich zu jenem von 1982/83. Dasselbe lässt sich beim gegenwärtigen sehr starken Ereignis (1997/98) vor allem während der Aufbauphase beobachten.

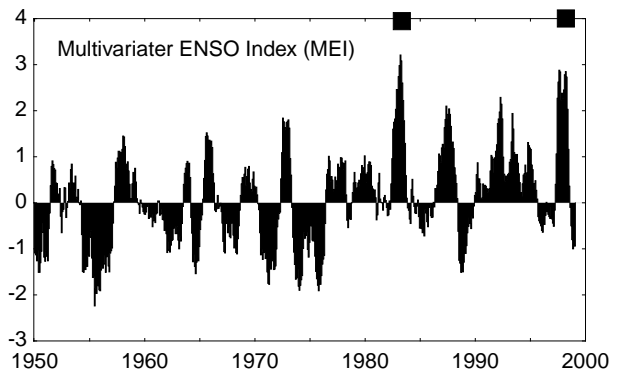
## Der Multivariate ENSO Index

Es liegt auf der Hand, dass ein ENSO Ereignis allein aufgrund der Druckdifferenzen im Westpazifik nicht in seiner ganzen Komplexität erfasst werden



■ Historisch nachgewiesene sehr starke Ereignisse (1891, 1925/26, 1982/83, 1997/98)

Oben: Der monatliche Southern Oscillation Index (SOI Index) seit 1882 (negativ während ENSO Phasen). Nach online-Daten des Climatic Diagnostics Center der National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA/CDC (Stand Februar 1999). Rechts: Multivariater ENSO Index (MEI) seit 1950 (positiv während ENSO Phasen). Nach online-Daten des CDC/NOAA (bearbeitet durch Klaus Wolter und Michael Timlin, University of Colorado, Boulder, Stand Februar 1999).



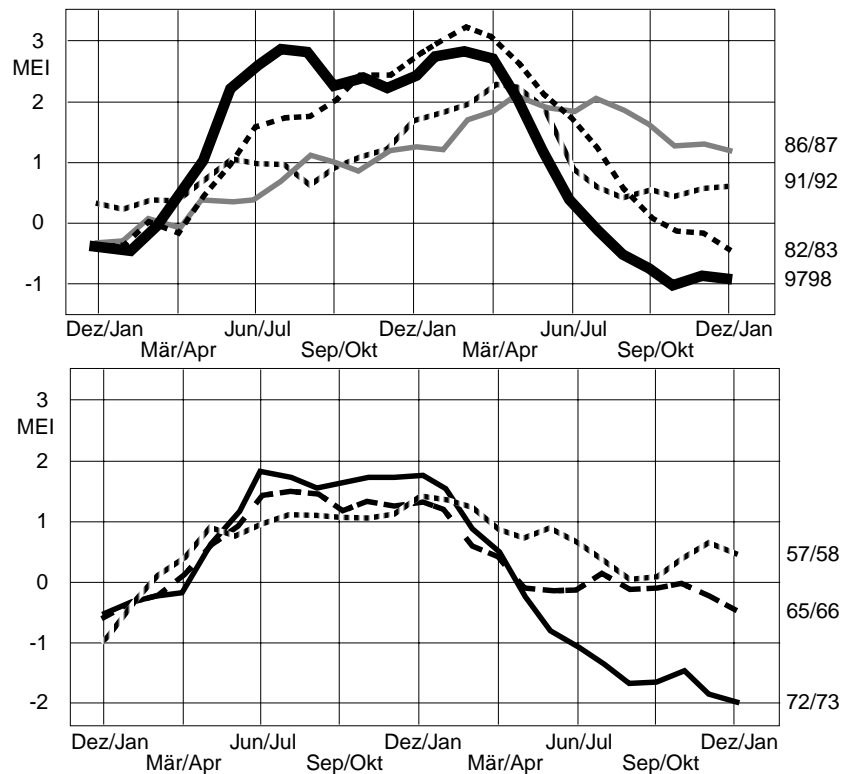
kann. El Niño ist ein Paradebeispiel für die enge Koppelung einer Vielzahl von atmosphärischen und ozeanischen Prozessen. Seit 1950 werden regelmässig genügend Daten erhoben, um dieser Prozessvielfalt gerecht zu werden. Die Daten werden zum multivariaten ENSO Index (MEI) umgerechnet. Der MEI, positiv während ENSO Phasen, ist das gewichtete Mittel von sechs verschiedenen Variablen. Es sind dies der Bodendruck, die Ost-West und Nord-Süd Komponenten des Windes am Boden, die Meeresoberflächentemperatur (Sea Surface Temperature, SST), die Lufttemperatur auf Meereshöhe und schliesslich der Bewölkungsgrad. Dadurch wird die Intensität eines ENSO

Ereignisses zweifellos weit besser beschrieben als mit dem klassischen SOI. Der nun folgende Vergleich der starken ENSO-Ereignisse seit 1950 basiert deshalb auf dem MEI.

#### Jeder El Niño ein Individuum

Auffallend ist, dass sich die starken El Niño Ereignisse seit 1950 grundsätzlich in Sommer-Herbst Ereignisse und in Frühjahr-Sommer Ereignisse gliedern lassen. Die Sommer-Herbst Ereignisse erreichen bereits im Sommer des ersten Kalenderjahres ihrer Entwicklung maximale Intensitäten (57/58, 65/66, 72/73, 97/98). Sie verbleiben während des

Monatlicher multivariater ENSO Index (MEI) für die sechs stärksten El Niño Ereignisse seit 1950 im Vergleich zum Ereignis 1997/98. Nach online-Daten der NOAA/CDC, bearbeitet durch Klaus Wolter und Michael Timlin, University of Colorado, Boulder, Stand 3. Februar 1999.



Herbstes bis in den Winter auf einem hohen Intensitätsniveau. Die Frühjahr-Sommer Ereignisse entwickeln sich weniger schnell und erreichen erst im zweiten Kalenderjahr ihrer Entwicklung die volle Stärke (82/83, 86/87, 91/92).

