



El Niño

Grenzen der Vorhersagbarkeit

Schriftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das
Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen

Themensteller: Prof. Dr. Otto Klemm

Verfasst von: Martin Eichholz

Münster im Dezember 2011

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis.....	IV
1. Einleitung.....	1
2. Beschreibung des ENSO-Phänomens.....	3
2.1 Verhalten von ENSO auf größeren Zeitskalen.....	10
2.2 Einfluss der globalen Klimaerwärmung.....	10
3. Definition El Niño.....	12
3.1 Qualitative Definitionen.....	14
3.2 Quantitative Definitionen.....	16
3.2.1 Indizes der Meeresoberflächentemperatur.....	17
3.2.2 El Niño-Regionen.....	20
3.2.3 Southern Oscillation Index.....	20
3.2.4 Ausgewählte Definitionen.....	22
3.2.4.1 Definition der Japan Meteorological Agency.....	22
3.2.4.2 Definition von Kiladis und van Loon.....	23
3.2.4.3 Oceanic Niño Index.....	24
4. ENSO-Vorhersagbarkeit.....	26
4.1 Grundlagen für die Vorhersagbarkeit.....	27
4.2 Vorhersagemodelle.....	28
4.2.1 Dynamische Modelle.....	28
4.2.2 Statistische Modelle.....	28
4.2.3 Vergleich dynamischer und statistischer Modelle.....	29
4.3 Qualität der Vorhersagemodelle.....	33
4.4 Verbesserung der Vorhersagen.....	35
4.5 Grenzen der Vorhersagbarkeit.....	36
4.5.1 Spring Barrier.....	36
4.5.2 Einfluss des Indian Ocean Dipoles.....	37
5. Expertenbefragung.....	42
5.1 Antworten der Experten.....	44
5.1.1 Dr. Fabrice Bonjean.....	44
5.1.2 Dr. Mark Cane.....	44
5.1.3 David B. Enfield.....	45
5.1.4 Dr. Eric Johnson.....	46

5.1.5 Dr. William S. Kessler.....	46
5.1.6 Prof. Dr. Mojib Latif.....	48
5.1.7 Prof. Roger Lukas.....	50
5.1.8 Dr. Eugene Rasmusson.....	50
5.1.9 Dr. Kevin E. Trenberth.....	50
5.1.10 Prof. Michael Wallace.....	52
5.2 Interpretation der Antworten.....	52
5.3 Methodenkritik.....	53
6. Abschließende Betrachtung und Ausblick.....	56
Literaturverzeichnis.....	58
Anhang.....	63
Danksagung.....	80
Erklärung.....	81

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Walker-Zirkulation im Pazifischen Ozean.....	3
Abbildung 2:	Walker-Zirkulation im tropischen Pazifik unter Normalbedingungen (a) und unter El Niño-Bedingungen (b).....	4
Abbildung 3:	Schematische Darstellung des Verlaufs der Kelvin- und Rossbywellen.....	5
Abbildung 4:	Schematische Darstellung des tropischen Pazifiks unter normalen (a), El Niño- (b) und La Niña-Bedingungen (c).....	7
Abbildung 5:	Verlagerung der warmen (+) und kalten (-) Wassermassen im tropischen Pazifik.....	8
Abbildung 6:	Ozeanische und atmosphärische Bedingungen im äquatorialen Pazifik.....	9
Abbildung 7:	Das TAO-TRITON-Messfeld.....	18
Abbildung 8:	ATLAS-Boje mit verschiedenen Messgeräten.....	19
Abbildung 9:	Wartung einer ATLAS-Boje.....	19
Abbildung 10:	El Niño-Regionen.....	20
Abbildung 11:	Lage von Darwin und Tahiti.....	21
Abbildung 12:	SOI und der Niño-3.4 SST Index Januar 1950 bis September 2006.....	21
Abbildung 13:	ENSO-Vorhersagen verschiedener Modelle ab Oktober 2011.	31
Abbildung 14:	ENSO-Vorhersagen verschiedener Modelle – Januar bis Oktober 2011.....	32
Abbildung 15:	Fähigkeiten der SST-Vorhersage.....	34
Abbildung 16:	Negative Phase des IOD.....	38
Abbildung 17:	Positive Phase des IOD.....	38
Abbildung 18:	Schematische Darstellung der zweijährlichen Oszillation im Pazifischen und Indischen Ozean.....	39
Abbildung 19:	Beobachtete und vorhergesagte SST (September – November) anhand von Warmwassergehalt- und IOD-Indizes mit 13 Monaten Vorlaufzeit.....	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Liste der angeschriebenen Experten.....	43
------------	---	----

Abkürzungsverzeichnis

ATLAS	Autonomous Temperature Line Acquisition System
ENSO	El Niño-Southern Oscillation
ESR	Earth and Space Research Institute
IACZ	Indo-Australian Convergence Zone, Indo-Australische Konvergenzzone
IFM Geomar	Leibnitz-Institut für Meereswissenschaften ab 01.01.2012: GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
IOD	Indian Ocean Dipole
IRI	The International Research Institute for Climate and Society
JMA	Japan Meteorological Agency
MPI	Max-Planck-Institut
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ONI	Oceanic Niño Index
SOI	Southern Oscillation Index
SST	Sea surface temperature, Meeresoberflächentemperatur
TAO-TRITON	Tropical Atmosphere Ocean-Triangle Trans-Ocean Buoy Network
TOGA-TAO	Tropical Ocean Global Atmosphere-Tropical Atmosphere Ocean
UCLA	University of California, Los Angeles

1. Einleitung

Begegnen sie dem Begriff El Niño, erinnern sich viele Menschen zwangsläufig an die verheerenden Bilder der Zerstörung und des Leides aus Südamerika, die während und nach dem starken El Niño 1997/1998 weltweit in den Medien zu sehen waren. Diese für die Menschen extrem negativen Auswirkungen von El Niño sind mittlerweile von solch sozialer, politischer und sozioökonomischer Bedeutung, dass nicht nur Klimaforscher Interesse an den Vorhersagen haben, sondern auch Entscheidungsträger ganzer Volkswirtschaften.

Besonders die Zerstörungswut des El Niños 1997/1998 hat die Vorgänge während dieser Ereignisse in den Fokus des öffentlichen Interesses gerückt und verdeutlicht, dass El Niño neben den ökologischen auch humanitäre Folgen haben kann. Aufgrund dieser schwerwiegenden Auswirkungen für die Menschen gibt es eine erhöhte Motivation daran, El Niños früh zu erkennen, damit Maßnahmen getroffen werden können, die das Leid und die Zerstörung mindern. Inzwischen ist bekannt, dass El Niño ein Teil bzw. ein Ereignis einer tropischen Klimaschwankung ist. Diese wird El Niño-Southern Oscillation oder kurz ENSO genannt.

Es gibt mittlerweile Ansätze, die besagen, dass El Niño-Ereignisse Einfluss auf das Weltklima haben. Somit wirken sich El Niño-Vorhersagen zusätzlich auf Klima- und Wetterprognosen für andere Regionen der Erde aus. Eine möglichst genaue Vorhersage ist demnach nicht nur in den betroffenen Regionen, sondern weltweit von Relevanz.

Die Vorhersage von El Niño-Ereignissen gestaltet sich jedoch recht schwierig, da kein festgelegter Zyklus eingehalten wird. El Niño-Ereignisse treten alle zwei bis sieben Jahre auf und die Betrachtung zurückliegender Ereignisse lässt keinen Schluss auf einen Rhythmus zu. Auch treten die El Niño-Ereignisse mit unterschiedlicher Intensität auf, d.h. die Auswirkungen für die betroffenen Regionen sind nicht immer gleich. Die Niederschläge, die mit den Ereignissen einhergehen, sind unterschiedlich stark, so dass El Niño-Ereignisse auch ohne die oben genannten verheerenden Folgen für Bevölkerung und Umwelt ablaufen können.

Bei der Beschäftigung mit El Niño- bzw. ENSO-Vorhersagen muss man feststellen, dass zwar viel Forschung auf dem Gebiet der ENSO betrieben worden ist und noch immer wird, aber dass weder die Intensität noch der Auslöser eines El Niño-Ereignisses richtig erfassbar sind. Zudem gibt es keine befriedigende Vorlaufzeit, mit der El Niño-Ereignisse vorhergesagt werden können. Erstaunlich

ist daher, dass in den letzten Jahren trotz ihrer hohen Bedeutung keine bzw. kaum noch Verbesserungen der Vorhersagbarkeit zu verzeichnen waren. Dass die bisher erreichte Qualität der Vorhersagen zwar annehmbar, aber noch nicht zufriedenstellend ist, ist auch der Tenor der gesichteten Literatur. Besonders, da die Vorlaufzeit zu einem El Niño-Ereignis recht kurz ist und daher nicht ausreicht, um sämtliche vorbeugenden Maßnahmen zu treffen, damit die Schäden in den betroffenen Regionen so gering wie möglich gehalten werden können.

In diesem Umstand liegt die Motivation für diese Arbeit begründet. Um zu klären, warum die Optimierung der Vorhersagen nur noch schleppend fortschreitet, werden der aktuelle Forschungsstand zusammengefasst und Experten befragt. Somit wird ein Überblick darüber gegeben, welche Entwicklungsmöglichkeiten sich der ENSO-Forschung noch bieten und welche neuen Ansätze es gibt, um die Vorhersagen weiter zu präzisieren, so dass die Menschen in den betroffenen Regionen früher und effektiver gewarnt werden können.

Um eine Übersicht zu bekommen, wird im Rahmen dieser Arbeit zunächst das ENSO-Phänomen beschrieben. Im Anschluss daran werden Beispiele verschiedener El Niño-Definitionen gegeben. Dabei wird gleichzeitig dargestellt, wie die Datenerhebung im Pazifischen Ozean erfolgt. In einem weiteren Schritt wird dann die Vorhersagbarkeit der ENSO-Ereignisse untersucht. Dazu werden zunächst die Grundlagen der Vorhersagbarkeit beleuchtet. Danach werden die verschiedenen Typen der Vorhersagemodelle vorgestellt und daran anschließend deren Qualität, Verbesserungsmöglichkeiten und Grenzen analysiert. Im letzten Teil dieser Arbeit werden Experteninterviews ausgewertet, die im Vorfeld der Arbeit mit Klimaforschern geführt wurden. Sie äußern sich zum derzeitigen Stand der Forschung und zu neuen Ansätzen der ENSO-Vorhersage. Vor der abschließenden Betrachtung erfolgt sowohl eine Interpretation dieser Antworten als auch eine Hinterfragung der Vorgehensweise.

2. Beschreibung des ENSO-Phänomens

Das ENSO-Phänomen ist ein im tropischen bis südlich subtropischen Pazifik ablaufender Prozess, der dort im Wirkungsbereich der atmosphärischen Hadley- und Walker-Zirkulation stattfindet. Der von der Hadley-Zelle induzierte Südostpassat und der von der Walker-Zirkulation begünstigte nach Westen gerichtete Wind an der Meeresoberfläche bestimmen (unter Normalbedingungen) in dieser Region die atmosphärischen Verhältnisse. Verknüpft damit ist eine gleichfalls nach Westen gerichtete Meeressströmung, die einen wesentlichen Unterschied in der Höhe des Meeresspiegels zwischen dem Ost- und dem Westteil des Pazifiks zur Folge hat.¹

Anschaulich dargestellt sind die Verhältnisse, die in der Region unter Normalbedingungen herrschen in Abbildung 1. Die atmosphärischen Voraussetzungen sind in Abbildung 1a verdeutlicht. Zusätzlich zur Walker-Zirkulation ist zu erkennen, dass ein Tiefdruckgebiet über Indonesien und Nordostaustralien für aufsteigende warme Luft verantwortlich ist, was zu starken Niederschlägen führt (Abbildung 1a und 1b). Auf der Ostseite des Pazifiks sorgt ein Hochdruckgebiet für trockene Bedingungen. Abbildung 1b zeigt darüber hinaus die Vorgänge im Ozean. Wichtig für die Betrachtung in dieser Arbeit ist das sehr warme Wasser vor der Küste Indonesiens und das aufsteigende kalte Wasser vor der Ostküste Südamerikas.

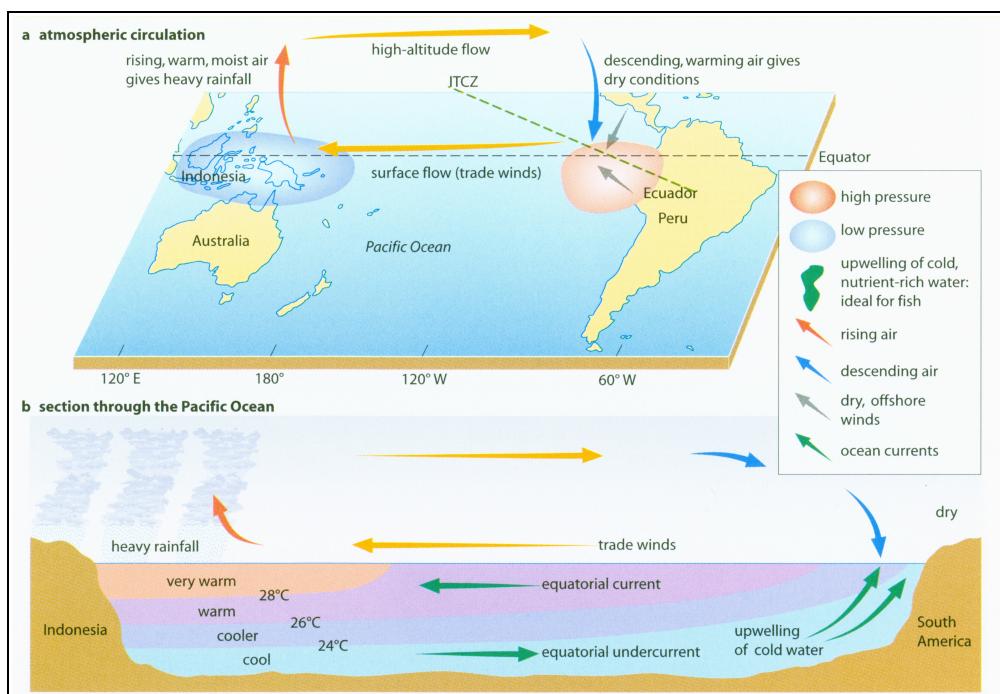


Abbildung 1: Walker-Zirkulation im Pazifischen Ozean²

¹ vgl. Schönwiese (2008), S. 196 ff.

² Waugh (2002), S. 250

Einig sind sich Wissenschaftler darüber, dass es im Vorlauf eines El Niño-Ereignisses zu einer Abschwächung des Hochdruckgebietes über dem Südpazifik kommt. Dies hat zur Folge, dass sich der Südostpassat abschwächt.

Doch während Engels (2009) die Initiierung der anomalen Windverhältnisse im mittleren tropischen Pazifik durch eine Störung der Meeresoberflächentemperatur (SST, engl. sea surface temperature) begründet sieht, begreifen Bigg (2003) sowie Thurman und Trujillo (2011) das Abflauen der Passatwinde als Ursache für die Veränderung der SST.

Diese Uneinigkeit liegt sicherlich darin begründet, dass im zentralen tropischen Pazifik die Wechselwirkung zwischen Ozean und Atmosphäre am effektivsten ist.³ Unabhängig davon, was der Auslöser ist, herrscht allerdings Einigkeit darüber, dass das ENSO-Phänomen als ein System aus ozeaninternen Wellen verstanden werden kann.⁴

Nach Verminderung des Hochdruckgebietes über der Küste Südamerikas wird der Luftdruckgradient der Hoch- und Tiefdruckgebiete der betreffenden Walker-Zelle so verringert, dass der Südostpassat erheblich abschwächt. Während besonders starker El Niño-Ereignisse wehen die Passatwinde sogar in die entgegengesetzte Richtung.⁵ Diese Verhältnisse sind in Abbildung 2a und 2b vereinfacht dargestellt.

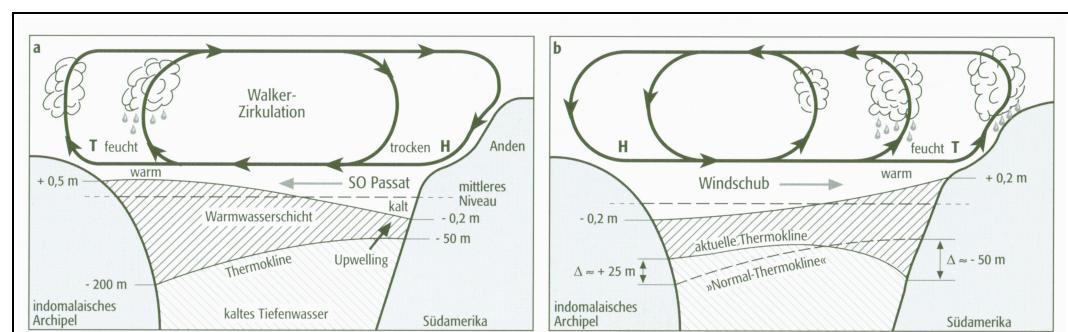


Abbildung 2: Walker-Zirkulation im tropischen Pazifik unter Normalbedingungen (a) und unter El Niño-Bedingungen (b)⁶

Eine weitreichende Konsequenz der nachlassenden Winde ist, dass sich das Gefälle der Meeresoberfläche vermindert bzw. sich, wie in Abbildung 2 zu erkennen, sogar umkehrt und somit der Meeresspiegel im Ostpazifik steigt und im Westpazifik sinkt. Die Erhöhung der lokalen SST wird verstärkt durch verringerte

³ vgl. Engels (2009), S. 3

⁴ vgl. Engels (2009), S. 2

⁵ vgl. Thurman und Trujillo (2011), S. 218

⁶ Meusberger et al. (2001), S. 301

Evaporation im Westpazifik und die Reduktion des Auftriebs kalten Wassers (Upwelling) im Ostpazifik. Aus diesem Grunde vermindert sich auch der Temperaturunterschied zwischen Ost- und Westpazifik.⁷ Die nun vorherrschenden Bedingungen sind in der Abbildung 2b zu erkennen.

Die lokalen Anomalien gleicht der Ozean nun über sein gesamtes Becken aus. Dazu werden ozeaninterne Wellen erzeugt, die im oberen Ozean von der Windanomalie nach Westen und Osten wandern.⁸ Bei diesem Wellenmechanismus wirken äquatoriale Kelvinwellen und außer-äquatoriale Rossby-Wellen zusammen.⁹ Wie in Abbildung 3 dargestellt, wandern die internen äquatorialen Kelvinwellen ostwärts, setzen sich etwa ein bis zwei Monate nach Beginn der Windanomalie in Bewegung und laufen mit einer von der Dichte des Wassers abhängigen Geschwindigkeit von ca. $2,5 \text{ ms}^{-2}$. Um den gesamten Pazifik zu überqueren, benötigt eine solche Kelvinwelle zwei bis drei Monate. Da sie in den Bereichen, die sie durchläuft, die Thermokline (Grenze zwischen warmem Oberflächenwasser und kaltem Tiefenwasser) absenkt¹⁰, ist sie für die oben angesprochene Erhöhung der SST und das Ansteigen des Meeresspiegels im östlichen Pazifik verantwortlich.¹¹

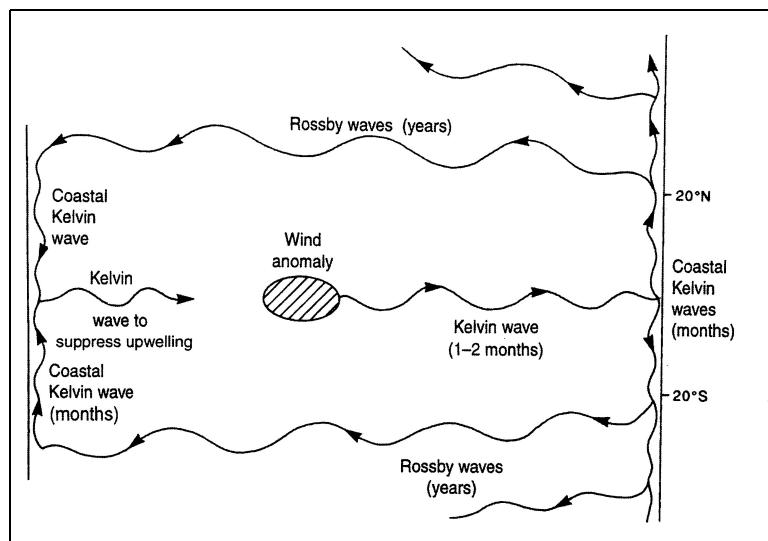


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Verlaufs der Kelvin- und Rossbywellen¹²

⁷ vgl. Engels (2009), S. 3

⁸ vgl. Bigg (2003), S. 167

⁹ vgl. Engels (2009), S. 3

¹⁰ vgl. Engels (2009), S. 4

¹¹ vgl. Bigg (2003), S. 172

¹² Bigg (2003), S. 169

Während eines El Niño-Ereignisses setzt sich das warme Wasser in der Regel im September eines El Niño-Jahres in Bewegung und erreicht die Küste Südamerikas im Dezember oder Januar.¹³

Erreichen die Kelvinwellen die Küste Südamerikas, werden sie dort zum einen in parallel der Küste laufende Wellen umgeleitet und zum anderen bei ca. 20° N und S in Form von westwärts laufenden außer-äquatorialen Rossby-Wellen reflektiert (siehe Abbildung 3). Rossby-Wellen laufen mit Geschwindigkeiten zwischen 0,6 und 0,8 ms⁻². Das Auftreffen der Kelvinwellen auf die Küste Südamerikas und der damit verbundene Anstieg der SST charakterisiert den Höhepunkt eines El Niño-Ereignisses. Denn auch die Atmosphäre reagiert auf die geänderten ozeanischen Bedingungen. Die Indo-Australische Konvergenzzone (IACZ) -verantwortlich für reichhaltige Niederschläge- wandert aufgrund und mit den steigenden Temperaturen des Oberflächenwassers ostwärts. Mit Eintreffen des warmen Wassers trifft auch die IACZ mit ihren enormen Niederschlägen auf die Küste Südamerikas.¹⁴

Im Verlaufe sehr starker El Niño-Ereignisse kann die SST vor der Küste Perus um bis zu 10 °C ansteigen und der Meeresspiegel sich um mehrere Zentimeter erhöhen.¹⁵

In der folgenden Abbildung ist der Zustand des Pazifischen Ozeans während der unterschiedlichen Ereignisse vereinfacht dargestellt. Die Höhenangaben, um die sich der Meeresspiegel an den jeweiligen Küsten hebt oder senkt, variieren in der Literatur im Bereich von ±50 cm. Siehe Abbildung 2 und 4.

¹³ vgl. Thurman und Trujillo (2011), S. 218

¹⁴ vgl. Bigg (2003), S. 164

¹⁵ vgl. Thurman und Trujillo (2011), S. 218

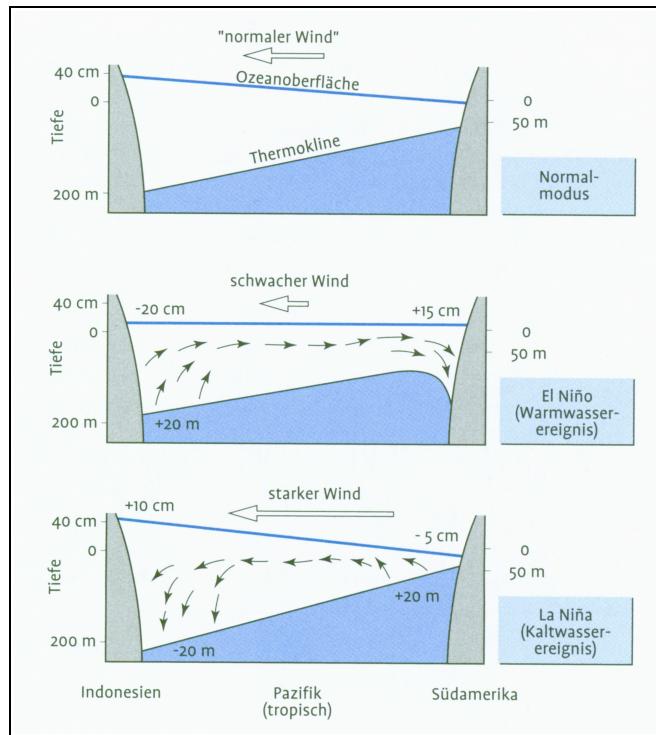


Abbildung 4: Schematische Darstellung des tropischen Pazifiks unter normalen (a), El Niño- (b) und La Niña-Bedingungen (c)¹⁶

Statt des Indonesischen Tiefs entsteht auf der Westseite des Pazifiks während eines El Niño-Ereignisses ein Hochdruckgebiet. Dieses bringt trockene Bedingungen mit sich, die mitunter in Dürren resultieren.¹⁷

Der Ablauf von ENSO ist in dieser Phase nicht beendet, da die außer-äquatorialen Rossby-Wellen über den Pazifik laufen und schließlich den Westpazifik erreichen. Die Reflexion der über den Ozean gelaufenen Rossby-Wellen im Westpazifik ist komplexer, da die Küste hier nicht von Nord nach Süd verläuft. Dennoch scheint die Reflexion den theoretischen Annahmen zu folgen.¹⁸ Die auftreffenden Rossby-Wellen werden nun ebenfalls reflektiert und wandern als ostwärts gerichtete kalte äquatoriale Kelvinwellen wieder über den Pazifik.¹⁹

Diese heben nun die Thermokline. Als Folge verringert sich die SST. Wandern diese Wellen nun weiter nach Osten, stabilisiert sich das gesamte System während der Phase, in der das El Niño-Ereignis am meisten ausgeprägt ist. Das Ereignis wird durch Auftreten von kaltem Oberflächenwasser im zentralen Pazifik unterbrochen, was die Konvektion reduziert und das Wiederauftreten der ursprünglichen Ostwinde fördert. Das El Niño-Ereignis schafft somit die Bedin-

¹⁶ Schönwiese (2008), S. 197

¹⁷ vgl. Thurman und Trujillo (2011), S. 218

¹⁸ vgl. Bigg (2003), S. 169

¹⁹ vgl. Engels (2009), S. 3-4

gungen für sein eigenes Ende.²⁰ Die kalte Strömung initiiert vor der Küste Südamerikas nun ein La Niña-Ereignis.²¹

Analog zu Abbildung 3 ist in Abbildung 5 der Verlauf der warmen (+) und kalten (-) Wellen schematisch dargestellt.

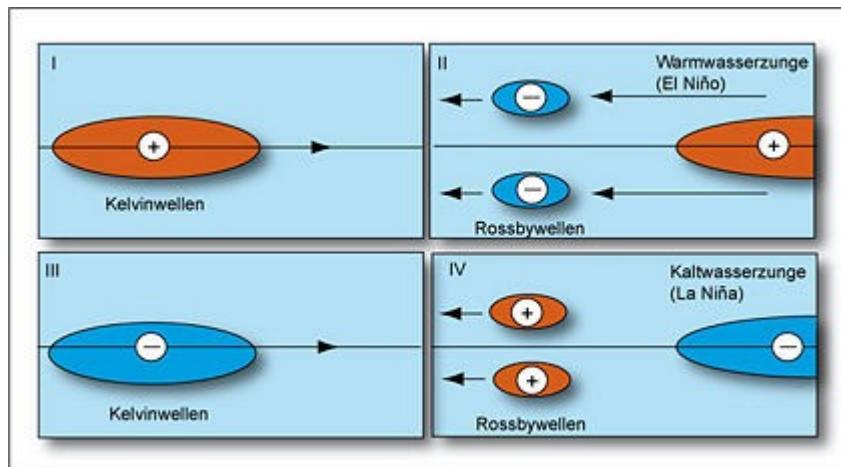


Abbildung 5: Verlagerung der warmen (+) und kalten (-) Wassermassen im tropischen Pazifik²²

Der abgebildete Ausschnitt stellt jeweils den äquatorialen Pazifischen Ozean dar. Abbildung 5, I zeigt die warmen Kelvinwellen, die sich im Westen des Ozeans ostwärts in Bewegung setzen. Abbildung 5, II stellt den Höhepunkt des El Niño-Ereignisses dar. Die Warmwasserzunge hat die Westküste Südamerikas erreicht. Die kühlen Rossby-Wellen wandern nördlich und südlich des Äquators Richtung Westen. Dort werden sie erneut reflektiert und wandern in Form von kühlen Kelvinwellen ostwärts entlang des Äquators (Abbildung 5, III). Erreichen diese kühlen Kelvinwellen nun die Westküste Südamerikas, wie in Abbildung 5, IV, bildet sich dort eine Kaltwasserzunge und das La Niña-Ereignis hat seinen Höhepunkt. Die warmen Rossby-Wellen wandern westwärts und tragen warmes Wasser in den Westpazifik. Deutlich wird hier die periodische Anlage des Systems.²³

Zur besseren Veranschaulichung sind in der folgenden Abbildung 6 nochmal die unterschiedlichen Zustände des Ozeans und der Atmosphäre unter (a) normalen, (b) El Niño- und (c) La Niña-Bedingungen dargestellt. Besonders deutlich wird in den Abbildungen das Zusammenspiel von Walker-Zirkulation (grüne Pfeile) und den Meeresströmungen (schwarze Pfeile). Die Bewegung und die Verlagerung der

²⁰ vgl. Bigg (2003), S. 169-170

²¹ vgl. Engels (2009), S. 4

²² Hamburger Bildungsserver online

²³ vgl. Engels (2009), S. 3-4

farblich gekennzeichneten warmen (rot) und kühlen (blau) Wassermassen kann daher nachvollzogen werden. Darüber hinaus ist die Umkehrung der Luftdruckverhältnisse bei El Niño-Bedingungen veranschaulicht. Zusätzlich ist das Verhalten der Thermokline und das damit verbundene aufströmende Tiefenwasser während der verschiedenen Bedingungen sehr gut illustriert.

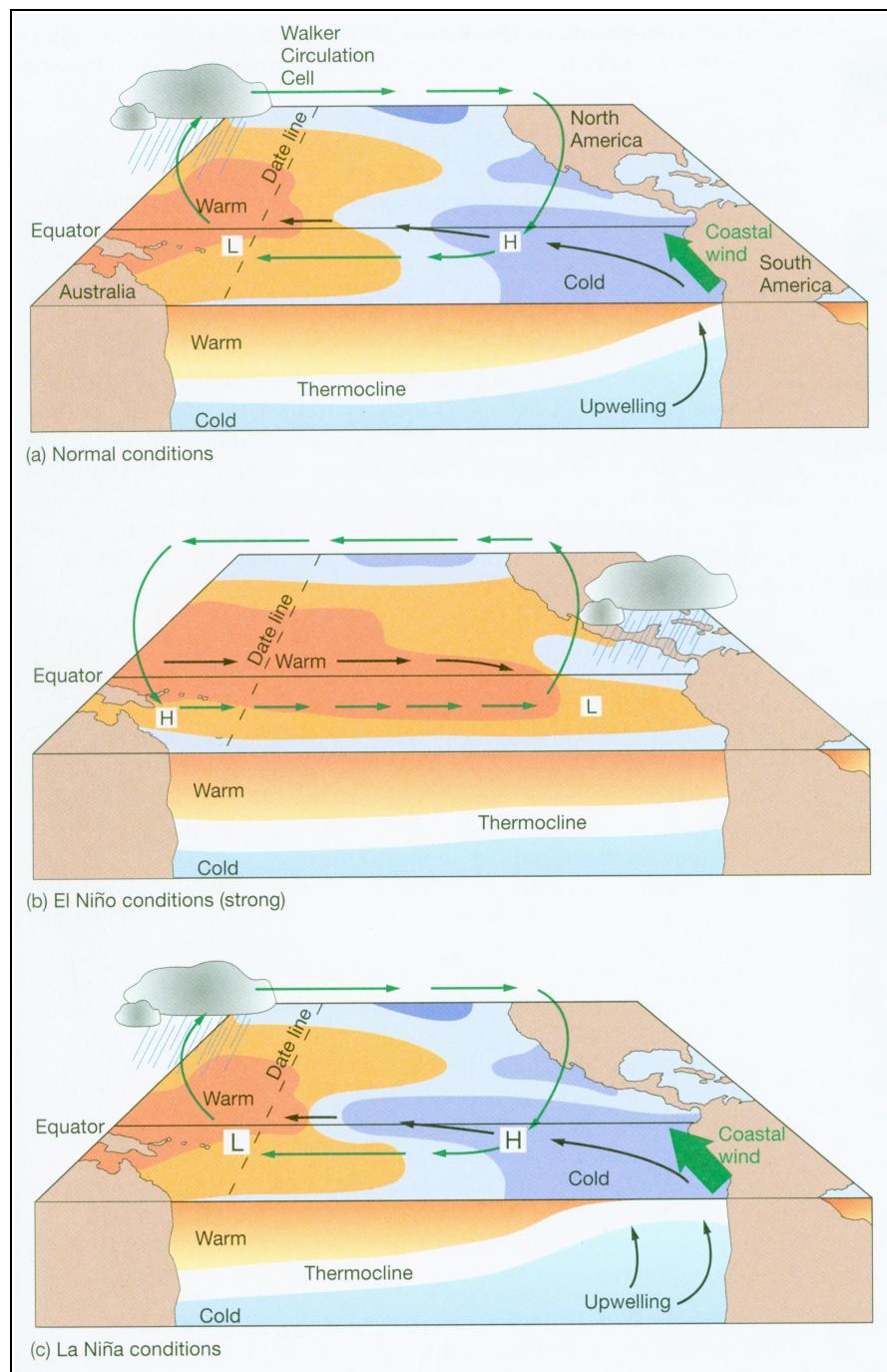


Abbildung 6: Ozeanische und atmosphärische Bedingungen im äquatorialen Pazifik²⁴

²⁴ vgl. Thurman und Trujillo (2011), S. 217

Dennoch handelt es sich bei diesen Beschreibungen um sehr idealisierte Modelle²⁵, die keine Begründung für das unregelmäßige Auftreten von Warm- und Kaltphasen liefern.²⁶

2.1 Verhalten von ENSO auf größeren Zeitskalen

In der Einleitung zu dieser Arbeit wurde bereits erwähnt, dass El Niño-Ereignisse unterschiedliche Ausprägungen haben können. Diese Intensitätsschwankungen treten nicht nur bei aufeinanderfolgenden Ereignissen auf. Bei einer zeitlich längeren Betrachtung des Phänomens wird deutlich, dass es immer wieder abweichende Intensitäten gegeben hat. Es gibt Hinweise und Theorien, die besagen, dass die ENSO-Ausprägungen von mehreren Faktoren abhängig sind. Darunter fallen unter anderem nicht genau spezifizierte „Störgeräusche“ im Pazifik, aber auch Intensitätsschwankungen von ENSO im dekadischen Bereich.²⁷ In den letzten 130.000 Jahren hat es immer wieder Veränderungen in der ENSO-Aktivität gegeben. Auf größeren Zeitskalen ist daher nicht vorherzusagen, wie sich ENSO verhalten wird. Zwar kann man mit relativer Sicherheit sagen, dass ENSO sich in der Zukunft anders verhalten wird, aber man kann nicht sicher sagen, wie es sich verändern wird.²⁸

2.2 Einfluss der globalen Klimaerwärmung

Die Auswirkungen des globalen Klimawandels auf ENSO sind bisher wenig bekannt. Um dennoch Änderungen im Verhalten von ENSO vorherzusehen, werden veränderte CO₂-Bedingungen in den verschiedenen Vorhersagemodellen berücksichtigt. Die Auswirkungen ändern sich von Modell zu Modell. Einige Modelle sagen einen Anstieg, andere ein Nachlassen der Intensität der ENSO-Ereignisse voraus. Wieder andere Modelle errechnen, dass es keine Änderungen geben wird.²⁹

In einer 2005 von Merryfield durchgeführten Untersuchung wiesen 12 der 15 beteiligten Modelle unter vorindustriellen Bedingungen eine vergleichbare oder

²⁵ vgl. Bigg (2003), S. 174

²⁶ vgl. Engels (2009), S. 7-8

²⁷ vgl. Latif und Keenlyside (2008), S. 1

²⁸ vgl. Cane (2005), S. 227

²⁹ vgl. Latif und Keenlyside (2008), S. 1

sogar höhere ENSO-Intensität aus als die, die in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts in der Realität beobachtet worden ist.³⁰

Es ist daher höchst unsicher, wie sich ENSO unter den Bedingungen der globalen Klimaerwärmung verhalten wird.³¹

³⁰ vgl. Merryfield (2006), S. 4009

³¹ vgl. Latif und Keenlyside (2008), S. 1

3. Definition El Niño

Ursprünglich bezeichnete der Begriff El Niño nur eine warme Ozeanströmung, die jedes Jahr um die Weihnachtszeit entlang der Westküste Südamerikas Richtung Süden floss.³²

Das Ansteigen der Meeresoberflächentemperatur bedeutete für die peruanischen Fischer das Ende der Fangsaison. Der Zeitpunkt, zu dem der Warmwasserstrom auftrat, wurde zum Namensgeber des Phänomens. Denn der Begriff El Niño ist abgeleitet aus dem Spanischen und bedeutet übersetzt Christkind bzw. Jesuskind. Es gab Jahre, in denen das Ansteigen der Wassertemperatur stärker war und fast zwölf Monate lang andauerte.³³

Das einströmende warme Wasser brachte jedoch nicht nur eine Verminderung der dortigen Fischbestände, sondern auch Wetterveränderungen in der Region mit sich. In dem normalerweise ariden Gebiet kam es zu intensiven Regenfällen, was ein drastisches Ansteigen des Pflanzenwachstums nach sich zog. Daher wurden diese Ereignisse von den Einwohnern Perus zunächst auch als „die fetten Jahre“ bezeichnet.³⁴

Doch was - abgesehen von den negativen Auswirkungen auf die Fischindustrie - als freudiges Ereignis aufgenommen wurde, wurde zunehmend mit dem auftretenden ökologischen und ökonomischen Unheil in Verbindung gebracht, das ebenfalls eine Folge war. Die intensiven Regenfälle führten immer häufiger zu den in der Einleitung dieser Arbeit beschriebenen schwerwiegenden Schäden für Mensch und Umwelt.³⁵

Vor diesem Hintergrund wurde der Begriff „El Niño“ erst nach und nach mit den ungewöhnlich langen Erwärmungen, die im Pazifischen Ozean alle paar Jahre auftreten und die lokale und regionale Ökologie verändern, verknüpft.³⁶

Heute weiß man, dass El Niño eine Komponente einer weitreichenden Klimaschwankung ist, die der Wissenschaftler Sir Gilbert A. Walker in den 1920er Jahren erkannte. Zunächst fand Walker heraus, dass hoher Luftdruck und absinkende Luft an der Küstenregion Südamerikas vorherrschen, woraus sich das wolkenlose, heitere und trockene Wetter ergibt. Auf der anderen Seite des Pazifiks sorgen ein Tiefdruckgebiet und aufsteigende Luft für wolkige Bedingungen mit reichlich Niederschlägen in Indonesien, Neu-Guinea und Nordaustralien. Die

³² vgl. Trenberth (1997), S. 2771

³³ vgl. Trenberth (1997), S. 2771

³⁴ vgl. Thurman und Trujillo (2011), S. 217

³⁵ vgl. Thurman und Trujillo (2011), S. 217

³⁶ vgl. Trenberth (1997), S. 2771

daraus im äquatorialen südlichen Pazifik entstehende atmosphärische Zirkulationszelle wurde daher nach ihrem Entdecker benannt und ist allgemein unter dem Begriff Walker Zirkulation bekannt.³⁷ Weiterhin entdeckte Walker, dass eine atmosphärische Luftdruckschaukel zwischen dem Ostteil und dem Westteil des Pazifischen Ozeans mit dem während eines El Niños auftretenden Warmwasserstrom einherging und nannte dieses Phänomen „Southern Oscillation“.³⁸ Mittlerweile werden diese miteinander verknüpften ozeanischen und atmosphärischen Ausprägungen El Niño-Southern Oscillation (ENSO) genannt, die zwischen warmen und kalten Phasen schwanken und dramatische ökologische Veränderungen verursachen.³⁹ Ein El Niño ist somit ein Ereignis innerhalb des ENSO-Phänomens und entspricht der Warmphase von ENSO. Die gegenteilige Phase wird La Niña (span. das Mädchen) genannt und ist charakterisiert durch ein Abkühlen des tropischen Pazifiks. Das La Niña-Ereignis bezeichnet somit die Kaltphase von ENSO.⁴⁰ Das ENSO-Phänomen an sich hat demnach drei Phasen: El Niño, La Niña und fast neutrale Bedingungen.⁴¹

Dennoch gibt es keine allgemeingültige Definition für den Begriff El Niño, da der Begriff nicht einvernehmlich verwendet wird.⁴² Einige Wissenschaftler benutzen den Begriff für das Phänomen nur vor der Westküste Südamerikas, während andere sich bei der Verwendung des Begriffs auf das Phänomen beziehen, welches den gesamten Pazifik betrifft. In der breiten Öffentlichkeit findet hingegen keine Unterscheidung statt.⁴³

Bei der Definition von El Niño ist zu beachten, dass es sowohl qualitative als auch quantitative Definitionen gibt. Besonders die quantitativen Definitionen haben eine wichtige Bedeutung, da ihre Parameter als Grundlage zur Erkennung, Bestimmung und Vorhersagbarkeit von El Niño-Ereignissen herangezogen werden.⁴⁴

³⁷ vgl. Thurman und Trujillo (2011), S. 216

³⁸ vgl. Thurman und Trujillo (2011), S. 217

³⁹ vgl. Thurman und Trujillo (2011), S. 217-218

⁴⁰ vgl. Trenberth (1997), S. 2772

⁴¹ vgl. Hanley (2003), S. 1250

⁴² vgl. Trenberth (1997), S. 2771

⁴³ vgl. Trenberth (1997), S. 2772

⁴⁴ vgl. Trenberth (1997), S. 2772

3.1 Qualitative Definitionen

Trenberth beschäftigte sich bereits 1997 mit der Problematik der El Niño-Definition. Ihm zufolge sollte in Nachschlagewerken folgende Erklärung von Glantz (1996) für das Phänomen angeführt werden:

„El Niño \ 'el nē' nyō noun [Spanish] \ 1: The Christ Child 2: the name given by Peruvian sailors to a seasonal, warm southward-moving current along the Peruvian coast <la corriente del Niño> 3: name given to the occasional return of unusually warm water in the normally cold water [upwelling] region along the Peruvian coast, disrupting local fish and bird populations 4: name given to a Pacific basin-wide increase in both sea surface temperatures in the central and/or eastern equatorial Pacific Ocean and in sea level atmospheric pressure in the western Pacific (Southern Oscillation) 5: used interchangeably with ENSO (El Niño–Southern Oscillation) which describes the basin-wide changes in air-sea interaction in the equatorial Pacific region 6: ENSO warm event *synonym* warm even *antonym* La Niña \ [Spanish] \ the young girl; cold event; ENSO cold event; non-El Niño year; anti El Niño or anti-ENSO (pejorative); El Viejo \ 'el vyā hō \ noun [Spanish] \ the old man.“⁴⁵

In dieser Definition werden sowohl die Herkunft des Wortes als auch der Verlauf des Ereignisses thematisiert, ohne jedoch zu quantifizieren, was genau unter warmem Wasser zu verstehen ist. Weiterhin werden die Verknüpfung von Ozean und Atmosphäre und das gegenteilige Ereignis (La Niña) erwähnt und sozioökonomische Folgen angedeutet. Allerdings werden keine zahlenmäßigen Angaben zu den Änderungen des Luftdrucks gemacht und eine exakte räumliche Eingrenzung der Region, in der das Ereignis stattfindet, wird ebenfalls nicht präsentiert.

Im Oxford Dictionary of Geography ist folgende Definition zu finden:

„**El Niño** A disruption along the equatorial Pacific of the east-west *Walker circulatory cell. The gradient between the low pressure of the warm, western tropical Pacific and the high pressure of the cold, eastern tropical Pacific decreases, so that the easterly trade winds weaken,

⁴⁵ Trenberth (1997), S. 2772, Hervorhebungen im Original

allowing the warm surface water to move eastwards. The rising branch of the circulation cell, and therefore, the *precipitation associated with it, moves with the water. An El Niño is only one element of a dual-phase oscillating ocean-atmosphere system. When the system reverts to its 'normal' phase, Pacific waters cool off the coast of Ecuador and Peru, and become warm again in the western Pacific, in the region of Indonesia and northern Australia. Sometimes the eastern Pacific becomes unusually cool; this is a *La Niña event. This entire ocean-atmosphere system: El Niño, the 'normal' phase, sometimes developing into La Niña, is the **El Niño-Southern Oscillation**. [...]“⁴⁶

Auch in dieser Definition wird das Zusammenwirken von Ozean und Atmosphäre beschrieben und es wird verdeutlicht, dass El Niño ein Teil eines zwischen zwei Phasen pendelnden Systems ist, wobei hier, im Vergleich zur Definition von Glantz, mehr Augenmerk auf die atmosphärischen Vorgänge gelegt wird. Gleichwohl wird ausgeführt, welche Bedeutung die Verlagerung des warmen Wassers hat. Aber weder der erwähnte Luftdruckgradient noch der Gradient der SST werden beziffert.