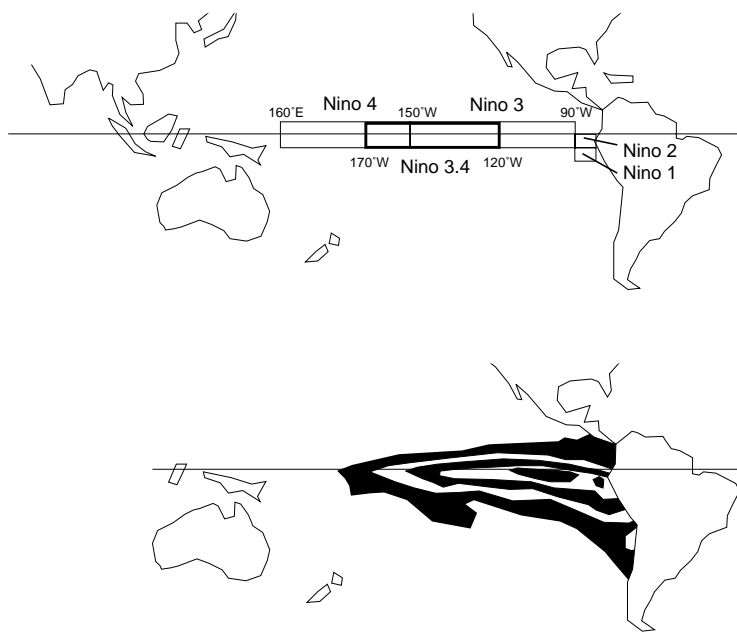
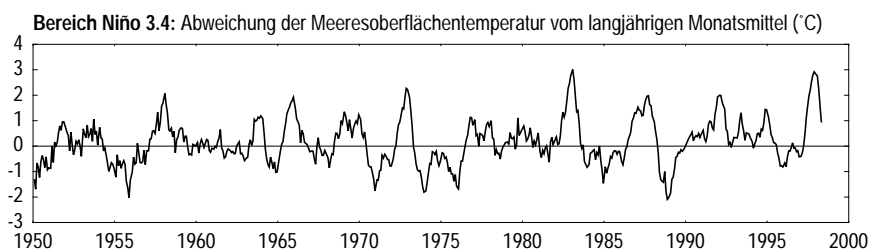
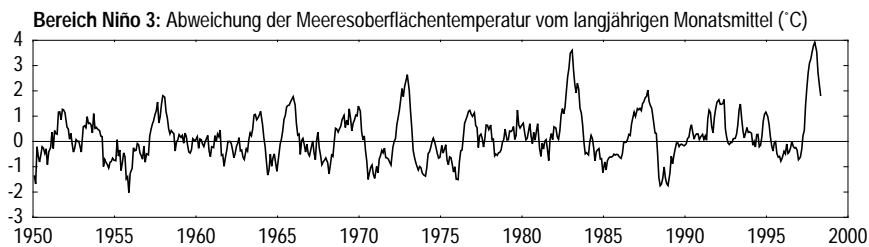
Bemerkenswert ist dabei vor allem El Niño 1986/87. Er entwickelte sich vergleichsweise langsam und wurde dadurch zu einem ausgeprägten Sommer Ereignis. Das zeigt, dass El Niño nicht jedes Mal nach einem genau bestimmten Schema abläuft. Praktisch jedes Ereignis zeigt seinen eigenen Charakter (K.E. Trenberth, 1991).

### Der Jahrhundert El Niño 1997/98

Nach einem sehr raschen Start im Frühjahr 1997 erreichte El Niño bereits im Juli/August 1997 beinahe wieder die Intensitäten von 1982/83. Zwischen August 1997 und Oktober 1997 erlitt El Niño jedoch überraschend einen starken Intensitätseinbruch. Ebenso unerwartet kam die erneut starke Intensitätszunahme über die Jahreswende 1997/98. Ab März 1998 verlor El Niño dann schnell an Stärke, ganz ähnlich wie damals 1982/83.

Rückblickend zeigt sich, dass El Niño 1997/98 ab September 1997 bis Juni

1998 praktisch analog zum Ereignis von 1982/83 verlief, während die erste Intensitätsspitze vom Juli/August 1997 eher etwas Aussergewöhnliches darstellt. Die Phase mit hohem Intensitätsniveau (über MEI 2) dauerte 1997/98 11 Monate. Sie ist damit deutlich länger als damals 1982/83. Nach diesem Gesichtspunkt beurteilt ist El Niño 1997/98 das bisher stärkste Ereignis mindestens seit 1950, möglicherweise sogar das bisher stärkste in diesem Jahrhundert.



Oben: Monatliche Abweichung der Meeresoberflächentemperatur (SST) vom langjährigen Mittel in den Regionen Niño 3 und Niño 3.4. Nach online-Daten der NOAA, Stand April 1998.

Mitte: Die klassischen Messregionen verteilt über den äquatorialen Pazifik.

Unten: Die Fläche mit erhöhten Meeresoberflächentemperaturen im November 1997. Die Abstufung reicht von  $>1$  °C bis  $>5$  °C im Kern des Gebietes. Nach online-Daten des Integrated Global Ocean Services System IGOSS.

### Rekord der Meerwassertemperaturen

Die Meeresoberflächentemperaturen (SST) brachen die bisherigen Rekorde von 1982/83. In der Messregion Niño 3 (90 Grad West bis 150 Grad West) lagen sie im Dezember 1997 höher als im Januar 1983, und in der Messregion Niño 3.4 (120 Grad West bis 170 Grad West) kletterten die Temperaturen annähernd so hoch wie damals 1982/83. Über die gesamte erwärmte Meeresfläche betrachtet, erreichte die Erwärmung im November 1997 ihren maximalen Wert. Im Kern der erwärmten Meeresfläche wurden über 5 °C wärmere Temperaturen gemessen im Vergleich zu normalen Jahren. Zu diesem Zeitpunkt umfasste die erwärmte Wasserfläche ungefähr zweimal die Fläche der USA. In ganz klassischer Weise bildete die erwärmte Wasserfläche die für starke Ereignisse typische Keilform zwischen Australien und Südamerika.

Wie aus der langen Dauer der hohen MEI-Werte ist auch aus der Höhe der Meeresoberflächentemperaturen und aus der Dauer der hohen Temperaturwerte zu schliessen, dass es sich bei El Niño 1997/98 um ein stärkeres Ereignis handelt als damals 1982/83.