Das deutschsprachige „Lexikon der Geographie“ bietet unter dem Eintrag El Niño folgende Definition an:

„**El Niño**, EN, periodisch wiederkehrende Strömungsumkehr der atmosphärischen und ozeanischen Zirkulation im tropischen Pazifik mit einer Andauer von mehreren Monaten. Dieses weltweit einzigartige Klimaphänomen tritt alle 3-5 Jahre auf. Sein Einsetzen um die Weihnachtszeit hat ihm den Namen »El Niño«, span. Christkind, eingebracht. Ursprünglich war mit EN ein Phänomen gemeint, die dem im Zuge des normalen Jahreszeitenwechsels das aus dem Humboldtstrom resultierende kalte Wasser im Küstenbereich von Südecuador und Nordperu (bis $\approx 5^{\circ}$ S) für einen Zeitraum von wenigen Monaten durch warmes, von Norden vorstoßendes Wasser des äquatorialen Gegenstroms verdrängt wird. Heute wird unter dem Begriff EN die Umkehr der → Walker-Zirkulation bei negativem SOI (→ Southern Oscillation), die veränderten Strömungsbedingungen im tropischen Pazifik, und die

⁴⁶ Mayhew (2004), S. 170, Hervorhebungen im Original

entsprechenden Folgen für das Klima in diesem Bereich verstanden (Abb.). Da EN eng mit Änderungen in der Southern Oscillation verknüpft ist, wird häufig auch der Begriff ENSO (El Niño and Southern Oscillation) verwendet. [...]“⁴⁷

In diesem Eintrag wird die Herkunft des Begriffes El Niño erklärt und es wird angedeutet, dass sich seine Bedeutung im Laufe der Jahre entwickelt hat. Wie in den beiden vorherigen Definitionen wird El Niño als Element einer im tropischen Pazifik stattfindenden Zirkulation (ENSO) verstanden. Im Unterschied zu den anderen Definitionen ist hier zumindest eine Angabe zur räumlichen Einordnung angeführt (bis $\approx 5^{\circ}\text{S}$), auch wenn diese eine klare Verortung des Ereignisses nur bedingt zulässt.

Auffällig bei allen Einträgen ist, dass zwar viele El Niño-charakteristische Aspekte angeführt, aber keine exakten Werte benannt werden. Jede der o. a. Definitionen enthält El Niño-relevante Informationen zu Veränderungen der Wassertemperatur, dem Luftdruckgradienten und dem betroffenen Raum, ohne jedoch Änderungen, Unterschiede oder präzise raumbezogene Daten zu erwähnen. Dennoch deuten alle Definitionen eine Periodizität des Ereignisses an. Möchte man sich dem El Niño-Phänomen wissenschaftlich nähern, müssen diese Parameter jedoch exakt bestimmt werden, um Abgrenzungen zu anderen Zuständen des Ozeans und der Atmosphäre darstellen zu können. Dieses versuchen die quantitativen Definitionen zu leisten.⁴⁸

3.2 Quantitative Definitionen

Aus den oben angeführten qualitativen Definitionen schließt sich somit, dass sich bei einem El Niño-Ereignis einige Zustände im Ozean und in der Atmosphäre ungewohnt stark ändern. Dabei wird deutlich, dass die SST und der bodennahe Luftdruck zentrale Parameter bei der Bestimmung eines El Niño-Ereignisses sind. Da sich diese jedoch immerfort ändern und ein El Niño-Ereignis und seine schwerwiegenden Folgen nur bei bestimmten Konstellationen auftreten, ist es notwendig, zu bestimmen, welche Unregelmäßigkeiten in welcher Größenordnung vor und während eines El Niño-Ereignisses vorzufinden sind.⁴⁹ Gerade aufgrund

⁴⁷ Meusberger et al. (2001), S. 300 f., Hervorhebungen im Original

⁴⁸ vgl. Trenberth (1997), S. 2771

⁴⁹ vgl. Trenberth (1997), S. 2772

der Bedeutung einer präzisen Vorhersagbarkeit ist die richtige Wahl der betreffenden Parameter und der zu überschreitenden Schwellenwerte von enormer Bedeutung. Weiterhin muss eine klare Eingrenzung des Raumes und des Zeitintervalls erfolgen, in dem diese Daten gemessen und verglichen werden (sollen).⁵⁰ Ein erheblicher Vorteil der quantitativen Definitionen ist es, dass sie es ermöglichen, Beginn, Dauer, Ende und Ausmaß eines El Niño-Ereignisses zu beziffern.⁵¹ Die Überwachung von El Niño- und La Niña-Ereignissen (ENSO-Ereignissen) erfordert Beobachtungen sowohl des Ozeans als auch der Atmosphäre, die in verschiedenen ozeanischen und atmosphärischen Indizes zusammengefasst werden.⁵²

3.2.1 Indizes der Meeresoberflächentemperatur

Ozeanische Indizes beobachten die Entwicklung der SST. Zur Messung der relevanten Daten wurde im tropischen äquatorialen Pazifik ein Netz aus fest verankerten Bojen errichtet.⁵³

Die Bojen wurden zunächst im Rahmen des Tropical Ocean-Global Atmosphere (TOGA) Programms installiert. Später wurde durch sukzessive Aufrüstung der Bojen das TOGA-TAO (Tropical Atmosphere Ocean)-Messfeld geschaffen, welches mittlerweile auch TAO-TRITON (Triangle Trans-Ocean Buoy Network)-Messfeld genannt wird.⁵⁴

Begonnen wurde mit der Installation dieser ATLAS-Bojen (Autonomous Temperature Line Acquisition System, siehe Abbildung 8 und 9) bereits im Jahre 1984. Der anfängliche Erfolg führte zur Errichtung von insgesamt 70 verankerten Bojen, die bis 1994 im tropischen Pazifik installiert wurden. Die Anordnung der Bojen ist in Abbildung 7 zu erkennen.⁵⁵

⁵⁰ vgl. Trenberth (1997), S. 2777

⁵¹ vgl. Trenberth (1997), S. 2771

⁵² vgl. The International Research Institute for Climate and Society (1) online

⁵³ vgl. The International Research Institute for Climate and Society (1) online

⁵⁴ vgl. McPhaden (o.J.) online

⁵⁵ vgl. National Research Council (2010), S. 103

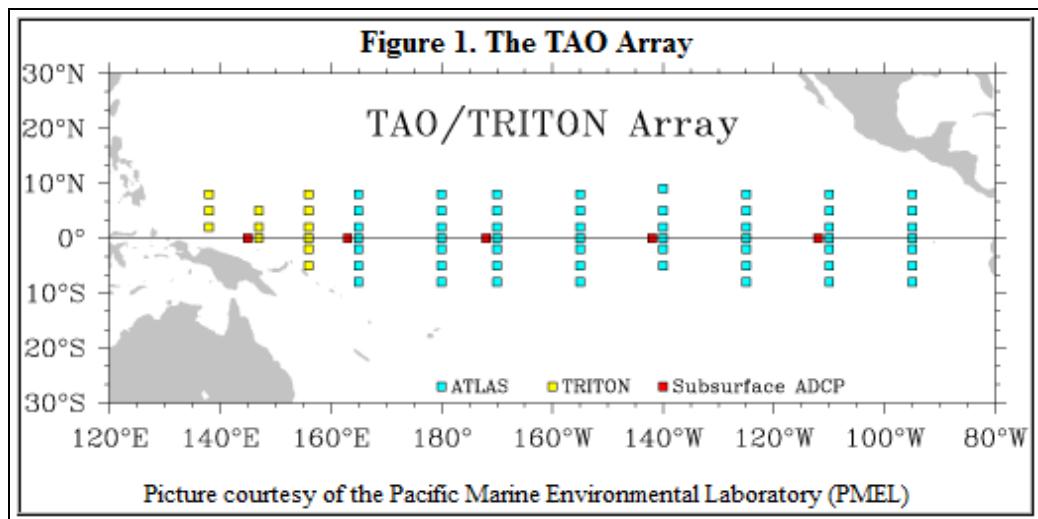


Abbildung 7: Das TAO-TRITON-Messfeld⁵⁶

Durch dieses Messfeld können nun Echtzeitdaten aus dem tropischen Pazifik gesammelt werden. Die installierten Bojen liefern Daten über Windrichtung, Meeresoberflächentemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur und Temperaturen im Ozean in zehn verschiedenen Tiefen bis 500m unter der Meeresoberfläche. Fünf der Bojen messen sogar am Äquator die Fließgeschwindigkeit des Ozeans.⁵⁷ Mittels der Daten ist es daher möglich, quantitative Aussagen über den Zustand des Ozeans und der Atmosphäre vor, während und nach einem El Niño-Ereignis zu treffen.⁵⁸

⁵⁶ The International Research Institute for Climate and Society (1) online

⁵⁷ vgl. National Research Council (2010), S. 103

⁵⁸ vgl. The International Research Institute for Climate and Society (2) online

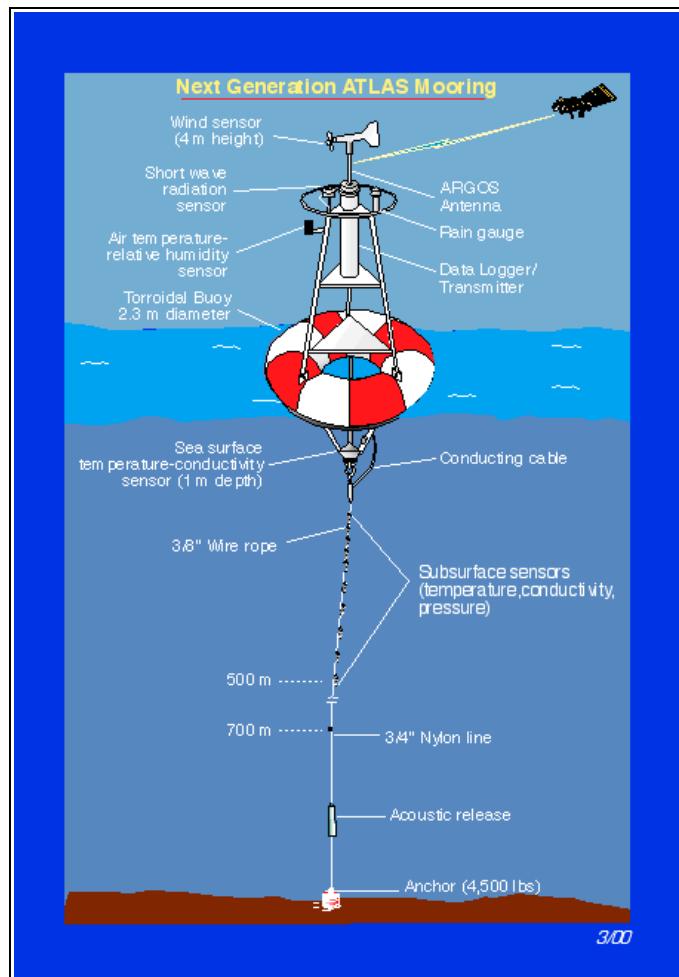


Abbildung 8: ATLAS-Boje mit verschiedenen Messgeräten⁵⁹



Abbildung 9: Wartung einer ATLAS-Boje⁶⁰

⁵⁹ Tropical Atmosphere Ocean Project online

⁶⁰ Tropical Atmosphere Ocean Project online

3.2.2 El Niño-Regionen

Zur genauen Erfassung der Veränderungen der SST wurde der Pazifik in verschiedene Zonen geteilt. Die die durchschnittliche SST vergleichenden Indizes heben sich in sofern voneinander ab, dass sie in ihren Berechnungen jeweils unterschiedliche Regionen als Bezugsraum zu Grunde legen. Diese Regionen sind durch Angaben von Koordinaten der Längen- und Breitengrade definiert und werden wie folgt differenziert.⁶¹

Niño 1 + 2	0°N–10°S und 80–90°W
Niño 3	5°N–5°S und 90°–150°W
Niño 3.4	5°N–5°S und 120°–170°W
Niño 4	5°N–5°S und 150°W–160°O ⁶²

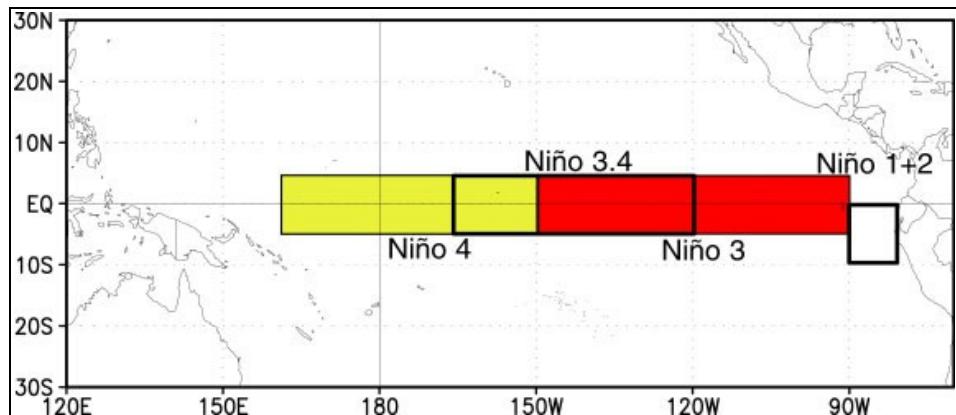


Abbildung 10: El Niño-Regionen⁶³

3.2.3 Southern Oscillation Index

Ein atmosphärischer Index, der zur Bestimmung von El Niño-Ereignissen herangezogen wird, ist der Southern Oscillation Index (SOI). Der SOI misst den Unterschied des Bodenluftdrucks zwischen Darwin, Australien (12,4°S, 130,9°O) und Tahiti (17,5°S, 149,6W). Die Lage der beiden Messpunkte kann Abbildung 11 entnommen werden.⁶⁴

⁶¹ vgl. Hanley (2003), S. 1250

⁶² vgl. The International Research Institute for Climate and Society (1) online

⁶³ National Oceanic and Atmospheric Administration (1) online

⁶⁴ vgl. Hanley (2003), S. 1250

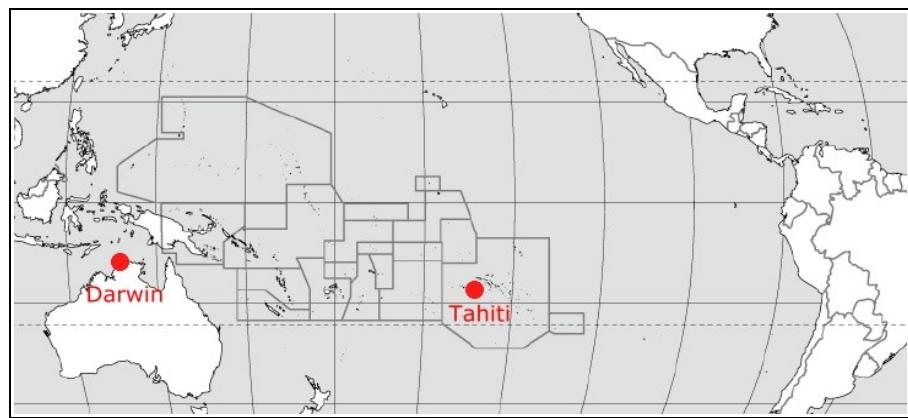


Abbildung 11: Lage von Darwin und Tahiti⁶⁵

Er ist der am längsten aufgezeichnete Index. Ein Nachteil dieses Index ist, dass er auf Messungen an nur zwei Orten basiert und demnach sehr einfach durch lokale Wetterschwankungen beeinflusst werden kann, wenn man eine lediglich monatliche Betrachtung vergleicht. Um den Index für Luftdruckschwankungen in größerem Ausmaß repräsentativer zu machen, ist es verbreitet, den SOI über einen Zeitraum von fünf Monaten zu mitteln. Üblicherweise ist der SOI während eines El Niño-Ereignisses negativ und während eines La Niña-Ereignisses positiv. Siehe Abbildung 12.⁶⁶

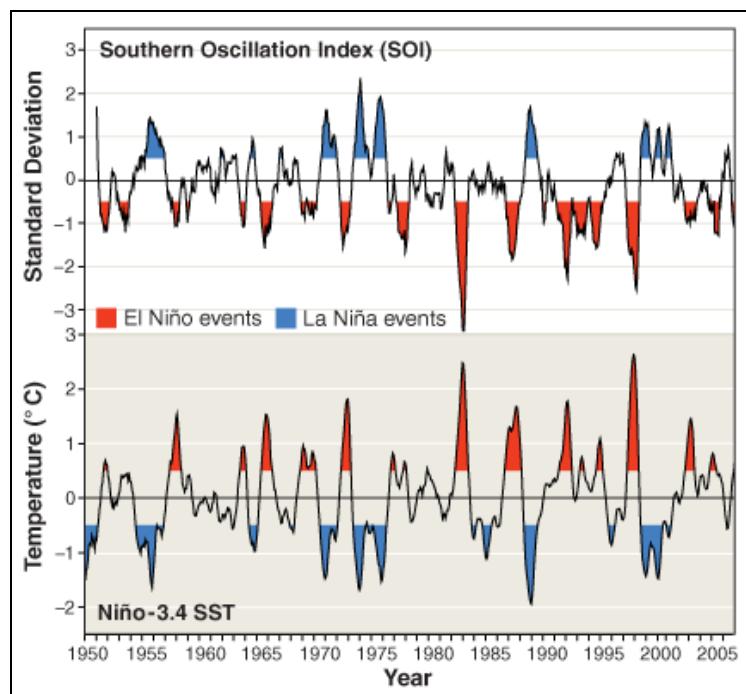


Abbildung 12: SOI und der Niño-3.4 SST Index Januar 1950 bis September 2006⁶⁷

⁶⁵ ESPERE Klimaenzyklopädie (o.J.) online

⁶⁶ vgl. The International Research Institute for Climate and Society (1) online

⁶⁷ vgl. McPhaden et al. (2006) online

3.2.4 Ausgewählte Definitionen

Im folgenden Kapitel werden verschiedene Definitionen von El Niño vorgestellt. Die Auswahl dieser Definitionen erfolgte, diese bereits mehrfach als Grundlage für El Niño-Vorhersagen verwendet wurden und auch einige Modellen noch auf ihnen basieren.

Viele Versuche sind unternommen worden, um quantitative Definitionen für El Niño zu finden, doch viele scheiterten daran, dass nur einer der genannten Parameter beobachtet wurde und somit keine breite Akzeptanz erlangt werden konnte.⁶⁸ In der wissenschaftlichen Gemeinschaft gibt es daher keinen Konsens darüber, welcher Index Ausprägung, Ablauf und Dauer der El Niño – Ereignisse am besten definiert.⁶⁹

Verschiedene Gruppen von Wissenschaftlern haben El Niño-Ereignisse untersucht und dabei unterschiedliche Definitionen benutzt. Um Missverständnisse zu vermeiden, ist es daher wichtig, dass klar ausgewiesen wird, welche Definition mit welchen Parametern angewendet worden ist.⁷⁰

3.2.4.1 Definition der Japan Meteorological Agency

Die Japan Meteorological Agency (JMA) gibt folgende Schritte in ihrer Arbeits-Definition an, anhand derer ein El Niño-Ereignis erkannt werden kann:

„It is an objective procedure and the obtained El Niño periods are quite consistent with the consensus of the ENSO research community.

1. Analyze monthly mean SSTs in $2^\circ \times 2^\circ$ grids.
2. Calculate monthly SST anomalies averaged for the area $4^\circ\text{N}–4^\circ\text{S}$ and $90^\circ–150^\circ\text{W}$. This is essentially the region known as „Niño 3“ (although the latter extends to $\pm 5^\circ$ latitude).
3. Find periods during which 5-months running means of the monthly SST anomalies in the above-mentioned area are $+0.5^\circ\text{C}$ or more for at least six consecutive months.“⁷¹

⁶⁸ vgl. Trenberth (1997), S. 2772

⁶⁹ vgl. Hanley (2003), S. 1250

⁷⁰ vgl. Trenberth (1997), S. 2771 f.

⁷¹ Trenberth (1997), S. 2772

Die Verwendung des über 5 Monate gleitenden Mittelwertes wird benutzt, um ENSO-unabhängige Schwankungen der SST auszugleichen.⁷²

Die JMA bestimmt die Größe der Messfelder und die Region, in der die Messungen erfolgen. Somit ist ein Vergleich und auch eine Erfassung der räumlichen Entwicklung der SST möglich. Zu einem El Niño-Ereignis kommt es dieser Definition nach dann, wenn der über fünf Monate gemittelte Mittelwert der SST in sechs aufeinanderfolgenden Monaten den zugrunde gelegten Durchschnittswert um mindestens 0,5 °C übersteigt. Diese Definition bezieht sich nur auf die SST. Wind- und Luftdruckverhältnisse bleiben unbeachtet.

3.2.4.2 Definition von Kiladis und van Loon

Kiladis und van Loon (1988) benutzten bei ihrer Definition des El Niño-Ereignisses den SOI kombiniert mit einem Index für Unregelmäßigkeiten der SST im östlichen tropischen Pazifik. Die SST Unregelmäßigkeit sollte über mindestens drei Messzeiträume positiv und mindestens 0,5°C über dem Durchschnitt liegen, während der SOI negativ und unter -1,0 für den gleichen Zeitraum bleiben sollte. Der Bereich, in dem diese Bedingungen vorherrschen sollten, wird angegeben mit jeweils 4° nördlich und südlich des Äquators und von 160°W bis zur Küste Südamerikas.⁷³

Trenberth selbst kommt in seinen Überlegungen zu dem Schluss, dass von einem El Niño-Ereignis gesprochen werden kann, wenn der über fünf Monate gleitende Mittelwert der SST in der Niño 3.4 Region für sechs oder mehr Monate den langfristigen Mittelwert um mindestens 0,4°C übersteigt.⁷⁴

In dieser Definition wird analog zur Definition der JMA ein Schwellenwert von 0,5 °C angegeben. Allerdings werden die Bedingungen bereits nach drei aufeinanderfolgenden Monaten, in denen die SST diesen Wert positiv überschreitet, als El Niño-Ereignis deklariert. Hinzu kommt, dass hier der SOI mit in die Berechnungen einbezogen wird. Somit werden sowohl SST als auch Luftdruckverhältnisse berücksichtigt.

⁷² vgl. Trenberth (1997), S. 2772

⁷³ vgl. Trenberth (1997), S. 2773

⁷⁴ vgl. Trenberth (1997), S. 2772

3.2.4.3 Oceanic Niño Index

Im Februar 2005 erlangten der NOAA National Weather Service, der Metereological Service of Canada und der National Metereological Service of Mexico einen Konsens in Bezug auf Index und Definitionen von El Niño- und La Niña-Ereignissen. Die offizielle Verlautbarung des Oceanic Niño Index (ONI) der drei nordamerikanischen Wetterdienste lautete:

„The index is defined as a three-month average of sea surface temperature departures from normal for a critical region of the equatorial Pacific (Niño 3.4 region; 120W-170W, 5N-5S). [...]“

North America's operational definitions for El Niño and La Niña, based on the index, are:

El Niño: A phenomenon in the equatorial Pacific Ocean characterized by a positive sea surface temperature departure from normal (for the 1971-2000 base period) in the Niño 3.4 region greater than or equal in magnitude to 0.5 degrees C (0.9 degrees Fahrenheit), averaged over three consecutive months.