# Der Einfluss auf die Witterung - wo und wo nicht

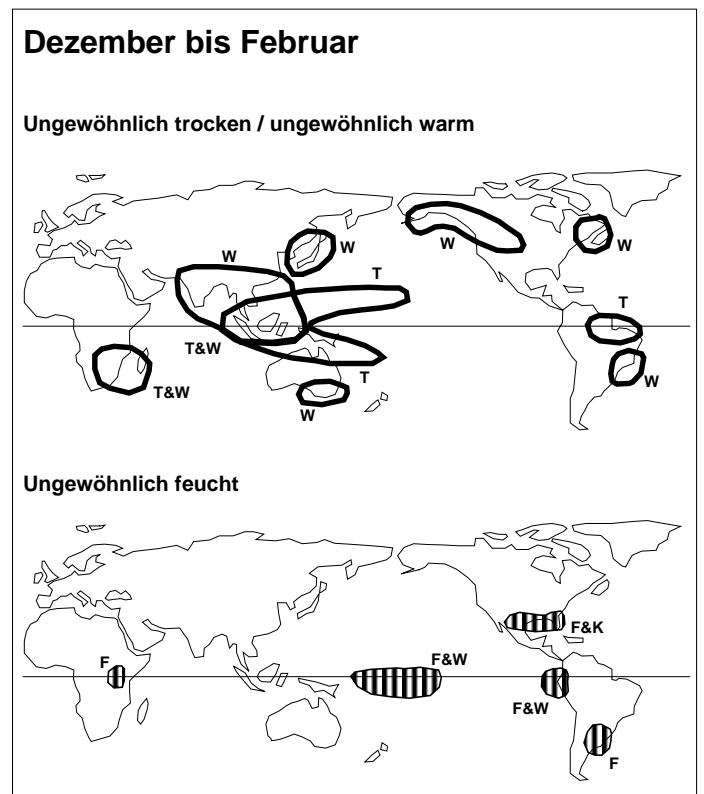
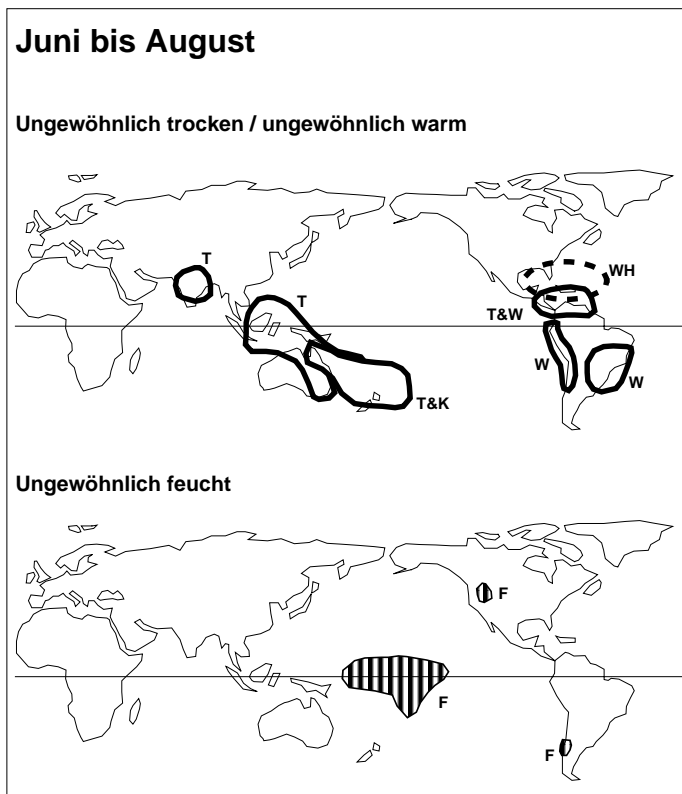
Häufig beobachtete Witterungsanomalien während El Niño Jahren. Der Zusammenhang von Witterungsanomalien mit El Niño ist vor allem im äquatorialen Bereich durch die Umstellung der Walker-Zirkulation gut erklärbar. Für die Entstehung von Witterungsanomalien in den höheren Breiten sind aber oft keine dynamisch befriedigenden Erklärungen vorhanden.

Nach online-Daten der NOAA/CDC, Herbst 1997. Es bedeuten:

- T:** Trocken
- T&W:** Trocken und warm
- T&K:** Trocken und kalt
- W:** Warm
- WH:** Weniger Hurrikane
- F:** Feucht
- F&W:** Feucht und warm
- F&K:** Feucht und kalt

Der Zusammenhang von Witterungsanomalien mit El Niño ist vor allem im äquatorialen Bereich des Pazifiks durch die Umstellung der Walker-Zirkulation gut erklärbar. Umfassend dokumentiert wurden die direkten Auswirkungen eines starken Ereignisses erstmals 1982/83. Betroffen war vor allem Südamerika. El Niño verursachte in der sonst eher trockenen Küstenregion Ecuadors und Nordperus Starkniederschläge mit Überschwemmungen und Erdbeben. Sie zerstörten Verkehrswege, Industrieanlagen und Gebäude, vernichteten Ernten und liessen Seen in der Wüste entstehen. 600 Menschen kamen in Ecuador und in Peru ums Leben. Hohe Wasserstände und starke Brandung zertrümmerten Fischereifahrzeuge und brachten Hafenanlagen zum Einsturz. Das Meer war ungewöhnlich warm und

überall an den Stränden lagen Kadaver von Wirbellosen, Fischen, Guanavögeln und Robben. Ganze Fischereien bra-chen zeitweilig zusammen. Gleichzeitig suchte eine verheerende Trockenheit die Bergregion von Südperu, Bolivien und Nordchile heim. Die Andenländer erlitten Schäden und wirtschaftliche Einbussen in Milliardenhöhe (W.E. Arntz, E. Fahrbach, 1991). Im Grossraum Nordaustralien/Indonesien hingegen lässt El Niño alles austrocknen. Ein starker El Niño kann in dieser Region einen grossen Teil der Ernte vernichten und stark dezimierte Viehbestände hinterlassen. Die enorme Trockenheit führt zudem in Australien oft zu grossflächigen Wald- und Buschbränden. 1982/83 kamen 71 Menschen durch das Feuer um und etwa 8000 verloren ihr Obdach (M.H. Glantz, 1996).



### Vermuteter Einfluss auf Nordamerika

Für die Entstehung von Witterungsanomalien in höheren Breiten, welche oft während El Niño Phasen beobachtet werden, sind meist keine dynamisch befriedigenden Erklärungen vorhanden. So scheinen ENSO Ereignisse aus noch nicht geklärten Gründen die besonders kräftige Ausbildung des Aläuten-Tiefs zu begünstigen (WMO, 1995 a). In der Folge entsteht ein ausgeprägter Hochdruck-Rücken über den Rocky Mountains und eine für diese Jahreszeit ungewöhnliche Wärme breitet sich in dieser Region aus. Östlich davon greift im Gegenzug dazu ein kräftiger Tiefdruck-Trog bis weit nach Süden aus. Das ermöglicht wiederholt Ausbrüche arktischer Kaltluftmassen, welche modifiziert bis zum Golf von Mexico vorstossen, und die US-Staaten bis in den mittleren Westen in Schnee und Eis versinken lassen. Dieses in ENSO Phasen speziell meridional (Süd-Nord/Nord-Süd) ausgeprägte winterliche

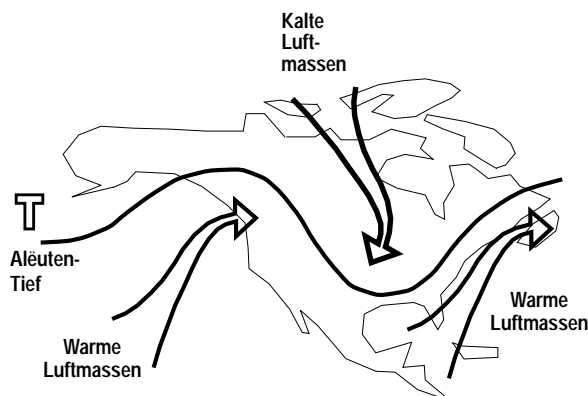
Wellenmuster steht einem sonst weitgehend zonalen, das heisst West-Ost gerichteten Verlauf der Westwindzone über Nordamerika gegenüber. Das phasenweise wechselnde, grossräumig wirksame Strömungsmuster wird entsprechend seiner Wirkungsregion als Pacific North American Teleconnection Pattern (PNA) bezeichnet.

Trotz des vermuteten ENSO Einflusses auf das PNA muss ganz klar festgehalten werden, dass winterliche, bis weit in den Süden der USA reichende extreme Kältewellen auch ausserhalb von ENSO Phasen auftreten. Einer der extremsten polaren Kaltluftausbrüche der vergangenen Jahrzehnte reichte im Februar 1996 bis nach Florida (WMO, 1997a). In den Monaten vor diesem Ereignis bewegte sich der SOI um Null. El Niño war damals also nicht aktiv. Ebenso wenig müssen winterliche Unwetter in Kalifornien mit El Niño in Zusammenhang stehen. Starke Unwetter mit Überschwemmungen treten hier re-

gelmässig auch ausserhalb von El Niño Phasen auf, so zum Beispiel im November/Dezember 1995 (WMO, 1996), im Februar 1996 und im Dezember 1996 (WMO, 1997 a). Vor 1995 herrschte in der Region Kalifornien demgegenüber eine rund siebenjährige winterliche Trockenheit (WMO, 1994, 1995 b). Diese lange Trockenperiode fällt zusammen mit der aussergewöhnlich langanhaltenden El Niño Phase zwischen 1990 und 1995. Ein eindeutiger Bezug zwischen El Niño und extremen Niederschlagsereignissen in der Region Kalifornien ist damit nicht gegeben.

Gemäss einer jüngst abgeschlossenen Untersuchung der Florida State University (M. C. Bove, 1997) reduziert El Niño die Tornado-Aktivität in den USA. Tornados entstehen vor allem beim Zusammentreffen von kalter Luft aus dem hohen Norden und warmer Luft aus der Karibik. Die klassische Tornadosaison sind die Monate Februar bis Juli. Der während El Niño Phasen weit nach Süden ausgreifenden Tiefdrucktrog wirkt dem Eindringen von warmer Karibikluft in den amerikanischen Kontinent entgegen.

Quasi-stationärer Tiefdrucktrog im Winterhalbjahr über Nordamerika (schematisiert durch dicke Isobare) als typisches Merkmal während El Niño Jahren.



### Weniger Hurrikane im Atlantik

Eine sehr enge Korrelation besteht zwischen ENSO Phasen und Jahren mit verringerter Hurrikantätigkeit im Atlantik. Die übernormal erwärmte Atmosphäre im Ostpazifik löst offenbar in der oberen Troposphäre (d.h. in 10 bis 15 km Höhe) heftige Westwinde aus, welche leicht nördlich versetzt entlang

des Äquators über den Atlantik wehen. Hier, im Entstehungsgebiet der Hurrikane, tragen sie die aus dem Atlantik verdunstete und in grosse Höhen aufgestiegene Feuchtigkeit vermehrt weg und entziehen so den entstehenden Hurrikanen die Energie (W.M. Gray and J.D. Shaeffer, 1991).

### **Einfluss auf Europa nicht nachgewiesen**

Die Vermutung liegt nahe, dass sich das während kräftigen ENSO Ereignissen speziell ausgeprägte pazifisch-nord-amerikanische Wellenmuster bis nach Westeuropa auswirkt. Neueren Untersuchungen zufolge treten jedoch direkte

ENSO Signale im Alpenraum nur sehr verschwommen auf, da solche Fernkopplungen durch eine Vielzahl weiterer Faktoren moduliert und modifiziert werden. Ihre eindeutige Identifikation ist deshalb sehr schwierig, wenn nicht gar unmöglich (K. Fraedrich and K. Müller, 1992).