La Niña: A phenomenon in the equatorial Pacific Ocean characterized by a negative sea surface temperature departure from normal (for the 1971-2000 base period) in the Niño 3.4 region greater than or equal in magnitude to 0.5 degrees C (0.9 degrees Fahrenheit), averaged over three consecutive months.“⁷⁵

Der ONI definiert somit ein El Niño- bzw. La Niña-Ereignis, wenn der über drei Monate gleitende Mittelwert der SST in der Niño 3.4-Region über einen Zeitraum von mindestens aufeinanderfolgenden fünf Monaten den Schwellenwert von $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ bezogen auf den Basiszeitraum von 1971-2000 über- bzw. unterschreitet.⁷⁶ Es werden keine Luftdruck- oder Windverhältnisse berücksichtigt. Diese Definition betrachtet demnach nur die Veränderungen der SST in der Niño 3.4-Region. Andere Faktoren bleiben unberücksichtigt.

⁷⁵ National Oceanic and Atmospheric Administration (2) online

⁷⁶ National Oceanic and Atmospheric Administration (3) online

Wie aus diesen Ausführungen hervorgeht, gibt es keine einvernehmliche Definition für ein El Niño-Ereignis. Dies hat dementsprechend Auswirkungen bei der Diskussion über die Vorhersagbarkeit, denn durch die Verwendung verschiedener Definitionen können sich auch die Prognosen verschieben. Grundsätzlich hat es aber bei aller Unterschiedlichkeit der Definitionen erhebliche Fortschritte im Wissen und der Vorhersagbarkeit von ENSO-Ereignissen gegeben.

4. ENSO-Vorhersagbarkeit

Seitdem es verbesserte Erkenntnisse über das ENSO-Phänomen und seinen Einfluss auf das weltweite Klima gibt, ist neben dem wissenschaftlichen auch das gesellschaftliche Interesse an ENSO-Vorhersagen deutlich gestiegen.⁷⁷

Das primäre Ziel einer ENSO-Vorhersage ist es, die relative Wahrscheinlichkeit von regionalen Klimaanomalien zu berechnen. In den letzten Jahrzehnten wurden viele Fortschritte gemacht, damit El Niño und seine globalen Folgen besser verstanden werden können.⁷⁸

Die Realisierbarkeit und die Grenzen der ENSO-Vorhersage gründen auf dem Wissen über die physischen Vorgänge des jeweiligen Ereignisses.⁷⁹ Dieses Wissen umfasst wichtige Charakteristika der Ereignisse in Form von Zeitablauf, Ausprägung und Struktur.⁸⁰ Studien lassen erkennen, dass die Atmosphäre empfindlich auf die Lage einer warmen Anomalie des Oberflächenwassers im äquatorialen Pazifik reagiert. Dennoch machen es die begrenzten Aufzeichnungen der Beobachtungen und das relativ unregelmäßige Auftreten der ENSO-Ereignisse schwer, solche Zusammenhänge in der Natur einwandfrei zu belegen.⁸¹

Die Verbesserung der Vorhersagbarkeit von ENSO-Ereignissen in den letzten 25 Jahren kann mehreren Faktoren zugeschrieben werden. Für die Verbesserung sind vor allem die erheblich optimierten Systeme der Datenverarbeitung, Datenanalyse und -assimilation, schnellere Computer mit höherer Speicherkapazität und ein gesteigertes Verständnis der physischen Vorgänge des tropischen Ozeans und der tropischen Atmosphäre, die der Entwicklung des ENSO-Phänomens zu Grunde liegen, verantwortlich.⁸²

Mittlerweile ist das ENSO-Phänomen die am besten vorhersagbare kurzzeitige Schwankung des Klimasystems der Erde. Dennoch sind die Grenzen der Vorhersagbarkeit weiterhin Gegenstand intensiver Diskussion.⁸³

⁷⁷ vgl. Barnston et al. (1999), S. 218

⁷⁸ vgl. Goddard und DeWitt (2005), S. 1

⁷⁹ vgl. Izumo et al. (2010), S. 168

⁸⁰ vgl. Goddard und DeWitt (2005), S. 1

⁸¹ vgl. Goddard und DeWitt (2005), S. 1

⁸² vgl. Barnston et al. (1999), S. 217

⁸³ vgl. Chen und Cane (2008), S. 3625

4.1 Grundlagen für die Vorhersagbarkeit

Vorläufer eines El Niño-Ereignisses sind der Anstieg des absoluten Wärmeinhalts im Westpazifik, der Anstieg der Ozeantemperaturen im Westpazifik in bestimmten Tiefen und die Abschwächung der Südostpassate im zentralen äquatorialen Pazifik.⁸⁴ Ein El Niño-Ereignis entwickelt sich somit aus einer positiven Interaktion von Ozean und Atmosphäre im zentralen Pazifischen Ozean, bei der die Stärke der Ostpassate mit der Temperatur des Meeresoberflächenwassers miteinander gekoppelt sind (Bjerknes-Feedback).⁸⁵ Eine warme Anomalie des Oberflächenwassers im zentralen Pazifik induziert sowohl eine Ostwärtsverlagerung des Tiefdruckgebiets in der Atmosphäre als auch anomale Westwinde im westlichen und zentralen Pazifik. Diese westlichen Winde wirken als zusätzlicher Antrieb und verstärken die anfängliche Anomalie der SST im Ozean. Diese Rückkopplungsschleife führt schließlich zu einem El Niño-Ereignis, welches typischerweise im borealen Winter seinen Höhepunkt hat.⁸⁶

Doch während dieser instabile Mechanismus keine einfachen Rückschlüsse auf die Vorhersagbarkeit erlaubt, können die dynamischen Vorgänge im Ozean Anzeichen für El Niño- oder La Niña-Ereignisse geben. Der Warmwassergehalt im äquatorialen Pazifik ist daher ein grundlegender Parameter für den ENSO-Zyklus. Er bestimmt dort die Temperatur des aufsteigenden Wassers. Ein hoher Warmwassergehalt begünstigt somit eine warme Anomalie, die bedingt durch das Bjerknes-Feedback zu einem El Niño-Ereignis führt.⁸⁷

Da Prozessabläufe innerhalb des Ozeans länger dauern und die tropische Atmosphäre auf größere Anomalien der SST reagiert, ist die Vorhersage von ENSO-Ereignissen eng verbunden mit der Verfügbarkeit präzis vorhergesagter SST.⁸⁸ Daher basiert die Vorhersage von ENSO-Ereignissen, d.h. die Wahrscheinlichkeit, dass ein El Niño- oder ein La Niña-Ereignis eintritt, auf Modellen, die die SST im äquatorialen Pazifik prognostizieren.⁸⁹

Um die SST im tropischen Pazifik vorherzusagen, existieren mehrere Strategien. Dazu wurden rein statistische Modelle, rein dynamische Modelle und Kombinationen aus dynamischen und statistischen Modellen entwickelt. Die Modelle, die in den einzelnen Strategien verwendet werden, haben einen unterschiedlichen

⁸⁴ vgl. The International Research Institute for Climate and Society (4) online

⁸⁵ vgl. Izumo et al. (2010), S. 168

⁸⁶ vgl. Izumo et al. (2010), S. 168

⁸⁷ vgl. Izumo et al. (2010), S. 168

⁸⁸ vgl. Jin et al. (2008), S. 648

⁸⁹ vgl. The International Research Institute for Climate and Society (5) online

Grad an Komplexität und verschiedene Anfangsszenarien.⁹⁰

4.2 Vorhersagemodelle

4.2.1 Dynamische Modelle

Dynamische Modelle bestehen aus einer Reihe mathematischer Ausdrücke, die die physischen Gesetzmäßigkeiten darstellen, welche bestimmen, wie sich der Ozean und die Atmosphäre verhalten.

Den dynamischen Modellen liegen sogenannte Zirkulationsmodelle zu Grunde. Diese Zirkulationsmodelle wurden sowohl für den Ozean (Oceanic General Circulation Model) als auch für die Atmosphäre (Atmospheric General Circulation Model) entwickelt. Darüber hinaus werden in den Berechnungen oft miteinander gekoppelte Zirkulationsmodelle (Coupled Atmosphere/Ocean General Circulation Model) verwendet.⁹¹

Um eine Prognose zu machen, werden in diese dynamischen Modelle die aktuellen Zustände des Ozeans und der Atmosphäre eingepflegt. Anschließend wird per Computer errechnet, wie die Bedingungen in der Zukunft sein werden.⁹²

Je besser die Zirkulationsmodelle sind, desto besser sind auch die Vorhersagen, die das gesamte dynamische Modell treffen wird.⁹³

4.2.2 Statistische Modelle

Statistische Modelle benutzen Beobachtungen aus der Vergangenheit, um Vorhersagen für die Zukunft zu machen. Damit statistische Modelle Vorhersagen entwerfen können, wird eine lange Historie an Beobachtungen und Aufzeichnungen benötigt, die der gleichen Art wie bei dynamischen Modellen entsprechen, aber mindestens bis zu 30-50 Jahren in der Zeit zurück gehen. Diese langen Aufzeichnungen von Beobachtungen werden benutzt, um Schlüsselmerkmale des Ozeans und der Atmosphäre zu identifizieren, die häufig vor anschließend folgenden Veränderungen der SST im tropischen Pazifik aufgetreten sind.⁹⁴

Statistische Modelle werden mit der langen Historie der Vorgängerereignisse und

⁹⁰ vgl. Jin et al. (2008), S. 648

⁹¹ vgl. Jin et al. (2008), S. 648

⁹² vgl. The International Research Institute for Climate and Society (5) online

⁹³ vgl. Goddard und DeWitt (2005), S. 1

⁹⁴ vgl. The International Research Institute for Climate and Society (5) online

deren nachgefolgten ENSO-Bedingungen „trainiert“, so dass sie, wenn ihnen die aktuellen Bedingungen präsentiert werden, in der Lage sind, die Wahrscheinlichkeit der verschiedenen möglichen ENSO-Bedingungen für die kommenden Messzeiträume vorherzusagen. Diese Art von Modell beobachtet die Vorgänge objektiv und quantitativ, was einem Beobachter nicht oder nur schwer gelingen würde. Während in dynamischen Modellen die SST als Ursache für ENSO-Phänomene angesehen wird, ist die Ursache bei statistischen Modellen nicht nur unbekannt, sondern für die Vorhersage auch nicht relevant. Das Modell erstellt Vorhersagen nur auf der Basis dessen, was vorher passiert ist. Welche dieser Veränderungen tatsächlich ausschlaggebend für ein El Niño-Ereignis war, kann aus diesem Modell nicht abgelesen werden. Statistische Modelle reichen über sehr einfache bis hin zu komplizierten Schemata.⁹⁵

4.2.3 Vergleich dynamischer und statistischer Modelle

Es ist nicht eindeutig, ob dynamische oder statistische Modelle genauere Darstellungen der Anomalien der SST im äquatorialen Pazifik während eines El Niño-Ereignisses darstellen können. Statistische Modelle sind dazu entworfen, die beobachteten Muster der Variabilität darzustellen. Aber statistische Modelle können nur Charakteristika vorhersagen, die übereinstimmend mit bereits vorher beobachteten Ereignissen sind. Doch in gewissem Maße ist jedes El Niño-Ereignis einzigartig. Dynamische Modelle können sich an den Gleichungen der Bewegung und dem aktuell beobachteten Zustand des Ozeans orientieren. Dennoch hat die Mehrheit der Modelle immer noch erhebliche Fehler oder Störungen in der Verortung von ENSO.⁹⁶

Im Allgemeinen wird angenommen, dass dynamische Modelle wissenschaftlicher sind, weil sie ausdrücklich die physikalischen Gleichungen benutzen und damit versuchen, Ereignisse in Bezug auf ihre physikalischen Ursprünge und Auswirkungen genau zu erfassen. Darüber hinaus können dynamische Modelle mit nie dagewesenen klimatischen Ereignissen umgehen, denn die grundlegenden physischen Zustände würden sich sowohl auf bekannte als auch auf neue Situationen anwenden lassen. Statistische Modelle können neue Situationen nur als Hochrechnung von historisch beobachteten erkennen. Aber sie laufen Gefahr, etwaige neue

⁹⁵ vgl. The International Research Institute for Climate and Society (5) online

⁹⁶ vgl. Goddard und DeWitt (2005), S. 2

Regeln, die nur in neuen Situationen auftreten, zu verpassen. Daher hängt die Genauigkeit statistischer Modelle von der Qualität der historischen Daten ab, die benutzt wurden, um sie zu trainieren. Ist die Qualität der Daten über einen langen Zeitraum schlecht, so wird auch die Prognose schlecht sein.⁹⁷

Da die physikalischen Gleichungen komplexer sind als die statistischen, benötigen dynamische Modelle weitaus mehr Computerressourcen. Dynamische Modelle nähern einige der physischen Daten der Atmosphäre und des Ozeans, weil sie auf räumlichen Skalen arbeiten, die zu klein sind, um in dem jeweiligen Modell berücksichtigt zu werden.⁹⁸

Die folgende Abbildung (Abbildung 13) zeigt Vorhersagen über die SST in der Niño 3.4-Region von statistischen und dynamischen Modellen. Die Vorhersagen werden für einen Zeitraum von neun Monaten getroffen. Jeder einzelne Monatswert wird berechnet über den gleitenden Mittelwert eines Dreimonatszeitraums. Angezeigt wird die prognostizierte Abweichung der SST von dem zu Grunde gelegten Durchschnitt (0.0) der letzten Jahre. Zu beachten gilt, dass der verwendete Durchschnitt von Modell zu Modell unterschiedlich gewählt wurde. Die 0.0-Linie stellt in dieser und auch in Abbildung 14 somit nur den Wert dar, den das jeweilige Modell zu dem Zeitpunkt als Durchschnitt der vergangenen Jahre festlegt.

⁹⁷ vgl. The International Research Institute for Climate and Society (5) online

⁹⁸ vgl. The International Research Institute for Climate and Society (5) online

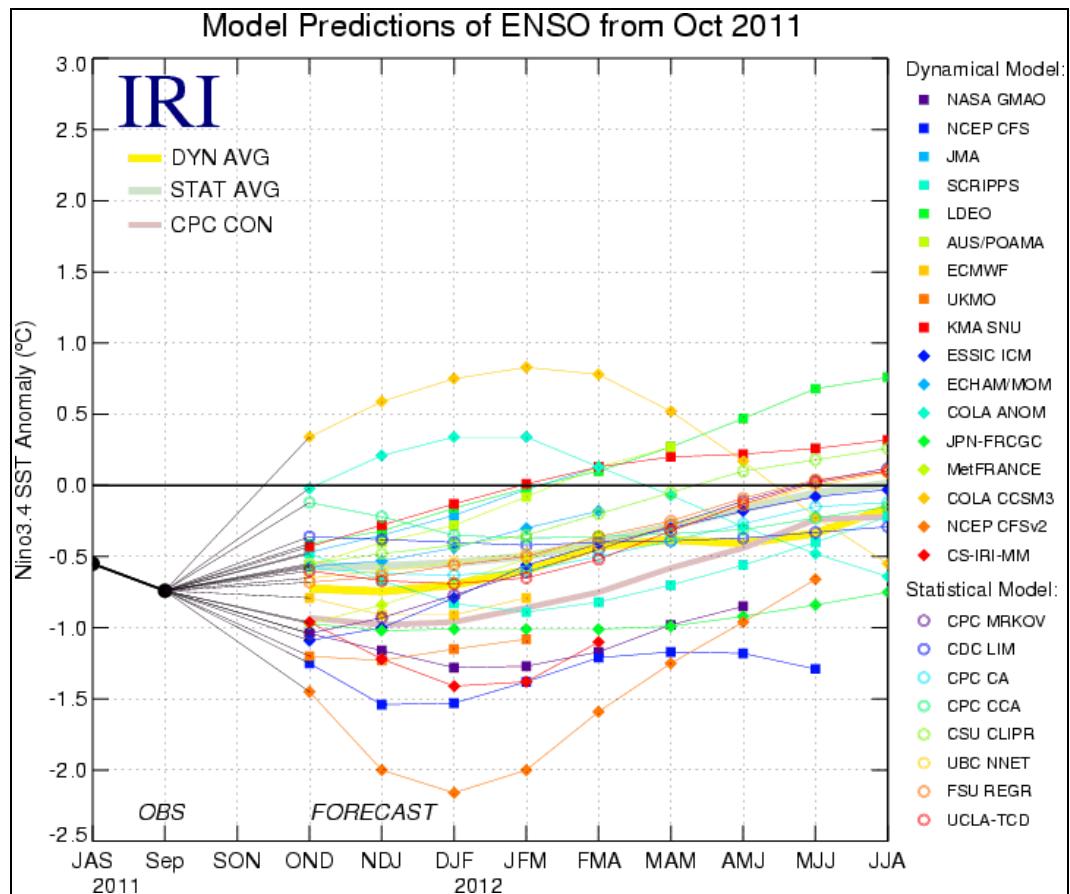


Abbildung 13: ENSO-Vorhersagen verschiedener Modelle ab Oktober 2011⁹⁹

In der Abbildung wird deutlich, dass verschiedene Modelle verschiedene Vorhersagen treffen. Betrachtet man zum Beispiel die Vorhersage für April 2011, so liegt hier die Abweichung der vorhergesagten SST vom zu Grunde gelegten Durchschnitt zwischen $+0,5^{\circ}\text{C}$ (COLA CCSM3) und $-1,25^{\circ}\text{C}$ (NCEP CFSv2). Für Januar 2012 liegt die Spanne sogar zwischen $+0,75^{\circ}\text{C}$ und $-2,2^{\circ}\text{C}$. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Vorhersagen liegen in den unterschiedlichen Modelldesigns.¹⁰⁰

Die Abbildung 14 zeigt nicht nur die Vorhersagen für die kommenden Monate, sondern auch der seit Januar 2010 vorangegangenen Monate. Die realen Beobachtungen (schwarze Linie) wurden bis zum letzten berechneten Dreimonatszeitraum angezeigt.

⁹⁹ The International Research Institute for Climate and Society (3) online

¹⁰⁰ vgl. The International Research Institute for Climate and Society (3) online

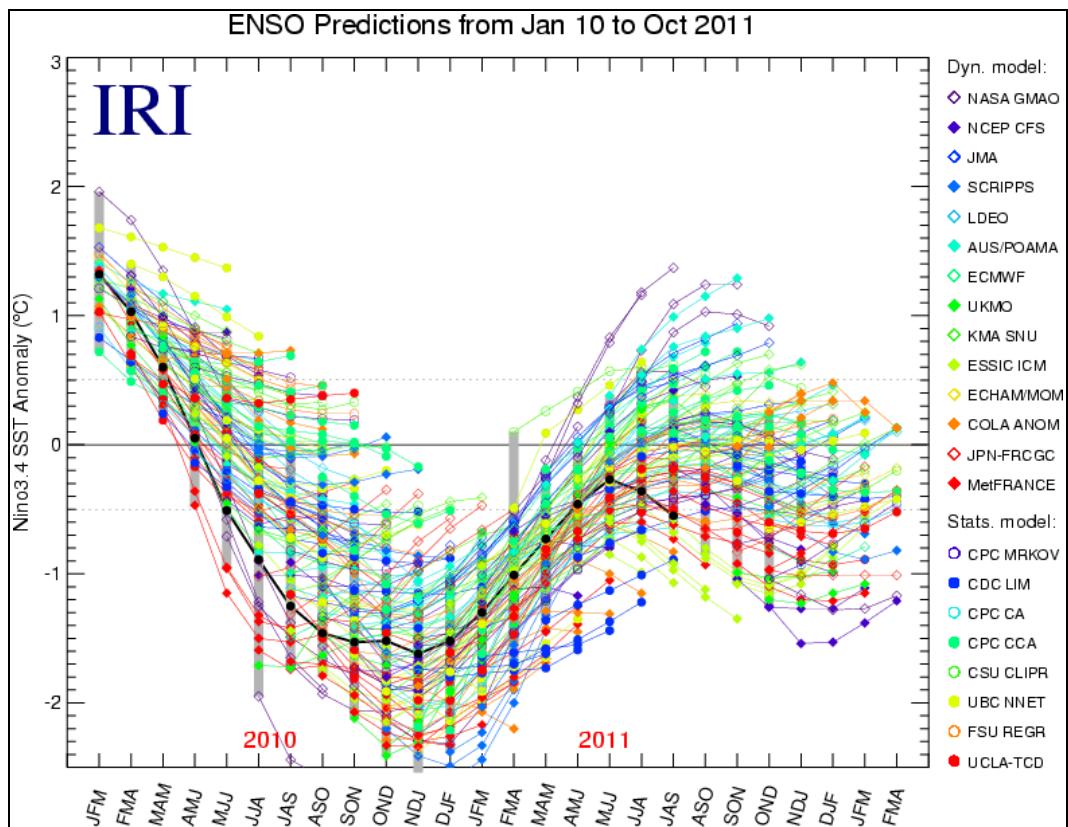


Abbildung 14: ENSO-Vorhersagen verschiedener Modelle – Januar bis Oktober 2011¹⁰¹

Auch in dieser Abbildung wird verdeutlicht, dass die unterschiedlichen Modelle unterschiedliche Vorhersagen treffen. Dennoch kann erkannt werden, dass die Vorhersagen dem Trend der real beobachteten SST folgen. Auch hier ist eine gewisse Bandbreite der Vorhersagen erkennbar. Ebenso kann man ablesen, dass viele Modelle für die Zeit nach Mai 2011 eine weitere Annäherung der SST an den zu Grunde gelegten Durchschnitt prognostizierten, obwohl sich die tatsächlich beobachtete Temperatur in der Folge wieder negativ zum Durchschnitt entwickelte.

Beide Abbildungen zeigen, dass es in den Prognosen keine Unterschiede zwischen statistischen und dynamischen Modellen gibt. Alle betrachteten Modelle bewegen sich in einem gewissen Spektrum. Auffällig hingegen ist, dass es recht große Abweichungen der Vorhersagen von den in der Realität beobachteten SST gibt. Nicht selten übersteigen diese Abweichungen $\pm 1^{\circ}\text{C}$, was eine erhebliche Differenz darstellt. Dies wirft automatisch die Frage der Qualität der Vorhersagemodelle auf.