### **Südamerika 1997/98**

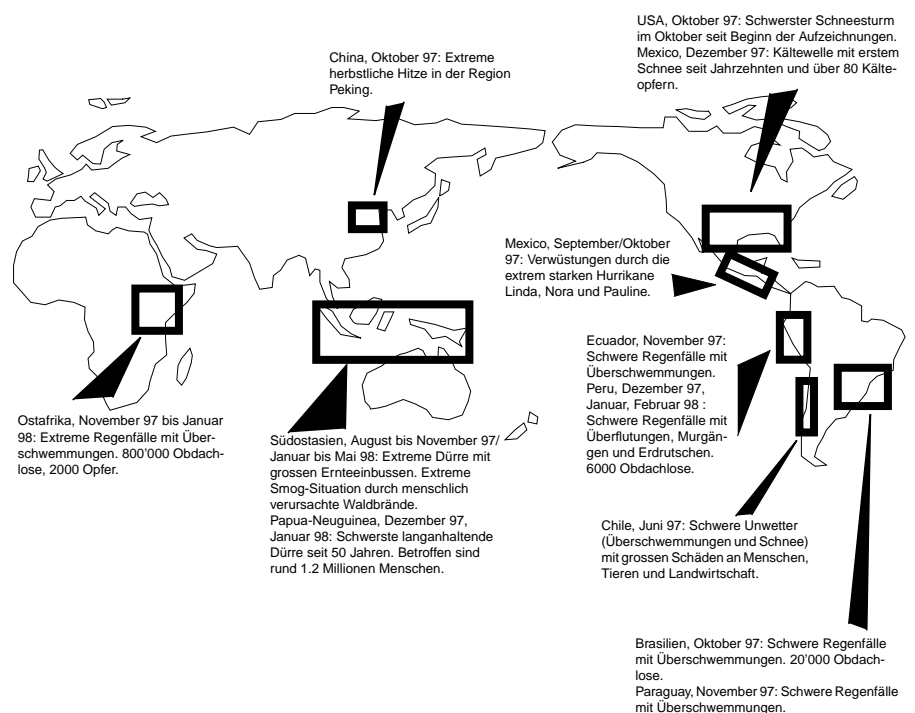
Die Abfolge von extremen Witterungsereignissen in Südamerika erfolgte bisher weitgehend nach dem klassischen ENSO Muster. Die schweren Unwetter in Chile im Juni (Südwinter) 1997 fügen sich gut ins bekannte Bild einer beginnenden El Niño Phase. Starknieder-

schläge mit Überschwemmungen und schwere Schneefälle führten hier zu grossen Schäden.

Etwas zu nördlich im Vergleich zur bekannten Risikoregion traten die schweren Niederschläge in Brasilien vom Oktober 1997 auf. Durch die damit verbundenen Überschwemmungen verloren 20'000 Menschen ihr Obdach. Nur einen Monat später wurde Paraguay, ein bekanntes Risikogebiet bezüglich El Niño-Auswirkungen, von extremen Niederschlägen mit Überschwemmungsfolgen heimgesucht.

Geradezu klassisch waren die starken Unwetter in Ecuador und in Peru am Jahresübergang 1997/98. Die Über-

Witterungsextreme 1997/98 in typischen El Niño Wirkungsgebieten Die aufgezeigten Witterungsextreme sind nach der bisherigen Erfahrung mit grosser Wahrscheinlichkeit Auswirkungen des El Niño Ereignisses 1997/98.



Agenturmeldung, 5. Juni 1998

### **Choleraepidemie in Ecuador Über 1300 Menschen erkrankt**

Quito, 5. Juni. (dpa) Nach monatelangen schweren Regenfällen und Überschwemmungen ist an der Pazifikküste Ecuadors die Cholera ausgebrochen. Nach Angaben des Direktors des Gesundheitsamtes in Quito sind bereits über 1300 Personen erkrankt, jeden Tag kämen 15 neue Fälle hinzu. Die Dunkelziffer liege wahrscheinlich höher. Nach offiziellen Angaben ist bisher ein dreijähriges Kind an der Krankheit gestorben.

El Niño kann einen erheblichen Einfluss auf die Gesundheit der Menschen in den Tropen und Subtropen haben. Neben der Auslösung von Choleraepidemien scheinen sich die Klimaschwankungen insbesondere auf die globale Malaria-situation auszuwirken. Tritt in einer sonst trockenen Region plötzlich die Kombination von hoher Lufttemperatur und -feuchte auf, kann sich die Seuche epidemieartig ausbreiten (H. Feldmeier, 1998).

schwemmungen in Ecuador vom November 1997 forderten viele Todesopfer und machten Tausende obdachlos. Gleichzeitig wurden viele Plantagen, vor allem Bananen-, Zucker-, Kakao-, Kaffee- und Reispflanzungen, erheblich in Mitleidenschaft gezogen. Die starken Niederschläge in Peru vom Dezember 1997 und Januar /Februar 1998 lösten viele Murgänge und Erdbeben aus, welche zu grossen Verwüstungen führten (WMO, 1998). Die Geröll- und Schlamm-massen zerstörten etwa 300 Häuser. Rund 120 Menschen verloren dabei ihr Leben. Starke Niederschläge lösten im Januar und Februar 1998 vereinzelt auch in Bolivien Erdbeben aus, welche Schäden verursachten und Menschen in den Tod rissen.

### **Nord- und Mittelamerika 1997/98**

Ungewohnte Stärken erreichten die Wirbelstürme Linda, Nora und Pauline, welche in den Monaten September und Oktober 1997 kurz hintereinander die Pazifikküste Mittelamerikas heimsuchten. An den Golfküsten Nord- und Mittelamerikas war demgegenüber in der klassischen Saison August bis Oktober nur ein Hurrikan aktiv (WMO, 1997b). Der starke Wintereinbruch im Oktober 1997 in den USA (vor allem in Colorado) erfolgte ungewöhnlich früh, und im Dezember 1997 ergriff eine ungewöhnlich starke Kältewelle weite Teile Mexicos. In vielen Landesteilen schneite es zum erstenmal seit Jahrzehnten. Die Kälte forderte im Monat Dezember über 80 Menschenleben.

Die Unwetter mit Überschwemmungsfolgen in Kalifornien vom Januar/Februar 1998 dürfen, wie oben erläutert, nicht primär El Niño angelastet werden, trotz sehr häufiger gegenteiliger Presseberichte. Denkbar ist aber, dass El Niño diese ohnehin eintretende winterliche Extremsituation verstärkt oder die Bedingungen für deren Auslösung gefördert hat.

### **Südostasien 1997/98**

Über Monate hinweg war Südostasien im Fokus der El Niño Wirkung. Die Region litt unter der schlimmsten Dürre seit 50 Jahren. Mehrere 100 Tote waren zu beklagen. Gemäss den Auswertungen der NOAA (NOAA/CDC, 1997a) verzeichnete der südostasiatische Raum im Oktober 1997 grossflächig ein Niederschlagsdefizit von 100 mm bis über 200 mm im Vergleich zum Oktobermittel von 1979-1995.