¹⁰¹ The International Research Institute for Climate and Society (3) online

4.3 Qualität der Vorhersagemodele

Derzeitige ENSO-Vorhersagemodele zeigen trotz großer Unterschiede in ihrer Komplexität gute Prognosefähigkeiten. Diese Fähigkeiten scheinen derzeit an einem annehmbaren Niveau angekommen zu sein. Dennoch gibt es stets Raum für Verbesserungen.¹⁰²

Um die Qualität der Vorhersagemodele an einem Beispiel zu messen, wird häufig der El Niño von 1997/1998 als Bewertungsgrundlage verwendet. Für den 1997/1998er El Niño hat kein Modell zuverlässige Vorhersagen getroffen. Weder in der langen Vorlaufzeit von ein bis zwei Jahren noch in der mittleren Vorlaufzeit von sechs bis elf Monaten, konnten zufriedenstellende Prognosen hervorgebracht werden. Die meisten Modelle sagten den Beginn und das Abklingen des El Niños falsch voraus und waren darüber hinaus nicht in der Lage, weder die gesamte Dauer noch die Intensität vorherzusagen.¹⁰³

Die dynamischen Modelle, die derzeit auf dem aktuellsten Stand der Technik sind, agieren genauso gut, wie die besten statistischen Modelle. Die statistischen Modelle sind ausgereift. Dynamische Modelle hingegen verbleiben weit von der Perfektion, d.h. Verbesserungen sind weiter möglich. Bedeutende Verbesserungen benötigen erhebliche menschliche, beobachtende und EDV-Ressourcen.¹⁰⁴

Im einzelnen können bessere Modellanfangsszenarien, bessere Datenassimilation, bessere Simulation der Oberflächentemperatur und bessere Darstellungen der relevanten Prozesse außerhalb des tropischen Pazifiks dazu führen, dass ENSO-Vorhersagen optimiert werden.¹⁰⁵ Weitere Ausführungen zur Optimierung der Modelle folgen im Kapitel 4.4.

Die Fähigkeit, ENSO-Ereignisse und deren weiteren Verlauf vorherzusagen, steigt signifikant während der El Niño- und La Niña-Ereignisse selbst, d.h. nachdem das Ereignis bereits seinen Anfang genommen hat. Die Möglichkeit, bessere Vorhersageinformationen während eines El Niño-Ereignisses zu erhalten, ist in gewissem Maße abhängig von der Genauigkeit der Informationen über das jeweilige El Niño-Ereignis an sich. Je verlässlicher ENSO-Vorhersagemodele die Ausprägung, Zeitablauf und Struktur eines El Niño-Ereignisses erfassen können, desto verlässlicher kann eine Vorhersage getroffen werden.¹⁰⁶

Unabhängig davon, welches ENSO-Vorhersagemodele angewendet wird, ist das

¹⁰² vgl. Chen und Cane (2008), S. 3625

¹⁰³ vgl. Fedorov et al. (2003), S. 911

¹⁰⁴ vgl. Goddard und DeWitt (2005), S. 1

¹⁰⁵ vgl. Chen und Cane (2008), S. 3637

¹⁰⁶ vgl. Goddard und DeWitt (2005), S. 1

Vorhersehen von ENSO in einigen Jahreszeiten erheblich schwerer als in anderen. Vorhersagen, die vor dem Frühling, dem ein El Niño-Ereignis folgt, gemacht werden, zeigen typischerweise begrenzte Qualifikation.¹⁰⁷ Auf diese Grenze der Vorhersagbarkeit wird in Kapitel 4.5.1 näher eingegangen.

Ebenso ist eine Abnahme der Qualität der Vorhersagen mit steigender Vorlaufzeit auszumachen. Dies ist sehr gut aus Abbildung 15 zu erkennen. Hier ist die Korrelation für rückwirkende Vorhersagen des 1981/1982 El Niño-Ereignisses aufgeführt. In der Abbildung sind sowohl statistische (roter und gelber Balken) als auch dynamische Modelle (grüner, blauer und hellblauer Balken) dargestellt. Sehr gut aus der Abbildung zu erkennen ist, dass je früher die Vorhersage vor dem Ereignis getroffen wird, desto geringer ist die Korrelation mit der tatsächlich beobachteten SST. Daraus kann geschlossen werden, dass die Vorhersagequalität mit zunehmender zeitlicher Entfernung zum Ereignis abnimmt. Weiterhin ist gut zu erkennen, dass sich statistische und dynamische Modelle in ihrer Genauigkeit etwa gleich verhalten.¹⁰⁸

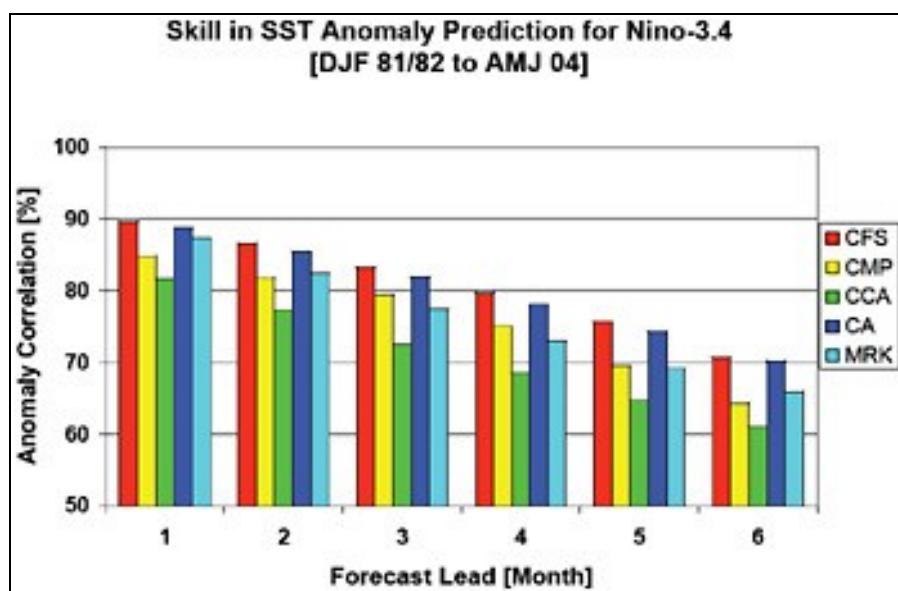


Abbildung 15: Fähigkeiten der SST-Vorhersage¹⁰⁹

¹⁰⁷ vgl. Webster und Hoyos (2010), S. 152

¹⁰⁸ vgl. National Research Council (2010), S. 104

¹⁰⁹ National Research Council (2010), S. 104

4.4 Verbesserung der Vorhersagen

Kritische Bewertungen der Vorhersagen der dynamischen und statistischen Modelle der ENSO-Zustände sind notwendig, um verbesserte Erkenntnisse über das aktuelle Leistungsvermögen der Vorhersagemodele zu erlangen.¹¹⁰

Viele Wissenschaftler, die sich mit dem Ozean und der Atmosphäre beschäftigen, erwarten, dass sich dynamische Modelle mit steigenden Computerressourcen und besserem Verständnis der physikalischen Ausprägungen von ENSO als überlegen erweisen werden. Da statistische Modelle viel schneller und weniger kostenintensiv sind, wird ihre Fähigkeit oft als Grundlage genommen, aufgrund dessen die Fähigkeiten der teureren dynamischen Modelle beurteilt werden.¹¹¹

Dennoch sind sowohl dynamische als auch statistische Modelle nicht fehlerfrei. Bei dynamischen Modellen werden die physischen Vorgänge im Ozean und in der Atmosphäre nur unzureichend dargestellt. Darüber hinaus werden fehlerhafte Parameter verwendet. Bei statistischen Modellen führt die Wahl unangemessener und die Verwendung zu vieler Vorhersageparameter ebenso zu Fehlern wie ein unrealistischer Modellaufbau.¹¹² Statistische Modelle werden sich nur marginal verbessern, in dem sich Jahrzehnte mit El Niño-Historie häufen, wohingegen schnellere Computer, bessere Beobachtungen und komplettere Modelle die dynamischen Modelle schneller vorantreiben werden.¹¹³

Ein geeigneter Ansatz, um die Qualität von ENSO-Vorhersagen zu verbessern, ist ein Zusammenspiel von Berechnungen, wobei jede bei einer geringfügig anderen Anfangsbedingung startet. Die Vorhersagemöglichkeiten sind jedoch insofern begrenzt, da die unterschiedlichen Anfangsbedingungen durch zufällige Störungen Fehler beinhalten.¹¹⁴ Die Qualität der Vorhersagen profitiert dann von Multi-Modell-Kombinationen, wenn eine Gruppe von Modellen ähnliche Leistungsniveaus zeigt und jedes Modell Fehler und Störungen enthält, die spezifisch für das Modell oder die Technik sind. Eine Kombination mehrerer ENSO-Vorhersagen liefert daher eine bessere Prognose als jedes einzelne Modell individuell.¹¹⁵ Dies ist daran erkennbar, dass in Abbildung 14 eine Großzahl der Vorhersagen nur gering von der tatsächlich beobachteten Temperatur abweicht.

Letztendlich sollten die besten Prognosen die besten vorhandenen Informationen

¹¹⁰ vgl. Barnston et al. (1999), S. 217

¹¹¹ vgl. The International Research Institute for Climate and Society (5) online

¹¹² vgl. Barnston et al. (1999), S. 235

¹¹³ vgl. Kerr (2000), S. 258

¹¹⁴ vgl. Fedorov et al. (2003), S. 916

¹¹⁵ vgl. Goddard und DeWitt (2005), S. 2

nutzen, was heißt, dass sie Informationen aus sowohl dynamischen als auch statistischen Modellen in ihre Vorhersage mit einfließen lassen.¹¹⁶ Wenn man bedenkt, dass deterministische Vorhersagen unzuverlässig sind, ist es vorzuziehen, wahrscheinliche Prognosen auf der Basis von mehreren Vorhersagen zu treffen.¹¹⁷

4.5 Grenzen der Vorhersagbarkeit

Trotz der mittlerweile recht langen ENSO-Forschung haben die Vorhersagemodele nur teilweise eine annehmbare Qualität erreicht. Denn weiterhin können keine Vorhersagen über die Intensität und die Dauer der Ereignisse gemacht werden. Ebenso scheint es eine Art Grenze bzw. einen Zeitpunkt zu geben, vor dem keine zuverlässigen Vorhersagen gemacht werden können.

4.5.1 Spring Barrier

Diverse Fortschritte, Erkenntnisse und verbesserte Modelle wurden erarbeitet. Dennoch bleibt es eine große Herausforderung, ENSO-Ereignisse mit einer Vorlaufzeit von mehreren Monaten vorherzusagen.¹¹⁸

Einzelne El Niño- und La Niña-Ereignisse neigen dazu, sich zwischen April und Juni zu entwickeln. Einmal entwickelt, dauern sie bis zum folgenden Februar oder Mai. Hat sich ein El Niño-Ereignis einmal während des nordhemisphärischen Sommers ausgebildet, ist es nicht mehr schwer, seinen restlichen Verlauf vorherzusagen. Eine viel schwierigere Aufgabe ist es hingegen, im vorangegangenen Januar bis April vorherzusagen, was zwischen März und Juni passieren wird. Die Schwierigkeit, vor diesem Teil des Jahres Vorhersagen zu treffen, wird häufig „spring barrier“ genannt.¹¹⁹ An dem Zeitpunkt, der zwei Monate vor Beginn und neun Monate vor dem Höhepunkt des Ereignisses liegt, scheinen die El Niño-Vorhersagen daher an eine Grenze zu stoßen. Sämtliche bisher verfügbaren Theorien und Ansätze können ein El Niño-Ereignis nicht vor dem Frühling der Nordhemisphäre vorhersagen.¹²⁰

¹¹⁶ vgl. Goddard und DeWitt (2005), S. 2

¹¹⁷ vgl. Fedorov et al. (2003), S. 917

¹¹⁸ vgl. Izumo et al. (2010), S. 168

¹¹⁹ vgl. The International Research Institute for Climate and Society (5) online

¹²⁰ vgl. Webster und Hoyos (2010), S. 152

4.5.2 Einfluss des Indian Ocean Dipoles

Izumo und Kollegen (2010) deuten in einer Studie an, dass ein besseres Verständnis der Rolle des Indian Ocean Dipols (IOD) es erlauben könnte, ENSO-Ereignisse länger als ein Jahr im Voraus vorherzusagen. Somit würde die oben genannte „spring barrier“ überschritten werden.¹²¹

Der IOD ist das Äquivalent zu ENSO im Indischen Ozean. Während einer positiven IOD-Phase treten im Sommer ungewöhnlich kalte SST vor der Küste Sumatras auf, was eine schwächere lokale Konvektion und östliche Windanomalien mit sich bringt. Anschließend werden die anfänglichen ungewöhnlichen Temperaturen des Oberflächenwassers durch das Bjerknes-Feedback unterstützt. Seine stärkste Ausprägung hat der IOD im Oktober und flacht danach schnell ab. Der IOD ist ein intrinsischer Vorgang des Indischen Ozeans, hat aber die Tendenz, mit ENSO-Ereignissen synchron aufzutreten.¹²²

Die fast zweijährige Oszillation der SST zwischen dem östlichen und westlichen Teil des Indischen Ozeans wird als eine markante Komponente der Entstehung von ENSO-Ereignissen angesehen. Izumo und Kollegen deuten an, dass eine negative IOD-Phase, die charakterisiert wird durch einen warmen östlichen und einen kalten westlichen Indischen Ozean, dazu neigt, dass ihr mehr als ein Jahr später die Entwicklung eines El Niño-Ereignisses folgt.¹²³

Demzufolge ist eine negative IOD-Phase ein starker Indikator für ein El Niño-Ereignis, welches erst 14 Monate später seinen Höhepunkt hat. Positive IOD-Phasen gehen einem La Niña-Ereignis voraus.¹²⁴

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen den Zusammenhang zwischen der jeweiligen Phase des IOD und die damit verbundenen Auswirkungen auf den westlichen Pazifik.

¹²¹ vgl. Webster und Hoyos (2010), S. 153

¹²² vgl. Izumo et al. (2010), S. 168

¹²³ vgl. Webster und Hoyos (2010), S. 153

¹²⁴ vgl. Izumo et al. (2010), S. 168

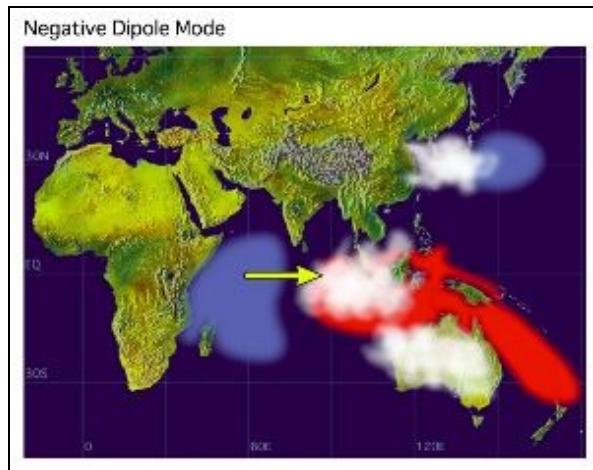


Abbildung 16: Negative Phase des IOD¹²⁵

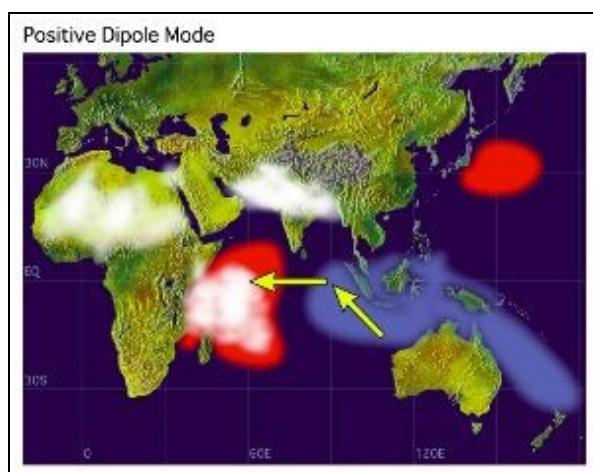


Abbildung 17: Positive Phase des IOD¹²⁶

In den Abbildungen sind warme Anomalien der SST rot eingefärbt, kalte dementsprechend blau. Die gelben Pfeile zeigen die anomalen Windverhältnisse während des jeweiligen Ereignisses an. Die weißen Flächen stellen Gebiete erhöhter Konvektion dar.¹²⁷

Nachvollzogen werden kann, dass die Bedingungen im östlichen Indischen Ozean großen Einfluss auf die Bedingungen im westlichen Pazifischen Ozean haben. Die IOD-Phasen können daher möglicherweise als Vorläufer von ENSO-Ereignissen identifiziert werden. Während einer negativen IOD-Phase erlebt der südostliche Indische Ozean eine Erwärmung, die im Oktober ihren Höhepunkt erreicht. Zu der Zeit des Höhepunkts kommen im westlichen und zentralen Pazifik vermehrt östliche Winde auf. Diese Anomalien begünstigen den Aufbau von warmem

¹²⁵ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology online

¹²⁶ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology online

¹²⁷ vgl. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology online

Wasser im Westpazifik, was eine günstige Voraussetzung für die Entwicklung eines El Niño-Ereignisses darstellt. Nach November nimmt die östliche Bedingung des IODs relativ plötzlich ab. Dieses führt zu einem schnellen Zusammenbruch der anomalen östlichen Winde im zentralen Pazifik, was ein El Niño-Ereignis zur Folge haben kann.¹²⁸

Der genaue Ablauf der Ereignisse und Interaktionen wird in folgender Abbildung nachvollziehbar dargestellt.

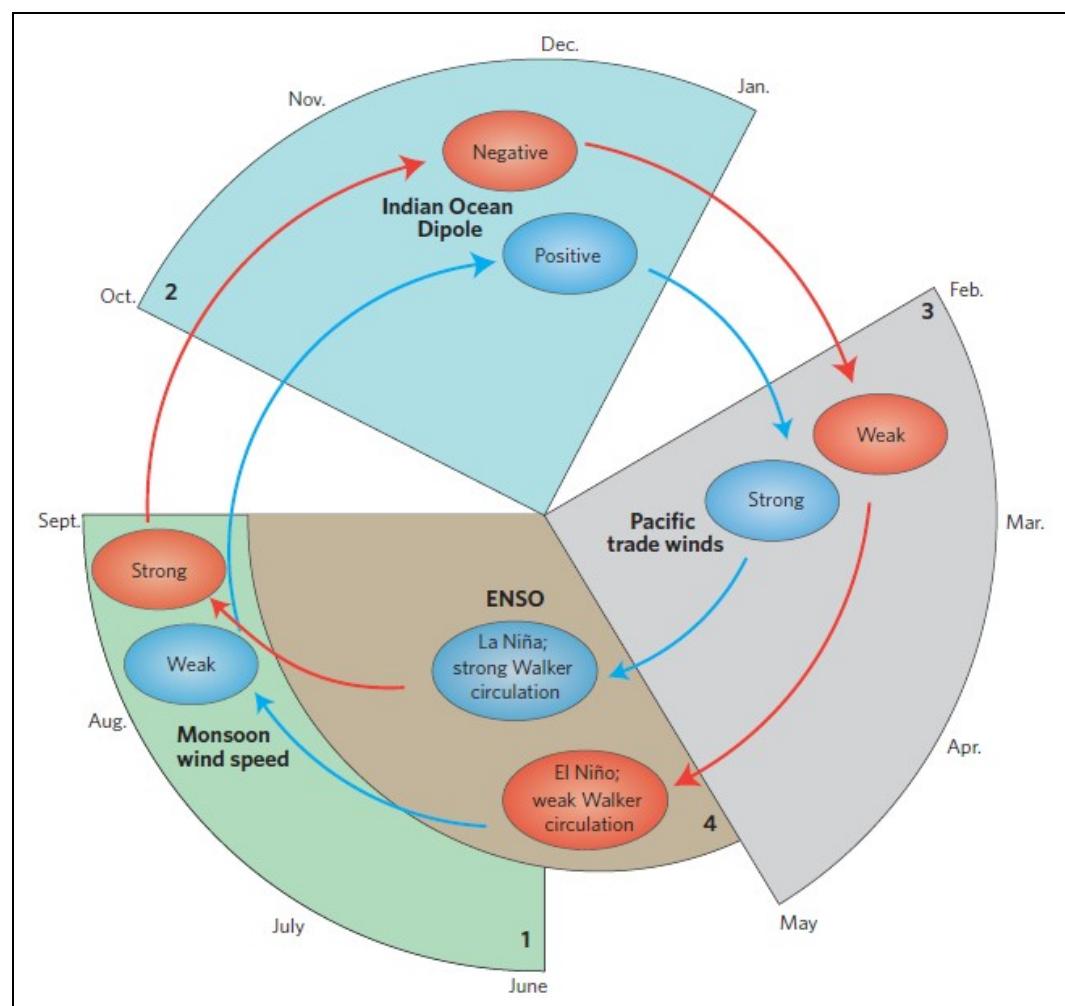


Abbildung 18: Schematische Darstellung der zweijährlichen Oszillation im Pazifischen und Indischen Ozean¹²⁹

Beginnt man die Betrachtung der Abbildung in Phase 1 (grüner Sektor), erkennt man, dass im Herbst (Ende September) die Monsun-Winde verstärkt wehen. Diese haben in der zweiten Phase (blauer Sektor) gegen Ende November/Anfang Dezember eine negative Phase des IOD zur Folge. Diese negative Phase des IOD

¹²⁸ vgl. Izumo et al. (2010), S. 169

¹²⁹ Webster und Hoyos (2010), S. 152

begünstigt zwischen Februar und März die Abschwächung der Passatwinde zu Beginn der dritten Phase (grauer Sektor). Die schwachen Passatwinde begünstigen zu Beginn der vierten Phase (brauner Sektor) zwischen Mai und Juni eine schwache Walker-Zirkulation und initiieren somit ein El Niño-Ereignis. Dem El Niño-Ereignis folgen zwischen August und September schwache Monsun-Winde, was zwischen Januar und Dezember eine positive Phase des IOD zur Folge hat. Die positive Phase des IOD ruft starke Passatwinde hervor, die gegen März Auftreten und eine starke Walker-Zirkulation begünstigen. Ein La Niña-Ereignis wird initiiert.

Die Abfolge der Ereignisse hat eine zweijährige Umlaufzeit. Da die Anomalie des IOD normalerweise im Herbst oder Winter abschwächt, stellt diese Theorie eine Brücke über die Frühlingsgrenze („spring barrier“) hinaus dar. Eine eingehende Prüfung ist daher notwendig. Es muss getestet werden, ob die beschriebenen Interaktionen ein wiederkehrendes Merkmal des Klimas des Indischen und des Pazifischen Ozeans sind und ob sie nicht nur begrenzt für den Betrachtungszeitraum 1981 – 2008 gelten.¹³⁰

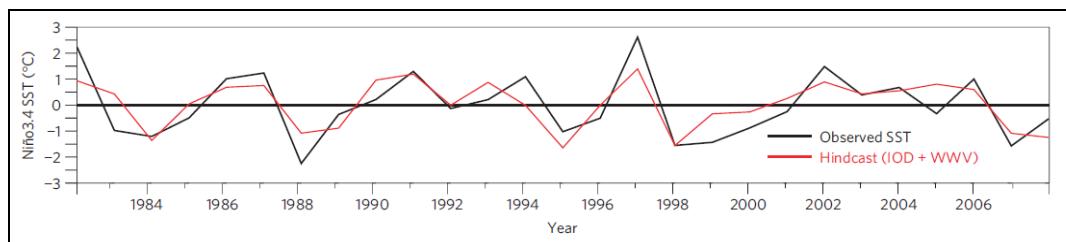


Abbildung 19: Beobachtete und vorhergesagte SST (September – November) anhand von Warmwassergehalt- und IOD-Indizes mit 13 Monaten Vorlaufzeit¹³¹

Abbildung 19 zeigt die tatsächlich beobachtete und die vorhergesagte SST, welche unter Berücksichtigung des IOD-Status und des Warmwassergehalts 13 Monate vorher gemacht worden wären. Es handelt sich um im Nachhinein berechnete Werte. Deutlich wird, dass die Tendenz der Vorhersagen mit den tatsächlich beobachteten Werten einhergeht.