Papua-Neuguinea war von der Dürre besonders betroffen. Im Januar 1998 litten nach Angaben der Behörden rund 1.2 Millionen Menschen an Wasser- und Nahrungsmittelmangel. Erste starke Niederschläge gingen erst im Februar 1998 über der Insel nieder. In Thailand setzte die normalerweise in den Monaten März bis Mai zu erwartende Dürreperiode bereits im Januar 1998 ein. Im Februar 1998 litten 46 der insgesamt 76 Provinzen des Landes unter extremem Wassermangel.

In Indonesien gerieten Ende Sommer 1997 die zum Zweck der Landgewinnung entfachten Waldbrände infolge der grossen Trockenheit ausser Kontrolle. Riesige Waldflächen brannten und dicker Rauch hüllte die Inseln ein. Der Aufenthalt im Freien wurde phasenweise zum ernsthaften Gesundheitsrisiko. Durch El Niño verzögerte sich der Niederschlag bringende herbstliche Nordostmonsun um mehrere Wochen. Er setzte schliesslich am 18. November 1997 ein. Der Regen entschärfte die Situation schnell, indem er den Smog aus der Luft auswusch und die Brände löschte. Ab Januar 1998 wurden aus Borneo aber erneut Waldbrände gemeldet. Auf dem indonesischen Teil Borneos führte die starke

Sichtbehinderung durch die Rauchentwicklung Ende Februar 1998 wieder zur Schliessung von Flughäfen. Erst ab Mitte Mai 1998 war die Region nach dem Einsetzen regelmässiger Niederschläge wieder weitgehend smogfrei.

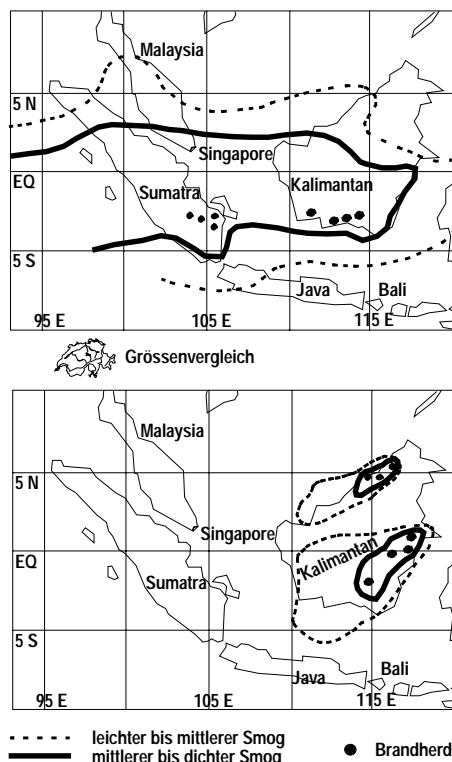
### Afrika 1997/98

Ungewöhnlich heftige und langanhaltende Niederschläge führten in Ostafrika im November 1997 zu grossflächigen Überschwemmungen. Die Wassermassen forderten bisher 2000 Menschenleben und machten mehrere 100'000 Menschen obdachlos. Laut den Auswertungen der NOAA (NOAA/CDC, 1997a; NOAA/CDC, 1997b) fielen im Oktober und auch im November 1997 grossflächig über 200 mm mehr Niederschlag im Vergleich zum langjährigen Oktober- und Novembermittel (1979-1995). Der Dauerregen in Ostafrika hielt auch in den folgenden Monaten an. Speziell betroffen war Kenya. Normalerweise ist hier von Dezember bis März eine Trockenzeit zu erwarten. An der Jahreswende 1997/98 brachten die schweren Regenfälle jedoch grossflächige Überschwemmungen. Im Januar 1998 waren rund 300'000 Kenyaner davon betroffen. Während El Niño 1982/83 litt Ostafrika, ganz im Gegensatz zur momentanen Situation, unter starker Trockenheit (M.H. Glantz, 1996). Das macht einmal mehr deutlich, dass das Phänomen El Niño in seinen Auswirkungen sehr vielfältig ist und noch längst nicht in allen Details verstanden wird.

Südostasien litt in zwei Phasen über Wochen hinweg unter Smog (Herbst 1997, Frühjahr 1998), verursacht durch menschlich angelegte Waldbrände.

Oben: 23. Oktober 1997: Zeitpunkt der grössten Smog-Ausdehnung in Südostasien 1997.

Unten: Smog-Ausdehnung in Südostasien am 7. April 1998.  
Nach online-Daten des Meteorological Service Singapore.



### Was El Niño kosten kann

Ungeachtet der hohen Schadenskosten verursacht El Niño primär grosses menschliches Leid. Hunderttausende von Menschen verlieren durch die pazifische Strömungsumkehr ihr Hab und Gut und stehen vor dem Nichts. Tausende von Menschen verlieren ihr Leben, sei es durch zuviel oder zuwenig Wasser, durch Kälte oder Hitze. Solche Verluste können nicht in Geldwerten angegeben werden. Das sollte immer an erster Stelle bedacht werden, wenn von den Schadenskosten, verursacht durch El Niño, gesprochen wird.

Recht gut erfasst sind die Schadenskosten des Ereignisses von 1982/83. Sie übersteigen 10 Milliarden US-Dollars deutlich (M.H. Glantz, 1996). Eine nicht

unwesentliche Unschärfe bei der Schadenskostenbestimmung entsteht allerdings dadurch, dass viele mit El Niño in Verbindung gebrachte Witterungsextreme nicht zwingend vollumfänglich diesem Klimaphänomen angelastet werden können. Vielfach spielt El Niño lediglich eine verstärkende Rolle bei einem sich ohnehin entwickelnden Extremereignis. In solchen Fällen wäre es nötig, den El Niño Anteil am Gesamtschaden abzuschätzen, was aber kaum möglich ist. So haben die möglicherweise infolge El Niño 97/98 ungewöhnlich starken tropischen Wirbelstürme "Pauline" (Mexico, Oktober 1997) und "Linda" (Südostasien, November 1997) Schäden von 100 Mio. bzw. 500 Mio. US-Dollars verursacht (Schweizer Rück, 1998).

#### Schadenskosten El Niño 1982/83

Aufgenommen sind nur Schäden durch extreme Witterungslagen, welche direkt auf El Niño zurückzuführen sind. Angaben in US-Dollars. Daten nach M.H. Glantz, 1996.

|   |          |
|---|----------|
| Unwetter Peru/Ecuador                       | 650 Mio  |
| Trockenheit Südperu/<br>Bolivien            | 240 Mio  |
| Unwetter Brasilien/<br>Argentinien/Paraguay | 3000 Mio |
| Trockenheit Mittelamerika                   | 1100 Mio |
| Winterstürme USA                            | 1100 Mio |
| Trockenheit Indonesien                      | 500 Mio  |
| Trockenheit Philippinen                     | 450 Mio  |
| Trockenheit Australien                      | 3000 Mio |
| Trockenheit Indien                          | 500 Mio  |
| Trockenheit südliches Afrika                | 1000 Mio |

Insgesamt: 11.5 Milliarden

#### Vorläufige Schadenskosten El Niño 1997/98

Aufgenommen sind nur Schäden durch extreme Witterungslagen, welche direkt auf El Niño zurückzuführen sind. Angaben in US-Dollars. Daten nach Schweizer Rück, 1998a, 1998b; WWF 1998 (Indonesien).

|   |          |
|---|----------|
| Unwetter/Kälte Chile                        | 182 Mio  |
| Unwetter Kolumbien,<br>Ecuador Peru         | 3800 Mio |
| Kältewelle Mexico                           | 4 Mio    |
| Trockenheit Mittelamerika                   | 1000 Mio |
| Unwetter Brasilien/<br>Argentinien/Paraguay | 2500 Mio |
| Winterstürme USA                            | 300 Mio  |
| Trockenheit Indonesien                      | 4400 Mio |
| Trockenheit Philippinen                     | ?        |
| Trockenheit Australien                      | ?        |
| Trockenheit Indien                          | ?        |

Insgesamt: 12.1 Milliarden

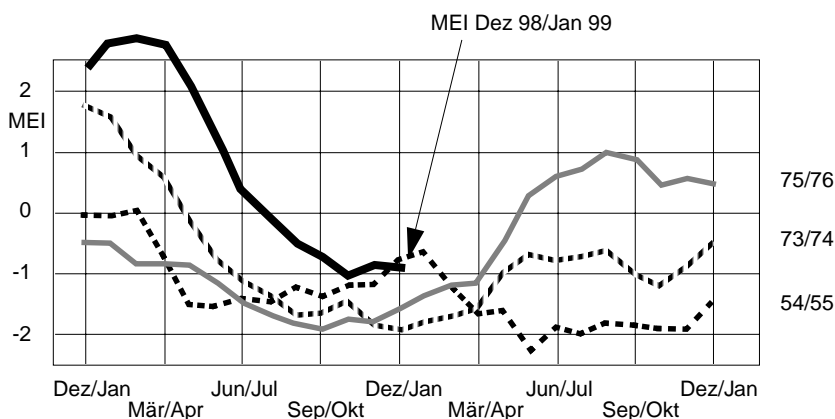
# Wie geht es weiter?

## La Niña 1998/99

So schnell wie er hohe Intensitäten erreicht hatte, so schnell flaute er ab: In den Messbereichen Niño 3 und Niño 3.4 sind im Juni 1998 bereits leicht unternormale Meeresoberflächentemperaturen registriert worden.

Der Wechsel von einer El Niño zu einer La Niña Phase und umgekehrt erfolgt sehr regelmässig und ist nichts ungewöhnliches. Wie der Begriff ENSO (El Niño Southern Oscillation) besagt, handelt es sich beim gesamten Phänomen um eine Oszillation, also um eine Schwankung vom einen zum anderen Zustand. La Niña 1998/99 zeigte bisher eine eher moderate Ausprägung. Das Beispiel des Ereignisses 1954/55 zeigt jedoch, dass sie durchaus noch an Intensität zulegen kann.

Monatlicher multivariater ENSO Index (MEI) für die drei stärksten La Niña Ereignisse seit 1949. Nach online-Daten der NOAA/CDC, bearbeitet durch Klaus Wolter und Michael Timlin, University of Colorado, Boulder, Stand 3. Februar 1999.



## El Niño und Klimaänderung

Die Zirkulationsumkehr im äquatorialen Pazifik wiederholt sich seit Jahrtausenden. Flussablagerungen grosser Überschwemmungsereignisse in Peru lassen auf mindestens 15 sehr starke El Niño Ereignisse innerhalb des Holozäns (der letzten 10'000 Jahre) schliessen. Aus der davorliegenden Epoche, dem Pleistozän, sind ebenfalls aufgrund von Sedimentanalysen 21 sehr starke Ereignisse bekannt (W. Arntz, E. Fahrbach, 1991).

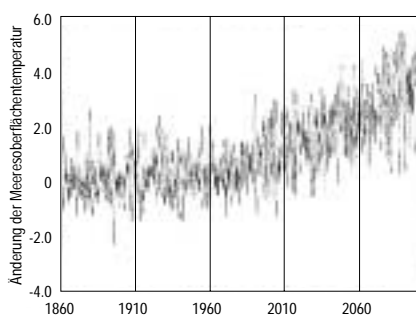
Aufgrund der vorhandenen Daten aus der Vergangenheit, insbesondere seit dem Beginn der Aufzeichnungen durch die Spanier in Peru, kann langfristig weder eine Änderung der Häufigkeit noch eine Änderung der Intensität von El Niño Ereignissen nachgewiesen werden. Offenbar hatte auch die Epoche der Kleinen Eiszeit, deren Hauptphase zwischen der Mitte des 16. Jahrhunderts und der Mitte des 19. Jahrhunderts lag, keinen wesentlichen Einfluss auf das Kommen und Gehen von El Niño. Das bedeutet, dass die pazifische Zirkulationsumkehr eine gewisse Stabilität gegenüber klimatischen Änderungen aufweist (W. Arntz, E. Fahrbach, 1991).