Ob das alleinige Berücksichtigen des zweijährigen Rhythmus' zu einer verbesserten Vorhersagbarkeit von ENSO-Ereignissen führt, bleibt fraglich. Darüber hinaus ist bisher nicht bekannt, ob man durch die Einbeziehung des IOD die

¹³⁰ vgl. Webster und Hoyos (2010), S. 153

¹³¹ Izumo et al. (2010), S. 169

Intensität der anomalen Bedingungen und die betroffene Region vorhersagen kann.¹³²

Insgesamt wird offensichtlich, dass sowohl der Pazifische als auch der Indische Ozean in die dynamischen und die statistischen Vorhersagemodele miteinbezogen werden müssen, um den Vorhersagehorizont von El Niño- und La Niña-Ereignissen zu erweitern.¹³³

¹³² vgl. Webster und Hoyos (2010), S. 153

¹³³ vgl. Webster und Hoyos (2010), S. 153

5. Expertenbefragung

Die Erforschung der ENSO-Ereignisse hat inzwischen eine lange Geschichte. Eine wissenschaftliche Betrachtung der Ereignisse erfolgt mittlerweile seit mehr als 30 Jahren. Besonders nach dem El Niño-Ereignis von 1997/1998 wurde in dem Bereich eine intensive Forschung betrieben. Wie in Kapitel 4.5 beschrieben haben diese umfassenden Forschungen nicht dazu geführt, ENSO-Ereignisse in einer gewünschten Qualität und mit einer erhofften Vorlaufzeit vorherzusagen. Relativ gute und sichere Vorhersagen können immer noch erst dann getroffen werden, wenn das Ereignis bereits seinen Anfang nimmt. Eine Vorhersage über die wirkliche Intensität des bevorstehenden Ereignisses ist trotz aller Modelle und Theorien weiterhin nicht möglich. Lediglich die in Kapitel 4.5.2 beschriebenen Untersuchungen über den Einfluss des IOD können zu Vorhersagen führen, die zumindest zeitlich über den Horizont der meisten anderen Modelle hinausgehen. Bei der Sichtung der Literatur zu diesem Themenkomplex war es auffällig, dass viele Untersuchungen und Arbeiten nach dem El Niño-Ereignis von 1997/1998 aufkamen. Anhand dieses Ereignisses wurden auch die meisten Vorhersagemodele entwickelt. Es fällt auf, dass es in jüngerer Zeit - sieht man von der Betrachtung des IOD mal ab - keine neuen Ansätze gibt. Ob der extremen Folgen und des bekannten Einflusses der ENSO-Ereignisse für die betroffenen Regionen, verwundert dies hingegen.

Um herauszufinden, warum keine präziseren Vorhersagen getroffen werden können und um zu erfahren, welche neueren Ansätze die Forschung derzeit verfolgt, wurden Experten befragt. Alle Befragten haben sich zumindest eine Zeit lang intensiv mit ENSO-Ereignissen beschäftigt. Es handelt sich somit um ausgewiesene Experten auf diesem Gebiet.

Die Befragung bzw. der Kontakt erfolgte per Email. Angeschrieben wurden insgesamt 29 Experten, von denen zehn antworteten. Das gesamte Schreiben kann dem Anhang entnommen werden. Beantworten sollten die Experten diese Fragen:

- 1.) Unter welchen Umständen kommt es zu El Niño-Situationen?
- 2.) Ab welchem Zeitpunkt im Jahr zeichnen sich diese Ereignisse ab?
- 3.) Ist ein El Niño und seine Intensität vorhersagbar?
- 4.) Welche Ansätze in der neueren Forschung gibt es, um die Vorhersagbarkeit zu verbessern?
- 5.) Auf welche Literatur können Sie zum weiterführenden Lesen hinweisen?

Folgende Experten wurden angeschrieben:

Tabelle 1: Liste der angeschriebenen Experten

Name	Organisation
Dr. Timothy Barnett	University of California
Dr. Gerald Bell	NCAR
Dr. Fabrice Bonjean	ESR / SATOCEAN
Dr. Mark Cane	NCAR
David B. Enfield	NOAA
Jana Goldmann	NOAA
John Gunn	ESR
Dr. Mike Halpert	NOAA
Dr. James Hurrel	NCAR / UCAR
Dr. ChuangLi Jiang	ESR
Dr. Eric Johnson	ESR
Dr. Hsun-Ying Kao	ESR
Dr. William Kessler	NOAA
Prof. Vernon Kousky	NCAR
Dr. Gary Lagerloef	ESR
Prof. Dr. Mojib Latif	MPI für Meteorologie
Dr. Michelle L'Heureux	NOAA
Katja Lohmann	MPI für Meteorologie
Prof. Roger Lukas	University of Hawaii
Dr. Gerald Meehl	NCAR
Prof. David Neelin	UCLA
Maike Nicolai	IFM Geomar
Dr. James O'Brien	NCAR
Dr. Eugene Rasmusson	NCAR
Dr. Kevin E. Trenberth	NOAA
Christopher Vaccaro	NOAA
Prof. Michael Wallace	NCAR
Prof. Peter Webster	University of Colorado
Dr. Stephen Zebiak	NCAR

Die Originalantworten der Experten sind ebenfalls im Anhang beigefügt.

5.1 Antworten der Experten

5.1.1 Dr. Fabrice Bonjean

Bonjean gibt an, dass er nun in der freien Wirtschaft arbeite und daher leider nicht die Zeit dafür habe, die Fragen angemessen zu beantworten. Keine der Fragen könne kurz beantwortet werden, ohne zunächst ein paar grundlegende Mechanismen des tropischen Klimas und des äquatorialen Ozeans zu erklären. Weiter gibt Bonjean an, dass es nützlich sei, sich mit den Grundlagen vertraut zu machen, indem (Universitäts-)Webseiten durchsucht würden, die sich dem ENSO-Phänomen widmen. Ein gutes Buch sei „The Ocean-Atmosphere Interaction“ herausgegeben von Wang, Xie und Carton.

Des Weiteren verweist Bonjean auf die Webseiten von NOAA. Diese beinhalten aktuelle ENSO-Daten und -Vorhersagen und wurden bei der Erstellung dieser Arbeit berücksichtigt.

5.1.2 Dr. Mark Cane

Cane verweist auf einige seiner Paper, das IRI (International Research Institute for Climate and Society) und Lisa Goddard. Der Informationen der Homepage des IRI wurde sich bereits in Kapitel 3 und 4 dieser Arbeit bedient. Die Essenz der Informationen ist, dass es weiterhin Möglichkeiten der Verbesserung der Vorhersagemodelle gibt. Weiterhin wird als eine mögliche Grenze der Vorhersagbarkeit die „spring barrier“ (siehe Kapitel 4.5.1) genannt. Neuere Tendenzen der ENSO-Forschung werden nicht erwähnt. Frau Lisa Goddard wurde ebenso kontaktiert, aber leider konnte kein Eingang einer Rückmeldung verzeichnet werden.

In dem Paper „El Niño prediction and predictability“ wird angedeutet, dass ENSO die beste vorherzusagende klimatische Schwankung der Erde sei. Die Grenzen der Vorhersagbarkeit seien jedoch immer noch Mittelpunkt reger Diskussion. Aktuelle Vorhersagemodelle hätten vergleichbare Fähigkeiten und insgesamt ein annehmbares Niveau erreicht. Dennoch gebe es Platz für Verbesserungen.

Die Ausführungen in „The evolution of El Niño, past and future“ verdeutlichen, dass Daten von Korallen zeigten, dass es erhebliche Schwankungen in Abständen von Jahrzehnten und längere Schwankungen der Stärke des ENSO-Zyklus in den letzten 1000 Jahren gegeben habe. Dies könne durch vulkanische Aktivitäten und Schwankungen in der Sonneneinstrahlung verursacht worden sein. Die ausführli-

chen Zirkulationsmodelle, die für Klimaprognosen eingesetzt werden, ließen die Zukunft von ENSO unbestimmt. Einige würden mehr Aktivität voraussagen, andere weniger. Ein hochgradig unsicherer Vorhersage-Konsens weise auf wenig Änderung der ENSO-Aktivität hin.

5.1.3 David B. Enfield

In seiner Antwort merkt Enfield zunächst an, dass es sich bei dem Thema um einen sehr komplexen Betrachtungsgegenstand handele. Seine Ausführungen zu dem Thema El Niño seien leider veraltet, da seither viel Fortschritt im Bereich der ENSO-Forschung gemacht worden sei. Seitdem er seine Arbeiten über El Niño geschrieben hat, habe er nicht mehr an der ENSO-Forschung teilgenommen. Deswegen sei er sich nicht sicher, ob er die richtige Person sei, um die Fragen zu beantworten. Dennoch versucht Enfield, die Fragen bestmöglich zu beantworten. Des Weiteren verweist Enfield an Dr. Mike Halpert und Dr. Michelle L'Heureux von der NOAA. Beide wurden im Zuge dieser Arbeit ebenfalls angeschrieben. Ein Kontakt kam aber leider nicht zu Stande.

Als Antwort auf die erste Frage erklärt Enfield, dass El Niño-Ereignisse kaum häufiger als alle drei Jahre auftreten. Eine Voraussetzung für das Auftreten eines El Niños sei, dass sich die Thermokline im westlichen Pazifischen Ozean weit unter der Meeresoberfläche befinden müsse. Die sei eine notwendige Bedingung, jedoch würde es das Eintreten eines El Niño-Ereignisses nicht garantieren. Einige Personen seien der Meinung, dass, vorausgesetzt es liege genügend Potential zur Entstehung eines Ereignisses vor, El Niño-Ereignisse zufällig durch regionale Windanomalien, wie z.B. einen energetischen Impuls der Madden-Julian Oscillation, ausgelöst würden.

Um die zweite Frage zu beantworten, erinnert Enfield an das El Niño-Ereignis der Jahre 1997/1998. Er ist der Meinung, dass das Ereignis damals offiziell im Juni 1997 als El Niño erkannt worden sei. Mit heutigen Methoden wäre es möglich gewesen, den El Niño bereits im Mai zu erkennen. Jedoch sei es ungewöhnlich, einen El Niño so früh zu erkennen. Der El Niño aus den Jahren 1982/1983 sei erst im September erkannt worden, was recht spät gewesen sei. Mit heutigen Methoden hätte man ihn bereits im Juli erkennen können.

Auf die Frage, ob es eine Vorhersagbarkeit für El Niño und seine Intensität gibt, antwortet Enfield, dass El Niño-Ereignisse derzeit vier bis sechs Monate vorher

erkannt werden könnten. Jedoch sei weder das Wissen über ENSO ausreichend, noch seien die Vorhersagemodele gut genug, um die Intensität vorhersagen zu können. Insbesondere nicht, bevor das Ereignis nicht seinen Anfang genommen habe.

Auf die vierte Frage entgegnet Enfield, dass er keine neuen Ansätze in der Literatur kenne. Sein Eindruck sei, dass ein Punkt der Sättigung erreicht sei. Fortschritte würden nur noch langsam gemacht. ENSO würde zwar immer besser verstanden, aber es würden keine großen Schritte in Bezug auf die Vorhersagen gemacht.

Angaben zu weiterer Literatur gibt Enfield nicht.

5.1.4 Dr. Eric Johnson

Johnson teilt mit, dass er nicht mehr in der Forschung arbeite und daher keine Auskünfte über aktuelle Literatur geben könne. Dennoch findet er es verwunderlich, dass versucht werde, eine wissenschaftliche Fragestellung durch das Sammeln von Meinungen zu betrachten. Mutmaßlich seien es Daten und Beobachtungen, die wissenschaftliche Diskussionen bestimmen und nicht persönliche Meinungen oder gar Meinungen über Daten. Dennoch sei das Sammeln von Daten viel schwieriger.

5.1.5 Dr. William S. Kessler

Bevor Kessler die gestellten Fragen ausführlich beantwortet, teilt er mit, dass sie mit heutigem Stand der Technik nicht beantwortbar seien. Alle Fragen seien die wirklich fundamentalen Fragen der aktuellen Forschung.

„If I could answer them, I'd publish the results and retire famous.“

Dennoch versuche er die Fragen zu beantworten.

Auf die erste Frage antwortet Kessler, dass die grundlegende Diskussion der letzten zehn Jahre mit der Frage „Ist El Niño ein Zyklus oder eine Aneinanderreihung von Ereignissen?“ zusammengefasst werden könne. Einige Wissenschaftler vertraten die Meinung, dass ENSO ein globaler Modus sei, d.h. ENSO sei ein

quasi-periodischer Vorgang, dessen Unregelmäßigkeit durch „Wettergeräusche“ begründet sei. Der andere Standpunkt, den auch er vertrete, sage, dass El Niños quasi-abhängige Ereignisse seien, die eine Art Auslöser benötigen. Obwohl die Frage seit mehr als einem Jahrzehnt diskutiert werde, habe noch niemand eine überzeugende Antwort geben können. Er selbst sei sich heute sogar weniger sicher, als noch im Jahre 2003.

Dennoch ist er der Meinung, dass eine Sache mit Sicherheit gesagt werden könne. El Niño-Ereignisse benötigten einen Aufbau von warmen Wasser im westlichen Pazifischen Ozean, was einige Zeit benötige, bis es vollzogen sei. Solange nicht eine mächtige Schicht warmen Wassers im Westen sei, gäbe es keine potentielle Energie, die losgelassen werden müsse.

Im größeren Kontext sei die klimatische Funktion von El Niño, gespeicherte Energie vom Äquator bis zu den Subtropen freizusetzen (in Form einer mächtigen warmen oberen Ozeanschicht). Anzumerken bleibe, dass das alte Bild eines El Niños sei, dass warmes Wasser ostwärts in Richtung Südamerika schwappe. Dies sei natürlich immer noch gültig. Dennoch umfasse der größere Rahmen, dass warmes Wasser aus den Tropen austrete. Dies geschehe entweder entlang der amerikanischen Küste oder im Ozean selber. Der Aufbau warmen Wassers stelle jedoch in jedem Falle die Minimalbedingung (und auch die minimale Zeitspanne) dar, die ein El Niño benötige, um zu entstehen.

Eine der verwirrendsten Sachen sei hierbei die Asymmetrie von El Niño und La Niña. La Niña werde normalerweise nicht so als Ereignis beschrieben, wie es El Niño werde. Damals sei nicht so viel an La Niñas gedacht worden, so dass sich die Theorien alle mit El Niño beschäftigen konnten. Mittlerweile sei das Bild jedoch verschwommener geworden, da es im letzten Jahrzehnt mehr La Niñas gab.

„I no longer know what to think and I'm not alone. Everyone is looking for a sharp young guy to show us what we are missing.“

Die zweite Frage bezeichnet Kessler als zu ungenau. El Niños begännen typischerweise im März bis Juli und erreichten ihren Höhepunkt am Ende des Jahres. Aber dies sei sehr variabel. Einige El Niños hätten bereits im Februar bewiesen werden können, andere nicht vor August.

Kessler merkt an, dass jemand, der ein Modell habe, welches einen El Niño ein

Jahr vorher vorhersagen könne, sagen würde, dass er ihn erkannt habe. Dies sei jedoch nicht der Fall.

Als Antwort auf die dritte Frage gibt Kessler zu Protokoll, dass es eine recht gute Vorhersagbarkeit für El Niño-Ereignisse zu geben scheine. Dies gelte aber nicht für die Intensität. Ein Grund dafür sei die Rolle der Winde während eines El Niños selber. Unter Nicht-El Niño-Bedingungen wehten Passatwinde über den Pazifik. Aber wenn ein El Niño beginnen und sich das warme Wasser verteilen würde, erzeuge dieses großflächig verteilte warme Wasser atmosphärische Konvektion, welche starke westliche Winde hervorrufen könne. Diese könnten wiederum El Niño beschleunigen und verstärken. Aber diese konvektiven Winde seien von Natur aus chaotisch und unvorhersehbar. Daher gäbe es keine Möglichkeit diese konvektiven Winde vorherzusehen. Obwohl man allmählich in der Lage sei, die Frage zu beantworten, ob es einen El Niño geben wird oder nicht, gäbe es aufgrund dieser konvektiven Winde keine Möglichkeit die etwaige Intensität vorherzusagen.

Die vierte Frage beantwortet Kessler damit, dass es zur Zeit kaum neue Ansätze gebe, um die Vorhersagbarkeit zu verbessern.

Als Hinweis auf weitere Literatur gibt Kessler an, dass es ein guter Weg sei, sich verschiedene Paper zu dem Thema anzuschauen und sich an der dort angegebenen Literatur zu orientieren. Des Weiteren verweist er an das ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Reading UK) und an L'OCEAN (Laboratoire d'Oceanographie et du Climat) der Universität Jussieu in Paris. Auch Ausführungen von Teilnehmern eines Workshops könnten einen Überblick über den neuesten Stand der Forschung geben.

5.1.6 Prof. Dr. Mojib Latif

Latif beantwortet die Fragen nicht im einzelnen, sondern verweist auf ein Kapitel eines noch nicht veröffentlichten Buches. Dieses Kapitel verschickte er als Anhang zu seiner Email, und es ist auch im Anhang dieser Arbeit zu finden.

Darin deutet Latif an, dass sich das Klima immer mal wieder auf verschiedenen Zeitskalen gewandelt habe und es einer Vielzahl an Einflüssen unterliege. Variationen ergäben sich auch aufgrund von Wechselbeziehungen mehrerer Klimakomponenten. Die chaotische Atmosphäre und deren Wechselwirkung mit dem Ozean spielten dabei eine wichtige Rolle.

Auch sei wichtig, das Klima der Vergangenheit zu untersuchen, denn für längerristige Zeiträume seien die Aufzeichnungen zu kurz.

Die Beschreibung des ENSO-Phänomens erfolgt sehr umfangreich. Latif geht dabei sowohl auf die Vorgänge innerhalb des äquatorialen Pazifiks als auch auf weltweite klimatische Auswirkungen ein. Die Southern Oscillation sei ein Wechselspiel zwischen dem südostasiatischen Tiefdruckgebiet und dem südostpazifischen Hochdruckgebiet und bestimme die Stärke der Passatwinde längs des äquatorialen Pazifik. Weiter wird ausgeführt, dass im Normalfall ein enormer Temperaturunterschied zwischen Ostpazifik und Westpazifik herrscht. Dabei wird auch auf die „im Westen tief und im Osten dicht unterhalb der Oberfläche“ liegende Thermokline eingegangen. Schwache Winde führen zu einer mehr horizontalen Lage der Thermokline und einem relativ warmen Ostpazifik.

Die Umstände, unter denen ein El Niño entsteht, werden so umschrieben, dass es anfangs zu einer Erwärmung des Ostpazifiks komme. Als Folge des verminderten Luftdruckunterschiedes schwächen sich die Passatwinde ab. Daher steige die SST im Osten weiter an und die gegensätzliche Temperaturen zwischen Ost- und Westpazifik schwächen ebenfalls weiter ab. Diese Art von positiver Rückkopplung gipfele in einem El Niño Ereignis mit ungewöhnlich hohen SST im Ostpazifik und dem Abflauen der Passatwinde. La Niña Ereignisse würden sich analog dazu entwickeln, wobei die Prozesse jedoch mit umgekehrten Vorzeichen ablaufen würden. Es komme bei einem La Niña Ereignis zu außergewöhnlich starken Passatwinden und einem relativ starken Temperaturgegensatz längs des Äquators. Latif zufolge liefert der Wärmeinhalt des oberen äquatorialen Pazifiks die für die Oszillation notwendige Rückkopplung. Die Phasendifferenz zwischen El Niño und La Niña betrage wenige Monate bis zu einem Jahr, wobei die Anomalien des Wärmeinhalts den Temperaturanomalien an der Meeresoberfläche voraus liefern. Diese Beziehung impliziere ein gewisses Vorhersagepotential.

Zur Vorhersagbarkeit selber erklärt Latif, dass Anomalien der SST im äquatorialen Pazifik mit heutigen Zirkulationsmodellen bis zu sechs Monate im Voraus vorherzusehen seien. Um zufällige Schwankungen herauszufiltern, mittele man über viele Vorhersagen mit verschiedenen Anfangsbedingungen (Ensemblevorhersagen). Die Berechnung des Mittelwerts dieser Ensemblevorhersagen führe zu einer Konsensvorhersage, die der Einzelvorhersage eines jeden einzelnen Modells überlegen sei.

5.1.7 Prof. Roger Lukas

Lukas antwortet leider nicht auf die einzelnen Fragen, sondern verweist auf die Arbeitsgruppe CLIVAR des World Climate Research Programmes (WCRP). Insbesondere empfiehlt er das Buch „Assessment of Intraseasonal to Interannual Climate Prediction and Predictability“ aus dem Jahr 2010.

Das Buch beinhaltet eine Fallstudie über ENSO. Darin wird kurz der Ablauf des ENSO-Phänomens beschrieben. Als Ausgangspunkt wird ein dynamischer Ausgleich von Wärmeenergie und Masse zwischen dem West- und Ostpazifik genannt. Dieser produziere eine positive Anomalie der SST im Ostpazifik. Damit einhergehend seien nach Osten verschobene Niederschläge. Die Passatwinde seien sehr abgeschwächt bzw. wehten zeitweise sogar westwärts. Die Zeit zwischen zwei Warmphasen betrage typischerweise zwei bis sieben Jahre. Dennoch gebe es nennenswerte Modulationen von ENSO auf dekadischen Zeitskalen. Die Vorhersagbarkeit von ENSO sei weitgehend bestimmt durch die Zyklen individueller Ereignisse.

Auch die Qualität von Vorhersagen wird beleuchtet. Zwar sei die ENSO-Vorhersagbarkeit seit den ersten Versuchen in den späten 1980er Jahren deutlich verbessert, dennoch gebe es Möglichkeiten für Verbesserungen.

5.1.8 Dr. Eugene Rasmusson

Rasmusson gibt an, dass sie sich von der aktiven Forschung schon seit über einem Jahrzehnt zurückgezogen habe. Daher glaube sie, dass sie, was die ENSO-Forschung angehe, nicht mehr auf dem neuesten Stand sei. Dennoch verweist Rasmusson an Prof. Mark Cane, welcher in dieser Arbeit ebenfalls kontaktiert worden ist.

5.1.9 Dr. Kevin E. Trenberth

Trenberth gibt zunächst an, dass er sich nicht sicher sei, ob er eine große Hilfe sein könne. Der Schwerpunkt seiner Forschung habe in den letzten Jahren nicht auf ENSO direkt gelegen. Dennoch werde er immer mal wieder damit konfrontiert.

Die Frage, unter welchen Umständen El Niño-Situationen auftreten, beantwortet

Trenberth damit, dass ENSO immer statt finden würde. Dabei habe ENSO mit La Niña und El Niño zwei ausgeprägte Phasen.

Als Antwort auf die zweite Frage verweist Trenberth auf sein Paper „Interannual Variations in the Atmospheric Heat Budget“. Darin wird der Verlauf des Wärmeinhalts im Ozean erklärt. Die warme SST, die stark mit warmen ENSO-Ereignissen verbunden seien, würden durch Oberflächenabfluss von Wärme in die Atmosphäre abgeschwächt. Dieser Vorgang transportiere die Energie in die gesamten Tropen und in höhere Breiten. Dieses trage dazu bei, dass dem Ozean Wärmeenergie entzogen würde. Kalte ENSO-Phasen dienten dem Wiederaufladen des Wärmebudgets, in denen Wärme dem Ozean wieder zufließe. Zeitangaben können den Ausführungen jedoch nicht entnommen werden.

Trenberth teilt als Antwort auf Frage 3 mit, dass es eine ungefähre Vorhersagbarkeit gebe, diese aber noch nicht vollständig gültig sei. Auch hier verweist er auf einen Artikel („An Earth-system Prediction Initiative for the Twenty-first Century“). Darin geht es nicht spezifisch um ENSO-Vorhersagen, aber dennoch wird aufgezeigt, dass sämtliche Klimavorhersagmodelle weiteren Verbesserungen unterliegen müssten. Insgesamt sollten bei Vorhersagmodellen globale Prozesse und ihre komplexen Interaktionen miteinbezogen werden.

Zur Beantwortung der vierten Frage nennt Trenberth als neuen Ansatz zur Verbesserung der Vorhersagbarkeit die Verbindungen zu anderen Ozeanen und insbesondere zum Indischen Ozean. Die globale Klimaerwärmung sei bisher nur unzureichend miteinbezogen worden.

Trenberth empfiehlt weiterhin seine Ausführungen in „Evolution of El Niño – Southern Oscillation and global atmospheric surface temperatures“. Darin werden die Wärmeflüsse, die für das Auf- und Entladen des Wärmeinhalts des Ozeans verantwortlich sind, dargestellt. Weiterhin werden Fernwirkungen von El Niño beschrieben. Eine weiteres Paper, auf das Trenberth verweist, ist „Variations in the Three-Dimensional Structure of the Atmospheric Circulation with Different Flavors of El Niño“. Darin werden verschiedene Ausprägungen von El Niño untersucht. Weiterhin werden Rückschlüsse auf das Verhalten des Niederschlags in anderen Regionen gezogen. Beide zuletzt genannten Abhandlungen behandeln eher allgemeine Themen, die kaum Aussagen über die Vorhersagbarkeit von El Niño enthalten. Es geht tendenziell um die Auswirkungen, die ein El Niño-Ereignis auf andere Regionen haben kann.

5.1.10 Prof. Michael Wallace

Wallace hält die Fragen für zu allgemein gehalten, damit er sie beantworten könne. Wichtige Punkte, die bei der Beantwortung zu berücksichtigen seien, seien die saisonalen Variationen der Vorhersagbarkeit, die sogenannte „predictability barrier“ im borealen Frühling und die Asymmetrie des Verhaltens von El Niño und La Niña. Die Internetseite bzw. der Artikel, auf den Wallace verwies (<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2010JCLI3592>), war leider nicht aufzurufen.

5.2 Interpretation der Antworten

Den Antworten der Experten kann entnommen werden, dass die Vorgänge, die zu einem El Niño-Ereignis führen, gut verstanden worden sind. In der Wissenschaft scheint es einen Konsens darüber zu geben, unter welchen Umständen und Bedingungen ein El Niño-Ereignis ausgelöst wird. Sowohl die ausführlichen als auch die kurzen Antworten sowie die empfohlene Literatur der Experten beschreiben die Vorgänge im Pazifischen Ozean und in der dortigen Atmosphäre übereinstimmend.

Dennoch ist aus den Antworten abzulesen, dass nicht nur die Vorhersagbarkeit, sondern auch die Forschung an einem Punkt angekommen zu sein scheint, an dem der Fortschritt wenn überhaupt nur noch schleppend voran geht. Zum einen hat es den Anschein, dass in Bezug auf die Vorhersagbarkeit und die Erforschung des gesamten ENSO-Phänomens ein akzeptables Niveau erreicht worden ist (Enfield: „My impression is that our understanding of ENSO has reached a sort of saturation point where progress has become slow [...] but not making great strides in prediction.“), auf der anderen Seite sind sich die Forscher, die sich noch aktiv mit ENSO beschäftigen, unsicher, wie sie die weitere Forschung vorantreiben sollen. (Kessler: „I no longer know what to think and I'm not alone“)

Bezeichnend dafür ist, dass keiner der Experten neue Ansätze zur Erforschung des ENSO-Phänomens nennen konnte. Lediglich die Analyse des Einflusses des IOD ist ein neuerer Ansatz, der jedoch auch schon seit mehreren Jahren in die Forschung miteinbezogen wird.

Auffallend ist, dass es keine Vorhersagbarkeit für die Intensität der ENSO-Ereignisse gibt. Weder die Antworten der Experten noch die empfohlene Literatur

enthielten dazu Anhaltspunkte. In diesem Bereich der ENSO-Forschung sind demnach noch Möglichkeiten der Optimierung vorhanden. Auch ist darin der Antrieb der aktuellen Forschung begründet, denn mit der gegenwärtig möglichen Vorlaufzeit ist man scheinbar zufrieden, nicht jedoch mit der Tatsache, dass eine Vorhersage über die Intensität des kommenden Ereignisses nicht getroffen werden kann.

Dennoch werden aktuell keine wirklich neuen Ideen in der ENSO-Forschung verfolgt. Diesbezüglich ist auch eine gewisse Ratlosigkeit der Experten aus den Antworten zu erkennen. Einzig der IOD ist ein Einflussfaktor, von dem sich neuere Erkenntnisse erhofft werden. Somit lässt Antworten sich aus den Antworten der Forscher schliessen, dass in näherer Zukunft eher nicht mit neuen Ansätzen zu rechnen ist.

Experten wie Enfield, Trenberth, Johnson und Rasmusson, die wichtige Artikel geschrieben und lange Jahre Untersuchungen im Bereich des ENSO-Phänomens durchgeführt haben, verlegten ihren Forschungsschwerpunkt auf andere Regionen bzw. zogen sich aus der Forschung zurück. Hätte es ein notwendiges Interesse gegeben oder wäre der Forschungsgegenstand nicht schon ausreichend erforscht gewesen, hätten sie sich wahrscheinlich nicht umorientiert. Hierin spielt sicherlich auch der Faktor, dass inzwischen selbst kleine Fortschritte nur noch mit relativ großem Aufwand gemacht werden.

Ein Problem der Antworten, in denen der Befragte auf seine oder anderer Ausführungen verweist, ist, dass diese bereits vom Fragesteller gelesen wurden und zum Teil auch als Berechtigung herangezogen worden sind, diejenige Person überhaupt erst als Experten auszuweisen. Weitere Ausführungen dazu sind in Kapitel 5.3 zu finden.

5.3 Methodenkritik

Bei einer Expertenbefragung ist man immer abhängig von dem, was man von den Befragten zurück erhält. Daher ist es wichtig, dass die Fragen und der Zusammenhang, in dem sie gestellt werden, kurz aber prägnant erörtert werden. Weiterhin muss beachtet werden, dass die Befragten erwartungsgemäß nicht übermäßig viel Zeit haben, ausführliche Antworten zu verfassen.

Zur Befragung der Experten wurden insgesamt 29 Forscher angeschrieben. Antworten gingen von 10 Forschern ein. Dies stellt eine durchaus beachtliche Anzahl

an Rückmeldungen dar.

Um die Anzahl und auch die Verwertbarkeit der erhaltenen Antworten zu steigern, hätten im Vorfeld einige Details abweichend gehandhabt werden müssen. Zunächst einmal hätten natürlich mehr Forscher angeschrieben werden können. Die Anzahl der sich mit dem Gebiet beschäftigenden Experten ist immens groß, so dass durchaus mehr als 29 Personen hätten befragt werden können.

Auffällig bei der Analyse der Antworten war, dass die Experten keine genauen Kenntnisse über das Wissen des Fragestellers hatten. Um dies zu vermeiden, hätte zumindest angegeben werden sollen, dass der Fragesteller sich schon eingehend mit ENSO auseinander gesetzt hat und somit grundlegende Vorgänge und wesentliche Kenntnisse vorhanden sind.

Bei der Befragung von Personen, deren Ausführungen zum Thema ENSO im Vorfeld gelesen worden sind, wäre es von Vorteil gewesen, wenn man dies in dem Anschreiben mitgeteilt hätte. Denn somit hätte diese Person bereits einen Überblick darüber erhalten, welche Vorkenntnisse der Fragesteller bereits hat und es hätte nicht mehr auf die gleichen Paper hingewiesen werden müssen, die den Befragten zum Experten gemacht haben. Im Zusammenhang dieser Arbeit war dies besonders bei Trenberth und Cane der Fall.

Auf der anderen Seite wäre es sehr schwierig bzw. auch sehr umfangreich gewesen, jeweils ein individuelles Schreiben zu verfassen. Auch wäre dann das Problem der Allgemeingültigkeit der Fragen nicht mehr gegeben. Somit hätten die Antworten nur schwer bzw. gar nicht miteinander verglichen werden können. Hinzu kommt, dass die Anfrage übersichtlich erscheinen sollte. Eine Email, die den Leser beim Öffnen mit sehr viel Text begrüßt, bleibt sicherlich eher unbeantwortet als eine Email, in der von Beginn an eine kurze und prägnante Struktur zu erkennen ist.

Bei der Analyse der Vorgehensweise ist deutlich geworden, dass die Fragen hätten präziser gestellt werden müssen bzw. dass zumindest erwähnt hätte werden müssen, dass bereits Vorkenntnisse im Bereich ENSO vorhanden sind. Dazu beigetragen hätte, dass man zumindest den Titel der Arbeit „El Niño – Grenzen der Vorhersagbarkeit“ hätte nennen sollen. Wird ein gewisses Basiswissen im Bereich ENSO vorausgesetzt, wirken die Fragen präziser als sie es zunächst scheinen.

Weiterhin wäre es vorteilhaft gewesen, wenn erwähnt worden wäre, dass bekannt ist, dass der Einfluss des IOD eine der neueren Ansätze in der ENSO-Forschung ist. Somit hätten die Forscher erkannt, dass sich schon mit dem Thema auseinan-

dergesetzt worden ist und weiterhin hätte daraus geschlossen werden können, dass sowohl neue Ansätze als auch der Stand dieses Teilbereichs für den Fragesteller interessant ist.

Ein weiteres mögliches Problem ergibt sich aus der Übersetzung der Fragen vom Deutschen ins Englische. Offensichtlich wird dies bei der Antwort von Kessler, der geradeaus zurück fragt, was denn genau mit „identified“ gemeint sei. Eventuell wäre hier eine andere Wortwahl (z.B. to loom) besser gewesen. Dadurch hätte Missverständnissen vorgebeugt werden können.

Wären diese Punkte von vornherein beachtet worden, wäre es möglich gewesen noch mehr Antworten zu erhalten und darüber hinaus noch treffendere Antworten der Forscher zu erhalten.

Auch der Einwand von Johnson hat durchaus seine Berechtigung, denn subjektive Meinungen und Sichtweisen können keine objektive Betrachtung gewährleisten. Eine intensive Auseinandersetzung mit den ENSO-Datensätzen und die Entwicklung eines neuen oder die Weiterentwicklung eines bereits bestehenden Modells wären daher ebenso interessant und evtl. erfolgreich gewesen, um die derzeitigen Grenzen der ENSO-Vorhersagen zu betrachten.

6. Abschließende Betrachtung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde das ENSO-Phänomen beschrieben und es wurde dargelegt, dass es verschiedene Möglichkeiten gibt, ein El Niño-Ereignis zu definieren. Bei der Betrachtung der ENSO-Vorhersagbarkeit wurden sowohl die Grundlagen als auch die verschiedenen Modelle vergleichend betrachtet. Dabei stand besonders die Untersuchung der Qualität, der Verbesserung und der Grenzen der Vorhersagbarkeit im Vordergrund. Somit konnte ein guter Überblick über den aktuellen Stand der Forschung gegeben werden. Im letzten Schritt wurden Experten befragt und deren Antworten ausgewertet.

Ziel dieser Arbeit war es, herauszufinden, ob es neue oder alternative Ansätze in der ENSO-Forschung gibt und ob mit diesen Ansätzen die derzeitigen Grenzen der Vorhersagbarkeit überschritten werden können.

Die Antworten der Experten und die Analyse der aktuellen Vorhersagemodele haben gezeigt, dass derzeit ausschließlich die Erforschung des IOD eine Möglichkeit aufzeigt, die Vorhersagbarkeit weiter zu verbessern. Ansonsten ist die Haltung der Experten recht eindeutig. Die Erforschung des ENSO-Phänomens ist bis auf kleine Details, von denen nicht ausgegangen wird, dass sie eine große Bedeutung für den Ablauf des Gesamtphänomens haben, abgeschlossen. Möglicherweise führt eine intensivere Miteinbeziehung des IOD dazu, dass zukünftig auch Vorhersagen über die Intensität der ENSO-Ereignisse gemacht werden können. Absehbar ist dies indes noch nicht. Über weitere neue Impulse oder Ansätze sind sich die Experten nicht bewusst. Die Grenze der aktuellen Vorhersagbarkeit liegt also weiterhin bei ungefähr sechs Monaten. Es bleibt zu prüfen, ob die Einbeziehung des IOD ein Verschieben der Vorhersagegrenze über die „spring barrier“ hinaus zulässt. Zur Zeit sind Vorhersagen, die diese Grenze überschreiten, jedoch noch recht ungenau.

Auf der anderen Seite gibt es begründete Hoffnung auf Verbesserung der Vorhersagen. Mit steigenden Computerressourcen und mit einem immer größer werdenden Datenbestand über den Pazifischen Ozean können entweder die bestehenden Modelle besser genutzt oder neue umfangreichere Modelle entwickelt werden. In diesen Feldern gibt es somit doch noch Möglichkeiten der Optimierung. Ein weiterer Bereich, der in der ENSO-Forschung bisher wenig Beachtung gefunden hat, ist die globale Klimaerwärmung. Auch hier gibt es noch keine eindeutigen Ergebnisse, wie die Einflussnahme auf ENSO ist.

Für die Zielsetzung dieser Arbeit lautet das Ergebnis daher, dass es zwar Optimie-

rungsmöglichkeiten für die El Niño-Vorhersagbarkeit gibt, aber keine schnellen Fortschritte zu erwarten sind. Weder die Analyse bestehender Vorhersagemodelle noch die Befragung von Experten brachte die erhofften Erkenntnisse, El Niño-Ereignisse besser vorhersagen zu können als bisher und somit die Vorbereitungszeit für die Menschen in den betroffenen Regionen zu verlängern.

Literaturverzeichnis

BARNETT, T. P., LATIF, M., KIRK, E. und ROECKNER, E. (1991): On ENSO Physics. In: *Journal of Climate*, Vol. 4 (5), S. 487–515.

BARNSTON, A., HE, Y. und GLANTZ, M. (1999): Predictive Skill of Statistical and Dynamical Climate Models in SST Forecasts during the 1997-98 El Niño Episode and the 1998 La Niña Onset. In: *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 80 (2), S. 217–243.

BIGG, G. (2003): *The Oceans and Climate*. Cambridge University Press: Cambridge, U.K., New York: 2nd edition.

CANE, M. (2005): The evolution of El Niño, past and future. In: *Earth and Planetary Science Letters* 230 (3-4), S. 227–240.

CHEN, D. und CANE, M. (2008): El Niño prediction and predictability. In: *Journal of Computational Physics* 227 (7), S. 3625–3640.

GODDARD, L. und DEWITT, D. (2005): Seeking progress in El Niño Prediction. U.S. CLIVAR Variations, Winter 2005 (3). S. 1–4.

FEDOROV, A. et al. (2003): How Predictable is El Niño? In: *Bulletin of the American Meteorological Society* 84 (7), S. 911–919.

GUILYARDI, E., et al. (2009): Understanding El Niño in Ocean–Atmosphere General Circulation Models: Progress and Challenges. In: *Bulletin of the American Meteorological Society* 90 (3), S. 325–340.

HANLEY, D. et al. (2003): A Quantitative Evaluation of ENSO Indices. In: *Journal of Climate* 16 (8), S. 1249–1258.

IZUMO, T. et al. (2010): Influence of the state of the Indian Ocean Dipole on the following year's El Niño. In: *Nature Geoscience* 3 (3), S. 168–172.

JIN, E. et al. (2008): Current status of ENSO prediction skill in coupled ocean–atmosphere models. In: *Climate Dynamics* 31 (6), S. 647–664.

KERR, R. (2000): Second Thoughts on Skill of El Niño Predictions. In: *Science* 290 (5490), S. 257–258.

LATIF, M., KLEEMAN, R. und ECKERT, C. (1997): Greenhouse Warming, Decadal Variability, or El Niño? An Attempt to Understand the Anomalous 1990s.

LATIF, M. und KEENLYSIDE, N. (2008): El Niño/Southern Oscillation response to global warming. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (49).

MAYHEW, S. (2004): *A Dictionary of Geography*. Oxford University Press: Oxford; New York. 3rd edition.

MERRYFIELD, W. J. (2006): Changes to ENSO under CO₂ Doubling in a Multimodel Ensemble. In: *Journal of Climate* 19 (16), S. 4009–4027.

MEUSBERGER, P. et al. (2001): *Lexikon der Geographie*. In vier Bänden. Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.) (2010) (Hrsg.): Assessment of intraseasonal to interannual climate prediction and predictability. National Academies Press: Washington, D.C.

SCHÖNWIESE, C.-D. (2008): *Klimatologie*. Verlag Eugen Ulmer: Stuttgart. 3. Auflage.

SHAPIRO, M. et al. (2010): An Earth-System Prediction Initiative for the Twenty-First Century. In: *Bulletin of the American Meteorological Society* 91 (10), S. 1377–1388.

STRAHLER, A. H. und STRAHLER, A. N. (2005): *Physische Geographie*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer. 3. Auflage.

TRENBERTH, K. (1997): The Definition of El Niño. In: *Bulletin of the American Meteorological Society* 78 (12), S. 2771–2777.

TRENBERTH, K. (2002a): Evolution of El Niño–Southern Oscillation and global atmospheric surface temperatures. In: *Journal of Geophysical Research* 107 (D8).

TRENBERTH, K. (2002b): Interannual variations in the atmospheric heat budget. In: *Journal of Geophysical Research* 107 (D8).

TRENBERTH, K. und SMITH, L. (2009): Variations in the Three-Dimensional Structure of the Atmospheric Circulation with Different Flavors of El Niño. In: *Journal of Climate* 22 (11), S. 2978–2991.

TRUJILLO, A. und THURMAN, H. (2011): *Essentials of Oceanography*. Prentice Hall: Boston, Mass. [u.a.]. 10th edition.

WAUGH, D. (2002): *Geography. An Integrated Approach*. Nelson: Walton-on-Thames [etc.] 3rd edition.

WEBSTER, P. und HOYOS, C. (2010): Beyond the spring barrier? In: *Nature Geoscience*, 3, 152-153.

Internetquellen

ENGELS, J. (2009): ENSO-Modell. Online unter: http://www.mi.uni-hamburg.de/fileadmin/files/lehre/seminare/met_sem/09_ss/ENSO-Modell.pdf (zuletzt geprüft: 05.12.2011)

ESPERE Klimaencyklopädie (o. J.): El Niño und SOI - Südliche Oszillation & Geschichte von El Niño. Online unter: http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2_grosse_windsysteme/_El_Nino_SOI_1pk.html (zuletzt geprüft: 05.12.2011)

HAMBURGER BILDUNGSSERVER: ENSO-Wellen. Online unter: http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/upload/thumb/ENSO_wellen.jpg/420px-ENSO_wellen.jpg (zuletzt geprüft: 05.12.2011)

THE INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE FOR CLIMATE AND SOCIETY (IRI) (1): Overview of the ENSO System – Monitoring ENSO. Online unter: <http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/monitoring.html> (zuletzt geprüft: 05.12.2011)

THE INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE FOR CLIMATE AND SOCIETY (IRI) (2): Overview of the ENSO System - Defining ENSO. Online unter: <http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/pastevent.html> (zuletzt geprüft: 05.12.2011)

THE INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE FOR CLIMATE AND SOCIETY (IRI)

(3): Summary of ENSO Model Forecasts. ENSO Prediction Plume.

Online unter: http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/currentinfo/SST_table.html (zuletzt geprüft: 05.12.2011)

THE INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE FOR CLIMATE AND SOCIETY (IRI)

(4): Overview of the ENSO system: Basics. Online unter: <http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/basics.html> (zuletzt geprüft: 05.12.2011)

THE INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE FOR CLIMATE AND SOCIETY (IRI)

(5): Overview of the ENSO system: Predicting ENSO. Online unter: <http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/prediction.html> (zuletzt geprüft: 05.12.2011)

JAPAN AGENCY FOR MARINE-EARTH SCIENCE AND TECHNOLOGY (JAMSTEC): Indian Ocean Dipole (IOD). Online unter: <http://www.jamstec.go.jp/frsgc/research/d1/iod/> (zuletzt geprüft: 05.12.2011)

MCPhaden, M., Zebiak, S. und. Glantz, M. (2006): ENSO as an Integrating Concept in Earth Science. Online unter: <http://www.pmel.noaa.gov/pubs/outstand/mcph2969/figs.shtml> (zuletzt geprüft: 05.12.2011)

MCPhaden, M. (o. J.): TOGA-TAO and the 1991-93 El Niño-Southern Oscillation Event. Online unter: <http://www.pmel.noaa.gov/pubs/docs/mcph1401.html> (zuletzt geprüft: 05.12.2011)

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA) (1): Climate Prediction Center – Four El Niño Regions. Online unter: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/nino_regions.shtml (zuletzt geprüft: 05.12.2011)

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA) (2): Office of Science and Technology. Diagnostics and Prediction. El Niño Definition. Online unter: <http://www.nws.noaa.gov/ost/climate/STIP/ElNinoDef.htm> (zuletzt geprüft: 05.12.2011)

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA) (3): Climate Prediction Center – Cold and Warm Episodes by Season. Online unter: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml (zuletzt geprüft: 05.12.2011)

TROPICAL ATMOSPHERE OCEAN PROJECT: The TAO project – Mooring Information. Online unter: http://www.pmel.noaa.gov/tao/proj_over/mooring.shtml (zuletzt geprüft: 05.12.2011)

Anhang

Anhang 1:	Anschriften an die Experten (deutsche Fassung)
Anhang 2:	Anschriften an die Experten (englische Fassung)
Anhang 3:	Antwort Dr. Fabrice Bonjean
Anhang 4:	Antwort Dr. Mark Cane
Anhang 5:	Antwort David B. Enfield
Anhang 6:	Antwort Dr. Eric Johnson
Anhang 7:	Antwort Dr. William S. Kessler
Anhang 8:	Antwort Prof. Dr. Mojib Latif
Anhang 9:	Antwort Prof. Roger Lukas
Anhang 10:	Antwort Dr. Eugene Rasmusson
Anhang 11:	Antwort Dr. Kevin E. Trenberth
Anhang 12:	Antwort Prof. Michael Wallace
Anhang 13:	CD mit Anhang der Email von Prof. Dr. Mojib Latif und digitaler Fassung dieser Arbeit

Anhang 1

Anscreiben an die Experten (deutsche Fassung)

Sehr geehrte/r ... ,

ich studiere Geographie an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. Zur Zeit schreibe ich meine Examensarbeit im Bereich der Klimatologie bei Prof. Dr. Otto Klemm. Im Rahmen meiner Arbeit befasse ich mich mit der Auslösung und der Vorhersagbarkeit des El Niño-Southern Oscillation (ENSO) – Phänomens. Um den aktuellen Stand der Forschung zu erfassen, werde ich die neuesten Erkenntnisse von Experten miteinbeziehen. Es wäre daher sehr freundlich, wenn Sie mir zur Beantwortung folgender Fragen zur Verfügung stehen möchten.