Für El Niño stellt sich bei der Betrachtung sehr langer Zeiträume die Frage, was als Normalzustand aufzufassen ist. Heute wird eine ENSO Phase als Ausnahmezustand bezeichnet, während die Jahre ohne El Niño als normal gelten. Nun wird seit einiger Zeit darüber diskutiert, ob beispielsweise eine globale Erwärmung dieses System derart um-

stellen könnte, dass El Niño, von Zeit zu Zeit unterbrochen durch La Niña, zum Normalzustand würde (W. Arntz, E. Fahrbach, 1991). Da es keine genügend dichten Daten aus vergangenen Warmzeiten gibt, ist ein Analogvergleich vor derhand nicht möglich.

Am Max-Planck-Institut in Hamburg wird das zukünftige Auftreten von El Niño mit Hilfe eines globalen gekoppelten Ozean-Atmosphären-Modells simuliert (A. Timmermann et al. 1998). Die Modellrechnungen beginnen im Jahre 1860 und werden mit beobachteten und zukünftig erwarteten Treibhausgaskonzentrationen angetrieben. Zukünftige Konzentrationen bis zum Jahr 2100 basieren auf dem Szenarium A des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), also der Zunahme der Emissionen von Treibhausgasen wie bisher.

Änderung der Meeresoberflächentemperatur in °C im Bereich Niño 3 bei ansteigendem CO<sub>2</sub>. Die Berechnung erfolgte mit dem gekoppelten Ozean-Atmosphärenmodell ECHAM4/OPYC (A. Timmermann et al., 1998).



Die Modellierungen zeigen, dass sich die Meeresoberflächentemperatur des tropischen Pazifiks infolge des anthropogenen Treibhauseffekts ähnlich verändert wie während El Niño Ereignissen. Der äquatoriale Ostpazifik erwärmt sich mit etwa 3 °C bis zum Jahr 2100 sehr viel stärker als der Westpazifik, dessen Temperatur nur etwa 1 °C zunimmt. Das bedeutet, dass El Niño-ähnliche Situationen unter der Annahme einer wärmeren Atmosphäre sehr viel häufiger zu erwarten sind im Vergleich zu heute.

Der langfristige Erwärmungstrend im Ostpazifik wird überlagert von einer Zunahme der Variabilität der Temperaturen von Jahr zu Jahr. Eine Verstärkung erfahren vor allem die kalten Ereignisse (La Niña). Vorläufige Ergebnisse lassen vermuten, dass die Veränderung der Temperaturvariabilität durch Veränderungen in der Ozeanzirkulation hervorgerufen wird (A. Timmermann et al., 1998).

Abschliessend sei der Hinweis erlaubt, dass Abschätzungen zum Verhalten von El Niño unter wärmeren Klimabedingungen mit grossen Unsicherheiten verbunden sind, solange die genauen Auslösemechanismen von El Niño nicht verstanden werden.

# Literatur

- Allan R., J. Lindesay, D. Parker, 1996: El Niño Southern Oscillation and Climate Variability. CSIRO Publishing, Australia.
- Arntz W.E., E. Fahrbach, 1991: El Niño - Klimaexperiment der Natur. Birkhäuser Verlag, Basel.
- Barry R.G. and R.J. Chorley, 1992: Atmosphere, weather and climate. Sixth edition. Routledge, London.
- Bove M.C., 1997: Impacts of ENSO on United States Tornadoic Activity. Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies. Florida State University. Interner Bericht.
- Feldmeier H., 1998: Klima im Aufruhr. El Niño hat auch medizinische Folgen. Forschung und Technik. Neue Zürcher Zeitung, 27. Mai 1998: 65.
- Fraedrich K., and K. Müller, 1992: Climate anomalies in Europe associated with ENSO extremes. Journal of Climatology, 12: 25-31.
- Glantz M.H., 1996: Currents of change. El Niño's impact on climate and society. Cambridge University Press.
- Gray W.M. and J.D. Shaeffer, 1991: El Niño and QBO influences on tropical cyclone activity. In: Glantz M.H., R.W. Katz, N. Nicholls, 1991 (eds): Teleconnections linking worldwide climate anomalies. Scientific basis and societal impact. Cambridge University Press, Cambridge.
- Grove R.H., 1998: Global Impact of the 1789-93 El Niño. Nature Vol. 393: 318-319.
- Linacre E. and B. Geerts, 1997: Climates and weather explained. Routledge, London.
- Nicholls N., 1993: ENSO, drought and flooding rain in South-East Asia. In: Brookfield H. and Y. Byron, 1993 (eds): South-East Asia's environmental future: The search for sustainability. United Nations University Press and Oxford University Press: 154-175.
- NOAA/CDC, 1997a: ENSO Advisory 11/97.
- NOAA/CDC, 1997b: ENSO Advisory 12/97.
- Quinn W.H., V.T. Neal and S.E. Antunez de Mayolo, 1987: El Niño occurrences over the past four and a half centuries. Journal of Geophysical Research 92 (C 13): 14449-14461.
- Roedel W., 1992: Physik unserer Umwelt. Die Atmosphäre. Springer Verlag, Berlin.
- Schweizer Rück, 1998a: Naturkatastrophen und Grossschäden 1997: Ausserordentlich wenig teure Schäden. sigma Nr. 3/1998: 15-22.
- Schweizer Rück, 1998b: El Niño 1997/98. Dem Phänomen auf der Spur. Zürich.
- Timmermann, A., A. Bacher, M. Esch, M. Latif, J. M. Oberhuber, and E. Roeckner, 1998: ENSO response to greenhouse warming. Nature, submitted.
- Trenberth K.E. , 1991: General characteristics of El Niño Southern Oscillation. In: Glantz M.H., R.W. Katz, N. Nicholls, 1991 (eds): Teleconnections linking worldwide climate anomalies. Scientific basis and societal impact. Cambridge University Press, Cambridge.
- WMO, 1994: World climate news Nr. 5 (June 1994).
- WMO, 1995 a: The global climate system review. Climate system monitoring, June 1991-November 1993.
- WMO, 1995 b: World climate news Nr. 7 (June 1995).
- WMO, 1996: World climate news Nr. 9 (June 1996).
- WMO, 1997 a: World climate news Nr. 11 (June 1997).
- WMO, 1997 b: El Niño update Nr. 2 (December 1997).
- WMO, 1998: El Niño update Nr. 3 (January 1998).