- Unter welchen Umständen kommt es zu El Niño – Situationen?
- Ab welchem Zeitpunkt im Jahr zeichnen sich diese Ereignisse ab?
- Ist ein El Niño und seine Intensität vorhersagbar?
- Welche Ansätze in der neueren Forschung gibt es, um die Vorhersagbarkeit zu verbessern?
- Auf welche Literatur können Sie zum weiterführenden Lesen hinweisen?

Ich möchte Sie gerne um eine kurze schriftliche Antwort bitten oder auch um einen Telefontermin (und die Nummer, unter der ich Sie erreichen kann) bitten. Gerne können Sie mich unter den unten angegebenen Kontaktdaten erreichen. Sie würden mir bei meiner Examensarbeit sehr weiterhelfen.

Für Ihre Mithilfe bedanke ich mich im Voraus.

Mit freundlichen Grüßen,

Martin Eichholz

Telefon: +49 251 2979401

Mobil: +49 171 3550338

Email: eichholz@gmx.de

Anhang 2

Anscreiben an die Experten (englische Fassung)

Dear ... ,

I am studying Geography at the University of Münster, Germany. Currently, I am writing my thesis under the guidance of Prof. Dr. Otto Klemm in the field of climatology. As part of my thesis I am concentrating on the triggering and predictability of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon. To analyse the current state of research I want to include the latest findings and opinions of experts. Thus, it would be very kind of you if you could answer the following questions.

- Under which circumstances do El Niño situations occur?
- When is the earliest point in time of the year at which El Niño situations can be identified?
- Is there a predictability to El Niño and its intensity?
- Are there any new approaches to improve the predictability? Which?
- Which literature can you recommend for further reading?

I would kindly ask you to sending me a short written reply to my questions or letting me know when we could arrange a telephone interview (and the number under which you are available). You may contact me using the information given below.

The quality of my thesis would benefit from your replies a lot.
Thank you very much in advance.

I apologise for any inconvenience caused.

With kind regards,

Martin Eichholz

Telephone: +49 251 2979401
Mobile: +49 171 3550338
Email: eichholz@uni-muenster.de

Anhang 3

Antwort Dr. Fabrice Bonjean

Von: Fabrice Bonjean <fabrice.bonjean@sat-ocean.com>

Antwort bitte an: fabrice.bonjean@sat-ocean.com

An: Martin Eichholz <eichholz@uni-muenster.de>

Datum: 31.08.2011 14:01

Betreff: Re: ENSO predictability

Dear Martin,

I now work for a commercial company, and unfortunately I do not have much time to answer your questions properly. Each of those cannot be answered shortly, without explaining first some basic mechanisms of tropical climate and equatorial oceanography. I would suggest you first get familiar with the basics by browsing some of the dedicated web pages on ENSO (preferably university-based web sites). A good book that covers the ENSO subject with updated theory and analyses is /The Ocean-Atmosphere Interaction, edited by Chunzai Wang, Shang-Ping Xie, and James A. Carton. /Something useful would be to follow the discussions about the El Nino/La Nina possible developments in real-time, at the climate prediction center of NOAA, and through their climate diagnostic bulletin. This is science in action. Here are the links:

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/index.shtml

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/>

Note you can also access their archive if you want to see what happened and how events were predicted during ENSO years.

I hope this is helpful, and wish you the best for your thesis.

Regards,
Fabrice

Fabrice BONJEAN, Ph.D
SAT-OCEAN
53, Boulevard de la Reine
78000 VERSAILLES
FRANCE
Fax: +33 (0) 1 39 53 98 06
Fabrice.Bonjean@sat-ocean.com

Anhang 4

Antwort Dr. Mark Cane

Von: Cane Mark <mcane@ldeo.columbia.edu>
An: Martin Eichholz <eichholz@uni-muenster.de>

Datum: 06.09.2011 02:03

Betreff: Re: ENSO predictability

Read

Chen, D. and M.A. Cane, 2008: El Niño prediction and predictability. *J. Computational. Phys* 227, (7), Predicting weather, climate and extreme events 3625-3640. doi:10.1016/j.jcp.2007.05.014.

and

Cane, M.A., 2005: The evolution of El Niño, past and future. *Earth and Planetary Science Letters*, 230, 227-240.

The answers to your questions that I could give are there.

Also, look at the IRI website and papers by Lisa Goddard.

best

Mark

Mark A. Cane

G. Unger Vetlesen Professor of Earth and Climate Sciences
Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University
61 Route 9W
Palisades, NY 10964-8000

mcane@ldeo.columbia.edu Secretary: Virginia Morris
845 365 8344 (phone) 845 365 8667
845 365 8736 (fax) virginia@ldeo.columbia.edu
<http://rainbow.ldeo.columbia.edu>

Department of Earth and Environmental Science <http://eesc.columbia.edu/>

Director, Master of Arts Program in Climate and Society:
<http://www.columbia.edu/cu/climatesociety/>

Anhang 5

Antwort David B. Enfield

Von: David Enfield <David.Enfield@noaa.gov>

An: Martin Eichholz <eichholz@uni-muenster.de>

Kopie an: Mike Halpert <Mike.Halpert@noaa.gov>, Michelle L'Heureux <Michelle.LHeureux@noaa.gov>

Datum: 30.08.2011 14:16

Betreff: Re: ENSO predictability

Hello Martin,

I applaud you for tackling such a complex subject for your thesis. No doubt you contacted me because of my review papers on El Niño. Unfortunately, those papers are now quite dated and much progress has been made since then, making the field even more complex. Since I wrote those papers I have not continued in the field of ENSO research. For the last 20 years I have been studying the Atlantic. For that reason I am not the best person to answer your questions. Your best bet is to contact Drs. Mike Halpert <mike.halpert@noaa.gov> and/or Michelle L'Heureux <Michelle.LHeureux@noaa.gov> who conduct NOAA's operational climate forecasting effort at the Climate Prediction Center. They work with ENSO on a continuing basis. Nevertheless I will try to answer your questions as best I can (see below).

Sincerely,
David B. Enfield

^^ ^^David B. Enfield ^^^^	^^^^^ <David.Enfield@noaa.gov> ^^^^^^
NOAA/AOML/PhOD	"Every CRISIS is an OPPORTUNITY"
4301 Rickenbacker Cswy	Philosophy in the palindrome of Chinese
Miami, FL 33149	words for both: "WEI JI" <==> "JI HUI"
oo

On Aug 29, 2011, at 3:00 PM, Martin Eichholz wrote:

> Dear Dr Enfield,
>
> I am studying Geography at the University of Münster, Germany. Currently, I am
> writing my thesis under the guidance of Prof. Dr. Otto Klemm in the field of
> climatology. As part of my thesis I am concentrating on the triggering and
> predictability of the El Nino-Southern Oscillation (ENSO) phenomenom. To
> analyse the current state of research I want to include the latest findings
> and opinions of experts. Thus, it would be very kind of you if you could
> answer the following questions.
>
> - Under which circumstances do El Nino situations occur?

El Niño seldom occurs before every third year. A requirement for El Niño to occur

is that the thermocline in the western equatorial Pacific be deep, but this is only a necessary condition, it does not guarantee an event will occur. Some people believe that it is triggered stochastically by the zonal winds, such as an energetic pulse of the Madden-Julian Oscillation, provided the potential for an event exists.

> - *When is the earliest point in time of the year at which El Niño situations can be identified?*

The earliest example I can think of is the 1997-98 event. At that time I would say we had identified it officially in June 1997. If we had had the models and data we have now we probably could have identified it (in data) in May. But it is unusual for an El Niño to be identified so early. The 1982-83 event was identified in September 1982, quite late. Had we the data and models of now I would venture to guess we could have identified it in July.

> - *Is there a predictability to El Niño and its intensity?*

We currently can predict El Niño about 4-6 months in advance, but I don't think we understand ENSO well enough, nor are the models good enough, to predict its eventual intensity, certainly not before the onset of an event. It's a good question for Mike or Michelle.

> - *Are there any new approaches to improve the predictability? Which?*

There's nothing I know of but I am not up on the ENSO literature so as to say. My impression is that our understanding of ENSO has reached a sort of saturation point where progress has become slow and we are mainly filling in the niches of our ignorance but not making great strides in prediction. Again, this is a question best answered by Mike or Michelle.

> - *Which literature can you recommend for further reading?*

Sorry, but I'm not the person to give you that information.

> *I would kindly ask you to sending me a short written reply to my questions or letting me know when we could arrange a telephone interview (and the number under which you are available). You may contact me using the information given below.*

I don't think a telephone interview would be useful for you.

> *The quality of my thesis would benefit from your replies a lot.*
> *Thank you very much in advance.*

>

> *I apologise for any inconvenience caused.*

>

> *With kind regards,*

>

>

> *Martin Eichholz*

Anhang 6

Antwort Dr. Eric Johnson

Von: Eric S. Johnson <ejohnson56@gmail.com>
An: Martin Eichholz <eichholz@uni-muenster.de>

Datum: 30.08.2011 07:58

Betreff: Re: ENSO predictability

Hi Martin, I don't work in science much any more, so I'm not current on the ENSO literature. I do find it odd that you're trying to investigate a scientific question by collecting the opinions of scientists. Supposedly it's data and observations that determine scientific debates, not personal opinions, or even opinions about data. Though obviously collecting data is much harder. Just a thought for you.

Eric

Anhang 7

Antwort Dr. William S. Kessler

Von: William S. Kessler <William.S.Kessler@noaa.gov>

An: Martin Eichholz <eichholz@uni-muenster.de>

Kopie an: William S. Kessler <William.S.Kessler@noaa.gov>

Datum: 31.08.2011 07:04

Betreff: Re: ENSO predictability

Hello Martin Eichholz -

I've been starting at your questions for a while now. The problem I have in trying to answer them is that they are all (except the last) the truly fundamental questions of current research. I.e., they are presently unanswerable. If I could answer them, I'd publish the results and retire famous.

But to give a few tries:

>- *Under which circumstances do El Nino situations occur?*

A fundamental debate in the field for the past decade can be summarized "Is El Nino a cycle or a series of events?" (I wrote a presumptuous paper with this title in 2003). One point of view says that ENSO is some sort of basin or global mode: i.e., is quasi-periodic, whose irregularity is due to "weather noise". The other (which I have advocated) says that El Ninos are quasi-independent events, each of which requires a trigger of some kind. However, despite this question being actively argued for more than a decade, no one has given a convincing answer. I am a lot less sure now than when I wrote the above paper.

But I think one thing can be said with confidence: El Ninos require a buildup of warm water in the western equatorial Pacific that takes some time (years) to accomplish. Unless there is a thick warm layer in the west, there is no potential energy to be released. Let me back up for a minute. Seen in larger context, the climate "function" of El Nino is to release stored energy (in the form of a thick warm upper layer) from the equator to the extra-tropics. Note that although the classic picture of El Nino is an eastward "sloshing" of warm water towards South America (that is of course still true), the bigger picture involves the warm water exiting the tropics, either along the American coast or in the interior. But in any case, the buildup of warm water sets the minimum conditions (and minimum time-lag) for El Nino to occur.

One of the most confusing things about this is the asymmetry of El Nino vs La Nina. La Nina is usually not thought of as an "event" in the same way that El Nino is. Also, for a bit of science sociology, one of the reasons I was so sure of myself back in 2003 was that there were many El Ninos during my career (started in 1982) but hardly any La Ninas. This was true of all the climate scientists of my generation. So we didn't think much about La Nina and could easily spin theories about El Nino events. Now, with more La Ninas over the past decade, this picture has gotten a lot more confusing. I no longer know what to think and I'm not alone. Everyone is waiting for a sharp young guy to show us what we're missing.

>- *When is the earliest point in time of the year at which El Nino situations can be identified?*

This is too vague a question. El Ninos *typically* begin in March-July, then reach their peak at the end of the year, but this is quite variable. Some El Ninos have been clearly evident in February, others not til August.

And what exactly do you mean by "identified"? Someone who had a model that predicted an El Nino a year in advance (has not been done), might say he had "identified" it that early.

>- *Is there a predictability to El Nino and its intensity?*

There seems to be some fair predictability to El Nino occurrences, but not their amplitudes/intensities. One reason is the role of winds during El Nino itself: In non-El Nino conditions there are trade winds across the Pacific. But as El Nino begins and warm water spreads east, this broad warm water generates atmospheric convection that can produce strong westerly winds that can accelerate and amplify the El Nino. But these convective winds are by their nature chaotic and unpredictable. So while we are creeping towards the ability to answer the yes/no question "Will there be an El Nino next year?", we have no ability to predict the potential amplification due to the convective winds. (These are known as the "Madden-Julian Oscillation", which you can easily look up. I have written a few papers about this).

>- *Are there any new approaches to improve the predictability? Which?*

Not really. As I said above, there isn't much in the way of new ideas.

>- *Which literature can you recommend for further reading?*

The best way to find these is to find a paper you like, and look up the papers that it cites and that cite it.

Some of the leading figures in current ENSO research are in Europe, especially people working at the forecast model centers (ECMWF in Reading, UK, and at L'OCEAN at Univ Jussieu, Paris). One way to find the latest literature would be to look up the papers of the attendees for this workshop, held in Paris in Nov last year (<http://climate.ncas.ac.uk/~ericg/>). There are links to most of the presentations (I was there but did not give a formal talk). Look over these presentations to get an idea of the current state of the field.

I hope this was helpful.

Billy K

William S. Kessler
NOAA / Pacific Marine Environmental Laboratory
7600 Sand Point Way NE
Seattle WA 98115 USA

william.s.kessler@noaa.gov
Tel: 206-526-6221
Fax: 206-526-6744
Web: <http://www.pmel.noaa.gov/people/kessler>

Anhang 8

Antwort Prof. Dr. Mojib Latif

Von: Mojib Latif <mlatif@ifm-geomar.de>

An: Martin Eichholz <eichholz@uni-muenster.de>

Datum: 06.09.2011 15:40

Betreff: Re: Vorhersagbarkeit ENSO

Hallo Herr Eichholz!

ich hänge mal eine Arbeit zu El Nino an, die in etwa so in einem Buch erscheinen wird. Falls Sie weitere Fragen haben, können Sie sich gerne an mich wenden.

Mit freundlichem Gruß, Mojib Latif.

Prof. Dr. Mojib Latif
Ozeanzirkulation und Klimadynamik
-Maritime Meteorologie-
Leibniz-Institut fuer Meereswissenschaften
Duesternbrooker Weg 20
24105 Kiel

Tel.: +49-431-600-4050

Fax : +49-431-600-4052

Mobil: +49-172-4140582

email: mlatif@ifm-geomar.de

<http://www.ifm-geomar.de/~mlatif>

Teil 2 (4586K)

Typ: Application/Vnd.openxmlformats-officedocument.wordprocessingml.document

Dateiname: Lozan 2punkt4.docx

Anhang 9

Antwort Prof. Roger Lukas

Von: Roger Lukas <rlukas@hawaii.edu>
An: Martin Eichholz <eichholz@uni-muenster.de>
Kopie an: rlukas@hawaii.edu
Datum: 30.08.2011 22:33
Betreff: Re: ENSO predictability

Dear Martin,

My recommendation to you is to read the literature on this set of topics, to distill this into your own understanding of the subject, and to then present that understanding (with appropriate citations) in your thesis.

A good starting point for the most current knowledge about ENSO predictability is from the CLIVAR working group on seasonal to interannual prediction

<http://www.clivar.org/organization/wgsip/wgsip.php>

In particular, on that page there is a link to the US National Academy of Sciences assessment that was published a year ago.

Good luck with your work!
Roger

Anhang 10

Antwort Dr. Eugene Rasmusson

Von: Eugene Rasmusson <erasmu@atmos.umd.edu>
An: Martin Eichholz <eichholz@uni-muenster.de>

Datum: 30.08.2011 16:30

Betreff: Re: ENSO predictability

On 8/30/2011 10:29 AM, Eugene Rasmusson wrote:

Dear Mr. Eichholz:

I Have now been retired from active, "hands on" research for a decade, and do not feel that I am fully up to date on the most recent research relating to ENSO. I suggest you contact Prof. Mark Cane (mcane@ldeo.columbia.edu) who has recently coauthored a book on the topic.

Best wishes,
Gene Rasmusson

Anhang 11

Antwort Dr. Kevin E. Trenberth

Von: Kevin Trenberth <trenberth@ucar.edu>
An: Martin Eichholz <eichholz@uni-muenster.de>

Datum: 29.08.2011 21:18

Betreff: Re: ENSO predictability

Hi Martin

I am not sure I can help much. My research in recent time has not focussed on ENSO as such but one keeps running into it.

Many of my recent publications are on my web site and I would start with these 2:

Trenberth, K. E., D. P. Stepaniak, and J. M. Caron 2002: Interannual variations in the atmospheric heat budget
<<http://www.cgd.ucar.edu/cas/papers/2000JD000297.pdf>> /J. Geophys. Res./, *107*, D8, 10.1029/2000JD000297.

Trenberth, K. E., J. M. Caron, D. P. Stepaniak, and S. Worley 2002: The evolution of ENSO and global atmospheric surface temperatures
<<http://www.cgd.ucar.edu/cas/papers/2000JD000298.pdf>> /J. Geophys. Res./, *107*, D8, 10.1029/2000JD000298.

These document several aspects related to your questions about leads/lags and related aspects.

See also especially this one:

Trenberth, K. E., and L. Smith, 2009: Variations in the three dimensional structure of the atmospheric circulation with different flavors of El Niño. /J. Climate/, *22*, No. 11, 2978-2991, doi: 10.1175/2008JCLI2691.1. [PDF]
<<http://www.cgd.ucar.edu/cas/Trenberth/trenberth.papers/TrenberthSmithVTempJCl09.pdf>>

see below for more

Kevin Trenberth

On 8/29/2011 1:04 PM, Martin Eichholz wrote:

>Dear Dr. Trenberth,

>

>*I am studying Geography at the University of Münster, Germany. Currently, I am writing my thesis under the guidance of Prof. Dr. Otto Klemm in the field of climatology. As part of my thesis I am concentrating on the triggering and predictability of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon. To analyse the current state of research I want to include the latest findings and opinions of experts. Thus, it would be very kind of you if you could answer the following questions.*

>

>- *Under which circumstances do El Niño situations occur?*

ENSO goes on all the time and has the two intense stages of El Niño and La Niña. I like the perspective in the second 2002 paper.

>- *When is the earliest point in time of the year at which El Nino situations can be identified?*

See the 2002 paper for the ocean heat content and the leads and lags.

>- *Is there a predictability to El Nino and its intensity?*

Yes some. Not sure it is fully capitalized on yet: see the 2010 paper for some aspects on that.

>- *Are there any new approaches to improve the predictability? Which?*

Links to other oceans: the Indian Ocean especially. Also taking global climate change into account is poorly done.

>- *Which literature can you recommend for further reading?*

See above

>

>*I would kindly ask you to sending me a short written reply to my questions or letting me know when we could arrange a telephone interview (and the number under which you are available). You may contact me using the information given below.*

>

>*The quality of my thesis would benefit from your replies a lot.*

>*Thank you very much in advance.*

>

>*I apologise for any inconvenience caused.*

>

>*With kind regards,*

>

>

>*Martin Eichholz*

>

>*Telephone: +49 251 2979401*

>*Mobile: +49 171 3550338*

>*Email: eichholz@uni-muenster.de*

--

Kevin E. Trenberth e-mail: trenber@ucar.edu

Climate Analysis Section, NCAR

P. O. Box 3000, (303) 497 1318

Boulder, CO 80307 (303) 497 1333 (fax)

<http://www.cgd.ucar.edu/cas/trenberth.html>

Street address: 1850 Table Mesa Drive, Boulder, CO 80305

Packages mail to: 3090 Center Green Dr. Boulder, CO 80301

Anhang 12

Antwort Prof. Michael Wallace

Von: Mike Wallace <wallace@atmos.washington.edu>

An: Martin Eichholz <eichholz@uni-muenster.de>

Datum: 30.08.2011 01:24

Betreff: Re: ENSO predictability

Your questions are too general for me to be of much help.

Important points to be aware of are the seasonal variations in predictability associated with the so-called "predictability barrier" in the boreal spring and the asymmetry between the behavior of El Nino and La Nina ...
<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2010JCLI3592>

John M. Wallace Phone: (206) 543-7390

Fax: (206) 543-0308

Mail: Box 351640

University of Washington

Seattle, WA 98195

Express Mail: 408 Atmospheric Sciences / Geophysics Building (ATG),

University of Washington,

Seattle, WA 98195

Anhang 13

CD:

1. Anhang der Email vom Prof. Dr. Latif
2. Digitale Fassung dieser Arbeit

Danksagung

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. Otto Klemm für die ausgezeichnete Betreuung. Für Fragen, Diskussionen und Anregungen stand er mir jederzeit zur Verfügung.

Ebenso möchte ich mich bei allen Experten bedanken, die im Rahmen dieser Arbeit angeschrieben wurden. Ganz besonders danke ich denjenigen, die einen Teil ihrer wertvollen Zeit opferten und auf meine gestellten Fragen z.T. sehr umfangreich antworteten.

Darüber hinaus danke ich allen, die diese Arbeit gelesen und mit ihren Anmerkungen voran gebracht haben.

Ein großer Dank gilt meinen Eltern, die mir durch ihre Unterstützung eine intensive Beschäftigung mit dieser Arbeit ermöglichten.

Erklärung

Ich versichere, dass ich die schriftliche Hausarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen wurden, habe ich in jedem Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht. Das Gleiche gilt auch für die beigegebenen Zeichnungen, Kartenskizzen und Darstellungen.

Ort, Datum

Unterschrift